



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104901429 A

(43) 申请公布日 2015. 09. 09

(21) 申请号 201410079414. 8

(22) 申请日 2014. 03. 05

(71) 申请人 库珀工业控股(爱尔兰)公司

地址 爱尔兰都柏林

(72) 发明人 郑庆杰 顾亦磊 伍堂顺 赵铁夫

徐君 B·帕尔 滑亚瀚

(74) 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理

有限公司 11280

代理人 王勇 王博

(51) Int. Cl.

H02J 17/00(2006. 01)

H02J 7/00(2006. 01)

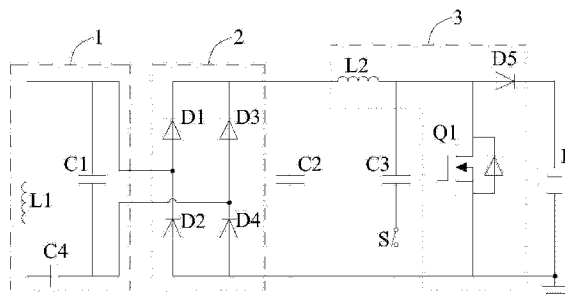
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

磁耦合谐振式无线能量传输接收电路

(57) 摘要

本发明提供了磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,包括:谐振电路,所述谐振电路包括谐振线圈和谐振电容;整流电路,所述整流电路的输入端电连接至所述谐振电容的两端;储能电容,所述储能电容的两端电连接至所述整流电路的输出端;DC-DC 变换器,所述 DC-DC 变换器的输入端电连接至所述储能电容的两端,所述 DC-DC 变换器的输出端电连接至可充电电池。本发明的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路能够节省电能,充电效率高。



1. 一种磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,其特征在于,包括:  
谐振电路,所述谐振电路包括谐振线圈和谐振电容;  
整流电路,所述整流电路的输入端电连接至所述谐振电容的两端;  
储能电容,所述储能电容的两端电连接至所述整流电路的输出端;  
DC-DC 变换器,所述 DC-DC 变换器的输入端电连接至所述储能电容的两端,所述 DC-DC 变换器的输出端电连接至可充电电池。

2. 根据权利要求 1 所述的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,其特征在于,所述 DC-DC 变换器为 boost 升压电路。

3. 根据权利要求 2 所述的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,其特征在于,所述 boost 升压电路包括电感、二极管和金氧半场效晶体管,所述电感的一端和所述储能电容的一端电连接,所述电感的另一端与所述二极管的阳极和所述金氧半场效晶体管的漏极电连接,所述金氧半场效晶体管的源极与所述储能电容的另一端电连接,所述二极管的阴极和所述金氧半场效晶体管的源极为所述 boost 升压电路的输出端。

4. 根据权利要求 3 所述的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,其特征在于,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括滤波电容和第一开关,所述滤波电容和第一开关串联后与所述金氧半场效晶体管的漏极和所述金氧半场效晶体管的源极电连接。

5. 根据权利要求 4 所述的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,其特征在于,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括第二开关,所述第二开关和所述 boost 升压电路中的二极管并联。

6. 根据权利要求 1 至 5 任一项所述的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,其特征在于,所述整流电路为全桥整流电路。

7. 一种磁耦合谐振式无线能量传输电路,包括磁耦合谐振式无线能量传输接收电路和谐振发射电路,其特征在于,

所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路包括:

谐振电路,所述谐振电路包括谐振线圈和谐振电容;

整流电路,所述整流电路的输入端电连接至所述谐振电路的输出端;

储能电容,所述储能电容的两端电连接至所述整流电路的输出端;

boost 升压电路,所述 boost 升压电路包括电感、二极管和金氧半场效晶体管,所述电感的一端和所述储能电容的一端电连接,所述电感的另一端与所述二极管的阳极和所述金氧半场效晶体管的漏极电连接,所述金氧半场效晶体管的源极与所述储能电容的另一端电连接,所述二极管的阴极和所述金氧半场效晶体管的源极为所述 boost 升压电路的输出端,所述 boost 升压电路的输出端电连接至可充电电池;

所述谐振发射电路包括半导体开关。

8. 根据权利要求 7 所述的磁耦合谐振式无线能量传输电路,其特征在于,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括滤波电容和第一开关,所述滤波电容和第一开关串联后与所述金氧半场效晶体管的漏极和所述金氧半场效晶体管的源极电连接。

9. 根据权利要求 8 所述的磁耦合谐振式无线能量传输电路,其特征在于,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括第二开关,所述第二开关和所述 boost 升压电路中的二极管并联。

10. 根据权利要求 9 所述的磁耦合谐振式无线能量传输电路,其特征在于,所述磁耦合谐振式无线能量传输电路还包括:

主控制装置,包括主 CPU、主收发模块和第一驱动模块;

从控制装置,包括从 CPU、从收发模块和第二驱动模块;

充电检测模块,用于测量所述可充电电池的充电状态,并将可充电电池的充电状态数据输出至所述从 CPU;

电压检测模块,用于测量所述储能电容的电压值并将储能电容的电压值输出至所述从 CPU;

其中,所述从 CPU 用于通过所述从收发模块和主收发模块将所述充电状态数据和储能电容的电压值发送至所述主 CPU,所述主 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第一驱动模块控制所述半导体开关以脉冲频率调制工作,所述从 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第二驱动模块控制所述金氧半场效晶体管截止且控制所述第一开关和第二开关同时处于导通状态或断开状态;或

所述从 CPU 用于通过所述从收发模块和主收发模块将所述充电状态数据和储能电容的电压值发送至所述主 CPU,所述主 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第一驱动模块控制所述半导体开关截止,所述从 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第二驱动模块控制所述金氧半场效晶体管以脉冲宽度调制工作且控制所述第一开关和第二开关同时处于断开状态。

11. 一种关于权利要求 10 所述的磁耦合谐振式无线能量传输电路的控制方法,其特征在于,所述控制方法包括如下步骤:

(a) 当可充电电池的电压小于预定的第一阈值电压时,所述谐振发射电路以脉冲频率调制工作,所述金氧半场效晶体管处于截止状态;

(b) 当可充电电池的电压大于预定的第一阈值电压时,所述谐振发射电路间歇式工作,其中

在所述储能电容的电压值大于预定的第二阈值电压时,谐振发射电路处于断开状态,且所述金氧半场效晶体管以脉冲宽度调制工作,所述储能电容通过所述 boost 升压电路对所述可充电电池进行充电;

在所述储能电容的电压值小于预定的第二阈值电压时,谐振发射电路以脉冲频率调制工作,并通过所述谐振电路和整流电路对所述储能电容进行充电,且所述金氧半场效晶体管处于截止状态。

12. 根据权利要求 11 所述的控制方法,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括滤波电容和第一开关,所述滤波电容和第一开关串联后与所述金氧半场效晶体管的漏极和所述金氧半场效晶体管的源极电连接,其特征在于:

在所述步骤(a)中,还包括使得所述第一开关处于导通状态;

在所述步骤(b)中,还包括使得所述第一开关处于断开状态。

13. 根据权利要求 12 所述的控制方法,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括第二开关,所述第二开关和所述 boost 升压电路中的二极管并联,其特征在于:

在所述步骤(a)中,还包括使得所述第二开关处于导通状态;

在所述步骤(b)中,还包括使得所述第二开关处于断开状态。

## 磁耦合谐振式无线能量传输接收电路

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子领域,具体涉及一种磁耦合谐振式无线能量传输系统中的接收电路。

### 背景技术

[0002] 传统的用电设备大多采用有线供电方式,有线供电需要将用电设备和供电装置采用导线连接后才能进行供电,即使是短距离的电力传输,也需要电线电缆来供电,在某些情况下,有线供电并不是特别方便。如果能够对用电设备无线供电,使得用电设备和电源分离,用电设备的供电将变得非常便利。

[0003] 无线能量传输技术是将电能从电能发射端传输到负载的一个过程,这个过程不需要传统的电线完成。目前,国内外主要在研究磁耦合谐振式无线能量传输技术对用电设备进行供电。在磁耦合谐振式无线能量传输技术中,尤其是在对可充电电池进行充电的过程中,电能的利用效率是非常重要的参数。

[0004] 图1是现有技术中的一种无线能量传输接收电路,由谐振电路7、全桥整流电路8、LC滤波电路9、二极管D10组成,其中谐振电路7由电感L6、电容C11和电容C10构成,全桥整流电路8由四个二极管D6-D9组成,LC滤波电路9由电感L7和电容C12组成,图1中的谐振电路7、全桥整流电路8和LC滤波电路9分别都是现有技术已知的,在此不做具体说明。现有技术的无线能量传输接收电路在对可充电电池B进行充电过程中,谐振发射电路(图中未示出)产生交变磁场,使得谐振电路7中的电感L6具有交变磁场,从而在电容C11两端产生电动势,经过全桥整流电路8整流后输出至LC滤波电路9,经过滤波后在电容C12两端得到直流电,最后通过二极管D10对可充电电池B进行充电,随着充电时间和可充电电池B储能的增加,电能的传输效率越来越低,在对可充电电池B充电的后期会有大量的电能以热能的形式损失,电能的利用率降低,同时导致接收电路中的元器件的温度上升,对接收电路中的电子元器件容易造成损坏。

### 发明内容

[0005] 针对上述现有技术,本发明的一个实施例提供了解决上述技术问题的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,包括:

[0006] 谐振电路,所述谐振电路包括谐振线圈和谐振电容;

[0007] 整流电路,整流电路的输入端电连接至所述谐振电容的两端;

[0008] 储能电容,所述储能电容的两端电连接至所述整流电路的输出端;

[0009] DC-DC变换器,所述DC-DC变换器的输入端电连接至所述储能电容的两端,所述DC-DC变换器的输出端电连接至可充电电池。

[0010] 优选的,所述DC-DC变换器为boost升压电路。

[0011] 优选的,所述boost升压电路包括电感、二极管和金氧半场效晶体管,所述电感的一端和所述储能电容的一端电连接,所述电感的另一端与所述二极管的阳极和所述金氧半

场效晶体管的漏极电连接,所述金氧半场效晶体管的源极与所述储能电容的另一端电连接,所述二极管的阴极和所述金氧半场效晶体管的源极为所述 boost 升压电路的输出端。在又一个优选的实施例中,磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括滤波电容和第一开关,所述滤波电容和第一开关串联后与所述金氧半场效晶体管的漏极和所述金氧半场效晶体管的源极电连接。在另一个优选的实施例中,磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括第二开关,第二开关和 boost 升压电路中的二极管并联。

[0012] 优选的,所述整流电路为全桥整流电路。

[0013] 优选的,所述负载为可充电电池。

[0014] 本发明还提供了一种磁耦合谐振式无线能量传输电路,包括谐振发射电路和磁耦合谐振式无线能量传输接收电路,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路包括:谐振电路,所述谐振电路包括谐振线圈和谐振电容;整流电路,所述整流电路的输入端电连接至所述谐振电路的输出端;储能电容,所述储能电容的两端电连接至所述整流电路的输出端;boost 升压电路,所述 boost 升压电路包括电感、二极管和金氧半场效晶体管,所述电感的一端和所述储能电容的一端电连接,所述电感的另一端与所述二极管的阳极和所述金氧半场效晶体管的漏极电连接,所述金氧半场效晶体管的源极与所述储能电容的另一端电连接,所述二极管的阴极和所述金氧半场效晶体管的源极为所述 boost 升压电路的输出端,所述 boost 升压电路的输出端电连接至可充电电池;所述谐振发射电路包括半导体开关。

[0015] 优选的,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括滤波电容和第一开关,所述滤波电容和第一开关串联后与所述金氧半场效晶体管的漏极和所述金氧半场效晶体管的源极电连接。

[0016] 优选的,所述磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括第二开关,所述第二开关和所述 boost 升压电路中的二极管并联。

[0017] 优选的,磁耦合谐振式无线能量传输电路还包括:主控制装置,包括主 CPU、主收发模块和第一驱动模块;从控制装置,包括从 CPU、从收发模块和第二驱动模块;充电检测模块,用于测量所述可充电电池的充电状态,并将可充电电池的充电状态数据输出至所述从 CPU;电压检测模块,用于测量所述储能电容的电压值并将储能电容的电压值输出至所述从 CPU;其中,所述从 CPU 用于通过所述从收发模块和主收发模块将所述充电状态数据和储能电容的电压值发送至所述主 CPU,所述主 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第一驱动模块控制所述半导体开关以脉冲频率调制工作,所述从 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第二驱动模块控制所述金氧半场效晶体管截止且控制所述第一开关和第二开关同时处于导通状态或断开状态;或所述从 CPU 用于通过所述从收发模块和主收发模块将所述充电状态数据和储能电容的电压值发送至所述主 CPU,所述主 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第一驱动模块控制所述半导体开关截止,所述从 CPU 用于根据所述充电状态数据和储能电容的电压值通过所述第二驱动模块控制所述金氧半场效晶体管以脉冲宽度调制工作且控制所述第一开关和第二开关同时处于断开状态。

[0018] 本发明还提供了一种磁耦合谐振式无线能量传输电路的控制方法,包括如下步骤:(a)当可充电电池的电压小于预定的第一阈值电压时,所述谐振发射电路以脉冲频率调制工作,所述金氧半场效晶体管处于截止状态;(b)当可充电电池的电压大于预定的第

一阈值电压时,所述谐振发射电路间歇式工作,其中在所述储能电容的电压值大于预定的第二阈值电压时,谐振发射电路处于断开状态,且所述金氧半场效晶体管以脉冲宽度调制工作,所述储能电容通过所述 boost 升压电路对所述可充电电池进行充电;在所述储能电容的电压值小于预定的第二阈值电压时,谐振发射电路以脉冲频率调制工作,所述谐振发射电路通过所述谐振电路和整流电路对所述储能电容进行充电,且所述金氧半场效晶体管处于截止状态。

[0019] 优选的,当磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括滤波电容和第一开关,所述滤波电容和第一开关串联后与所述金氧半场效晶体管的漏极和所述金氧半场效晶体管的源极电连接时,在所述步骤(a)中,还包括使得所述第一开关处于导通状态;在所述步骤(b)中,还包括使得所述第一开关处于断开状态。

[0020] 优选的,磁耦合谐振式无线能量传输接收电路还包括第二开关,所述第二开关和所述 boost 升压电路中的二极管并联时,在所述步骤(a)中,还包括使得所述第二开关处于导通状态;在所述步骤(b)中,还包括使得所述第二开关处于断开状态。

[0021] 本发明的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路在可充电电池的电压达到预定的阈值电压或负载所需的功率减小时,能够通过储能电容上的电能给可充电电池充电或给负载供电。提高了电能的利用率,减小了电子元器件的热损耗。

#### 附图说明

[0022] 以下参照附图对本发明实施例作进一步说明,其中:

[0023] 图 1 是现有技术的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。

[0024] 图 2 是根据本发明第一个实施例的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。

[0025] 图 3 是图 2 所示的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的时序图。

[0026] 图 4 是图 3 中的  $t_0-t_1$  时刻的等效电路图。

[0027] 图 5 是图 3 中的  $t_2-t_3$  时刻的等效电路图。

[0028] 图 6 是图 3 中的  $t_3-t_4$  时刻的等效电路图。

[0029] 图 7 是图 2 所示的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路和图 1 所示的接收电路分别对可充电电池的充电效率的曲线图。

[0030] 图 8 是根据本发明第二个实施例的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。

[0031] 图 9 是根据本发明第三个实施例的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。

[0032] 图 10 是根据本发明较佳实施例的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。

[0033] 主要装置符号说明

[0034] 1 谐振电路

[0035] 2 全桥整流电路

[0036] 3 boost 升压电路

[0037] 4 谐振电路

[0038] 5 谐振发射电路

- [0039] 6 半导体开关
- [0040] 7 充电检测模块
- [0041] 8 电压检测模块
- [0042] 9 主 CPU
- [0043] 10 主收发模块
- [0044] 11 第一驱动模块
- [0045] 12 主控制装置
- [0046] 13 从 CPU
- [0047] 14 从收发模块
- [0048] 15 第二驱动模块
- [0049] 16 从控制装置
- [0050] C1、C4、C9 谐振电容
- [0051] C2 储能电容
- [0052] C3 电容
- [0053] L1、L5 谐振电感
- [0054] L2 电感
- [0055] D1-D5 二极管
- [0056] Q1 金氧半场效晶体管
- [0057] S 第一开关
- [0058] S2 第二开关
- [0059] B 可充电电池

### 具体实施方式

[0060] 为了使本发明的目的,技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图通过具体实施例对本发明进一步详细说明。

[0061] 图 2 是根据本发明第一个实施例的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。如图 2 所示,磁耦合谐振式无线能量传输接收电路包括谐振电路 1、全桥整流电路 2、boost 升压电路 3、储能电容 C2、电容 C3 和第一开关 S。谐振电路 1 包括谐振电感 L1、谐振电容 C4 和谐振电容 C1,谐振电感 L1、谐振电容 C4 和谐振电容 C1 依次串联呈环状,即谐振电感 L1 的一端和谐振电容 C1 的一端电连接,谐振电容 C1 的另一端和谐振电容 C4 的一端电连接,谐振电容 C4 的另一端和谐振电感 L1 的另一端电连接,其中在本实施例中,谐振电容 C1 的两端作为谐振电路 1 的输出端。全桥整流电路 2 包括四个二极管 D1-D4,二极管 D1 的阳极和二极管 D2 的阴极连接,二极管 D3 的阳极和二极管 D4 的阴极连接,二极管 D1 的阴极和二极管 D3 的阴极连接,二极管 D2 的阳极和二极管 D4 的阳极连接,其中二极管 D1 的阳极和二极管 D3 的阳极为全桥整流电路 2 的输入端,二极管 D1 的阴极和二极管 D2 的阳极为全桥整流电路 2 的输出端,全桥整流电路 2 的输入端连接至谐振电容 C1 的两端,全桥整流电路 2 的输出端连接至储能电容 C2 的两端。boost 升压电路 3 包括电感 L2、二极管 D5 和金氧半场效晶体管 Q1,电感 L2 的一端同时和二极管 D5 的阳极以及金氧半场效晶体管 Q1 的漏极连接,电感 L2 的另一端与二极管 D3 的阴极连接,金氧半场效晶体管 Q1 的源极与二极

管 D4 的阳极连接。其中电感 L2 与二极管 D3 的阴极相连的一端与金氧半场效晶体管 Q1 的源极作为 boost 升压电路 3 的输入端, 二极管 D5 的阴极和金氧半场效晶体管 Q1 的源极作为 boost 升压电路 3 的输出端。电容 C3 和第一开关 S 串联后与金氧半场效晶体管 Q1 的漏极和金氧半场效晶体管 Q1 的源极连接。可充电电池 B 的阳极与二极管 D5 的阴极连接, 可充电电池 B 的阴极与金氧半场效晶体管 Q1 的源极连接并接地。

[0062] 图 3 是图 2 所示的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的时序图。如图 3 所示, 在  $t_0-t_1$  时间内, 谐振发射电路以脉冲频率调制 (PFM) 方式工作, 金氧半场效晶体管 Q1 的栅极电压为低电平, 此时金氧半场效晶体管 Q1 保持截止, 第一开关 S 处于导通状态, 可充电电池 B 的电流基本保持不变, 可充电电池 B 的电压持续的升高, 即可充电电池 B 处于恒流充电模式下。具体等效电路如图 4 所示, 第一开关 S 保持导通, 金氧半场效晶体管 Q1 保持截止, 因此图 4 并未示出第一开关 S 和金氧半场效晶体管 Q1, 此时储能电容 C2、电感 L2 和电容 C3 构成  $\pi$  型滤波器并连接在全桥整流电路 2 的输出端。谐振发射电路中的谐振发射线圈 (图中未示出) 产生与谐振发射频率相同的谐振电流, 谐振发射线圈中的谐振电流产生交变磁场, 通过使得谐振电感 L1 和谐振电容 C1、C4 设定的谐振接收频率与谐振发射频率相同, 当谐振发射电路和谐振电路 1 相距一定的距离时, 由于电磁耦合产生谐振, 进行能量的传输。全桥整流电路 2 的输入端连接在谐振电容 C1 的两端, 全桥整流电路 2 对谐振电容 C1 上的电动势进行整流。经过全桥整流电路 2 整流后的脉动直流电经过  $\pi$  型滤波器后在电容 C3 上得到直流电, 同时储能电容 C2 上也存储一定的电能。由于电容 C3 与二极管 D5 的阳极相连的一端带正电, 从而对可充电电池 B 进行充电。在可充电电池 B 充电开始阶段或可充电电池 B 的电压低于一预定的阈值电压时, 使得可充电电池 B 处于恒流充电模式下, 其中该阈值电压可以是可充电电池 B 额定电压的百分比值, 例如该阈值电压可以是可充电电池 B 额定电压的 90%。

[0063] 在  $t_2-t_3$  时间内, 可充电电池 B 上的电压接近其额定电压值或一预定的阈值电压时, 谐振发射电路处于断开状态, 通过脉冲宽度调制控制器 (图中未示出) 在金氧半场效晶体管 Q1 的栅极施加脉冲宽度调制信号, 同时第一开关 S 处于截止状态, 具体等效电路如图 5 所示。此时谐振电路 1 和全桥整流电路 2 并不工作, 因此在图 5 中并未示出。boost 升压电路 3 是一种 DC-DC 变换器, 在对金氧半场效晶体管 Q1 进行脉冲宽度调制, 能够使得输出电压比输入电压高, 由于储能电容 C2 上存储了一定的电能, 因此 boost 升压电路 3 将储能电容 C2 上的直流电转换成电压更高的直流电而输出, 从而继续对可充电电池 B 进行充电。在  $t_2-t_3$  时间内, 可充电电池 B 的电压基本保持不变, 可充电电池 B 中的电流逐渐减小, 即可充电电池 B 处于恒压充电模式下。在恒压充电模式下, 只需要储能电容 C2 上的电能即可控制对可充电电池 B 进一步充电, 这样可以节省电能, 提高充电的效率, 同时也减小了对可充电电池 B 过度充电的危害。

[0064] 在  $t_3-t_4$  时间内, 当储能电容 C2 上的电能不能对可充电电池 B 进行稳定充电时, 谐振发射电路以 PFM 方式工作, 且金氧半场效晶体管 Q1 保持截止, 第一开关 S 截止, 具体等效电路图如图 6 所示。通过图 6 所示的电路对储能电容 C2 进行充电。

[0065] 在  $t_4-t_5$  时间内, 谐振发射电路处于断开状态, 通过脉冲宽度调制控制器在金氧半场效晶体管 Q1 的栅极施加脉冲宽度调制信号, 同时第一开关 S 处于截止状态, 具体等效电路与图 5 相同, 通过储能电容 C2 上的电能继续对可充电电池 B 进行充电。



[0066] 在图 3 所示的时序图中,  $t_0-t_1$  时间内, 可充电电池 B 处于恒流充电模式下, 在  $t_2-t_5$  时间内, 可充电电池 B 处于恒压充电模式下。在  $t_2-t_5$  时间内, 谐振发射电路是间歇式工作, 即当谐振发射电路不工作时, 储能电容 C2 对可充电电池 B 进行充电, 当谐振发射电路以 PFM 方式工作时, 对储能电容 C2 进行充电, 因此储能电容也是放电和充电交替进行。在  $t_1-t_2$  时间内为恒流充电模式向恒压充电模式转变的过渡时间段, 在实际的充电过程中,  $t_1-t_2$  时间段持续的时间很短, 可以不予考虑。在本发明的其他实施例中, 在  $t_2$  时刻后的一预订的时间段内, 可以使得谐振发射电路为导通状态, 且金氧半场效晶体管 Q1 为截止状态, 同时第一开关 S 截止。之后, 磁耦合谐振式无线能量传输电路的工作方式和本实施例中的  $t_2-t_5$  时间内的的工作方式相同。

[0067] 在其他的实施例中, 可以选择储能容量大的储能电容 C2, 在可充电电池 B 的恒压充电模式下, 使得储能电容 C2 上具有足够的电能来对可充电电池 B 进行充电, 从而使得谐振发射电路在恒压充电模式下降低谐振发射电路的开启频率。

[0068] 图 7 是图 2 所示的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路和图 1 所示的接收电路分别对可充电电池的充电效率的曲线图。如图 7 所示, 曲线 1 为图 1 所示的接收电路对可充电电池的充电效率曲线图, 曲线 2 为图 2 所示的接收电路对可充电电池的充电效率曲线图。从图 7 可以看出, 在大约 0-100 分钟内, 曲线 1 和曲线 2 基本相等, 说明在恒流充电模式下, 充电效率基本相等。在大约 100-200 分钟内, 曲线 2 的效率和曲线 1 的效率随着充电时间的增加而降低, 但是在同一时刻, 曲线 2 的效率明显高于曲线 1 的效率, 说明在恒压充电模式下, 本发明图 2 的接收电路对可充电电池的充电效率高于图 1 的接收电路对可充电电池的充电效率。

[0069] 图 8 是根据本发明第二个实施例的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。其与图 2 基本相同, 区别在于, 在二极管 D5 的两端并联有第二开关 S2, 在可充电电池 B 的恒流充电模式下, 第二开关 S2 导通, 使得二极管 D5 短路, 经过滤波后在电容 C3 上得到的直流电直接对可充电电池 B 进行充电, 从而避免了在恒流充电模式下二极管 D5 对电能的损耗。在可充电电池 B 的恒压充电模式下, 第二开关 S2 一直断开, 储能电容 C2 上的直流电经过 boost 升压电路 3 后对可充电电池 B 进行充电。

[0070] 图 9 是根据本发明第三个实施例的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路的电路图。其与图 2 基本相同, 区别在于, 谐振电路 4 为谐振电感 L5 和谐振电容 C9 构成的 LC 谐振电路, 谐振电容 C9 的两端为谐振电路 4 的输出端。谐振电感 L5 的一端和谐振电容 C9 的一端连接, 谐振电感 L5 的另一端和谐振电容 C9 的另一端连接, 全桥整流电路 2 的输入端连接在谐振电容 C9 的两端。另外, 图 9 中并没有图 2 中的第一开关 S 和电容 C3。在恒压充电模式下, boost 升压电路 3 使得输出端的电压高于储能电容 C2 两端的电压, 同时也高于可充电电池 B 两端的电压, 从而继续对可充电电池 B 进行充电。在本实施例的变形结构中, 可以在二极管 D5 的两端并联一个继电器开关。

[0071] 在其他的实施例中, 还可以采用半桥整流电路代替上述实施例中的全桥整流电路 2, 另外, 本发明中的 DC-DC 变换器并不限于 boost 升压电路 3, 还可以采用其他任意的将储能电容两端的电压进行升压的 DC-DC 变换器。在一些实施例中, 还可以采用半导体开关元件代替本实施例中的金氧半场效晶体管 Q1, 例如可以采用 IGBT 替换本实施例中的金氧半场效晶体管 Q1, 同时将 IGBT 的集电极和二极管 D5 的阳极电连接, IGBT 的发射极和二极管

D4 的阳极电连接。在其他的实施例中,本发明中的储能电容 C2 可以是单个电容,还可以是多个电容并联在储能电容 C2 两端形成的电容组,从而增加电能的储能。本发明除了可以对可充电电池 B 进行充电外,同样适用于所需功率变化较大的负载,例如当负载所需的功率较大时,采用恒流充电模式对负载进行供电,当负载所需的功率较小时,采用储能电容 C2 上的电能对负载进行供电,从而提高了电能的利用率。

[0072] 图 10 是根据本发明较佳实施例的磁耦合谐振式无线能量传输电路的电路图。如图 10 所示,包括如图 8 所示的磁耦合谐振式无线能量传输接收电路、谐振发射电路 5、主控制装置 12、从控制装置 16、电压检测模块 8 和充电检测模块 7。其中谐振发射电路 5 中包括半导体开关 6,本领域的技术人员可知,谐振发射电路 5 的其他电路结构是公知的,其具体的电路结构在此不再予以详述。充电检测模块 7 用于检测可充电电池 B 的充电状态从而判断可充电电池 B 的充电情况,例如可以检测可充电电池 B 的电压,或者同时检测可充电电池 B 的电压和充电电流等信号。电压检测模块 8 用于检测储能电容 C2 两端的电压值。从控制装置 16 包括从 CPU13、从收发模块 14 和第二驱动模块 15。主控制装置 12 包括主 CPU9、主收发模块 10 和第一驱动模块 11。充电检测模块 7 将可充电电池 B 的充电状态数据输出至从 CPU13,同时电压检测模块 8 将储能电容 C2 的电压值输出至从 CPU13,从 CPU13 将该充电状态数据和储能电容 C2 的电压值通过从收发模块 14 和主收发模块 10 发送给主 CPU9,主 CPU9 根据该充电状态数据和储能电容 C2 的电压值通过第一驱动模块 11 控制半导体开关 6 的工作状态。从 CPU13 根据该充电状态数据和储能电容 C2 的电压值通过第二驱动模块 15 控制第一开关 S、第二开关 S2 和金氧半场效晶体管 Q1 的工作状态。

[0073] 现举例说明主控制装置 12 和从控制装置 16 的控制方式,充电检测模块 7 检测可充电电池 B 的电压和充电电流,充电检测模块 7 并将可充电电池 B 的当前电压值和充电电流值输出至从 CPU13,同时电压检测模块 8 检测储能电容 C2 两端的电压,并将储能电容 C2 两端的电压值输出至从 CPU13,从 CPU13 通过从收发模块 14 和主收发模块 10 之间进行数据传输,将可充电电池 B 的电压值和充电电流值,以及储能电容 C2 的电压值发送到主 CPU9。当可充电电池 B 的电压低于一预定的阈值电压且同时储能电容 C2 上的电压值高于预定的另一阈值电压时,主 CPU9 给第一驱动模块 11 输出一 PFM 信号,从而使得第一驱动模块 11 控制半导体开关 6 以 PFM 方式工作。同时从 CPU13 通过第二驱动模块 15 控制金氧半场效晶体管 Q1 处于截止状态,同时控制第一开关 S 和第二开关 S2 同时处于导通状态,此时谐振发射电路 5 对可充电电池 B 进行恒流充电。当可充电电池 B 的电压大于或增加到一预定的阈值电压时,主 CPU9 给第一驱动模块 11 输出一驱动信号控制半导体开关 6 处于截止状态,同时从 CPU13 通过第二驱动模块 15 控制金氧半场效晶体管 Q1 以 PWM 方式工作,且控制第一开关 S 和第二开关 S2 同时断开,此时储能电容 C2 放电并通过电感 L2、二极管 D5 和金氧半场效晶体管 Q1 构成的 boost 电路对可充电电池 B 进行恒压充电。当可充电电池 B 的电压大于或增加到一预定的阈值电压且同时储能电容 C2 上的电压值低于预定的另一阈值电压时,主 CPU9 给第一驱动模块 11 输出一 PFM 信号,从而使得第一驱动模块 11 控制半导体开关 6 以 PFM 方式工作。同时从 CPU13 通过第二驱动模块 15 控制金氧半场效晶体管 Q1 处于截止状态,同时控制第一开关 S 和第二开关 S2 同时处于断开状态,此时谐振发射电路 5 通过谐振电路 1 和全桥整流电路 2 对储能电容 C2 进行充电。因此当可充电电池 B 的电压大于或增加到一预定的阈值电压时,谐振发射电路 5 处于间歇式工作,此时储能电容 C2 处于

充电和放电交替式工作状态。

[0074] 在其他的实施例中,还可以是主 CPU9 通过主收发模块 10 和从收发模块 14 给从 CPU13 发送控制指令,从 CPU13 根据该控制指令通过第二驱动模块 15 控制第一开关 S、第二开关 S2 和金氧半场效晶体管 Q1 的工作状态。其中第一开关 S、第二开关 S2 和金氧半场效晶体管 Q1 的工作状态与上述相同,在此不再赘述。

[0075] 上述实施例是通过可充电电池 B 两端的电压值对可充电电池 B 进行恒压充电或恒流充电,本领域的技术人员可知,主 CPU9 可以根据可充电电池 B 的充电电流值对可充电电池 B 进行恒流充电或恒压充电。当然,主 CPU9 也可以同时根据可充电电池 B 的电压值和充电电流值对可充电电池 B 进行恒流充电或恒压充电。

[0076] 虽然本发明已经通过优选实施例进行了描述,然而本发明并非局限于这里所描述的实施例,在不脱离本发明范围的情况下还包括所作出的各种改变以及变化。

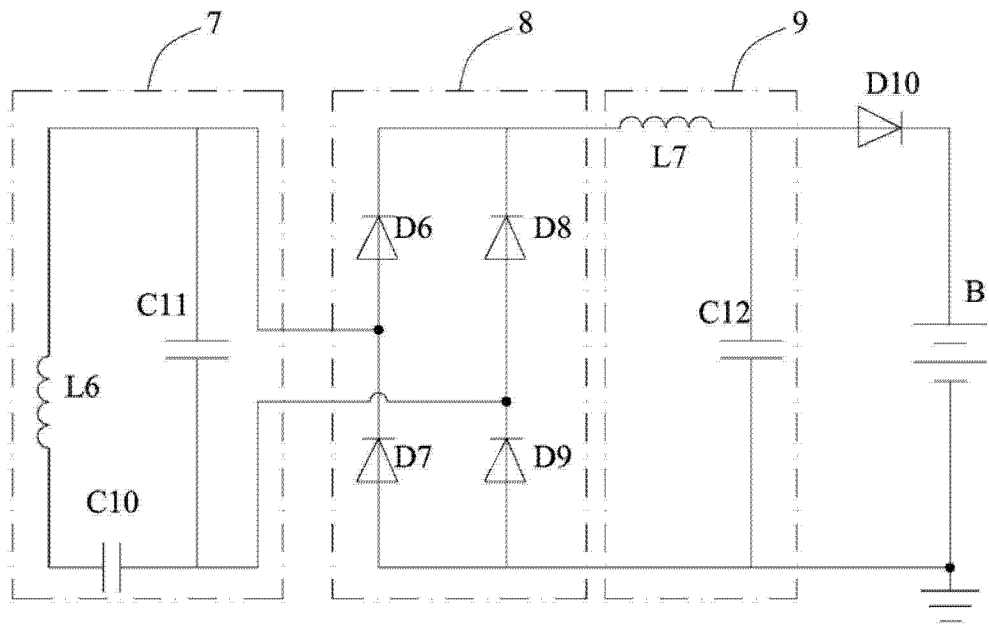


图 1

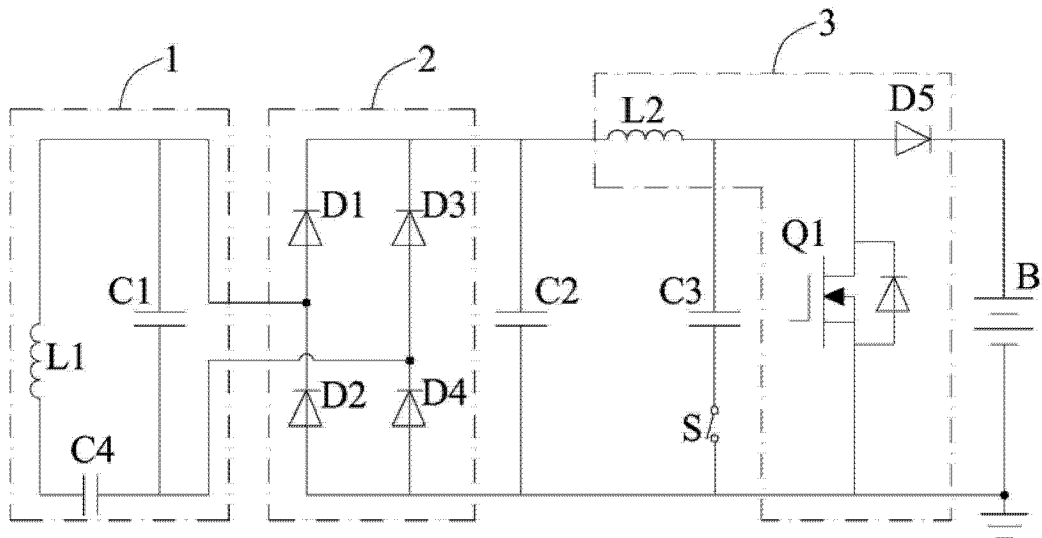


图 2

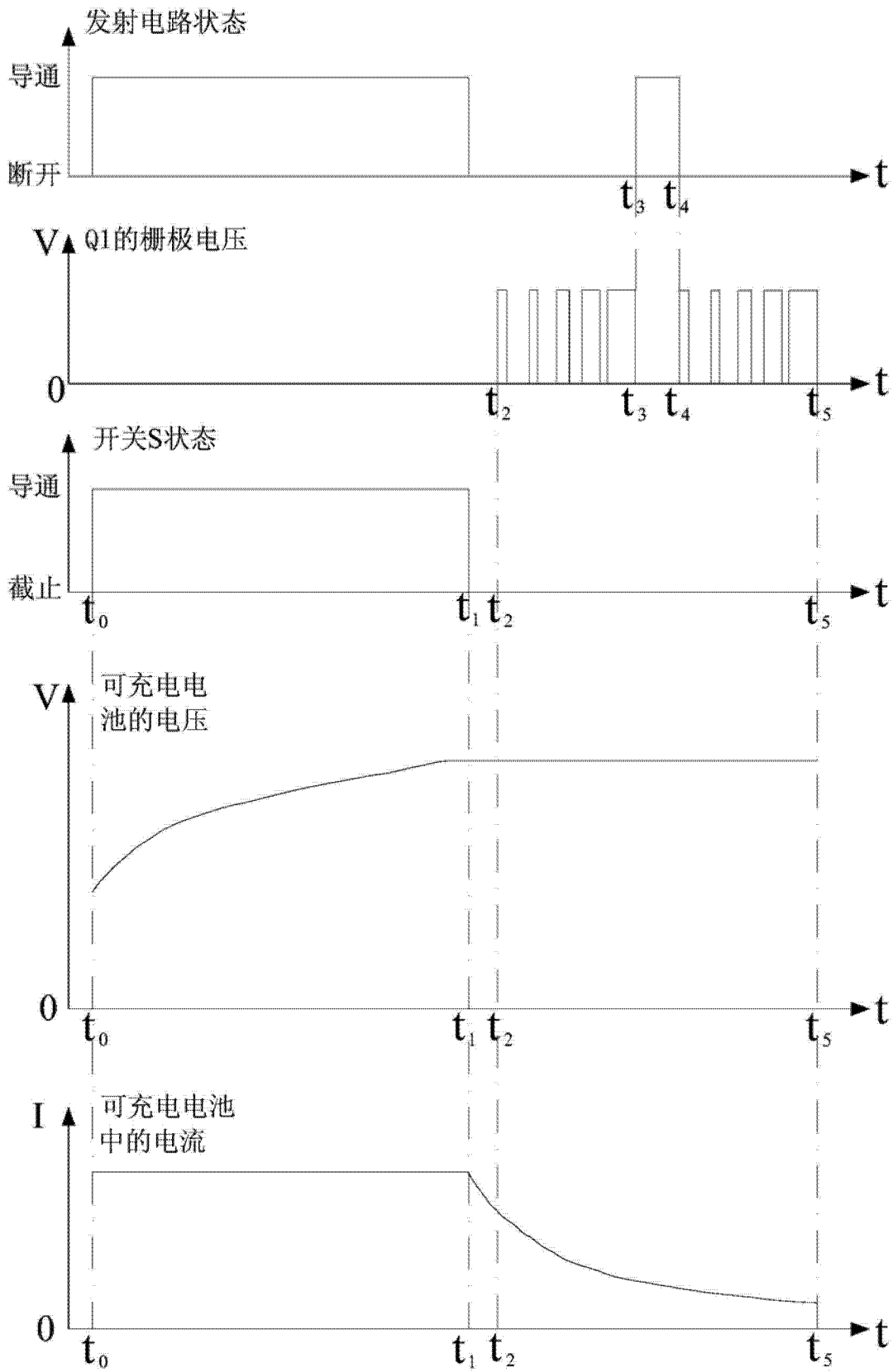


图 3

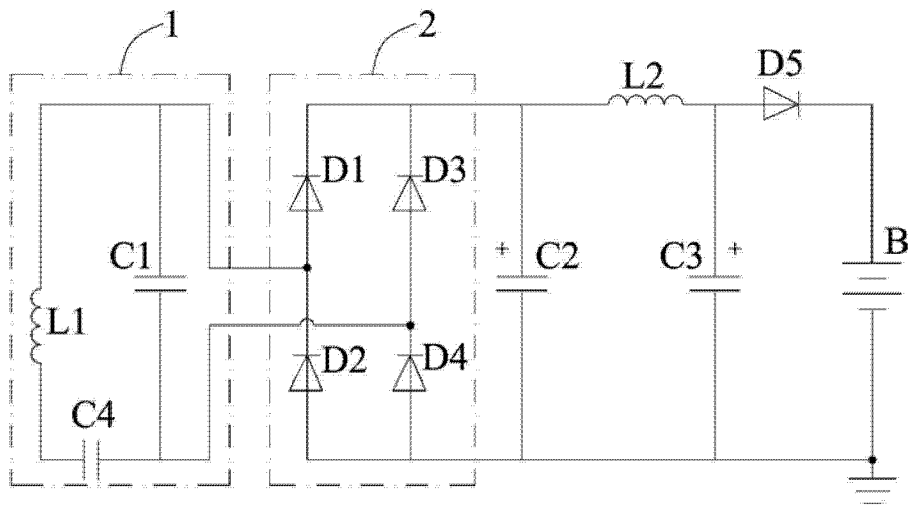


图 4

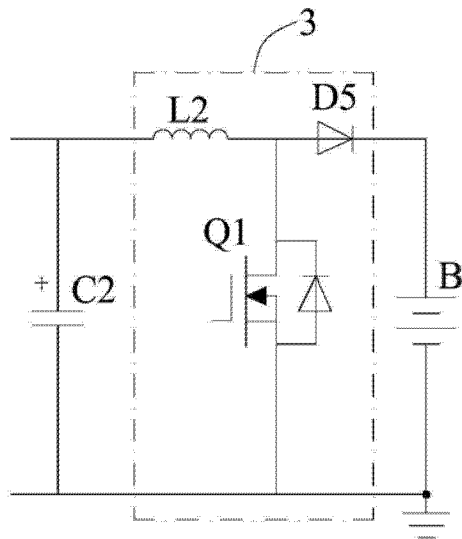


图 5

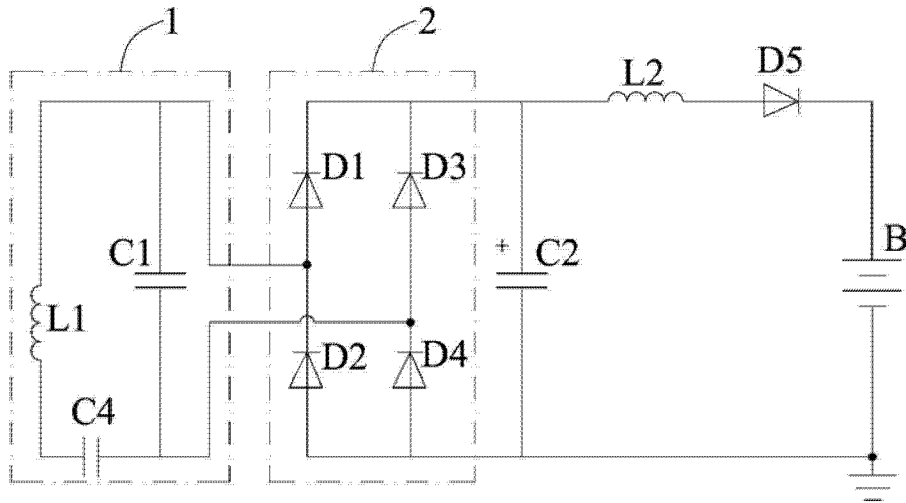


图 6

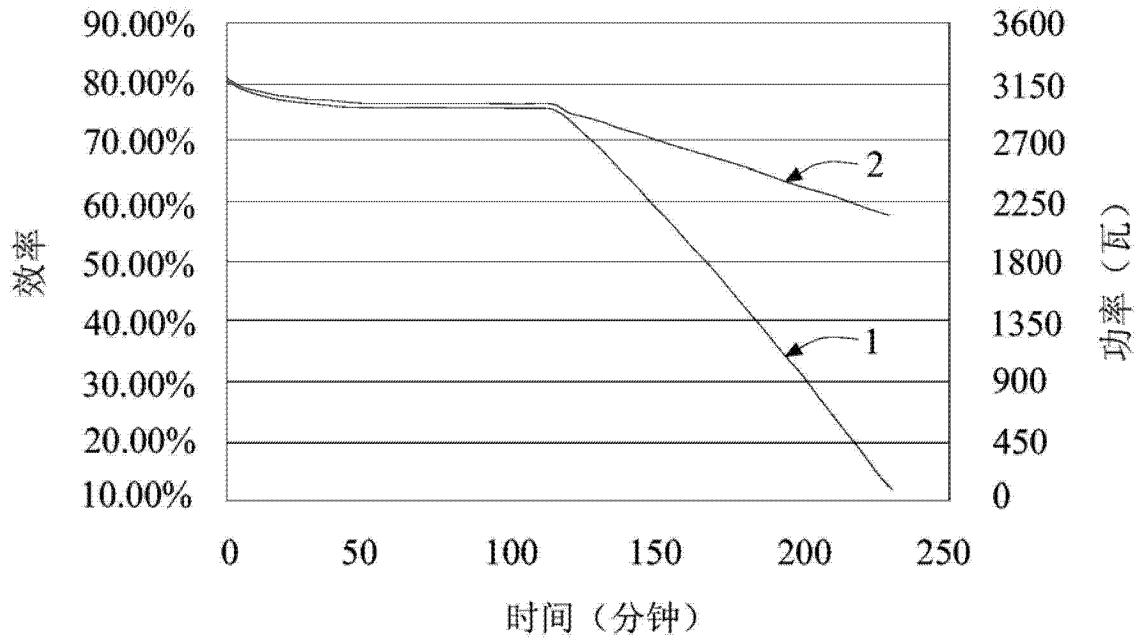


图 7

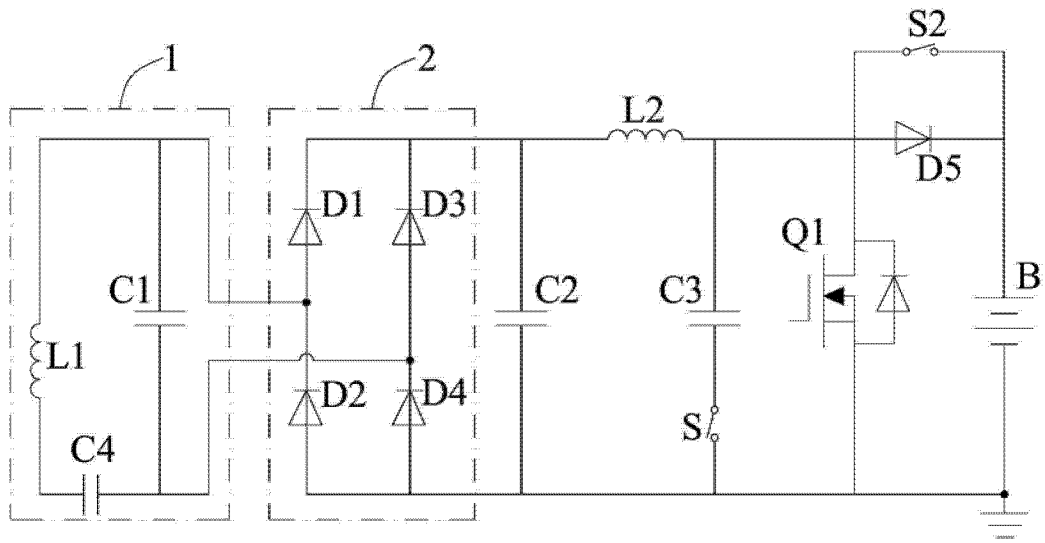


图 8

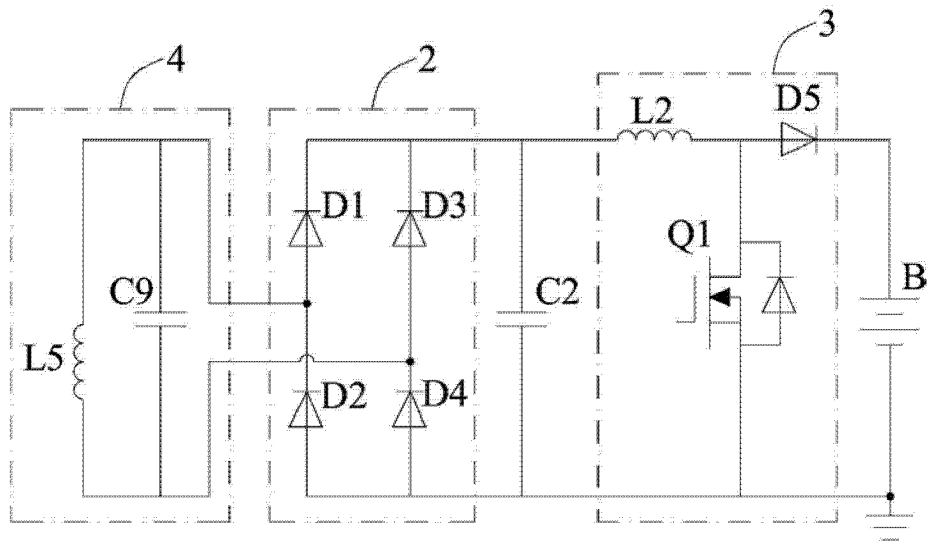


图 9



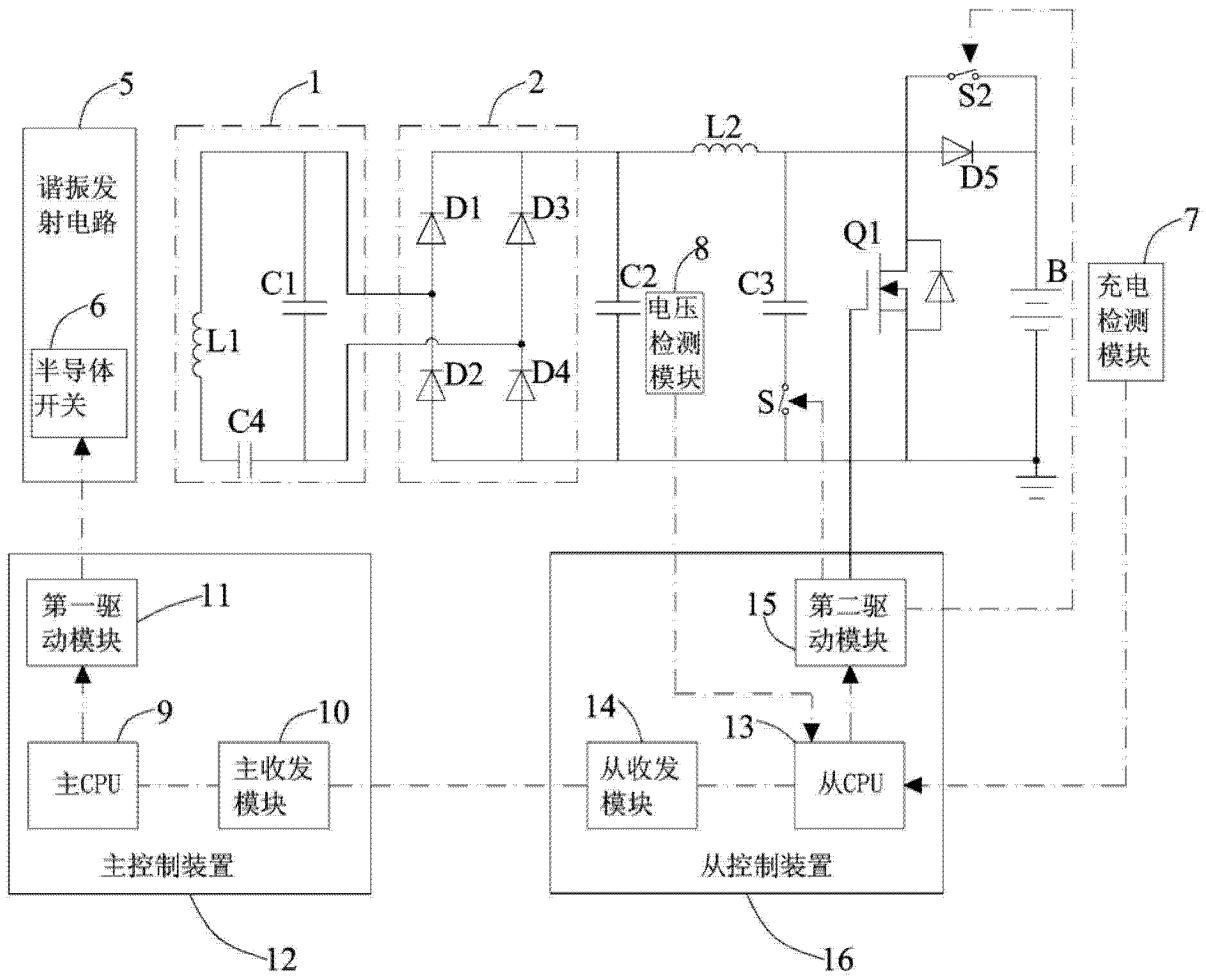


图 10