



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102111003 A

(43) 申请公布日 2011.06.29

(21) 申请号 201110042752.0

(22) 申请日 2011.02.21

(71) 申请人 成都芯源系统有限公司

地址 611731 四川省成都市高新西区出口加工区(西区)科新路8号

(72) 发明人 李楨

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 李敬文

(51) Int. Cl.

H02J 7/00(2006.01)

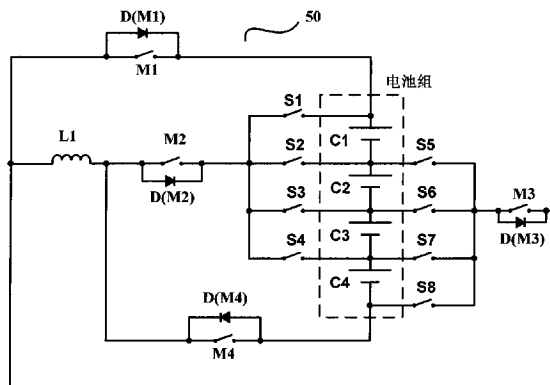
权利要求书 4 页 说明书 10 页 附图 25 页

## (54) 发明名称

新型电池均衡电路及其调节方法

## (57) 摘要

公开了一种电池均衡电路及其调节方法、以及电池堆叠均衡电路, 电池均衡电路包括: 电池组, 包括 N 个串联的电池单元; 电感, 用于储存和释放能量; 均衡控制电路, 进行控制, 以选择 N 个电池单元中需要均衡调节的电池单元或者电池组, 并通过控制电感存储和释放能量, 在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间或者在所选电池组与电池单元之间转移能量。根据本发明的电池均衡电路可以在电池组和任一电池单元之间转移能量, 相比于传统技术中的有源均衡电路, 本发明提出的技术方案更灵活, 效率也更高。



1. 一种电池均衡电路,包括:

电池组,所述电池组包括  $N$  个串联的电池单元,其中,  $N$  为大于 1 的整数;

电感,所述电感用于储存和释放能量;

均衡控制电路,所述均衡控制电路用于进行控制,以选择  $N$  个电池单元中需要均衡调节的电池单元或者电池组,并通过控制电感存储和释放能量,在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间或者在所选电池组与电池单元之间转移能量。

2. 如权利要求 1 所述的电池均衡电路,其特征在于,所述均衡控制电路包括电池单元选择电路和电感能量控制电路,其中,所述电池单元选择电路用于选择电池单元;所述电感能量控制电路用于控制电感存储和释放能量。

3. 如权利要求 2 所述的电池均衡电路,其特征在于,所述电池单元选择电路包括两组开关支路,其中,每组开关支路包括  $N$  条开关支路,且所述电池单元选择电路通过使第一组开关支路中的第  $n$  个开关支路与第二组开关支路中的第  $n+1$  个开关支路导通,并使其他开关支路关断,来选择第  $n$  个电池单元, $n$  为大于等于 1 且小于等于  $N$  的整数。

4. 如权利要求 3 所述的电池均衡电路,其特征在于,第一组开关支路中的  $N$  条支路均具有第一端子和第二端子,其中,第一至第  $N$  条开关支路的第一端子对应连接至第一至第  $N$  个电池单元的正极,第一至第  $N$  条开关支路的第二端子连接在一起形成第一公共端;第二组开关支路中的  $N$  条支路均具有第一端子和第二端子,其中,第一至第  $N$  条开关支路的第二端子对应连接至第一至第  $N$  个电池单元的负极,第一至第  $N$  条开关支路的第一端子连接在一起形成第二公共端。

5. 如权利要求 2 所述的电池均衡电路,其特征在于,所述电感能量控制电路包括第一开关、第二开关、第三开关、第四开关,以及与第一、第二、第三、第四开关分别并联的第一、第二、第三以及第四二极管;

所述电感能量控制电路通过使第二和第三开关导通,第一和第四开关关断,来控制电感存储能量,并且通过使第一至第四开关关断,来控制电感释放能量,从而将能量从所选电池单元转移至电池组;

所述电感能量控制电路通过使第一和第四开关导通,第二和第三开关关断,来控制电感存储能量,并且通过使第一至第四开关关断,来控制电感释放能量,从而将能量从电池组转移至所选电池单元。

6. 如权利要求 5 所述的电池均衡电路,其特征在于,所述第一二极管的阴极端和所述第一开关的第一端子耦接至电池组的正极,其阳极端和所述第一开关的第二端子耦接至所述电感的第二端子;所述第二二极管的阴极端和所述第二开关的第一端子耦接至所述第一公共端,其阳极端和所述第二开关的第二端子耦接至所述电感的第一端子;所述第三二极管的阴极端和所述第三开关的第二端子耦接至所述电感的第二端子,其阳极端和所述第三开关的第一端子耦接至所述第二公共端;所述第四二极管的阳极端和所述第四开关的第一端子耦接至所述电池组的负极,其阴极端和所述第四开关的第二端子耦接至所述电感的第二端子。

7. 如权利要求 1 所述的电池均衡电路,其特征在于,所述均衡控制电路包括两组开关支路,其中,每组开关支路包括  $N+1$  条开关支路,且所述均衡控制电路通过使第一组开关支路中的第  $n$  条开关支路与第二组开关支路中的第  $n+1$  条开关支路导通,并使其他开关支路

关断,来选择第  $n$  个电池单元,  $n$  为大于等于 1 且小于等于  $N+1$  的整数;

其中,所述均衡控制电路通过开关支路的导通和关断,控制电感存储或释放能量,以在所选电池单元与其他电池单元或电池组之间转移能量。

8. 如权利要求 7 所述的电池均衡电路,其特征在于,第一组开关支路中的  $N+1$  条支路均具有第一端子和第二端子,其中,第一至第  $N$  条开关支路的第一端子对应连接至第一至第  $N$  个电池单元的正极,第  $N+1$  条开关支路的第一端子对应连接至第  $N$  个电池单元的负极,第一至第  $N+1$  条开关支路的第二端子连接在一起形成第一公共端;第二组开关支路中的  $N+1$  条支路均具有第一端子和第二端子,其中,第二至第  $N+1$  条开关支路的第二端子对应连接至第一至第  $N$  个电池单元的负极,第一条开关支路的第一端子对应连接至第一电池单元的正极,第一至第  $N+1$  条开关支路的第一端子连接在一起形成第二公共端。

9. 如权利要求 8 所述的电池均衡电路,其特征在于,所述第一公共端连接至第一电感的第一端子,第二公共端连接至第二电感的第二端子。

10. 如权利要求 7 所述的电池均衡电路,其特征在于,每条开关支路由金属氧化物场效应晶体管和二极管串联组成。

11. 如权利要求 7 所述的电池均衡电路,其特征在于,还包括与所述电感并联的补充充电电路。

12. 如权利要求 11 所述的电池平衡电路,其特征在于,所述补充充电电路由电源和金属氧化物场效应晶体管串联组成。

13. 如权利要求 7 所述的电池均衡电路,其特征在于,每组开关支路中的第二至第  $N$  条开关支路均由金属氧化物场效应晶体管和二极管串联组成;第一组开关支路中的第一条开关支路由金属氧化物场效应晶体管构成,第  $N+1$  条开关支路由二极管组成;第二组开关支路中的第一条开关支路由二极管构成,第  $N+1$  条开关支路由金属氧化物场效应晶体管组成。

14. 如权利要求 7 所述的电池均衡电路,其特征在于,每组开关支路中的第二至第  $N$  条开关支路均由金属氧化物场效应晶体管和二极管串联组成;第一组开关支路中的第一条开关支路被省略,第  $N+1$  条开关支路由二极管组成;第二组开关支路中的第一条开关支路由二极管构成,第  $N+1$  条开关支路被省略;

所述电池均衡电路还包括与所述电感并联的补充充电电路。

15. 一种电池堆叠均衡电路,包括:

$M$  个电池均衡电路,其中,  $M$  为大于 1 的整数,每一个电池均衡电路包括:

电池组,所述电池组包括  $N$  个串联的电池单元,其中,  $N$  为大于 1 的整数;

电感,所述电感用于储存和释放能量;以及

均衡控制电路,所述均衡控制电路用于进行控制,以选择  $N$  个电池单元中需要均衡调节的电池单元,并通过控制电感存储和释放能量,在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间或者在所选电池组与电池单元之间转移能量;以及

堆叠连接电路,用于依次将  $M$  个电池均衡电路中的每个电池均衡电路与其下一电池均衡电路连接。

16. 如权利要求 15 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,所述堆叠连接电路包括  $2(M-1)$  个二极管。

17. 如权利要求 16 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,在每一个电池均衡电路中,均衡控制电路包括布置在电池组两侧的两组开关支路,每组开关支路包括 N 条开关支路,第一组开关支路中的 N 条支路均具有第一端子和第二端子,其中,第一至第 N 条开关支路的第一端子对应连接至第一至第 N 个电池单元的正极,第一至第 N 条开关支路的第二端子连接在一起形成第一公共端;第二组开关支路中的 N 条支路均具有第一端子和第二端子,其中,第一至第 N 条开关支路的第二端子对应连接至第一至第 N 个电池单元的负极,第一至第 N 条开关支路的第一端子连接在一起形成第二公共端;

电感的第一和第二端子分别耦接至第一公共端和第二公共端。

18. 如权利要求 17 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,

对于第一至第 M-1 个电池均衡电路中的每一个,当前电池均衡电路与其下一电池均衡电路均通过两个二极管连接,其中,第一二极管的阳极与所述下一电池均衡电路的电感的第二端子耦接,阴极与该当前电池均衡电路的电池组的正极耦接,第一二极管用于将能量从所述下一电池均衡电路的电池组转移至该当前电池均衡电路的电池组,第二二极管的阳极与所述下一电池均衡电路的电池组的负极耦接,阴极与该当前电池均衡电路的电感的第一端子耦接,第二二极管用于将能量从该当前电池均衡电路的电池组转移至所述下一电池均衡电路的电池组。

19. 如权利要求 18 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,

通过保持所述下一电池均衡电路的第一组开关支路中第一条开关支路导通,而将第二组开关支路中第 N 条开关支路以固定频率和固定占空比导通和关断,同时保持其他开关支路均关断,将能量经由第一二极管从所述下一电池均衡电路的电池组转移至该当前电池均衡电路的电池组。

20. 如权利要求 18 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,

通过保持所述下一电池均衡电路的第二组开关支路中第 N 条开关支路导通,而将第一组开关支路中第一条开关支路以固定频率和固定占空比导通和关断,同时保持其他开关支路均关断,将能量经由第二二极管从该当前电池均衡电路的电池组转移至所述下一电池均衡电路的电池组。

21. 如权利要求 17 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,

对于第一至第 M-1 个电池均衡电路中的每一个,当前电池均衡电路与其下一电池均衡电路均通过两个二极管连接,其中,第一二极管的阳极与所述下一电池均衡电路的电感的第一端子耦接,阴极与该当前电池均衡电路的电池组的正极耦接,第一二极管用于将能量从所述下一电池均衡电路的电池组转移至该当前电池均衡电路的电池组,第二二极管的阳极与所述下一电池均衡电路的电池组的负极耦接,阴极与该当前电池均衡电路的电感的第二端子耦接,第二二极管用于将能量从该当前电池均衡电路的电池组转移至所述下一电池均衡电路的电池组。

22. 如权利要求 21 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,

通过保持所述下一电池均衡电路的第二组开关支路中第一条开关支路导通,而将第一组开关支路中第 N 条开关支路以固定频率和固定占空比导通和关断,同时保持其他开关支路均关断,将能量经由第一二极管从所述下一电池均衡电路的电池组转移至该当前电池均衡电路的电池组。

23. 如权利要求 21 所述的电池堆叠均衡电路,其特征在于,

通过保持所述下一电池均衡电路的第一组开关支路中第 N 条开关支路导通,而将第二组开关支路中第一条开关支路以固定频率和固定占空比导通和关断,同时保持其他开关支路均关断,将能量经由第二二极管从该当前电池均衡电路的电池组转移至所述下一电池均衡电路的电池组。

24. 一种针对包括多个串联电池单元的电池组的电池均衡调节方法,包括:

选择多个电池单元中需要均衡调节的电池单元;

利用电感存储均衡调节所需的能量;以及

释放在电感中存储的能量,从而在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间或者在所选电池组与电池单元之间转移均衡调节所需的能量。

25. 如权利要求 24 所述的电池均衡调节方法,其中,选择电池单元包括:

通过将多个电池单元两侧布置的多个开关支路中与所述电池单元对应的开关支路导通,并使其他开关支路关断,来选择所述电池单元。

26. 如权利要求 24 所述的电池均衡调节方法,其中,利用电感存储能量包括:

通过与电感的两端电耦接的多个开关的导通和关断,将来自所选电池单元或电池组的需要转移的能量存储到电感中;

其中,释放在电感中存储的能量包括:通过与电感的两端电耦接的多个开关的导通和关断,将电感中存储的能量转移到电池组或另一电池单元,或者转移到所选电池单元。

## 新型电池均衡电路及其调节方法

### 技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及电池电源,更具体地,本发明的实施例涉及电池均衡电路及其调节方法。

### 背景技术

[0002] 当今,一个电池组通常包括几个相互串联的电池单元,由于每个电池单元在充电状态、阻抗和温度特性等方面的差异,会造成电池单元之间的不均衡。这种不均衡现象将使得整个电池组的容量减小、寿命缩短。因此,在电池组中需要运用电池均衡电路对其进行调节,以保持电池组的容量,延长电池组的寿命。

[0003] 现有技术中常见的电池均衡电路包括无源电阻均衡电路和包含电容、电感或变压器的有源均衡电路。无源电阻均衡电路通过电阻消耗多余的能量,效率低,发热量大。而常见的包含电容、电感或变压器的有源均衡电路由于存在电路复杂,缺乏稳定性等缺陷亦无法为客户所接受。

[0004] 图 1 示出了现有技术中的无源电阻均衡电路 10。如图 1 所示,无源电阻均衡电路 10 包括和电池并联的旁路电阻器和旁路场效应晶体管(Field Effect Transistor, FET)。在无源电阻均衡电路 10 中,通过旁路电阻器和旁路 FET 对电压较高的电池单元放电,从而使得电池组各个电池单元之间的电压可以得到均衡。该技术方案虽然较简单,但它只能调节电压较高的电池单元,且多余的能量只能以热形式被耗散掉,均衡效率低。

[0005] 图 2 示出了现有技术中的包含电容的有源均衡电路 20。如图 2 所示,在有源均衡电路 20 中,电容在两个相邻电池单元之间不断切换,以使得电池组中各个电池单元之间的容量可以得到均衡。该技术方案虽然效率较无源电阻均衡高,但在电容充电过程中仍然会耗散掉大量的能量,且能量只能在相邻电池单元之间进行转移。

[0006] 图 3 示出了现有技术中的包含变压器的有源均衡电路 30。如图 3 所示,在均衡电路 30 中,能量可以在电池组和电池组中的每个电池单元之间进行转移。该技术方案均衡速度较快,但由于采用了变压器而增加了电路成本和电路尺寸。

[0007] 图 4 示出了现有技术中的包含电感器的有源均衡电路 40。如图 4 所示,均衡电路 40 以升降压变换器模式进行能量转移。该技术方案中,能量只能在两相邻电池单元之间进行转移,均衡速度较慢,均衡效率不高。

### 发明内容

[0008] 鉴于现有技术中的问题,提出了本发明。

[0009] 根据本发明实施例,一种电池均衡电路,包括:

[0010] 电池组,包括 N 个串联的电池单元,其中, N 为大于 1 的整数;

[0011] 电感,用于储存和释放能量;

[0012] 均衡控制电路,用于进行控制,以选择 N 个电池单元中需要均衡调节的电池单元,并通过控制电感存储和释放能量,在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间转移能

量。

- [0013] 根据本发明实施例,一种电池堆叠均衡电路,包括:
- [0014] M 个电池均衡电路,其中,M 为大于 1 的整数,每一个电池均衡电路包括:
- [0015] 电池组,所述电池组包括 N 个串联的电池单元,其中,N 为
- [0016] 大于 1 的整数;
- [0017] 电感,所述电感用于储存和释放能量;以及
- [0018] 均衡控制电路,所述均衡控制电路用于进行控制,以选择 N 个电池单元中需要均衡调节的电池单元,并通过控制电感存储和释放能量,在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间转移能量;以及
- [0019] 堆叠连接电路,用于依次将 M 个电池均衡电路中的每个电池均衡电路与其下一电池均衡电路连接
- [0020] 根据本发明实施例,一种针对包括多个串联电池单元的电池组的电池均衡调节方法,包括:
- [0021] 选择多个电池单元中需要均衡调节的电池单元;
- [0022] 利用电感存储均衡调节所需的能量;以及
- [0023] 释放电感中存储的能量,从而在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间转移均衡调节所需的能量。

#### 附图说明

- [0024] 图 1 示出了现有技术中的无源电阻均衡电路 10。
- [0025] 图 2 示出了现有技术中的包含电容的有源均衡电路 20。
- [0026] 图 3 示出了现有技术中的包含变压器的有源均衡电路 30。
- [0027] 图 4 示出了现有技术中的包含电感器的有源均衡电路 40。
- [0028] 图 5 示出依据本发明一个实施例的均衡电路 50。
- [0029] 图 6(a) ~ 6(c) 示出图 5 所示均衡电路 50 将能量由电池单元转移至电池组的工作波形和工作原理电路。
- [0030] 图 7(a) ~ 7(c) 示出图 5 所示均衡电路 50 将能量由电池组转移至电池单元的工作波形和工作原理电路。
- [0031] 图 8 示出依据本发明一个实施例的具有 N 个电池单元的均衡电路。
- [0032] 图 9 示出依据本发明一个实施例的改进的均衡电路 90。
- [0033] 图 10 示出图 9 所示均衡电路 90 的一种具体实施电路 100。
- [0034] 图 11 示出图 9 所示均衡电路 90 的一种改进的具体实施电路 110。
- [0035] 图 12(a) ~ 12(c) 示出图 11 所示均衡电路 90 将能量由电池组转移至电池单元的工作原理电路。
- [0036] 图 13(a) ~ 13(b) 示出图 11 所示均衡电路 90 将能量由电池单元转移至电池组的工作原理电路。
- [0037] 图 14(a) ~ 14(b) 示出图 11 所示均衡电路 90 将能量在电池单元之间转移的工作原理电路。
- [0038] 图 15 示出了依据本发明一个实施例的补充充电电路 150。

- [0039] 图 16 示出了依据本发明一个实施例的改进的补充充电电路 160。
- [0040] 图 17(a) ~ 17(b) 示出图 16 所示均衡电路 160 进行补充充电的工作原理电路。
- [0041] 图 18 示出了依据本发明一个实施例的具有堆叠连接电路的均衡电路 180。
- [0042] 图 19 示出了依据本发明一个实施例的改进的具有堆叠连接电路的均衡电路 190。
- [0043] 图 20(a) ~ 20(d) 示出了图 19 所示均衡电路 190 将能量在分电池组中进行转移的工作原理电路。
- [0044] 图 21 示出了依据本发明一个实施例的改进的具有堆叠连接电路的均衡电路 210。
- [0045] 图 22(a) ~ 22(d) 示出了图 21 所示均衡电路 210 将能量在分电池组中进行转移的工作原理电路。
- [0046] 图 23 示出了根据本发明一个实施例的电池均衡调节方法 230。

### 具体实施方式

[0047] 图 5 示出依据本发明一个实施例的均衡电路 50。如图 5 所示,均衡电路 50 包括电池组,均衡控制电路以及电感 L1。其中,电池组包括相互串联的电池单元 C1 ~ C4。均衡控制电路用于进行控制,以选择需要均衡调节的电池单元或者电池组,并通过控制电感 L1 存储和释放能量,在所选电池单元与电池组或者所选电池组与电池单元之间转移能量,实现能量均衡。均衡控制电路包括电池单元选择电路和电感能量控制电路,其中,电池单元选择电路用于选择电池单元。电感能量控制电路用于控制电感存储和释放能量。电池单元选择电路包括开关 S1 ~ S8;电感能量控制电路包括开关 M1 ~ M4 以及分别与开关 M1 ~ M4 对应并联的二极管 D(M1) ~ D(M4)。其中,电池单元选择电路用于选择需要进行均衡调节的电池单元,电感能量控制电路用于在电池组与电池单元之间转移能量,电感 L1 用于转移过程中能量的储存和释放。在本实施例中,电池单元选择电路通过使开关 S1 ~ S8 中对应于需要均衡调节的电池单元的开关导通,并使其他开关关断,来选择该电池单元。电感能量控制电路通过导通和关断开关 M1 ~ M4,来控制电感 L1 存储和释放能量。

[0048] 如图 5 所示,开关 S1 ~ S4 的第一端子分别耦接至电池单元 C1 ~ C4 的正极,其第二端子耦接在一起。开关 S5 ~ S8 的第一端子分别耦接至电池单元 C1 ~ C4 的负极,其第二端子耦接在一起。开关 M1 的第一端子以及二极管 D(M1) 的阴极端耦接至电池单元 C1 的正极,开关 M1 的第二端子以及二极管 D(M1) 的阳极端耦接至电感 L1 的第二端子。开关 M2 的第一端子以及二极管 D(M2) 的阴极端耦接至开关 S1 ~ S4 的第二端子,开关 M2 的第二端子以及二极管 D(M2) 的阳极端耦接至电感 L1 的第一端子。开关 M3 的第一端子以及二极管 D(M3) 的阳极端耦接至开关 S5 ~ S8 的第二端子,开关 M3 的第二端子以及二极管 D(M3) 的阴极端耦接至电感 L1 的第二端子。开关 M4 的第一端子以及二极管 D(M4) 的阳极端耦接至电池单元 C4 的负极,开关 M4 的第二端子以及二极管 D(M4) 的阴极端耦接至电感 L1 的第一端子。

[0049] 下面将结合附图 5 和 6 详细说明均衡电路 50 的工作原理。

[0050] (1) 当能量由电池单元转移至电池组时

[0051] 如果某一电池单元的电压高于其它电池单元的电压,则均衡电路 50 开始工作,将该电池单元的能量转移至电池组。以电池单元 C2 的电压高于其它电池单元的电压为例。此时,开关 S2 和 S6 导通,开关 S1、S3、S4 以及 S5 关断,以选择电池单元 C2。同时,保持开



关 M1 和 M4 关断, 而开关 M2 和 M3 同步地以一固定频率和固定占空比工作, 其工作波形如图 6(a) 所示。

[0052] 当开关 M2 和 M3 导通时, 均衡电路 50 的工作电路如图 6(b) 所示。此时, 电流从电池单元 C2 正极流出, 流经开关 M2, 然后再流经电感 L1, 然后再流经开关 M3, 最后流回电池单元 C2 的负极, 电感 L1 开始储能。如图 6(a) 所示, 电感 L1 上的电流  $i_{L1}$  开始增加, 设开关 M2 和 M3 的工作周期为 T, 导通占空比为 D, 电池单元 C2 的电压为  $V_{C2}$ , 则有:  $\frac{di_{L1}}{D \cdot T} = \frac{V_{C2}}{L1}$ 。

电感 L1 的电压  $V_{L1}$  等于电池单元 C2 的电压  $V_{C2}$ , 即  $V_{L1} = V_{C2}$ 。

[0053] 当开关 M2 和 M3 关断时, 均衡电路 50 的工作电路如图 6(c) 所示。此时, 电感 L1 开始放电, 其电流流经二极管 D(M1) 后再流经电池组, 最后流经二极管 D(M4) 后回到电感, 形成电流回路。如图 6(a) 所示, 电感 L1 上的电流  $i_{L1}$  开始减小, 有:  $\frac{di_{L1}}{(1-D) \cdot T} = \frac{V_{C2}}{L1}$ 。

电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  和电池组上的电压  $V_{PACK}$  大小相等, 方向相反, 即  $V_{L1} = -V_{PACK}$ 。

[0054] 可见, 通过利用电池单元 C2 将电感储能, 然后再将电感存储的能量释放到电池组, 使得电池单元 C2 的能量转移至电池组。

[0055] (2) 当能量由电池组转移至电池单元时

[0056] 如果某一电池单元的电压低于其它电池单元的电压, 则均衡电路 50 开始工作, 将电池组的能量转移至该电池单元。以电池单元 C2 的电压低于其它电池单元的电压为例。此时, 开关 S2 和 S6 导通, 开关 S1、S3、S4 以及 S5 关断, 以选择电池单元 C2。同时, 保持开关 M2 和 M3 关断而开关 M1 和 M4 同步地以一固定频率和固定占空比开始工作, 其工作波形如图 7(a) 所示。

[0057] 当 M1 和 M4 导通时, 如图 7(b) 所示, 电流从电池组正端流向开关 M1 在流经电感 L1, 然后流经开关 M4, 最后流回电池组负端。如图 7(a) 所示, 电感电流  $i_{L1}$  增大, 有:

$\frac{di_{L1}}{D \cdot T} = \frac{V_{PACK}}{L1}$ 。电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  等于电池组上的电压  $V_{PACK}$ , 即  $V_{L1} = V_{PACK}$ 。

[0058] 当 M1 和 M4 关断时, 如图 7(c) 所示, 电流从电感流经二极管 D(M2), 然后流经电池单元 C2, 再流经二极管 D(M3), 如图 7(a) 所示, 电感电流  $i_{L1}$  减小, 有:  $\frac{di_{L1}}{(1-D) \cdot T} = \frac{V_{C2}}{L1}$ 。

电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  和电池组上的电压单元 C2 的电压大小相等, 方向相反,  $V_{L1} = -V_{C2}$ 。

[0059] 可见, 通过利用电池组将电感储能, 然后再将电感存储的能量释放到电池单元 C2, 使得电池组的能量转移至电池单元 C2。

[0060] 由上述分析可见, 根据本发明实施例的均衡电路可以在电池组和任一电池单元之间转移能量。和传统技术中的有源均衡电路相比, 本发明提出的技术方案更灵活, 效率也更高。

[0061] 上述实施例描述了电池组包括 4 节电池单元, 且第 2 节电池单元的电压高于或低于其它电池单元的情形, 以详细说明本发明提出的均衡电路的工作原理。对于电池组中任意一节电池单元的电压高于或低于其它电池单元的情形, 均衡电路 50 亦以相同方式对其进行调节。另外, 本技术领域的普通技术人员应当理解, 电池单元的数目不限于上述实施

例中的具体示例,而是如图 8 所示,在其它实施例中,电池组可以包括  $N$  个电池单元,其中,  $N \geq 2$ 。此时,均衡电路包括  $2N$  个开关  $S(1) \sim S(2N)$ 、4 个开关  $M(1) \sim M(4)$  以及与  $M(1) \sim M(4)$  对应并联的二极管  $D(M1) \sim D(M4)$ ,还包括一个电感器  $L1$ 。

[0062] 从图 8 可以看出,根据本发明实施例的均衡电路包括均衡控制电路以及电池单元选择电路,且均衡控制电路包括多个开关以及与该开关分别对应并联的二极管,电池单元选择电路亦包括多个开关。当电池单元数目较大时,根据本发明实施例的均衡电路结构变得较复杂。另外,利用本发明实施例的均衡电路可以将能量在电池单元与电池组之间进行转移,然而无法将能量直接在电池单元之间进行转移。为了实现能量直接在电池单元之间进行转移,使均衡电路的效率将更高,本发明提出了如下改进的均衡电路。

[0063] 图 9 示出依据本发明一个实施例的改进的均衡电路 90。如图 9 所示,均衡电路 90 包括 6 个串联的电池单元  $C1 \sim C6$ 、14 个开关支路  $S1 \sim S14$  以及一个电感  $L1$ 。其中,支路  $S1 \sim S6$  的第一端分别耦接至电池单元  $C1 \sim C6$  的正极,支路  $S7$  的第一端耦接至电池单元  $C6$  的负极,支路  $S1 \sim S7$  的第二端耦接在一起并连接至电感  $L1$  的第一端。支路  $S9 \sim S14$  的第二端分别耦接至电池单元  $C1 \sim C6$  的负极,支路  $S8$  的第二端耦接至电池单元  $C1$  的正极,支路  $S8 \sim S14$  的第一端耦接在一起并连接至电感  $L1$  的第二端。

[0064] 图 10 示出依据本发明一个实施例的用金属氧化物半导体场效应晶体管 (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET) 和二极管的串联支路以实现图 9 所示开关支路的一个具体实施电路 100。如图 100 所示,二极管  $D1$  的阳极耦接至 MOSFET  $M1$  的源极,而  $D1$  的阴极对应于图 9 所示开关  $S1$  的第二端且 MOSFET  $M1$  的漏极对应于开关  $S1$  的第一端。类似地,开关支路  $S2, \dots, S7$  分别由二极管  $D2$  和 MOSFET  $M2$  组成的支路,  $\dots$ , 二极管  $D7$  和 MOSFET  $M7$  组成的支路实现,此处不再累述。二极管  $D8$  的阴极耦接至 MOSFET  $M8$  的漏极,而  $D8$  的阳极对应于图 9 所示开关  $S8$  的第二端且 MOSFET  $M1$  的源极对应于开关  $S8$  的第一端。类似地,开关支路  $S9, \dots, S14$  分别由二极管  $D9$  和 MOSFET  $M9$  组成的支路,  $\dots$ , 二极管  $D14$  和 MOSFET  $M14$  组成的支路实现,此处不再累述

[0065] 图 11 示出依据本发明一个实施例的改进的均衡电路 110。如图 11 所示,和图 10 所示的电路相比,均衡电路 110 去掉二极管  $D1$  及  $D14$ ,同时还去掉 MOSFET  $M7$  和  $M8$ 。均衡电路 110 同样能够实现图 10 所示电路 100 的功能,且用的器件更少,可以有效的节约成本,减小电路尺寸并提高电路效率。本领域技术人员可以理解,均衡电路 90、100 和 110 的工作原理实质上是相同的,在此将以图 11 所示均衡电路 110 为例,具体介绍根据本发明这种实施例的均衡电路的工作原理。

[0066] 均衡电路 110 能够实现四种均衡模式,包括将能量由电池组转移至电池单元;将能量由电池单元转移至电池组;将能量在电池单元之间转移;以及补充充电。

[0067] 一个实施例以电池单元  $C3$  的电压低于其它电池单元电压的情形为例,对均衡电路 110 将能量由电池组转移至电池单元的工作过程作详细介绍。如图 12(a) 所示,保持 MOSFET  $M4$  和  $M10$  导通,而 MOSFET  $M1$  和  $M14$  同步地以一固定频率和一固定占空比导通和关断,而其余 MOSFET 保持断开。当 MOSFET  $M1$  和  $M14$  导通时,均衡电路 110 的工作电路如图 12(b) 所示。此时,电感  $L1$  上的电流  $i_{L1}$  开始增加,其电流从电池组的正极流经  $M1$ ,然后再流经电感  $L1$ ,然后再流经  $M14$ ,最后流回电池组的负极。电感  $L1$  上的电压  $V_{L1}$  等于电池组的电压  $V_{PACK}$ ,即  $V_{L1} = V_{PACK}$ 。当 MOSFET  $M1$  和  $M14$  关断时,均衡电路 110 的工作电路如

图 12(c) 所示。此时,电感 L1 上的电流  $i_{L1}$  开始减小。电感 L1 中的电流从电流感流经二极管 D10 后流经电池单元 C3,然后再流经二极管 D4,最后流回电感 L1。电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  和电池单元 C3 的电压  $V_{C3}$  大小相等,方向相反,即  $V_{L1} = -V_{C3}$ 。可见,经过上述过程,电池组先给电感储能,然后电感再将能量释放至电池单元 C3,从而实现能量由电池组到电池单元 C3 的转移。

[0068] 一个实施例以电池单元 C2 的电压高于其它电池单元电压的情形为例,对均衡电路 110 将能量由电池单元转移至电池组的工作过程作详细介绍。在该实施例中,MOSFET M2 和 M10 同步地以一固定频率和一固定占空比导通和关断,而其它 MOSFET 保持断开。当 MOSFET M2 和 M10 导通时,均衡电路 110 的工作电路如图 13(a) 所示。此时,电感 L1 上的电流  $i_{L1}$  开始增加。电流由电池单元 C2 的正极流经开关 M2 和二极管 D2,然后再流经电感 L1,然后再流经二极管 D10 和 MOSFET M10,最后流回电池单元 C2 的负极。电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  等于电池单元 C2 的电压  $V_{C2}$ ,即  $V_{L1} = V_{C2}$ 。当 MOSFET M2 和 M10 关断时,均衡电路 110 的工作电路如图 13(b) 所示。此时,电感 L1 上的电流  $i_{L1}$  开始减小,电感 L1 中的电流  $i_{L1}$  流经二极管 D8 然后流经电池组,最后经二极管 D7 流回电感 L1。电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  和电池组的电压  $V_{PACK}$  大小相等,方向相反,即  $V_{L1} = -V_{PACK}$ 。可见,经过上述过程,电池单元 C2 先给电感充电,然后电感将能量再释放至电池组,实现了能量由电池单元转移到电池组的目的。

[0069] 一个实施例以电池单元 C2 的电压高于其它电池单元电压而电池单元 C5 的电压低于其它电池单元电压的情形为例,对均衡电路 110 将能量直接由一个电池单元转移至另一电池单元的工作过程作详细介绍。如图 14(a) 所示,MOSFET M2 和 M10 导通,以选择电池单元 C2。此时,电感 L1 上的电流  $i_{L1}$  开始增加。电流由电池单元 C2 的正极流经 MOSFET M2 和二极管 D2,然后再流经电感 L1,然后再流经二极管 D10 和 MOSFET M10,最后流回电池单元 C2 的负极。电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  等于电池单元 C2 的电压  $V_{C2}$ ,即  $V_{L1} = V_{C2}$ 。接下来,如图 14(b) 所示,MOSFET M2 和 M10 关断,MOSFET M6 和 M12 导通。此时,电感 L1 上的电流  $i_{L1}$  开始减小。电流由电感 L1 流经二极管 D12 和 MOSFET M12,然后流经电池单元 C5,然后再流经 MOSFET M6 和二极管 D6,最后流回电感 L1。电感 L1 上的电压  $V_{L1}$  和电池单元 C5 的电压  $V_{C5}$  的大小相等,方向相反,即  $V_{L1} = -V_{C5}$ 。可见,经过上述过程,电池单元 C2 先对电感进行充电,然后电感再将能量释放至电池单元 C5,从而实现能量由一个电池单元转移到另一电池单元的目的。

[0070] 在一些实际应用中,若在充电阶段可使各电池单元的能量达到均衡,则无需在后续过程中再对电池单元进行均衡调节。为使各个电池单元在充电阶段就已获得均衡,可将各个电池单元分别充电至相同的充满电压,即进行补充充电。利用图 10 所示的改进的均衡电路 100 可实现补充充电。如图 15 所示,在图 10 所示的均衡电路 100 中,将电源 VC 和 MOSFET MC 串联后再与电感 L1 并联,便得到补充充电电路 150。其中,VC 为补充充电电路 150 的电源;MOSFET MC 用于通过电源 VC 对每个电池单元进行充电;MOSFET 与二极管的串联支路用于选择需要进行补充充电的电池单元。

[0071] 图 16 示出根据本发明一个实施例的改进的补充充电电路 160。和图 15 所示的补充充电电路 150 相比,图 16 所示的改进的补充充电电路 160 去掉了 M1、M7、M8 和 M14,还去掉了二极管 D1 和 D14。图 16 所示的改进的补充充电电路 160 同样能够实现图 15 所示补充充

电电路的功能,且用的元器件更少,因而节约了成本,减小了电路尺寸且提高了电路工作效率。

[0072] 本领域技术人员可以理解,图 15 和 16 所示电路的工作原理实质上是相同的,在此将以图 16 所示电路 160 为例,具体介绍根据本发明这种实施例的补充充电电路的工作原理。

[0073] 以电池单元 C1 未达到充电充满电压为例,下面将详细描述补充充电电路 160 的补充充电过程。此时, M2 保持导通以选择电池单元 C1, 而 MC 以一固定频率和固定占空比导通和关断, 而其余 MOSFET 保持断开。当 MC 导通时, 补充充电电路 160 的工作原理如图 17(a) 所示。此时, 电流从电源 VC 流经电感 L1, 再流经 MOSFET MC, 最后回到电源 VC, 从而对电感 L1 进行充电。然后, MOSFET MC 关断。此时, 电流从电感 L1 流经二极管 D8, 再流经电池单元 C1, 然后再流经 MOSFET M2 以及二极管 D2, 最后流回电感 L1, 从而电感 L1 将能量释放至电池单元 C1。可见, 经过上述过程, 先对电感 L1 进行储能, 然后再将电感 L1 中的能量释放至电池单元 C1, 从而实现了对于电池单元 C1 补充充电的目的。

[0074] 同样, 可以对电池组中其它未达到充满电压的电池单元进行相同的补充充电, 以使所有电池单元均达到充满电压, 从而实现了在充电阶段使电池组达到均衡的目的。

[0075] 综上所述, 在上述实施例中, 改进后的均衡电路 90 可以采用 MOSFET 和二极管进行均衡调节, 采用的器件更少, 灵活性更高, 而且可实现多种均衡调节模式。

[0076] 在一些实际应用中, 需要将大量的电池单元串联在一起使用。例如, 电池单元的数量可以多至 100 个。而大量的电池单元串联, 将会使均衡电路的使用出现困难。首先, 由于在均衡电路中仅使用一个电感用于均衡调节, 将会使均衡调节的速度降低。另外, 采用的 MOSFET 和二极管需具有较高的额定电压, 这将会使得成本增加。例如, 假设均衡电路中有 24 个电池单元串联, 每个电池单元的电压为 3.8 伏特, 则最大的额定电压值为  $(24-1)*3.8 = 87.4V$ 。

[0077] 由于存在上述问题, 本发明对均衡电路提出了一种改进的技术方案, 将均衡电路的电池组分成若干个不同的分电池组, 并通过堆叠连接的方式将各个分电池组连接起来。

[0078] 图 18 示出了依据本发明一个实施例的具有堆叠连接电路的均衡电路 180。如图 18 所示, 该均衡电路 180 包括图 3 个图 10 所示分电池组 P1、P2 和 P3, MOSFET M(A1) ~ M(A4) 以及二极管 D(A1) ~ D(A4)。其中, M(A1) 的源极耦接至二极管 D1-(N) 的阳极, 其漏极耦接至电池单元 C(N) 的负极; M(A2) 的源极耦接至电池单元 C(N+1) 的正极, 其漏极耦接至二极管 D2-(N+1) 的阴极; M(A3) 的源极耦接至二极管 D2-(N) 的阳极, 其漏极耦接至电池单元 C(2N) 的负极; M(A4) 的源极耦接至电池单元 C(2N+1) 的正极, 其漏极耦接至二极管 D3-(N+1) 的阴极; 二极管 D(A1) 的阳极耦接至分电池组 P2 的电感 L2 的第二端子, 其阴极耦接至分电池组 P1 的电池组的正极, 用于将能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P1; 二极管 D(A2) 的阳极耦接至分电池组 P2 的电池组的负极, 其阴极耦接至电感 L1 的第一端子, 用于将能量由分电池组 P1 转移至分电池组 P2; 二极管 D(A3) 的阳极耦接至分电池组 P3 的电池组的负极, 其阴极耦接至电感 L2 的第一端子, 用于将能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P3; 二极管 D(A4) 的阳极耦接至分电池组 3 的电感 L3 的第二端子, 其阴极耦接至分电池组 P2 的电池组的正极, 用于将能量由分电池组 P3 转移至分电池组 P2。

[0079] 图 19 示出了依据本发明一个实施例的对图 18 改进了的均衡电路 190。和图 18 所

示的均衡电路 180 相比,图 19 所示的均衡电路去掉了 MOSFET M1-(N+1)、M3-(N) 以及二极管 D1-1、D1-(2N)、D2-1、D2-(2N)、D3-1 和 D3-(2N)。改进的均衡电路 190 同样能够实现均衡电路 180 的功能,且使用的器件更少,因而电路尺寸更小,成本更低,效率更高。本领域技术人员可以理解,均衡电路 180 和 190 的工作原理实质上是相同的,在此将以图 19 所示均衡电路 190 为例,具体介绍根据本发明这种实施例的均衡电路的工作原理。

[0080] 下面将以分电池组 P2 中的能量转移至分电池组 P1 和分电池组 P3 为例对该均衡电路 190 的工作原理进行详细说明。

[0081] 当分电池组 P2 将能量转移至分电池组 P1 时, M2-1 保持导通,而 M2-(2N) 以一固定频率和固定占空比导通和关断,而其余 MOSFET 保持断开。如图 20(a) 所示,当 M2-(2N) 导通时,电流由分电池组 P2 的正极流经 MOSFET M2-1,然后再流经电感 L2,然后再流经 MOSFET M2-2(N),最后流回分电池组 P2 的电池组的负极,从而对电感 L2 储能。如图 20(b) 所示,当 M2-(2N) 关断时,电流由电感 L2 流经二极管 D(A1),然后再流经分电池组 P1 的电池组,然后再流经 MOSFET M2-1,最后流回电感 L2,从而能量由电感 L2 释放至分电池组 P1 的电池组。可见,经过上述过程,能量先存储于电感 L2,然后再由电感 L2 释放至分电池组 P1 的电池组,实现了能量由分电池组 P2 至分电池组 P1 的转移。

[0082] 当分电池组 P2 将能量转移至分电池组 P3 时, M2-(2N) 保持导通,而 M2-1 以一固定频率和固定占空比导通和关断,而其余 MOSFET 保持断开。如图 20(c) 所示,当 M2-1 导通时,电流由分电池组 P2 的电池组的正极流经 MOSFET M2-1,然后再流经电感 L2,然后再流经 MOSFET M2-(2N),最后流回分电池组 P2 的电池组的负极,从而对电感 L2 储能。如图 20(d) 所示,当 M2-1 关断时,电流由电感 L2 流经 MOSFET M2-(2N),然后再流经分电池组 P3 的电池组,然后再流经二极管 D(A3),最后流回电感 L2,从而能量由电感 L2 释放至分电池组 P3 的电池组。可见,经过上述过程,能量先存储于电感 L2,然后再由电感 L2 释放至分电池组 P3 的电池组,实现了能量由分电池组 P2 至分电池组 P3 的转移。

[0083] 上述改进的均衡电路 190 虽然解决了大量电池单元串联时存在的问题,但在均衡电路 190 中,对 MOSFET 的额定电压要求提高。例如,当能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P1 时,二极管 D(A1) 导通,图 20(b) 中 B 点的电压等于分电池组 1 正端电压 VPACK1+。B 点与二极管 D2-(N+1), D2-(N+2), …… , D2-(2N-1) 的阳极相连, VPACK1+ 高于二极管 D2-(N+1), D2-(N+2), …… , D2-(2N-1) 的阴极电压。故此时,二极管 D2-(N+1), D2-(N+2), …… , D2-(2N-1) 不承受电压应力, MOSFET M(A2), M2-(N+1), M2-(N+2), …… , M2-(2N) 则承受了较大的电压应力。同理,当能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P3 时,二极管 D(A3) 导通,图 19(d) 中 A 点的电压等于分电池 3 的负端电压 VPACK3-。A 点与二极管 D2-2, D2-3, …… , D2-(N) 的阴极相连, VPACK3- 低于二极管 D2-2, D2-3, …… , D2-(N) 的阳极电压。故此时,二极管 D2-2, D2-3, …… , D2-(N) 不承受电压应力, MOSFET M2-1, M2-2, …… , M2-(N), M(A3) 承受了较大的电压应力。因此,要求 MOSFET 的额定电压较高。

[0084] 图 21 示出了依据本发明一个实施例的改进的具有堆叠连接电路的均衡电路 210。在均衡电路 210 中,采用的二极管的额定电压较高,而 MOSFET 的额定电压较低。由于具有相同额定电压的二极管比 MOSFET 的价格更低,因此,均衡电路 210 节约了电路成本。同均衡电路 190 相比,均衡电路 210 亦包括 3 个分电池组 P1 ~ P3 以及 4 个二极管 D(A1) ~ D(A4),

以及还包括 6 个 MOSFET M(A1) ~ M(A6)。其中, MOSFET M(A1) 和 M(A6) 用于释放分电池组 P1 的能量, M(A3) 和 M(A2) 用于释放分电池组 P2 的能量, M(A5) 和 M(A4) 用于释放分电池组 P3 的能量。二极管 D(A1) 用于将能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P1, D(A2) 用于将能量由分电池组 P3 转移至分电池组 P2, D(A3) 用于将能量由分电池组 P1 转移至分电池组 P2, D(A4) 用于将能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P3。

[0085] 当分电池组 P2 将能量转移至分电池组 P1 时, M(A2) 保持导通, 而 M(A3) 以一固定频率和固定占空比导通和关断, 而其余 MOSFET 保持断开。如图 22(a) 所示, 当 M(A3) 导通时, 电流从分电池组 P2 的电池组正端流经 MOSFET M(A2), 再流经分电池组 P2 的电感 L2, 然后再流经 MOSFET M(A3), 最后回到电池组负端, 从而对电感 L2 储能。当 M(A3) 关断时, 如图 22(b) 所示, 电流从电感 L2 流经二极管 D(A1), 再流经分电池组 P1 的电池组, 然后再流经 MOSFET M(A2), 最后回到电感 L2, 从而电感 L2 将能量释放至分电池组 P1。

[0086] 当分电池组 P2 将能量转移至分电池组 P3 时, M(A3) 导通, 而 M(A2) 以一固定频率和固定占空比导通和关断, 而其余 MOSFET 保持断开。如图 22(c) 所示, 当 M(A2) 导通时, 电流从分电池组 P2 的电池组正端流经 MOSFET M(A2), 再流经电感 L2, 然后再流经 MOSFET M(A3), 最后回到电池组负端, 从而对电感 L2 储能。当 M(A2) 关断时, 如图 22(d) 所示, 电流从电感 L2 流经 MOSFET M(A3), 再流经分电池组 P3 的电池组, 然后再流经二极管 D(A4), 最后回到电感 L2, 从而电感 L2 将能量释放至分电池组 P3。

[0087] 当能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P1, 则图 22(b) 中 A 点的电压等于分电池组 P1 正端的电压 VPACK1+, 而 A 点与二极管 D2-1, D2-2, . . . . ., D2-(N) 的阴极相连, VPACK1+ 高于二极管 D2-1, D2-2, . . . . ., D2-(N) 的阳极电压, 此时二极管 D2-1, D2-2, . . . . ., D2-(N) 会承受电压应力。而当能量由分电池组 P2 转移至分电池组 P3, 则图 22(d) 中 B 点的电压等于分电池组 P3 负端电压 VPACK3-, 而 B 点与二极管 D2-(N+2), D2-(N+3), . . . . ., D2-(2N) 的阳极相连, VPACK3- 低于二极管 D2-(N+2), D2-(N+3), . . . . ., D2-(2N) 阴极电压, 此时二极管 D2-(N+2), D2-(N+3), . . . . ., D2-(2N) 承受电压应力。可见, 在均衡电路 210 中, 二极管承受的电压应力较大。而 MOSFET 中除 MOSFET M(A4)、M(A3)、M(A2) 以及 M(A5) 外, 其它 MOSFET 的额定电压值都可以较低。

[0088] 由以上实施例可见, 采用改进的均衡电路, 对电池组的均衡调节可分为两步进行。首先, 对每个分电池组中的电池单元进行均衡调节; 然后, 对每个分电池组进行均衡调节。利用上述均衡调节电路, 经过均衡调节的电池单元具有更高的效率而且均衡速度也更快。另外, 在具有大量电池单元的电池组的应用中, 该均衡电路具有更大的灵活性。

[0089] 以上描述了根据本发明实施例的电池均衡电路以及电池堆叠均衡电路。下面参照图 23, 其示出了一种针对包括多个串联电池单元的电池组的电池均衡调节方法 230, 包括: 在步骤 S232, 选择多个电池单元中需要均衡调节的电池单元; 在步骤 S234, 利用电感存储均衡调节所需的能量; 以及在步骤 S236, 释放在电感中存储的能量, 从而在所选电池单元与电池组或其他电池单元之间转移均衡调节所需的能量。

[0090] 根据本发明实施例, 通过将多个电池单元两侧布置的多个开关支路中与所述电池单元对应的开关支路导通, 并使其他开关支路关断, 来选择所述电池单元。

[0091] 根据本发明实施例, 通过与电感的两端电耦接的多个开关的导通和关断, 将来自所选电池单元或电池组的需要转移的能量存储到电感中。此外, 通过与电感的两端电耦接

的多个开关的导通和关断,将电感中存储的能量存转移到电池组或另一电池单元,或者转移到所选电池单元。

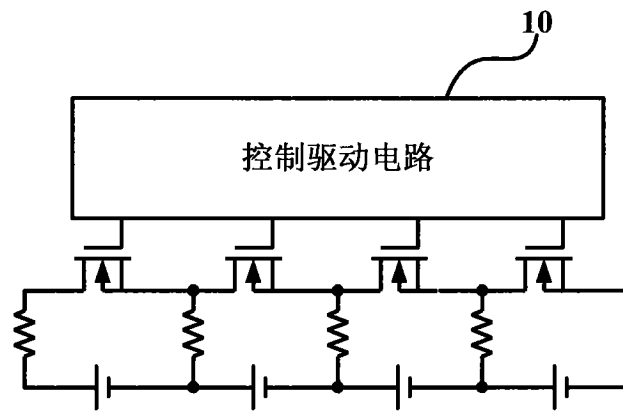


图 1

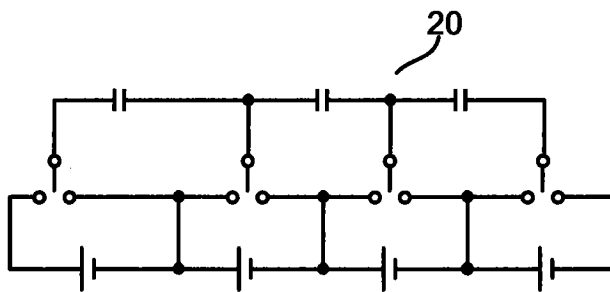


图 2

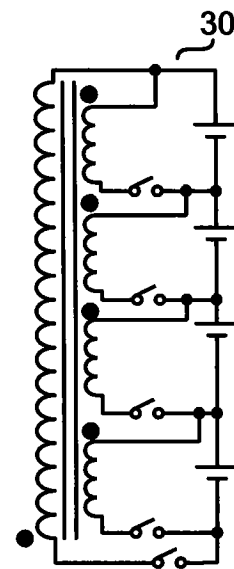


图 3



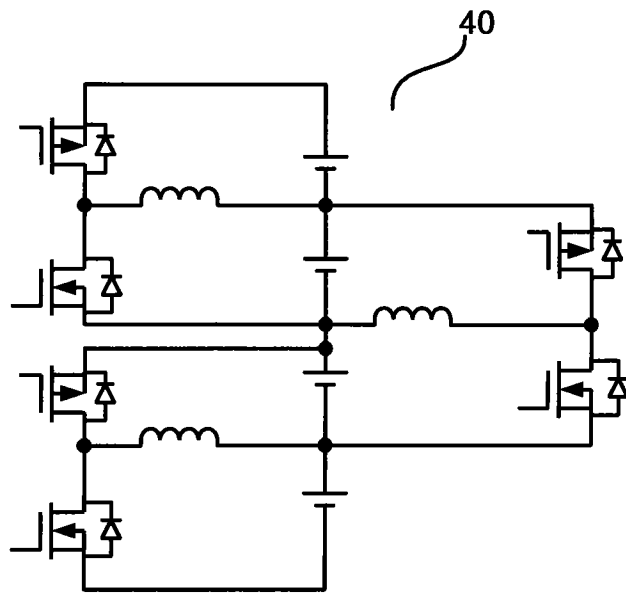


图 4

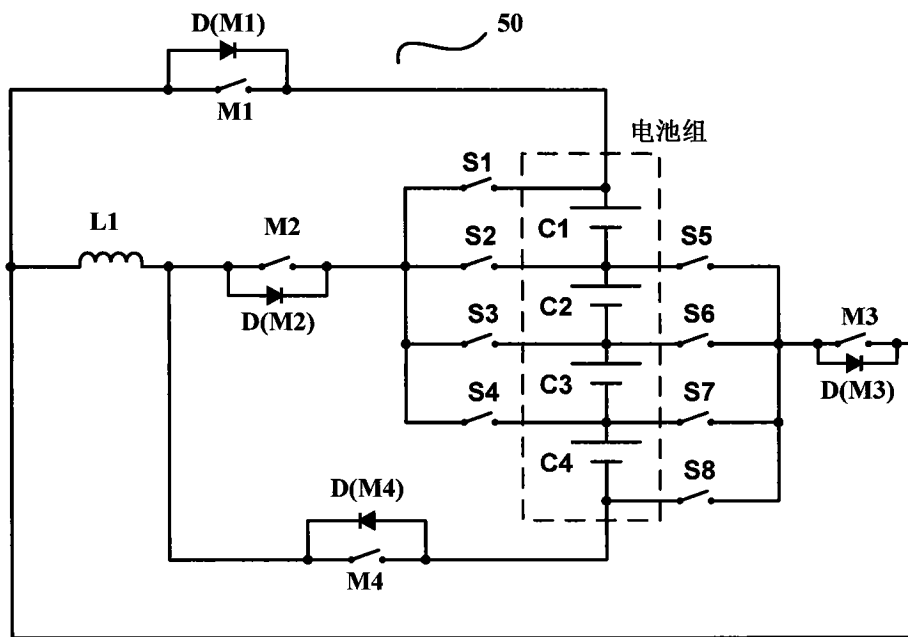


图 5

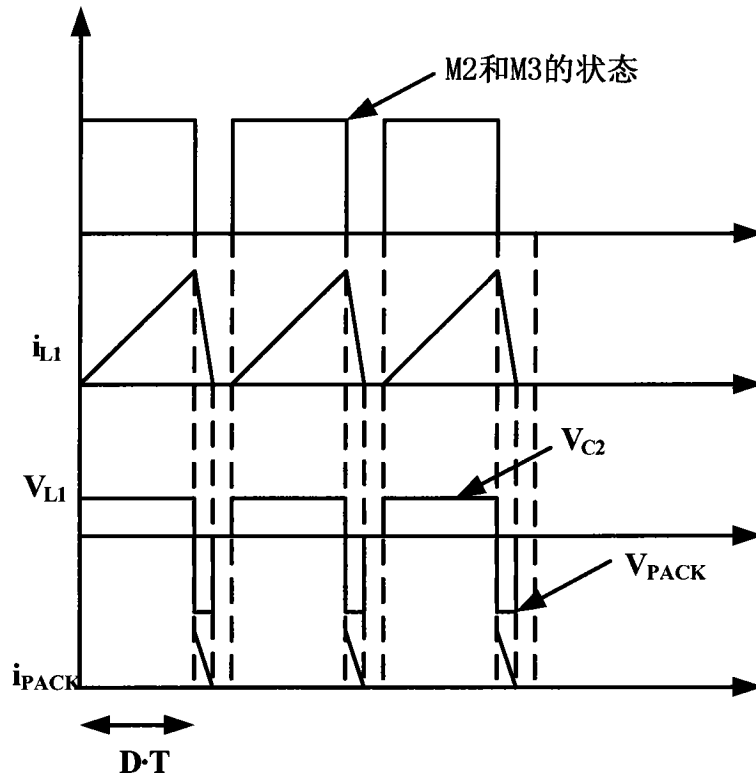


图 6 (a)

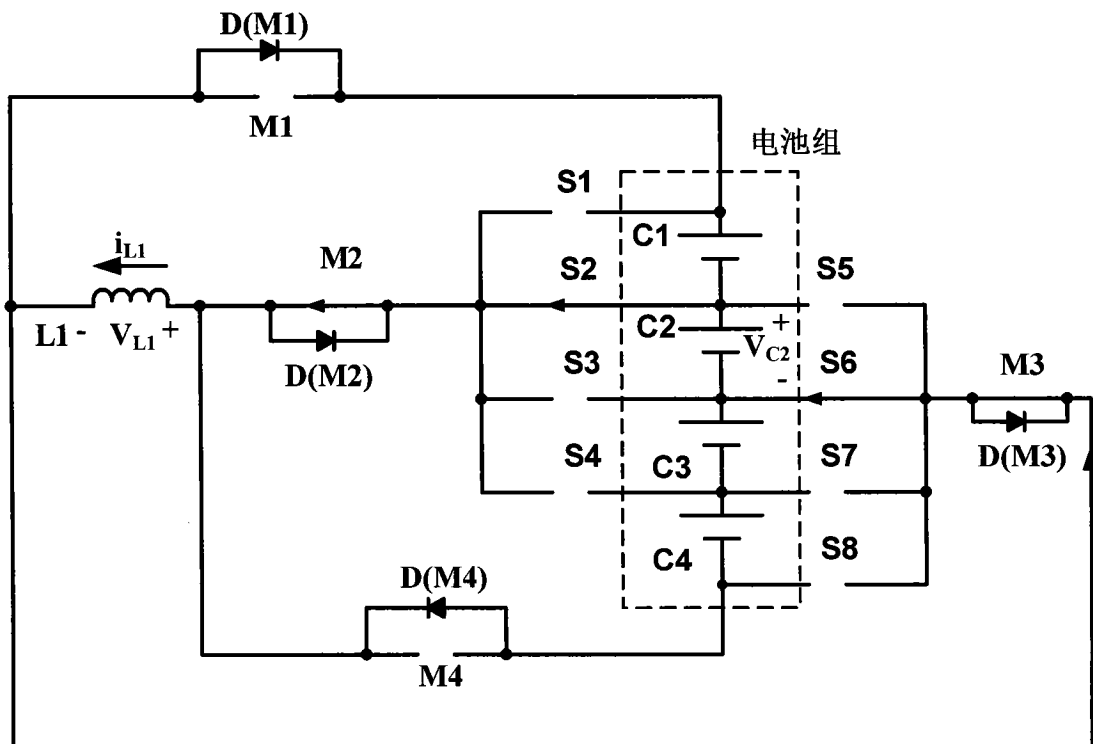


图 6 (b)

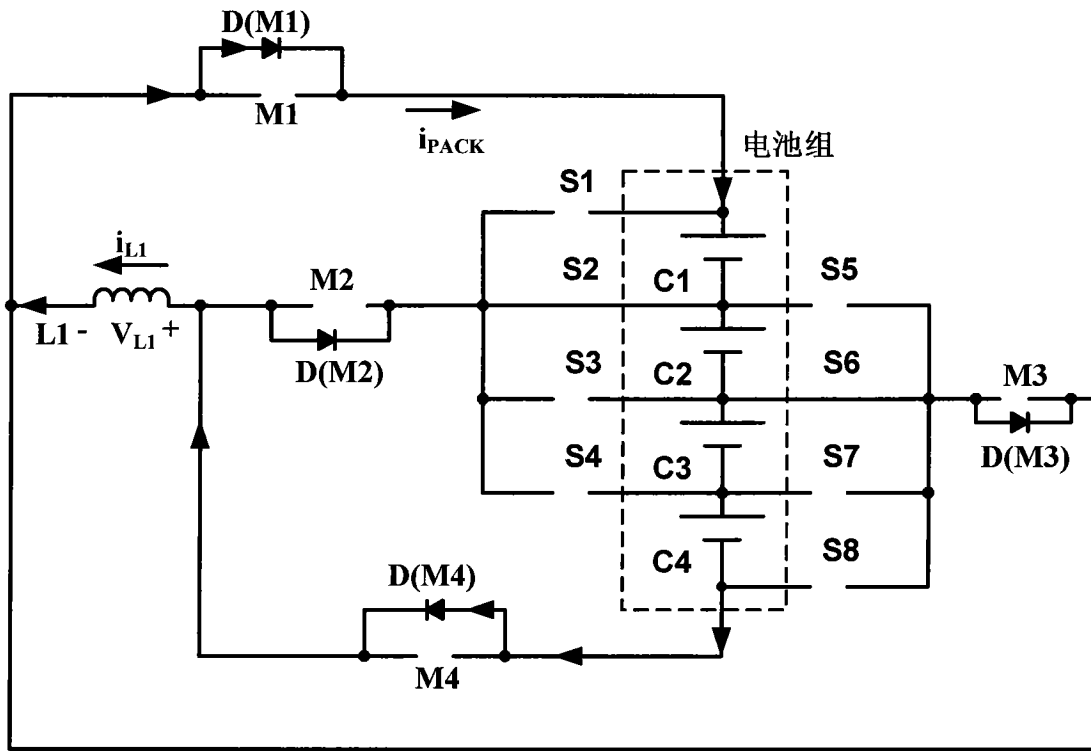


图 6(c)

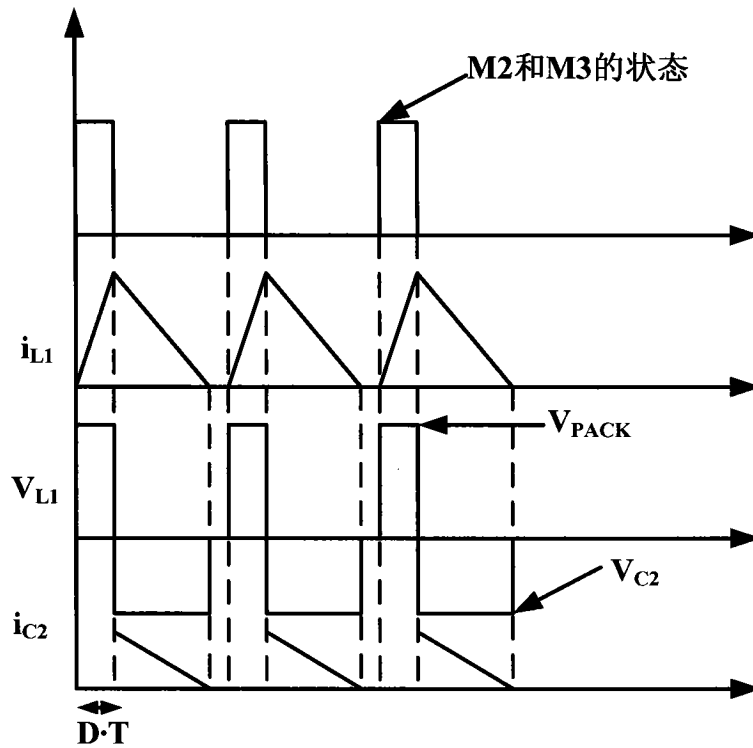


图 7(a)

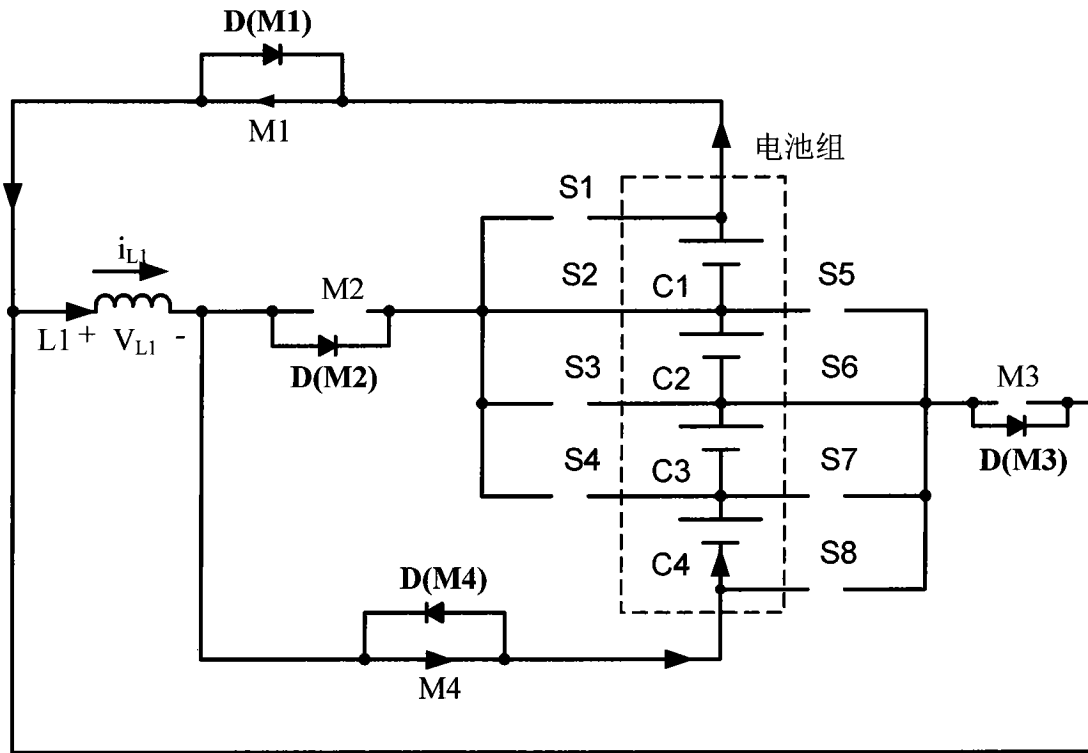


图 7(b)

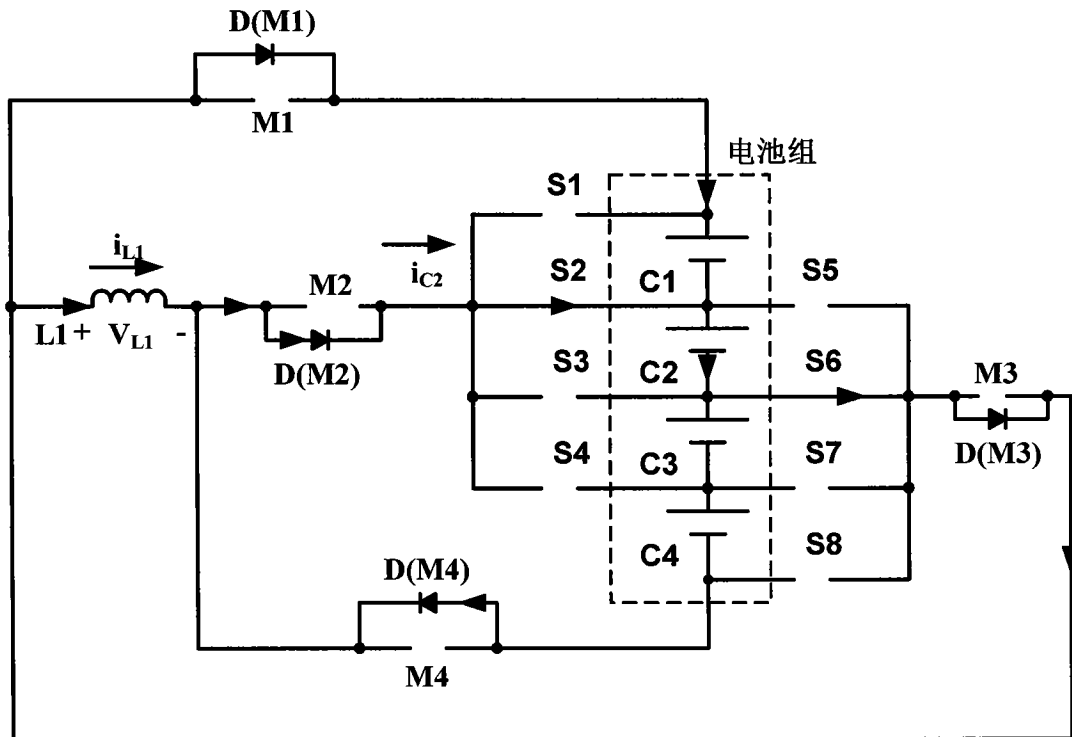


图 7(c)

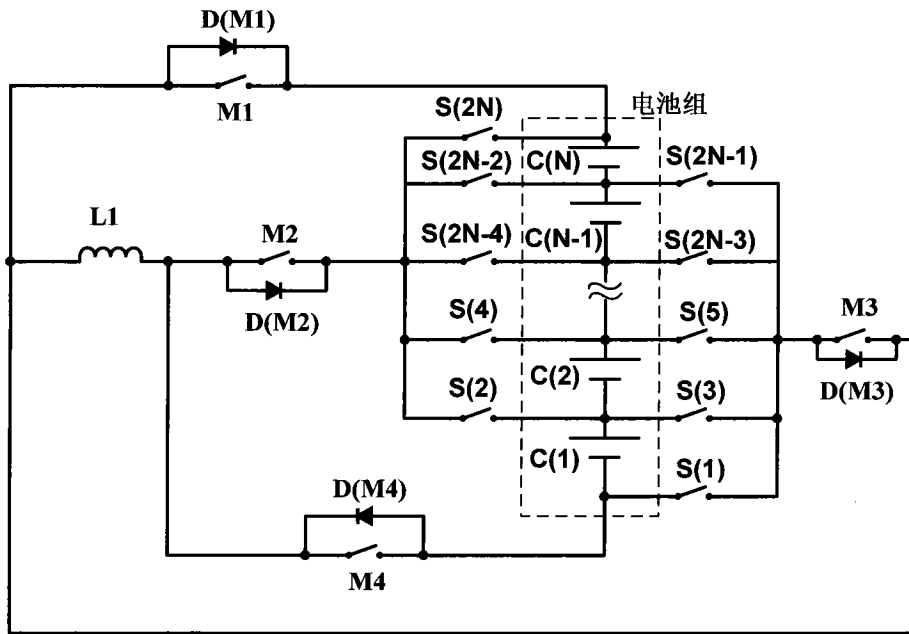


图 8

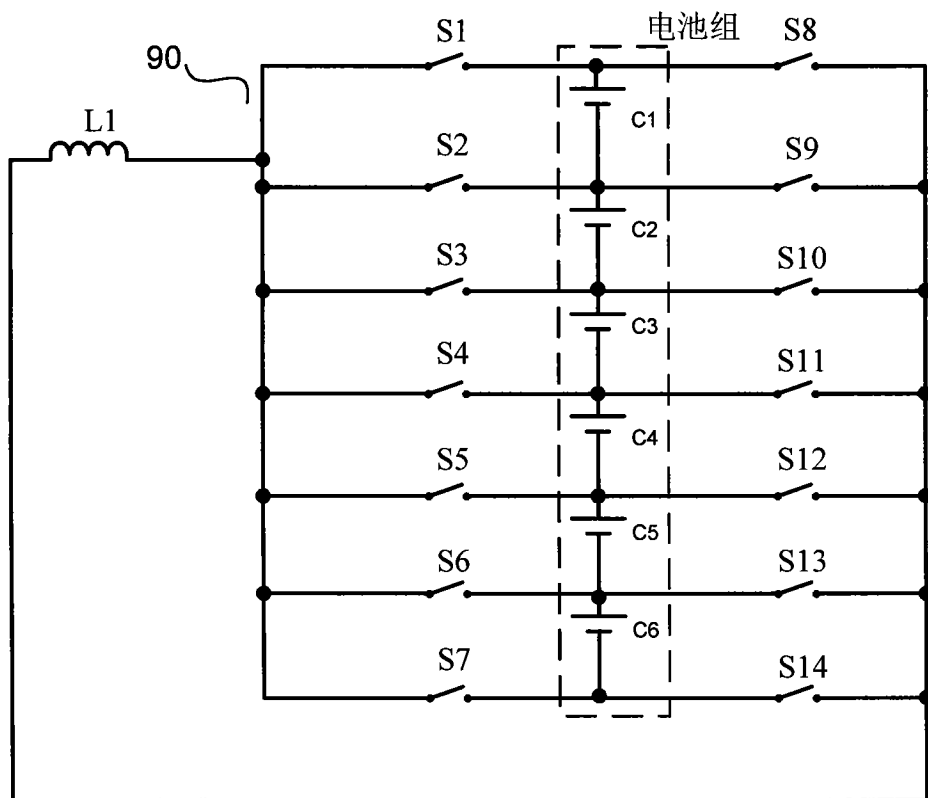


图 9

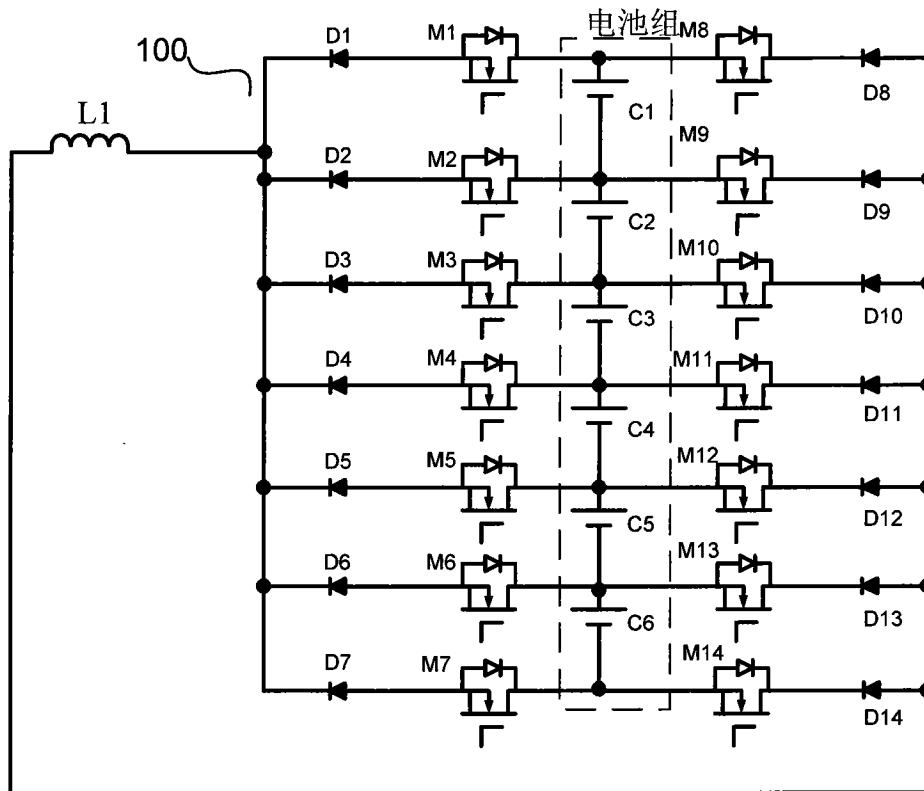


图 10

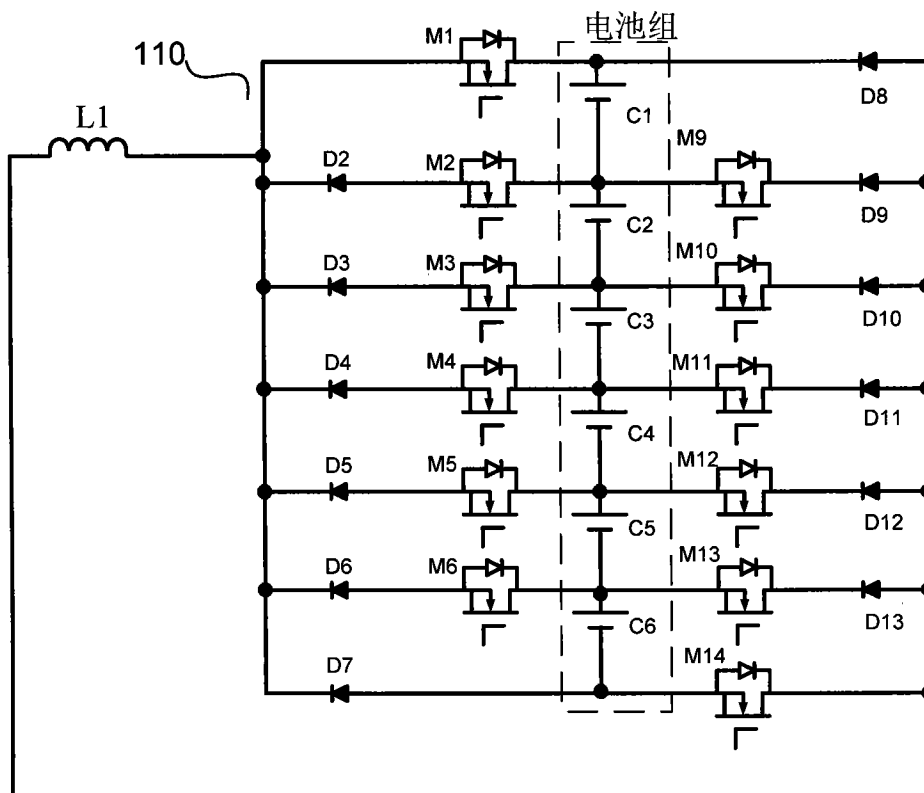


图 11

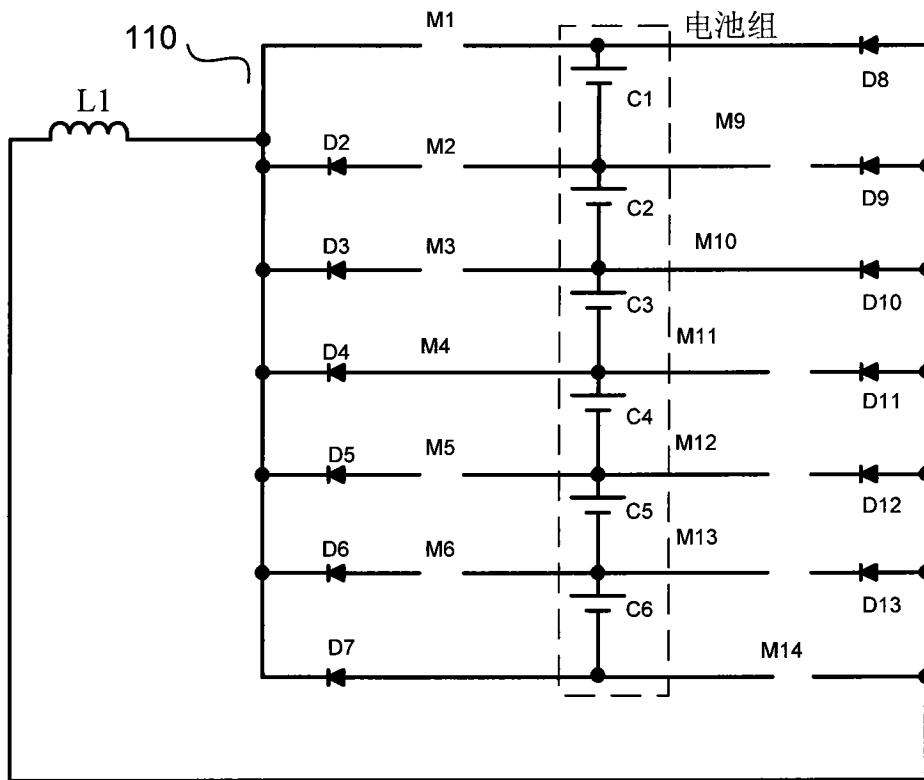


图 12(a)

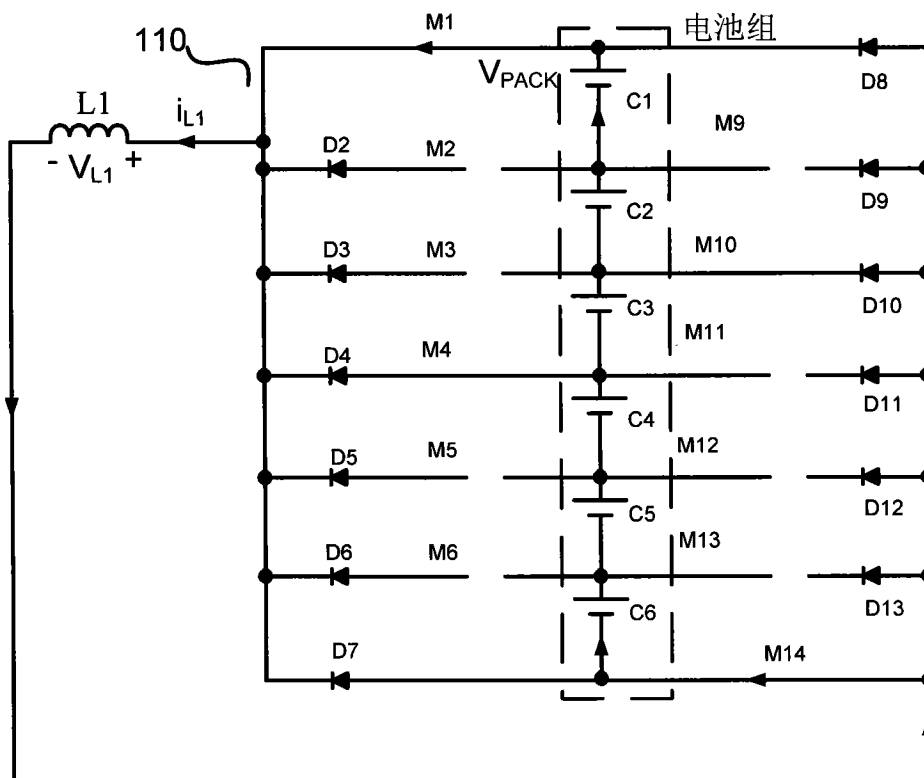


图 12(b)

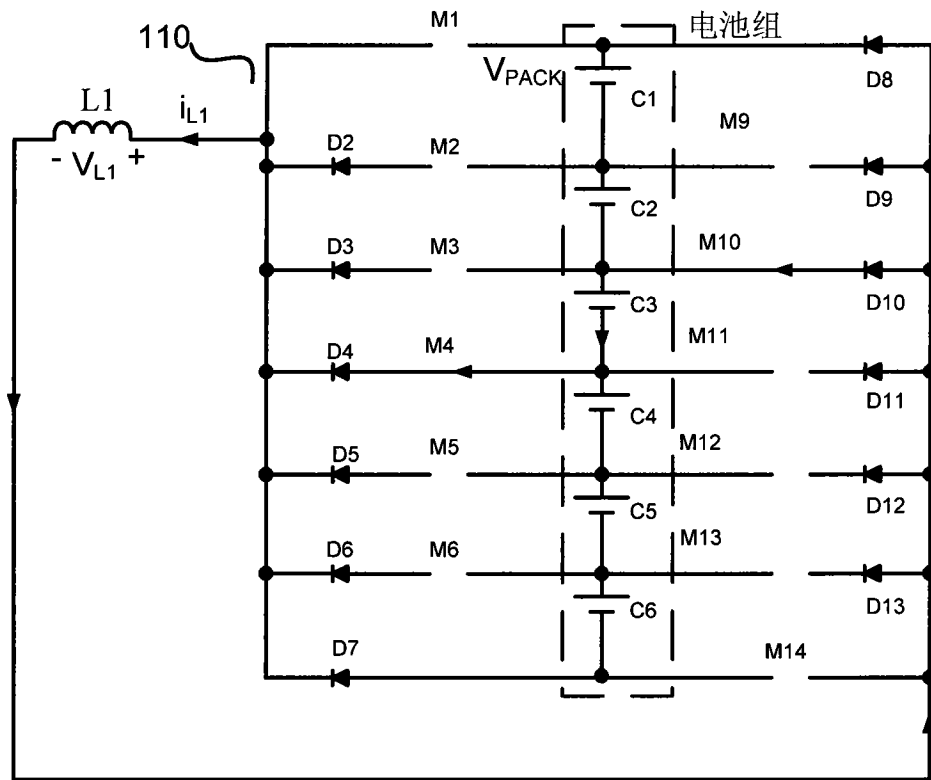


图 12(c)

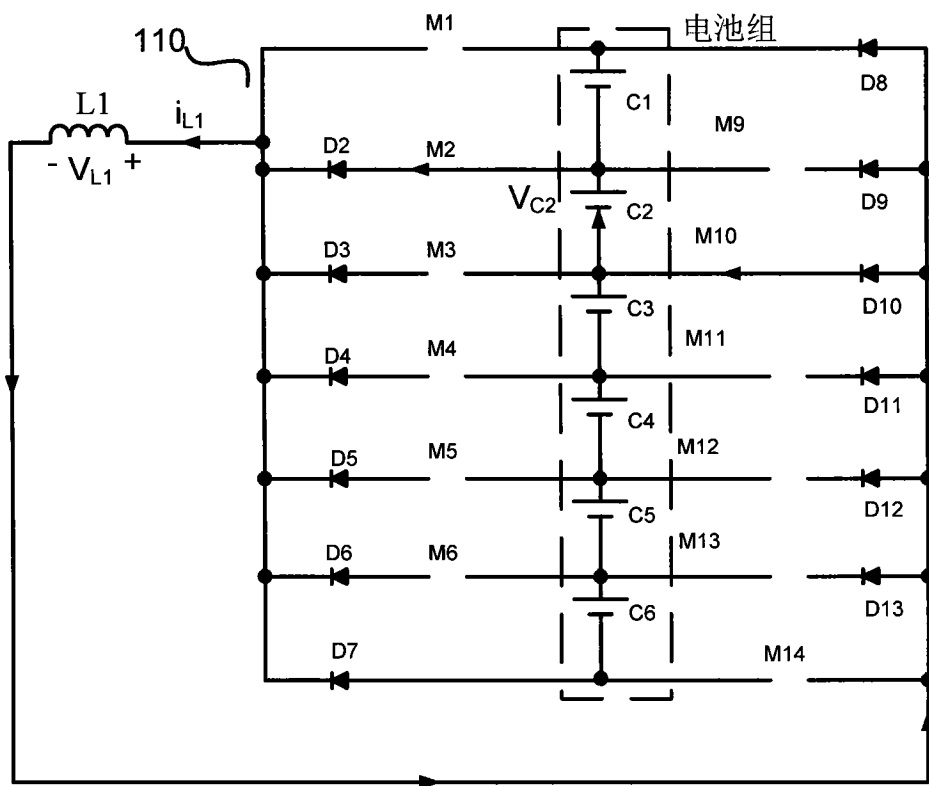


图 13(a)



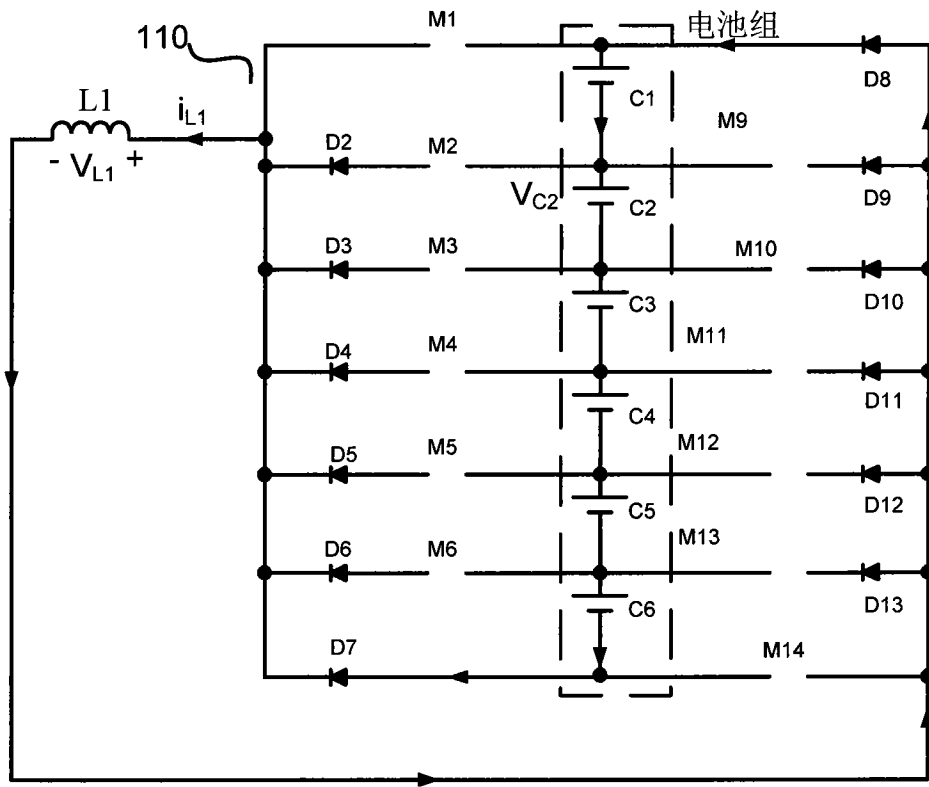


图 13(b)

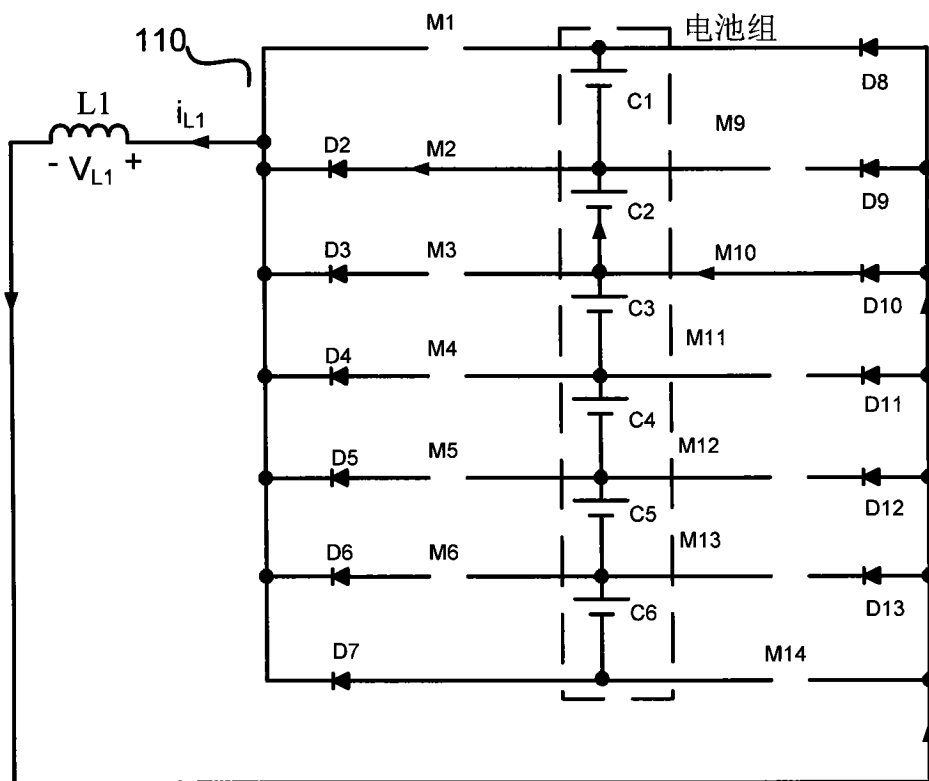


图 14(a)

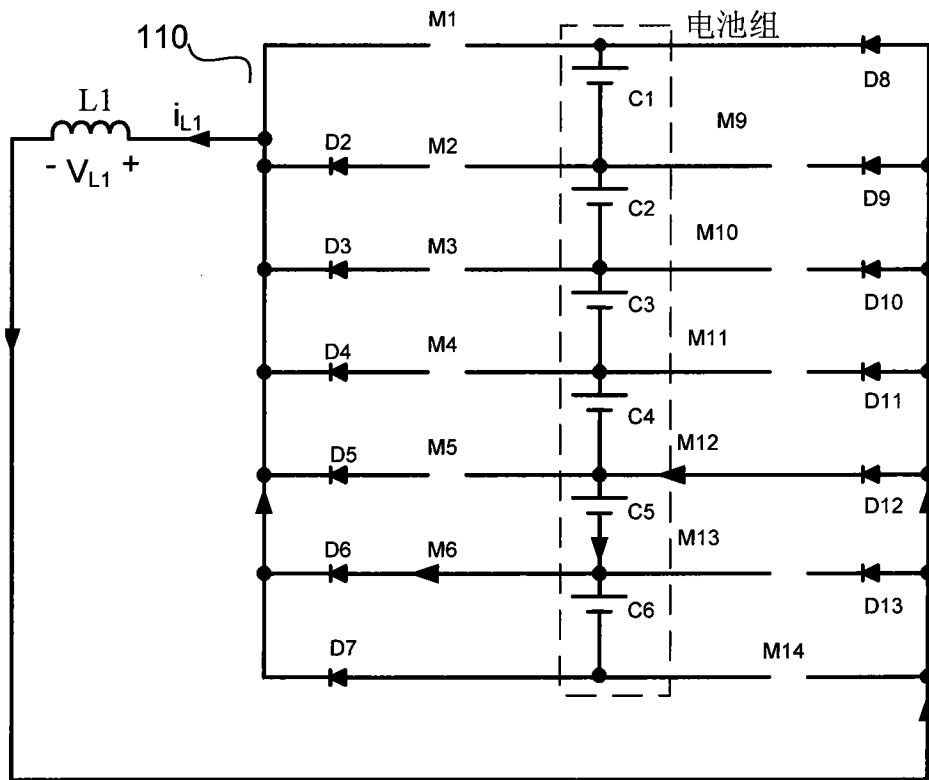


图 14(b)

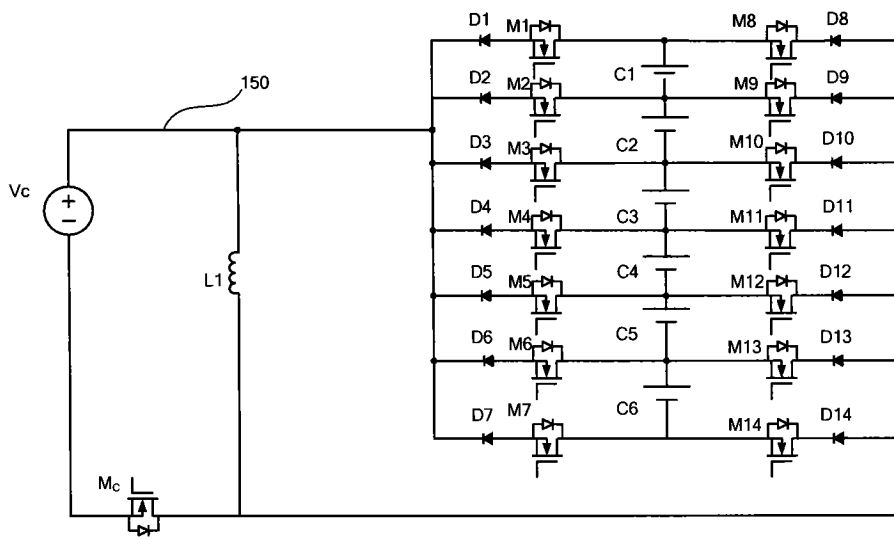


图 15

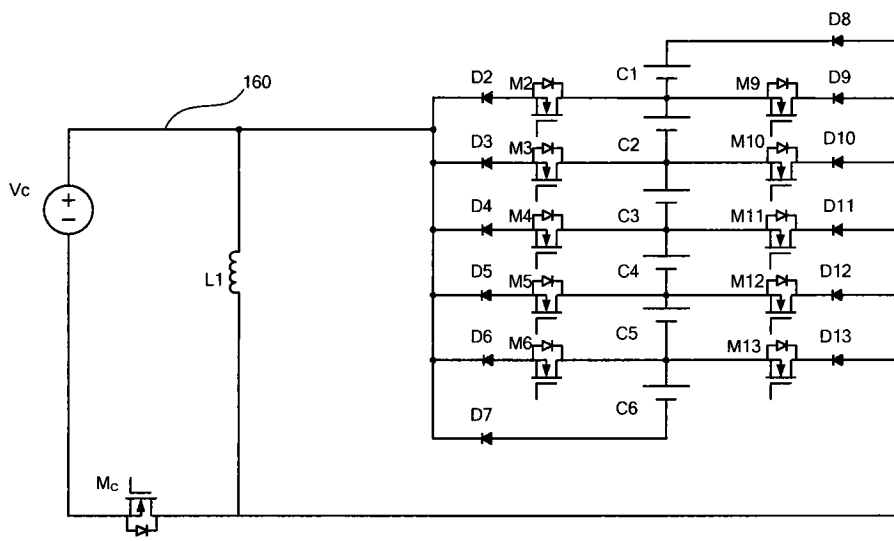


图 16

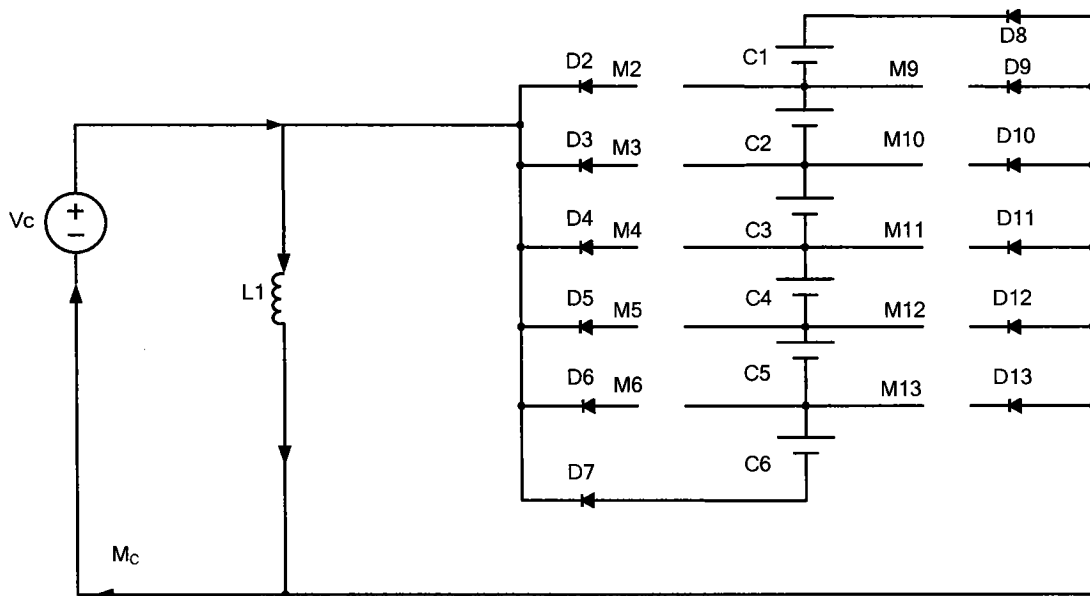


图 17(a)

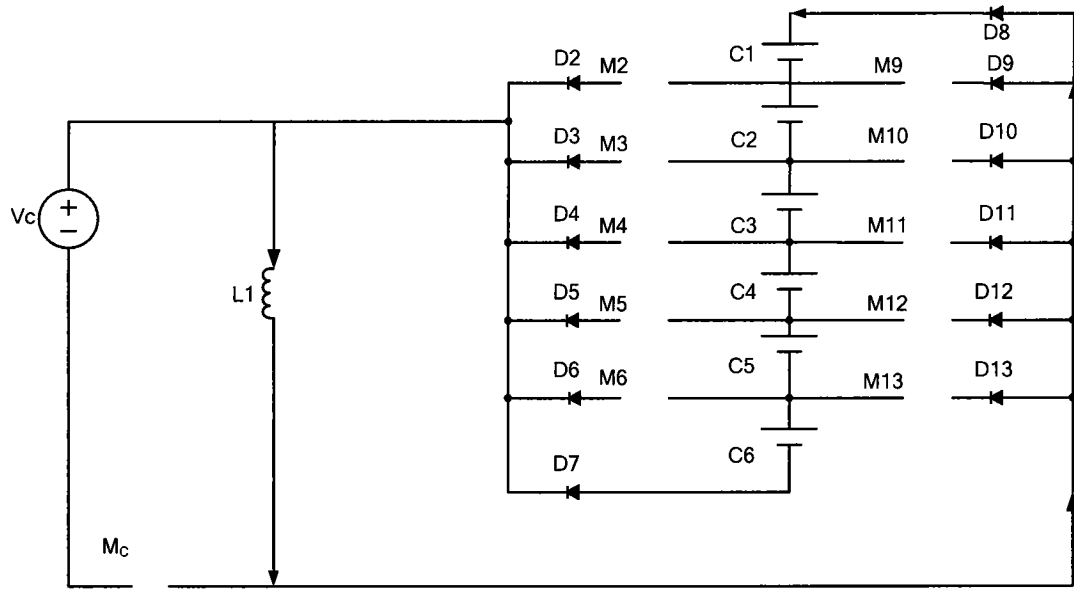


图 17(b)

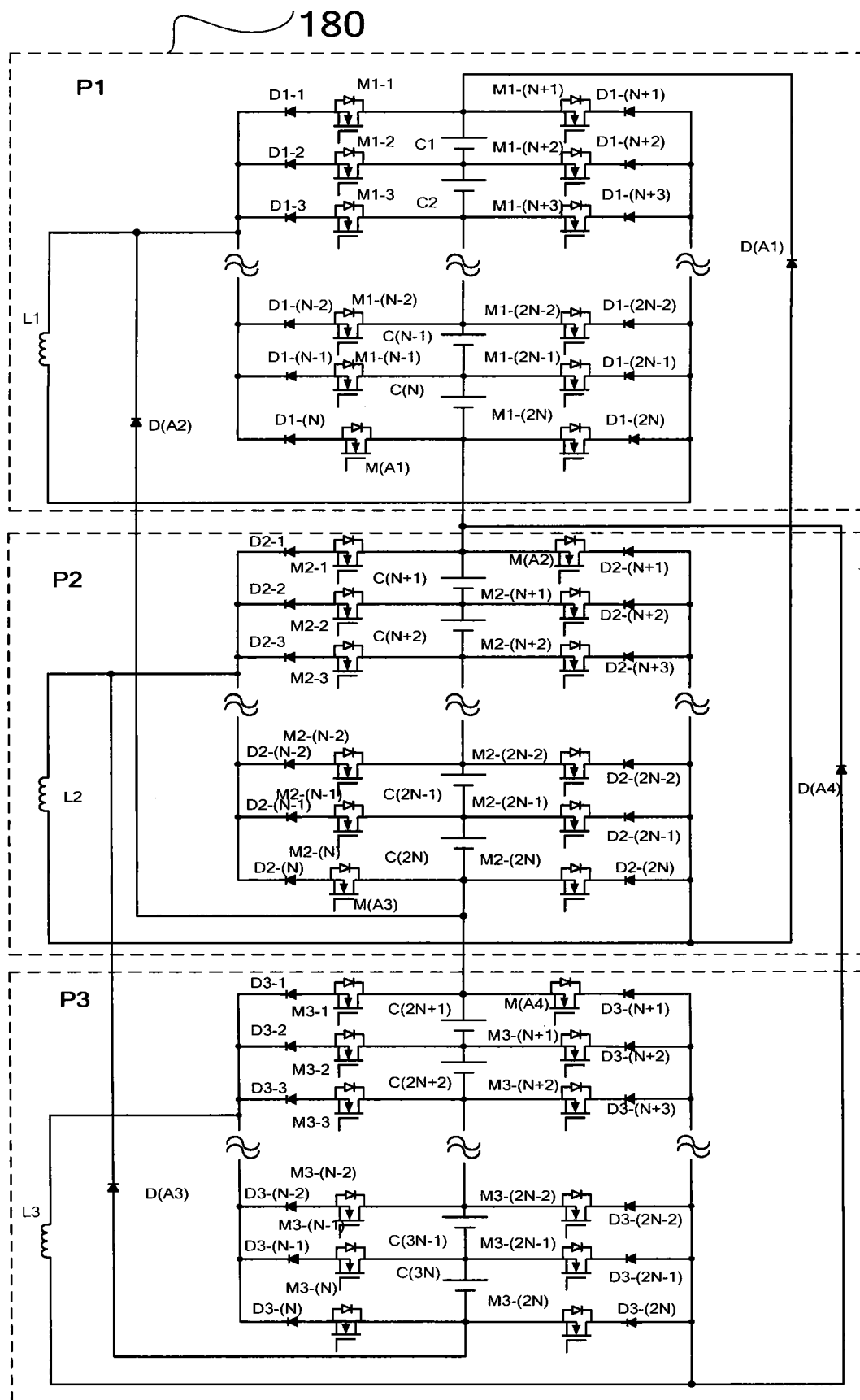


图 18

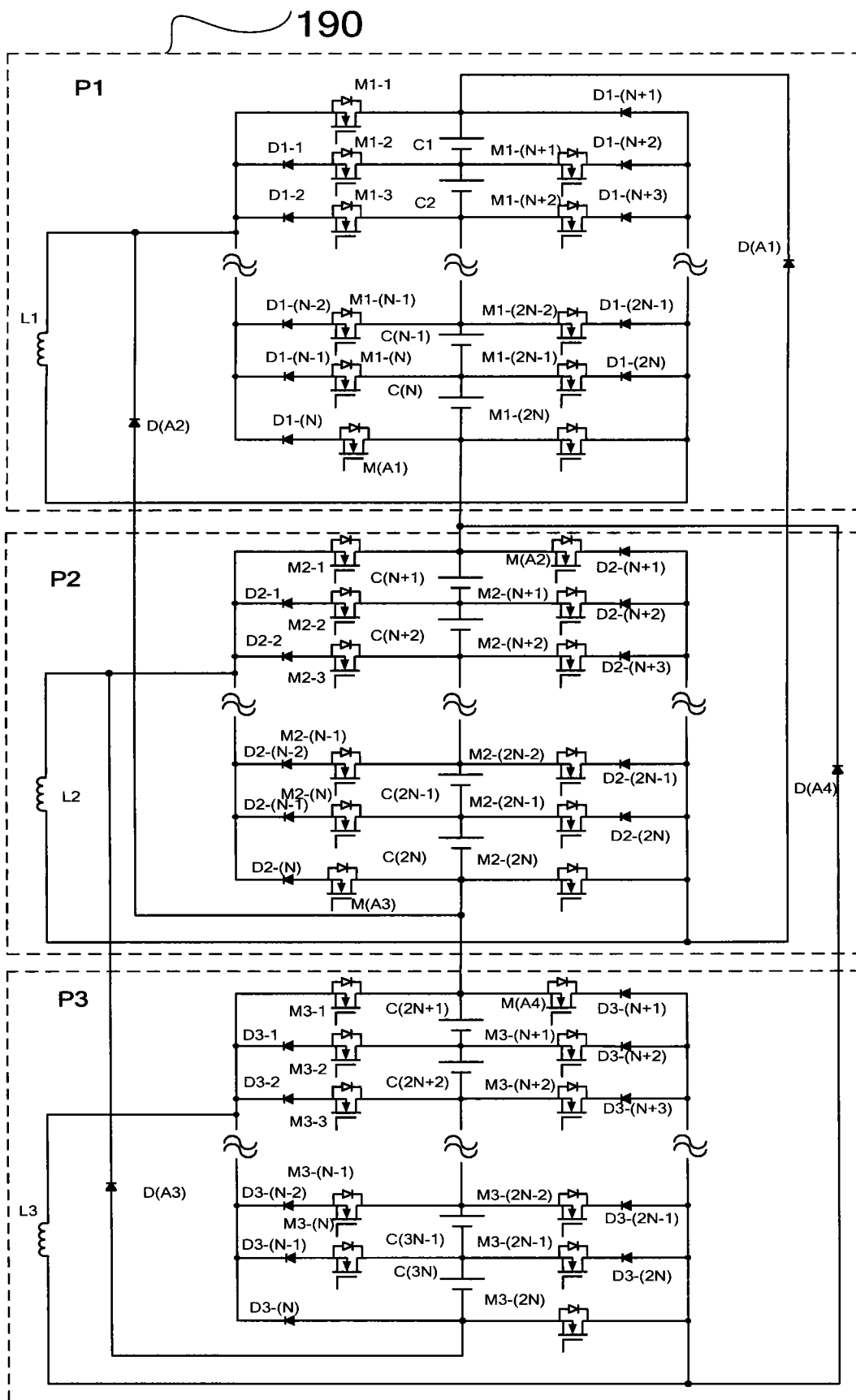


图 19

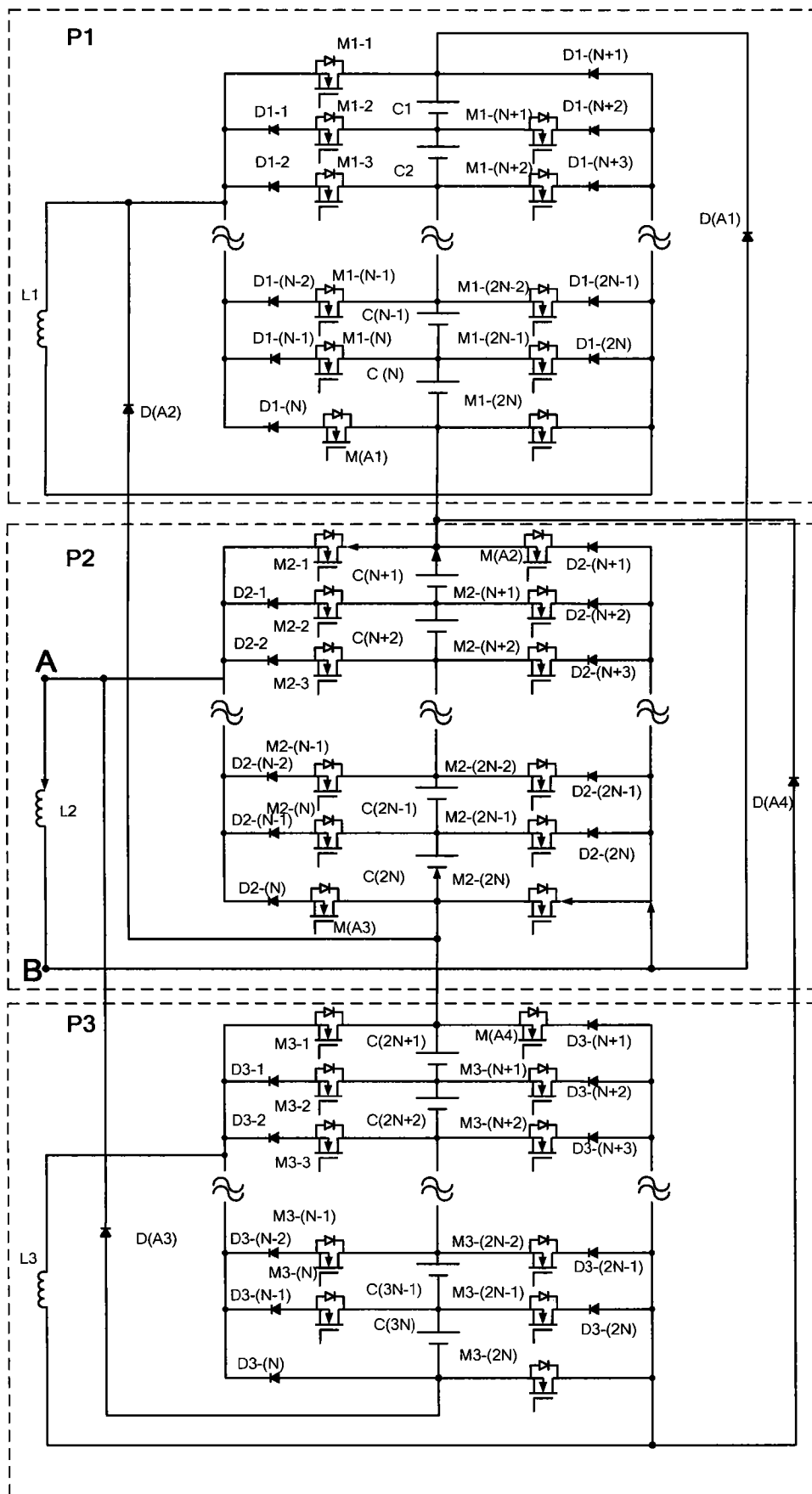


图 20(a)

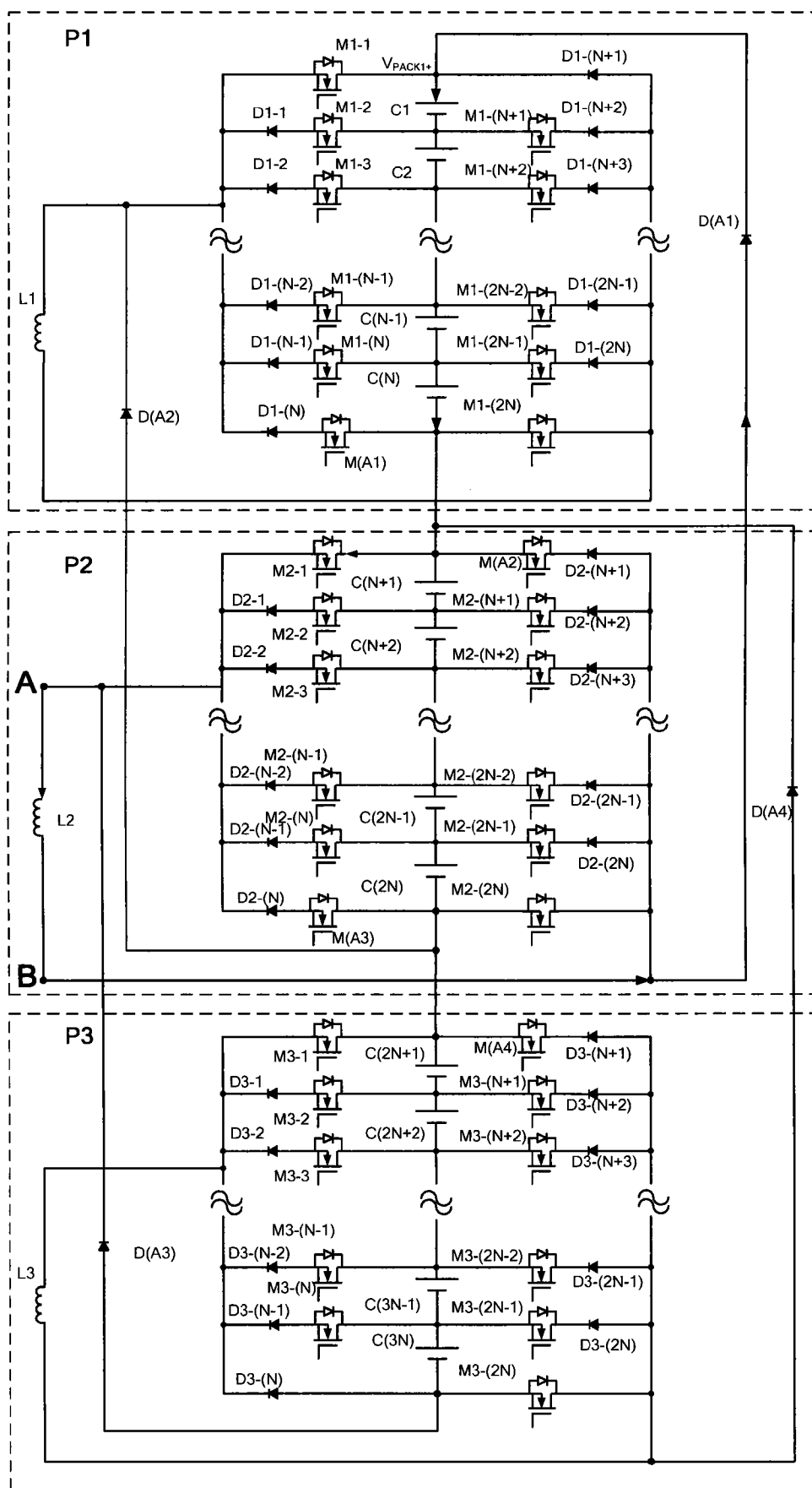


图 20 (b)



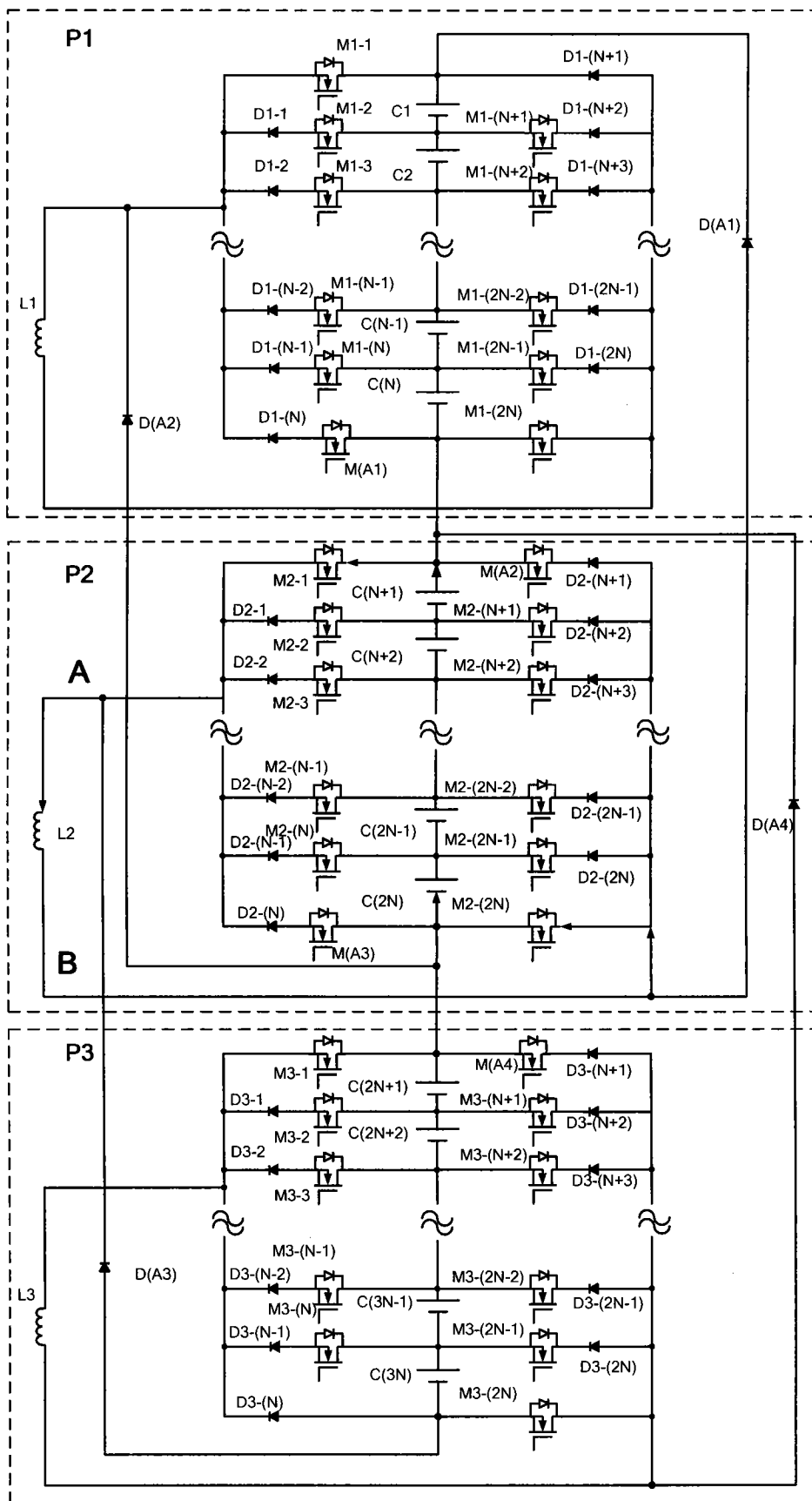


图 20(c)

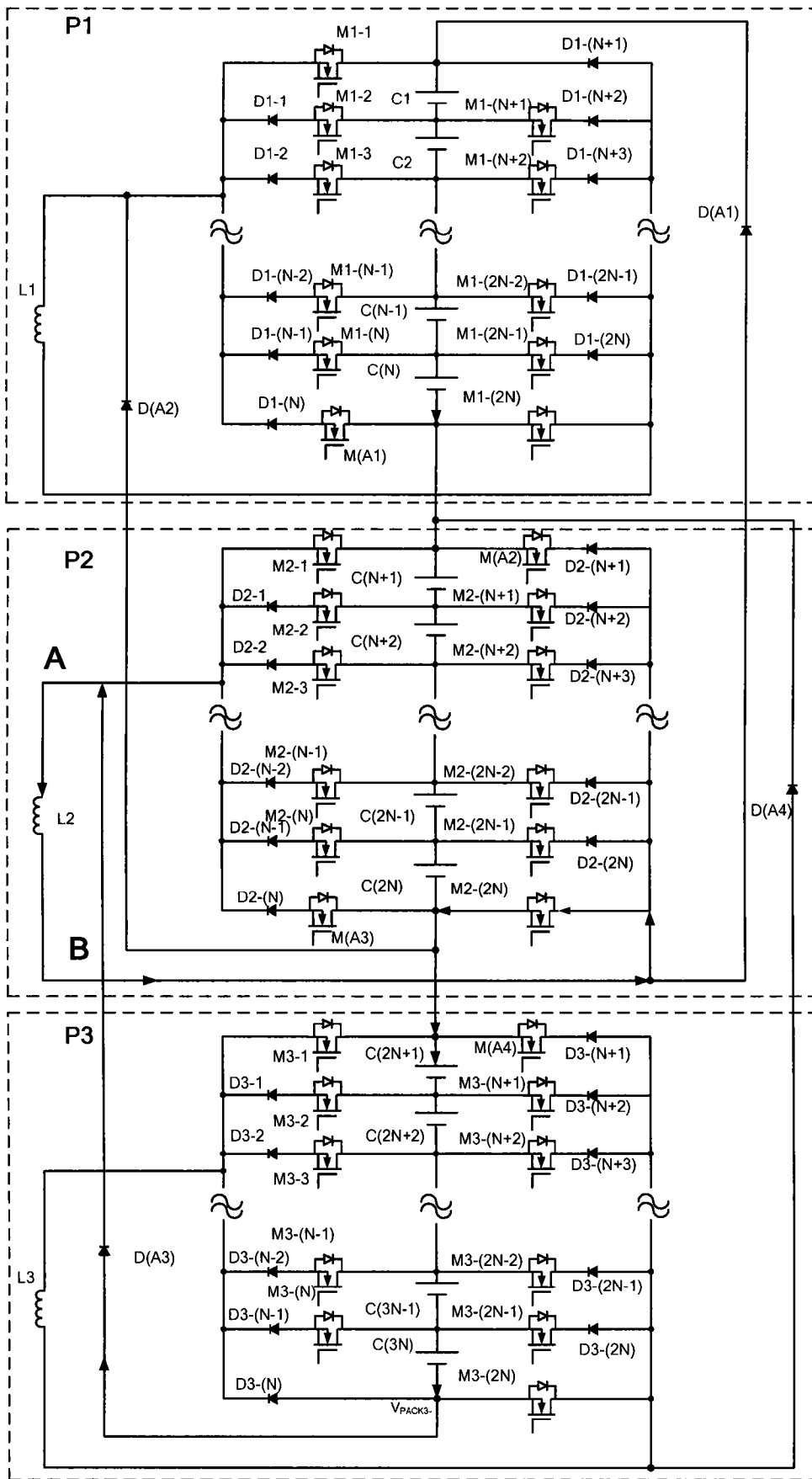


图 20(d)

210

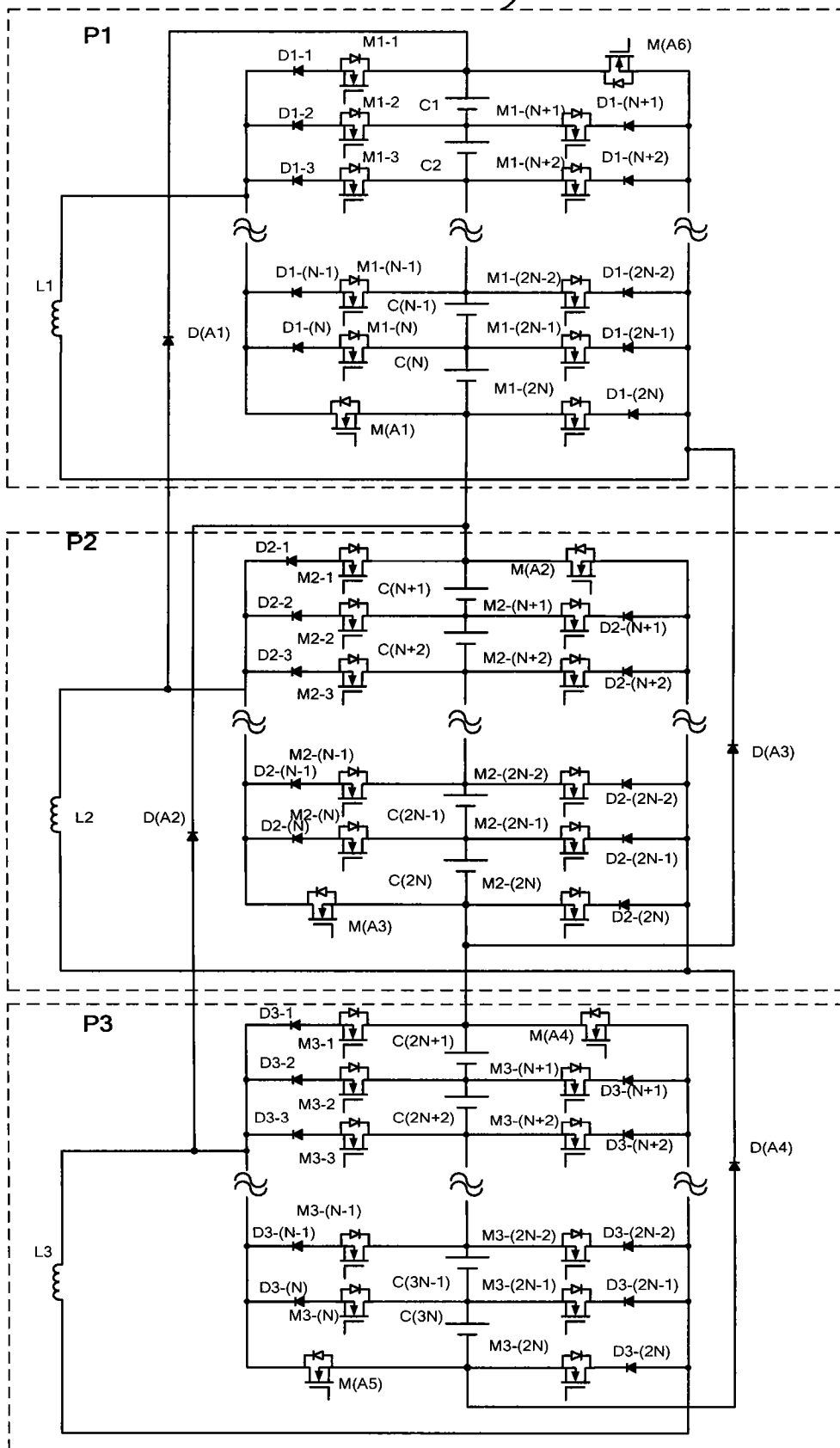


图 21

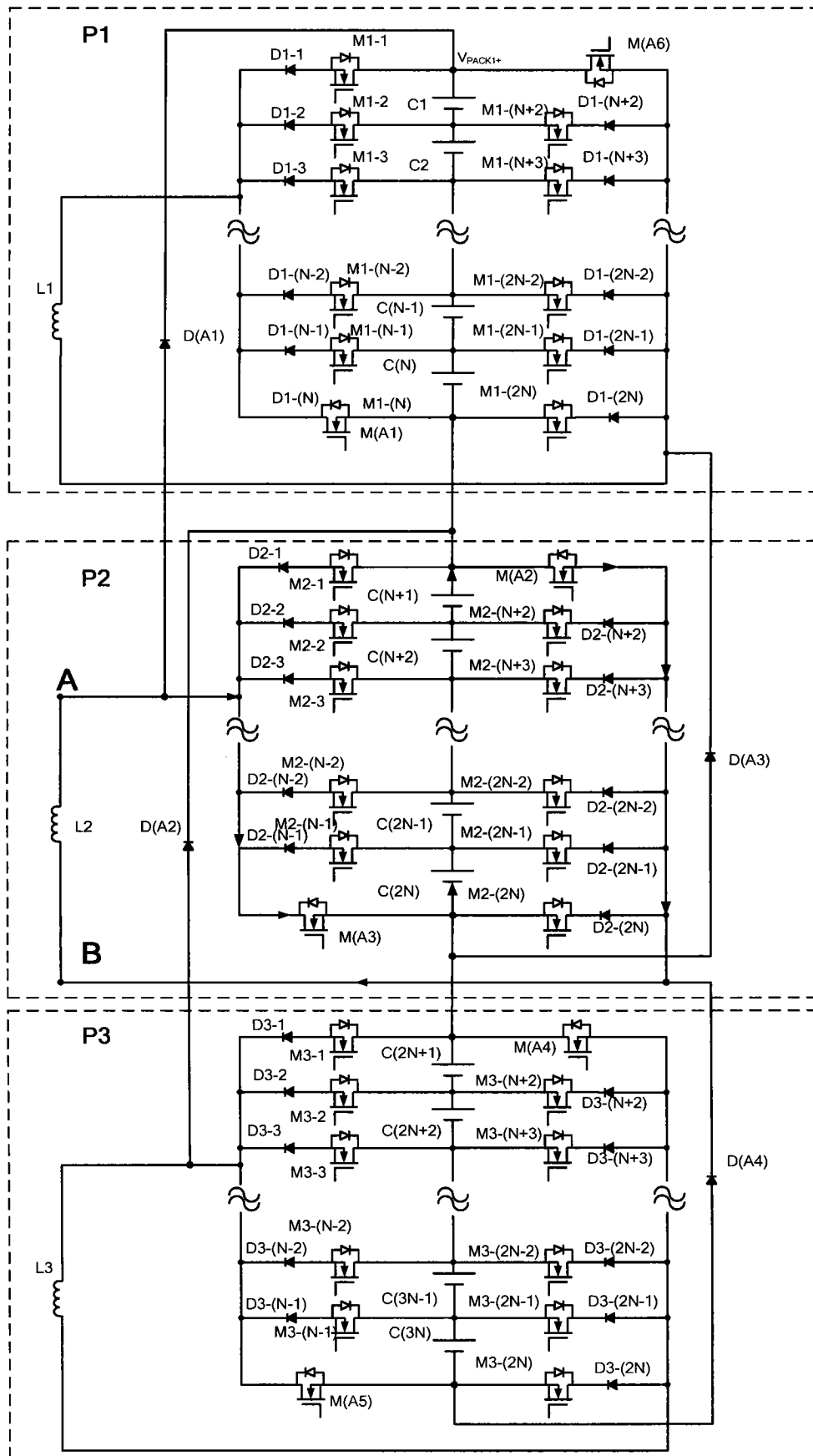


图 22(a)

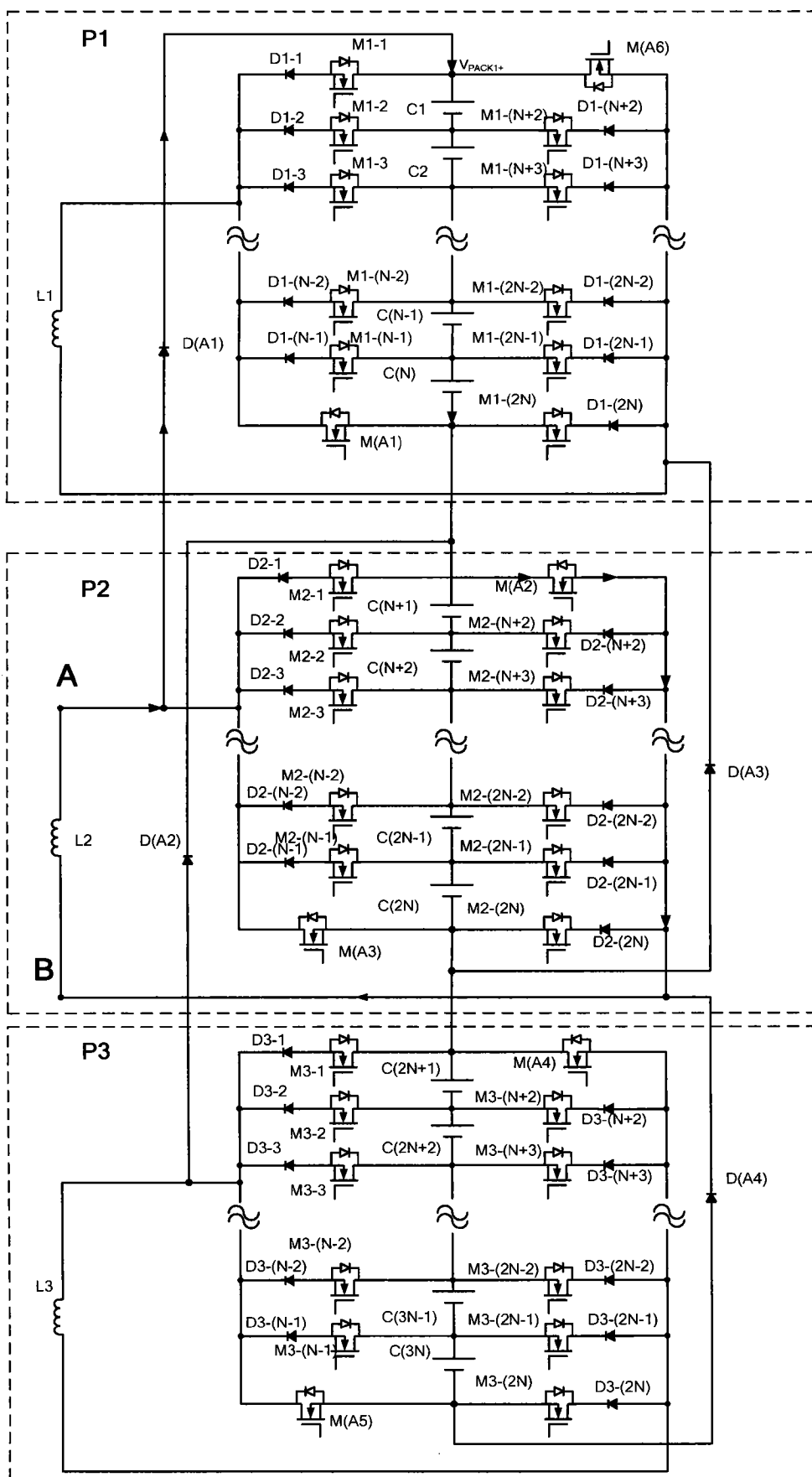


图 22(b)

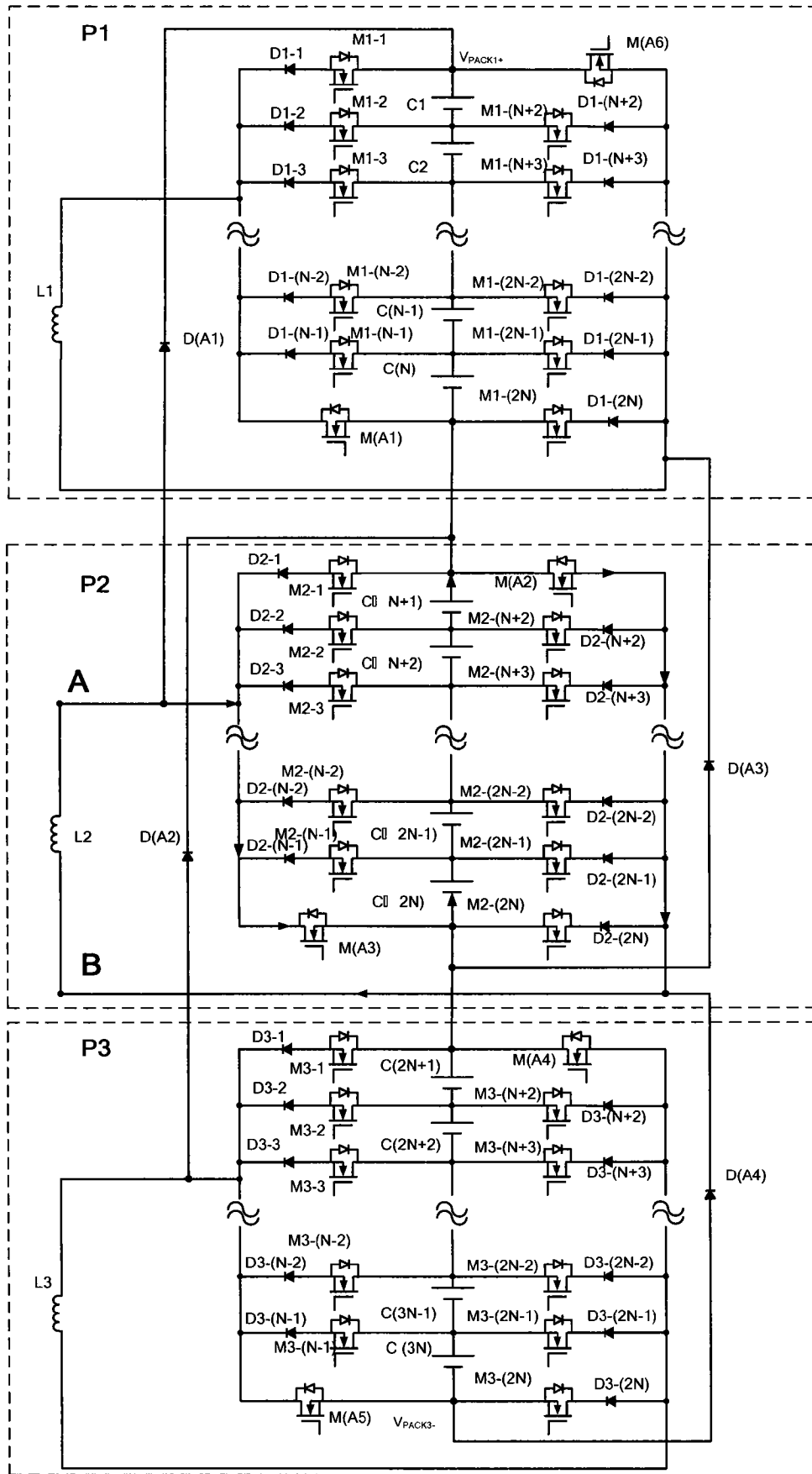


图 22(c)

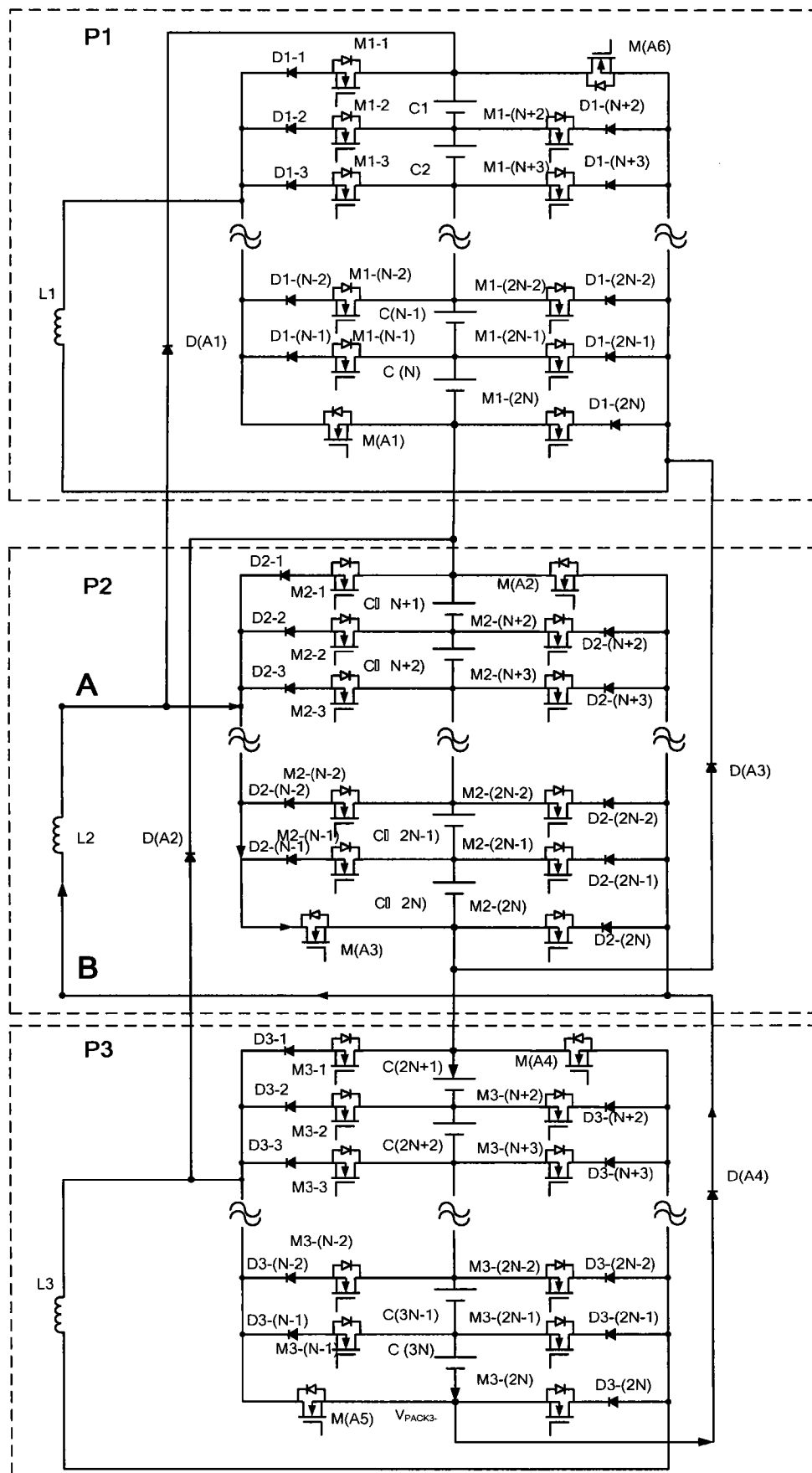


图 22(d)

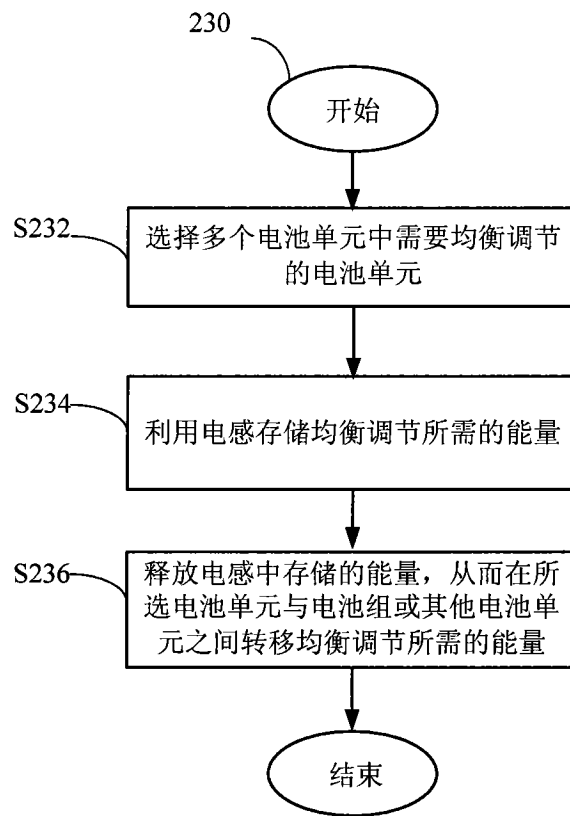


图 23