

电磁屏蔽对无线充电系统的影响分析

陈炜峰¹ 朱美杰¹ 郭海军¹ 刘俊栋¹

摘要

在介绍电磁屏蔽理论的基础上,利用电磁场仿真软件 HFSS,建模仿真分析了电磁屏蔽体的屏蔽效能及其对无线充电系统耦合效率的影响.通过屏蔽体外特殊点屏蔽前后的场强对比,分析屏蔽效能;通过仿直接收线圈内一点屏蔽前后的磁场强度变化,运用相关公式计算互感变化分析其对耦合效率的影响.分析结果表明:采取电磁屏蔽措施,不仅能减少系统对外界的电磁辐射干扰,而且能增大系统的耦合传输效率.实验结果证明了仿真分析的正确性.

关键词

无线充电;电磁屏蔽;屏蔽效能

中图分类号 TP391.9

文献标志码 A

收稿日期 2012-03-18

资助项目 江苏省高校优势学科(传感网与现代气象设备)平台建设基金;南京信息工程大学自然科学基金(20100313);江苏省大学生实践创新训练项目(10CX021)

作者简介

陈炜峰,男,博士,教授,主要从事高电压技术、电气测量技术和电磁兼容性等方面的教学研究工作. cwf6426@163.com

0 引言

目前,用于手机、MP3 和笔记本电脑等便携式电子设备充电的装置主要是传统充电器:一端连接工频交流电源,另一端连接便携式电子设备充电电池^[1].这种充电方式有很多弊端,频繁的插拔很容易损坏接头,也可能带来触电的危险.无线充电系统利用电磁感应原理实现能量的传输,具有可靠性高、安全性好、操作方便、适应性强等特点,易于实现自动充电.但在无线充电系统中,发射线圈和接收线圈通常是分离的,有较大的气隙,由于耦合不紧密,导致漏感大,互感小,效率低^[2-3].相比直接接触充电,无线充电的效能低且热量高,辐射的电磁波会对环境造成污染,必须对系统采取屏蔽措施.

1 电磁屏蔽机理

通常所说的屏蔽,大多是指电磁屏蔽.所谓电磁屏蔽是指利用金属和磁性材料同时抑制或削弱电场和磁场,即对电磁波进行隔离,有效控制电磁波从一个区域向另一个区域的辐射传播.电磁屏蔽一般是指对 10 kHz 以上交变电磁场的屏蔽.

对屏蔽机理的解释可以采用多种方法,如涡流效应法、电磁场理论法、传输线理论法等,在这些理论方法中,传输线理论法以其计算简单、精度高和容易理解而成为当前广泛采用的一种分析方法,其分析示意如图 1 所示.

传输线理论方法是将屏蔽体看成一段传输线,辐射场通过屏蔽体时,在外表面处被反射一部分,剩余部分透入屏蔽体向前传输^[4-5].传输过程中,电磁波受到屏蔽体的连续衰减,并且在屏蔽体的两个界面间多次反射和透射.因此,屏蔽体的电磁屏蔽机理包括屏蔽体表面的反射损耗、屏蔽体的吸收损耗和屏蔽体内部的多次反射损耗.

屏蔽性能一般用屏蔽效能(Shielding Effectiveness, SE)度量.屏蔽效能指未加屏蔽时某一测点的场强 E_0 和 H_0 分别与同一测点加屏蔽时的场强 E_s 和 H_s 之比,当以 dB 为单位时,对电场、磁场表达式分别为式(1)和式(2).屏蔽效能有时也称屏蔽损耗,其值愈大,表示屏蔽效果愈好.

$$E_{s,e} = 20\lg(E_0/E_s), \quad (1)$$

$$E_{s,m} = 20\lg(H_0/H_s). \quad (2)$$

¹ 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京, 210044

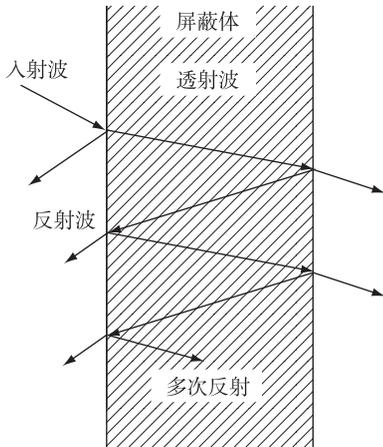


图1 屏蔽机理示意

Fig.1 Shielding mechanism scheme

2 建模仿真分析

2.1 充电系统组成及结构参数

无线充电系统主要由发射端和接收端两部分构成,系统的基本结构如图2所示.系统工作时,首先将发射端电源提供的交/直流电通过谐振变换器或高频调制模块转换为高频交流信号,然后驱动发射线圈在周围一定的空间范围内产生磁场,由于发射线圈磁通量的高频变化,使得位于该磁场中的接收线圈感应输出一定幅值的高频电动势,通过桥式整流滤波电路,获得用于充电的直流输出,从而实现了电能的无线传输.

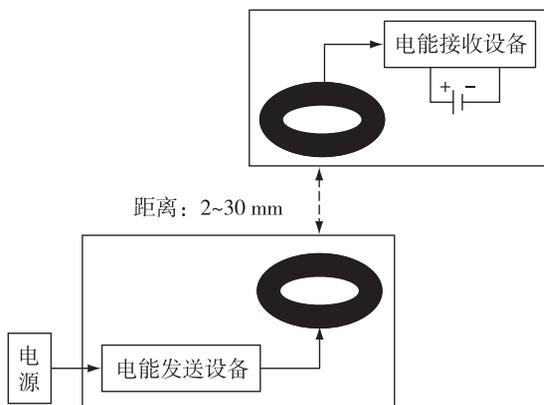


图2 充电系统组成结构示意图

Fig.2 Structure of wireless charging system

线圈自身的材料、结构都影响传输效率,本系统中耦合线圈均采用铜线、平面空芯结构,参数如下:发射线圈形状圆形、铜线线径为0.6 mm、直径40 mm、误差±1 mm、圈数20匝;接收线圈参数同发射

线圈,两线圈平行放置,垂直距离2 mm.

2.2 系统屏蔽建模

屏蔽体的材料对屏蔽效能起着决定性的作用,为了减少吸收损耗,增加屏蔽体的反射效应,本系统选用铜材,厚度1.5 mm.屏蔽体的尺寸对屏蔽效能和成本有一定的影响,有效半径越小,其整体性能越好.屏蔽体形状选为圆柱体,半径为56.5 mm,高度90 mm,添加5 V激励源,最外层空气作为辐射边界,利用仿真软件HFSS建立模型如图3所示.

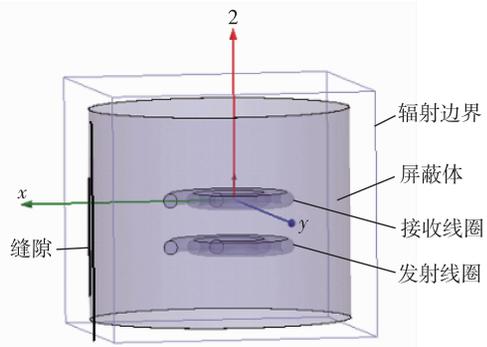


图3 圆柱体屏蔽模型

Fig.3 Cylinder shielding model

2.3 屏蔽效能仿真

屏蔽体的屏蔽效能随频率的变化而变化.选择屏蔽体外最靠近缝隙的一点(6, -1.1, -1.86)(单位:mm),分3个频段进行仿真扫描,步长为10,仿真结果如图4所示.50 kHz~5 MHz频段内,屏蔽效能随频率的增高而逐渐增大,变化趋势明显;5~17 MHz频段内,屏蔽效能随频率增高而增大的趋势变缓;17 MHz以上屏蔽效能达最大值且几乎不变,原因是频率升高到一定程度,由于趋肤效应,透射效应将大大减弱.

2.4 互感仿真及计算分析

无线充电系统通过线圈之间的耦合传递能量,互感系数愈大,耦合效率愈高.互感是指在两个相邻的线圈间,其中一个线圈回路电流与另外一个线圈回路产生电磁感应的现象.发射产生的磁通与接收线圈产生的交集部分的磁通称为互感磁通,互感磁通与发射线圈回路电流的比值,称为这两个线圈回路的互感或互感系数^[6-7],表达式及相关计算公式如下:

$$M = \frac{\psi}{I}, \tag{3}$$

$$\psi = N\phi, \tag{4}$$

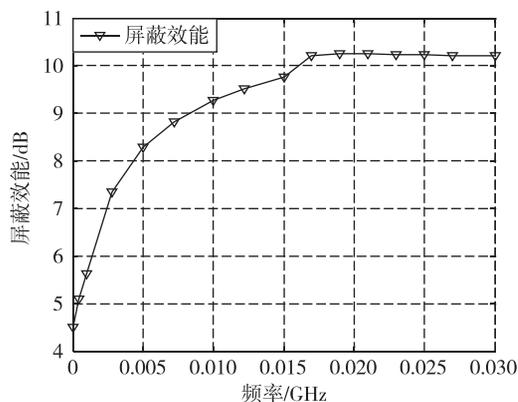


图4 不同频率下的屏蔽效能

Fig. 4 Shielding effectiveness under different frequencies

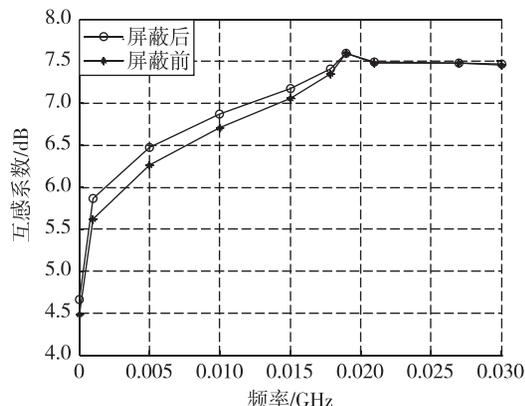


图5 屏蔽前后的互感系数

Fig. 5 Mutual inductance coefficients before and after shielding

$$\Phi = BS = \mu H, \quad (5)$$

其中, M 为互感系数, Ψ 为互感磁通, Φ 为磁通量, B 为磁感应强度, μ 为磁导率, H 为磁场强度.

选择接收线圈中心点(0, 0, -1.86), 扫频仿真屏蔽前后该点的磁场强度, 并代入式(3)~(5)计算出互感系数, 导入 Matlab 绘图, 结果如图5所示. 由图5可见, 系统采取屏蔽措施后, 不仅未削弱耦合效率, 且在1~18 MHz 范围内增大了互感系数, 提高了耦合效率.

3 实验测试

系统结构如图2所示, 发射线圈和接收线圈水平放置, 距离2 mm, 负载50 Ω 电阻, 轴心位置无偏移. 选择3个不同的工作频率500 kHz, 1 MHz 和15 MHz 测量负载两端的电压和流过负载的电流, 结果如表1所示. 由表1可见, 加上磁屏蔽后, 接收线圈输出有所增加, 耦合效率略有提高, 与互感系数的仿真分析结果吻合.

表1 屏蔽前后接收线圈输出电压与电流测试结果

Table 1 Test result of voltage and current from receiving coil before and after shielding

频率/kHz	状态	发射线圈		接收线圈		效率/%
		电压/V	电流/A	电压/V	电流/A	
500	屏蔽前	5	0.098	4.880	0.062 0	61.89
	屏蔽后	5	0.098	4.890	0.062 4	62.15
1 000	屏蔽前	5	0.098	4.877	0.063 0	62.70
	屏蔽后	5	0.098	4.910	0.062 9	63.02
15 000	屏蔽前	5	0.098	4.890	0.062 6	62.47
	屏蔽后	5	0.098	4.931	0.063 0	63.39

4 结语

仿真分析和实验表明, 对无线充电系统采取屏蔽措施, 不仅可以削弱系统对外界的电磁辐射, 降低系统对环境的电磁污染, 而且在一定频率范围内还能增大线圈的互感, 增强线圈之间的耦合程度, 提高能量传输的效率.

屏蔽体的结构形状、材料及厚度等参数对充电系统的影响有待进一步的研究, 如何通过充电系统的结构设计提高传输效率, 仍须进一步探索.

参考文献

References

- [1] Klontz K W, Divan D M, Novotny D W, et al. Contactless power delivery system for mining applications[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1995, 31(1): 27-35
- [2] Esser A, Skudelny H C. A new approach to power supplies for robots[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1991, 27(5): 872-875
- [3] Hirai J, Kim T W, Kawamura A. Wireless transmission of power and information for cableless linear motor drive[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2000, 15(1): 21-27

- [4] Kurs A, Karalis A, Moffatt R, et al. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances [J]. Science, 2007, 317(5834): 83-86
- [5] Karalis A, Joannopoulos J D, Soljacic M. Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer [J]. Annals of Physics, 2008, 323(1): 34-48
- [6] 武瑛, 严陆光, 徐善纲. 运动设备无接触供电系统耦合特性的研究 [J]. 电工电能新技术, 2005, 24(3): 5-8
WU Ying, YAN Luguang, XU Shangang. Study on coupling characteristic of contactless power supply system for moving apparatus [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2005, 24(3): 5-8
- [7] 刘顺华, 刘军民, 董星龙, 等. 电磁波屏蔽及吸波材料 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 72-74
LIU Shunhua, LIU Junmin, DONG Xinglong, et al. Electromagnetic shielding and absorbing materials [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 72-74

Application of magnetic shielding in wireless charging system

CHEN Weifeng¹ ZHU Meijie¹ GUO Haijun¹ LIU Jundong¹

¹ School of Information and Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Based on the theory of electromagnetic shielding, modeling simulation is carried out to analyze the shielding effectiveness of electromagnetic shielding body and its influence on coupling efficiency of wireless charging system using electromagnetic field simulation software HFSS. Comparison of field intensity before and after shielding is conducted in a point outside the electromagnetic shielding body to analyze the shielding effectiveness. The magnetic field intensity change in a point inside the receiving coil is simulated, and the influence of shielding on mutual inductance and coupling efficiency is analyzed accordingly. The analysis result indicates that electromagnetic shielding measures will reduce the interference of wireless charging system on outside environment, and enhance the system coupling transmission efficiency. The experiment verifies the simulation analysis.

Key words wireless charging; magnetic shielding; shielding effectiveness