

无接触手机充电平台的设计

李娟, 郑美芬, 张宇, 姚缨英*

(浙江大学电气工程学院, 浙江杭州 310027)

摘要: 为了方便手机等小型电子设备的充电, 讨论了无接触电能传输原理, 采用了提高系统工作频率、电容补偿以及电路拓扑 3 种手段, 实现了对小型电子设备的稳定、高效充电。通过采用平面电感代替传统的带铁芯的松耦合变压器进行了电磁能量的传输, 实现了多负载工作。不仅完成了单部手机充电系统的制作, 而且将该理论运用到充电平台的设计上。研究表明, 通过对手机的简单改造, 可以省去手机充电器实现无接触充电, 简单便捷。

关键词: 无接触充电; 平面电感; 充电平台; 多负载

中图分类号: TM45

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)01-0090-04

Design of a contactless cellular phone charging platform

LI Juan, ZHENG Mei-fen, ZHANG Yu, YAO Ying-ying

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at charging mobile phone and other small electronic device, the contactless power transmission principle was discussed. Three measures were taken to achieve stable and high efficiency charging for small electronic equipment including improving the system working frequency, capacitance compensation and circuit topology. The planar inductor was used to be instead of the traditional belt core of the loosely coupled transformer in electromagnetic energy transmission to realize the multi-load operation. The results indicate that it not only completes a single mobile phone charging system, but also uses the theory on the charging platform design. Based on a simple modification of mobile phone, the results show that the charger can be omitted through non-contact charging, which is simple and convenient.

Key words: contactless charging; planar inductor; charging platform; multiple loads

0 引言

随着电子产品的普及与人们生产生活质量提高, 电子产品随处可见。一些移动手提设备, 也无法摆脱电量不足时需要固定充电终端的不便^[1]。本研究主要以小功率的便携式产品的无接触充电器为基础进行研究。手机无接触充电平台切合各个公共场所的实际需求, 为手机设置充足的供电设备, 方便手机充电, 从而达到“人们无需随身携带笨重的终端充电设备, 负担昂贵的电缆费用”的目的^[2-4]。目前, 国内外都致力于开发无线能量传输技术, 取得了一定的成果^[5-7]。从当代科技发展的趋势来看, 无线能量传输是一种符合未来电子产品需求方向的, 也必定会成为未来供电

的主流方式的技术。

无线能量传输技术涉及电磁学领域、材料科学领域、通信科学领域, 通过将各门科学深入研究, 有效地集成并应用于能量传输领域, 力图建立起低成本、高效率、方便快捷的供电系统。本研究主要在电磁领域进行效率的提高, 主要通过提高系统的工作频率, 利用补偿电容和电路的拓扑来实现能量的高效率传输。

1 系统的工作原理

充电平台样机由 4 大模块组成: 驱动模块、逆变模块、平面电感松耦合感应模块、次级充电稳压模块, 样机系统的原理图如图 1 所示。

收稿日期: 2011-08-05

作者简介: 李娟(1990-), 女, 河北廊坊人, 主要从事电气工程及其自动化方面的研究. E-mail: lijuan0207@hotmail.com

通信联系人: 姚缨英, 女, 教授, 博士生导师. E-mail: yaoyyzzju@126.com

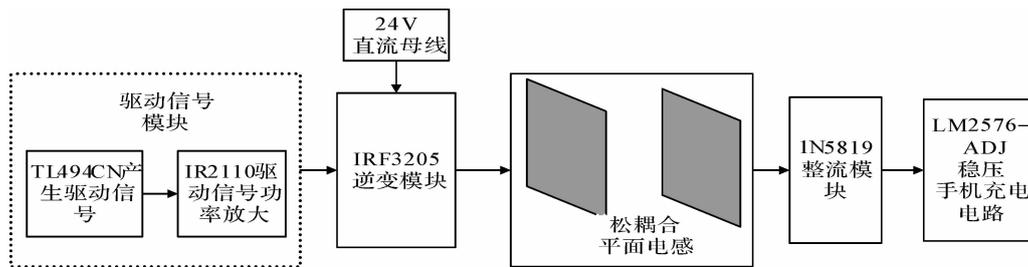


图 1 样机整体系统图

样机采用市电供电,通过适配器得到 24 V 直流母线提供逆变电源,逆变桥由耐压较低、功率损耗较低 MOSFET,即 IRF3205 组成。在图 1 所示的主电路中,

拓扑补偿电路的设计是相对核心的一个环节。在无接触电能传输技术应用中,常用的拓扑补偿电路有 4 种^[8]:PSSS, PSSP, PPSS, PPSP, 电路图如图 2 所示。

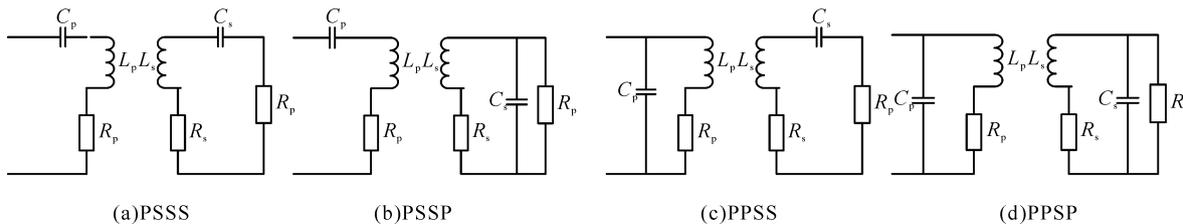


图 2 4 种拓扑补偿方式电路图

由于 PSSP 对原边的电压、电流应力要求相对较低,不易受系统工作频率的影响,系统工作稳定,选用该方式进行补偿。计算公式为:

$$C_s = \frac{1}{\omega^2 L_s} \tag{1}$$

$$C_p = \frac{1}{\omega^2 (L_p - M^2/L_s)} \tag{2}$$

理论计算值: $C_s = 163.9 \text{ nF}$, $C_p = 18.3 \text{ nF}$; 实际电容值: $C_s = 170 \text{ nF}$, $C_p = 18.22 \text{ nF}$ 。

平面电感是一种低外形尺寸的磁性元件,提供了一种新的磁性元件的构造方法,这种磁性元件的线圈通常是由印刷电路板的导线、相互间绝缘的铜带或者多层板组成,具有如下优点:由于绕线工作由 PCB 取代,制造便于自动化;降低了漏感;通过减少导体厚度降低了集肤效应的影响;该元件的散热效果较好;固定线圈结构使得磁性元件的重复性较好;磁性元件的高度下降。

充电平台样机系统设计的核心技术在于原、副边平面电感线圈的设计。该系统单个线圈的设计采用螺旋线圈形式,即导线呈螺旋形绕线并分布于整个线圈表面,这是一种区别于集中线圈的设计方式。集中线圈是指多匝线圈绕成半径相同的同心圆或者其他形状,线圈内的部分空出。

此外,从磁场分布上而言,对于螺旋线圈,磁场最强的部分在线圈中心,沿半径向线圈边沿逐步减弱;而

对于集中线圈,磁场最强的部分在线圈边沿,沿半径向线圈中心逐渐减弱。对于手机充电平台而言,接受磁场信号的手机副边线圈是一个相对面积较小的线圈,因此采用螺旋线圈的设计形式更有利于磁场信号的接受。

为了使原边线圈上方磁场最大程度分布均匀,从而使副边线圈在任意位置都能感应到近似相等的电压,该系统在原副边线圈的设计上,使得原边线圈的电感值比副边线圈大,这样可以使得副边线圈在较大的范围内得到相对均匀的磁场,而且,也为多个负载同时工作提供了可能。该系统所设计的原副边线圈如图 3 所示,相应线圈的参数如表 1 所示。

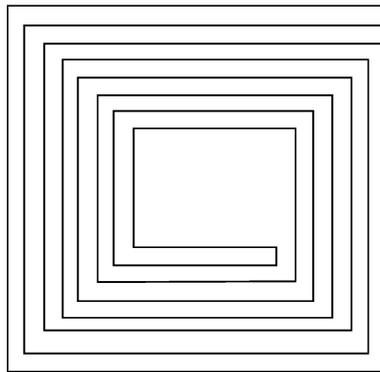


图 3 模型示意图

表 1 平面电感参数

| | 原边 | 副边 |
|--------------------|-------|-------|
| 长度/cm | 15 | 15 |
| 宽度/cm | 5 | 5 |
| 自感 $L/\mu\text{H}$ | 143.9 | 15.47 |
| 互感 $M/\mu\text{H}$ | 9.2 | |
| 耦合系数 | 0.2 | |

2 副边稳压充电电路

本研究用图 1 中所示的松耦合平面电感对手机进行充电, R_L 为锂电池充电时负载, 以 5.0 V/550 mA 为设计指标, 则 $R_L = 9.1 \Omega$, 手机充电模式下的参数如表 2 所示。

表 2 手机充电模式下的参数

| 充电电压 U/V | 充电电流 I/mA | 充电功率 P/W | 等效电阻 R/Ω |
|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| 5.0 | 550 | 2.75 | 9.1 |

本研究在副边整流桥后面采用 LM2576-ADJ 稳压芯片进行充电稳压, LM2576-ADJ 的工作原理是一个 Buck 电路。

3 样机实验结果

补偿电容电压以及最终输出电压波形如图 4 所

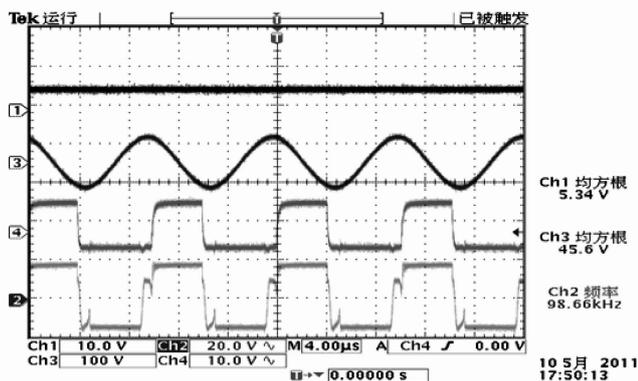


图 4 补偿电容电压以及最终输出电压波形

示, 因为: Ch2 和 Ch4 是两路触发波形, 两路互补波形之间存在死区时间 800 ns, 对于工作于高频状态的 MOSFET, 完全可以满足其驱动的要求。Ch3 逆变输出为一方波, 单峰值为 24.4 V, 符合母线电压 24 V 情况下的理论计算值。而由于补偿电容在选择数值时以谐振为准则, 从理论上而言, 电容上的电压应该为一正弦波, 图中的 Ch2 与理论结果相符合。

图 4 中 Ch1 最终输出电压为 5.34 V, 符合手机充

电的电压要求, 而且在实际应用中, LM2576-ADJ 的最终输出可以根据相应的需要进行调节, 特别是在多路负载运行下, 可能会造成输出电压一定程度的下降, 此时可以通过调节相应的电位器进行电压调节以使其满足电路工作的需求。

当两路负载 Ch1 和 Ch3 同时工作, 突然移除其中一路负载 Ch1 时系统的工作状况如图 5 所示。从图上可以看出, 当两路负载正常工作时, 突然移除第 1 路负载, 则其原先吸收的能量全部瞬间加在了第 2 路负载上, 但第 2 路负载的输出幅值 Ch4 没有发生变换, 依然保持稳定, 所以系统在多路负载状况下是可以正常工作的。

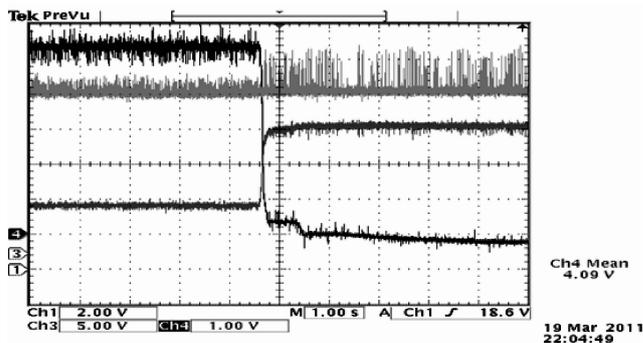


图 5 多路负载实验波形

4 无接触手机充电平台的产品理念

无接触手机充电的设想除了要提供充电平台, 还需对手机进行一定的改造。平面电感的原边和控制电路是制作在充电平台内的, 副边和充电电路则是要结合手机, 对手机进行改造。首先将手机的背外壳内部改造成平面电感, 然后将充电电路做进手机的内部电路。这样只要放到平台上就可以方便充电。

5 产品可靠性和安全性

无接触手机充电平台采用适配器, 本研究将 220 V 市电转化为 24 V 进行供电, 属于安全电压, 公共场合使用安全性高。

经过查阅文献, 本研究将无接触手机充电与磁悬浮列车和手机通讯对人体影响程度进行比较, 介于两者之间。现在还未有绝对数据可以证明其对人体长期无害。

6 结束语

无接触手机充电平台适用于一些小型公共场合, 手机即放即充, 无需携带其他附属设备。本研究应用

逆变电路产生高频磁场,进行电磁感应耦合;然后将副边平面电感以及充电电路集成到手机内部,平面电感代替手机外壳,充电电路集成到手机内部,使得手机放到平台上就可以进行充电。根据电能无接触传输原理,本研究利用平面电感代替传统松耦合变压器,完成该作品的设计与制作,实现手机的无接触充电过程以及提供多部手机同时工作的充电平台。

本研究所设计的样机平台具有安全、可靠、灵活等特点,可以用于手机、小型电脑等小电器的充电,具有很好的应用价值。

参考文献(References):

- [1] JOW U, GHOVANLOO M. Design and optimization of panted spiral coils for efficient transcutaneous inductive power transmission[J]. **IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems**, 2007, 1(3):193-202.
- [2] 杨民生,王耀南,欧阳红林. 无接触电能传输系统的补偿及性能分析[J]. **电力自动化设备**, 2008, 28(9):15-18.
- [3] 马皓,周雯琪. 电流型松散耦合电能传输系统的建模分

- 析[J]. **电工技术学报**, 2005, 20(10):66-71.
- [4] 武瑛,严陆光,徐善纲. 新型无接触电能传输系统的稳定性分析[J]. **电工电能新技术**, 2003, 225(4):10-13.
- [5] BOEIJ J, LOMONOVA E, DUARTE J. Contactless Energy Transfer to a Moving Load Part II: simulation of Electrical and Mechanical Transient [C]//2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Montreal: [s. n.], 2006:745-750.
- [6] CHOI B, NHO J, CHA H, et al. Design and implementation of low-profile contactless battery charger using planar printed circuit board windings as energy transfer device[J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2004, 51(1):140-147.
- [7] KARALI S A, JOANNOPOULOS J D, SOLJACIC M. Wireless non-radiative energy transfer: US Patent Application No. 601698,442[P]. 2005-07-12.
- [8] 李建贵,陈海燕,杨庆新,等. 基于无接触电能传输系统的可分离变压器传输性研究[J]. **电工技术学报**, 2007, 22(S1):107-110.

[编辑:李辉]

(上接第89页)

5 结束语

智能型大电流断路器性能远远优于传统的断路器产品,所设计的智能测控单元以 Atmega16 单片机为核心构成一个实时数据采集系统,可将采集的数据进行实时分析、运算和处理,可获得各种不同的保护特性,易于修改,无线通信模块的设计使得断路器使用的控制更加规范化,界面模块的设计使得它的操作性更具有人性化 and 方便化,它的大电流特性和电源模块部分使它能更广泛地应用于工业领域和家庭用电。

当然,这款断路器还有许多需要笔者继续改进的地方,如对于采样的精度控制,温度的变化导致器件的一定程度的损害,从而使部分功能无法正常工作,如何在无线通信中尽可能地实现抗干扰等等,这些问题都可以在以后的研究中得到解决。

未来笔者将把这款断路器与家用电表绑定,通过电流信号来控制断路器,从而控制电表,这样将减少大量查抄电表的人工,将会解放大量的劳动力,产生巨大的社会和经济效益。

参考文献(References):

- [1] AYYILDIZ O. Effect of ultrasonic pretreatment on chlorine dioxide disinfection efficiency [J]. **Ultrason Sonochem**, 2011, 18(2):683-688.
- [2] 刘幼林. 基于 DSP + CPLD 的断路器智能控制单元设计

- [J]. **电力自动化设备**, 2005, 25(11):65-67.
- [3] ALFEROV D F. A high-voltage heavy-current DC circuit breaker [J]. **Electrical Technology Russia**, 2001(11):14-19.
- [4] 王飞,吴茂. 基于 RS485 总线的智能型自动重合闸的设计[J]. **电力系统保护与控制**, 2010, 38(1):100-103.
- [5] DALKE G. Application of numeric protective relay circuit breaker duty monitoring [J]. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 2005, 41(4):1118-1124.
- [6] RUSEK B. Timings of high voltage circuit-breaker [J]. **Electric Power Systems Research**, 2008, 78(12):53-61.
- [7] 陈春. 基于单片机的智能型低压断路器[J]. **电力自动化设备**, 2003, 23(2):55-58.
- [8] 任国明. 浅谈漏电断路器的工作原理及安装原则[J]. **中国水运**, 2007, 5(6):177-178.
- [9] 许兆凤. 一种实用的断路器模拟装置设计[J]. **电力自动化设备**, 2003, 23(5):49-50.
- [10] 王富东. 智能断路器的电测量与过载保护算法[J]. **仪器仪表学报**, 2002, 23(3):380-382.
- [11] 杨旭雷,张浩. 智能型断路器测控单元的软硬件设计[J]. **电力自动化设备**, 2002, 22(7):62-65.
- [12] 李奎. 自适应漏电保护技术及应用[J]. **电工技术学报**, 2008, 23(10):53-57.
- [13] 张军,宋涛. AVR 单片机 C 语言程序设计实例精粹[M]. 北京:电子工业出版社, 2009.

[编辑:李辉]