



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 114123424 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 05

(21) 申请号 202111463292.9

(22) 申请日 2021.12.03

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114123424 A

(43) 申请公布日 2022.03.01

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

地址 518000 广东省深圳市南山区粤海街道高新技术产业园南区粤兴一道18号
香港理工大学产学研大楼205室

(72) 发明人 王明浩 许昭

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

专利代理师 万尾甜 韩介梅

(51) Int. Cl.

H02J 7/00 (2006.01)

H02J 7/04 (2006.01)

H01M 10/44 (2006.01)

B60L 53/62 (2019.01)

(56) 对比文件

CN 102916440 A, 2013.02.06

CN 102969730 A, 2013.03.13

CN 1645726 A, 2005.07.27

DE 102020108316 A1, 2021.09.30

US 2016105056 A1, 2016.04.14

WO 2012043138 A1, 2012.04.05

M. Imran Shahzad等. Dual-bridge LLC-

SRC with extended voltage range for deeply depleted PEV battery charging. International Journal of Electronics. 2017, 全文.

审查员 周玥

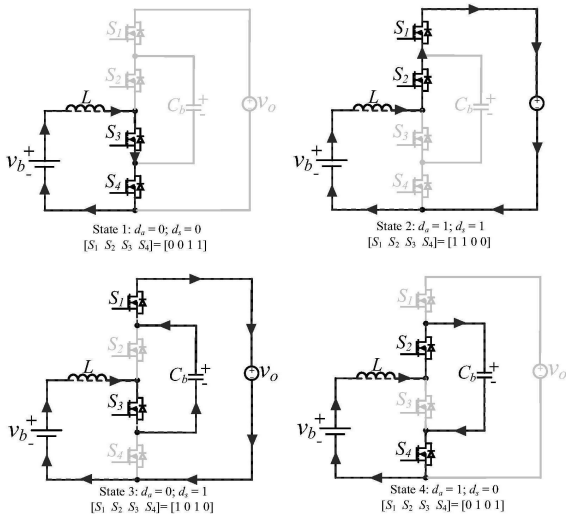
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法

(57) 摘要

本发明公开了一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法,该方法通过控制电池变流器,实现在电网或电动汽车为电池进行直流充、放电的同时,由变流器中的储能元件为电池进行正弦纹波电流充、放电,所产生的正弦波动功率由可靠储能元件进行缓冲。可在不影响电网和电动汽车侧电能质量的同时,对电池进行基于正弦纹波电流的去极化充、放电。这种充、放电方式将有益于延长电池寿命,提高电池和变流器的可靠性,并增大电池充、放电功率,加快电池充、放电速度,对增强并网电池的响应速度,提高电动汽车的动态驾驶性能,具有显著的提升效果。



1. 一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法,其特征在于,在电池正弦纹波电流充、放电的每个周期 T_{opt} 内,计算出储能元件电压平均值的平方 $\overline{v_{cb}}^2$,根据 $\overline{v_{cb}}^2$ 控制电池在电网或电动汽车侧的电流,使得电网或电动汽车向电池进行直流功率充、放电;同时,通过将电池端口的充、放电电流控制为直流电流和交流电流的叠加量,即具有直流偏置的正弦纹波电流,由变流器中的储能元件为电池提供所需正弦纹波交变充、放电功率;

具体步骤如下:

将设定的储能元件电压参考值的平方 V_{ref}^2 与电池正弦纹波电流充、放电每个周期 T_{opt} 内储能元件电压平均值的平方 $\overline{v_{cb}}^2$ 作差,将得到的偏差值输入到电压PI控制器后,计算出期望输入到储能元件的功率值 P_c ;然后用电池的实际输出功率 P_b 与 P_c 作差,求出变流器的电网或电动汽车侧功率期望值 P_o , P_o 除以变流器的端口电压 v_o 后得到变流器端口电流期望值 i_{oref} , i_{oref} 与变流器的实际端口电流 i_o 作差后,输入到变流器端口电流PI控制器,变流器端口电流PI控制器的输出除以电池电流的测量值 i_b 后得到调制信号 d_s ;

将电池直流电流期望值和正弦纹波电流期望值叠加作为电池的正弦纹波充、放电电流期望值 i_{bref} ,将 i_{bref} 与电池的实际充放电电流 i_b 作差,输入到电池电流PI控制器后,计算出与电池串联的电感上的压降 v_L ,用 d_s 乘以变流器的网侧滤波电容电压测量值 v_i 后与 v_L 相加,得到中间电压变量 v_t ,用电池电压测量值 v_b 减去 v_t 后,再除以变流器中储能元件实际电压值 v_{cb} ,得到占空比 d_c ;用 d_c+d_s 得到调制信号 d_a ;

将 d_a 和 d_s 同时与同一个锯齿波载波信号进行比较,生成开关管的开关组合逻辑序列,根据开关组合逻辑序列驱动变流器的开关管,以实现电池正弦纹波电流-功率解耦的去极化运行;基于所采用的变流器拓扑结构,所述的开关组合逻辑序列分别对应两类变流器运行状态:(1)电网或电动汽车对电池进行充、放电,储能元件与电池充、放电回路分离,(2)电网或电动汽车对电池进行充、放电,储能元件与电池充、放电回路耦合;

所述运行方法采用双向DC/DC变流器,其结构为:开关管S1-4由上至下依次串联,开关管S1的上端经LC低通滤波器接入电网或电动汽车正母线,开关管S4的下端接入电网或电动汽车负母线;电池与电感串联,电感另一端接入开关管2和开关管3的连接点;储能元件采用电容 C_b ,其正极接入开关管1和开关管2的连接点,负极接入开关管3和开关管4的连接点。

2. 根据权利要求1所述的可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法,其特征在于,将 d_a 和 d_s 同时与同一个锯齿波载波信号进行比较,生成开关管的开关组合逻辑序列,根据开关组合逻辑序列驱动变流器的开关管,以实现电池正弦纹波电流-功率解耦的去极化运行,具体为:

在每个开关周期内,当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值的正负号跟 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值的符号相同时,驱动变流器的开关管实现电网或电动汽车为电池进行直流充、放电;当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值的符号跟 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值的正负号相反时,驱动变流器的开关管实现变流器中的储能元件为电池进行正弦纹波电流去极化充、放电。

一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法,属于储能电池充放电领域。

背景技术

[0002] 由于锂离子电池具有能量和功率密度高、重量轻、无记忆效应等特点,因此锂离子电池广泛应用于便携式电子设备、电动汽车、可再生能源存储等领域。在这些应用中,快速、高效和可靠的充放电操作是关键考虑因素。为了满足这些要求,人们提出了许多充放电方法。传统的恒流恒压(CC-CV)充电方法具有操作方便、性价比高的优点。然而,这些方法会导致电池极化严重,从而产生镀锂等现象,使电池寿命周期缩短、效率降低。为了克服传统方法的局限性,有研究提出了脉冲充电(PRC)、电阻补偿、正弦纹波电流(SRC)充/放电等技术。其中,SRC方法因其在充电速率和效率上的显著提高而备受关注。SRC充电/放电方法本质上将交流正弦纹波电流与电池的直流电流叠加。由于交流电流的融入,减少了电池内部锂离子电荷积累,降低电池内部过电压,实现了电极的去极化。有研究实验证明了SRC方法在锂离子电池充放电效率、充电时间、放电容量和寿命方面显著优于传统CC-CV充电和PRC放电策略。

[0003] 然而,到目前为止,报道的研究主要集中在跟踪正弦纹波电流的最佳频率。电池进行交流充、放电所产生的正弦纹波电流都由电网和负载消纳,SRC运行引起的纹波功率对电网、电机等的影响并没有得到足够的重视。当电池通过常规的DC-DC变流器连接到直流母线和电机,电池随正弦纹波电流充电或放电时,交流电纹波功率将注入直流微电网和电机,造成谐波污染和电机转矩震荡。此外,交流纹波功率还会造成变流器效率下降、可靠性变差。这给电池直流-直流、直流-交流变流器的设计和控制带来了新的挑战。

[0004] 如何在电池以正弦纹波电流和直流电流叠加的方式进行充、放电的同时,确保不向电网和关联的设备注入波动功率,不影响输出端口电能质量,是尚未解决的难题。

发明内容

[0005] 为了在不引起电池变换器输出侧功率脉动的前提下,提高电池充、放电的速率、效率以及可靠性,并且减缓电池容量衰减,本发明提供一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法。

[0006] 本发明是通过以下技术方案来实现的:

[0007] 一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法,在电池正弦纹波电流充、放电的每个周期 T_{opt} 内,计算出储能元件电压平均值的平方 $\overline{v_{cb}}^2$,根据 $\overline{v_{cb}}^2$ 控制电网或电动汽车侧的电流,使得电网或电动汽车向电池进行直流功率充/放电;同时,通过将电池端口的充、放电电流控制为直流电流和交流电流的叠加量,即具有直流偏置的正弦纹波电流,由变流器中的储能元件为电池提供所需正弦纹波交变充、放电功率。

[0008] 本发明进一步的改进在于,控制电池变流器实现在电网或电动汽车为电池进行直

流充/放电的同时,由变流器中的储能元件为电池进行正弦纹波交流充放电的具体步骤如下:

[0009] 将设定的储能元件电压参考值的平方 V_{ref}^2 与电池正弦纹波电流充、放电每个周期 T_{opt} 内储能元件实际电压平均值的平方 $\overline{v_{cb}}^2$ 作差,将得到的偏差值输入到电压PI控制器后,计算出期望输入到储能元件的功率值 P_c ;然后用电池的实际输出功率 P_b 与 P_c 作差,求出变流器的电网或电动汽车侧功率期望值 P_o , P_o 除以变流器的端口电压 v_o 后得到变流器端口电流期望值 i_{oref} , i_{oref} 与变流器的实际端口电流 i_o 作差后,输入到变流器端口电流PI控制器,变流器端口电流PI控制器的输出除以电池电流的测量值 i_b 后得到调制信号 d_s 。

[0010] 将电池直流电流期望值和正弦纹波电流期望值叠加作为电池的正弦纹波充、放电电流期望值 i_{bref} ,将 i_{bref} 与电池的实际充放电电流 i_b 作差,输入到电池电流PI控制器后,计算出与电池串联的电感上的压降 v_L ,用 d_s 乘以变流器的网侧滤波电容电压测量值 v_i 后与 v_L 相加,得到中间电压变量 v_t ,用电池电压测量值 V_b 减去 v_t 后,再除以变流器中储能元件实际电压值 v_{cb} ,得到占空比 d_c 。用 $d_c + d_s$ 得到调制信号 d_a 。

[0011] 将 d_a 和 d_s 同时与同一个锯齿波载波信号进行比较,生成对应于开关管的开关组合逻辑序列。基于所采用的变流器拓扑结构,此开关组合逻辑序列被分别对应为两类变流器运行状态:(1)电网或电动汽车对电池进行充、放电,储能元件与电池充、放电回路分离,(2)电网或电动汽车对电池进行充、放电,储能元件与电池充、放电回路耦合。以上所产生的开关组合逻辑将被用于驱动变流器的开关管,以实现电池正弦纹波电流-功率解耦的去极化运行。

[0012] 本发明进一步的改进在于,将 d_a 和 d_s 同时与同一个锯齿波载波信号进行比较,生成开关管的开关组合逻辑序列,根据开关组合逻辑序列驱动变流器的开关管,具体为:在每个开关周期内,当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值的正负号跟 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值的符号相同时,驱动变流器的开关管实现电网或电动汽车为电池进行直流充、放电;当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值的符号跟 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值的正负号相反时,驱动变流器的开关管实现变流器中的储能元件为电池进行正弦纹波电流充放电。

[0013] 本发明的有益效果是:

[0014] 本发明通过将交流充电的每个周期 T_{opt} 内储能元件实际电压平均值的平方 $\overline{v_{cb}}^2$ 控制成指定的值 V_{ref}^2 ,使电网或电动汽车侧输出功率等于电池的直流充放电功率,从而使得电网为电池进行充/放电的电流是直流电流。同时,通过将电池直流电流期望值和正弦纹波电流期望值叠加作为电池的正弦纹波充放电电流期望值 i_{bref} ,并控制实际的电池电流跟踪此期望值 i_{bref} ,使得电池同时进行交直流混合充放电,即正弦纹波电流充放电(SRC),这种充电方式将有益于延长电池寿命,提高电池充电的可靠性,并增大电池充放电电流,加快电池充放电速度。此外,通过将交流充电的正弦纹波电流充、放电的每个周期 T_{opt} 内储能元件实际电压平均值的平方 $\overline{v_{cb}}^2$ 控制成指定的值 V_{ref}^2 ,计算出调制信号 d_s ;通过控制电池的充放电电流跟踪 i_{bref} ,计算出占空比 d_c ; $d_c + d_s$ 得到调制信号 d_a ;将 d_a 和 d_s 同时与同一个锯齿波载波信号进行比较,得到驱动信号分别驱动不同的开关管,使得在每个开关周期内,当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值的正负号跟 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值的符号相同时,

驱动变流器的开关管实现电网或电动汽车为电池进行直流充/放电;当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值的符号跟 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值的正负号相反时,驱动变流器的开关管实现变流器中的储能元件为电池进行正弦纹波电流充、放电。因此,实现电池去极化的正弦纹波电流充放电电流全部由变流器中的储能元件提供。最终使得电池可以在不影响电网或电动汽车侧电能质量的同时,进行交直流混合充放电(正弦纹波电流充放电)。本发明的充、放电方式有益于延长电池寿命,提高电池和变流器的可靠性,并增大电池充、放电功率,加快电池充、放电速度,对增强并网电池的响应速度,提高电动汽车的动态驾驶性能,具有显著的提升效果。

附图说明

- [0015] 图1是本发明所采用的电池变流器拓扑;
- [0016] 图2是计算得到 d_s 所采用的控制策略框图;
- [0017] 图3是计算得到 d_c 所采用的控制策略框图;
- [0018] 图4是本发明所采用的调制原理的示意图;
- [0019] 图5采用本发明进行控制的电池变流器的四种运行模式;
- [0020] 图6是电池放电时的波形。
- [0021] 图7是电池充电时的波形。

具体实施方式

[0022] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0023] 本发明提供了一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法采用双向DC/DC变流器,其结构示意图如图1所示:开关管S1-4由上至下依次串联,开关管S1的上端经LC低通滤波器接入电网或电动汽车正母线,开关管S4的下端接入电网或电动汽车负母线;电池与电感串联,电感另一端接入开关管2和开关管3的连接点;储能元件采用电容 C_b ,其正极接入开关管1和开关管2的连接点,负极接入开关管3和开关管4的连接点。

[0024] 本发明提供了一种可靠且快速的电池去极化充、放电控制运行方法,包括以下步骤:

[0025] 将设定的储能元件电压参考值的平方 V_{ref}^2 与电池正弦纹波电流充、放电每个周期 T_{opt} 内储能元件实际电压平均值的平方 $\overline{v_{cb}}^2$ 作差,将得到的偏差值输入到电压PI控制器后,计算出期望输入到储能元件的功率值 P_c ;然后用电池的实际输出功率 P_b 与 P_c 作差,求出变流器的电网或电动汽车侧功率期望值 P_o , P_o 除以变流器的端口电压 v_o 后得到变流器端口电流期望值 i_{oref} , i_{oref} 与变流器的实际端口电流 i_o 作差后,输入到变流器端口电流PI控制器,变流器端口电流PI控制器的输出除以电池电流的测量值 i_b 后得到调制信号 d_s ,如图2所示。

[0026] 将电池直流电流期望值和正弦纹波电流期望值叠加作为电池的正弦纹波充、放电电流期望值 i_{bref} ,将 i_{bref} 与电池的实际充放电电流 i_b 作差,输入到电池电流PI控制器后,计算出与电池串联的电感上的压降 v_L ,用 d_s 乘以变流器的网侧滤波电容电压测量值 v_i 后与 v_L

相加,得到中间电压变量 v_t ,用电池电压测量值 V_b 减去 v_t 后,再除以变流器中储能元件实际电压值 v_{cb} ,得到占空比 d_c ,如图3所示。

[0027] 用 d_c+d_s 得到调制信号 d_a 。将 d_a 和 d_s 同时与同一个锯齿波载波信号进行比较,生成对应于开关管的开关组合逻辑序列。基于所采用的变流器拓扑结构,此开关组合逻辑序列被分别对应为两类变流器运行状态:(1)电网或电动汽车对电池进行充、放电,储能元件与电池充、放电回路分离;(2)电网或电动汽车对电池进行充、放电,储能元件与电池充、放电回路耦合,储能元件产生电池正弦纹波去极化功率。以上所产生的开关组合逻辑将被用于驱动变流器的开关管,以实现电池正弦纹波电流-功率解耦的去极化运行。如图4所示。在每个开关周期内,当 d_a 大于锯齿波载波信号时,开关管2导通,开关管3关断;反之,开关管3开通,开关管2关断。当 d_s 大于锯齿波载波信号时,开关管1导通,开关管4关断;反之,开关管4导通,开关管1关断。因此,开关组合只有图4(a)和图4(b)所示的两种方式。每个开关周期内,state1和state2必然出现。当开关组合为图4(a)所示方式时,出现state3;当开关组合为4(b)所示方式时,出现state4。

[0028] 在每个开关周期内,当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值的正负号跟 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值的符号相同时,驱动变流器的开关管实现电网或电动汽车为电池进行直流充/放电。其中,当 d_a 与锯齿波载波信号作差得到的数值和 d_s 与锯齿波载波信号作差得到的数值均小于0时,驱动变流器的开关管工作在图5的state 1,开关管3和开关管4导通,电池电流在电池与电感、开关管3和开关管4形成的回路中流通;当 d_a 与载波信号作差得到的数值和 d_s 与载波信号作差得到的数值均大于等于0时,驱动变流器的开关管工作在图5的state 2,开关管1和开关管2导通,电池电流在电池与电感、开关管1、开关管2和电网或电动汽车形成的回路中流通;

[0029] 当 d_a 与载波信号作差得到的数值的符号跟 d_s 与载波信号作差得到的数值的正负号相反时,驱动变流器的开关管实现变流器中的储能元件为电池进行交流充放电。其中,当 d_a 与载波信号作差得到的数值小于0, d_s 与载波信号作差得到的数值大于0时,驱动变流器的开关管工作在图5的state 3,开关管1和开关管3导通,电池电流在电池与电感、开关管3、储能电容、开关管1和电网或电动汽车形成的回路中流通;当 d_a 与载波信号作差得到的数值大于0, d_s 与载波信号作差得到的数值小于0时,驱动变流器的开关管工作在图5的state 4,开关管2和开关管4导通,电池电流在电池与电感、开关管2、储能电容和开关管4形成的回路中流通。

[0030] 其中,锯齿波载波信号是采用嵌入式处理器中的定时器生成的信号。

[0031] 实施例

[0032] 在本发明提供的控制方法下,电池放电的效果如图6。图6(a)可见,在0.2秒之前,放电电流期望值是 $i_{bref}=10+\sin(500 \cdot 2\pi t)$ A,0.2秒以后,放电电流期望值是 $i_{bref}=10+2\sin(800 \cdot 2\pi t)$ A,图6(b)中可见,放电电流可以准确快速地跟踪变化的电流期望值。图6(c)是变流器中的储能元件的电压,可见,电容上的波动电压与电流期望值中的波动分量同频,而且随波动电流增大而增大。图6(d)是变流器输出到电网的电流。可见当电池放电电流纹波变大后,输出到电网的电流很快就能恢复到原来的直流电流值,没有交流波动分量。以上证明了本发明公开的方法下,可实现不影响电网侧电能质量的同时,进行电池的交直流混合放电。

[0033] 在本发明提供的控制方法下,电池充电的效果如图7。图7(a)可见,在0.2秒之前,充电电流期望值是 $i_{\text{bref}} = -10 + \sin(500 \cdot 2\pi t)$ A,0.2秒以后,电流期望值是 $i_{\text{bref}} = -10 + 2\sin(800 \cdot 2\pi t)$ A,图7(b)中可见,充电电流可以准确快速地跟踪变化的电流期望值。图7(c)是变流器中的储能元件的电压,可见,电容上的波动电压与电流期望值中的波动分量同频,而且随波动电流增大而增大。图7(d)是电网输入到变流器的电流。可见当电池充电电流纹波变大后,电网输入到变流器的电流很快就能恢复到原来的直流电流值,没有交流波动分量。以上证明了采用本发明方法可实现不影响电网侧电能质量的同时,进行电池的交直流混合充电。

[0034] 综上,该实施例证明了本发明所提控制方法的有效性。

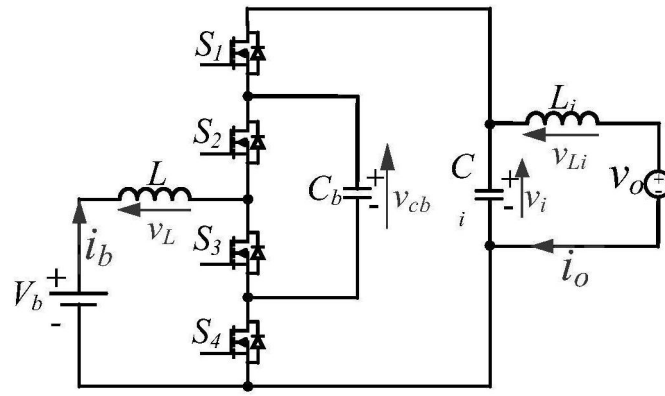


图1

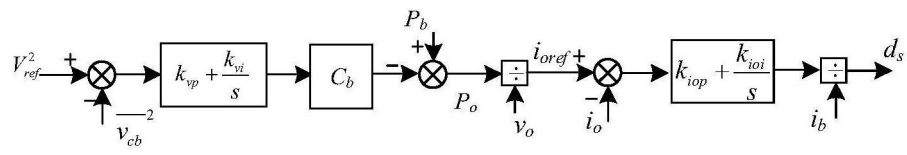


图2

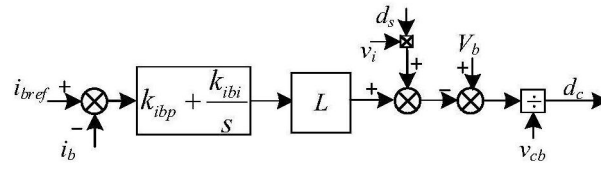


图3

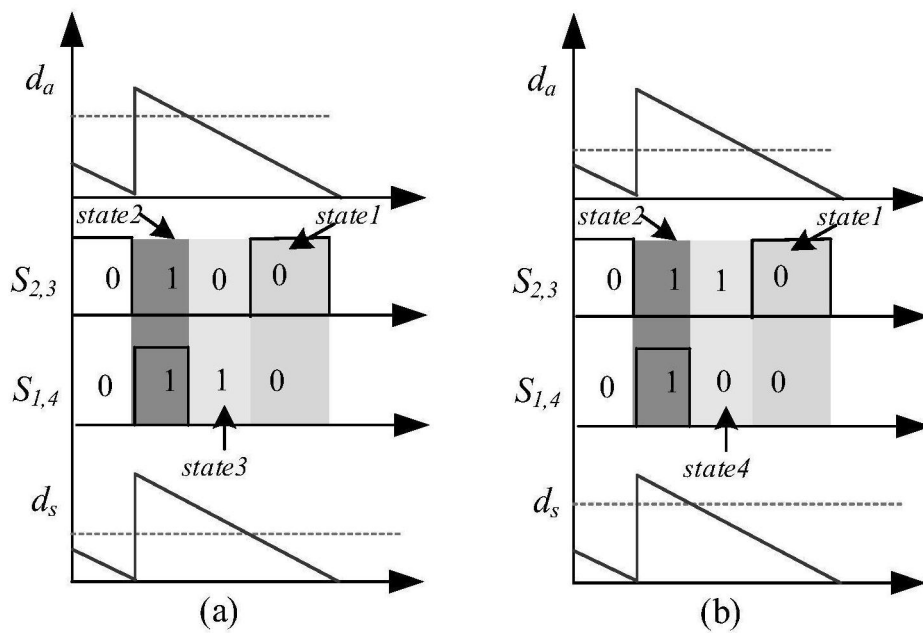


图4

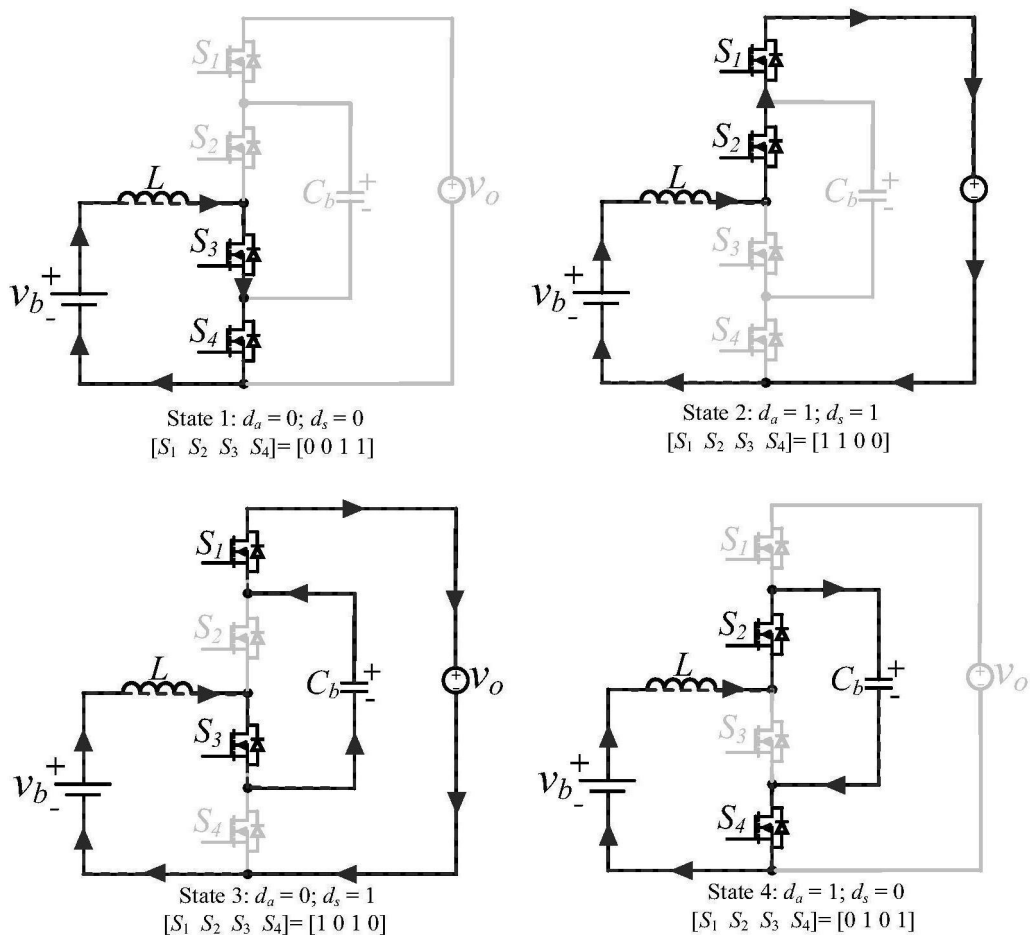


图5

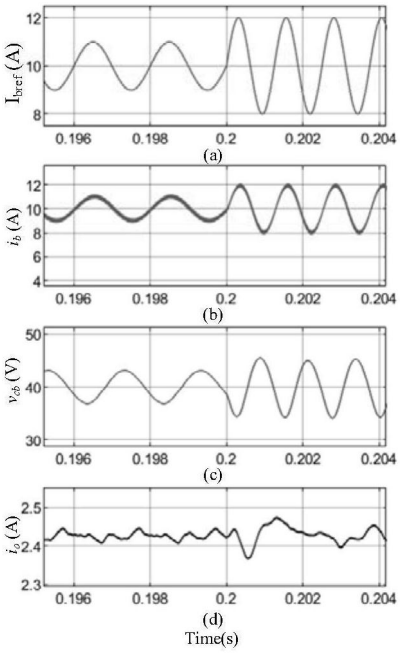


图6

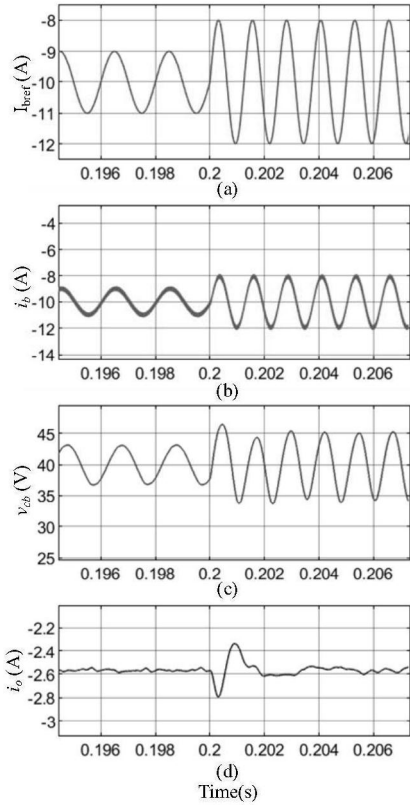


图7