

文章编号: 2096-1618(2022)02-0155-04

具有共形能力的阻抗可调天线

王 韧¹, 唐 涛², 敬守钊¹, 樊 勇¹

(1. 电子科技大学电子科学与工程学院, 四川 成都 611731; 2. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:设计一个输入阻抗可调的微带偶极子天线, 该天线谐振频率为3.5 GHz, 由两个对称的辐射单元和加载在馈电端口处对称的阻抗调节枝节组成。通过调节两个枝节的长度, 可以实现天线的电感性或电容性的输入阻抗特性。天线采用柔性基板, 能够弯曲, 可以贴附于弧形物体表面。结果显示弯折程度对天线性能有一定的影响。由于该天线的这些特性, 使其能适用于5G系统。

关键词:偶极子; 阻抗调节; 共形; 5G

中图分类号:TN82

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.02.007

0 引言

目前, 全球最有可能优先部署的5G频段为n77、n78、n79、n257、n258和n260, 即3.3~4.2 GHz、4.4~5.0 GHz和毫米波频段26 GHz/28 GHz/39 GHz^[1]。在5G收发系统中, 天线作为终端或者前端设备, 需要和不同器件连接, 有些器件具有非常规的复数阻抗特性, 例如二极管一般表现电容特性^[2-3], 某二极管特性阻抗为 $180-j30\Omega$, 这就要求天线输入阻抗也要具有复数阻抗并能和被连接器件实现阻抗共轭匹配^[4-5]。

根据使用环境不同, 天线有时需要具备共形能力^[6-7], 能够贴附于具有一定弧度的弧形物体表面, 但是弯曲会改变天线的有效辐射面积, 从而改变天线性能^[8]。

本文设计了一款微带偶极子天线, 该天线谐振于3.5 GHz, 谐振频点位于5G频段内。天线主体由两个对称的辐射单元组成, 在馈源端口处加载有两个对称的阻抗调节枝节, 通过改变枝节的长度, 可以使天线呈现电感性或者电容性的输入阻抗, 从而实现该天线与具有不同阻抗特性的5G系统中的元器件之间的阻抗复数共轭匹配。天线基板采用柔性的涤纶树脂 (polyethylene terephthalate, PET), 且厚度仅为0.5 mm, 使其能被弯曲成任意弧度, 可被贴附于弧形物体表面, 实现共形特性。

1 天线结构与结果

天线结构如图1所示, 采用PET作为介质基板, 其相对介电常数为3.8, 损耗角正切为0.02, 厚度为0.5 mm。天线辐射单元长度 $L_1 = 21\text{ mm}$, 宽度 $W_1 =$

2 mm, 馈源端加载的枝节长度 $L_2 = 6\text{ mm}$, 宽度 $W_2 = 2\text{ mm}$, 馈源端口间隙 $G = 1\text{ mm}$ 。

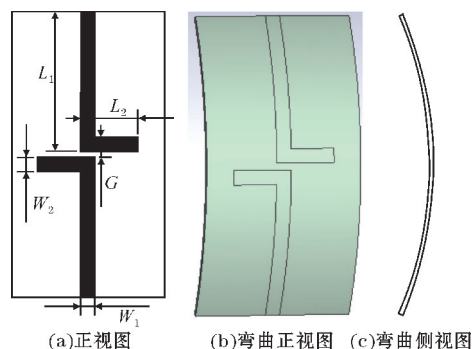


图1 天线结构图

天线采用柔性树脂作为介质材料, 并且厚度仅为0.5 mm, 能够被弯曲, 可以被贴附于圆柱结构的表面。其弯曲后的效果如图1(b)和图1(c)所示。

天线端口处的 S_{11} 如图2(a)所示, 可以看到, 天线的谐振频率位于3.5 GHz附近, -10 dB频带宽度可以达到680 MHz。天线谐振频点处的辐射方向图如图2(b)所示, 呈现标准偶极子的全向辐射特性, 且最大辐射增益为2.31 dBi。

本设计以某二极管特性阻抗作为参考, 该二极管特性阻抗为 $180-j30\Omega$, 根据戴维南等效电路模型^[9-10], 可将其看成源阻抗 $Z_s = R_s + jX_s\Omega$, 源端电压为 U_s , 天线输入阻抗可以看成负载阻抗 $Z_L = R_L + jX_L\Omega$, 此时二极管获取的功率由式(1)计算:

$$P_L = I_L^2 \cdot R_L = \frac{U_s^2}{(R_s + R_L)^2 + (X_s + X_L)^2} \cdot R_L \quad (1)$$

从式(1)可以看到, 只有当设计的天线与二极管阻抗共轭匹配时, 二极管可从天线的感应电压源中获得最大功率^[11-12]。天线的输入阻抗如图3所示, 在

3.5 GHz处,天线的阻抗为 $181+j38\Omega$,与二极管之间能够实现共轭匹配。

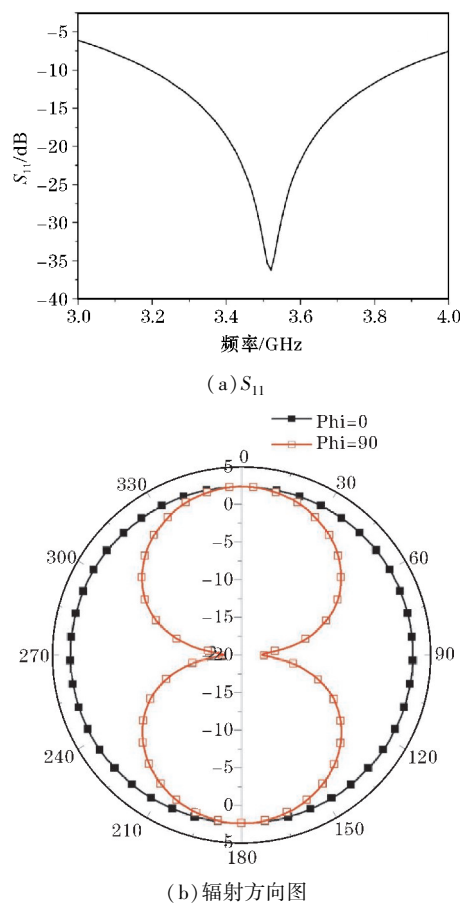


图2 天线 S_{11} 和辐射方向图

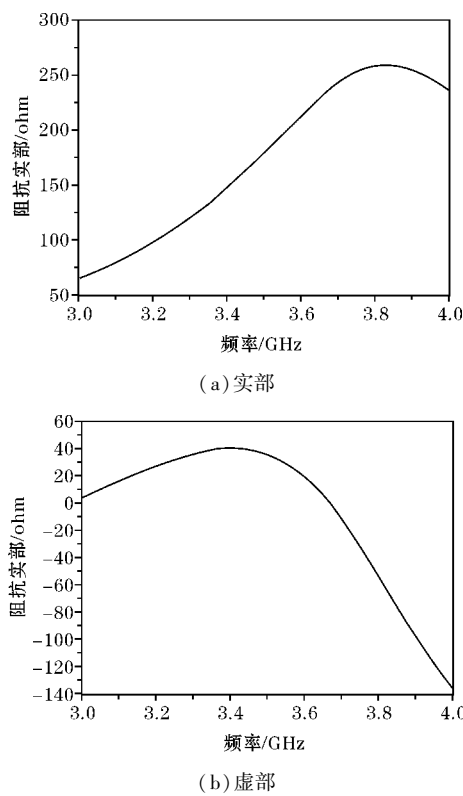


图3 天线输入阻抗

调节馈电端口形式和尺寸结构或者通过加载额外LC谐振电路的方式^[13]等可以调节天线的输入阻抗。例如对于同轴馈电,可以改变探针位置和尺寸来调节阻抗^[14],对于微带线馈电,则可以通过改变馈电微带线的宽度或者加载电感耦合线圈^[15]等方式来实现阻抗调节。

本文通过在馈电端口加载枝节的方式来改变天线的输入阻抗,相比于加载LC电路、耦合线圈等方式,该方法较简单,枝节的尺寸也较容易控制。另外还不用改变天线自身的结构、尺寸等参数。

如图4所示,改变天线端口处的枝节长度可以调整天线的输入阻抗。该枝节长度从2 mm到8 mm变化时,天线3.5 GHz处的输入阻抗具体变化趋势如表1所示。通过改变该枝节长度,可以实现天线输入阻抗感性和容性之间的转换。

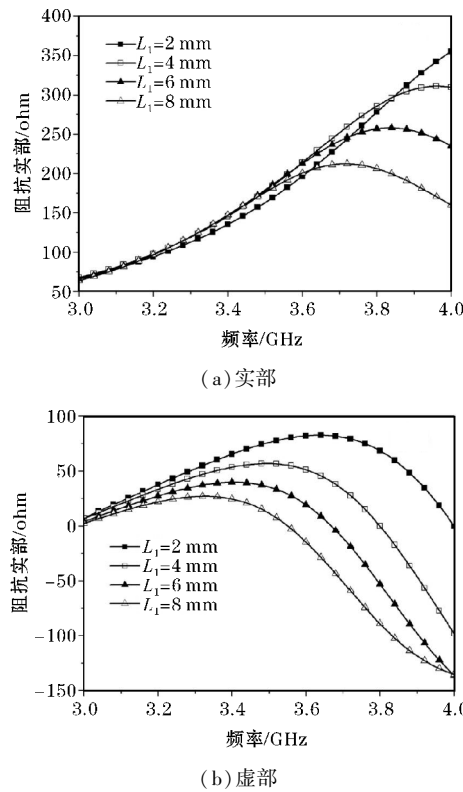


图4 天线输入阻抗调节

表1 天线输入阻抗变化趋势

枝节长度/mm	阻抗实部/ Ω	阻抗虚部/ Ω
2	165	76
4	176	59
6	181	38
8	177	-1

另外,仿真结果显示,改变该枝节长度对天线性能影响不大,天线谐振点在3.49~3.58 GHz变化,并且随该枝节长度增大而减小,天线谐振点的最大增益在

2.31 ~2.64 dBi变化,并且随该枝节长度增大而增大。枝节的加载相当于增加了天线的整体尺寸和有效辐射面积,所以谐振点会下降同时增益会提高。

2 共形特性

天线采用 PET 柔性基板,厚度仅为0.5 mm,可以弯曲并贴附于弧形物体表面。例如,天线可以贴附于圆柱体表面,当圆柱体半径越大,天线弯曲程度越小,反之,天线弯曲程度越大。弯曲会影响天线的等效长度,从而改变天线的性能,并且正面辐射的有效面积也将减小,从而减小前向辐射增益。

天线贴附于圆柱体表面后,其谐振频点和前向辐射增益如图 5 所示。

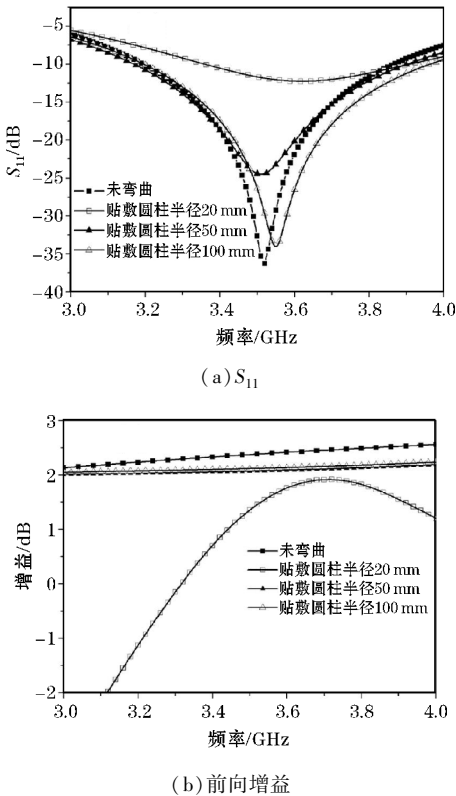


图 5 弯曲的影响

从图 5(a)可知,天线贴附于半径大于50 mm的圆柱体表面,其谐振频点变化仅为0.2 GHz,当圆柱体半径减小到20 mm,其谐振频点增加到3.6 GHz,且工作频带宽度显著减小。也就是说弯曲对天线的谐振频点影响不是很大,但是弯曲会减小天线的工作频带宽度。

从图 5(b)可知,弯曲会减小天线的前向辐射增益,当天线贴附于半径为100 mm和50 mm的圆柱体表面时,天线3.5 GHz处的前向增益分别为2.21 dBi和2.13 dBi。但是当天线进一步弯曲,贴附于半径为20 mm的圆柱体表面时,天线3.5 GHz处的前向增益下

降到1.35 dBi。另外,弯曲对天线输入阻抗的影响如图 6 所示。从图 6 可知,天线阻抗实部随天线弯曲程度增加而增大,阻抗虚部却随天线弯曲程度增加而先减小再增大。

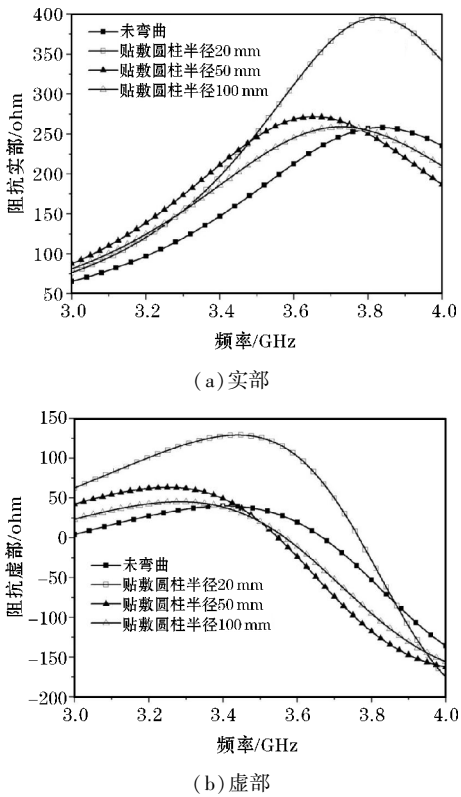


图 6 弯曲对输入阻抗的影响

3 测试结果

使用安捷伦 E5071C 矢量网络分析仪对天线样品进行测试,该矢量网络分析仪具备端口阻抗转换功能,可以测试复数阻抗。

图 7(a)为样品阻抗 Smith 原图测试结果,图 7(b)显示的天线样品尺寸和图 1(a)相同。

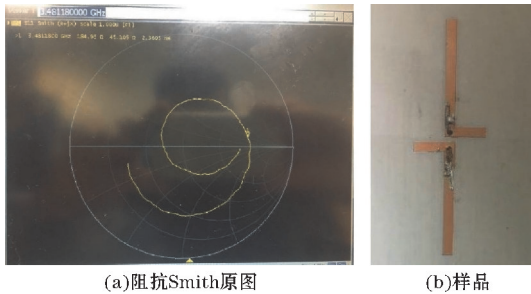


图 7 阻抗测试和样品

从图 7(a)所示的测试结果可知,该天线在 3.48 GHz处,其阻抗为 $185+j45\Omega$ 。比较图 3 的仿真结果可知,天线阻抗测试结果的虚部比仿真结果略大 5Ω 左右,阻抗实部和仿真结果基本一致。考虑到加

工和测试误差,测试和仿真值较为一致。

另外,将天线贴附于不同的圆柱体上进行了阻抗测试,测试值如表 2 所示。比较图 6 可知,天线弯曲后阻抗测试结果变化趋势和图 6 的仿真结果一致。

表 2 天线弯曲输入阻抗测试结果

圆柱体半径/mm	阻抗实部/ Ω	阻抗虚部/ Ω
100	220	18
40	238	19
30	249	118

4 结束语

设计一种阻抗可调的微带偶极子天线,通过调节位于馈源端口处的对称枝节的长度,可以实现天线阻抗电感特性和电容特性之间的转换。该天线使用树脂柔性基板,且厚度仅为 0.5 mm,可以使天线能够被贴附于弧形物体表面,具有共形能力。结果显示,天线谐振于 3.5 GHz 附近,输入阻抗为 $181+j38\Omega$,绝对带宽约为 680 MHz。谐振点的增益为 2.31 dBi,且具有偶极子的全向辐射特性。弯曲后天线的谐振频点变化不大,但是工作带宽将显著下降,并且前向辐射增益也会下降。另外天线弯曲后,其阻抗实部将显著增加,阻抗虚部却随天线弯曲程度增加而先减小再增大。

参考文献:

[1] 3GPP 5G 无线规范(38 系列)[EB/OL]. <http://www.3gpp.org/DynaReport/38-series.htm>,2021-06-16.

[2] 区俊辉,吴宙真,安德烈·安德烈尼克,等.基于 ADS 获取肖特基二极管阻抗的迭代方法[J].微波学报,2017,33(4):74-79.

[3] 马志鹏,周静,陈玉林.由动态伏安特性曲线探

究二极管阻抗特性[J].物理教师,2014,35(7):46-48.

[4] 唐涛,夏运强,宋开军,等.用于射频识别标签天线测试的可调匹配网络[J].电波科学学报,2013,28(2):385-390.

[5] 吴永乐.基于传输线理论的广义史密斯圆图、扩展型阻抗匹配器及多性能功率分配器研究[D].北京:北京邮电大学,2011.

[6] 刘元柱,肖绍球,唐明春,等.共形天线分析综合方法研究进展[J].航空兵器,2011(5):13-18.

[7] 朱松.共形天线的发展及其电子战应用[J].中国电子科学研究院学报,2007(6):562-567.

[8] Tao Tang, Guo Hong Du. A Slim Wideband and Conformal UHF RFID Tag Antenna Based on U-Shaped Slots for Metallic Objects[J]. Progress In Electromagnetics Research C,2013,38:141-151.

[9] 张永瑞.电路分析基础(第三版)[M].3 版.西安:西安电子科技大学出版社,2006.

[10] 武军伟,龚子平,万显荣,等.基于简化实频方法的宽带天线阻抗匹配网络设计[J].电波科学学报,2011,26(2):382-387.

[11] 武岳山.阻抗匹配的种类及其在 RFID 系统中的应用研究[J].现代电子技术,2008(20):21-23.

[12] Qing X M, Goh C K, Chen Z N. Impedance characterization of RFID tag antennas and application in tag co-design[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technology,2009,57(5):1568-1574.

[13] 张桂英,戴宇杰,张小兴,等.天线阻抗的实时检测及自动校正系统设计[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(1):194-201.

[14] 吴东升,赵燕平,曾现祥.基于探针阵列的 RF 天线阻抗测量方法的研究[J].电子测量与仪器学报,2008(5):92-95.

[15] 杨跃胜,武岳山.电感耦合馈电偶极子标签天线阻抗调试分析[J].移动通信,2017,41(18):80-84.

Impedance Adjustable Antenna with Conformal Capability

WANG Ren¹, TANG Tao², JING Shouzhao¹, FAN Yong¹

(1. School of Electronic Science and Engineering, University of Electronic and Science Technology of China, Chengdu 611731, China; 2. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: A microstrip dipole antenna with adjustable input impedance is designed, which resonates at 3.5 GHz and consists of two symmetrical radiating units and symmetrical impedance-adjusting branches loaded at the feed port. By adjusting the length of the two branches, the inductive or capacitive input impedance characteristics of the antenna can be achieved. The antenna uses a flexible substrate that is capable of bending and can be attached to curved object surfaces. The results show that the degree of bending has an effect on the performance of the antenna. These characteristics of the antenna make it suitable for use in 5G systems.

Keywords: Dipole; impedance adjust; conformal; 5G