

# 基于 SAW 无线测温系统的 PIFA 天线设计

张晓新<sup>1</sup>,任珂强<sup>1</sup>,林峰<sup>1</sup>,王健<sup>2</sup>

(1. 沈阳航空航天大学 电子信息工程学院,辽宁 沈阳 110136; 2. 中国广核新能源控股有限公司,辽宁 沈阳 110136)

**摘要:**为实现声表面波(SAW)无线测温系统的最佳接收与传播特性,设计了一种高增益的平面倒F天线(PIFA)。基于倒F天线的原理,通过改变馈点位置和天线的尺寸,实现了在433 MHz附近的陷波特性和仿真显示,天线在427~440 MHz频段内的电压驻波比(VSWR)小于1.5。在433.7 MHz附近输入反射系数 $S_{11}$ 为-26.6 dB,且电压驻波比接近于1,具有良好的增益和匹配特性。该天线不仅结构简单,便于制作,还具有良好方向性和辐射特性。测试结果与仿真结果吻合,符合无线测温系统与SAW传感器的通信要求。

**关键词:**声表面波温度传感器;倒F天线;平面倒F天线(PIFA);HFSS;电压驻波比(VSWR)

**中图分类号:**TN82

**文献标识码:**A

**DOI:**10.11977/j.issn.1004-2474.2018.05.004

## Design of PIFA Antenna for SAW Wireless Temperature Measurement System

ZHANG Xiaoxin<sup>1</sup>, REN Keqiang<sup>1</sup>, LIN Feng<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>2</sup>

(1. College of Electronics and Information Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;

2. China Guang Nuclear New Energy Holdings Co., Ltd., Shenyang 110136, China)

**Abstract:** In order to achieve the optimum receiving and transmission characteristics of SAW wireless temperature measurement system, a planar inverted-F antenna (PIFA) with high gain is designed in this paper. Based on the principle of the inverted F antenna, the band notched characteristics near of the 433 MHz has been realized through changing the feed-point position and the size of the antenna. The simulation result shows that the voltage standing wave ratio (VSWR) of the designed antenna in the band of 427~440 MHz is less than 1.5. At the 433.7 MHz, the input reflection coefficient  $S_{11}$  is only -26.6 dB and the VSWR is close to 1, which has good gain and matching characteristics. The antenna not only has a simple structure and is easy to manufacture, but also has good directionality and radiation characteristics. The test results are in good agreement with the simulation results and meet the communication requirements of the wireless temperature measurement system and the SAW sensor.

**Key words:** SAW temperature sensor; inverted-F antenna; planar inverted-F antenna (PIFA); HFSS; voltage standing wave ratio (VSWR)

## 0 引言

开关柜是一常见的电力设备,主要用于电能转换中的开关、控制与保护等,是电力系统配送中的重要组成部分<sup>[1]</sup>。大多数设备长期超负荷工作在散热较差的密封环境中,易导致柜中母头热量集中,电缆接头过热,断路器工作异常等;又因柜内高压、封闭、强磁场等特殊环境,难以对母头温度进行监控<sup>[2]</sup>。

声表面波(SAW)温度传感器具有谐振频率随温度变化而变化的物理特性。基于SAW传感器的无线测温系统,对解决开关柜内母头温度变化的监控提供了一份最优方案,对系统可靠性有提高。

由于电力柜内强电磁干扰和金属遮挡物等影

响,导致天线接收回波信号的功率随距离的增加迅速下降,使温度信号读取难度增加<sup>[3]</sup>。读取天线作为收发信号的传输通道,能否在不同环境下准确地发送与捕获信号,是成功识别的关键。这就对天线的增益、极化方向等提出了相应的要求,天线设计的好坏将影响系统的性能。

常用于短距离通信中的倒F天线,既有水平极化分量又有垂直极化分量,具有较好的接收效果<sup>[4]</sup>。本文基于倒F天线的原理设计了一个平面倒F天线(PIFA)。通过对参数的分析设计,利用HFSS软件进行模型建立和参数的优化。使用最优参数对天线进行加工制作,并进行多次测试。数据表明与仿

收稿日期:2017-11-07

基金项目:辽宁省自然科学基金指导计划基金资助项目(201602555)

作者简介:张晓新(1975-),男,辽宁丹东人,副教授,硕士生导师,硕士,主要从事电力电子与电机传动、模拟电子信息技术、航空电子信息系统的研究。

真结果一致。最后将其匹配接入到系统中进行实验,观察并分析实验结果。

## 1 天线的设计

### 1.1 设计指标的确定

系统在对柜内触头进行测温时,通常采用2组共6个SAW传感器。为了便于区分,每个传感器的中心谐振频率皆不同,且截止频率互不重叠。因此,设计的天线以433 MHz为中心频率,具有大于6 MHz的带宽和较高的增益,且在传感器使用的频带内,电压驻波比应小于1.3或1.5。考虑到贴片SAW传感器与1个垂直极化的螺旋天线相连接,故在设计时,天线辐射面设计为具有较小辐射角度的垂直极化型。

### 1.2 参数的求解

设计PIFA时,短路金属片与辐射单元的接触面积影响天线的中心频率,当短路金属片宽度 $W_s$ 和辐射单元的宽度 $W_p$ 相等,即 $W_s/W_p=1$ 时<sup>[4]</sup>有

$$\frac{\lambda}{4} = H + L_p \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{c}{f_r} \quad (2)$$

$$f_r = \frac{c}{4(H + L_p)} \quad (3)$$

式中: $c$ 为光速; $\lambda$ 为谐振波长; $f_r$ 为谐振频率; $H$ 为天线的高度; $L_p$ 为辐射单元的长。

在HFSS中建立模型时,将计算所得参数均以变量的形式进行定义,以便后续优化。其中金属使用铜作为材料,暂不考虑厚度,将边界设置为有限导体边界条件。使用内径 $\varnothing 0.25$  mm、外径 $\varnothing 0.59$  mm的同轴馈线对辐射单元进行信号传输,并采用波端口激励的形式。在HFSS里建立模型如图1所示。

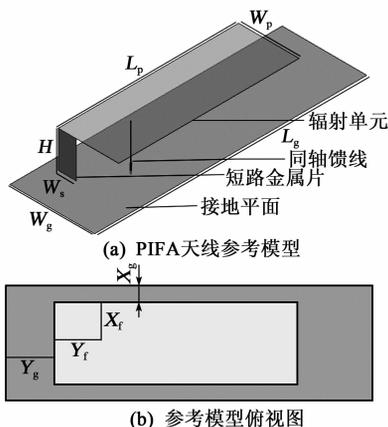


图1 PIFA天线参考模型和俯视图

### 1.3 设计模型

PIFA的基本结构包括接地平面、辐射单元、短路金属片和同轴馈线<sup>[4]</sup>4部分。同轴馈线与辐射面相连接,将信号传送到辐射面进行发射,由于接地平面与辐射面是相互平行的金属片,故接地平面起到反射的作用。

### 1.4 确定优化参数

经过分析优化,得出优化后的设计参数如表1所示。根据表中的参数,在HFSS新建相应的变量并赋值,建立仿真模型如图2所示。

表1 优化后的设计参数

变 量	初始值
辐射单元长度 $L_p$ /mm	145
辐射单元宽度 $W_p$ /mm	50
接地平面长度 $L_g$ /mm	220
接地平面宽度 $W_g$ /mm	60
短路金属片宽度 $W_s$ /mm	50
天线高度 $H$ /mm	29
同轴馈线距辐射边缘的长 $Y_f$ /mm	30
同轴馈线距辐射边缘的宽 $X_f$ /mm	20
辐射单元相对接地平面的长 $Y_g$ /mm	35
辐射单元相对接地平面的宽 $X_g$ /mm	5
同轴馈线内径 $r_1$ /mm	$\varnothing 0.25$
同轴馈线外径 $r_2$ /mm	$\varnothing 0.59$

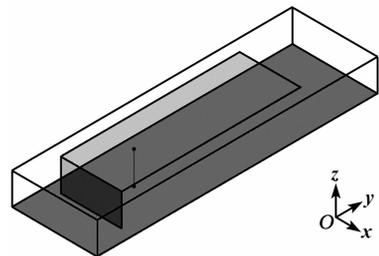


图2 HFSS中使用优化参数建立的仿真模型

## 2 仿真结果分析

### 2.1 输入反射系数 $S_{11}$ 与对比关系图

在当前模型下,设置中心谐振频率为433 MHz,以0.1 MHz为步进,在400~500 MHz频段内进行扫频,得到回波损耗图如图3所示。其中-10 dB的带宽宽度约为22 MHz,符合设计要求。相对带宽为

$$\Delta W = (F_2 - F_1)/F_0 \times 100\% \quad (4)$$

式中: $\Delta W$ 为相对带宽; $F_2$ 为-10 dB带宽的最高频率; $F_1$ 为-10 dB带宽的最低频率; $F_0$ 为中心频

率。将图 3 的  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$  依次代入式(4)的  $F_0$ 、 $F_1$ 、 $F_2$  中,可得该天线是相对带宽为 5.1% 的窄带天线。

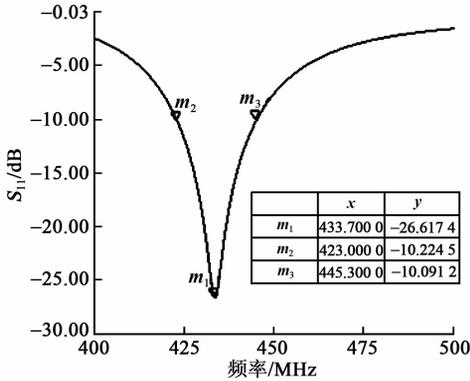


图 3 输入反射系数  $S_{11}$

PIFA 增加 -10 dB 带宽最好方法就是增加天线高度  $H$ 。对  $H$  进行优化设置,通过仿真分析得到  $H$  对  $S_{11}$  和 -10 dB 带宽的影响,如图 4 所示。由图可看出, $H$  的变化对增加 -10 dB 带宽和  $S_{11}$  的中心频率均有影响。当  $H$  越小, -10 dB 阻抗带宽越宽;当  $H$  越大,中心点的  $S_{11}$  越小。所以,设计时需对优化变量进行分析,当  $H=29$  mm 时符合设计的要求。

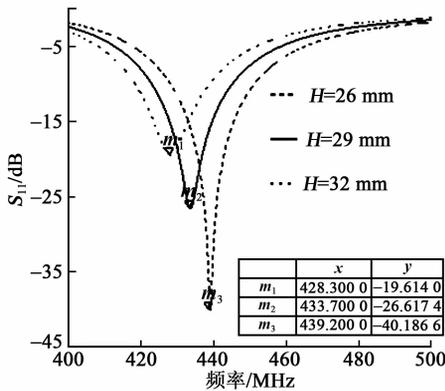


图 4 高度  $H$  对  $S_{11}$  和 -10 dB 带宽的影响

### 2.2 电压驻波比和天线的辐射方向图

电压驻波比反应了馈线和天线的阻抗匹配,可近似为阻抗带宽,在设计前用于划定高效的工作范围<sup>[5]</sup>。通过仿真分析得到天线的电压驻波比如图 5 所示。最低点的频率为 433.7 MHz,其电压驻波比为 1.097 9。在 427.1~440.7 MHz 频带内,电压驻波比均小于 1.5,反射功率小于 4%。所以,天线的设计符合初期指标的要求,具有良好的传输特性与匹配特性。

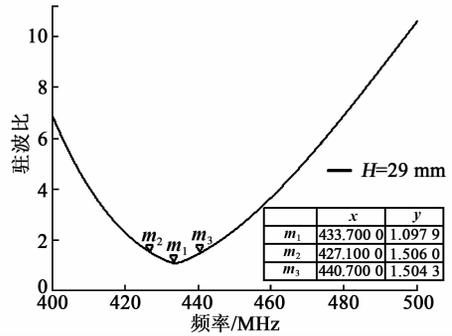


图 5 天线的电压驻波比图

为了得到最好的传输特性,需将天线与传感器天线的极化方向一致<sup>[6]</sup>。本文使用的 SAW 传感器与收发天线均被设计为垂直极化型。将传感器置于天线最大辐射方向上。图 6 为天线辐射方向图。由图可看出,天线的辐射单元在  $-37^\circ \sim 50^\circ$  内具有良好的增益,在  $-27^\circ \sim 38^\circ$  内具有较高的增益,满足设计要求,且具有良好的方向性。在工程中可使用 2 个平行放置的 PIFA,分别同向置于柜内两侧。调校角度,将 SAW 传感器置于天线最大辐射交界处,可获得更好的效果。

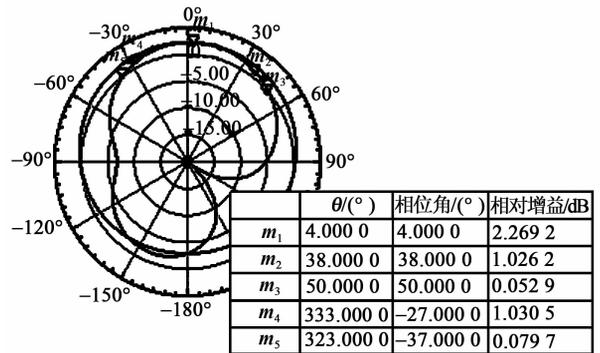


图 6 天线的辐射方向图

### 3 实验结果与分析

图 7 为制作的天线实物图。实验用直接数字频率合成器(DDS)输出的 13.56 MHz 信号,经锁相环(PLL)进行 32 倍频,产生 433.92 MHz 的高频信号,再在末端加上 32 dB 的增益和功率放大器与天线相连。用 MDO-4104 示波器等直接检测输出信号平均幅值和相对信号强度约为 10 V 和 11.7 dB,对天线进行距离与幅值的测试,所得结果如表 2 所示。通过与普通杆状天线和小型微带天线相比较,本文设计的 PIFA 天线具有更好的传输特性。由表 2 可知,制作的天线符合预期要求,后期需对输出端的两级增益进行最佳匹配,使天线能达到最佳效果。

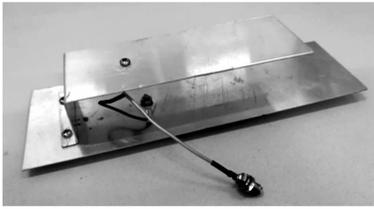


图7 制作的天线实物图

表2 测量距离与幅值和相对信号强度的关系

测量距离/m	平均幅值/V	相对信号强度/dBm
1.0	0.106	-6.48
0.9	0.158	-3.02
0.8	0.240	0.61
0.7	0.284	2.08
0.6	0.358	4.09
0.5	0.470	6.45
0.4	0.530	7.49
0.3	0.728	10.25
0.2	1.180	14.45
0.1	3.800	24.60
0	7.120	30.00

#### 4 结束语

通过仿真和实验对比分析,设计了以 433 MHz 为中心频率的 PIFA,在频带内具有良好的传输特性和穿透特性。其频带范围涵盖了工程中各个 SAW 传感器的频率,并具有较高的增益,符合系统的设计要求。实验中也发现,输出端与天线的匹配

对天线能否达到最大传输功率有很大的影响。文献 [7]中介绍了如何将 SAW 传感器的 Mason 等效电路模型和分布式电容进行阻抗匹配,从而使传感器得到最大传输功率和传输距离。后续会对系统进行相关的改进,并在不同的工作环境下进行多重测试,得出相关数据,以便更好地检验工程的可靠性。

#### 参考文献:

- [1] 龚贻文. 声表面波温度传感器及其通信天线的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2012.
- [2] 郭珂君,彭斌,张万里. 一种声表面波无线传感器的小型化微带天线[J]. 传感技术学报,2013,26(10):1453-1456.
- [3] 陈子建. 声表面波无源无线温度采集器硬件设计[D]. 成都:电子科技大学,2014.
- [4] 李明洋,刘敏,杨放. HFSS 天线设计[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
- [5] 王泽东. 宽频带定向天线及强耦合阵列天线研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2016.
- [6] 徐凯. 一款 WiFi 频段八木天线的设计与实现[J]. 物联网技术,2016(1):44-46.
- [7] 齐本胜,赵盼,韩燕,等. 无线无源声表面波传感器的天线匹配方法[J]. 压电与声光,2016,38(1):51-54.
- QI Bensheng, ZHAO Pan, HAN Yan, et al. The antenna matching method of wireless passive surface acoustic wave sensors[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2016,38(1):51-54.
- als, 2003, 34(1):9-12.
- [7] NAUMENKO N, SOLIE L. Optimal cuts of langasite,  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  for SAW devices[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, MAR, 2001, 48(2):530-537.
- [8] 武以立. 声表面波原理及其在电子技术中的应用[M]. 北京:国防工业出版社,1983.
- [9] MU Xiaoxing, KROPELNICKI P. Dual mode acoustic wave sensor for precise pressure reading[J]. Appl Phys Lett,2014, 105(11):113507-1-113507-5.
- [10] BARDONG J, AUBERT T, NAUMENKO N, et al. Experimental and theoretical investigations of some useful langasite cuts for high-temperature SAW applications[J]. IEEE Transaction on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control,2013,60(4):814-823.

(上接第 652 页)

- [3] DA C M P, LAD R J, MOONLIGHT T, et al. Recent advances in harsh environment acoustic wave sensors for contemporary applications [C]//New York, USA: IEEE Sensors, 2011:614-617.
- [4] ZHANG Shujun, YU Fapeng. Piezoelectric materials for high temperature sensors[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2011, 94(10): 3153-3170.
- [5] BULST W E, FISCHERAUER G, REINDL L. State of the art in wireless sensing with surface acoustic waves [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2001, 48(2): 265-271.
- [6] 王继扬,韩荣江,尹鑫,等. 硅酸镓镧晶体研究进展[J]. 功能材料,2003, 34(1):9-12.
- WANG Jiyang, HAN Rongjiang, YIN Xin, et al. Research progress of  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  [J]. Functional Materi-