

# 一种宽频带 RFID 阅读器天线的设计\*

彭章友 孟春阳 任秀方 李 帅

(特种光纤与光接入网省部共建重点实验室 上海大学 上海 200072)

**摘要:** UHF RFID 标签在密集布放环境下,会由于标签天线间的互相影响,使工作频率发生偏移,造成系统漏读。因而本文设计了一款新型的圆极化阅读器天线,该天线工作在 UHF 频段,具有小型化、高增益、宽频带的特性。其中主辐射圆形贴片通过 4 个探针与微带匹配网络上下相连,匹配网络的引入提高了天线的圆极化轴比和工作带宽。仿真结果表明,该天线在 UHF 频段的阻抗带宽和 3 dB 轴比带宽分别为 13% 和 5%,增益高达 9.4 dBi。在空旷的环境下,对密集布放的多个 RFID 标签进行读取测试。实验表明,运用宽频带的 RFID 阅读器天线可以有效地提高标签的读取率。

**关键词:** 圆极化;宽频带;馈电网络

**中图分类号:** TN82      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 140.35

## Design of a wide band RFID reader antenna

Peng Zhangyou Meng Chunyang Ren Xiufang Li Shuai

(Key Laboratory of Specialty Fiber Optics and Optical Access Networks, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** When Ultra High Frequency Radio Frequency Identification (UHF RFID) tags in dense cloth environment, the work frequency of stacked RFID tags will be deviated by the mutual influence between the tag antennas, and the system read rate will be declined. This paper designed a new type of circular polarization reader antenna, which works in the UHF frequency band, has the characteristics of miniaturization, high gain, and wide band. In this antenna, the main radiation circular patch is connected up and down by four probes to the matching network, which can effectively improve the circular polarization axial ratio bandwidth and work bandwidth of antenna. The simulation results show the antenna has 13% bandwidth of impedance and 5% bandwidth of 3 dB axial ratio, and 9.4 dBi gain in the UHF frequency. In the open environment, we test the tag read rate of intensive multiple RFID tags. The experimental results show that the wide band RFID reader antenna is available.

**Keywords:** circular polarization; wide band; matching network

## 1 引言

超高频射频识别系统 (radio frequency identification, RFID) 是一种方便的自动化非接触式识别技术<sup>[1]</sup>,具有快速化、小型化、抗干扰、可重复和穿透性强等特点,尤其在标签单一情况下,RFID 系统已经得到了广泛的应用。但在多标签环境中,系统的读取性能不理想,改善阅读器天线就成为了其中一条重要的措施。在标签密集布放下,由于标签摆放的散乱性,要求阅读器天线具有良好的圆极化特性,保证处于各个位置的标签均能被识别;其次,标签天线间的耦合干扰,会使原本匹配的标签,产生互阻抗,从而导致标签失配,工作频率发生偏移。因此,圆极化、宽频带的阅读器天线成为了一大需求。

现国内外对形成 RFID 宽频带圆极化天线,采用的对策主要有使用共面波导馈电<sup>[2]</sup>、L 形探针馈电<sup>[3]</sup>;附加馈电网络<sup>[4-5]</sup>,开槽曲流技术<sup>[6-7]</sup>;利用分形结构、形状奇异的辐射贴片<sup>[8]</sup>等。其原理都是基于产生两个相互垂直的线极化电场分量,并使二者振幅相等,相位相差 90°的思想<sup>[9]</sup>。各种方法依据的馈电方法也主要分为单馈法<sup>[10]</sup>和多馈法<sup>[11]</sup>2 种,其中应用单馈法的天线结构简单但频带宽窄;采用多馈法的天线虽然频带宽,但需要外加的馈电网络,且结构复杂不易小型化。为此,在密集布放的 RFID 系统中,如能将阅读器天线在单馈法的基础上,附加馈电网络,并进行小型化设计,将不失为改善系统性能的一大方法。

通过 4 个馈电探针将悬空的微带馈电网络和辐射贴片上下相连,实现小型化;并在馈电网络的边缘切角形成微

扰,形成极化正交的简并模,有助于天线的宽带特性。HFSS 仿真和实验表明,相比于传统的 UHF 频段圆极化天线,设计的天线工作频带扩大到 850~970 MHz,圆极化 3 dB轴比带宽为 897~947 MHz,增益高达 9.4 dBi,天线结构尺寸为 125mm×125mm×8.55mm;在多标签密集布放的环境测试中,标签的读取率也有所上升,实现了对 RFID 系统读取性能的有效提高。

## 2 设计思想

根据微带天线的腔模理论,  $TM_{01}$  模和  $TM_{10}$  模在天线面法向形成相互垂直的电场分量,若使此二分量大小相等、相位相差  $90^\circ$ ,便可产生圆极化辐射。通常的做法是在贴片上增加微扰,形成分离的简并模<sup>[12]</sup>。又由于天线的圆极化轴比带宽在单一的馈电形式下,往往会很窄<sup>[13]</sup>,阻抗带宽也仅有 1%~2%。而设计合理的馈电网络结构并优化天线排布<sup>[14]</sup>,可拓展天线轴比带宽,以获得良好的阻抗匹配和高增益。基于上述理论,本天线的设计思想如下:

1) 因为 A 型的矩形贴片馈电点在  $x$  轴或  $y$  轴上, B 型的则在对角线上<sup>[9]</sup>, 馈电位置比较局限,而圆形辐射贴片则比较灵活,所以采用的主辐射贴片为圆形;又依据 RFID 天线工作频率和介质基片的介电常数确定圆形辐射贴片的半径尺寸,由式(1)可知:

$$r = \frac{1.841c}{2\pi f \sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

式中:  $r$  是圆形贴片半径,  $c$  是光速,  $f$  是工作频率,  $\epsilon$  是介质的相对介电常数。由于微带贴片的窄频特性是由其高  $Q$  的谐振本性决定的,因而带宽与品质因素成反比,减小介电常数可在一定程度上拓展带宽,所以采用空气作为基片介质。

2) 圆形贴片与馈电网络通过 4 个正交配置的探针依次相连,通过在馈电网络上采用 L 形分支的形式,使相邻两支路有  $1/4$  波长的路径差,即式(2)所示:

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4\sqrt{\epsilon}f} \quad (2)$$

式中:  $f$  是天线工作频率,  $c$  是光速,  $\epsilon$  是介质的相对介电常数。产生的相位分别为  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 。馈电网络上,位于同一轴线上的一对探针相位差为  $180^\circ$ ,各自所激励的  $TM_{01}$  模或  $TM_{10}$  模是同相叠加的,而  $TM_{02}$  模与  $TM_{20}$  模互相抵消,且不会激励  $TM_{11}$  模,因而大大提高了天线的轴比。

3) 采用探针馈电方式,使馈电网络的大部分与贴片隔离,减小虚假辐射,提高天线辐射效率,且相比于微带馈电,有更宽的带宽。同时,在馈电网络的 4 个相位点引出开路终端枝节,并在枝节处通过切角引入微扰,便于调节圆形贴片的馈电位置和天线轴比带宽。

## 3 结构尺寸

图 1 显示了所设计的阅读器天线结构。

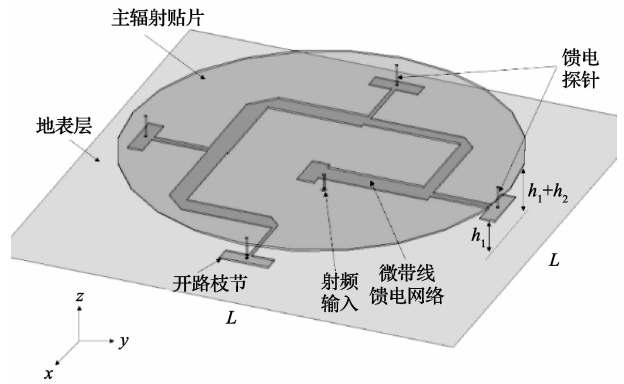


图 1 天线结构 ( $L=125$  mm)

该天线由 3 层导体组成,包括一个悬空的主辐射贴片,一个悬空的微带馈电网络和一个地表面层。选用空气作为导体间的介质,不仅降低了制作费用,还提高了天线增益,拓展了带宽。最底下的地表面层,长宽为 125 mm,与第 2 层的馈电网络相距 3.89 mm。第 3 层的辐射贴片,根据式(1)可得半径  $r$  约为 90 mm,经高频结构仿真软件 (high frequency structure simulator, HFSS) 优化设计后为 87 mm,辐射贴片上 4 个馈电点依次位于圆上四个象限,如图 2 所示。

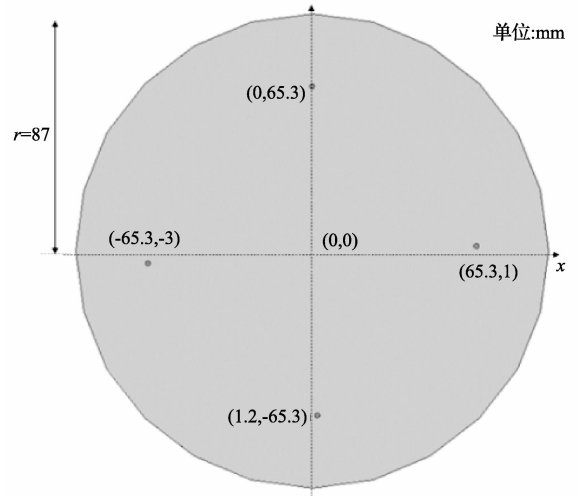


图 2 圆形辐射贴片

为使天线小型化,减小天线的横向空间,使用 4 个半径为 0.6 mm,高为 3.46 mm 的探针,连接第二层的微带馈电网络。如图 3 所示。

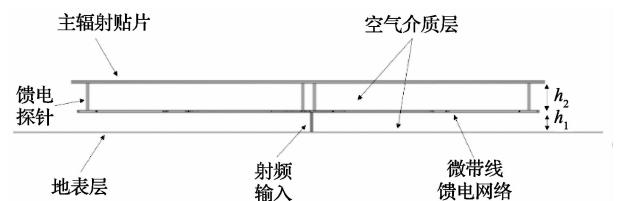


图 3 天线侧视图 ( $h_1=3.89$  mm,  $h_2=3.46$  mm)

馈电网络的一端连接射频输入,另 4 端为开路枝节。馈电网络使用 L 形分支,使每个馈电点产生 90°的相移,每个弯折分支的长度为 38.55 mm,L 形分支总长为 77.1 mm,约为 1/4 波长,但各分支宽度不一,这是因为由于开路枝节的存在,使得在每个分支节点的阻抗不一,必须满足阻抗匹配的要求。在开路枝节的末端使用长宽各自为 18.18 mm、5.52 mm 的矩形贴片,并附带有  $\Delta L$  为 3.6 mm 的切角微扰,以助于拓展天线轴比的带宽,如图 4 所示。

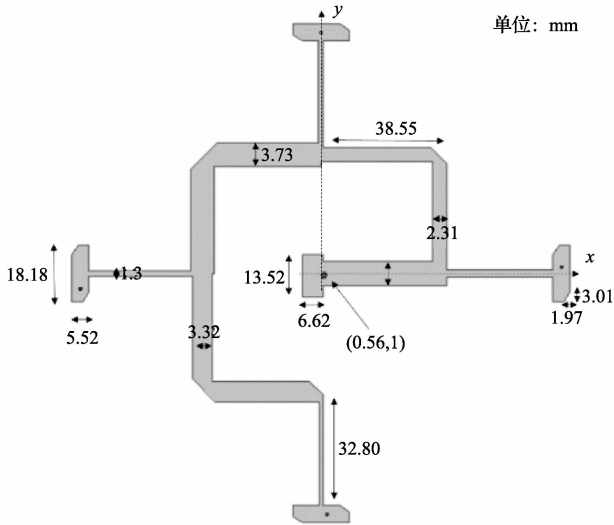


图 4 微带馈电网络层 (铜材料厚度均为 0.6 mm)

#### 4 仿真分析与实验测试

设计的天线工作频率为 920 MHz,带宽范围为国家规定的 920~925 MHz,在此带宽内,天线必须满足下式:

$$\begin{cases} S_{11} < -10 \text{ dB} \\ AR < 3 \text{ dB} \end{cases} \quad (3)$$

通过 HFSS 电磁仿真软件对天线进行仿真测试。最终设计的天线性能参数如下:

圆极化天线的回波损耗值如图 5 所示,天线在频率 920~925 MHz 内有阻抗匹配良好,回波损耗小于 -10 dB 的阻抗带宽为 850~970 MHz (约 13%)。

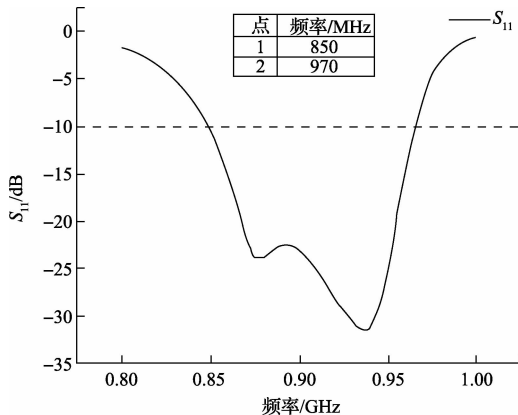


图 5 天线回波损耗

圆极化天线在频率为 920 MHz 的辐射方向图如图 6 所示,天线沿  $z$  轴方向增益高达 9.4 dBi。且天线在  $x-z$  面和在  $y-z$  面内有很好的定向波束方向性。

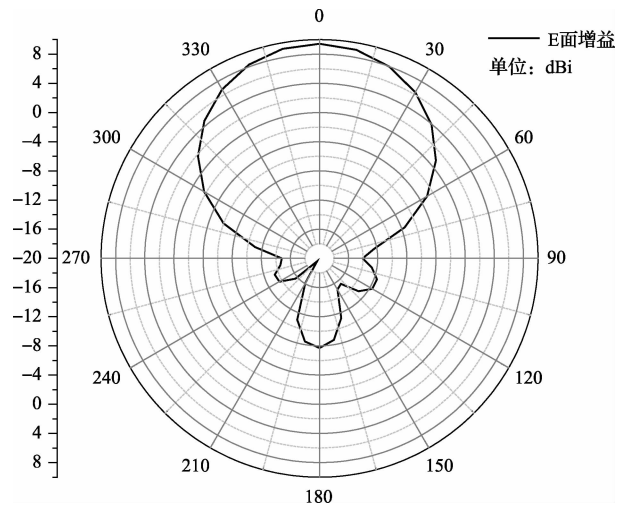


图 6 天线增益

该右旋圆极化天线的轴比值如图 7 所示。从图中可以看出,3 dB 轴比带宽为 897~947 MHz,约为 5.4%,远大于单馈方式圆极化天线的轴比。因而该天线具有良好的圆极化特性。

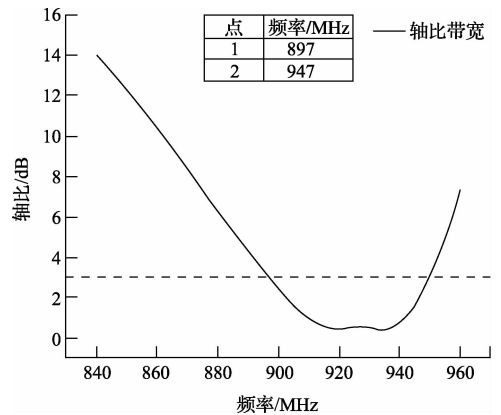


图 7 天线 3 dB 轴比带宽

图 8 为天线实物图,将该天线应用于 RFID 多标签读取测试系统,图 9 所示。规定系统有效辐射功率为 2 W,阅读器天线距离标签为 55 cm<sup>[15]</sup>,标签正对阅读器天线水平摆放,标签总数依次为 15、25、35、45;标签间间距依次为 2 mm、3 mm、4 mm,共 12 组实验。每组的系统读取率  $\eta$  可由式(4)计算得到。

$$\eta = \frac{m}{n} \quad (4)$$

式中:  $m$  为实际读取的标签数,  $n$  为测试的总标签数。

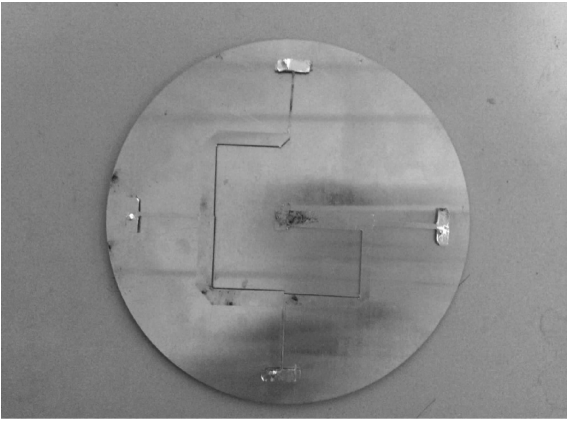


图8 天线实物

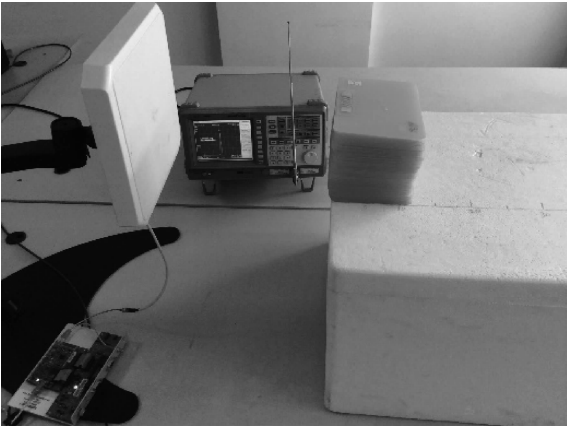


图9 标签密集布放读取测试实验

传统天线和宽频天线测试结果如表1和2所示。

表1 传统天线

标签数	15	25	35	45
间距 2mm	12	18	24	30
间距 3mm	13	21	27	33
间距 4mm	14	21	30	37
系统平均读取率(%)	86.6	80	77.1	74.1

表2 宽频带天线

标签数	15	25	35	45
间距 2mm	13	20	27	34
间距 3mm	13	21	29	35
间距 4mm	14	22	30	38
系统平均读取率(%)	88.9	84	81.9	79.2

从实验测试结果分析可知,在多标签读取测试系统中,相比于频带较窄的传统阅读器天线,应用宽频带的阅读器天线能有效提高标签读取率,且标签间间距越小,读取率提高越明显。

## 5 结 论

该文提出了一种宽频带的高增益圆极化天线,并对圆极化天线的主要参量包括带宽、轴比、增益、远场方向图等进行了分析讨论。仿真测试表明,在我国 UHF RFID 频段 920~925 MHz 内,该天线增益高达 9.4 dBi,轴比小于 3 dB,回波损耗小于 -10 dB,且天线阻抗带宽和轴比带宽分别高达 13% 和 5%,适于我国 RFID 系统应用。此外,设计提出的馈电网络和天线结构形式,以及结合使用的一些带宽拓展技术,证明了实现圆极化特点的可行性。并在多标签读取测试实验中,得到了良好的验证。但是测试结果表明,系统读取率依旧不能达到百分之百,这说明在密集布放环境中,要保证 RFID 多标签全部被识别,还需采用其他措施。下一步工作,将针对 RFID 标签天线和系统防碰撞算法两方面做进一步的改善,以助于改善 RFID 系统的多标签读取性能。

## 参考文献

- [1] 于洁潇,刘开华,史伟光. RFID 多跳邻域定位算法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(12): 2680-2687.
- [2] 李迎松,杨晓冬,刘乘源,等. 共面波导馈电的超宽带天线研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(9): 819-823.
- [3] 彭煜,李萍,朱永忠,等. 一种 L 型探针馈电的微带共形天线设计[J]. 科技视界, 2013 (18): 59-60.
- [4] CHEN Z N, QING X, CHUNG H L. A universal UHF RFID reader antenna[J]. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 2009, 57(5): 1275-1282.
- [5] LIU Y, LIU X Y. Circularly polarized antenna with circular shaped patch and strip for worldwide UHF RFID applications [C]. Proceedings of the International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP), 2013 (2): 1154-1157.
- [6] PAN Y, ZHENG L, LIU H J, et al. Directly-fed single-layer wideband RFID reader antenna [J]. Electronics letters, 2012, 48(11): 607-608.
- [7] 宋祖勋,毋宝玉,张朋. 一种应用于近场测试系统的小型化超宽带 Vivaldi 天线设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(6): 99-102.
- [8] HSU H T, HUANG T J. A Koch-shaped Log-Periodic Dipole Array (LPDA) Antenna for Universal Ultra-High-Frequency (UHF) Radio Frequency Identification (RFID) Handheld Reader[J]. 2013.
- [9] 钟顺时. 天线理论与技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2011.
- [10] NORZELI S M, ISMAIL I, BUSU M F M. Designing an UHF RFID reader antenna [C].

- Symposium on Humanities, Science and Engineering Research (SHUSER), 2012: 599-602.
- [11] JUNG Y K, LEE B. Dual-band circularly polarized microstrip RFID reader antenna using metamaterial branch-line coupler[J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 2012, 60(2): 786-791.
- [12] 张宁, 赵玉冬, 王遂学. 一种宽带宽角圆极化天线的设计研究[J]. 微波学报, 2012(2): 125-127.
- [13] KARMAKAR N C, ZAKAVI P, KUMBUKAGE M. Development of a phased array antenna for universal UHF RFID reader[C]. Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2010: 1-4.
- [14] CHEN W S, HUANG Y C. A novel RFID reader antenna with circular polarization operation [C]. International Conference on Applications of Electromagnetism and Student Innovation Competition Awards (AEM2C), 2010: 117-120.
- [15] 谢晶晶, 赵东东. UHF Passive RFID 标签最大阅读距离的研究[J]. 电子测量技术, 2012, 35(3): 45-49.

### 作者简介

**彭章友**, 1965 年出生, 教授, 博士。主要研究方向为无线通信技术、通信信号处理、交通信息工程与控制等。

E-mail: zypeng@mail. shu. edu. cn

**孟春阳**, 1990 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为 RFID 读写器天线和标签天线。

E-mail: mcy61346688@163. com

**任秀方**, 1989 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为 RFID 标签天线。

**李帅**, 1988 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为 RFID 读写器。

(上接第 10 页)

- [2] BHENDE C N. Stand-alone wind energy supply system [C]. Power Systems, 2009. ICPS'09, International Conference on. IEEE, 2009: 1-6.
- [3] 朱曙. 基于 PLC 的风力发电控制系统研究[J]. 电子测量技术, 2009, 32(3): 165-168.
- [4] 崔畅, 赵强. PSMG 风力发电系统 MPPT 优化控制策略研究[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(5): 60-63.
- [5] 何庆领, 王群京. 永磁同步发电机齿槽转矩削弱方法研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(5): 461-466.
- [6] 李伟力, 仝世伟, 程鹏. 离网型永磁同步发电机电磁场和温度场数值计算与分析[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(30): 107-113.
- [7] 吴忠强, 庄述燕, 韩延光. 直驱永磁风电系统能量成形与最大风能捕获[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(2): 344-351.
- [8] 陈家伟, 陈杰, 龚春英. 离网风力发电系统功率控制与能量管理策略[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(S1): 7-14.
- [9] 胡克石, 马瑞卿, 皇甫宜耿, 等. 离网型风力发电控制系统尖峰抑制研究[J]. 微电机, 2012, 45(9): 82-85.
- [10] 郭旭东, 申群太, 韩华. 一种离网型风力发电系统的不平衡控制策略[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1886-1893.
- [11] SHARMA R, RASMUSSEN T W, JENSEN B B. Application of a synchronous generator with a boost converter in wind turbines; an experimental overview [J]. IET Renewable Power Generation, 2012, 6(6): 414-423.

### 作者简介

**姜科**, 1993 年出生, 本科。主要研究方向为永磁风力发电系统变流器控制。

**赵晨栋**, 1993 年出生, 本科。主要研究方向为永磁风力发电系统变流器控制。

**单长帅**, 1992 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为永磁风力发电系统变流器控制。

**耿强**, 1978 年出生, 工学博士, 讲师。主要研究方向为永磁风力发电系统设计及控制等。

E-mail: gengqiang@tju. edu. cn