

超高频无源标签芯片测试方法研究

菅端端 陈大为 袁修华

(中国电子技术标准化研究院 北京 100176)

摘要: 目的是完成超高频无源标签芯片测试中的步骤、条件、影响因素和注意事项的标准化工作,为相关标准引入国军标的决策提供支撑。通过调研国内超高频无源标签芯片的需求和研制现状,汇总分析目前国军标中标签芯片的性能评价试验要求。会同国内主要的标签芯片设计厂家研究标签芯片性能的测试方法,进而形成了《超高频无源标签芯片测试方法(草案)》的标准文本,并基于此标准草案组织了国内首次超高频无源标签芯片的比对测试。测试结果表明,目前国内自主研制的超高频无源标签芯片读灵敏度在高低温条件下可以做到小于 -13 dBm,写灵敏度小于 -11 dBm,最大工作功率大于 20 dBm,与国际主流芯片的指标仍存在提高的空间。通过对测试结果的分析,认为制定的测试方法基本可以全面反映芯片的性能,可以作为一种标准方法加以固化,供设计、生产、应用单位加以使用。

关键词: 超高频;无源标签芯片;读灵敏度;写灵敏度

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1035

Study on test methods of UHF passive RFID IC

Jian Duanduan Chen Dawei Yuan Xiuhua

(China Electronics Standardization Institute, Beijing 100176, China)

Abstract: The purpose of this paper is to standardize steps, conditions, influence factors and matters need attention in UHF passive RFID chip testing, which help to make a decision in standard drafting. By investigation into the need and present research situation of domestic UHF RFID chip, we summarized the experimental requirements of RFID chip's performance evaluation. "UHF passive RFID chip testing methods (draft)" is formed by working with several RFID design teams, which the first domestic UHF RFID chip test for comparison is based on. The results show that the read sensitivity performance of domestic chip can be less than -13 dBm in high and low temperature conditions, write sensitivity less than -11 dBm, and maximum power larger than 20 dBm, which still need to be improved to compare with international mainstream technology. Based on further analysis on test results, the standard test methods summarized in this paper can be used to evaluate the performance of the chip, and can be used in design, manufacture and application effectively.

Keywords: UHF; passive RFID IC; read sensitivity; write sensitivity

0 引言

随着我国超高频无源标签技术的成熟,现行标准不能全部满足新出现的提高芯片性能为目的的测试需求^[1-2]。我国针对超高频无源标签已经制定了相关的射频识别空中接口参数标准和测试标准,但现有标准都是针对标签产品的,侧重于通讯接口协议的符合性,并不能满足超高频无源标签芯片本身性能测试的需要^[3]。由于此类芯片与传统芯片在结构上的差异^[4-6],在测试时套用已有的芯片测试方法也并不可行。针对超高频无源标签芯片单独制定测试标准有利于准确评估芯片本身的性能水平,有利于排除空间干

扰对性能和可靠性测试的影响,有利于发现芯片潜在的设计缺陷,对于填补我国标准在此类特殊芯片测试方法上的空白有重要意义。

首先,通过搜集国内外超高频无源标签芯片的相关资料,剖析标签芯片测试方法与标签及其它集成电路测试方法的区别^[7],分析现行标准中标签芯片测试方法的特殊性和可行性,提出制定《超高频无源标签芯片测试方法》标准的必要性。其次,开展了超高频无源标签芯片协议符合性及性能测试方法研究,主要包括芯片读写灵敏度的测试方法、最大工作功率的测试方法、存储容量的测试方法、芯片内部存储器擦写次数的测试方法和合格判据等相关内容的

研究。与国内主要标签芯片的设计和使用单位展开合作,梳理标签芯片性能测试相关参数测试方法及评价手段,形成广泛接受的方法条款,制定《超高频无源标签芯片测试方法(草案)》标准,解决了标签芯片测试方法的一致性问题,明确了测试中需要注意的事项。最后,对标签芯片的加速老化试验方法和标签芯片的静电测试手段及评估方法进行了研究。在理论研究和实际研讨的基础上,建立了标签芯片老化和防静电测试平台,完成了标签芯片老化和防静电测试方法的验证工作,为相关标准的制定提供了实践基础。

通过本文的研究,建立了超高频无源标签芯片的评价标准,更加全面、准确、可靠的量化了芯片自身的性能,并基于固化的测试方法组织了国内首次军用超高频无源标签芯片的比测,方法的科学性和公正性取得了参比单位和上级机关的认可。

1 超高频无源标签芯片测试方法

1.1 标准情况分析

美国、日本、欧洲都有针对超高频无源标签的标准,最常用的通信协议国际标准主要有两个,一是 ISO/IEC 18000-6,其中 Type C 是现有标签采用最多的部分^[8-10]。二是 EPCglobal 的 EPC C1 Gen2 协议。这两个协议目前是互通,各自有对应的测试标准,ISO/IEC 中从事超高频无源标签相关标准制定的组织是 ISO/IEC/JTC1/SC31 自动识别和数据采集分技术委员会,该分委员会共有 6 个工作小组,其中与射频识别技术密切相关的核心工作组有 4 个, WG2 专注于数据结构, WG4 专注于用于物品管理的射频识别, WG6 专注于移动物品识别与管理, WG7 专注于物品管理的安全性。EPCglobal 是国际物品编码协会(EAN)和美国统一代码委员会(UCC)共同成立的非盈利组织,目的是促进 EPC 网络在全球范围内的广泛应用。

虽然国外主要的两个标准是互通的,但其测试方法仍有一些区别。就测试的项目来说,总体可以分为“射频符合性测试”和“协议符合性测试”,在 ISO/IEC 18000-6 Type C 中,“射频符合性测试”的测试项有 8 个,“协议符合性测试”的测试项有 7 个,而在 EPCglobal 中,“射频符合性测试”的测试项有 17 个,“协议符合性测试”的测试项有 25 个。在射频符合性测试项中,ISO/IEC 18000-6C 虽然测试项目较少,但每项涵盖的内容较多,基本包含了 EPC C1 Gen2 中的大部分内容。国际标准有其配套的性能测试规范,超高频 RFID 标签性能测试规范主要包括 ISO/IEC 18046-3, EPCglobal Tag Performance 和 GS1 TIPP Testing Methodology。其中 ISO 18046-3 是 ISO 18000 全系列通信协议配套的性能测试规范, EPCglobal Tag Performance 是 EPCglobal C1 G2 通信协议配套的性能测试规范, GS1 TIPP 是 EPCglobal Tag Performance 的简化版,主要面向服装行业的标签评级。在目前查询到的国外标准中,还没有专门针对射频识别标签芯片的测试标准^[11]。

国内军用标准方面,2011 年 10 月颁布实施了 GJB 7373-2011《军用无源射频识别标签通用规范》, GJB 7377-2011《军用射频识别空中接口第 1 部分:800/900 MHz 参数》,以及 GJB 7378-2011《军用射频识别空中接口符合性测试方法第 1 部分:800/900 MHz》,对军用超高频无源标签的使用和设计起到了指导作用,但并没有针对标签芯片的测试方法相关标准。

国家标准方面,GB/T 29768-2013《信息技术射频识别 800/900 MHz 空中接口协议》是国内超高频射频识别领域主要使用的标准,它基于国际标准进行了一些有益的改进,但在国内也没有专门针对超高频无源标签芯片的测试方法。目前国标和军标在协议符合性方面存在一些差异,但随着军民融合的大趋势,两个标准必然向共通的方向发展,两个标准的测试项目目前也是类似的。

目前,国际和国内的超高频无源标签标准大多集中于协议符合性,很多国家都制定了针对自己国情的协议标准。整体上来说国际标准的共通是主流,但不同行业也衍生出了自己的行业标准,如煤炭行业,交通行业等。在国际主要标准共通化的背景下,特种行业越来越多制定自己行业的专用标准也逐渐成为一个趋势^[12-13]。

标签标准的另外一个趋势是向应用化发展,之前的标准研究更多专注于通信协议方面,随着 TIPP 等标准的出现,针对特定应用场景的标准研究和测试环境建设逐渐成为趋势,这主要是基于国际上芯片技术发展日趋成熟^[14-15],协议研究日臻完善的基础发展而来。国际上并没有针对芯片的测试方法,这是由于这些方法都掌握在芯片研发的大公司手中,且这些企业已经解决了芯片研发的问题,不需要再制定芯片测试标准为芯片研发服务,转而参与到应用标准的制定中。

但这并不符合我国 RFID 产业发展的现状,目前我国此行业的绝大多数公司仍然以芯片研发为主,尚没有完全解决芯片本身的技术问题,标准研究虽然进步很大,但还未经过大规模实际应用的检验。所以,目前仍需要芯片测试标准的支撑,为产品性能的提升提供支持,针对我国芯片发展现状,制定专注于芯片本身性能及可靠性测试的试验标准。

1.2 性能测试方法

对超高频无源标签芯片的评价由多个方面构成,主要包括协议符合性测试、性能参数测试、可靠性试验 3 个方面。协议符合性测试主要解决的是“能不能用”的问题,性能测试解决的是“好不好用”的问题,而可靠性试验解决的是“耐不耐用”的问题,图 1 是本文研究的内容分类,协议符合性测试有较多文献研究,对此内容本文不进行深入讨论。

1.2.1 读灵敏度测试方法

目前,关于超高频无源标签测试的研究大多集中于协议符合性测试的层面,验证功能是否正确,解决了能否使用的问题后,更难的是如何提高芯片的性能,这需要搞清楚哪

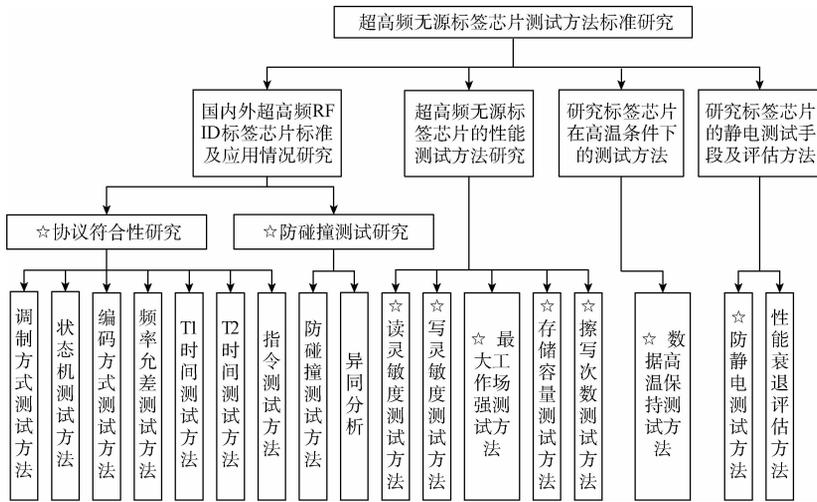


图 1 研究内容细分

些因素会限制芯片性能的提高。标签芯片是一类特殊的射频电路,不能使用传统射频电路测试的手段对其性能进行直接测量。

当标签芯片接收到读写器发来的指令后,首先由天线接口电路对接收到的射频信号进行放大处理,然后将接收到的信号分成两部分,一部分送到解调器将有用信号从载波上取出,另一部分送到整流模块,通过整流滤波变成保证无源标签芯片工作的内部电源。解调出的模拟信号变为数字信号后就可以送到基带进行协议和控制相关的处理,物品识别需要的编码存储在存储器中,根据需要存储区分为不同功能、不同用途的 4 个分区。影响标签性能的最主要

因素是功耗,在匹配正确、功能正常的前提下,芯片消耗的功耗越低,就能在越远的距离对读写器做出响应,同样的距离下,功耗越低的芯片响应成功的可能性越大,芯片使用的体验就越好。所以,标签芯片性能测试的目的是稳定、准确且可重复的测出不同芯片微小功耗差异对结果的影响。

为了达到这个目的,传统的方法是将芯片封装成标签,通过标签测试来评估芯片性能。但对于传统的在开放空间用辐射的方式评估芯片性能是不可靠的,除非两种芯片性能差距很大,否则很容易出现误判,表 1 对比了本文使用的基于芯片的测试方法和传统的基于标签测试方法的区别。

表 1 基于标签和基于芯片的测试方法对比

项目	意义	种类	测试方法	测试效果
读灵敏度	衡量芯片功耗、信噪比等基本性能的重要手段,决定标签通信距离的重要参数	标签	1)辐射方式,标签置于主功率辐射法线方向,最优接收场强的方向;2)测距离;(1)	1)测试过程较难精准掌握;2)受大气环境影响;3)受背景反射环境影响;4)易受辐射和噪声影响;(3)
		芯片	阻抗匹配后用同轴线缆直连;(2)	1)对测试环境依赖小;2)稳定度高;3)重复性好;4)通过对匹配、微带线及 Balun 等差损源的校准,可以得出精确的功率值;(4)
写灵敏度	同上,衡量存储器写功耗的重要手段	标签	同(1)	同(3)
		芯片	同(2)	同(4)
最大工作功率	衡量标签芯片动态范围的重要指标	标签	同(1)	1)与实际使用脱节;2)同(3)
		芯片	同(2)	1)可以得到实测的功率值;2)同(4)
数据保持时间	衡量芯片寿命及存储器性能的重要手段	标签	无法做加速寿命试验	测试时间无法忍受
		芯片	可以在如 250 °C 条件下进行常温 20 年存储时间试验	加速老化推算芯片可靠性
静电保护	衡量芯片组装过程中抗静电能力的重要指标	标签	封好后测空气或接触放电	做的人较少
		芯片	防止加工过程引入的失效;结合性能测试整体评价静电防护能力	1)反映芯片适宜加工能力;2)由于储能电路的存在,测试方法与传统芯片不同。

表1列出了标签和芯片测试的优缺点,可见在进行性能评估时,基于传导方式的芯片测试方法是有很大优势的。读灵敏度是评价芯片性能的重要测试方法,是衡量芯片功耗、信噪比等基本性能的一个重要手段,是决定标签通信距离的一个重要参数。

读灵敏度定义了标签能够响应到读写器的最弱的读信号,高的读灵敏度需要前端电路引入尽可能少的噪声,而射频前端电路的噪声系数对整个标签的噪声系数影响最大。建立不同温度条件下的灵敏度测试对于在不同环境下整体评估芯片性能很重要,本文采用3个温度点来测试不同温度条件下的标签芯片的读灵敏度。

进行读灵敏度测试时,使用专用RFID测试设备连接环形器再直连到标签芯片进行相应项目的测试,连接示意图如图2所示。

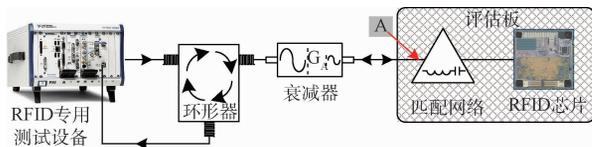


图2 读灵敏度测试原理

在测试读灵敏度时,读取内容的多少会影响读灵敏度的测试结果,考虑一般芯片工作状态,测试时规定读写器仅读取芯片第一和最后一块存储区的内容,存储区应该用同样数量的1和0统一填充(即,由5Ahex、3Chex、0Fhex、F0hex填充存储区的四字节存储块)。采用GJB 7378.1-2011的4.5.4规定的基准读写器及图2所示芯片测试原理,前向链路基准时间为 $12.5\ \mu\text{s}$,反向链路频率为320 kHz,编码方式为FM0,带前导码,测试温度点为室温、低温、高温,测试频率点为840.125、844.875、920.125、924.875 MHz,测试的存储区使用用户区,每次读写操作进行100次,50%成功即认为读写成功,具体的测试步骤如下。

- 1) 设置温度条件为室温;
- 2) 将基准读写器的工作频率设置为840.125 MHz;
- 3) 如图2所示,将A点信号连续载波功率设置为一8 dBm;
- 4) 用基准读写器持续发送读取命令到第一块存储区,读取验证正确;
- 5) 用基准读写器持续发送读取命令到最后一块存储区,读取验证正确;
- 6) 若能读到完整的芯片响应,那么降低基准读写器输出功率,使A点功率降低0.5 dBm,重复步骤4)~7),直到无法读到完整的芯片响应,记录最后一个能读到完整响应的A点信号功率值;
- 7) 增加频率到下一个频率点,重复3)~7),直到4个频率点全部测试,此时记录的A点信号功率值的最大值去

除插损,即为常温条件下读灵敏度的测量值;

8) 改变温度到下一个温度点,重复2)~8),此时记录的A点信号功率值的最大值去除插损,即为高低温条件下读灵敏度的测量值。

在测试系统中加入衰减器增加环形器相邻接口的抑制可将信号传输链路载波泄露降到 $-80\ \text{dBm}$ 以下。标签芯片均采用COB的封装形式,采用同轴电缆连接的方式,发送特定的指令,并逐渐减小信号幅度,直到标签无响应,记录测试结果和测试内容。测试系统整体框图如图3所示。

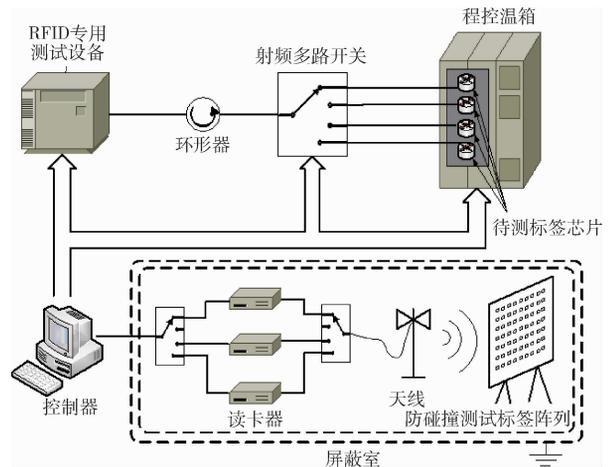


图3 测试系统整体框图

使用温箱来为待测标签芯片提供温度激励,为保持温度的稳定性,在升到指定温度30 min后才开始读灵敏度的测量。在芯片切换过程中不打开温箱,而使用射频多路开关的方式进行芯片的切换,但实际上为了减小插损,采用直接手动切换导线的方式,没有使用射频多路开关,虽然增加了测试的复杂性,但提高了测试的精度。

1.2.2 写灵敏度测试方法

写灵敏度的测试与读灵敏度的测试方法近似,只是发送的指令有区别。写灵敏度的误差来源与读灵敏度测试基本一致,需要对线缆、环形器、测试板走线、匹配网络及巴伦引入的插损进行测试,并在最终结果中减去。需要特别指出的是在进行巴伦校准时为了将微带线和匹配网络的插损一并去掉,通常会用背靠背的空板然后借助功率计或者矢量网算S21,然后除以2,这种做法其实是有问题的。因为芯片的输入阻抗和匹配网络的阻抗其实是共轭的,所以背靠背的方法其实是改变了输入匹配网络的负载阻抗,测试结果并不精确,但由于引入的误差通常小于1 dB,且没有更好的方法,这种方法也就被大家接受了。

1.2.3 最大工作功率测试方法

最大工作功率测试的意义是在强发射功率条件下,如果反射波或载波泄露太强阻塞了接收通道会引起通信失败,而用户在发现通信失败后的第一反应是将标签与读写

器靠近,这就恶化了接收通道的信号干扰,更易发生读取失败,从而造成恶性循环,所以要保证在空间可能的最大功率下芯片都能正常通信。使用空口进行该测试存在很多问题,空间衰减、发射功率不够、匹配不好等因素都会影响实际加到标签端的功率,且很难完全消除,使用导线直连的方式可以精确地测量芯片输入端口的功率,从而使用普通测试设备就可以预估在极端环境下的芯片性能。

如图 2 所示专用测试设备输出功率不满足要求时,可以在专用设备和环形器之间增加一个功率放大器,一方面可以放大发射信号,另一方面也不会影响芯片反向散射信号,如果放错位置会导致通信失败。此外,匹配网络需要仔细设计,若存在失配,即使输入功率很高加到芯片端的能量也很有限,不能准确的反应芯片在大输入功率下的工作状态。最后,要注意测试条件的合理性,虽然直连方式可以避免芯片所加功率到不了极限条件的问题,但也不能无限制的向上增加,以防损坏芯片。具体的测试方法如下所示。

1) 在室温条件下;

2) 将基准读写器的工作频率设置为 840.125 MHz;

3) 如图 2 将 A 点信号功率设置为读灵敏度;

4) 用基准读写器对芯片持续发出启动查询命令(见 GJB 7377.1-2011 的 6.5.3);

5) 若能读到完整的芯片响应,那么增加基准读写器输出功率,使 A 点功率增加 1 dBm,重复步骤 4),直到无法读到完整的芯片响应,记录最后一个能读到完整响应的 A 点信号功率值;

6) 增加频率到下一个频率点,重复 3)~6);

此时记录的 A 点信号功率的最大值即为常温条件下最大工作功率的测量值。

测试时需要注意如下 3 点:

1) 需要在读写器输出串联衰减器,衰减量为 10 dB,功率损失要在读写器端补偿;

2) 测试 50 ms 关闭载波 200 ms,再打开 50 ms,之后关闭 200 ms,间歇测试;

3) 每次盘点操作进行 100 次,50% 成功即认为盘点成功。

在读写器或者功率放大器输出串联衰减器的目的是减小大功率环境下,反射信号对读写器和功放输入端的影响,从而造成失配。对测试时间加以限制的原因是防止大功率的载波对待测芯片造成损伤。进行 100 次测试的目的是为了让测试结果更加可靠,这同时带来另一个问题就是测试时间,所以,在软件端实现了读、写灵敏度和最大工作功率的自动化测量。

1.3 标签芯片的加速老化试验方法

非易失性存储器是标签芯片中存储信息的重要部分,其最重要的两个可靠性试验是耐久和数据保持。

耐久(Endurance)是指器件经受数据重写后,仍然符

合标准的能力。完整的耐久试验需要考虑多个因素,如循环期间的数据图形、存储单元的循环次数、循环间歇、电测试等。一般情况下,鉴定试验要求对器件的全部单元按照规定的最大编程、擦除次数进行耐久试验,随着器件容量的增大,鉴定试验时可以对器件的一部分单元按规定的最大编程、擦除次数进行循环,剩余的单元则进行较少次数的循环。对于标签芯片来说,由于其规定的工作环境并没有那么苛刻,所以仅考虑常温下的循环次数测试。

具体步骤如下:

1) 按图 2 连接仪器;

2) 调整基准读写器功率到 0 dBm,用户区开始两存储块(共 32 bit)都写为 FFhex,FFhex,FFhex,FFhex;

3) 用户区开始两存储块(共 32 bit)都写为 00hex,00hex,00hex,00hex,并读出确认;

4) 用户区开始两存储块(共 32 bit)都写为 FFhex,FFhex,FFhex,FFhex,并读出确认;

5) 重复 3)~6) 共 10 万次。

测试条件如下:

1) 采用 GJB 7377.1-2011 的测试装置;

2) 测试过程中允许中断,累计 20 万次即可,若连续 5 次上电仍无法擦写,则判为存储器失效。

数据保持试验一般在高温(如 $T_j = 100\text{ }^\circ\text{C}$ 或 $T_j \geq 125\text{ }^\circ\text{C}$ 或器件最高贮存温度)或室温下进行。鉴定试验时通常规定部分器件进行非偏置高温烘焙(也可用高温循环代替),另一部分器件在室温下进行偏置寿命试验。

非偏置高温烘焙的试验程序可以参照 GB/T 4937-1995 中第 III 篇的第 2 章进行,也可参照 GJB 548B-2005 中方法 1008.1 进行。室温偏置寿命的试验程序可以参照 GB/T 17574-1998 中第 V 篇的第 1 节进行,也可参照 GJB 548B-2005 中方法 1005.1 进行。

对于非偏置高温烘焙试验,可通过阿雷尼厄斯公式计算得出数据保持试验的时间,公式如下:

$$F = \frac{t_1}{t_2} = \exp \frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (1)$$

式中: F 为温度加速因子; E_a 为激活能值,用 eV 表示,与工艺、材料有关; k 为玻兹曼常数, $8.617\ 1 \times 10^{-5}$ eV/K; t_1 、 t_2 为非加速试验和加速试验的持续时间,用时间单位表示; T_1 、 T_2 为非加速试验和加速试验的有效结温,单位为 K。

试验的具体步骤如下:

1) 用写入命令(见 GJB 7377.1-2011 的 6.5.20)对芯片第一块存储区和最后一块存储区进行写入,存储区应该用同样数量的 1 和 0 统一填充(即用由 5Ahex、3Chex、0Fhex、F0hex 字节序列表示的二进制位填充存储区的 4 Byte 存储块);

2) 芯片放入高温箱,期间每天在每家样品中随机取出 3 个(不再放回),在 24 h 内读取其存储区内数据,并与之前写入的数据进行对比,一致者合格。

1.4 标签芯片的静电测试手段及评估方法

通常,静电试验前后漏电流增大超过一定范围就判为失效,依据此原则对标签芯片静电性能进行判别并不合适。由于超高频无源芯片没有电源,进行静电试验后的漏电测试非常困难,采用参数性能下降来作为静电试验后是否合格的判决条件更为合适。读写灵敏度是个比较明确的性能参数,所以,选择读写灵敏度作为标签芯片静电试验的判断参考比较准确。

在静电试验前,先进行灵敏度测试并记录数据,然后断开样品芯片与周围器件的连接。依据 GB/T 17626.2,对芯片二引脚,进行人体模型(HBM)和机器模型(MM)的静电测试,由低电压向高电压递增,中途不得更换样品。先将一个样品进行 HBM 试验,用其余芯片依次进行机器模型 MM 200 V、500 V 的测试,每做完一次静电试验后,用 $0\ \Omega$ 电阻连接周围器件和芯片,再进行启动查询操作,若不能完成则判为失效,如没有失效,则进行常温条件下读、写灵敏度的测试,与静电试验前的数据进行对比,变差超过一定程度判为失效。

2 实验结果

为证明超高频无源标签芯片测试方法的可行性,组织了国内首次军用超高频无源标签芯片的比对测试,参比单位包括了国内主要的标签芯片设计厂家。

以读写灵敏度的测试为例,国军标中规定的测试温度是 $15\ ^\circ\text{C}\sim 35\ ^\circ\text{C}$,国际标注中规定的测试温度是 $23\ ^\circ\text{C}\pm 3\ ^\circ\text{C}$,但要注意,由于目前标准中的测试关注的是协议符合性的测试,所以对温度没有特殊要求,仅要求常温下测试,为了与国军标保持一致,协议符合性测试也仅在常温下进行测试,但就测试结果来看,某些单位在高低温环境下甚至都不能正常通信,如某单位在 $-45\ ^\circ\text{C}$ 条件下,有芯片无法正常通信,初步判断是由于低温下返回信号频率、占空比等偏离空口协议导致仪器不能解析所致;还有一家单位的芯片在高温时读取结果很不稳定,经常需要读 7~8 次才能成功 1 次。而这些现象在国际顶尖的芯片上并不存在,说明国外虽然在公开标准中没有对温度的要求,但不代表设计芯片时没有考虑高低温工作环境下的情况。实际工作环境中,标签所标识的物品工作环境各异,尤其是军事装备,很多都是用在野外极端温度环境中的,而且很多标签芯片是裸露在外的,直接受到野外温度的侵袭。结合标签芯片的工作场景及国内芯片研制的现状,对读、写灵敏度进行三温测试,温度误差控制在 $\pm 1\ ^\circ\text{C}$ 之内。

通过在 3 种温度条件下对国内主要的符合国军标协议的标签芯片进行测试,读灵敏度指标差别很大,最好的可以做到 $-13.5\ \text{dBm}$,而最差的仅有一 $2\ \text{dBm}$ 。尽管如此,最好的标签芯片与国际上标称的读灵敏度最高的芯片差距仍然很大,IMPINJ 公司的 Monza 6 芯片号称可以做到 $-22\ \text{dBm}$,这对读距离有一个巨大的提升。表 2 列出了读

灵敏度的测试结果。

表 2 读灵敏度测试结果

参比单位	读灵敏度/dBm		
	低温	室温	高温
单位 A	-13	-13.36	-13.5
单位 B	-12	-12.99	-13.49
单位 C	-13.36	-12.55	-12.87
单位 D	-9.86	-9.35	-12.36
单位 E	-10.34	-9.83	-9.85
单位 F	-1.91	-1.81	0

读灵敏度测试的主要误差来源是线缆插损、环形器插损和匹配网络插损,需要对此三类插损及随频率变化情况进行测量。具体的方法是先令 RFID 专用测试设备连续的发射固定频率的载波,在 RFID 专用测试设备的软件界面上设置的发射功率记为“标称值”,功率计测量的载波功率记为“测量值”,“测量值”-“标称值”即为插损。这种方法虽然不是物理上真实的插损,但却将软件带来的插损一并计算了进去,将插损去除后得到的读灵敏度值就是真实的功率值。然后,修改发射频率,依次测出各频率下各功率点的插损,在计算真实的读灵敏度时,要根据测试时的功率和频率选择相应的插损进行去嵌入。在使用巴伦进行单到双转换的测试板上,巴伦的插损需要做一个背靠背的空板单独进行校准,首先量出背靠背两个巴伦的总插损,然后除以 2 就是 1 个巴伦的插损值。

为了对不同产品进行比较,建立了一套打分标准,对性能指标进行评估,进而对芯片整体性能进行打分。图 4 对本次测试的部分参数在各产品间进行了比较,可以看出,国内芯片在基本功能方面与国际水平差距不大,甚至有些指标还超过国际水平,但体现性能水平的最重要的两个参数读灵敏度和写灵敏度的测试结果与国际水平仍有差距,也反映出国产芯片普遍面临的一个问题,就是功能性竞争能力较强,但性能水平仍有差距,带来的结果是在高端、高可靠的应用中缺乏竞争力,这需要花较长的时间来提高。

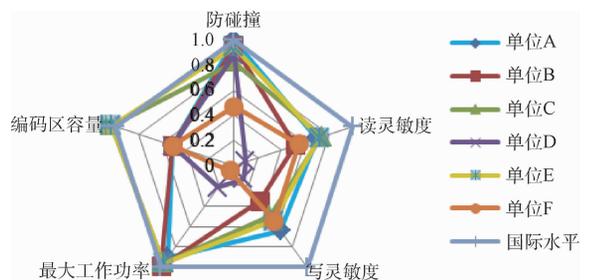


图 4 整体性能指标对比

3 结 论

本文对基于芯片的超高频无源标签评价方法进行了叙述,以读、写灵敏度和最大功率为例描述了标签芯片的测试方法,结合加速老化和静电防护对标签芯片整体性能进行了综合的评价。

通过对超高频无源标签芯片测试方法的分析,在我国针对标签芯片的测试方法专门制定标准很有必要,一方面有利于更加科学的评价芯片本身的性能和可靠性水平;另一方面,在我国目前芯片设计水平还与国际有一定差距的现状下,有利于促进我国标签芯片水平的整体进步。具体操作时,一方面应保持标准的完整性,条款方面可以参照本项目提出的意见稿,另一方面应保持标准的先进性,具体内容制修订时可以根据具体方法目前的发展情况将最新评估手段,如基于应用场景的标签测试方法,引申变为我国标签芯片标准中的条款,这样可以同时实现我国标准的自主创新。

本文的成果已提供给上海复旦微电子集团股份有限公司、中国航天科工二院706所、中电24所、中电15所(华旭金卡股份有限公司)、国防科大、上海高等研究院、西安电子科技大学等集成电路设计公司进行评估和实践,经过业内同行的共同努力,形成了《半导体集成电路800/900MHz射频识别芯片测试方法(草稿)》,并用于国内首次军用超高频无源标签芯片的比测任务,此标准目前仍在征求意见阶段。

参考文献

- [1] 刘冬生,邹雪城,刘政林,等. RFID标签芯片的最新研究进展[J]. 微电子学,2007,37(6):779-784.
- [2] 刘冬生,邹雪城,李泳生,等. 射频识别系统中的防碰撞算法[J]. 华中科技大学学报,2006,34(9):57-59.
- [3] PAVEL V N, RAO K V S, STEVE L. An overview of near field UHF rfid[J]. 2007 IEEE International Conference on RFID, 2007:167-174.
- [4] JIANG D, LIU X K, WANG D Y, et al. Analysis of sensitivity and errors in Maglev vibration test system[J]. INSTRUMENTATION, 2016,3(1):70-77.
- [5] JUN Y, WING H K, CHI Y T. Analysis and design strategy of UHF micro-power CMOS rectifier for

micro-sensor and RFID applications [J]. IEEE Transactions on circuits and systems-I: regular papers, 2007,54(1): 153-166.

- [6] GIUSEPPE D V, GIUSEPPE I. Design criteria for the RF section of UHF and Microwave passive RFID transponders[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques,2005,53(9):2978-2990.
- [7] ABDULHADI A E, ABHARI R. Design and experimental evaluation of miniaturized monopole UHF RFID tag antennas[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012(11):248-251.
- [8] 李帅,张雪凡,任秀芳. UHF RFID标签谐振特性非接触测试方法的研究与实现[J]. 电子测量技术, 2015,38(6):5-10.
- [9] 彭章友,任秀芳,孟春阳. UHF RFID密集标签互耦效应的频移特性研究[J]. 电子测量技术, 2015, 38(6):11-15.
- [10] 李军,何婷婷,陈柯. 超高频RFID标准和测试技术演进[J]. 国外电子测量技术,2015,34(9):13-16.
- [11] 陈柯,邵晖,何婷婷. 射频识别(RFID)系统架构和持续改进[J]. 国外电子测量技术,2015, 34(4):5-9.
- [12] 宋智,孟影,张静. 基于阻抗匹配的电子标签式香蕉气体传感器[J]. 电子测量与仪器学报,2017,31(2): 280-285.
- [13] 苏圆圆,何怡刚,邓芳明. 基于无缘RFID的混凝土湿度检测技术研究[J]. 电子测量与仪器学报,2016, 30(8):1235-1243.
- [14] 邵晖. 物联网应用驱动RFID应用测试[J]. 国外电子测量技术,2017,36(1):12-14.
- [15] 彭章友,孟春阳,任秀方. 一种宽频带RFID阅读器天线的设计[J]. 电子测量技术,2015,38(5):19-28.

作者简介

菅端端,硕士,高级工程师,主要研究方向为模拟和混合集成电路设计及测试技术、超高频无源标签和读写器标准及测试技术、MEMS传感器测试技术等。

E-mail:lotoy@sina.cn