

RFID 双频微带天线仿真与设计

董成波

摘要:射频识别技术是由信号发射机、信号接收机、发射接收天线几部分组成。这其中天线是其中的关键技术之一，它是标签和读写器之间数据交换的重要装置。RFID 系统的天线包括标签天线和读写器天线。本文主要对双频微带天线的理论知识进行介绍，并设计了一款谐振频率 915MHz 和 2.45GHz 附近的双频 RFID 读写器微带天线，同时，利用 HFSS 对天线进行仿真、优化。最后加工实物利用微波暗室对天线的性能进行测试。

关键词: 射频识别；双频；微带天线

Abstract:Radio-frequency identification is composed of transmitter, signal receiver, transmitting and receiving antennas. Antenna technology is one of the key technologies in RFID systems. RFID antennas, which are used for sending and receiving radio signals, are an important component of RFID systems. The antennas of RFID system include tag antennas and reader antennas. This paper focuses on the theoretical knowledge of dual-band microstrip patch antenna. The paper designed a dual-frequency microstrip patch RFID reader antenna, which is for 915MHz and 2.45GHz. Meanwhile, electromagnetic simulation and optimization is processed by hfss. Finally, The material object of antenna is made and measured in microwave anechoic chamber.

Key words: RFID; Dual-frequency; Microstrip Antenna

1. 引言

RFID 技术即射频识别技术，是一种无线通信技术。其技术原理是通过射频信号的空间耦合（交变磁场或电磁场）来实现无接触数据交换并达到互相识别目的的一项技术。RFID 系统的组成大致包括计算机系统、识读器、和标签。其中识读器是由天线、耦合元件、芯片组成的读取和写入标签信息的设备。标签是由天线，耦合元件及芯片组成作为应答器的设备。计算机系统是利用应用层软件将收集到的数据进一步处理并实现应用。射频识别在商品的物流跟踪、物联网技术、支付系统等方面的得到了广泛的应用。因此，研究 RFID 技术对国民经济的发展有着深远的意义^[1-4]。

2. 微带天线概述

2.1 微带天线的概念，发展及应用

微带天线是一种将介质基板一面制成一定形状金属贴片另一面有导体接地板组成的天线。微带天线通常用微带传输线或同轴探针来馈电^[5]。1953 年，Deschamps 率先提出微带辐射器的概念。20 世纪 70 年代以后随着光刻蚀技术的发展以及微带天线理论模型的提出，实际的微带天线被制造出来。如今，微带天线被广泛应用于卫星通信、雷达、生物医学、无线通讯设备、射频识别系统等方面^[6]。

2.2 微带天线的优缺点

优点：体积小、重量轻、低剖面、易于集成化、成本低、能与载体共形、易实现双频双极化、无需额外添加匹配电路。

缺点：增益低、谐振频率带宽低、辐射空间小、辐射功率小等。

2.3 天线的带宽

任何天线的工作频率都会有一定的范围，天线的电参数随频率的改变而改变，当定义天线的电参数在容许范围之内的频率范围为天线的带宽。

若天线的中心工作频率为 f_0 ，最高工作频率是 f_{\max} ，最低工作频率为 f_{\min} 。

天线的绝对带宽 $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$ ，相对带宽为 $\frac{\Delta f}{f_0}$ ，对于宽频带天线通常用 $\frac{f_{\max}}{f_{\min}}$ 表示带宽。

3. 天线多频的实现方法

3.1 天线多频的实现方法

传统的射频识别天线一般工作在单一频段，而多频读写器天线可以同时读取多个频段的标签。目前实现多频的技术大致可以分为如下三种：

(1) 正交模双频微带天线

正交模实现双频的方法是利用矩形辐射贴片长和宽两正交边的第一谐振频率实现双频比如 TM_{10} 和 TM_{01} ，这种方式的局限是在两个频率上呈现正交极化，但是它在低成本和短距离应用很广。而上述实现双频的方法，我们可以推广到任意形状的贴片。这类天线我们把它称为正交模式双频贴片天线，其特征是利用两个极化正交的谐振模。这类天线根据馈电方式的不同又可分为单馈和双馈两类。具体馈电方式包括：探针馈电，缝隙馈电和电磁耦合馈电等^[7]。

(2) 多贴片多频天线

多贴片多频天线是利用多个辐射单元来实现双频且得到的双频的极化可以是同一极化方式也可以是多极化的。这种天线可以有多个贴片结构，分别是叠层结构和共面多频谐振器结构。

(3) 电抗性加载贴片天线

电抗性加载贴片技术目前使用最为广泛的双频技术，它是通过在单一贴片上加载电抗性负载来获取双频。电抗性负载包括短截线，开设槽口，销钉和电容及缝隙等^[8]。

除去以上三种方法还有别的一些方法来实现双频，如分形天线，空气缝隙天线等。

3.2 多频天线具体实现

如图 3-1 所示，是一个三频的单极子天线的仿真模型图。图中该天线有两个单极子天线模块组成，分别产生两个谐振频率。同时，ACPW 结构用于对单极子馈电的同时，本身产生了第三个频率。天线用到了多贴片和缝隙耦合实现多工作频率^[9]。从而得到的天线回波阻抗如图 3-2 所示：

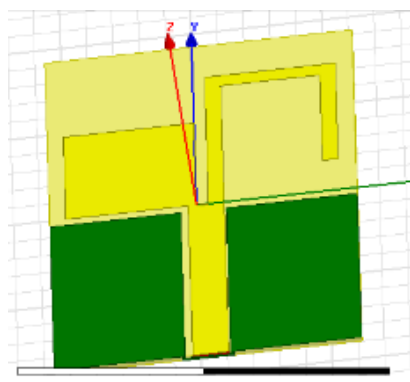


图 3-1 天线模型图

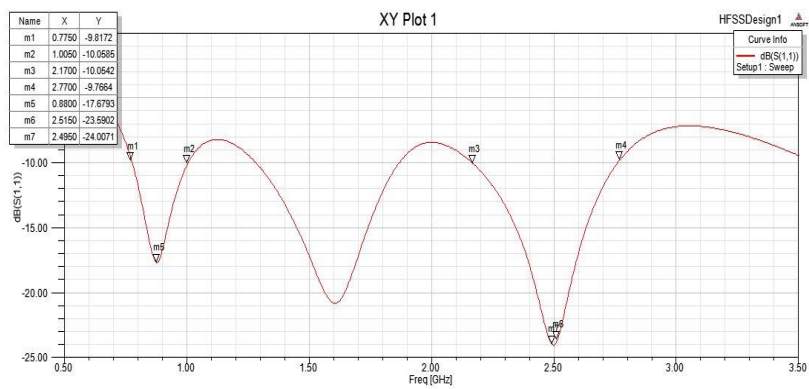


图 3-2 天线的回波阻抗图

如图所示天线实现了三个工作频率，分别为 0.88MHz、1.6GHz、2.49GHz。

3.3 加工与测试

如图 3-3 所示，为三频天线的加工实物图。利用微波暗室和失网分析仪对天线的方向图和回波参数进行实测，结果如下图 3-4 和图 3-5 所示。



图 3-3 三频天线实物图

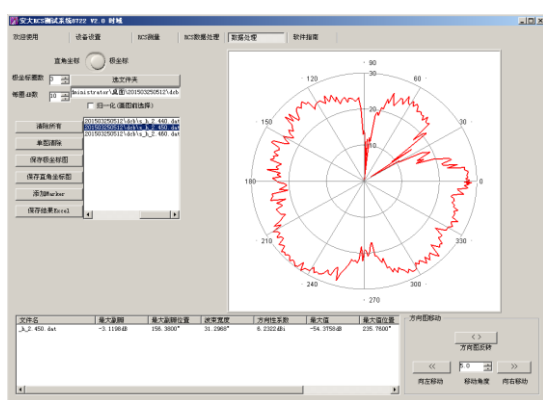


图 3-5 2.45GHz 时天线实测方向图

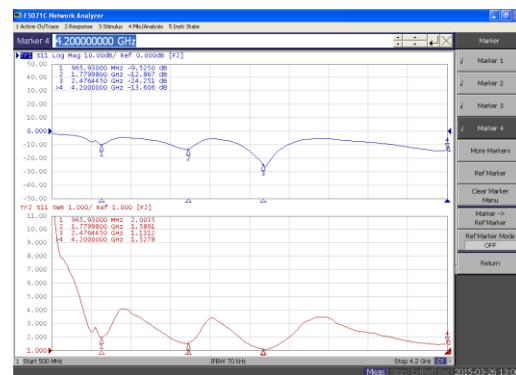


图 3-5 天线实测回波参数

多频天线在很多领域应用越来越迫切。例如在射频技术应用中，现代射频标准有很多，例如工作在 915MHz, 2.45GHz, 5.8GHz 等，要想同时实现两个或以上频段应用必须设计出有两个以上工作频率的天线。再例如，我国移动通信处在 2G, 3G 和 4G 混合应用的年代，很多手机要求能同时工作在 GSM900/1800/2100MHz, GPRS, EDGE, WCDMA 等多种网络类型。

4. 双频 RFID 天线的仿真与优化

4.1 双频 RFID 天线设计指标

射频识别技术 (RFID) 常见的工作频率在超高频时为 860~930MHz，在微波频段常见的频率在 2.45GHz 左右。由此本文设计了一款同时工作于 915MHz 左右和 2.45GHz 左右的双频 RFID 读写器天线，要求天线在较低频率时候的带宽不低于 30MHz，在较高频率时带宽不低于 70MHz，在 915MHz 的增益为 5，在 2.45MHz 的增益为 10。天线的尺寸为 226x188mm。考虑到应用到实际中的成本问题，我们采用较为普遍且价格便宜的 1.2mm 厚度的 FR4 作为介质基板，天线的辐射贴片采用铜片。天线的馈电方式采用同轴线背馈。

4.2 双频 RFID 天线结构

4.2.1 辐射贴片结构

天线的辐射贴片如图 4-1 所示，其中蓝色为部分为开槽部分：

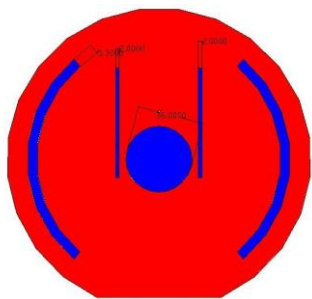


图 4-1 天线模型

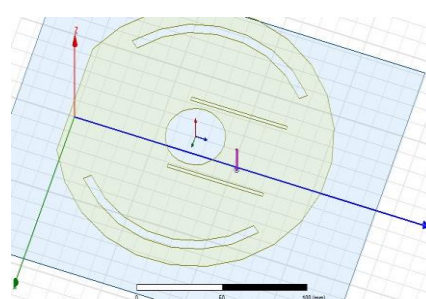


图 4-2 同轴线馈电部分

4.2.2 天线馈电

天线的馈电是连接天线与收发信机之间的电信号能量传输的装置，天线的馈电方式有很多种，在微带天线中，同轴线是应用较为广泛的馈电方式之一。如图 3-2 所示采用的就是同轴线馈电，其中红色柱状就是天线的馈电。

4.3 天线的优化

我们通过调整天线的某些参数可以使天线的性能发生变化。利用 hfss 对天线对天线的一些参数调整，从而得到最优的结果。调整辐射贴片与基板之间空气层 h 的高度从 6mm 到 8mm，调整的步幅为 0.2mm，天线的回波参数如图 4-3 所示；通过调整发现，辐射贴片与基板之间距离在 6mm 到 8mm 之间时对天线的两个工作频率影响较小，但是在高频和低频之间出现了第三个频率。当 h 为 7mm 时，多余频率 s11 低于 10dB，符合要求。调整天线矩形缝隙 ws 的宽度，当 ws 的宽度为 2mm 时天线达到最优。如图 4-4 所示：

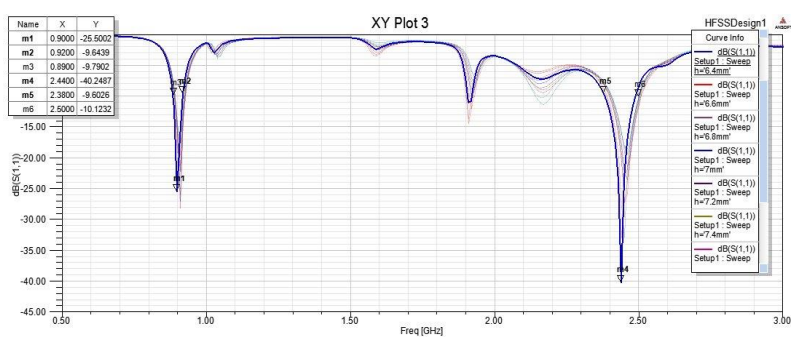


图 4-3 改变 h 天线的回波参数图

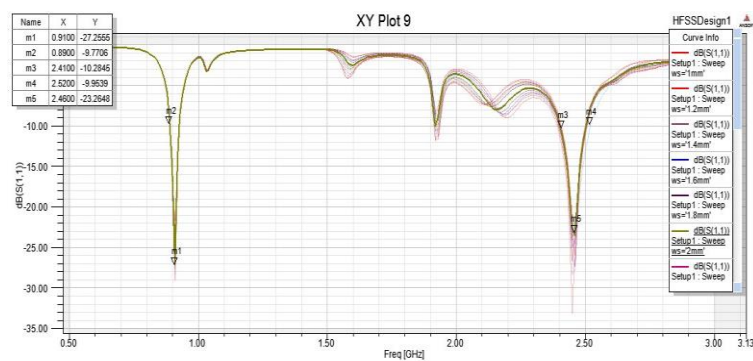


图 4-4 ws 变化对天线性能的影响

如图 4-5 所示，当辐射贴片与基板之间高度为 7mm 时，调整贴片内圆半径 b 从 14mm 到 24mm，当 b 为 18mm 时天线得到最优。当 b 小于 18mm 时对天线中心频率大小影响较小但是降低了其回波参数。当 b 大于 18 时，中心频率发生偏移向中心靠拢。

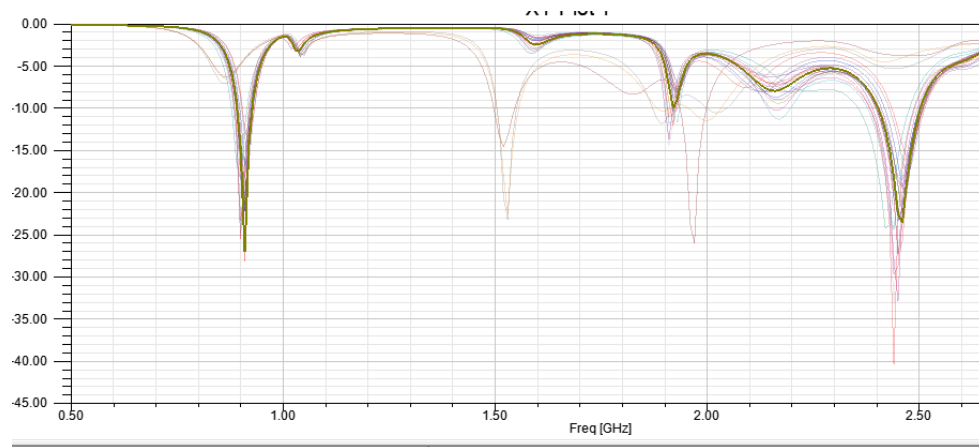


图 4-5 b 对天线的影响

通过优化，得到天线最终尺寸如下表 4-1 所示：

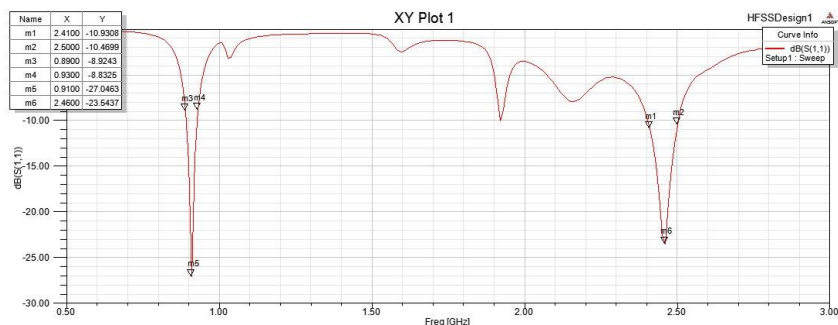
表 4-1 天线最终尺寸

L	W	Rmax	b	ls	ws	X1	Y1
226mm	188mm	83mm	18mm	60mm	2mm	21.5mm	10mm
R1	wa	L1	yp	h	H1	site	
66.5mm	5.3mm	67.5mm	26mm	7mm	1.2mm	100deg	

4.4 天线的各项性能指标

4.4.1 天线的回波损耗

如图 4-6 所示，天线的在低频时中心频率为 910MHz，S11 为-27dB,带宽为 40MHz。天线在高频时中心频率为 2.46GHz，S11 为-23.5dB,天线带宽为 90MHz。



B

图 4-6 天线的回波损耗图

Name	Freq	Ang	Mag	RX
m1	0.9100	85.1382	0.0411	1.0036 + 0.0824i
m2	2.4400	11.1047	0.1193	1.2636 + 0.0589i

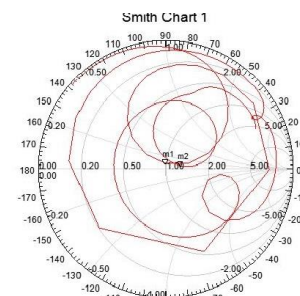


图 4-7 天线的史密斯圆图

4.4.2 smith 圆图结果和输入阻抗

如图 4-7 所示，为天线的 smith 圆图。如图可知，天线在 910MHz 时，归一化阻抗为 $1.0036+0.0824i$ 。天线在 2.44GHz 时的归一化阻抗为 $1.2636+0.0589i$ 。

4.4.3 天线的三维增益方向图

如图所示 4-8 所示为天线的三维增益方向图，如图所示天线的辐射主要在微带贴片的法方向上，即 z 坐标轴方向。

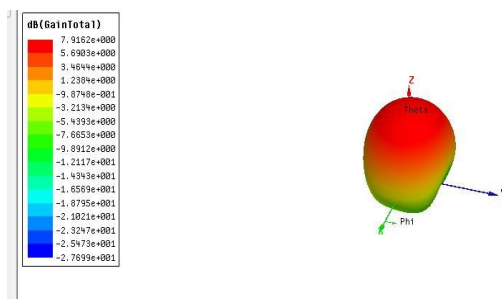


图 4-8 三维增益方向图

4.4.4 E 面增益方向图

E 面也就是最大辐射电场所在平面,对于本设计也就是平行于 xoy 平面的微带天线。如图 4-9 所示为天线在 915MHz 方向图。图 4-10 为天线在 2.45GHz 时的方向图。图 4-11 为天线在 915MHz 时的天线参数计算机结果和最大远场数据计算结果。图 4-12 为天线在 2.45GHz 时的天线参数计算机结果和最大远场数据计算结果。

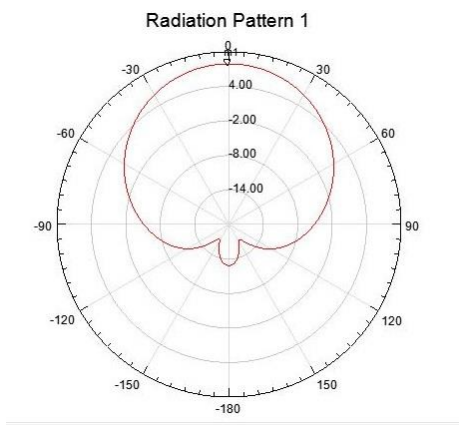


图 4-9 E 面增益方向图

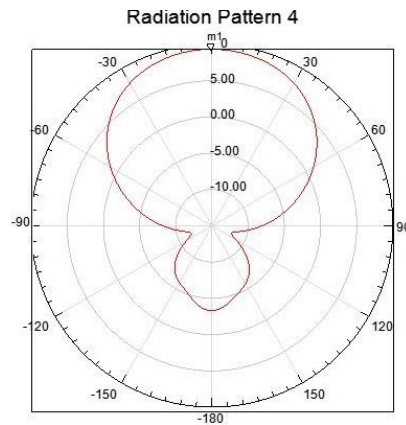


图 4-10 2.45GHz 时的 E 面增益图

如图 4-11 和 4-12 所示,可以得出天线在 915MHz 时,天线的最大增益为 6.189,最大辐射强度为 0.48749w/sr,方向性系数为 6.2095。天线在 2.45GHz 时,天线的最大增益为 11.342,最大辐射强度为 0.89881w/sr,方向性系数为 11.189。天线的仿真结果符合预期。

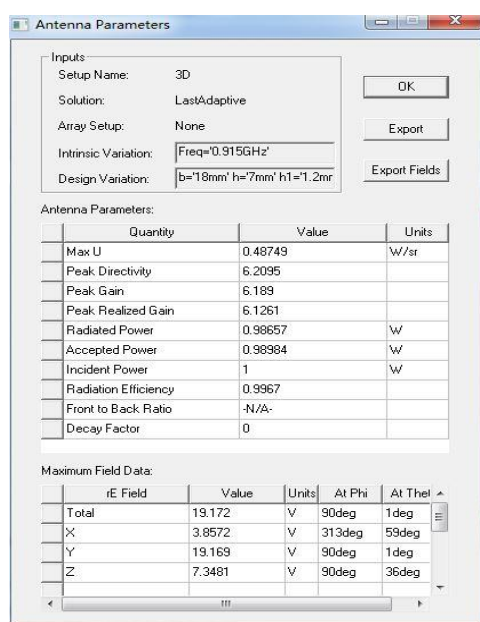


图 4-11 915MHz 时天线参数最大远场数据计算结果

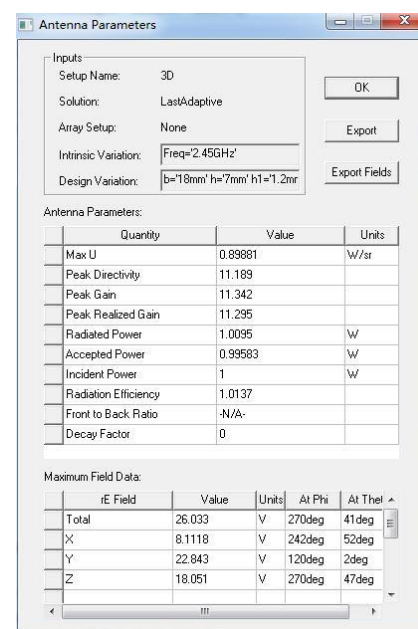


图 4-12 2.45GHz 时天线参数最大远场数据计算结果

5.天线的加工、测试、调试、误差分析和改进

5.1 天线实物的加工、测试、

考虑的成本问题,本设计采用材料是较为便宜和普遍的铜箔和 1.2mm 介电常数为 4.4 的 FR4 单面覆铜板材。天线的辐射部分为铜箔,利用激光雕刻机对铜箔进行切割,开槽从而得到辐射贴片。天线的馈电采用的是同轴线背馈,匹配负载的匹配阻抗为 50 欧姆。由于辐射贴片与基板之间时空气层,考虑到实验环境,我们用泡沫对代替空气层,对贴片起到一定的支撑作用。

如图 5-1 所示为天线加工,焊接完成的实物图。利用矢量网络分析仪,对天线的进行实测,测试如图 5-2 所示



图 5-1 天线加工实物图

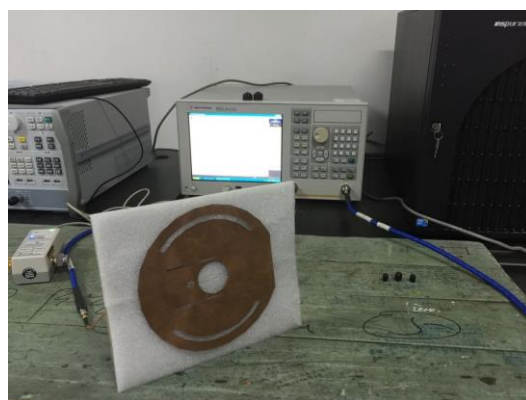


图 5-1 天线加工、焊接完成的实物图

5.2 天线的测试结果

图 5-3 所示为天线实测的回波损耗参数,天线的两个中心频率为 912MHz 和 2.12GHz。图 5-4 所示为矢量网络分析仪测试的实测的驻波比图,如图所示天线在 912MHz 和 2.12GHz 天线的驻波比为分别为 1.19 和 1.44 天线的反射率低于 4%,符合天线能量反射损耗的要求。

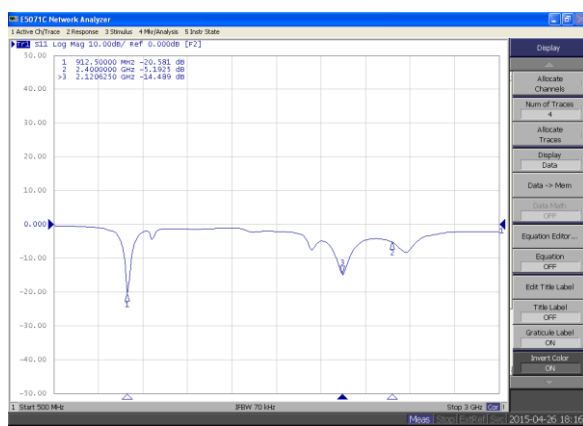


图 5-3 天线回波损耗



图 5-4 天线的驻波比

5.3 天线的误差分析

通过对双频天线的实际测量，天线在低频时中心频率为 912MHz 符合预期结果。天线在高频时实测中心频率值为 2.12GHz 与预期的 2.45GHz 相差 300MHz。实测时高频结果相差比较大。由此可见该双频天线在低频时抗干扰能力比高频时抗干扰能力强。考虑到天线辐射贴片为铜片容易变形且在现有的实验室条件下对其加工时尺寸会存在一定的误差。同时在设计时，天线在设计时辐射贴片与基板之间存在空气层，考虑到实验室环境利用同等高度的泡沫代替空气层对天线起到支撑作用。

在对天线进行实测时，基板与贴片之间空气层用泡沫代替，但是泡沫介电常数比空气略高，通过对泡沫介电常数从 1.1 到 1.5 进行扫描发现随着介电常数增加，高频中心频率向左偏移。介电常数与中心频率关系如表 5-1 所示：

表 5-1 介电常数与中心频率关系

介电常数	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
高频频率	2.32	2.28	2.2	2.12	2.08

另外，在第四章中对天线的优化中发现基板与辐射贴片之间的高度，矩形缝隙宽度 w_s 都会对天线的中心频率有一定影响。在对中心开槽的圆形半径 b 进行扫描时发现当 b 大于 18mm 时天线的两个中心频率在向中心靠拢。而这些尺寸方面的误差都可能会在加工过程中出现，从而使高频频率发生偏差。除此之外，在焊接匹配负载的时候，由于手工的焊接对馈电的位置把握和焊接工艺的偏差都会对加工的天线实物测试结果产生影响。

6. 总结

本文对射频技术进行了总体阐述，对 RFID 技术的发展等做了简单阐述。在理论知识方面首先介绍了天线的各项性能参数，例如：天线的增益、方向性、天线的极化、输入阻抗、驻波比等。随后举例矩形微带天线说明微带天线的工作原理。在第三章中介绍了天线实现多频的方法。在第四章和第五章中设计仿真了一款双频 RFID 微带天线，并对天线进行了加工实测。在论文设计过程中，充分利用了学校的图书资源和检索库的资源，学习了很多相关知识。利用业余时间学习了电磁仿真软件 hfss，能利用仿真软件对天线进行仿真优化。在老师的指导下对天线的实物加工过程有了一定的了解，并在老师的带领下通过矢量网络分析仪对天线进行测试。尽管如此，在整个论文设计中也走了很多弯路，在之前设计仿真得几款天线由于没有考虑到材料的成本和加工的难度，导致难以实现的问题。

参考文献

- [1] 徐志枢. 读写器及天线研究[D]. 北京邮电大学, 2009.
- [2] 刘玺. 双频 RFID 天线和双频功分器设计[D]. 大连海事大学, 2011.
- [3] Wei Lin, Qing-Xin Chu. A Novel RFID Tag Antenna for Matching Complex Impedances on 915MHz and 2.45GHz bands[M]Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference ,2010.
- [4] 杜挺. UHF 超高频电感电容耦合与近场标签天线设计技术的研究[D]. 北京邮电大学, 2009.
- [5] 百度百科（天线与传播词条）[Z]
- [6] 阮晓冬. 一种双馈双频圆极化微带天线设计[D]. 北京邮电大学, 2013.
- [7] 胡爱娟. 双频贴片天线研究与设计[J]. 现代雷达, 2005-2-27(2)
- [8] 杜挺. 缝隙加载双频 RFID 读写器天线设计[J]. 中国电子科学研究院学报, 2007.
- [9] 汪健. GSM_DCS_WLAN 合路器和天线及耦合器的设计[D]. 大连海事大学, 2014.