

DOI:10.16356/j.1005-2615.2017.06.020

## 基于电容加载的 UHF-RFID 近场长天线设计

郑景明<sup>1</sup> 刘文娟<sup>2</sup> 杨壮观<sup>3</sup> 刘雪松<sup>3</sup> 张启帆<sup>1</sup> 杨阳<sup>1</sup> 何小祥<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学电子信息工程学院, 南京, 210016; 2. 国网辽宁省电力有限公司, 沈阳, 110004;  
3. 国网辽宁省电力有限公司信息通信分公司, 沈阳, 110004)

**摘要:**针对近场长天线的电流相位分布空间跨度大这一难点,设计了一款基于多电容加载的超高频(Ultra-high frequency, UHF)频段近场长天线。通过对长度为 250 mm 微带传输线在间隔 48.8 mm 处分段加载 1.6 pF 电容,利用电容对电流的相位补偿作用改善了天线近场均匀性。在端口增加金属匹配枝节及负载电阻进行阻抗匹配。仿真及实测表明,该长天线回波损耗在 918~933 MHz 频段内低于 -10 dB,长天线正上方 300 mm 处近场场强差值最大仅为 3.2 dB,天线正上方不同位置处最大读取距离差值波动不超过 95 mm,验证了该天线良好的近场均匀性。搭建射频识别(Radio frequency identification, RFID)系统并进行测试,进一步验证该款长天线在近距离 RFID 系统中的实用性。

**关键词:**超高频;近场长天线;分段;加载电容;均匀性

**中图分类号:** TN823      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-2615(2017)06-0892-05

## UHF-RFID Near-Field Long Antenna Based on Capacitance Loading

ZHENG Jingming<sup>1</sup>, LIU Wenjuan<sup>2</sup>, YANG Zhuanguan<sup>3</sup>, LIU Xuesong<sup>3</sup>,  
ZHANG Qifan<sup>1</sup>, YANG Yang<sup>1</sup>, HE Xiaoxiang<sup>1</sup>

(1. College of Electronic and Information Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China; 2. State Grid Liaoning Electric Power Supply CO. LTD, Shenyang, 110004, China;  
3. State Grid Information & Telecommunication Branch, Shenyang, 110004, China)

**Abstract:** The spatial span of the current phase distribution of near-field long antenna is large. To solve the difficult problem, an ultra-high frequency (UHF) near-field long antenna based on capacitance loading is designed in this paper. By dividing microstrip transmission line of 250 mm in length into several segments and loading capacitances of 1.6 pF in each 48.8 mm of the patch, the phase of electric current can be compensated. Metal branches and resistance are adopted in port to realize impedance matching. Simulation and research show that the return loss is below -10 dB between 918—933 MHz, the max difference of electric field is only 3.2 dB in 300 mm above the antenna, and the maximum difference of read distances in different positions is below 95 mm. The results show that the antenna is of good near electric field uniformity. The antenna is also measured in the radio frequency identification (RFID) system and the practicality is verified in near field application.

**Key words:** ultra-high frequency (UHF); near-field long antenna; segment; loading capacitance; uniformity

射频识别(Radio frequency identification, RFID)技术是一种基于射频通信技术基础上的非

收稿日期:2016-06-21;修订日期:2016-12-03

通信作者:杨阳,女,博士,副教授,E-mail:eeyy@nuaa.edu.cn。

引用格式:郑景明,刘文娟,杨壮观,等.基于电容加载的UHF-RFID近场长天线设计[J].南京航空航天大学学报,2017,49(6):892-896. ZHENG Jingming, LIU Wenjuan, YANG Zhuanguan, et al. UHF-RFID near-field long antenna based on capacitance loading[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2017, 49(6): 892-896.

接触自动识别技术,主要是利用射频信号的空间耦合对物体间进行相互识别<sup>[1-2]</sup>。低频、高频 RFID 系统读取距离近(一般小于 10 cm)、传输速率慢,而超高频频段<sup>[3]</sup>(Ultra-high frequency, UHF)的 RFID 系统弥补了这方面的不足,具有读取距离远、传输效率高等优点。在超高频近场 RFID 系统中需要近场均匀才能更好地对对象标签进行识别。天线近场不均匀会导致系统中标签的漏读和误读,造成整个系统的不稳定。因此,国内外许多近场天线采用分段环形方形结构<sup>[4-7]</sup>使电流相位分布一致实现场均匀特性。然而在近场 RFID 管理系统中,如衣架管理、档案柜识别、货运仓储管理中需要近场均匀性好的长天线来对标签进行识别,但长天线由于电流相位分布空间跨度大,在传输过程中易反向,导致电流相互抵消,辐射场减弱,近场均匀性难以保证,这也是天线设计的难点。因此,本文主要研究了 UHF 频段下,基于多电容加载实现近场均匀长天线的设计。

## 1 电容加载天线分析

普通的微带传输线,电流在传输过程中,当电流传输路径长度达到  $1/2$  介质波长,由于电流密度相位不断变化,此时电流会出现反向。正向反向电流相互抵消,使得电流密度变小,降低了天线附近的场强。由于传输线上电流相位分布空间跨度大,可以将传输线分成若干段,通过在每段传输线之间加载电容,补充电流经过传输线的相位滞后<sup>[8]</sup>,实现近场的均匀特性。

根据 LC 谐振原理,每段传输线都存在电抗,选取电容能使其在工作频率处发生谐振。本文运用加载电容的方法,设计了一款 250 mm 长的近场长天线。

图 1 给出加载电容后天线的结构示意图,天线采用 1.6 mm 厚 FR4 双面覆铜板加工而成,上层是五段分开的微带线,用容值相同的贴片电容相连,下层是金属地板,微带线的两端一个端口馈电,另一个端口连接负载匹配。

通过调整各个参数值,使得天线实现较好的匹配以及较为均匀的近场场强分布,此时天线的长度  $l=250$  mm,宽  $w=120$  mm,每段金属导带的长度  $l_1=48.8$  mm,相连电容的容值  $c=1.6$  pF,匹配负载的阻值  $R=50 \Omega$ 。

加载了匹配电容后的天线电流密度分布更加均匀,天线上的电流只经过一次变向,因此电流损耗较小,天线上方的场强强度也相对较强。这是由于在每段传输线之间加载的电容,补充了电流经过传输线的相位滞后,使得电流反向较少或者不会出

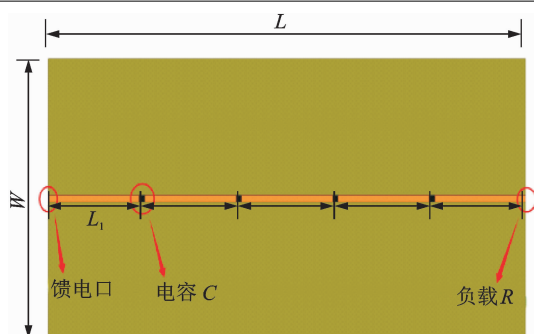


图 1 加载电容后天线示意图

Fig. 1 Structure of antenna loading capacitance

现。由图 2 可知,天线磁场的相位在加载电容的位置发生变化,由  $J_s = n \times H$  可以推出此时电流密度的相位也同时发生变化,验证了加载电容可以补偿电流相位的结论。

图 3 给出了加载 1.6 pF 电容后天线回波损耗,天线工作的中心频点在 950 MHz 左右,比国标 UHF 频段往高频偏移了接近 30 MHz,因此需要做好匹配工作。图 4 是天线的输入阻抗特性图,可知在 922 MHz 左右,天线的输入阻抗大小  $Z_{in} = 58 + j91 \Omega$ 。

通过对加载电容的容值进行扫参优化。由公式  $f = 1/(2\pi\sqrt{LC})$  可知,天线的容性阻抗值越大,中心频率值越小。图 5 给出了不同电容值时天线的回波损耗对比,由图可知电容的容值越高,天线的频带越往低频偏移,较好地验证了公式的结论。

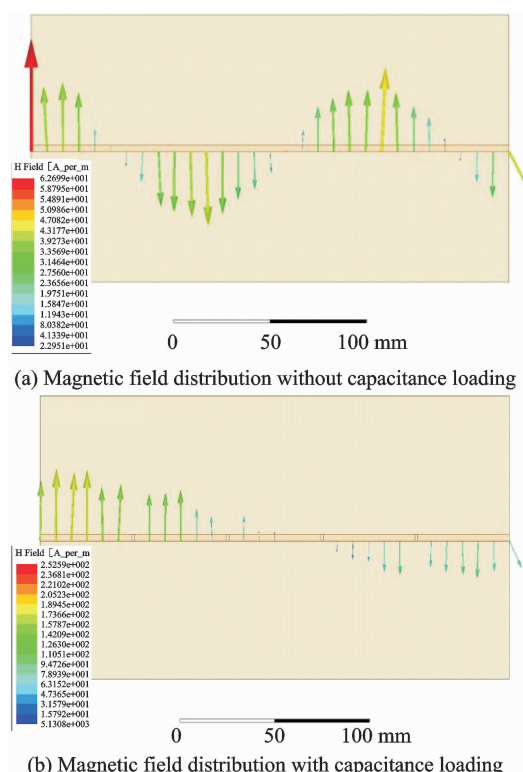


图 2 加载电容前后天线磁场变化

Fig. 2 Magnetic field of antenna

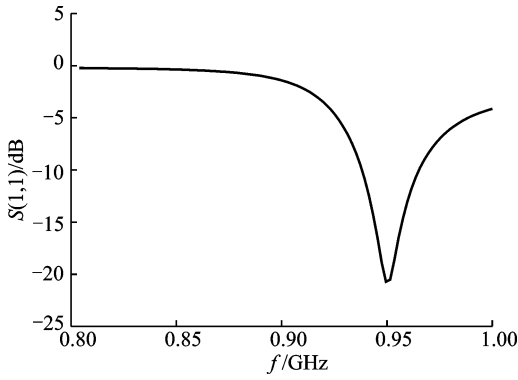


图3 加载电容后天线回波损耗

Fig. 3 Return loss of antenna loading capacitance

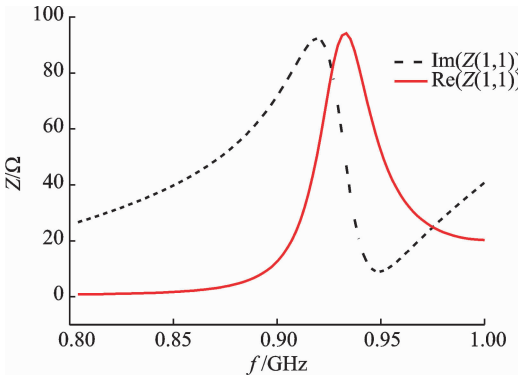


图4 加载电容后天线输入阻抗

Fig. 4 Input impedance of antenna loading capacitance

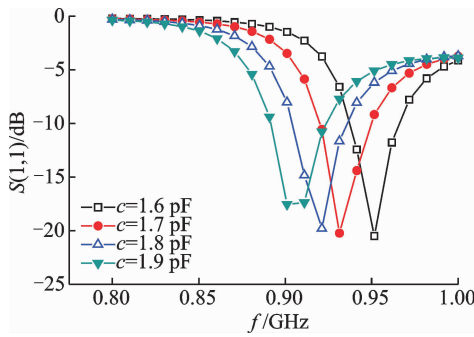


图5 电容值不同时天线回波损耗对比

Fig. 5 Return loss of antenna loading different capacitance

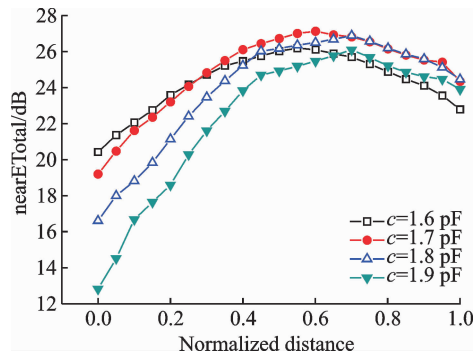


图6 电容值不同时天线正上方100 mm处近场场强对比

Fig. 6 Electric field of antenna loading capacitance

当  $c=1.8 \text{ pF}$  时,天线的回波损耗在(902,934 MHz)范围内均小于  $-10 \text{ dB}$ ;当  $c=1.9 \text{ pF}$  时,天线的回波损耗在(893,925 MHz)范围内小于  $-10 \text{ dB}$ ,均包括了国标 UHF 频段(920~925 MHz),但是此时天线的近场场强均匀性无法得到保证。图 6 给出了不同电容值时天线上方 100 mm 处的近场场强对比,由图可知, $c=1.8 \text{ pF}$  时近场场强的差值为 11 dB, $c=1.9 \text{ pF}$  时近场场强的差值甚至达到 14 dB,均大于原始参数的 7 dB。加载电容后的天线,由于电容对天线辐射单元上电流起到了相位补偿作用,能够确保辐射单元辐射场一致,从而实现近场均匀特性<sup>[9-11]</sup>。考虑天线频段以及近场场强均匀,最终采取设计匹配网络实现阻抗匹配。

加载电容后天线输入阻抗为  $Z_{in} = 58 + j91 \Omega$ ,采用设计微波匹配网络实现阻抗匹配性能。图 7 给出了天线加工实物图和带有微带匹配网络的天线完整模型图,其中匹配枝节主要由一段短路接地枝节、断路枝节和中间枝节组成。短路接地枝节长度为  $l_2 = 19 \text{ mm}$ ,断路枝节长度为  $l_4 = 18 \text{ mm}$ ,中间枝节长度为  $l_3 = 20 \text{ mm}$ ,3 个枝节有相同的宽度  $w_3 = 3 \text{ mm}$ 。其他各项参数与未加载匹配枝节之前等同。

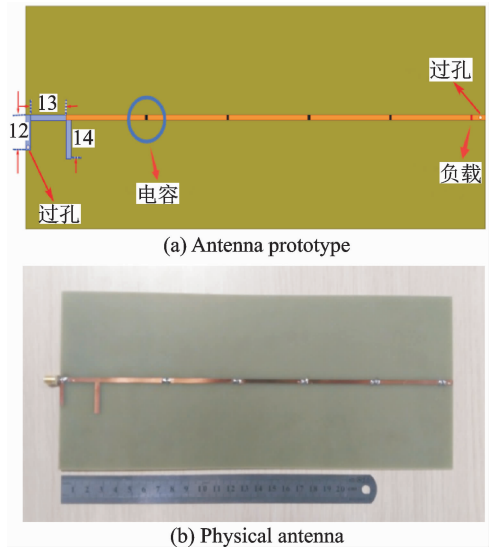


图7 天线模型图与加工实物

Fig. 7 Structure of antenna

## 2 匹配枝节加载天线仿真测试

图 8 给出了天线的仿真实测回波损耗对比图,仿真回波损耗在(914,931 MHz)范围内小于  $-10 \text{ dB}$ ,实测回波损耗在(918,933 MHz)范围内小于  $-10 \text{ dB}$ ,中心频点仅比仿真值往高频偏移了 4 MHz 左右,且包括了国标 UHF 频段(920~925 MHz)。图 9 给出了经过微带线匹配后的天线

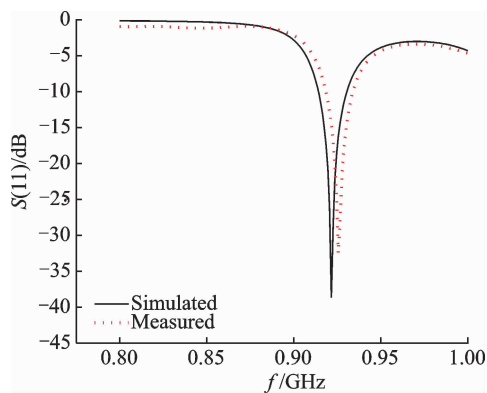


图 8 天线仿真实测回波损耗对比

Fig. 8 Return loss of antenna

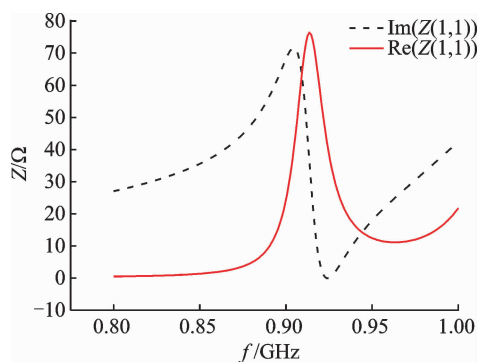


图 9 天线输入阻抗

Fig. 9 Input impedance of antenna

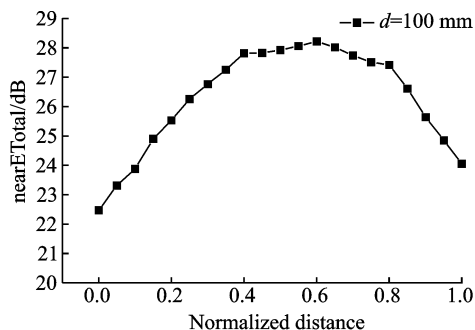
阻抗特性曲线,在 922 MHz 左右,天线的输入阻抗大小  $Z_{in} = 50.3 + j1.2 \Omega$ 。

图 10 是加载匹配枝节后天线正上方 100, 300 mm 处的近场场强分布,由图可知 100 mm 处近场场强最大值和最小值差值为 6 dB 左右,与未加载匹配枝节之前的 7 dB 相比,场强均匀性<sup>[12-14]</sup>变化不大。300 mm 处近场场强最大差值为 3.2 dB 左右,对比可知,近场场强随着距离增大趋于平缓。

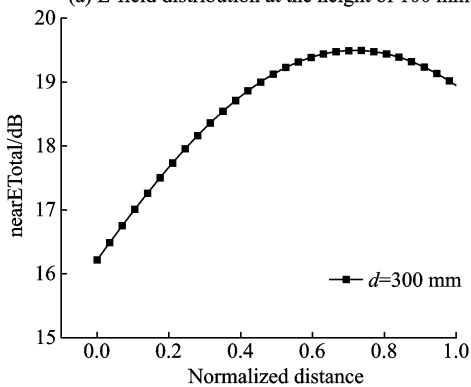
### 3 RFID 天线系统平台测试

加工出加载电容长天线的实物,搭建了 RFID 测试系统,沿天线长边方向依次均匀地摆放 5 个相同的标签,通过各点处测量出标签天线反馈的接收信号的强度 (Received signal strength indicator, RSSI) 大小来观察天线的近场均匀性。图 11 给出了在服装展示架上系统搭建以及测量的示意图,测量时标签与天线的距离为 300 mm。

表 1 给出了在相同的功率下,标签处于展示架上的不同位置处读写器所测到的 RSSI 数据。功率相同时,展示架上不同位置处的标签反馈的 RSSI 值较为接近。以功率 22 dBm 时为例,RSSI 最大值为 -54.3 dBm,最小值为 -59.1 dBm,其差值



(a) E-field distribution at the height of 100 mm



(b) E-field distribution at the height of 300 mm

图 10 加载匹配枝节后天线正上方 100,300 mm 处场强分布

Fig. 10 Electric field distribution at the height of 100, 300 mm above antenna

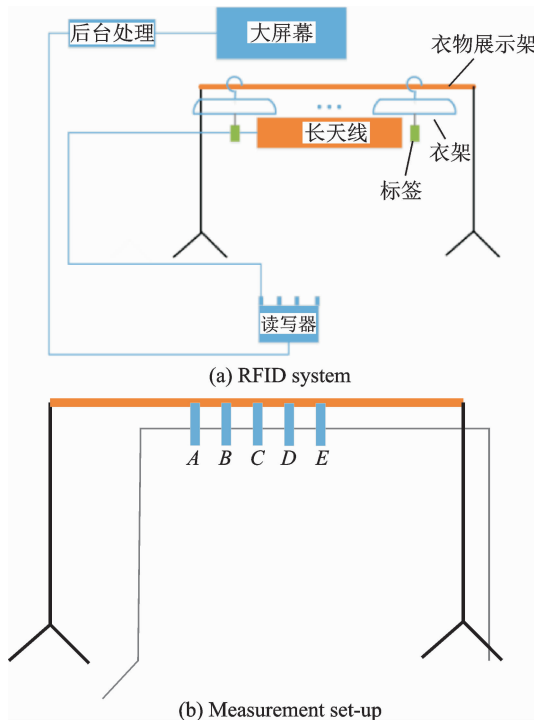


图 11 长天线系统搭建图以及测量示意图

Fig. 11 RFID system and measurement

不大于 5 dBm,在天线正上方 300 mm 处仿真的近场场强差值对比如图 10 所示,差值最大仅为 3.2 dB 左右,差值较小。实测与仿真验证了天线近场的均匀性较好。

表1 不同位置处的 RSSI

Tab. 1 RSSI of antenna		dBm		
功率	20	22	24	
A 处 RSSI 值	-54.3	-54.3	-53.4	
B 处 RSSI 值	-55.3	-55.3	-54.8	
C 处 RSSI 值	-55.3	-54.8	-54.2	
D 处 RSSI 值	-59.5	-59.1	-59.1	
E 处 RSSI 值	-58.7	-57.9	-57.9	

表2给出了在相同的功率下,不同位置处的标签最大读取距离数据,以功率22 dBm时为例,最大读取距离为63 cm,最小读取距离为53.5 cm,中间值为58 cm,上下浮动不超过5 cm,不同位置处标签最大读取距离差值仅为9.5 cm,从另一方面验证了天线近场的均匀性。

表2 不同位置处最大读取距离

Tab. 2 Read distance of antenna

功率/dBm	20	22	24
A 处读取距离/cm	57.0	63.0	67.0
B 处读取距离/cm	53.5	58.0	65.5
C 处读取距离/cm	48.0	55.0	61.5
D 处读取距离/cm	48.0	57.0	63.0
E 处读取距离/cm	47.5	53.5	62.0

## 4 结束语

通过多电容加载的 UHF 频段近场长天线,利用电容对电流的相位补偿作用改善了天线近场均匀性。天线仿真与实测表明,天线回波损耗在 918~933 MHz 低于 -10 dB,包括了国标 UHF 频段(920~925 MHz),天线正上方 300 mm 处近场场强差值最大为 3.2 dB,不同位置处标签反馈的 RSSI 值低于 5.7 dBm,天线正上方不同位置处最大读取距离差值波动不超过 95 mm。实测以及仿真结果表明天线近场的场强分布较为均匀,验证该款长天线在近距离 RFID 系统中的实用性。

## 参考文献

- [1] SHI J, QING X, CHEN Z N. Electrically large zero-phase-shift line grid-array UHF near-field RFID reader antenna [J]. *Antennas & Propagation IEEE Transactions on*, 2014, 62(4):2201-2208.
- [2] SHEN L, ZHUANG W, TANG W, et al. Achieving uniform perpendicular magnetic field distribution for near-field ultra-high frequency radio-frequency identification[J]. *IET Microwaves Antennas & Propagation*, 2016, 10(2):215-222.
- [3] 金魁,詹大伟,杨阳,等. 小型化高增益微带差分天线设计[J]. *南京航空航天大学学报*, 2015, 47(6):911-916.

of compact and high gain differential micro-strip-antenna[J]. *Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2015, 47(6):911-916.

- [4] 刘祺,杨阳,何小祥. 基于古铜钱结构的高增益超材料 UHF-RFID 天线[J]. *微波学报*, 2014(S1):298-301.
- LIU Qi, YANG Yang, HE Xiaoxiang. A UHF-RFID antenna of high gain with the metamaterial structure of Chinese ancient coins[J]. *Journal of Microwaves*, 2014(S1):298-301
- [5] SHI J, QING X, CHEN Z N, et al. Electrically large dual-loop antenna for UHF near-field RFID reader[J]. *IEEE Transactions on Antennas & Propagation*, 2013, 61(3):1019-1025.
- [6] 李海林,周建江,谭静,等. 圆柱相控阵天线的功率分级和极化控制[J]. *南京航空航天大学学报*, 2013, 45(3):410-414.
- LI Hailin, ZHOU Jianjiang, TAN Jing, et al. Radiated power classification and polarization control of cylindrical phased array antenna[J]. *Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2013, 45(3):410-414.
- [7] LI X, LIAO J, YUAN Y, et al. Segmented coupling eye-shape UHF band near field antenna design[C]// *Microwave Conference, APMC 2009. Asia Pacific*; [s. n.], 2009:2401-2404.
- [8] QING X, CHEN Z N, SHI J, et al. Zero-phase-shift line antennas[C]// *International Workshop on Antenna Technology*. [S. l.]:IEEE, 2013:179-182.
- [9] KIANINEJAD A, CHEN Z N, QIU C W. Design and modeling of spoof surface plasmon modes-based microwave slow-wave transmission line[J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques*, 2015, 63(6):1-9.
- [10] OTTO S, RENNINGS A, LIEBIG T, et al. An energy-based circuit parameter extraction method for CRLH leaky wave antennas[C]// *Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation*. [S. l.]: IEEE, 2010:1-5.
- [11] 刘起坤,邢锋,张广求. 一种新型双陷波超宽带天线设计[J]. *微波学报*, 2011, 27(1):40-43.
- LIU Qikun, XING Feng, ZHANG Guangqiu. A new type of double trap ultra-wideband antenna design [J]. *Journal of Microwave*, 2011, 27(1):40-43.
- [12] QING X, CHEN Z N, GOH C K. UHF near-field RFID reader antenna with capacitive couplers[J]. *Electronics Letters*, 2010, 46(24):1591-1592.
- [13] DING X M, ZHANG K, YU H, et al. A novel magnetic coupling UHF near field RFID reader antenna based on multilayer-printed-dipoles array[J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2014, 50(1):1-4.
- [14] PAKKATHILLAM J K, KANAGASABAI M, VARADHAN C, et al. A novel fractal antenna for UHF near-field rfid readers[J]. *IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters*, 2013, 12(5):1141-1144.