

基于电磁感应方式的锂离子电池无线充电器的设计与实现

胡新福

(闽西职业技术学院 电气工程系 福建 龙岩 364021)

【摘要】本文设计了一种基于线圈电磁感应原理的无线充电平台,对锂离子电池的无线充电技术进行了实验分析和研究。测量了该平台的PWM驱动信号、能量发送电路、能量接收电路、锂离子电池充电时间和充电电压,测得的实际波形和数据说明该无线充电平台符合设计要求,使无线供电技术在其它便携式电子产品中的应用提供了参考案例。

【关键词】锂离子电池;电磁感应;无线充电;线圈

【中图分类号】TM910.6 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2014)01-0061-05

引言

无线充电作为一种新型的能量传输方式,近年来受到了广泛的关注。各种便携式电子产品越来越多,如手机、笔记本电脑、PDA、汽车导航仪等消费类电子设备的非接触式充电平台的设计吸引了较多的研究机构和公司。非接触电能传输技术,能够开发出可以随时随地进行充电的新设备,具有较好的应用前景。目前无线充电技术主要通过三种方式,即电磁感应、无线电波、以及电磁共振,本设计是基于电磁感应原理的无线供电技术,设计了实际的锂离子电池充电平台,进行了锂离子电池无线充电的实验研究。实现了给小型化、小功率用电设备进行无线充电的设计。

1 电磁感应方式充电的原理

一个线圈中的电流发生变化而使其它线圈产生感应电动势的现象叫互感现象。如果有两只线圈互相靠近,第一只线圈中电流所产生的磁通有一部分与第二只线圈相环链。当第一只线圈的电流发生变化时,则其与第二只线圈环链的磁通也相应地发生变化,那么在第二只线圈中就会产生感应电动势,这种现象就是互感现象。根据这个原理,在两个设备中分别使用一只具备振荡电路特性的线圈组成一组收发线圈,在发送设备的线圈加上几兆赫兹的交变电流,那么在接收设备的线圈产生相应感应电动势,从而实现电能的无线传输。

电磁感应方式通过初级和次级线圈感应产生电流,从而将能量从传输端转移到接收端。耦合线圈的初级线圈和次级线圈是分离的,如图1所示,初级和次级线圈之间没有直接的物理连接,这就是非接触电能传输的模型。因为在耦合线圈中其原边线圈与副边线圈之间相隔有一段较长的空气磁路,原边产生的磁通仅有部分通过副边线圈,因此传输

效率有所降低。在实际的无线充电系统中,尽可能的缩小发送端线圈和接收端线圈的间距,因为其间距越小,近场能量耦合的效率越高,传输效率越高,从而提高整个充电系统的充电效率。

系统工作时,先将发送端电源提供的交流电通过谐振变换电路转换为高频交流信号后驱动初级发送线圈,使发送线圈在周围一定距离的空间范围内产生交变的电磁场。当次级接收线圈位于这个电磁场中,发送线圈磁通量的高频变化在接收线圈中产生一定幅值的高频感应电动势。通过加在接收线圈端的桥式整流滤波电路,就可以为锂离子电池提供直流供电电源,从而实现了电能从初级线圈到次级线圈的无线传输。

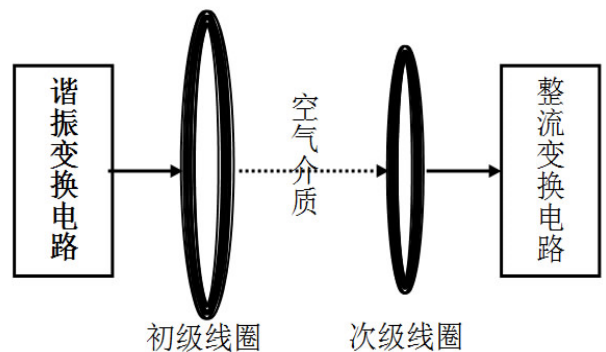


图1 非接触电能传输的模型



图2 能量发送和接收线圈

本测试平台发送线圈做的比较大,以提高发送功率和传输面积。能量发送和接收线圈如图2所

示,根据电压需要选择接收线圈L2的匝数,输出电压计算与传统变压器相同,本设计中先选择L1、L2变比接近1:1,但在应用中应接上负载调节L2的匝数,L2形状可以根据设备的形状改成矩形,同时也要将L1也改成了矩形。线圈形状改变时,效率没有影响。可根据受电设备绕制出不同形状。当接收线圈与发射线圈紧密相邻时,效率最高,距离增加,效率降低;接收线圈嵌入发射线圈中效率也较低;发射线圈与接收线圈不平行时效率也下降。

2 电磁感应方式充电电路的实现

2.1 无线供电能量的发送

无线能量发送电路可以采用无线供电模块来简化电路设计,也可以采用单片机输出PWM驱动高速MOS管和LC线圈组成的谐振变换电路来实现无线能量发送。作为可行性探索的实验平台,为使得电路可控性好,本设计中无线供电发射电路采用单片机输出PWM驱动高速MOS管和LC线圈组成的谐振变换电路来实现无线能量发送。将它推广到高效率无线供电模块,并不存在原则性的障碍,而实验调试更加方便。

如图3所示,单片机P1.3口输出PWM信号驱动高速MOS管的,电源、MOS管和LC线圈组成谐振变换电路,高速MOS管工作于开关状态,产生的交流电通过谐振变换电路转换为高频交流信号后驱动初级发送线圈,使发送线圈在周围一定距离的空间范围内产生交变的电磁场。当次级接收线圈位于这个电磁场中,发送线圈磁通量的高频变化在接收线圈中产生一定幅值的高频感应电动势。通过加在接收线圈端的桥式整流滤波电路,就可以为锂离子电池提供直流供电电源,从而实现了电能从初级线圈到次级线圈的无线传输。

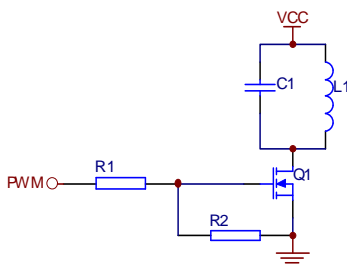


图3 无线供电能量发送电路

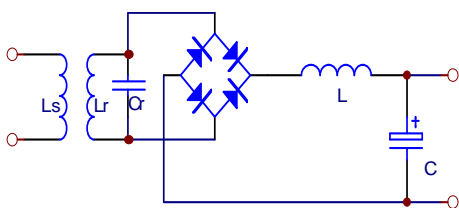


图4 无线供电能量接收电路

2.2 无线供电能量的接收

无线供电能量接收电路如图4所示,线圈Lr和Cr组成LC网络,从初级发射电路产生的高频交变磁场中接收能量,接收到的能量经过整流桥和滤波电感L、滤波电容C得到平稳的直流电源作为锂离子电池充电电源,要求接收频率与发送频率一致,因此Lr和Cr组成的网络要和发送线圈组成的网络处于谐振状态,这样当无线供电能量接收电路置于发射线圈的交变磁场中时,接收电路中的交流电与发送电路中的交流电共振,从而达到最大拾取能量。这种方式下的接收电路在发送电路中的反射阻抗呈电阻性,不会对发送电路的振荡频率造成影响。

2.3 充电管理

锂离子电池的充电特性与其他二次电池的充电特性完全不同。因此,在充电过程中必须严格遵循锂离子电池自身的特性曲线工作。锂离子电池对充电器的电压精度要求较高。电压比额定值小于0.1V就会导致充电不足,约少充15%左右的电量。电压比额定值大0.1V又会引起过充,影响电池的安全性能。工业上锂离子充电电压标准为:便携设备电压达到4.2v;大功率储备电池4.1v。锂离子电池的充电电流必须瞬时值<5C,平均值<1.2C,充电电压都不能超过4.275V。

本充电平台采用分级定电流充电法,是根据电池充电过程中不同充电阶段的特性,将充电过程划分为几个阶段,在不同的阶段采用不同的充电电流或电压,主要分为四个阶段:涓流充电、恒流充电、恒压充电以及充电终止,充电特性如图5所示。在t0~t1时间段为涓流充电阶段,涓流充电用来先对完全放电的电池单元进行预充电,也称恢复性充电,此时采用0.1C的恒定电流对电池进行充电;当电池电压上升到涓流充电阈值以上时,提高充电电流进行恒流充电,在t1~t2时间段为恒流充电阶段,恒流充电时的电流并不要求十分精确,此阶段充电的电流在0.2C至1C之间;在t2时间电池电压达到4.2V时开始恒压充电,在t2~t3时间段为恒压充电阶段,直至充电电流减小到0.02C才截止充电。电压到达4.2V后充电必须在几个小时内完成,不能任意延长。本设计采用TI公司的bq24001无线供电IC完成充电管理,该IC是一种新型锂离子/锂聚合物电池充电控制器。它可为锂离子和锂聚合物电池提供高级线性充电管理功能。

3 无线充电平台的设计与实现

3.1 无线充电平台的整体结构设计

无线充电平台的框图如图6所示。交流电经过

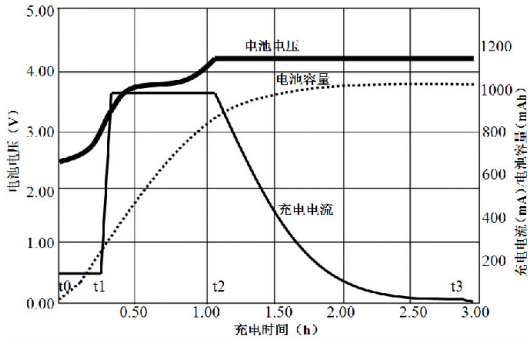


图5 分级定电流充电法充电曲线图

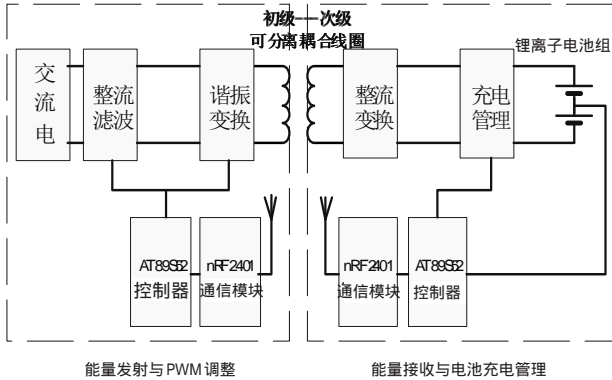


图6 无线充电平台整体结构

整流滤波后,经由谐振变换电路转变成高频交流电,在耦合线圈的原边产生一个高频交变的磁场;能量接收线圈从初级发射电路产生的高频交变磁场中接收能量,接收到的能量经整流滤波电路处理后得到平稳的直流电源,为锂离子电池组充电提供所需的能量。此外为了节约能源,感应充电装置的能量发射端在空闲时处于休眠状态,只有在接收到锂离子电池组负载要求充电的信号后,才进入正常工作状态。

非接触式锂离子电池充电平台的智能管理主要由单片机 AT89S52、nRF2401 无线通信芯片来通信和控制的,单片机对锂离子电池电压和充电管理进行检测,如果电池未连接或者连接错误,单片机通过通信模块 nRF2401 通知发射电路关闭能量发送。如果电池电压异常将发出警示信息,只有电池放置正确且电池电压在 2.9V~4.2V 之间时才打开发送电路,体现了平台管理的智能化。

3.2 无线充电平台的软件设计

图7是非接触式锂式离子电池充电平台的主程序流程图,从装置上电一刻开始,系统实时检测电池组的电压信号和充电管理的工作状态,如果系统出现异常,系统都将立即关闭能量发送电路的驱动信号,同时通过声光报警的形式进行提示,从而实现了保护功能,也体现出了系统的高度智能化。

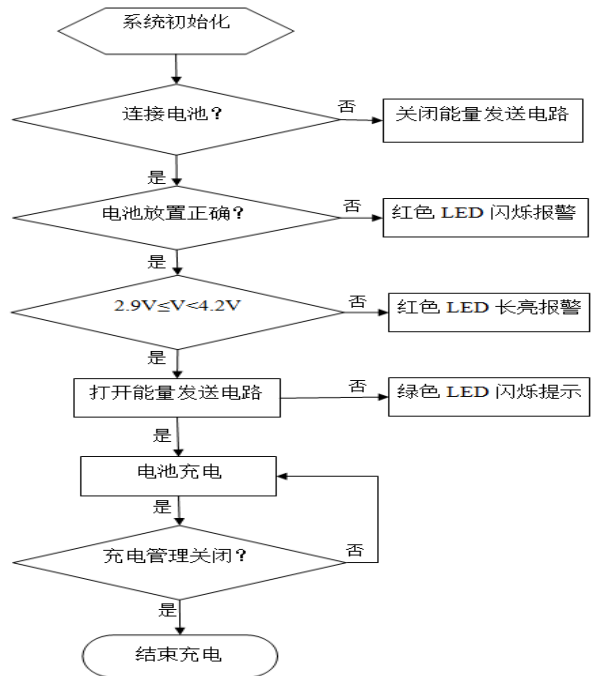


图7 非接触式锂式离子电池充电平台的主程序流程图

4 无线充电平台的测试

为了验证理论分析和设计的正确性,同时也为了论证设计达到指标要求,对无线充电平台用一块1200mA的锂离子电池进行测试和研究,以下为测试中得出的实际波形和数据。

4.1 能量发送和接收电路测试

在接收单元空载(不接锂离子电池)的情况下,保持L1与L2同轴,调整L1-L2间距为0.5cm,使用示波器采集数据。数据图像如图8、图9、图10所示。

图8为单片机输出的开关管PWM驱动信号,驱动信号的电压近2.7V,PWM频率为62.5KHZ。图9为能量发送电路输出电压波形,线圈电压峰-峰值近32.8V,波形负半周存在一定的失真,其频率为62.89KHZ,因此不影响能量的发送,驱动电路的设计满足系统的要求。

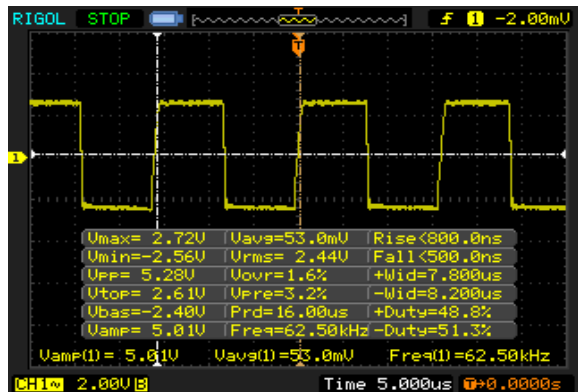


图8 单片机输出的开关管PWM驱动信号

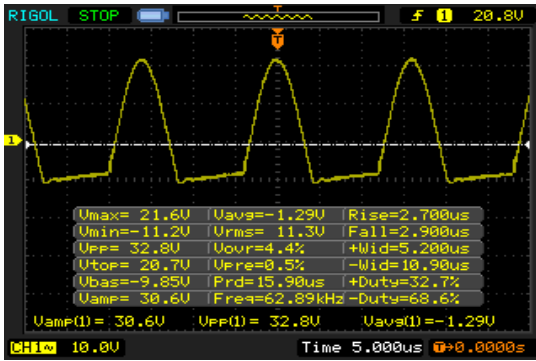


图9 能量发送电路输出电压波形

图10所示是LC能量接收电路的电压波形,接收电压峰峰值达到32V,接收频率为62.50KHZ,由电压波形可见,电压波形仍存在一定的谐波。从波形可以看出,LC发送与接收线圈工作于谐振状态。在实测过程中,无线接收电路虽然有微小的发热,但是并未对整个非接触供电装置产生影响,无线接收电路输出电压稳定,系统工作正常。

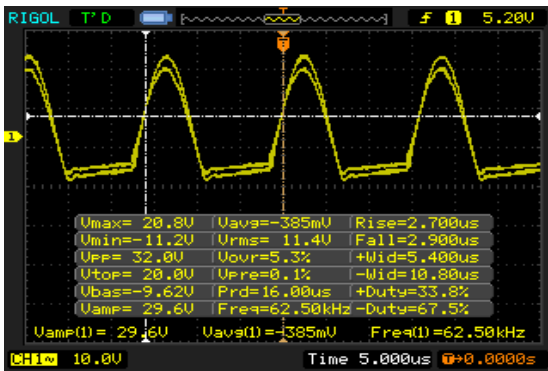


图10 LC能量接收电路的电压波形

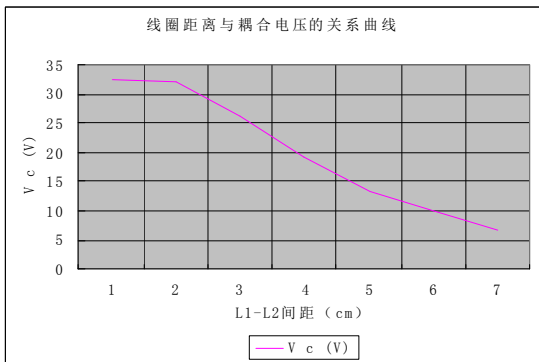


图11 线圈距离与耦合电压的关系曲线

4.2 无线距离测量

在接收单元空载(不接锂离子电池)的情况下,保持L1与L2同轴,改变L1-L2间距,使用数字电压表测量数据,能量接收单元谐振电容两端输出电压Vc测量如表1所示。其变化曲线如图11所示,从曲线可以看出两线圈距离和电能传输效率成反比。

表1 能量接收单元谐振电容两端输出电压

L1-L2间距(cm)	0.5	1	2	3	4	5	6
Vc(V)	32.5	32.0	26.1	19.3	13.1	9.8	6.7

4.3 充电过程锂离子电池的电压监测

保持L1与L2同轴相距2cm,分别对三组锂离子电池电压进行两次测量,在室温下将电池放电至3V~3.5V后再做充电测试,每次充放电后搁置5~10分钟。充电过程的测试结果如表2所示。相应充电曲线如图12、图13、图14所示。

表2 锂离子电池充电过程的电压监测

分组	第一组	第一组	第一组	第一组	第一组	第一组
充电时间(分钟)	电压U1(V)	电压U2(V)	电压U3(V)	电压U4(V)	电压U5(V)	电压U6(V)
0	3.45	3.05	3.40	3.50	3.00	3.30
15	3.50	3.25	3.50	3.55	3.25	3.43
30	3.68	3.58	3.78	3.80	3.60	3.75
45	3.90	3.90	3.98	3.98	3.93	3.99
60	4.07	4.00	4.05	4.10	4.03	4.03
75	4.12	4.10	4.12	4.12	4.12	4.10
90	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.11
105	4.17	4.17	4.12	4.12	4.12	4.12
120	4.19	4.18	4.19	4.15	4.19	4.16
135	4.12	4.12	4.18	4.18	4.12	4.12
150	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12

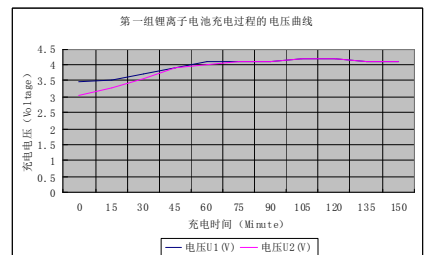


图12 第一组充电过程的电压曲线

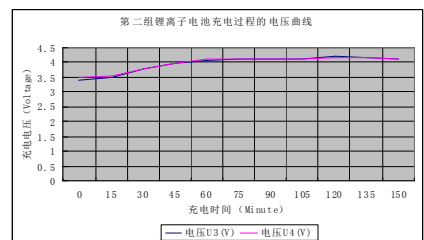


图13 第二组充电过程的电压曲线

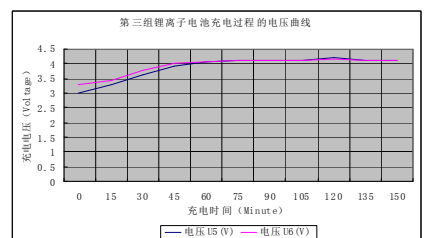


图14 第三组充电过程的电压曲线

由图表可知,各组锂离子电池在充电过程中均遵循涓流充电、恒流充电、恒压充电以及充电终止的过程,符合锂离子电池自身的特性曲线工作。

5 结束语

在测试过程中,测量了电路的PWM驱动信号,能量发送电路、能量接收电路、能量传输距离、锂离子

电池充电时间和充电电压,测得的实际波形和数据说明该无线充电平台符合设计要求。这种基于非接触式供电的锂离子充电的方法可行,用电设备与电源完全分离,特别适合在电动汽车充电站、水下设备供电、医疗设备供电、通信设备供电等要摆脱线缆束缚的环境。

注释及参考文献:

- [1]孙轩.非接触式手机充电平台的设计[D].杭州:浙江大学,2010.
- [2]高伟,陶玉贵,陈素芹.采用无线技术的供电系统设计[J].西昌学院学报:自然科学版,2012.26(4):47-49.
- [3]周功明,周陈琛.基于MSP430单片机的无线充电器设计[J].绵阳师范学院学报,2011.30(8):33-37.
- [4]郭言平.无线充电的关键技术和研究[J].合肥学院学报:自然科学版,2012.22(1):72-74.

Design of Wireless Charger for Lithium-ion Batteries Based on the Electromagnetic Induction

HU Xin-fu

(Electrical Engineering Department, Minxi Vocational and Technical College, Longyan, Fujian 364021)

Abstract: The wireless charging platform is designed based on the principle of electromagnetic induction to analyze and research the wireless charging technology for Lithium-ion batteries. By measuring circuit of the PWM drive signal, the transmitting circuit and receiving circuit of energy, Lithium-ion battery charging time and charging voltage, the measured waveform and the data show that the actual wireless charging platform meets the design requirements. It provides a wireless power technology example for application of design of wireless charging platform in portable electronics products.

Key words: Li-ion battery; electromagnetic induction; wireless charging; coil