

可用作功率放大器中电感的 RFID 标签天线的设计

于毅敏¹, 李建雄¹, 曲海涛¹, 毛陆虹²

(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: 提出一种小型化的、谐振频率为 2.45 GHz 的 RFID 标签天线的设计方法, 标签天线被设计作为差分功率放大器(PA)的谐振电感。由于使用 PCB 偶极子天线代替两个片上的集成电感, 总的放大器芯片面积降低到 $240\ \mu\text{m} \times 70\ \mu\text{m}$ 。对该天线进行理论计算和实物测试, 结果显示实物标签天线谐振频率为 2.45 GHz, PA 工作于 AB 类型, 供电电压为 1.8 V, 输入信号频率为 2.45 GHz, 在 1 dB 压缩点处 PA 输出功率为 8 dBm。

关键词: 射频识别; 标签天线; 功率放大器; 谐振电感

中图分类号: TN722.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-024X(2013)06-0072-04

Design of RFID tag antennas used as inductors in PA

YU Yi-min¹, LI Jian-xiong¹, QU Hai-tao¹, MAO Lu-hong²

(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: A small 2.45 GHz radio frequency identification (RFID) tag antenna is presented. The RFID tag antenna is designed as a resonance inductance of the differential power amplifier (PA). The total PA chip area is reduced greatly to only $240\ \mu\text{m} \times 70\ \mu\text{m}$ due to the fact that a printed circuit board (PCB) dipole antenna substitutes for the two on-chip integrated inductors. The proposed design methodology is verified by comparing the calculations and measurements, which show the tag antenna works at 2.45 GHz. Operating in Class-AB with a 1.8 V supply voltage and 2.45 GHz input signal, the PA shows an output power of 8 dBm at the 1 dB compression point.

Key words: RFID; tag antenna; power amplifier (PA); resonance inductance

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。它具有精度高、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^[1-3]。在设计功率放大器(power amplifier, PA)过程中, 线性度和芯片面积通常是最重要的影响因素。为了实现最优的 PA 设计, 现今涌现出许多高集成的、高线性度的 PA 产品, 然而, 在这些 PA 产品的设计过程中, 基本都是应用片上或片外的射频电感来作为其电路的组成部分^[4-5]。由于片上的射频电感会占用很大的芯片面积, 进一步增加生产制造成本; 而片外的射频电感会导致较低的芯片集成密度。综上所述, 如何减小 PA 芯片上

射频电感占用面积, 从而设计出总面积更小、集成度更高的 PA 芯片, 成为一个热点问题。本文提出了一种偶极子标签天线, 天线的输入电阻和电抗可以分别通过选择合适的几何参数来实现, 这使得天线容易匹配具有小阻抗和大电抗的标签芯片^[6]。本设计中标签天线作为 PA 的谐振电感, 代替 PA 原有的谐振电感。原有芯片上的射频电感器总占地面积很大, 生产成本将会相应增加, 然而使用 PCB 天线作为 PA 电路的一部分, 使 PA 在 CMOS 工艺加工下去除片上的谐振电感, 可极大地减少 PA 芯片电路的总面积。

1 天线电路设计原理

本设计中, 偶极子标签天线作为 PA 电路的一部

收稿日期: 2013-06-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61072010, 61372011)

第一作者: 于毅敏(1988—), 男, 硕士研究生。

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

分,PA电路模型如图1所示。

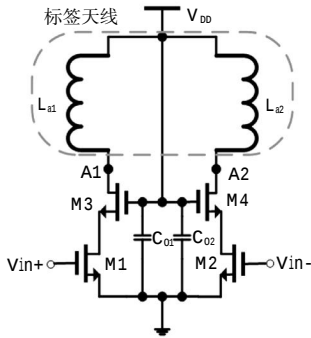


图1 PA的电路模型

Fig.1 Schematic of PA circuit

图1中,M1至M4为串联晶体管,与C₀₁、C₀₂都属于片上器件^[7-8]。根据天线设计理论得知,PCB天线的输入阻抗设计是为了提供串联电感和电阻^[9]。偶极子天线的等效电路如图2所示。

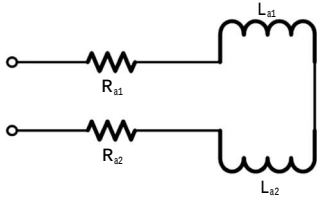


图2 偶极子天线的等效电路

Fig.2 Equivalent circuit of dipole antenna

图2中,L_{a1}和L_{a2}为等效电感,R_{a1}和R_{a2}为等效辐射电阻。L_{a1}、L_{a2}、R_{a1}、R_{a2}与片上电容C₀₁、C₀₂共同组成谐振电路,该电路谐振在工作频率的同时滤除二次及以上的谐波。上述的等效RLC谐振电路如图3所示。

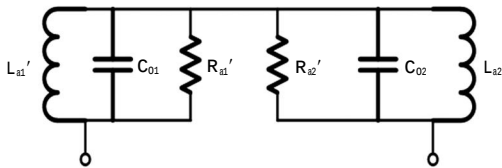


图3 等效RLC谐振电路

Fig.3 Equivalent RLC resonant circuit

假设L_{a1} = L_{a2} = L_a, R_{a1} = R_{a2} = R_a, C₀₁ = C₀₂ = C₀, L_{a1}' = L_{a2}' = L_a', R_{a1}' = R_{a2}' = R_a', 可得:

$$R_a' = R_a \times (Q_{RLC}^2 + 1) \quad (1)$$

$$L_a' = L_a \times \left(\frac{Q_{RLC}^2 + 1}{Q_{RLC}^2} \right) \quad (2)$$

式中:Q_{RLC}表示谐振电路的Q值,

$$Q_{RLC} = \frac{R_a'}{\sqrt{L_a'/C_0}} \quad (3)$$

PA的最大输出功率P_{OUT max}由负载阻抗R_a'和电源

电压V_{DD}决定:

$$P_{OUT max} = \frac{V_{DD}^2}{2R_a'} \times 2 \quad (4)$$

经过上述分析,为使电路工作在谐振频率f = 2.45 GHz和得到理想的Q_{RLC},等效电感L_{a1}被设计为5 nH。考虑寄生电容的影响,片上电容被设计为650 fF。在电源电压为1.8 V时,为得到最大输出功率10 mW,即V_{DD} = 1.8 V, P_{OUT max} = 10 mW,代入(4)式,经过计算,可以得知: R_a' = 324 Ω;

将C₀ = 650 fF, L_a = 5 nH,代入(2)(3)式,经方程计算得知: L_a' = 5.47 nH, Q_{RLC} = 3.25;

将Q_{RLC} = 3.25, R_a' = 324 Ω代入公式(1),计算得知: R_a = 28 Ω。

由此可知,天线谐振电路R_a = R_{a1} = R_{a2} = 28 Ω, L_a = L_{a1} = L_{a2} = 5 nH,则标签天线的设计阻抗为:

$$Z_a = 2R_a + 2j\omega L, \omega = 2\pi f$$

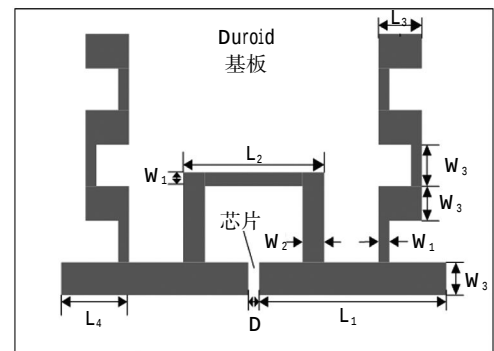
代入数字计算得:

$$Z_a = 56 + j154 \Omega.$$

故天线在2.45 GHz谐振时,阻抗为Z_a = 56 + j154 Ω。

2 天线结构

本文在仿真软件HFSS v12的辅助下,设计了一个工作频率在2.45 GHz的偶极子标签天线。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。天线的几何结构如图4所示。



(a) 俯视图



(b) 侧面图

图4 标签天线的几何结构

Fig.4 Geometry of proposed tag antenna

天线的总体尺寸为21.91 mm × 31.5 mm; 基板材料为Duroid,其中介电常数ε_r = 2.2,损耗正切角tan δ =

0.009, 厚度 $H = 1$ mm. 其它结构参数为: $L_1 = 15$ mm, $L_2 = 14$ mm, $L_3 = 3.75$ mm, $L_4 = 5$ mm, $W_1 = 0.83$ mm, $W_2 = 2$ mm, $W_3 = 3.13$ mm, $D = 1.5$ mm.

几种类型 PA 所占面积的比较如表 1 所示.

表 1 PA 所占面积比较
Tab.1 Comparison of PA areas

PA 的电感类型	供电电压/V	P_{1-dB} /dBm	芯片面积/mm ²
片上电感 ^[4]	3.3	24.8	1.4×0.75
片外电感 ^[5]	3.3	10.6	1.5×1.0
本设计	1.8	8	0.24×0.70

3 仿真与测试结果

本文利用 Ansoft HFSS 软件对前文提出的天线结构进行了系统的仿真,并对仿真优化后的天线进行加工制板,最终对实物天线进行测试比较.利用 HFSS 仿真后的模型如图 5 所示.天线的中心频率设置为 2.45 GHz,天线的回波损耗如图 6 所示.

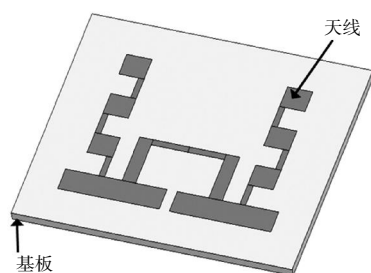


图 5 仿真模型

Fig.5 Simulation model

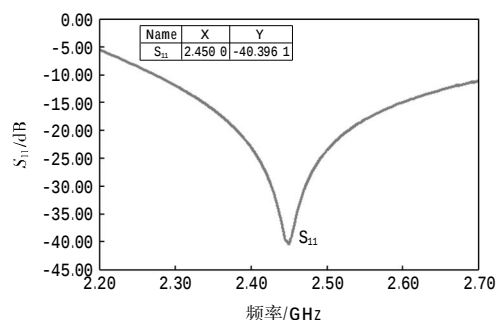


图 6 S_{11} 仿真图

Fig.6 Simulation of antenna return loss

由图 6 可知,天线在 2.45 GHz 处谐振,谐振点处的 S_{11} 是 -40.396 1 dB,且 -10 dB 带宽为 500 MHz.

图 7 所示为阻抗仿真图.

由图 7 可知,天线在 2.45 GHz 时的阻抗值为 $Z'_a = 52.940\ 2 + j154.645\ 9\ \Omega$.由前文可知,天线在 2.45 GHz

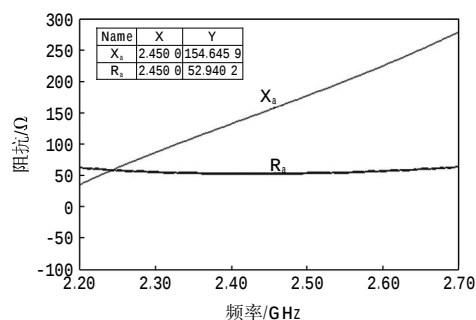


图 7 阻抗仿真图

Fig.7 Simulation of antenna impedance

时的设计阻抗值为 $Z_a = 56 + j154\ \Omega$,对比得知,仿真结果与理论分析计算相符.

根据上述仿真模型,对天线进行制板,实物图如图 8 所示.本文使用安捷伦公司生产的矢量网络分析仪 E5070B 对制板的天线进行测量,通过端口扩展即使用同轴线与天线芯片引出的 SMA 接口相连,从而测量天线回波损耗等参数.天线背面的引线及 SMA 焊接如图 9 所示.

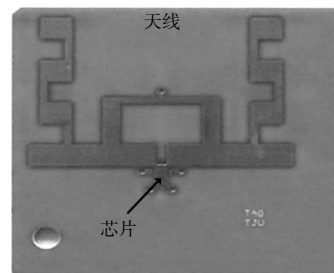


图 8 天线实物图

Fig.8 Fabricated tag antenna

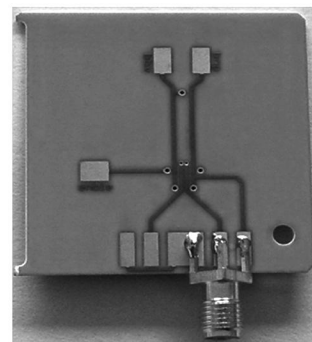


图 9 天线背面图

Fig.9 Back of fabricated tag antenna

图 10 所示为通过网络分析仪所测试的天线回波损耗(S_{11}).

从图 10 可以看出天线的谐振中心频率为 2.449 GHz、 S_{11} 为 -31.718 dB,与仿真设计中心频率 2.45 GHz、 S_{11} 为 -40.396 1 dB 基本相匹配.

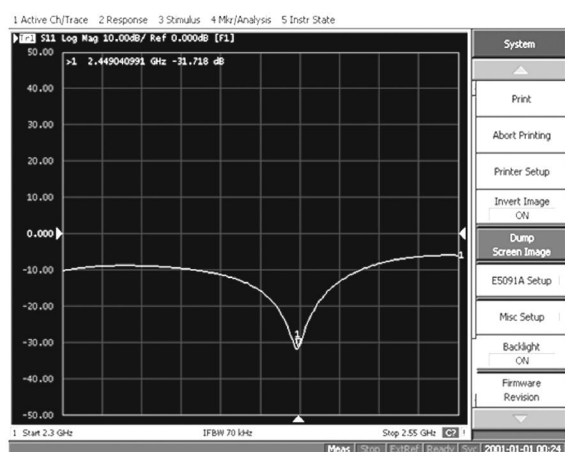
图 10 S_{11} 测试图Fig.10 S_{11} of tag antenna obtained from test

图 11 所示为实际测量 PA 的输出功率曲线. 测试过程中由网络分析仪产生 2.45 GHz 输入信号, 输出功率的测量采用安捷伦公司的频谱分析仪 E4402B. 测试结果表明, 在电源电压为 1.8 V 的情况下, PA 的 P_{1-dB} (1 dB 压缩点) 为 8 dBm, 同时布线后的仿真结果如图 11 所示.

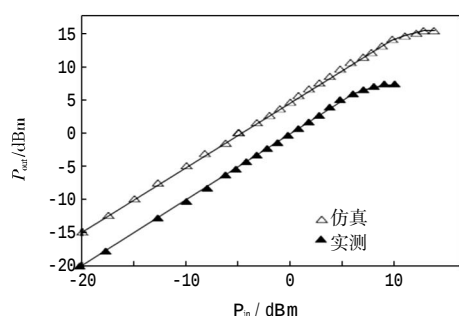


图 11 2.45 GHz 时测量与仿真输出率图

Fig.11 Measured and simulated output power at 2.45 GHz

由图 11 可知, 实际测量与仿真的功率相差 5 dBm, 这主要是由于射频晶体管的精度不足和传输损耗所导致的.

4 结束语

本文设计了一款 2.45 GHz 的 RFID 标签天线, 该 PCB 偶极子天线被应用于 PA 电路中, 代替原有的片

上集成电感, 作为差分功放的谐振电感. 由于减少了两个片上集成电感的使用, 总的芯片面积减小到只有 $240 \mu\text{m} \times 70 \mu\text{m}$. 对天线的仿真模型进行加工制板, 利用测试设备对样品进行相应测试, 结果表明, PA 工作于 AB 类型, 供电电压为 1.8 V、输入信号频率为 2.45 GHz, 在 1 dB 压缩点处 PA 输出功率为 8 dBm. 由此建立了一种新型的 RFID 标签天线和 PA 之间的匹配方式.

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] 张文锦, 李建雄, 毛陆虹. 基于多波束切换的便携式 RFID 阅读器设计[J]. 天津工业大学学报, 2013, 32(1): 52-56.
- [3] 马建欢, 李建雄, 肖康, 等. 太阳能电池作为天线辐射体的 RFID 标签天线的设计[J]. 天津工业大学学报, 2013, 32(1): 57-60.
- [4] QIAN Yongbing, LI Wenyuan, WANG Zhigong. 2.4-GHz 0.18- μm CMOS highly linear power amplifier[C]//IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications. HO Chi Minh: IEEE, 2010: 210-212.
- [5] SOWLATI T, LEENAERTS D. A 2.4-GHz 0.18- μm CMOS self-biased cascode power amplifier with 23 dBm output power [C]//IEEE International Solid-State Circuits Conference, Digest of Technical Papers. San Francisco: IEEE, 2002: 294-467.
- [6] CHEN Sunglin, LIN Kenhuang. A folded dipole with a closed loop antenna for RFID applications [C]//IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Honolulu: IEEE, 2007: 2281-2284.
- [7] KOCER F, FLYNN M P. A new transponder architecture for long-range telemetry applications [C]//Proceedings of the European Conference on Circuit Theory and Design. Cork: IEEE, 2005: 177-180.
- [8] GSI Standards Knowledge Centre. EPC Radio-Frequency Identity Protocols: Class-1 generation-2 UHF RFID, protocol for communications at 860 MHz-960 MHz [EB/OL]. <http://www.gs1.org/gsmp/kc>. [2005-01-31].
- [9] CHO C, CHOO H, PARK I. Printed symmetric inverted-f antenna with a quasi-isotropic radiation pattern [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50: 927-930.