

# 一种小型化 RFID 标签天线的仿真设计

汤 伟, 林 斌, 周建华, 游佰强 \*

(厦门大学信息科学与技术学院电子工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 针对射频识别(RFID)标签天线小型化的实际需求,设计了一种折叠印刷偶极子天线结构,采用镜像补偿技术改善了天线的辐射特性.从实际制作的角度详细研究了天线的介电常数和结构尺寸等参数变化对其特性参数的影响,如中心频率、 $S_{11}$ 特性、一定条件下的绝对带宽和相对带宽等.在此基础上给出了可工作于 915 MHz 的小型化天线,具有较好的  $S_{11}$ 特性和方向性.当驻波比小于 2 时,天线的工作带宽达到 88 MHz,其相对带宽为 9.6%.设计的天线尺寸约为 30 mm  $\times$  44 mm,小于国内外文献中所提到的天线尺寸.

**关键词:** 射频识别;标签天线;印刷偶极子天线;小型化

**中图分类号:** TN 820.11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2008)01-0050-05

射频识别(RFID)技术是一种利用射频通信实现的非接触式自动识别技术,近年来随着大规模集成电路、网络通信、信息安全等技术的发展,RFID 已进入商业化应用阶段,其应用规模也快速增长<sup>[1-3]</sup>.在 RFID 系统中,所采用的天线主要分为标签天线和读写器天线两种.不同的环境和频率要求具有不同特性参数的天线,而芯片基本已模块化.标签天线是 RFID 系统中最易变的部分,并且其设计面临着小型化、共形化、低损耗和低成本的实际要求,所以优化设计标签天线在整个系统中占有重要地位.

标签天线需要置于标签之中,因此其尺寸受限就是亟待着重解决的问题.标签天线最常见的形式主要有线圈天线、微带天线和偶极子天线.其中,线圈天线已有一套成熟的理论和工艺,应用较为广泛,但只适用于 1 m 以内的近距离 RFID 系统,在高频率、大信息量以及工作距离和方向不定的场合难以得到广泛应用;微带天线由于其方向图是定向的,所以仅适用于通信方向变化不大的 RFID 系统,而且相比之下制作工艺较为复杂,成本相对较高,尺寸也较大;而对于偶极子天线,其辐射能力强,制造工艺简单,成本低,而且能够实现全向性,经常应用于远距离 RFID 系统中.不过一般偶极子天线尺寸也不小,所以更多采用的是其各种改进形式.标签天线除了这主要的几种形式外,还有单极子天线、倒 F 天线及一些特殊天线结构.

当前,标签天线小型化是 RFID 技术和应用领域

的研究热点之一.例如, Ahmed Ibrahim 等人于 2006 年提出了一款工作频率为 900 MHz 的印刷折线偶极子天线,采用基底的介电常数为 4.3,厚度为 1.6 mm,天线尺寸达到 60 mm  $\times$  40 mm.但是天线的回波损耗特性不是十分理想,天线尺寸也有待进一步减小<sup>[4]</sup>. Stupf 等人同时提出了两款 900 MHz 频段的的天线<sup>[5]</sup>,其中印刷偶极子天线尺寸为 50 mm  $\times$  50 mm,环天线尺寸为 44 mm  $\times$  39 mm.两款天线性能优越,尺寸小,但是结构相对复杂,加工制作不方便. Namhoon Kim 等人采用印刷金属环对印刷偶极子天线馈电,设计了一款尺寸为 44 mm  $\times$  40 mm 的 911 MHz 小型天线<sup>[6]</sup>.天线性能虽有所提高,尺寸也较小,不过由于馈电环的存在,天线很难进一步缩小尺寸. Kihun Chang 等人则独辟蹊径,将印刷偶极子天线的天线臂设计成环型,达到了进一步小型化的目的,天线尺寸仅为 15.5 mm  $\times$  14.8 mm,但是天线带宽太小<sup>[7]</sup>.

当前超高频段 RFID 天线的研究应用日益广泛,针对目前标签天线所存在的问题,本文采用折天线臂技术和镜像补偿技术,设计了一款工作在 915 MHz 的小型化 RFID 印刷偶极子标签天线,并对其主要的结构尺寸和特性参数进行了仿真分析.此种天线结构,不仅仅适用于 900 MHz 频段,适当减小天线结构和镜像结构尺寸,也可用于设计工作于 2.45 GHz 微波频段的的天线.

## 1 天线结构设计

天线结构的小型化是我们设计的最终目标,而天线结构本身<sup>[8]</sup>对天线方向图、极化方向、阻抗特性、驻波比、天线增益和工作频段等诸多特性都是非常敏感

收稿日期:2007-07-17

基金项目:福建省自然科学基金(A0510001),福建省重点科技项目(2007H0036)资助

\*通讯作者:youzhou@xmu.edu.cn

的,因此,结构的设计从根本上决定了天线小型化实现的成败.对于 RFID 天线,方向性天线具有更少的辐射模式和返回损耗的干扰,比较适合电子标签应用;天线增益和阻抗特性会对 RFID 系统的作用距离产生较大影响.对于目前工作频率小于 2 GHz 的 RFID 应用,常规的微带尺寸明显过大,即便通过插入短路针等技术来小型化,效果仍不是十分理想.一般的片状偶极子天线若要工作于 915 MHz,其长度将达到十几厘米,宽达到 6 cm 以上,尺寸也太大.如果我们在印刷偶极子天线基础上采用折天线臂技术进行改进设计,有望将天线尺寸小型化到较为理想的程度,关键在于折叠方式以及结构参数与电参数之间关系的综合考虑.

首先考虑直接影响天线结构尺寸的基板介电参数.由于印制天线的尺寸与基板的相对介电常数 $\epsilon_r$ 成反比,所以这里选用具有高 $\epsilon_r$ 的介质基板来减小天线尺寸.但在确保低剖面结构的情况下,过高的介电常数会直接降低天线的辐射效率,所以需要权衡选择基板的相对介电常数.从折中的角度,我们初定相对介电常数 $\epsilon_r$ 为 4.4,基板厚度 $h$ 设为 1 mm.利用 Microwave Office 对这种天线的具体结构和尺寸进行了设计和仿真分析,其结构示意图如图 1.

图中天线结构由两部分组成,上半部分即为印刷偶极子天线,下半部分为镜像补偿结构.为了有效地减小标签尺寸,采用对天线臂进行弯折的方法.在保持天线臂的绝对长度不变情况下,将其进行弯折,由此达到不改变天线工作频率而使天线尺寸缩小.由图 1 中所标注的尺寸可以看出,电流流经天线臂最短的长度大约为 41 mm.利用计算工作波长 $\lambda_g$ 的公式

$$\frac{\lambda_g}{4} = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

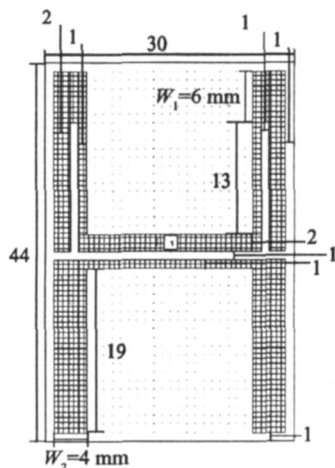


图 1 折叠式偶极子天线的结构示意图(单位:mm)

Fig. 1 The structure of meander-line dipole antenna

其中工作频率 $f$ 取 915 MHz,可粗略求得传统无弯折印刷偶极子天线的臂长约为 39 mm.显然,折叠式和传统型的天线臂长数值大致相等,说明可以通过弯折来缩小天线尺寸.但是随着天线尺寸的缩小,由于分布参数的影响,天线的电性能会逐渐恶化,即回波损耗变大,带宽变小,增益变小.因而在设计过程中,我们采用添加了“镜像结构”的下半部分进行补偿以改善天线性能,其尺寸大小可以与主天线臂大小基本相当.通过仿真分析结果可以发现,这种镜像结构能很好地改善回波损耗,但是对带宽和增益的改善并不太明显.很多情况下,以带宽和增益的减小为代价,达到缩小天线尺寸的目的是值得的.

## 2 天线性能分析

### 2.1 天线特性参数的仿真和计算

利用 Microwave Office 软件对所设计的折叠式偶极子天线进行了仿真分析,图 2 给出了仿真得到的新结构天线的回波损耗.由图可知,该天线的谐振中心频率在 915 MHz 处,回波损耗 $S_{11}$ 为 -32.85 dB.当驻波比 $VSWR < 2$ 时,由反射系数公式

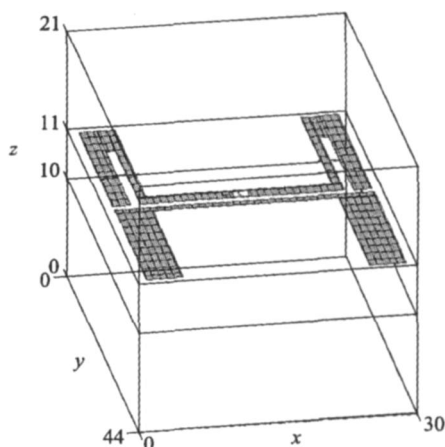
$$| \Gamma | = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2)$$

可得反射系数 $| \Gamma | < \frac{1}{3}$ .因此,根据

$$S_{11} = 20 \lg | \Gamma | \quad (3)$$

得知 $S_{11} < -9.54$  dB.此时,天线带宽为 88 MHz(875.59 ~ 963.6 MHz),其相对带宽为 9.6%.由此可见,天线具有较好的回波损耗特性,带宽也基本满足要求.

### 2.2 介电常数对天线性能的影响



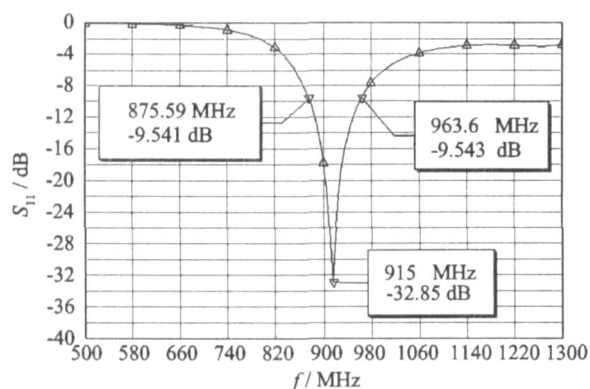


图2 折叠式偶极子天线的回波损耗

Fig. 2 The return loss of meander-line dipole antenna

上述讨论中介电常数选取为  $\epsilon_r = 4.4$ , 实际加工制作过程中所选基底的介电常数可能有所偏差, 因而有必要讨论介电常数变化对天线性能的影响. 通过改变基底介电常数, 我们做了一系列的仿真计算, 得到的实验数据如表 1 所示. 由前面讨论已知, 介电常数增大能减小天线尺寸, 也就是说对于一定的天线结构, 随着介电常数的增大, 谐振工作频率会变小. 从表 1 可以看出工作频率确实随着介电常数的增大而变小, 证明了前面理论分析的正确性. 随着介电常数的增大, 天线的  $S_{11}$  参数先逐渐变小, 而后渐渐变大. 总体来说, 随着介电常数的变化, 虽然天线谐振工作频率有所改变, 但是其回波损耗特性始终保持良好. 另外, 介电常数增大除了使谐振工作频率变小外, 天线在驻波比  $VSWR < 2$  时的绝对带宽也随之变小, 但是其相对带宽始终保持在 9.6% 左右, 基本不变. 由表中数据可知, 在介电常数以 0.1 的步调增大时, 工作频率以平均 5 MHz 的步调下降, 绝对带宽以平均 0.5 MHz 的步调下降, 而  $S_{11}$

表 1 介电常数的影响

Tab. 1 The influence of dielectric constant

$\epsilon_r$	工作频率 / MHz	$S_{11}$ /dB	绝对带宽 / MHz	相对带宽 / %
4.0	940	- 26.8	89.8	9.60
4.1	935	- 27.5	89.5	9.60
4.2	925	- 28.5	88.9	9.60
4.3	920	- 30.6	88.4	9.60
4.4	915	- 32.9	88.1	9.60
4.5	910	- 35.1	87.4	9.60
4.6	905	- 36.7	87.0	9.60
4.7	900	- 37.1	86.5	9.60
4.8	895	- 36.4	86.1	9.60
4.9	890	- 35.1	85.5	9.60
5.0	885	- 33.8	85.0	9.60

参数却在 4.2 ~ 4.5 之间变化程度相对较大, 对于介电常数的变化较为敏感. 通过仿真得到, 介电常数分别为 4.36、4.37、4.44 和 4.45 时, 天线工作频率分别为 920、915、915 和 910 MHz,  $S_{11}$  分别为 - 29.98、- 30.67、- 31.59 和 - 31.04 dB. 由此可见, 在实际加工制作过程中, 为使天线性能满足设计要求, 所选基底的介电常数应在 4.37 ~ 4.44 之间.

## 2.3 敏感边对天线性能的影响

在天线结构中, 每一条边长的改变都会影响天线的辐射特性. 在仿真过程中, 我们发现有些边的变化对天线性能的影响较小, 而有些影响则较大. 通过对仿真结果的比较, 我们选择出天性性能相对最优化的尺寸结构. 在此, 将主要针对天线两个相对比较敏感的边  $W_1$  和  $W_2$ , 改变其边长, 详细讨论此种改变对天线  $S_{11}$  参数特性的影响.

表 2、3 分别给出了折叠式偶极子天线的主要特性参数随  $W_1$  和  $W_2$  变化的规律. 从天线结构图可以看出,  $W_1$  变小相当于天线臂的绝对长度变长, 所以天线的谐振工作频率应该变小, 表 2 中的数据变化规律证明了这一点. 由表 2 还可发现, 随着  $W_1$  的变大, 天线的回波损耗、 $VSWR < 2$  时的绝对带宽及其相对带宽均开始时变大, 而后就逐渐变小了. 特别是在  $W_1 = 6$  mm 处, 天线的谐振工作频率为 915 MHz, 天线性能接近最佳. 由表中数据可知,  $W_1$  在 5 ~ 7 mm 之间变化时, 工作频率仍是以 5 MHz 的步调变化, 绝对带宽和相对带宽较其他时候变化相对平缓, 而  $S_{11}$  却较其他时候变化相对较大, 对于  $W_1$  的变化较为敏感. 考虑到天线辐射特性随  $W_1$  的变化而有所变化, 在实际加工制作过程中必须注意加工精度, 不能因为工艺误差过

表 2  $W_1$  对天线主要特性参数的影响Tab. 2 The influence of  $W_1$  to the main features of antenna

$W_1$ /mm	工作频率 / MHz	$S_{11}$ /dB	绝对带宽 / MHz	相对带宽 / %
1	895	- 18.7	79.5	8.90
2	900	- 21.2	83.2	9.20
3	905	- 24.5	85.6	9.50
4	905	- 29.0	87.2	9.60
5	910	- 38.0	88.0	9.70
6	915	- 32.9	87.9	9.60
7	920	- 26.3	87.5	9.50
8	920	- 22.7	86.3	9.40
9	925	- 20.6	84.7	9.20
10	930	- 18.7	82.6	8.90
11	930	- 17.4	80.3	8.60

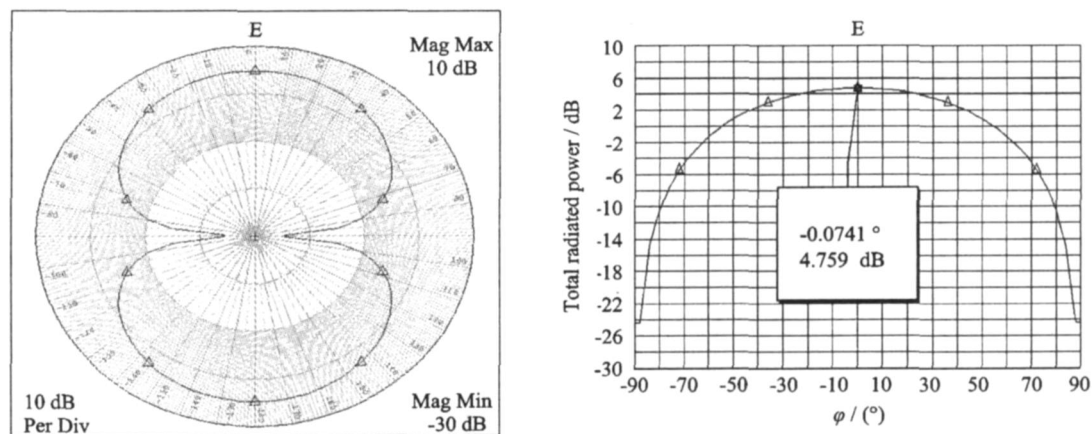


图 3      $\theta = 90^\circ$ ,  $\phi = -180^\circ \sim 180^\circ$  平面方向图  
Fig. 3   Direction characteristics at  $\theta = 90^\circ$ ,  $\phi = -180^\circ \sim 180^\circ$

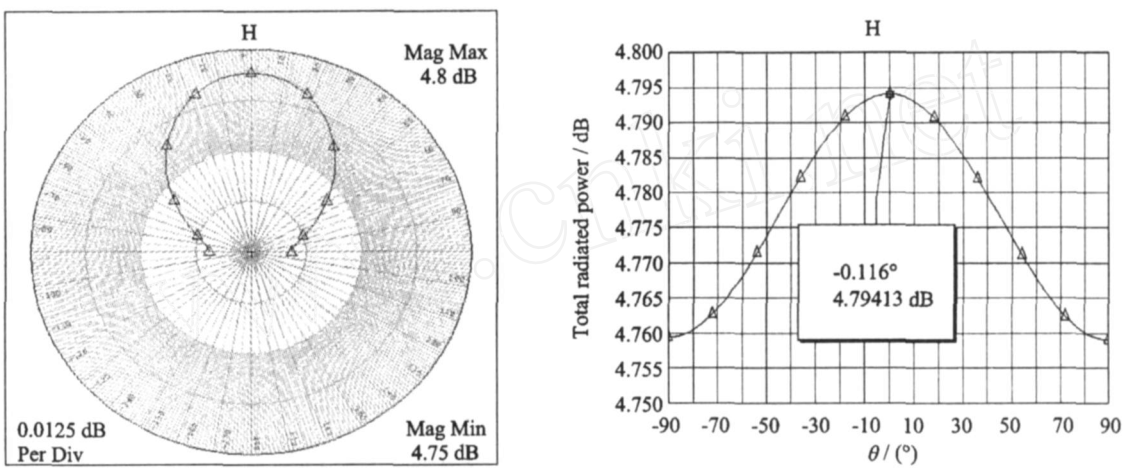


图 4      $\theta = 0^\circ$ ,  $\phi = -90^\circ \sim 90^\circ$  平面方向图  
Fig. 4   Direction characteristics at  $\theta = 0^\circ$ ,  $\phi = -90^\circ \sim 90^\circ$

大而影响天线性能. 经过一系列仿真分析, 得知  $W_1$  在 5.5 ~ 6.5 mm 范围内变化时, 天线工作频率保持为 915 MHz, 绝对带宽和相对带宽几乎不变,  $S_{11}$  参数变化程度小于 10 %, 满足天线设计要求.

表 3    $W_2$  对天线主要特性参数的影响

Tab. 3   The influence of $W_2$ to the main features of antenna				
$W_2$ /mm	工作频率 / MHz	$S_{11}$ / dB	绝对带宽 / MHz	相对带宽 / %
1	930	- 29.4	94.9	10.2
2	920	- 45.5	91.6	10.0
3	915	- 34.4	88.2	9.60
4	915	- 32.9	87.9	9.60
5	920	- 31.3	88.1	9.60
6	920	- 34.3	89.2	9.70
7	930	- 36.4	90.8	9.80
8	940	- 27.0	93.0	10.0

由表 3 发现, 随着  $W_2$  由小变大, 天线的谐振工作频率、VSWR < 2 时的绝对带宽及其相对带宽都是开始先变小, 随后变大.  $W_2$  以 4 mm 为起始点, 无论变大还是变小, 天线  $S_{11}$  参数都是先变小, 后增大. 同样通过仿真分析, 得知  $W_2$  在 2.5 ~ 4.5 mm 范围内变化时, 天线工作频率保持为 915 MHz, 相对带宽和绝对带宽几乎不变,  $S_{11}$  参数变化程度在 20 % 之内, 基本满足天线设计要求.

2.4 天线方向图

图 3 给出了仿真得到的  $\theta = 90^\circ$ ,  $\phi = -180^\circ \sim 180^\circ$  平面内这种天线的方向图, 从图中可以看出, 最大辐射方向上的增益约为 4.759 dB. 类似地, 图 4 为仿真所得  $\theta = 0^\circ$ ,  $\phi = -90^\circ \sim 90^\circ$  平面内天线的方向图, 最大辐射方向上的增益约为 4.79 dB. 显而易见, 折叠式偶极子天线具有半球覆盖方向性.

### 3 结束语

基于折叠式小型化结构,本文提出了一种工作于 915 MHz 的带对称补偿臂的印刷偶极子天线,并给出了仿真分析结果.对天线  $S_{11}$  特性进行的一系列仿真分析表明,对于相同的天线几何结构,基板的介电常数决定了中心频点的位置,  $\epsilon_r$  过大不利于天线的绝对带宽,而对相对带宽影响不大.对于这种新型结构的天线,其敏感边在实际设计中需要特别注意,存在优化设计的问题.针对特定的需求,折叠式新结构可以实现具有半球覆盖方向性、小尺寸和低成本的天线,基本能够满足 RFID 标签天线的要求.虽然相对带宽只有 9.6%,但在此基础上还可以通过一些有效改进方法来扩大天线带宽,例如引入光子带隙(PBG)结构和进一步优化补偿臂的结构等,以扩展其实际应用的范围.

### 参考文献:

- [1] Leeana Ukkonen, Lauri Sydanheimo, Markku Kivikoski. Read range performance comparison of compact reader antennas for a handheld UHF RFID reader [J]. IEEE Applications & Practice, 2007, 45: 24 - 31.
- [2] Amir Galehdar, David V Thiel, Steven G O Keefe. Antenna efficiency calculations for electrically small RFID antennas [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007, 6: 156 - 159.
- [3] 中国科技部,等.中国射频识别(RFID)技术政策白皮书[R].北京:中国科技部,2006.
- [4] Ibrahim Ahmed, Tan Phu Vuong, Ghiotto Anthony, et al. New design antenna for RFID UHF tags [C]//IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Albuquerque: IEEE, 2006: 1355 - 1358.
- [5] Stupf M, Mittra R, Yeo J, et al. Some novel design for RFID antennas and their performance enhancement with metamaterials [C]//IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Albuquerque: IEEE, 2006: 1023 - 1026.
- [6] Kim Namhoon, Kwon Hongil, Jong Wook Lee, et al. Performance analysis of RFID tag antenna at UHF (911 MHz) band [C]//IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Albuquerque: IEEE, 2006: 3275 - 3278.
- [7] Chang Kihun, Kwak Sangil, Young Joong Yoon. Small-sized spiral dipole antenna for RFID transponder of UHF band [C]//Asia-Pacific Conference Proceedings. Suzhou: Microwave Conference Proceedings, APMC, 2005: 4.
- [8] 李秀萍,刘禹,曹海鹰.基于 RFID 应用的小型化印刷偶极子天线设计[J].北京邮电大学学报,2006,29(5): 75 - 78.

## Design and Simulation of a Minimized RFID Tag Antenna

TANG Wei, LIN Bin, ZHOU Jian-hua, YOU Bai-qiang \*

(Department of Electronic Engineering, School of Information Science & Technology,  
Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract :** For the minimization requirement of radio frequency identification (RFID) tag antenna, we designed a folded printed dipole antenna and introduced the mirror compensation technology to improve the radiation feature of antenna. Considering engineering processes, we particularly studied the influence of dielectric constant  $\epsilon_r$ , structure dimensions and other parameters on the characteristic parameters of antenna, such as resonance frequency,  $S_{11}$ , absolute bandwidth and relative bandwidth under some condition. On the above basis, we proposed a 915 MHz minimized antenna with better  $S_{11}$  and direction characteristics. When Vertical Standing Wave Ratio (VSWR) is less than 2, the antenna bandwidth is up to 88 MHz absolutely and 9.6% relatively. The designed structure dimension is about 30 mm  $\times$  40 mm, which is smaller than the ones proposed in references at home and abroad.

**Key words :** radio frequency identification; tag antenna; printed dipole antenna; minimization