



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108429358 B

(45) 授权公告日 2021.06.04

(21) 申请号 201810220070.6

(22) 申请日 2018.03.16

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108429358 A

(43) 申请公布日 2018.08.21

(73) 专利权人 河南师范大学  
地址 453007 河南省新乡市建设东路46号

(72) 发明人 王萌 冯静 施艳艳 范悦 王璨

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代  
理事务所 12201

代理人 程毓英

(51) Int.Cl.

H02J 50/12 (2016.01)

(56) 对比文件

US 9628707 B2, 2017.04.18

CN 106602757 A, 2017.04.26

邱云兰. 一种基于UC3843的实用性反激电源设计.《电气开关》.2017, (第5期), 全文.

审查员 张宁

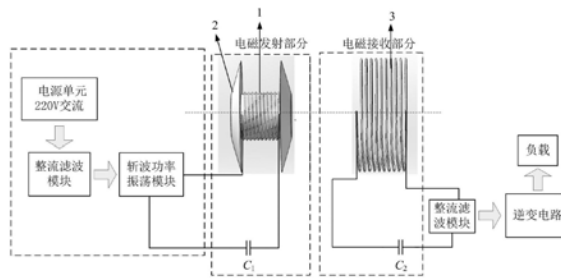
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于电动汽车供电的无线能量发射装置

(57) 摘要

本发明涉及一种用于电动汽车供电的无线能量发射装置,采用磁耦合谐振式无线电能收发方式,其电磁发射部分包括发射线圈、线圈增强铁芯,线圈增强铁芯包括铁芯细轴圆柱和位于其两端的铁芯两端圆台,两端圆台,靠近铁芯细轴圆柱的底面均为下底面;所述的发射线圈紧贴铁芯细轴圆柱缠绕;铁芯两端圆台的上底面半径 $r_1$ 与R相同;所述的铁芯两端圆台的下底面半径 $r_2$ 与接收线圈的半径 $R_2$ 相同;铁芯两端圆台的高度h为铁芯细轴圆柱的长度L的1/4; $r_2$ 大于 $r_1$ 。本发明在铁芯体积和线圈用量都明显减小的情况下,增大了退磁磁力线的路径,减小了铁芯细轴圆柱轴线上各点的轴向损耗参数。



1. 一种用于电动汽车供电的无线能量发射装置, 采用磁耦合谐振式无线电能收发方式, 其电磁发射部分包括发射线圈、线圈增强铁芯, 其特征在于, 所述的线圈增强铁芯包括铁芯细轴圆柱和位于其两端的铁芯两端圆台, 两端圆台, 靠近铁芯细轴圆柱的底面均为下底面; 所述的发射线圈紧贴铁芯细轴圆柱缠绕; 所述的发射线圈的高度与铁芯细轴圆柱的长度L相等; 所述的铁芯细轴圆柱的横截面半径R与发射线圈的半径 $R_1$ 相等, 所述的铁芯两端圆台的上底面半径 $r_1$ 与R相同; 所述的铁芯两端圆台的下底面半径 $r_2$ 与接收线圈的半径 $R_2$ 相同; 所述铁芯两端圆台的高度h为铁芯细轴圆柱的长度L的1/4;  $r_2$ 大于 $r_1$ ; 所述的铁芯两端圆台的锥角定义为 $\alpha$ ,  $r_1$ 以 $\alpha/2$ 对应的斜率线性均匀的变化到 $r_2$ , 设线圈增强铁芯的最小损耗参数为F, 按照下式计算得到铁芯细轴圆柱的长度L:

$$L_{\text{eq}} = z_1 + \frac{2 - 2F_z \left( 0, \frac{z_1}{R} \right) - \frac{z_1}{\sqrt{R^2 + z_1^2}}}{\sqrt{1 - \left( 2 - 2F_z \left( 0, \frac{z_1}{R} \right) - \frac{z_1}{\sqrt{R^2 + z_1^2}} \right)^2}} R$$

其中:  $L_{\text{eq}} = L + 2\sqrt{(r_2 - r_1)^2 + h^2}$ ,  $F_z \left( 0, \frac{z_1}{R} \right) = F$ ,  $r_2 = R_2$ ,  $r_1 = R_1$ ,  $h = L/4$ 。

2. 根据权利要求1所述的电动汽车供电的无线能量发射装置, 其特征在于: 按下式计算出铁芯两端圆台的锥角 $\alpha$ , 即

$$\alpha = 2 \arctan \frac{r_2 - r_1}{h}。$$

3. 根据权利要求1所述的电动汽车供电的无线能量发射装置, 其特征在于: 设发射线圈的匝数为 $N_1$ 、铜线的线径为 $d_{\text{wire}}$ , 按下式分别计算出发射线圈的层数 $K_{\text{layer}}$ 和发射线圈的总线长 $l_{\text{wire}}$ , 即

$$\begin{aligned} K_{\text{layer}} &= N_1 d_{\text{wire}} / L \\ l_{\text{wire}} &= 2\pi N_1 R_1 + \pi N_1^2 d_{\text{wire}} / L。 \end{aligned}$$

## 一种用于电动汽车供电的无线能量发射装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于无线电能传输技术领域,涉及一种用于电动汽车供电的无线能量发射装置。

### 背景技术

[0002] 无线电能传输技术主要有四种实现方式:电磁辐射式,电场耦合式,磁场耦合式,超声波等。电场耦合式无线电能传输中,由于电场对人体的危害比磁场严重,因此目前研究的比较少;辐射式传输虽然能够实现远距离的无线电能传输,但是其复杂的跟踪定位系统以及较低的传输效率,影响了其发展;磁耦合感应式无线电能传输技术利用电磁感应原理,将两个线圈放置于邻近位置上,当电流在一个线圈中流动时,所产生的磁通量成为媒介,导致另一个线圈中也产生电动势,但该种技术的传输距离很近,且当距离增大后,传输效率急剧下降。而磁耦合谐振式无线电能传输通过2个谐振在相同频率上的电感线圈之间的近场磁耦合来传输能量,较之耦合感应式传能,在传输距离上有了很大的扩展;相比于辐射式传能,其对电磁环境的影响较小,且传输功率较大,因此受到越来越广泛的关注和研究。

### 发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种安全可靠的用于电动汽车供电的无线能量发射装置,解决无线电能传输系统远距离传输能量时,由于磁耦合作用减弱导致系统传输效率下降的问题,避免传统电动汽车供电系统中的输电线路之间的摩擦。本发明通过以下技术方案予以实现:

[0004] 一种用于电动汽车供电的无线能量发射装置,采用磁耦合谐振式无线电能收发方式,其电磁发射部分包括发射线圈、线圈增强铁芯,其特征在于,所述的线圈增强铁芯包括铁芯细轴圆柱和位于其两端的铁芯两端圆台,两端圆台,靠近铁芯细轴圆柱的底面均为下底面;所述的发射线圈紧贴铁芯细轴圆柱缠绕;所述的发射线圈的高度与铁芯细轴圆柱的长度L相等;所述的铁芯细轴圆柱的横截面半径R与发射线圈的半径 $R_1$ 相等。所述的铁芯两端圆台的上底面半径 $r_1$ 与R相同;所述的铁芯两端圆台的下底面半径 $r_2$ 与接收线圈的半径 $R_2$ 相同;所述铁芯两端圆台的高度h为铁芯细轴圆柱的长度L的1/4; $r_2$ 大于 $r_1$ ;所述的铁芯两端圆台的锥角定义为 $\alpha$ , $r_1$ 以 $\alpha/2$ 对应的斜率线性均匀的变化到 $r_2$ ,设线圈增强铁芯的最小损耗参数为F,按照下式计算得到铁芯细轴圆柱的长度L:

$$[0005] \quad L_{eq} = z_1 + \frac{2 - 2F_z \left(0, \frac{z_1}{R}\right) - \frac{z_1}{\sqrt{R^2 + z_1^2}} R}{\sqrt{1 - \left(2 - 2F_z \left(0, \frac{z_1}{R}\right) - \frac{z_1}{\sqrt{R^2 + z_1^2}}\right)^2}}$$

[0006] 其中: $L_{eq} = L + 2\sqrt{(r_2 - r_1)^2 + h^2}$ ,  $F_z \left(0, \frac{z_1}{R}\right) = F$ ,  $r_2 = R_2$ ,  $r_1 = R_1$ ,  $h = L/4$ 。

[0007] 可按式计算铁芯两端圆台的锥角 $\alpha$ ,即

$$[0008] \quad \alpha = 2 \arctan \frac{r_2 - r_1}{h}$$

[0009] 设发射线圈的匝数为 $N_1$ 、铜线的线径为 $d_{\text{wire}}$ ,按下式分别计算出发射线圈的层数 $K_{\text{layer}}$ 和发射线圈的总线长 $l_{\text{wire}}$ ,即

$$[0010] \quad K_{\text{layer}} = N_1 d_{\text{wire}} / L$$

$$[0011] \quad l_{\text{wire}} = 2\pi N_1 R_1 + \pi N_1^2 d_{\text{wire}} / L。$$

[0012] 本发明的用于电动汽车供电的无线能量发射装置及设计方法,在铁芯体积和线圈用量都明显减小的情况下,增大了退磁磁力线的路径,减小了铁芯细轴圆柱轴线上各点的轴向损耗参数,同时实现了对磁场的聚集,增强了两线圈间的磁耦合作用,提高了系统远距离处的能量传输效率大幅度提高了传输距离。

### 附图说明

[0013] 图1是采用本发明的用于电动汽车供电的无线能量发射装置的整个无线电能传输系统的结构示意图;

[0014] 图2是线圈增强铁芯轴向损耗参数计算示意图;

[0015] 图3是圆柱型铁芯轴线上各点的轴向损耗参数分布图;

[0016] 图4是本发明线圈增强铁芯等效计算示意图;

[0017] 图5是本发明实施案例中电能传输效率随传输距离变化数据分析图。

[0018] 其中:

[0019] 1:发射线圈 2:线圈增强铁芯 3:接收线圈

### 具体实施方式

[0020] 为了使本发明技术方案的内容和优势更加清楚明了,以下结合附图,对本发明的一种用于电动汽车供电的无线能量发射装置及设计方法进行进一步的详细说明。

[0021] 如图1所示,所述的220V交流电源单元为整个供电系统提供输入功率;整流滤波模块将电源输入的交流电转变成直流电,并滤去谐波;斩波功率振荡模块用于将整流滤波模块输入的直流电转换为适应负载功率要求的交流电;电磁发射部分用于发射斩波功率振荡模块产生的交变电磁场,并通过发射线圈补偿电容使发射线圈的谐振频率与电源的中心频率进行匹配;电磁接收部分位于电动汽车底部,通过谐振耦合的方式接收电磁发射部分发射的交变电磁场,并通过接收线圈补偿电容使接收线圈的谐振频率与电源的中心频率进行匹配;此外,发射线圈的中心还安装有线圈增强铁芯,利用铁芯磁化时产生的磁场,增强发射线圈的磁通量,将空间多数磁场约束在铁芯内,进而增强发射线圈和接收线圈间的磁耦合作用;此外,电动汽车底部所有接收线圈串联后接入整流滤波模块,整流滤波模块将接收线圈接收到的交流电转变为直流电;逆变电路将整流滤波模块输入的直流电调制成所需频率的交流电,为负载提供驱动功率。

[0022] 如图1所示,电磁发射部分发射斩波功率振荡模块输入的交流电,发射线圈轴向上安装的线圈增强铁芯,用于增强发射线圈和接收线圈间的磁耦合作用,本例中,铁芯材料选用的是TDK公司的PC40。

[0023] 为了解决现有技术中存在的问题,申请人进行了多方摸索,当铁芯受到外磁场作用时,会发生显著地磁化,在两端形成南、北两个磁极,产生退磁磁场。退磁磁场 $H_{in}$ 与磁化强度  $M$ 的关系可由损耗参数 $F$ 来描述,即

$$[0024] \quad H_{in} = F \times M \quad (1)$$

[0025] 铁芯内部的有效磁场为

$$[0026] \quad H_{eff} = H_{ex} - H_{in} \quad (2)$$

[0027] 式中: $H_{ex}$ 为作用在铁芯上的外磁场。

[0028] 如图2,图4所示, $L_{eq}$ 为线圈增强铁芯的等效长度、 $R$ 为铁芯细轴圆柱的横截面半径, $\rho$ 为半径为 $R$ 的圆面上的计算面元, $\theta$ 为面元 $\rho$ 与 $x$ 轴正向夹角。为计算不失一般性,选择  $P$ 为计算场点,由于铁芯结构的对称性, $P$ 点位于 $yz$ 平面上,坐标为 $P(0, y_1, z_1)$ 。为便于分析损耗参数的特点,令 $\xi = \frac{\rho}{R}$ ,则线圈增强铁芯轴向损耗参数和径向损耗参数分别为:

$$[0029] \quad F_z \left( \frac{y_1}{R}, \frac{z_1}{R} \right) = A \left( \frac{y_1}{R}, \frac{z_1}{R} \right) + A \left( \frac{y_1}{R}, \frac{L_{eq} - z_1}{R} \right) \quad (3)$$

$$[0030] \quad F_y \left( \frac{y_1}{R}, \frac{z_1}{R} \right) = B \left( \frac{y_1}{R}, \frac{z_1}{R} \right) - B \left( \frac{y_1}{R}, \frac{L_{eq} - z_1}{R} \right) \quad (4)$$

[0031] 其中

$$[0032] \quad A \left( \frac{y_1}{R}, \frac{z_1}{R} \right) = \frac{1}{4\pi} \int_0^1 \xi d\xi \int_0^{2\pi} \frac{\frac{z_1}{R} d\theta}{\left[ (\xi \cos \theta)^2 + \left( \frac{y_1}{R} - \xi \sin \theta \right)^2 + \left( \frac{z_1}{R} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$[0033] \quad B \left( \frac{y_1}{R}, \frac{z_1}{R} \right) = \frac{1}{4\pi} \int_0^1 \xi d\xi \int_0^{2\pi} \frac{\left( \frac{y_1}{R} - \xi \sin \theta \right) d\theta}{\left[ (\xi \cos \theta)^2 + \left( \frac{y_1}{R} - \xi \sin \theta \right)^2 + \left( \frac{z_1}{R} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$[0034] \quad A \left( \frac{y_1}{R}, \frac{L_{eq} - z_1}{R} \right) = \frac{1}{4\pi} \int_0^1 \xi d\xi \int_0^{2\pi} \frac{\frac{L_{eq} - z_1}{R} d\theta}{\left[ (\xi \cos \theta)^2 + \left( \frac{y_1}{R} - \xi \sin \theta \right)^2 + \left( \frac{L_{eq} - z_1}{R} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$[0035] \quad B \left( \frac{y_1}{R}, \frac{L_{eq} - z_1}{R} \right) = \frac{1}{4\pi} \int_0^1 \xi d\xi \int_0^{2\pi} \frac{\left( \frac{y_1}{R} - \xi \sin \theta \right) d\theta}{\left[ (\xi \cos \theta)^2 + \left( \frac{y_1}{R} - \xi \sin \theta \right)^2 + \left( \frac{L_{eq} - z_1}{R} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

[0036] 令 $\frac{y_1}{R} = 0$ 可得:线圈增强铁芯中间横截面和轴线上的各点,垂直于轴向的损耗参数为零,即

[0037] 
$$F_y\left(0, \frac{z_1}{R}\right) = 0 \quad (5)$$

[0038] 线圈增强铁芯轴线上各点的轴向损耗参数为:

[0039] 
$$F_z\left(0, \frac{z_1}{R}\right) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\frac{z_1}{R}}{\sqrt{1 + \left(\frac{z_1}{R}\right)^2}} + \frac{\frac{L_{eq} - z_1}{R}}{\sqrt{1 + \left(\frac{L_{eq} - z_1}{R}\right)^2}} \right) \quad (6)$$

[0040] 则线圈增强铁芯的等效长度 $L_{eq}$ 为:

[0041] 
$$L_{eq} = z_1 + \frac{2 - 2F_z\left(0, \frac{z_1}{R}\right) - \frac{z_1}{\sqrt{R^2 + z_1^2}}}{\sqrt{1 - \left(2 - 2F_z\left(0, \frac{z_1}{R}\right) - \frac{z_1}{\sqrt{R^2 + z_1^2}}\right)^2}} R \quad (7)$$

[0042] 其中:  $L_{eq} = L + 2\sqrt{(r_2 - r_1)^2 + h^2}$ 。

[0043] 如图3所示,为使实施效果达到最优,  $F_z\left(0, \frac{z_1}{R}\right) = F$ ,  $F$ 为最小损耗参数,令 $r_2 = R_2$ ,  $r_1 = R_1$ ,  $h = L/4$ ,则由上式(7)可求得铁芯细轴圆柱的长度 $L$ 。

[0044] 如图4所示,根据接收线圈的半径 $R_2$ 、发射线圈的半径 $R_1$ 和铁芯细轴圆柱的长度 $L$ ,按下式计算出铁芯两端圆台的锥角 $\alpha$ ,即

[0045] 
$$\alpha = 2 \arctan \frac{4(R_2 - R_1)}{L} \quad (8)$$

[0046] 发射线圈的层数

[0047] 
$$K_{layer} = N_1 d_{wire} / L \quad (9)$$

[0048] 发射线圈的总线长

[0049] 
$$l_{wire} = 2\pi N_1 R_1 + \pi N_1^2 d_{wire} / L \quad (10)$$

[0050] 式中: $R_1$ 为发射线圈的半径, $L$ 为铁芯细轴圆柱的长度, $R_2$ 为接收线圈的半径, $d_{wire}$ 为铜线的线径。

[0051] 基于上述分析,搭建系统平台,得到系统的电能传输效率如图5所示,从图中可以看出,与传统电动汽车无线供电技术相比,本发明装置大幅度提高了传输效率和传输距离。

[0052] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

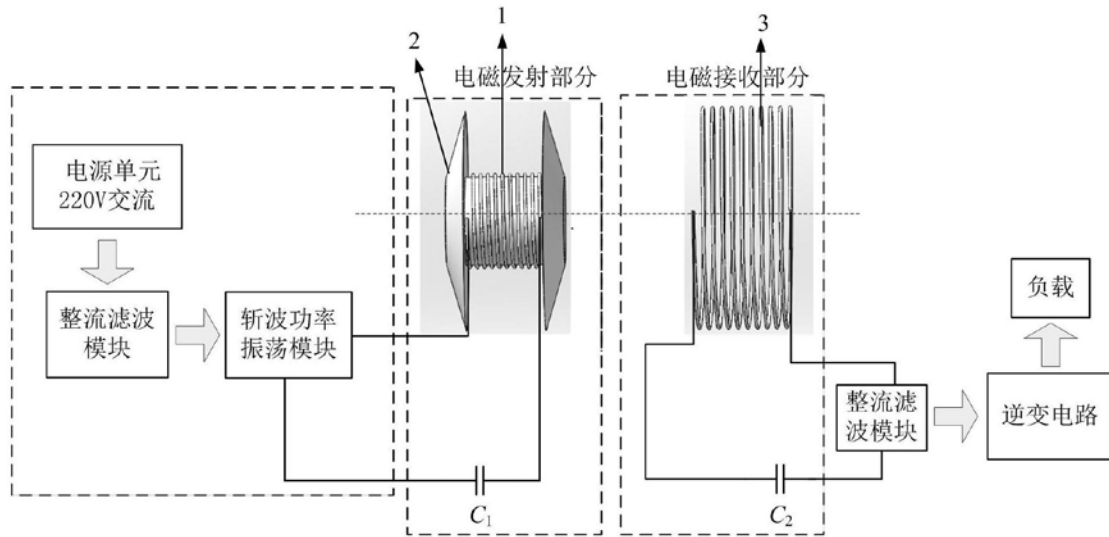


图1

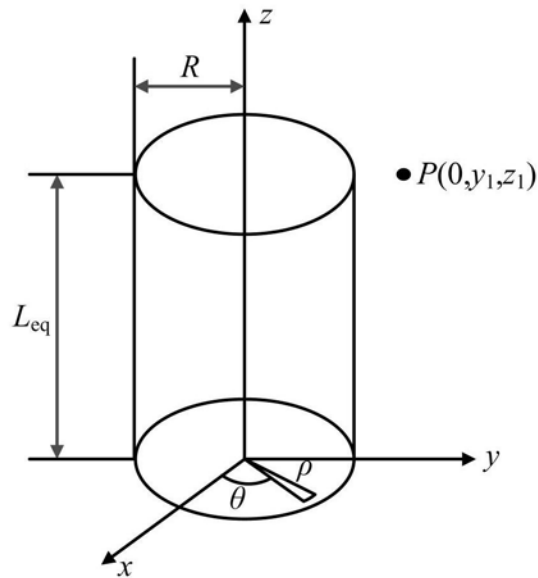


图2

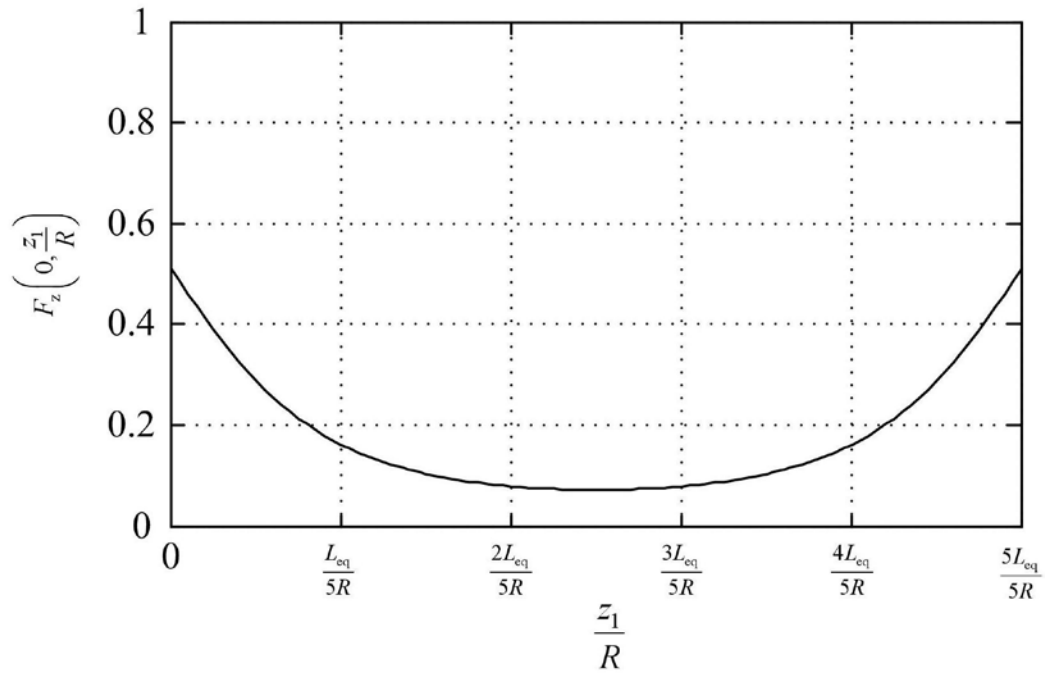


图3

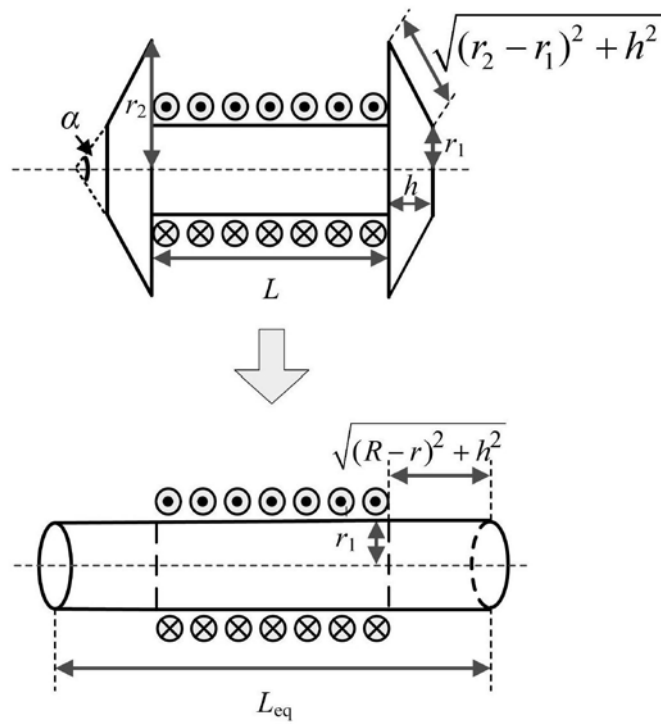


图4



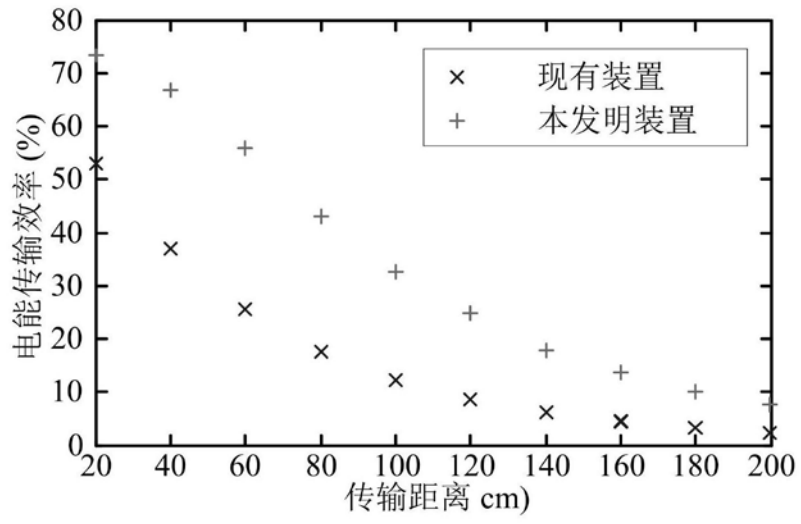


图5