



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110803069 B

(45) 授权公告日 2021.04.02

(21) 申请号 201911006472.7

(22) 申请日 2019.10.22

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110803069 A

(43) 申请公布日 2020.02.18

(73) 专利权人 上海交通大学  
地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72) 发明人 朱翀 张希 郭邦军 王东升

(74) 专利代理机构 上海段和段律师事务所  
31334

代理人 李佳俊 郭国中

(51) Int. Cl.

B60L 58/27 (2019.01)

H02J 7/00 (2006.01)

H02J 7/02 (2016.01)

(56) 对比文件

CN 107994299 A, 2018.05.04

CN 107994299 A, 2018.05.04

CN 103972605 A, 2014.08.06

US 2011144861 A1, 2011.06.16

CN 104779652 A, 2015.07.15

CN 107845840 A, 2018.03.27

T. A. Stuart 等. HEV battery heating using ac currents. 《Journal of Power Sources》. 2001, 第129卷

审查员 张月英

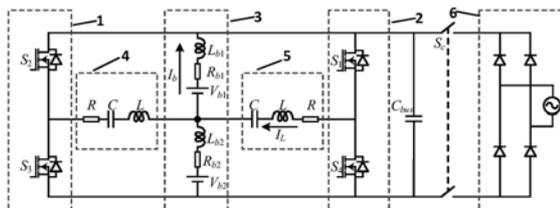
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

电池双路供电谐振式交流加热系统的控制方法

(57) 摘要

本发明提供了一种电池双路供电谐振式交流加热系统、控制方法及电池系统,包括:第一桥臂:包括由多个功率开关管构成的第一功率开关管组,所述第一功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;第二桥臂:包括由多个功率开关管构成的第二功率开关管组,所述第二功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;两组谐振支路:一端连接桥臂的中性点,另一端连接电池的中性点;两个桥臂通过两组互补的PWM信号驱动。解决了低温环境下现有电池加热方法存在加热速度慢、效果差、效率低等问题,且能够灵活应用外部充电桩或电池自身提供加热能量,适用范围及场景较广。



1. 一种电池双路供电谐振式交流加热系统的控制方法,其特征在于,所述的电池双路供电谐振式交流加热系统包括:

第一桥臂:包括由多个功率开关管构成的第一功率开关管组,所述第一功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;

第二桥臂:包括由多个功率开关管构成的第二功率开关管组,所述第二功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;

第一谐振支路:一端连接所述第一桥臂的中性点,另一端连接电池的中性点;

第二谐振支路:一端连接所述第二桥臂的中性点,另一端连接电池的中性点;

其中,所述第一桥臂中的功率开关管通过第一组互补PWM信号驱动,所述第二桥臂中的功率开关管通过第二组互补PWM信号驱动;

所述方法执行包括如下操作:

根据电池的标称电压以及第一谐振支路和第二谐振支路的元件参数,选择第一组互补PWM信号与第二组互补PWM信号的信号频率,使交流加热电流的幅值低于当前温度下电池最大容许充、放电电流;

根据第一谐振支路和第二谐振支路的谐振频率以及功率开关管的类型,调节开关频率,满足软开关特性;

根据电池是否与充电设备连接,产生一路逻辑信号,控制第一组互补PWM信号与第二组互补PWM信号的移相角,使电池连接充电设备与否两种状态下的两组互补PWM信号移相角不同;

在电池与充电设备连接状态下,所述逻辑信号为1,控制所述移相角为 $0^{\circ}$ ,电池加热能量由充电设备提供;在电池与充电设备非连接状态下,所述逻辑信号为0,控制所述移相角为 $180^{\circ}$ ,电池加热能量由电池本身提供。

2. 根据权利要求1所述的电池双路供电谐振式交流加热系统的控制方法,其特征在于,在功率开关管为IGBT管时,调节开关频率大于0.5倍谐振频率,实现零电流关断;在功率开关管为MOSFET管时,调节开关频率小于0.5倍谐振频率,实现零电压开通。

## 电池双路供电谐振式交流加热系统的控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及车载电池热管理领域,具体地,涉及一种电池双路供电谐振式交流加热系统、控制方法及电池系统。

### 背景技术

[0002] 锂离子动力电池的充、放电性能会受低温环境影响急剧恶化,严重影响电动汽车的冬季续驶里程,而且还会对电池寿命造成永久性损害。因此,在低温工作环境下,应在电动汽车正常行驶前对动力电池进行预热,使电池电芯到达正常工作温度范围内,提高其工作性能。

[0003] 电池低温加热是保障动力电池在低温环境下高效、持久、安全工作的有力手段。根据热源位置不同,电池低温加热的常用方式可分为两种,即外部加热和内部加热。

[0004] 外部加热方法一般通过加热空气、冷却液、电热丝等传热媒介,再通过热对流或热传导的方式将热量自外而内地传递给动力电池。由于热传递路径较长,外部加热方法的加热速率较慢,而且动力电池温度分布极不均匀。同时,加热过程中外部传热媒介与寒冷环境间存在较多的热交换,热量散失较大,加热效率较低。因此,外部加热方法难以持续有效满足动力电池在低温环境下的最佳工作温度。

[0005] 内部加热方法是指动力电池通过充、放电产生电流,电流利用电池内阻产生欧姆热,从电芯内部直接对动力电池进行加热。通过将热源设置在电芯内部,可以缩减热传递的路径,同时避免了热源与外部环境的直接热耦合,热量散失很小。因此,内部加热方法加热速度很快,效率也比较高。此外,加热热源均匀地分布在各电芯内部,使得温度场分布均匀程度相较于外部加热有了明显改善。因此,与外部加热方法相比,动力电池内部加热具有明显的优势和发展潜力。

[0006] 现有内部加热方法一般采用交流电流进行加热,根据供电电源不同,可以分为外部设备供电和动力电池自供电两种不同方式。为产生正弦交流加热电流,外部充放电设备一般体积较大,成本很昂贵,应用范围有限。而动力电池自供电方式则考虑了车载应用实际问题,采用较高的加热电流频率,实现车载加热器的轻量化和小型化。然而,其不足之处在于仅能使用动力电池自身能量进行加热,在电池电量较低时无法正常工作。此外,在外部充电桩接入的情况下,采用动力电池自供电方案进行加热时无法充电,加热后还需额外的充电时间补充加热消耗电量,严重影响电动汽车用户体验。另外,现有的交流加热装置一般采用硬开关方案,较高的交流加热频率会产生较大的半导体功率开关管损耗,影响加热装置的整体效率。同时,较大的开关应力和损耗也为加热装置的可靠性带来挑战,极大地限制了内部加热方法的应用可能。

### 发明内容

[0007] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种电池双路供电谐振式交流加热系统、控制方法及电池系统。

- [0008] 根据本发明提供的一种电池双路供电谐振式交流加热系统,包括:
- [0009] 第一桥臂:包括由多个功率开关管构成的第一功率开关管组,所述第一功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;
- [0010] 第二桥臂:包括由多个功率开关管构成的第二功率开关管组,所述第二功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;
- [0011] 第一谐振支路:一端连接所述第一桥臂的中性点,另一端连接电池的中性点;
- [0012] 第二谐振支路:一端连接所述第二桥臂的中性点,另一端连接电池的中性点;
- [0013] 其中,所述第一桥臂中的功率开关管通过第一组互补PWM信号驱动,所述第二桥臂中的功率开关管通过第二组互补PWM信号驱动。
- [0014] 优选地,所述功率开关包括IGBT管或MOSFET管。
- [0015] 优选地,所述第一桥臂和所述第二桥臂中:功率开关管之间源极与漏极首尾串联。
- [0016] 优选地,所述第一谐振支路和所述第二谐振支路由两组相同的电感和电容组成。
- [0017] 优选地,所述第一组互补PWM信号与所述第二组互补PWM信号之间的移相角通过一路逻辑信号决定。
- [0018] 根据本发明提供的一种电池双路供电谐振式交流加热系统的控制方法,采用上述的电池双路供电谐振式交流加热系统,执行包括如下操作:
- [0019] 根据电池的标称电压以及第一谐振支路和第一谐振支路的元件参数,选择第一组互补PWM信号与第二组互补PWM信号的信号频率,使交流加热电流的幅值低于当前温度下电池最大容许充、放电电流;
- [0020] 根据第一谐振支路和第一谐振支路的谐振频率以及功率开关管的类型,调节开关频率,满足软开关特性;
- [0021] 根据电池是否与充电设备连接,产生一路逻辑信号,控制第一组互补PWM信号与第二组互补PWM信号的移相角,使电池连接充电设备与否两种状态下的两组互补PWM信号移相角不同。
- [0022] 优选地,在功率开关管为IGBT管时,调节开关频率大于0.5倍谐振频率,实现零电流关断;在功率开关管为MOSFET管时,调节开关频率小于0.5倍谐振频率,实现零电压开通。
- [0023] 优选地,在电池与充电设备连接状态下,所述逻辑信号为1,控制所述移相角为 $0^{\circ}$ ,电池加热能量由充电设备提供;在电池与充电设备非连接状态下,所述逻辑信号为0,控制所述移相角为 $180^{\circ}$ ,电池加热能量由电池本身提供。
- [0024] 根据本发明提供的一种电池系统,包括上述的电池双路供电谐振式交流加热系统。
- [0025] 优选地,所述电池系统包括车辆电池系统。
- [0026] 根据本发明提供的一种电池系统,包括上述的电池双路供电谐振式交流加热系统。
- [0027] 优选地,所述电池系统包括车辆电池系统。
- [0028] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:
- [0029] 1、解决了低温环境下现有电池加热方法存在加热速度慢、效果差、效率低等问题,且能够灵活应用外部充电桩或电池自身提供加热能量,适用范围及场景较广;
- [0030] 2、所描述的电池加热系统体积小,重量轻,适合车载使用。

[0031] 3、所描述的电池加热系统控制方法简单,只需两路互补的PWM驱动信号和一路逻辑信号进行移相角选择,鲁棒性较强,可靠性高。

[0032] 4、所描述的电池加热系统可使用两种不同供电方式为加热提供能量,使用比较灵活,适用范围广。

[0033] 5、所描述的电池加热系统控制方法可以根据不同开关管选择合适的开关频率,实现软开关切换,提高系统加热效率、安全性和可靠性。

### 附图说明

[0034] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0035] 图1为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统拓扑结构图;

[0036] 图2为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统电源选择逻辑及移相角控制方法;

[0037] 图3a为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统由充电桩提供能量时的等效电路分析( $S_1$ 、 $S_2$ 闭合);

[0038] 图3b为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统由充电桩提供能量时的等效电路分析( $S_3$ 、 $S_4$ 闭合);

[0039] 图4a为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统由动力电池自身提供能量时的等效电路分析( $S_1$ 、 $S_3$ 闭合);

[0040] 图4b为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统由动力电池自身提供能量时的等效电路分析( $S_2$ 、 $S_4$ 闭合);

[0041] 图5a为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统开关频率高于0.5倍谐振频率时的电路关键波形;

[0042] 图5b为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统开关频率低于0.5倍谐振频率时的电路关键波形;

[0043] 图6为本发明车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统开关频率与加热电流有效值的关系。

### 具体实施方式

[0044] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0045] 本发明提供了一种电池双路供电谐振式交流加热系统,包括:

[0046] 第一桥臂:包括由多个功率开关管构成的第一功率开关管组,所述第一功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;

[0047] 第二桥臂:包括由多个功率开关管构成的第二功率开关管组,所述第二功率开关管组的漏极与电池的正极相连,源极与电池的负极相连;

[0048] 第一谐振支路:一端连接所述第一桥臂的中性点,另一端连接电池的中性点;

[0049] 第二谐振支路：一端连接所述第二桥臂的中性点，另一端连接电池的中性点；

[0050] 其中，所述第一桥臂中的功率开关管通过第一组互补PWM信号驱动，所述第二桥臂中的功率开关管通过第二组互补PWM信号驱动，所述第一PWM信号与所述第二PWM信号互补。

[0051] 在本发明提供的实施例中是以电动汽车动力电池(电池组)为例，但本领域技术人员知道，本发明的应用并不限于电动汽车中。

[0052] 如图1所示，动力电池组3可分为两相等的串联模组 $V_{b1}$ 和 $V_{b2}$ ， $R_{b1}$ 和 $R_{b2}$ 分别为电池组内阻， $L_{b1}$ 和 $L_{b2}$ 则为高频寄生电感。动力电池组3正极和负极分别于四只功率开关管( $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 和 $S_4$ )相连，功率开关管构成两组桥臂，即桥臂1和桥臂2，每个桥臂的功率开关管之间源极与漏极首尾串联。动力电池组3中性点引出分别与两组相同的谐振支路(4、5)相连，谐振元件中电感为 $L$ ，电容为 $C$ ， $R$ 表示谐振支路中的寄生电阻。充电控制开关 $S_c$ 控制动力电池组与外界的充电桩6之间的连接：当充电桩6插头插入电动汽车充电座后， $S_c$ 闭合，动力电池组3可以接收充电桩传递的电能；当电动汽车未与充电桩连接时， $S_c$ 断开，动力电池组无法接收充电桩传递的电能。根据动力电池是否与充电桩相连接，产生一路逻辑信号，控制两组PWM驱动信号的移相角。若该逻辑信号为1，表示动力电池与充电桩相联，则移相角控制为 $0^\circ$ ，电池加热能量由充电桩提供；若该逻辑信号为0，表示动力电池与充电桩断开，则移相角控制为 $180^\circ$ ，加热能量由动力电池本身提供。

[0053] 桥臂1和桥臂2的功率开关受两组互补的高频PWM信号驱动，占空比均为50%，可以在不同的工作模式下使电池高频充、放电，产生近似正弦波的加热电流，利用电池欧姆内阻从内部对低温电池进行加热。本实施例所述的车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统可根据是否接入充电桩，灵活选择加热供电电源进行加热。其控制方法如图2所示：当充电桩接入时，开关 $S_c$ 闭合，加热控制器判断可以使用充电桩传输电能进行加热，随后给出驱动信号，控制桥臂2功率开关的PWM驱动信号载波移相角为 $0^\circ$ ，此时桥臂1和桥臂2的PWM驱动信号载波相位完全一致。当充电桩未接入电动汽车时，开关 $S_c$ 断开，加热控制器由此判断仅能使用动力电池自供电的方式进行加热，随后给出驱动信号，控制控制桥臂2功率开关的PWM驱动信号载波移相角为 $180^\circ$ ，此时桥臂1和桥臂2的PWM驱动信号载波相位完全相反。

[0054] 根据供电来源不同，本实施例所述的车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统具有两种不同的工作模式，既可以在外接充电桩时利用电网能量进行动力电池预热，亦可在无外界供电的情况下利用动力电池自身能量进行预热。其工作模式可结合图3-4描述如下：

[0055] (1) 使用充电桩供电时，充电控制开关 $S_c$ 闭合，此时桥臂1和桥臂2的PWM驱动信号载波相位完全一致，即 $S_1$ 和 $S_2$ 同时开通和关断， $S_3$ 和 $S_4$ 同时开通和关断。当 $S_1$ 和 $S_2$ 同时开通时，加热系统等效电路如图3a所示。 $V_{ch}$ 为充电桩提供的等效直流充电电压，其值略大于动力电池组电压 $V_{b1}+V_{b2}$ 。此时，加热电路中有两个等效谐振回路，均通过谐振支路4和谐振支路5并联形成的等效支路进行能量交换，其谐振频率均为 $f_r=1/2\pi\sqrt{LC}$ 。 $V_{b1}$ 对谐振支路放电，将能量储存入谐振支路中；而 $V_{b2}$ 则被谐振支路和充电桩同时充电，补充能量。

[0056] (2) 使用充电桩供电时，当 $S_1$ 和 $S_2$ 同时关断后，加热系统等效电路如图3b所示。此时， $V_{b1}$ 被充电桩和谐振支路同时充电；而 $V_{b2}$ 则对谐振支路放电，补充谐振支路失去的能量。图3a和3b所示的工作状态一直重复，动力电池组不断充、放电形成高频加热电流，产生热能对电池进行预热。注意这一工作模态中，热能是由充电桩供电提供的，故动力电池电量不会

损失。

[0057] (3) 使用动力电池自主供电时, 充电控制开关 $S_c$ 断开, 此时桥臂1和桥臂2的PWM驱动信号载波相位相反, 即 $S_1$ 和 $S_3$ 同时开通和关断,  $S_2$ 和 $S_4$ 同时开通和关断。当 $S_1$ 和 $S_3$ 同时开通时, 加热系统等效电路如图4a所示。此时, 加热电路中存在两个等效谐振回路:  $V_{b1}$ 通过谐振支路2进行充、放电, 与谐振支路2进行能量交换;  $V_{b2}$ 通过谐振支路4进行充、放电, 与谐振支路4进行能量交换, 其谐振频率均为 $f_r = 1/2\pi\sqrt{LC}$ 。

[0058] (4) 使用动力电池自主供电时, 当 $S_1$ 和 $S_3$ 同时关断后, 加热系统等效电路如图4b所示。此时, 加热电路中存在两个等效谐振回路:  $V_{b1}$ 通过谐振支路4进行充、放电, 与谐振支路4进行能量交换;  $V_{b2}$ 通过谐振支路5进行充、放电, 与谐振支路4进行能量交换, 其谐振频率均为 $f_r = 1/2\pi\sqrt{LC}$ 。图4a和4b所示的工作状态一直重复, 动力电池组不断充、放电形成高频加热电流, 产生热能对电池进行预热。注意这一工作模态中, 热能是由动力电池自身提供的, 故动力电池电量会略有下降。

[0059] 根据所使用半导体功率开关管不同, 本实施例所述的车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统可以选择不同的开关频率, 均可实现软开关切换状态, 减小高频开关损耗, 提高系统的效率和可靠性。其工作原理叙述如下:

[0060] (1) 当使用IGBT作为功率开关管时, 由于其关断时拖尾电流特性较差, 因此希望其工作在零电流关断(ZCS)状态, 减小关断损耗和应力, 提高可靠性。如图5a所示, 此时本发明所述的车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统开关频率可以设定为大于0.5倍的谐振频率。以 $S_1$ 管为例, 此IGBT管关断脉冲信号到来之前, 管电流 $I_{s1}$ 已经反向经由反并联二极管续流, 故而关断时IGBT管电流为0, 无关断损耗, 大大减小了开关损耗。

[0061] (2) 当使用MOSFET作为功率开关管时, 由于其开通损耗较大, 因此希望其工作在零电压开通(ZVS)状态, 减小开关损耗和应力, 提高可靠性。如图5b所示, 此时本发明所述的车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统开关频率可以设定为小于0.5倍的谐振频率。以 $S_1$ 管为例, 此MOSFET管开通脉冲信号到来之前, 其反并联二极管已经开始导通续流, 故而开通时管压降 $V_{s1}$ 基本为0, 无开通损耗, 大大减小了开关损耗。

[0062] 根据动力电池及谐振支路相应元件参数, 本实施例所述的车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统的加热电流时域微分方程可以通过理论分析得到。然后, 由于其属于超越微分方程, 无法得到有效的加热电流时域解析表达式, 只能通过数值方法去进行求解。通过使用数学工具软件, 可以得到本发明所述的车载动力电池双路供电谐振式低温交流加热系统的加热电流有效值随开关频率 $f_s$ 和谐振元件特征阻抗( $Z_r = \sqrt{L/C}$ )变化的趋势。将这一结果归一化后, 交流加热电流有效值倍率如图6所示, 可以根据所需加热的动力电池在相应温度下所容许的最大充、放电电流及加热器谐振元件参数, 采用查表法决定相应的加热器开关频率, 调节低温加热交流电流, 使得其有效值低于当前温度下动力电池最大容许充、放电电流, 保证低温加热的安全、可靠性。

[0063] 在上述的一种电池双路供电谐振式交流加热系统的基础上, 本发明还提供了一种电池双路供电谐振式交流加热系统的控制方法, 采用上述的电池双路供电谐振式交流加热系统, 执行包括如下操作:

[0064] 根据电池的标称电压以及第一谐振支路和第一谐振支路的元件参数, 选择第一

PWM信号与第二PWM信号的信号频率,使交流加热电流的幅值低于当前温度下电池最大容许充、放电电流;

[0065] 根据第一谐振支路和第一谐振支路的谐振频率以及功率开关管的类型,调节开关频率,满足软开关特性;

[0066] 根据电池是否与充电设备连接,产生一路逻辑信号,控制第一PWM信号与第二PWM信号的移相角,使电池连接充电设备与否两种状态下的移相角不同。

[0067] 具体的,在功率开关管为IGBT管时,调节开关频率大于0.5倍谐振频率,实现零电流关断;在功率开关管为MOSFET管时,调节开关频率小于0.5倍谐振频率,实现零电压开通。在电池与充电设备连接状态下,所述逻辑信号为1,控制所述移相角为 $0^{\circ}$ ,电池加热能量由充电设备提供;在电池与充电设备非连接状态下,所述逻辑信号为0,控制所述移相角为 $180^{\circ}$ ,电池加热能量由电池本身提供。

[0068] 本发明说明书的电池双路供电谐振式交流加热系统可应用于多种电池系统中,例如上述的电动汽车电池系统,本发明对此不做限定。

[0069] 本领域技术人员知道,除了以纯计算机可读程序代码方式实现本发明提供的系统及其各个装置、模块、单元以外,完全可以通过将方法步骤进行逻辑编程来使得本发明提供的系统及其各个装置、模块、单元以逻辑门、开关、专用集成电路、可编程逻辑控制器以及嵌入式微控制器等的形式来实现相同功能。所以,本发明提供的系统及其各项装置、模块、单元可以被认为是一种硬件部件,而对其内包括的用于实现各种功能的装置、模块、单元也可以视为硬件部件内的结构;也可以将用于实现各种功能的装置、模块、单元视为既可以是实现方法的软件模块又可以是硬件部件内的结构。

[0070] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改,这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下,本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。

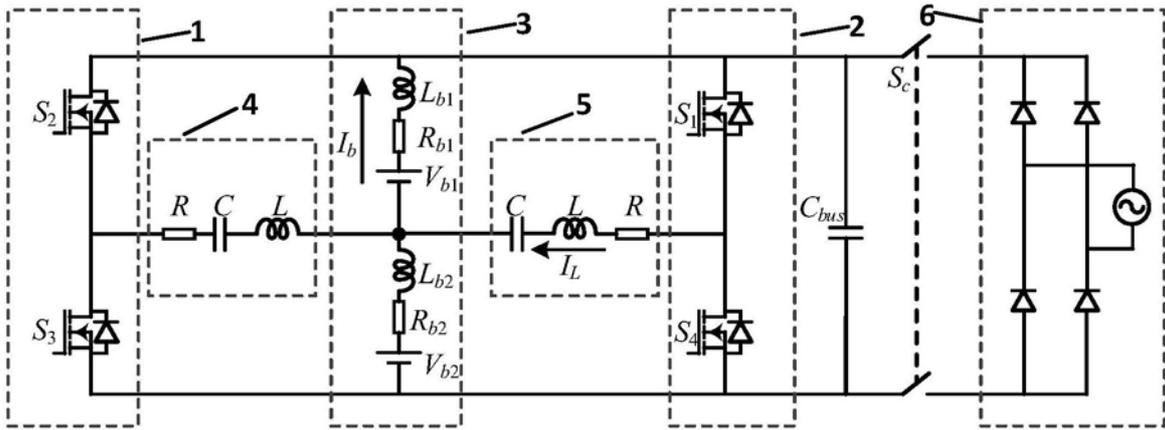


图1

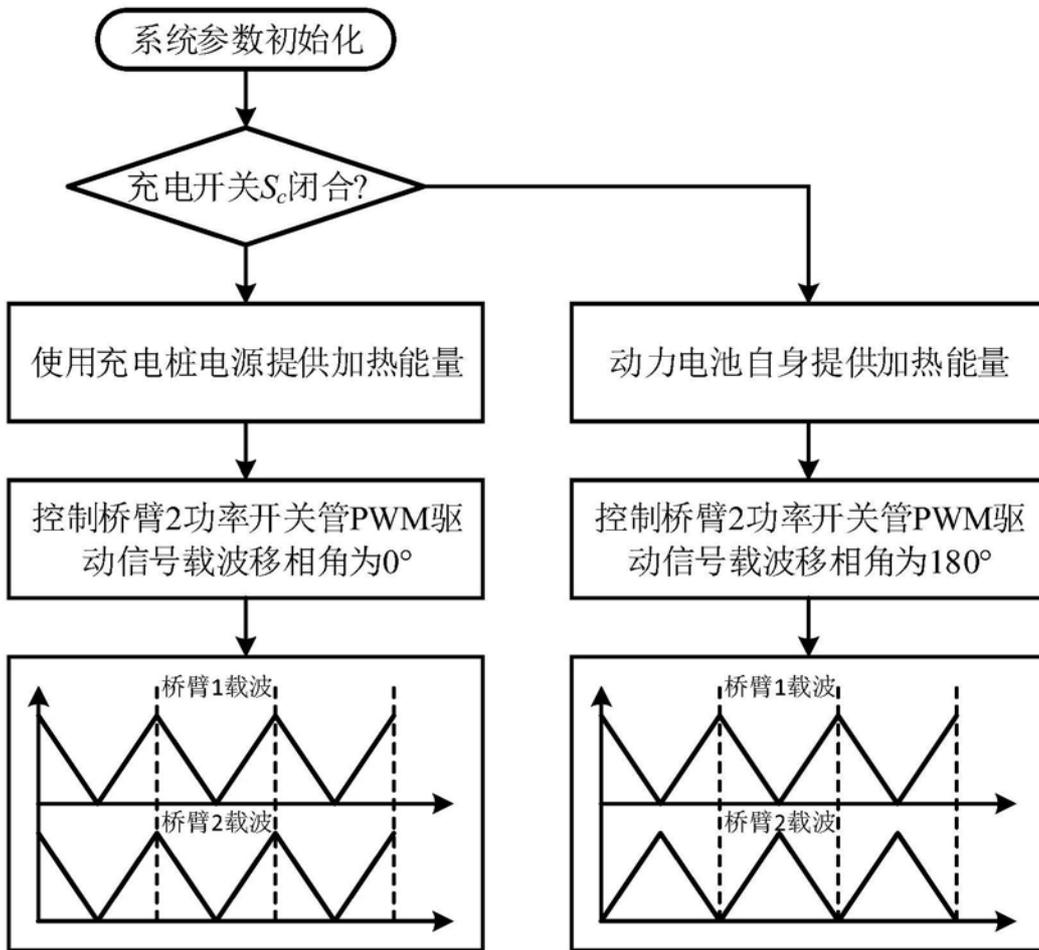


图2

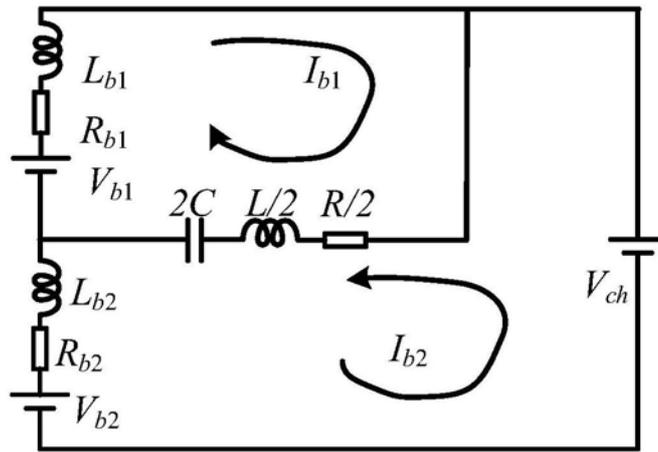


图3a

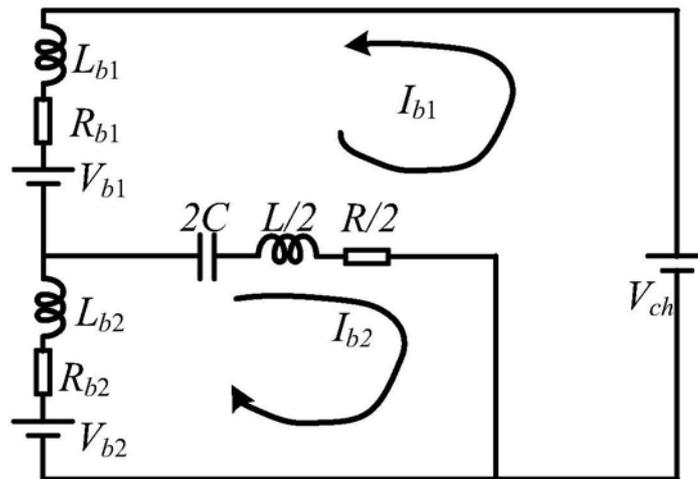


图3b

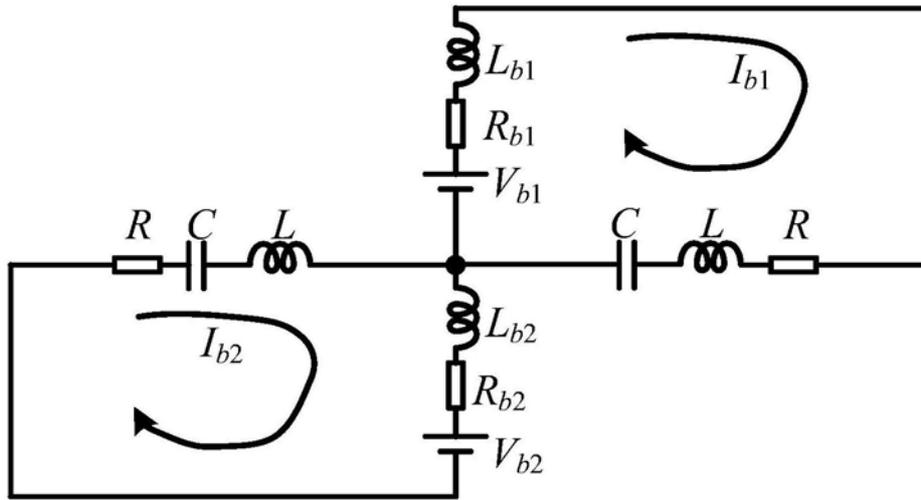


图4a

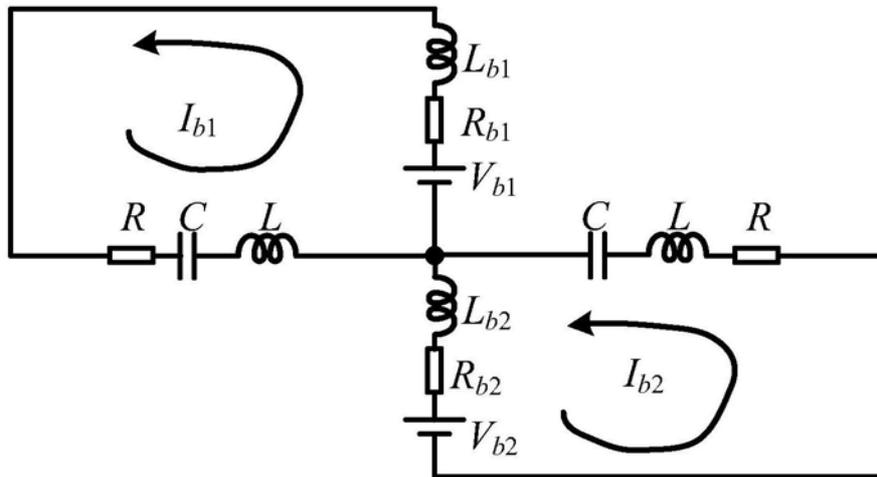


图4b

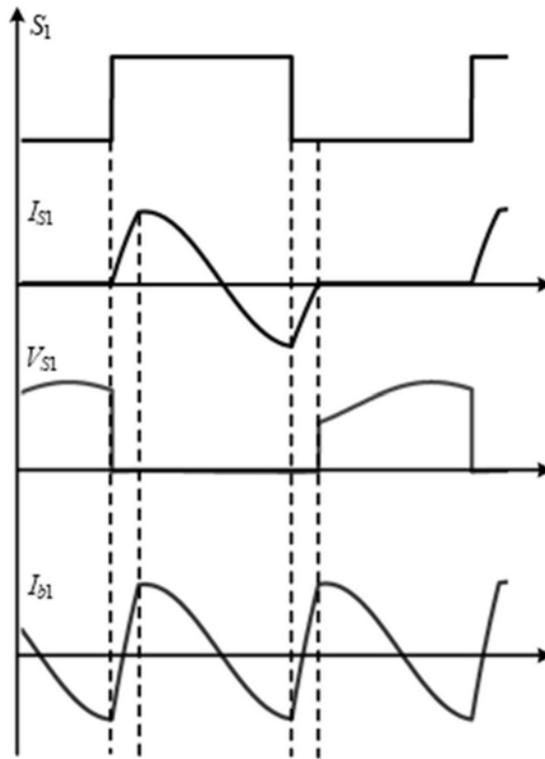


图5a

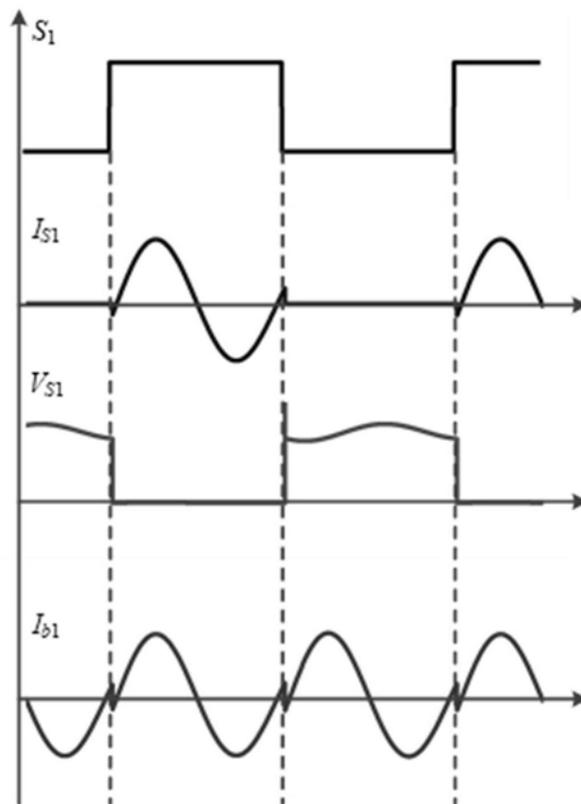


图5b

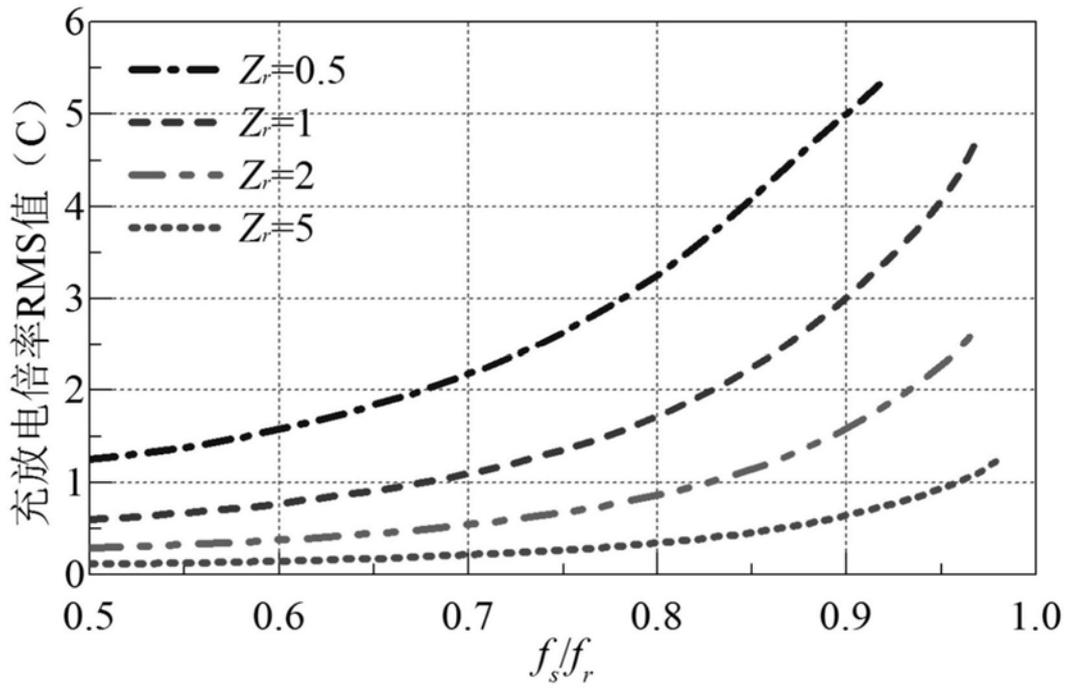


图6