

DOI: 10.13382/j.jemi.B1902641

# 一种应用于不同轴径转轴的感应供电平面阵列线圈结构

高浚凯<sup>1</sup> 齐红丽<sup>2</sup> 王天泽<sup>1</sup> 吉小军<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院 上海 200240; 2. 中国船舶重工集团公司第704研究所 上海 2000310)

**摘要:**感应耦合供电(ICPT)技术为旋转结构供电提供了安全高效的解决方案,针对旋转结构传统的侧置式和同轴式感应耦合供电结构存在耦合结构设计、安装、调试繁琐的缺点,提出了一种感应耦合供电的平面阵列线圈结构。通过建立精确三维有限元模型,分析了移动中系统供电的稳定性和抗偏移性。实验结果表明,该耦合结构消除了传统结构供电时发射与接收线圈位置保持相对静止的弊端,对运动物体供电具有良好的鲁棒性和可移植性,易于安装和使用,更好地适应移动设备供电。提取阵列线圈结构感应供电时接收线圈感应电压幅值的小幅波动,可以同时实现转轴转速测量。

**关键词:** 感应耦合供电; 无线供电; 转轴; 阵列线圈

**中图分类号:** TN86 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

## Inductive power transfer planar array coil structure applied to shafts of different shaft diameters

Gao Junkai<sup>1</sup> Qi Hongli<sup>2</sup> Wang Tianze<sup>1</sup> Ji Xiaojun<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. No. 704 Research Institute, China Shipbuilding Industry Corporation, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** Inductive coupled power transfer (ICPT) technology provides a safe and efficient solution for power supplying of rotating structures. For the disadvantages of design installation and debugging in traditional coaxial and side-mounted structure, this paper presents a planar array coil inductive coupled power transfer structure. It analyzes the stability and offset resistance of the power supply in the mobile system by building the 3D FEM model. The experimental results show that the coupling structure eliminates the disadvantages of the position of the transmitting and receiving coils being relatively static when the traditional structure is powered. It has good robustness and portability to the moving object. It is easy to install and use, and better adapts to the power supply of mobile devices. When this structure is powered, the speed of the rotating shaft can be acquired at the same time by the small fluctuation of the induced voltage amplitude in receiving coil.

**Keywords:** inductive coupled power transfer (ICPT); wireless power transfer; shaft; array coil

## 0 引言

感应耦合供电技术消除了供电设备间直接的连接关系,以其非接触特性成为近几年广泛应用的供电方式<sup>[1-2]</sup>。感应耦合无线供电具有安全、方便等优点,在便携式设备、移动设备、体内植入医疗设备等方面有着不可替代的地位<sup>[3-6]</sup>,特别是对于转动结构,以其安全性、可靠性、耐用性逐步取代传统的电刷滑环供电方式<sup>[7]</sup>。目前应用在转轴的感应供电结构有侧置结构和同轴结

构<sup>[8-10]</sup>,这两种结构接收端线圈均与转轴同轴,发射端线圈轴线与接收端线圈轴线平行或同轴。这些耦合方式的线圈结构均要依照不同的轴径做出相应的调整,系统参数会随之变化。在设计、安装和调试阶段带来诸多不便。

随着近年来在轨道电车和移动设备无线供电中多线圈耦合结构的研究不断深入<sup>[11-16]</sup>。在此本文提出一种平面阵列线圈感应耦合供电结构,接收阵列线圈由相同规格接收线圈并联组成接收阵列,接收阵列线圈安装在转轴圆周侧随轴转动,发射线圈位置正对接收阵列线圈。该结构易安装、易调试,对不同轴径转轴具有良好的可移

植性,更好地适应转轴系统无线供电。

### 1 不同结构线圈互感耦合系数分析

电感感应耦合供电利用法拉第电磁感应原理,发射线圈中交变电流在周围空间产生交变磁场,接收线圈在交变磁场中产生感应电动势,从而实现了能量的无线传输。感应线圈间的耦合系数影响着系统能量的传输效率,耦合系数的大小不仅与线圈的材料、形状和结构有关,还与他们在空间中的相对位置有关。

侧置式结构如图 1(a)所示,接收线圈绕制在转轴上,发射线圈放置在转轴一侧。发射线圈外侧磁场强度较弱且磁力线分布较为发散,需要在发射端附加磁芯使得磁通聚拢提高耦合效率,因此侧置式结构总体的耦合效率并不高,往往不到 50%。同轴结构如图 1(b)所示,使得绝大多数磁链穿过接收线圈,耦合效率大大提高,但供电线圈的绕制与参数的设计较为复杂和繁琐,针对不同转轴需要对系统做专门的设计与安装。采用图 2 所示平面阵列线圈结构,接收线圈并联组成接收阵列,接收、发射线圈同轴正对,使得系统可以具有很高的耦合效率,同时采用阵列的方式,针对不同直径的转轴,只需要调整阵列线圈的个数,系统的移植性好,系统参数的计算也仅仅为标准接收线圈参数的简单计算。

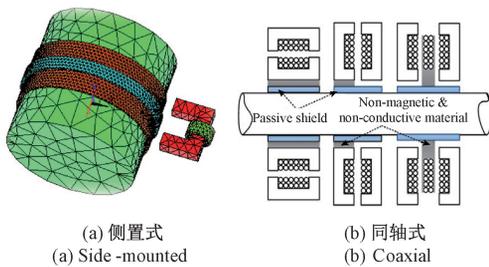


图 1 侧置式和同轴式感应供电结构  
Fig. 1 Side-mounted and coaxial inductive power supply structure

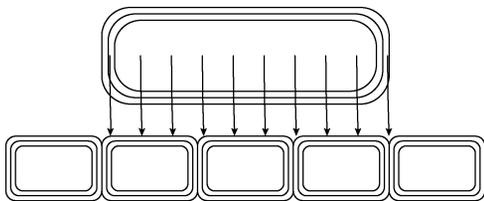


图 2 平面阵列式感应供电结构  
Fig. 2 Planar array type induction power supply structure

在工业生产和日常生活中,圆形与矩形作为最常用的形状出现,感应供电领域的线圈绝大多数采用圆形设

计和矩形设计均考虑到其形状的对称性与稳定性,对于少数的异形线圈来说,设计的初衷大多是为了某些特殊结构和场合,因此平面阵列线圈结构采用矩形或圆形线圈结构。从系统能量传输的角度来看,通过对任意时刻任意位置处两线圈耦合系数的求解,可以求出此时此刻系统的能量传输效率。阵列式线圈结构在转轴转动过程中,发射、接收相对位置不断变化,由于线圈周围磁场为分布非均匀,致使耦合系数不断变化,影响系统能量传输效率。通过对矩形和圆形线圈空间磁场强度计算求得线圈间耦合系数,推测系统能量传输效率的变化情况。

#### 1.1 矩形线圈互感分析

计算矩形线圈在空间任意一点的磁场强度时,近似认为矩形线圈由多个单匝线圈叠加而成,分段求出单匝线圈各段直导线的磁场分布,再进行叠加。

图 3 所示为长宽均为  $2a$  的单匝矩形线圈,下方矩形线圈  $ABCD$  通过大小为  $I$  的电流,两线圈间隔距离为  $Z_0$ ,上方矩形区域中任意一点  $P(x, y, z_0)$  处的磁场强度为  $B$ ,磁场强度的  $Z$  轴分量为:

$$B_z = B \cos \theta = \frac{\mu_0 I r}{4\pi R^2} (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \quad (1)$$

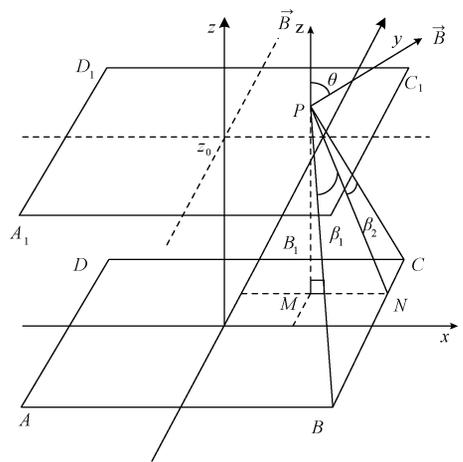


图 3 单匝矩形线圈磁场分布  
Fig. 3 Single-turn rectangular coil magnetic field distribution

分别求取各段直导线在点  $P$  沿  $Z$  轴的磁场强度,通过叠加原理求得  $P$  点  $Z$  轴方向总磁场强度:

$$B_z = B_{z1} + B_{z2} + B_{z3} + B_{z4} \quad (2)$$

穿过上方封闭矩形线圈的磁通量为各点磁场强度的积分:

$$\Phi_m = \iint_s B_z dS = \iint_s (B_{z1} + B_{z2} + B_{z3} + B_{z4}) ds \quad (3)$$

其中:

$$B_{z1} = \frac{\mu_0 I (a-x)}{4\pi [z^2 + (a-x)^2]} \left[ \frac{a-y}{\sqrt{z^2 + (a-x)^2 + (a-y)^2}} + \right.$$

$$\left. \frac{a+y}{\sqrt{z^2+(a-x)^2+(a+y)^2}} \right] \quad (4)$$

$$B_{z2} = \frac{\mu_0 I (a-y)}{4\pi [z^2+(a-y)^2]} \left[ \frac{a-x}{\sqrt{z^2+(a-y)^2+(a-x)^2}} + \right.$$

$$\left. \frac{a+x}{\sqrt{z^2+(a-y)^2+(a+x)^2}} \right] \quad (5)$$

$$B_{z3} = \frac{\mu_0 I (a+x)}{4\pi [z^2+(a+x)^2]} \left[ \frac{a-y}{\sqrt{z^2+(a+x)^2+(a-y)^2}} + \right.$$

$$\left. \frac{a+y}{\sqrt{z^2+(a+x)^2+(a+y)^2}} \right] \quad (6)$$

$$B_{z4} = \frac{\mu_0 I (a+y)}{4\pi [z^2+(a+y)^2]} \left[ \frac{a-x}{\sqrt{z^2+(a+y)^2+(a-x)^2}} + \right.$$

$$\left. \frac{a+x}{\sqrt{z^2+(a+y)^2+(a+x)^2}} \right] \quad (7)$$

根据互感计算公式  $M = \frac{\Phi_m}{I}$  求出均匀  $n$  匝矩形线圈的互感:

$$M = \sum_1^n \frac{\iint B_z ds}{I} = \iint \sum_1^n B_z ds \quad (8)$$

### 1.2 圆形线圈互感分析

对于单匝圆形线圈周围磁场强度分布的计算如图 4 所示,根据毕奥·萨伐尔定律,求取任意电流元  $IdL$  在观察点  $P(x, y, z_0)$  产生的磁感应强度。

$$IdL = Iad\theta \cdot i_\theta = Ia(-\sin\theta i_x + \cos\theta i_y) d\theta$$

观察点的位置矢量:

$$\vec{r} = xi_x + yi_y + z_0i_z$$

电流元的位置矢量:

$$\vec{r}' = ai_r = a(\cos\theta i_x + \sin\theta i_y),$$

则,观测点到电流元的位置矢量为:

$$\vec{R} = \vec{r} - \vec{r}' \quad (9)$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{R}}{|R|^3} \quad (10)$$

$$B = \int_0^{2\pi} dBd\theta = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{R}}{|R|^3} d\theta \quad (11)$$

$$M = \frac{\Phi_m}{I} = \frac{\iint B_z ds}{I} = \frac{\iint B \cos\phi ds}{I} \quad (12)$$

由此可见,相对位置发生变化的情况下,无论是圆形线圈还是矩形线圈,耦合系数均会发生变化,线圈的形状会影响耦合系数在相对位置发生变化时的改变程度。平面阵列线圈随转轴转动过程中,线圈间耦合系数发生周期性变化,使感应电压产生周期性波动。过大的电压波

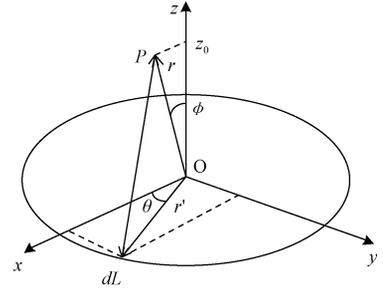


图 4 单匝圆形线圈磁场分布

Fig. 4 Single-turn circular coil magnetic field distribution

动使得接收端在 AC-DC 整流过程中产生过多的能量损耗导致元件发热严重,影响系统的寿命和安全性。另一方面小幅合理的电压波动又可以体现出转轴转速的信息。感应电压周期性波动具有两面性,一方面看来是无用的功耗浪费,另一方面又是转速信息的载体,因此合理控制电压波动,使得既可以实现系统低损耗稳定供电,又可以获取所需要的信息是平面阵列线圈结构优化的重点。

## 2 平面阵列线圈感应供电系统仿真分析

平面列线圈感应供电耦合结构可以实现系统较为高效、稳定供电,具有良好的可移植性,但是在供电过程中接收端电压的周期性波动是不可避免的。合理的设计阵列式线圈结构,控制电压波动,不仅可以调高系统供电效率、安全性,降低能量损耗,还可以从中提取转轴的转速信息。

在平面阵列线圈感应供电耦合结构中接收线圈与发射线圈相对位置发生周期性变化,不同线圈形状与发射线圈大小均对耦合系数的改变有着不同程度的影响。COMSOL 有限元仿真可以准确的模拟不同情况下阵列线圈结构的磁场耦合情况,使用 COMSOL 中的 AC-DC 模块,选择磁场(mf)物理场,搭建与实际一致的有限元结构模型和电路模型,系统的耦合系数、感应电压可以直观的得到,精确的计算出运动过程中系统耦合系数的变化情况。有限元仿真的模型如图 5 所示,其中包括发射线圈,接收阵列线圈,发射、接收线圈外围电路连接,以及实际中用到的导磁片。

### 2.1 发射与接收线圈尺寸相同下不同线圈形状对系统耦合效率的影响

相对位置发生变化,不同形状线圈会对耦合系数产生不同的影响,为探究线圈形状对耦合系数的影响,进行建模分析。矩形线圈与圆形线圈设为相同尺寸,矩形线圈的长宽均为 5 cm,圆形线圈的直径为 5 cm,发射线圈加载正弦激励电压源,线圈间耦合间距 2 cm。发射、接收

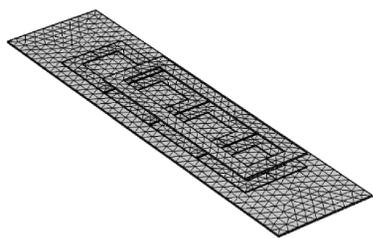


图 5 有限元仿真的模型

Fig. 5 Finite element simulation model

线圈初始位置同轴正对,发射线圈沿接收阵列线圈排列方向移动,每移动 0.5 cm 记录接收阵列线圈上的感应电压,移动距离为一个接收线圈长度时实现一次线圈跨越。耦合结构分为以下 4 种,发射线圈矩形-接收线圈矩形 (squ-squ)、发射线圈矩形-接收线圈圆形 (squ-cir)、发射线圈圆形-接收线圈圆形 (cir-cir) 和发射线圈圆形-接收线圈矩形 (cir-squ)。4 种线圈耦合结构在移动中耦合效率变化情况相似,如图 6 所示。发射线圈在开始移动时,耦合系数缓慢下降,在靠近接收线圈中心点的过程中快速下降,在中心点附近下降程度变缓,中心点处耦合系数达到最小值。对 4 种结构耦合效率下降程度进行比较, squ-squ 结构效果最优,感应电压波动 20%, cir-cir 结构效果最差,感应电压波动 40%, squ-cir、cir-squ 结构感应电压波动为 25%。

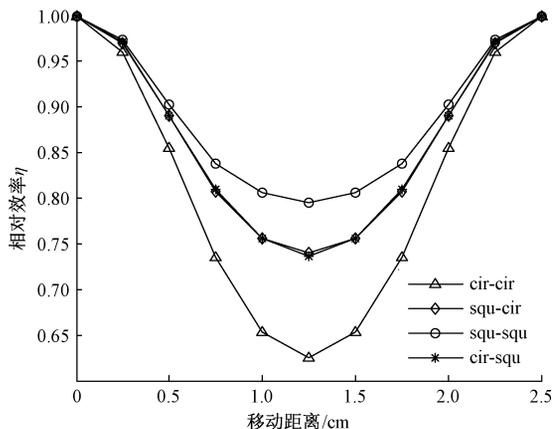


图 6 不同形状线圈感应电压波动

Fig. 6 Induce voltage fluctuations of coils of different shape

### 2.2 发射线圈对应多个接收线圈

增加发射线圈尺寸使发射线圈同时正对多个接收线圈可以有效降低相对位置变化时耦合系数的变化程度,发射线圈若为圆形,半径过大,造成接收阵列线圈两侧磁通浪费,虽然系统稳定性增加,但整体耦合效率降低。若发射线圈改为椭圆形则与矩形没有太大差异。因此发射线圈采用矩形,接收线圈分别选用矩形和圆形线圈,改变

矩形发射线圈尺寸,宽度不变,长度分别为接收线圈的 1~6 倍,发射线圈加载正弦激励电压源,线圈间耦合间距 2 cm,发射、接收线圈初始位置同轴正对,发射线圈沿接收阵列线圈排列方向移动。

记录两种结构在移动过程中,中心点(最差耦合点)处耦合系数的相对值,结果如图 7 所示,两种耦合结构下,随着发射线圈长度增加,中心点处耦合效率逐渐提高,改善程度随长度的增加而降低。接收线圈为矩形的效果始终优于接收线圈为圆形。发射线圈长度为矩形接收线圈长度 3 倍情况下,最中心点处耦合效率从最初的 80% 提高至 92%。

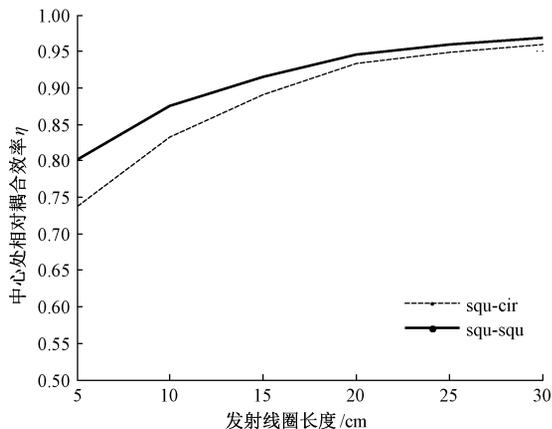


图 7 两种情况下中心点耦合效率与线圈长度关系

Fig. 7 The relationships of central point efficiency and coil length in two cases

### 2.3 侧向偏移稳定性优化

系统供电过程中,接收阵列线圈或者发射线圈均可能发生侧向偏移使耦合系数下降,影响系统供电的稳定性。增加发射线圈与接收线圈宽度差值,可以提高系统侧向偏移抗性。初始发射线圈和接收线圈宽度相同,分别将其中某一线圈宽度变为原来的 1.2、1.4、1.8 倍,对偏移程度为初始线圈宽度 5%、10%、20%、40% 的情况进行耦合效率变化程度的仿真。

结果如图 8、9 所示,增加发射与接收线圈宽度差值,有效改善了系统在偏移状态下耦合效率,在偏移情况下,增加发射线圈宽度对耦合效率的改善效果略优于增加接收线圈宽度。发射线圈宽度为接收线圈宽度 1.2 倍,侧向偏移程度 20% (1 cm) 的情况下,耦合效率为线圈正对的 91%。

## 3 实验验证及测试结果

根据仿真结果,进行了实物实验验证如图 10 所示,矩形发射线圈长度 11.5 cm,宽度 5 cm,采用 150 芯利兹

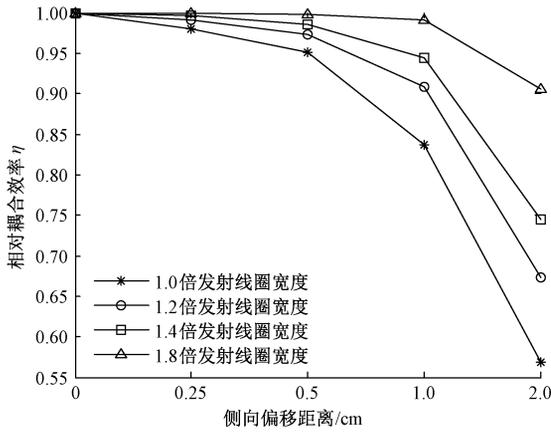


图8 不同发射线圈宽度下偏移程度与耦合效率的关系  
Fig. 8 Relationship between offset and coupling efficiency under different transmit coil widths

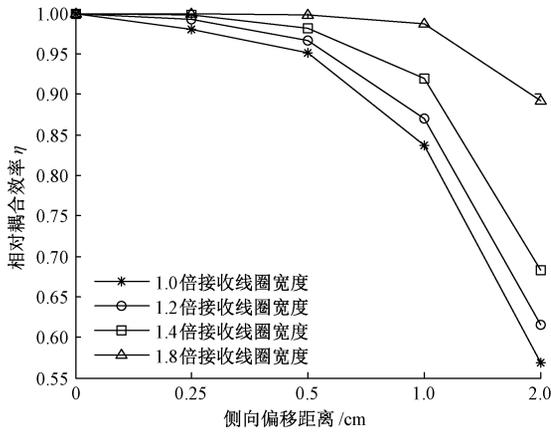
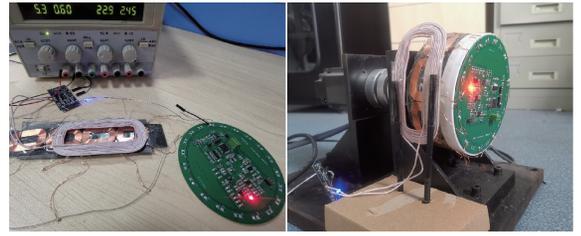


图9 不同接收线圈宽度下偏移程度与耦合效率的关系  
Fig. 9 Relationship between offset and coupling efficiency under different receiving coil widths



(a) 静态测试 (a) Static-test  
(b) 动态测试 (b) Dynamic-test

图10 实验验证

Fig. 10 Experimental verification

处,测试静态下感应电压波形如图12、13所示,最佳耦合状态感应电压幅值8V,最差耦合状态感应电压幅值7V,电压波动幅度12.5%。在动态测试情况下如图10(b),感应电压变化与静态测试结果相同,循环波动如图14所示。后续进一步对感应电压信号包络检波,提取幅值变化波形,根据波形频率 $f$ 和转轴一周接收线圈个数 $N$ 可求得转轴的转速 $V$ 。

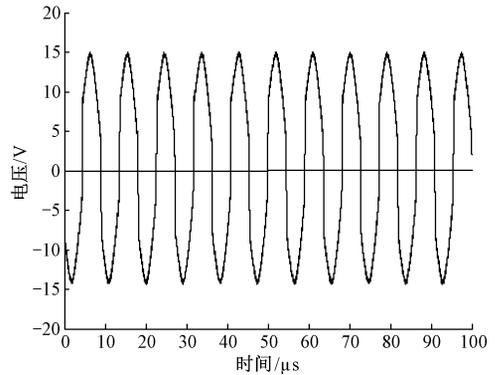


图11 发射线圈电压波形

Fig. 11 Transmitting coil voltage waveform

线绕制,匝数10匝,电感值 $12.9\ \mu\text{H}$ ,矩形接收线圈长度4cm,宽度3cm,0.1mm漆包铜线绕制,匝数60匝,电感值 $24.6\ \mu\text{H}$ ,供电系统逆变频率110kHz,发射端采用5V-DC电压供电,并对供电系统进行谐振补偿,降低系统的无功功率,提高系统耦合效率。

如图11所示,经补偿后加载到发射线圈的逆变电压近似为幅值为15V的正弦交流电压。模拟发射线圈与接收阵列线圈的相对运动状态,如图10(a)所示,接收阵列线圈的感应电压先是缓慢下降,在移动到下一接收线圈中心位置附近(最差耦合点)的过程中快速下降,在下一接收线圈中心位置处,感应电压下降到最小值,远离中心点时感应电压变化过程与靠近时对称,移动距离为一个接收线圈长度时完成一次跨域,如此反复循环,实现稳定的供电。分别把发射线圈放在接收阵列线圈完全正对的最佳耦合位置和跨越半个接收线圈的最差耦合位置

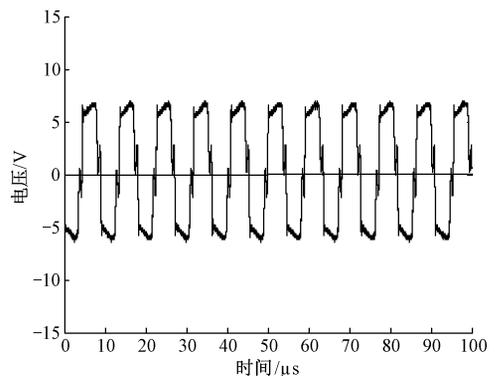


图12 最差耦合点感应电压波形

Fig. 12 Worst coupling point induced voltage waveform

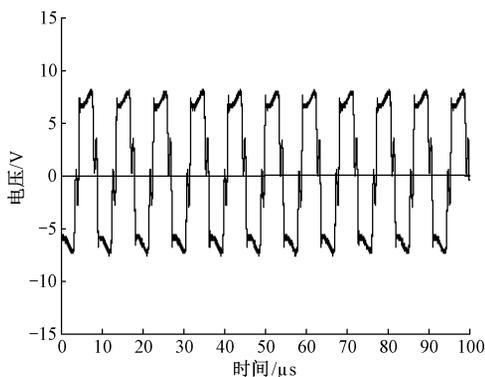


图 13 最佳耦合点感应电压波形

Fig. 13 Best coupling point induced voltage waveform

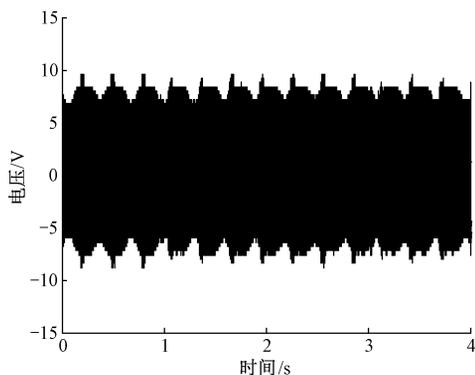


图 14 动态测试感应电压波形

Fig. 14 Induced voltage waveform in dynamic test

## 4 结 论

针对传统转轴感应供电耦合结构的不足,本文提出了一种新型平面阵列线圈供电结构,实现稳定供电。本文通过对平面阵列线圈耦合结构磁场强度变化进行理论分析、建立有限元仿真模型,分析了线圈形状为矩形、圆形对系统供电稳定性的影响;矩形发射线圈不同长度对供电稳定性的影响;侧向偏移抗性与发射、接收线圈宽度差值大小间的关系,得到如下结论。

1) 针对圆形与矩形线圈,在运动过程中发射、接收均为矩形线圈,系统供电稳定性最佳,耦合系数波动幅度最小;发射、接收线圈均采用圆形时系统供电稳定性最差,耦合系数波动大。

2) 系统供电稳定性随矩形发射线圈长度增加而增强,增强的趋势随发射线圈长度增加而趋于平缓。在矩形发射线圈长度相同,接收线圈尺寸相同情况下,接收线圈采用矩形系统稳定优于圆形。

3) 发射、接收线圈宽度存在差值,可以提高系统的侧向偏移抗性,随着差值的加大,侧向偏移抗性增强。

## 参考文献

- [ 1 ] ABDOLKHANI A, HU A P, COVIC G A, et al. Through-hole contactless slipping system based on rotating magnetic field for rotary applications [ J ]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50 ( 6 ): 3644-3655.
- [ 2 ] 杨明博,管延智,李强,等. 磁共振无线能量传输拓扑结构特性研究[ J ]. 仪器仪表学报, 2016, 37(10): 2382-2391.  
YANG M B, GUAN Y ZH, LI Q, et al. Research on key topologies of the wireless power transmission system [ J ] Chinese Journal of Scientific Instrument 2016, 37(10): 2382-2391.
- [ 3 ] HA-VAN N, SEO C. Butterfly-shaped transmitting coil for wireless power transfer system in millimeter-sized biomedical implants [ C ]. 2018 IEEE Wireless Power Transfer Conference ( WPTC ), 2018: 1-4.
- [ 4 ] 李洪宇,王茜,苗雨润,等. LCL 补偿型浮标感应耦合电能传输系统特性[ J ]. 仪器仪表学报, 2018, 39(2):121-129.  
LI H Y, WANG Q, MIAO Y R, et al. Characteristics of LCL compensation inductively coupled power transmission system for buoy [ J ] Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(2):121-129.
- [ 5 ] TEJEDA A, COVIC G A, BOYS J T. Novel single-sided ferrite-less magnetic coupler for roadway EV charging[ C ]. 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition ( ECCE ), 2015: 3148-3153.
- [ 6 ] 熊浩,董永贵. 无源线圈在电磁感应溶液测量中的增强效应[ J ]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4):721-729.  
XIONG H, DONG Y G. Enhancement effect of a passive coil in electromagnetic induction solution measurement [ J ]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(4): 721-729.
- [ 7 ] 罗鸿飞,李建宇. 应用于转轴的无线供电装置研究[ J ]. 电子科学技术, 2017(2):29-31.  
LUO H F, LI J N. A wireless power transmission device for rotary axles [ J ] Electronic Science & Technology, 2017(2):29-31.
- [ 8 ] 戴明,王佩君,齐红丽,等. 金属转轴无线感应供电系统传输功率分析与结构优化[ J ]. 船舶工程, 2018, 40(11):86-91,96.  
DAI M, WANG P J, QI H L, et al. Transmission power analysis and structure optimization of wireless induction power supply system on metal shaft [ J ]. Ship Engineering, 2018, 40(11):86-91,96.
- [ 9 ] ABDOLKHANI A, HU A P. Face to face through-hole contactless slipping system for rotary applications [ J ].

- International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 3013, 2(9): 2320-3765.
- [10] ABDOLKHANDI A, HU A P, NAIR N K C. A double stator through-hole type contactless slipring for rotary wireless power transfer applications [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2014, 29(2): 426-434.
- [11] MIRBOZORGI S A, BAHRAMI H, SAWAN M, et al. A smart multicoil inductively coupled array for wireless power transmission[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(11):6061-6070.
- [12] MIRBOZORGI S A, BAHRAMI H, SAWAN M, et al. A smart multicoil inductively coupled array for wireless power transmission[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(11):6061-6070.
- [13] KIM S, COVIC G A, BOYS J T. Analysis on tripolar pad for inductive power transfer systems [C]. 2016 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), 2016: 15-20.
- [14] LIU Z, CHEN Z D, LI J, et al. A shape-reconfigurable modularized wireless power transfer array system for multi-purpose wireless charging applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2018, DOI: 10.1109/TAP.2018.2839350.
- [15] 苏玉刚, 张帅, 徐勇, 等. 电动汽车无线供电系统电能发射线圈设计与切换控制[J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(1):168-176.  
SU Y G, ZHANG SH, XU Y, et al. Design and switching control of power supply coils applied to ICPT-based electric vehicles [J] Journal of Southwest Jiaotong

University, 2016, 51(1):168-176.

- [16] 范满义, 史黎明, 殷正刚, 等. 移动式感应电能传输系统分段供电控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(7): 2112-2120.  
FAN M Y, SHI L M, YIN ZH G, et al. Research on control strategy of segmented power supply for mobile inductive power transfer system [J] Proceedings of the CSEE, 2018, 38(7): 2112-2120.

## 作者简介



高浚凯, 2016年于电子科技大学获得学士学位, 2020年于上海交通大学获得硕士学位, 主要研究方向为无线电能传输。

E-mail: gaojunkai@sjtu.edu.cn

**Gao Junkai** received B. Sc. from University of Electronic Science and Technology of China in 2016 and M. Sc. from Shanghai Jiaotong University in 2020. His main research direction includes wireless power transmission.



吉小军(通信作者), 分别在1994年和1999年于华北工学院(现中北大学)获得学士学位和硕士学位, 2004年于上海交通大学获得博士学位, 现为上海交通大学教授, 主要研究方向为新型传感器和特种测试技术研究。

E-mail: jxj127@sjtu.edu.cn

**Ji Xiaojun** (Corresponding author) received B. Sc. and M. Sc. from North University of China in 1994 and 1999, Ph. D. from Shanghai Jiaotong University in 2004, respectively. Now he is a professor at Shanghai Jiaotong University. His main research interests includes new sensors and special testing technologies.