

# 太阳能电池作为天线辐射体的 RFID 标签天线的设计

马建欢<sup>1</sup>, 李建雄<sup>1</sup>, 肖康<sup>1</sup>, 张世林<sup>2</sup>, 毛陆虹<sup>2</sup>

(1. 天津工业大学 电子与信息工程学院, 天津 300387; 2. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 利用 HFSS v12 软件设计了一种太阳能电池作为天线辐射体的 RFID 电子标签天线. 利用太阳能电池的射频特性, 将太阳能电池作为天线的辐射贴片. 因此太阳能电池既可以提供能源, 也可以发送和接收电磁波; 提出的天线为多层结构, 采用 H 形缝隙耦合馈电方式, 可以较容易实现宽频谐振以及天线与芯片的阻抗匹配; 给出了该天线的仿真结果, 仿真结果表明天线性能良好, 满足 RFID 应用要求.

**关键词:** 射频识别; 标签天线; 太阳能电池; 微带天线; 缝隙耦合

**中图分类号:** TP391.44      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-024X(2013)01-0057-04

## Design of RFID tag antenna with integrated solar cell as antenna radiator

MA Jian-huan<sup>1</sup>, LI Jian-xiong<sup>1</sup>, XIAO Kang<sup>1</sup>, ZHANG Shi-lin<sup>2</sup>, MAO Lu-hong<sup>2</sup>

(1. School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** The RFID tag antenna with integrated solar cells as antenna radiator is designed by software HFSS v12. Using the RFID properties of the solar cells, the radiating patch element of a planar antenna is replaced by a solar cell. The original feature of a solar cell remains, but additionally the cell is now able to receive and transmit electromagnetic waves. The structure with multiple layers and H-shaped aperture coupled is used to achieve broadband as well as the match between the antenna and chip. Simulations are given to verify present design, and the results show that the designed antenna with good performance is satisfied for RFID application.

**Key words:** radio frequency identification(RFID); tag antenna; solar cell; microstrip antenna; aperture coupled

射频识别(radio frequency identification, RFID)技术是一种通过无线射频方式进行非接触双向数据通信, 从而对目标进行识别并获取相关数据的技术<sup>[1]</sup>. 它由于精度高、读取距离大、读写速度快、存储数据容量大、适应能力强等许多优点, 得到了广泛的关注. 近年来, RFID 技术发展迅速, 应用于多个领域. 一个完整的 RFID 系统包括读写器、电子标签以及数据管理系统 3 个部分. 在 RFID 系统中, 根据电子标签是否需要加装电池及电池供电的作用, 电子标签主要分为无源标签、半有源标签和有源标签. 无源标签不附带电池, 依靠阅读器的射频信号提供能量使其工作; 半有源标签装有电池, 但电池仅对标签芯片工作所需的电压做辅助支持, 用于传输通信的射频能量源自阅读器; 有源标签具有外置的电池, 其工作电源完全由内部电池

供给. 无源标签有着成本低和大规模生产的优点, 缺点是由于功耗所限, 电路规模不能太大, 如果附加电路功能如传感器功能, 将会使通信距离变短. 有源标签和半有源标签因增加了外置的电池, 导致其增加了制作工艺的复杂度; 由于电池对标签天线的辐射特性有影响, 所以要求电池与天线有足够大的距离, 从而使得标签整体的面积较大; 并且当普通电池能量耗尽时需更换电池, 增加了使用过程中的复杂度, 而且普通电池还会造成一定程度的环境污染. 为了解决上述标签目前所存在的问题, 本文设计了一种太阳能电池作为天线辐射体的 RFID 电子标签天线. 一方面, 在采用电池供电的电子标签中, 天线和电池是标签芯片 2 个仅有的外围元件, 利用太阳能电池的射频特性, 把这 2 个元件合二为一, 将太阳能电池作为贴片天线的

收稿日期: 2012-09-27      基金项目: 国家自然科学基金项目(61072010)

第一作者: 马建欢(1987—), 女, 硕士研究生.

通信作者: 李建雄(1969—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师. Email: lijianxiong@tjpu.edu.cn

辐射体,缩小了标签整体的面积,减少制作工艺的复杂度,降低了标签的制造成本;另一方面,由于太阳能电池的使用,使有源标签和半有源标签可以长期工作而不需要更换电池,避免了因使用普通电池造成的环境污染,提高了标签的使用寿命,并且增加了通信距离.

## 1 设计原理

### 1.1 微带天线简介

工作在超高频(UHF)频段的标签天线,通常是偶极子天线或微带天线.微带天线因其体积小、剖面低、易集成、造价低等特点以及良好的性能受到广泛的关注,特别是在无线移动终端设备中更是显现了其特有的优越性.微带天线的结构多种多样,但基本形式通常是由一矩形或方形的金属贴片置于接地平面上一片薄层电介质表面所组成,如图 1 所示.

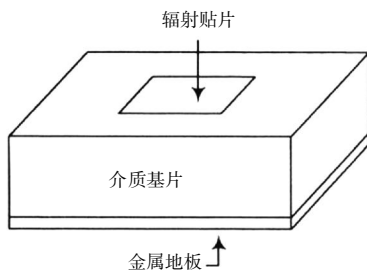


图 1 微带天线的基本结构  
Fig.1 Basic structure of microstrip antenna

微带天线的馈电方式可以分为微带线馈电、同轴线馈电和电磁耦合型馈电.20 世纪 80 年代以来出现了多种电磁耦合型馈电方式,其结构上的共同特点是贴近(非接触)馈电,可利用馈线本身,也可通过一个口径(缝隙)来形成馈线与天线间的电磁耦合.因此也可统称为贴片式馈电.这对于多层结构的层间连接问题,是一种有效的解决方法,并且大多能获得宽频带的驻波比特性<sup>[2]</sup>.缝隙耦合型馈电方式的基本结构是:贴片印制在天线基片上,然后放置在刻蚀有微带馈线的馈源基片上,二者之间有一个带有缝隙的接地板,微带线通过此缝隙来对贴片馈电.为了使太阳能电池与天线更好的融合,本设计采用缝隙耦合型馈电方式.

### 1.2 太阳能电池的射频特性

太阳能电池有 2 个极板,其电学特性表现为一个电压受限的电流源.已有文献<sup>[3]</sup>提出将太阳能电池引入到平面天线中,而且经过大量实验证明,太阳能电池在超高频频段,相当于一个面积同等大小的金属板,图 2 和图 3 所示为两者之间的复阻抗和相位角的

对比图<sup>[4]</sup>.由图 2、图 3 可以看出,在频率达到 100 MHz 以上后,金属板和太阳能电池的复阻抗的幅度和相位角基本相同,而本文所研究的天线为超高频 RFID 标签天线,所设计的天线工作频率为 915 MHz,所以在此频率下,太阳能电池可以作为微带天线的贴片.

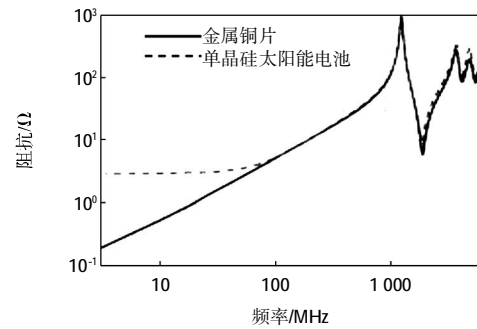


图 2 金属铜板和太阳能电池的阻抗比较  
Fig.2 Impedance of a solar cell compared to copper patch

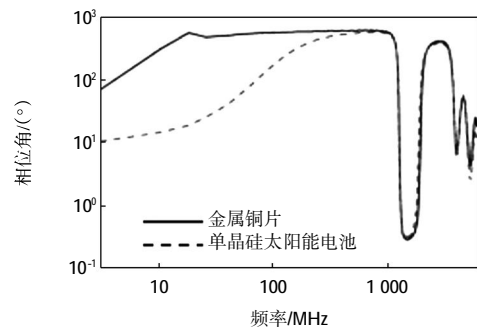


图 3 金属铜板和太阳能电池的相位角比较  
Fig.3 Phase angle of a solar cell compared to copper patch

利用太阳能电池的射频特性,太阳能电池可以作为标签天线的贴片,这样使得太阳能电池和标签天线结合为一个器件.当在有源模式即有光的情况下,太阳能电池不仅仅作为标签天线的贴片,而且将太阳能转化成电能为标签芯片提供能量,使其激活,解决了传统无源 RFID 标签因距离过远无法激活芯片的困难.当在无源模式下即无光的情况下,太阳能电池仅作为一个标签天线的贴片接收电磁波信号,使得标签当作普通的无源标签来使用.

## 2 设计方案

本文的设计目标是提出一种天线,将太阳能电池与天线合为一体,并且太阳能电池作为微带贴片接收电磁波.本设计选择 EM 公司生产的 EM4324 标签芯片,查阅标签芯片 EM4324 的电气性能参数可知,芯片在 915 MHz 时的阻抗值为  $Z_c=14.5-j166.5 \Omega$ , 根据共

匹配原理, 所设计的天线的阻抗值应为  $Z_a=14.5+j166.5 \Omega$ .

## 2.1 天线结构

本文所设计的太阳能电池作为天线辐射体的 RFID 标签天线的结构如图 4 所示.

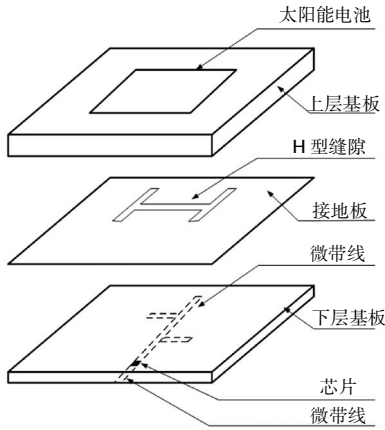


图 4 天线的结构图

Fig.4 Geometry of proposed antenna

天线包含 2 层介质板, 按照自上往下的顺序, 第 1 层基板为辐射基板, 上面覆有太阳能电池, 2 层基板中间是刻有 H 形缝隙的接地板, 第 2 层基板为馈电层基板, 其下表面有微带馈线和芯片.

## 2.2 参数选择

在对天线进行建模仿真优化之前, 需要确定其原始尺寸. 通常的方法是根据性能参数的要求, 由经验公式反推或者直接根据工程曲线和工程经验确定.

首先根据给定的工作频率 915 MHz 和技术指标选取适当的介质基板并确定其厚度. 这是因为基板材料  $\epsilon_r$  及其厚度  $h$  直接影响着微带天线的一系列性能指标. 品质因数  $Q$  的表达式为:

$$Q = \frac{c\sqrt{\epsilon_r}}{4f_r h} \quad (1)$$

式中:  $c$  为真空中光速;  $\epsilon_r$  为基质材料的相对介电常数;  $f_r$  为工作频率;  $h$  为基片厚度.

为了有效地降低微带天线的品质因数  $Q$  值、增大带宽、提高增益, 必须选择低介电常数、高厚度的辐射基板. 但当基板厚度过大时, 又容易在贴片表面激励起不必要的高次模和伪辐射, 从而又使天线的效率降低. 因此只有适当的增加基板厚度才会对天线的性能有益.

上层基板板的参数影响天线的阻抗带宽, 介电常数越低, 厚度越厚, 天线频带就越宽, 但是厚度的增加会使贴片与缝隙之间的耦合减弱, 表面波增强, 因此在选择上层基板参数时需要综合考虑这 2 种因素的影响, 下层介质板一般采用较薄的高介电常数介质

板, 来增强介质对场的束缚从而减小后向辐射.

替代辐射贴片的太阳能电池边长决定天线的谐振频率, 但是缝隙的耦合使其谐振长度与理论值  $\lambda_g/2$  ( $\lambda_g$  为微带中的导波波长) 有较大的偏移, 因此贴片尺寸需要与缝隙尺寸一起进行设计.

本设计采用 H 形缝隙耦合馈电方式, H 形缝隙较之其他形状的缝隙可以获得更大的耦合量. 大量文献表明, H 形缝隙耦合馈电容易实现宽频谐振和良好的交叉极化性能, 而且由于馈线和辐射贴片被基质分开, 馈线的寄生辐射对方向图干扰很小<sup>[9]</sup>. 可以通过调节 H 形缝隙的尺寸和微带线的长度来改善天线的阻抗匹配特性, 实现宽带谐振<sup>[6]</sup>. 采用缝隙长度比贴片长度稍小的矩形耦合细缝, 一般可以获得满意的匹配效果, 通常选择长度和宽度之比为 10:1. 此规律对于 H 形缝隙的中间部分依然适用. 两端部分长度和宽度均为中间部分的 1.5 倍, 从而基本确定 H 形缝隙的尺寸. 值得注意的是, 缝隙中心距离贴片中心的距离对耦合性能的影响是很大的.

底层馈线宽度过宽会增加不必要的耦合, 过窄则会受到加工精度的限制, 本设计选择 3 mm 的微带线. 在微带线上增加了 2 个开路短截线, 从而增加天线带宽.

标签芯片的正极和负极分别与太阳能电池的正极和负极相连, 标签芯片的射频输入端与天线的微带线相连. 由于电池与芯片不在同一个平面, 需要在 2 层基板上打过孔, 并在下层基板上走线, 完成两者的连接.

## 3 仿真结果

本文在仿真软件 HFSS v12 的辅助下, 设计了一个工作频率在 915 MHz 的太阳能电池天线. 根据天线的尺寸及谐振频率要求来选择合理的天线板材及结构参数, 此处选择厚度  $h_1 = 3 \text{ mm}$ 、介电常数  $\epsilon_{r1} = 3.8$  的材料作为辐射基板, 选择厚度  $h_2 = 1 \text{ mm}$ 、介电常数  $\epsilon_{r2} = 4.5$  的材质作为馈电基板. 如图 5 所示, 其他结构参数如下:  $W_j = 120 \text{ mm}$ ,  $W = 70 \text{ mm}$ ,  $L_a = 30 \text{ mm}$ ,  $L_b = 48 \text{ mm}$ ,  $W_a = 1 \text{ mm}$ ,  $W_b = 1 \text{ mm}$ ,  $L = 80 \text{ mm}$ ,  $W_f = 80.6 \text{ mm}$ .

图 6 所示为通过 HFSS 仿真得到的太阳能电池作为天线辐射体的 RFID 标签天线的  $S_{11}$  图.

由图 6 可见, 天线在 915 MHz 处谐振, 谐振点处的  $S_{11}$  是 -38.54 dB, 且 -10 dB 带宽为 91 MHz.

图 7 所示为阻抗仿真图.

由图 7 可知, 天线在 915 MHz 时的阻抗值为  $Z_a = 18.33+j165.58 \Omega$ . 已给出芯片在 915 MHz 时的阻抗值

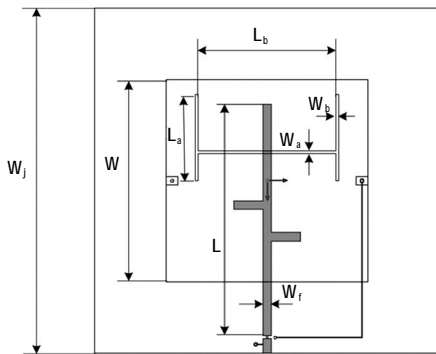


图 5 天线的尺寸图  
Fig.5 Size of antenna

名字	$\theta$	相位	幅值
m1	0.000 0	0.000 0	0.378 0

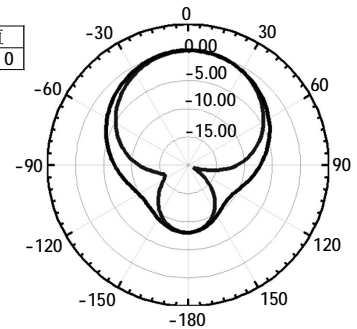


图 8 天线的增益图  
Fig.8 Gain of antenna

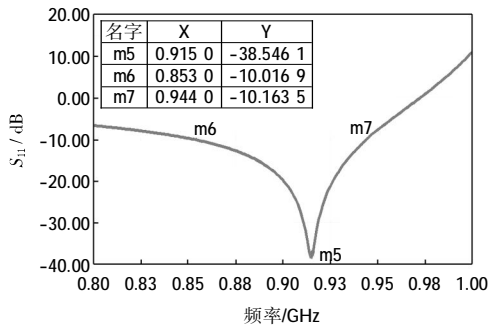


图 6  $S_{11}$  仿真图  
Fig.6 Return loss of antenna

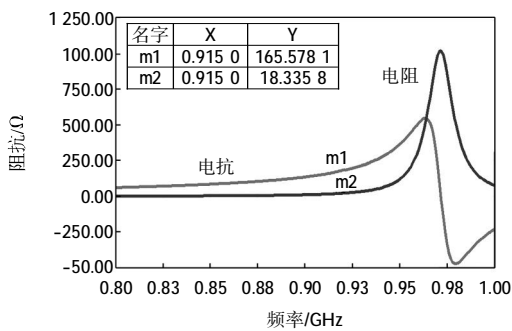


图 7 阻抗仿真图  
Fig.7 Impedance of antenna

为  $Z_c = 14.5 - j166.5 \Omega$ , 所以标签天线和标签芯片基本达到阻抗匹配。

图 8 所示为太阳能电池作为天线辐射体的 RFID 标签天线的增益图. 由图 8 中可见, 天线的峰值增益为 0.378 dB, 天线效率为 27.4%.

#### 4 结 论

本文利用太阳能电池的射频特性, 设计了一种太阳能电池作为天线辐射体的标签天线, 使得太阳能电池和标签天线结合为一个器件. 太阳能电池既可以为标签芯片提供能源, 又可以作为贴片天线接收电磁波信号. 利用仿真软件 HFSS v12 对影响天线的关键参数进行仿真, 从仿真结果可以得出, 谐振频率在 915 MHz, 标签天线与芯片阻抗匹配良好, -10 dB 带宽为 91 MHz. 与普通有源标签相比, 该标签缩小了标签整体的面积, 避免了因使用普通电池造成的环境污染, 并且增加了通信距离.

#### 参考文献:

- [1] 胡汝刚. UHF 频段射频识别系统天线研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [2] EUNNI M B. A novel planar microstrip antenna design for UHF RFID[D]. India: Madras University, 2004.
- [3] VACCARO S, MOSIG J R, MAAGT P D. Two advanced solar antenna "SOLANT" designs for satellite and terrestrial communications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(8): 2028-2034.
- [4] NORBERT H, HENNING F, BENDEL C, et al. Planar antennas with photovoltaic solar cells for mobile communications[J]. Frequenz, 2005, 59(3): 77-83.
- [5] RATHI V, KUMAR G, RAY K. Improved coupling for aperture coupled microstrip antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1996, 44(8): 1196-1198.
- [6] 王泽美, 潘雪明, 鄢泽洪, 等. 一种 H 形槽耦合的 Ku 波段宽频带微带天线[J]. 雷达科学与技术, 2005, 3(5): 317-320.