



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105305859 B

(45)授权公告日 2018.06.22

(21)申请号 201510672395.4

H02J 7/00(2006.01)

(22)申请日 2015.10.19

H02P 6/00(2016.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105305859 A

(56)对比文件

CN 102931901 A, 2013.02.13, 说明书第32段至第35段及附图2.

(43)申请公布日 2016.02.03

TW 201014132 A, 2010.04.01, 说明书第32段至第35段及附图2.

(73)专利权人 南京信息工程大学

地址 210044 江苏省南京市浦口区宁六路219号

CN 103119840 A, 2013.05.22, 全文.

US 2011188276 A1, 2011.08.04, 全文.

(72)发明人 蔡骏

审查员 付文英

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司

公司 32224

代理人 母秋松 董建林

(51)Int.Cl.

H02M 7/48(2007.01)

H02M 3/10(2006.01)

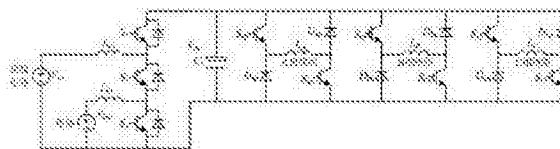
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器

(57)摘要

本发明采用一种三开关串联型双输入DC-DC变换器与开关磁阻电机不对称半桥电路级联的功率变换器拓扑作为电池、超级电容混合动力电动汽车开关磁阻电机驱动系统的主功率变换器,其源端DC-DC变换器可以实现电池和超级电容的双源接入,并使得后级不对称半桥功率变换器母线电压可调,而后级不对称半桥功率电路则可实现开关磁阻电机的驱动控制。本发明可以同时满足电池、超级电容双储能源输入控制和开关磁阻电机驱动控制的要求。此外,该功率变换器有效节省了开关管资源,可进一步降低系统成本和体积,具备高集成度、轻型化和低成本等优点。



1. 一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器,包括:电池、超级电容、A相绕组、B相绕组、C相绕组,其特征在于:还包括:三开关管串联型双输入DC-DC变换器、不对称半桥功率变换器,所述三开关管串联型双输入DC-DC变换器包括开关管S1、开关管S2、开关管S3,开关管S1、开关管S2、开关管S3相互串联,电池、超级电容分别通过输入滤波电感Lb1和输入滤波电感Lu1接入三开关管串联型双输入DC-DC变换器a和b两点,所述开关管S1,开关管S2、开关管S3均反并有二极管,所述三开关管串联型双输入DC-DC变换器输出端并联有母线滤波电容C1;所述不对称半桥功率变换器包括第一桥臂、第二桥臂、第三桥臂,所述第一桥臂包括开关管Sap、开关管San、功率二极管Dap、功率二极管Dan,所述开关管Sap、开关管San之间串入A相绕组,功率二极管Dap、功率二极管Dan构成A相绕组关断续流回路;所述第二桥臂包括开关管Sbp、开关管Sbn、功率二极管Dbp、功率二极管Dbn,所述开关管Sbp、开关管Sbn之间串入B相绕组,功率二极管Dbp、功率二极管Dbn构成B相绕组关断续流回路;第三桥臂包括开关管Scp、开关管Scn、功率二极管Dcp、功率二极管Dcn,所述开关管Scp、开关管Scn之间串入C相绕组,功率二极管Dcp、功率二极管Dcn构成C相绕组关断续流回路;所述第一桥臂、第二桥臂、第三桥臂之间相并联,所述三开关管串联型双输入DC-DC变换器、不对称半桥功率变换器相级联。

2. 基于权利要求1的一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器工作方法,其特征在于:包括步骤如下:

步骤一:采用一个三开关管串联型双输入DC-DC变换器拓扑结构实现电池和超级电容的混合储能源接入;

步骤二:将三开关管级联双输入DC-DC变换器与开关磁阻电机不对称半桥功率变换器级联,构成整个电动汽车驱动电机的功率变换器拓扑;

步骤三:以三个开关管串联型DC-DC变换器输出端电压以及超级电容输出功率为控制参量,将DC-DC变换器的三个开关管在任意一个开关周期内按两管开通一管关断的逻辑进行控制,即可等效控制为两个相对独立的传统的Buck/Boost双向DC-DC变换器,从而实现电池和超级电容的能量传输控制,DC-DC变换器输出端电压即开关磁阻电机不对称半桥功率变换器母线电压亦能得到升压和稳定控制;

步骤四:三个开关管串联型DC-DC变换器输出端作为开关磁阻电机不对称半桥电路的母线端,通过采用开关磁阻电机不对称半桥电路实现开关磁阻电机的驱动控制和能量回馈控制;

步骤五:通过对三开关管串联型双输入DC-DC变换器控制,可使超级电容吸收不对称半桥功率变换器控制开关磁阻电机时的续流回馈能量,避免对电池的频繁充电,利于电池健康管理;

步骤六:利用整个电动汽车驱动电机功率变换器拓扑结构,结合步骤三至步骤五所述的控制方法,可使得整个系统具备电池、超级电容的混合储能源的接入能力,并可根据电动汽车特殊运行工况要求实现对开关磁阻电机的控制。

## 一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器,属于电动汽车电机驱动技术领域。

### 背景技术

[0002] 电机驱动系统是电动汽车最为核心的部分,目前技术较为成熟的直流电动机、交流感应电机和永磁同步电机已在电动汽车领域得到了广泛的应用。相较于直流电机和感应电机,永磁同步电机具有高效率、高功率密度、高转矩密度等优点,在电动汽车领域极具竞争力。但由于依赖稀土永磁材料,其发展必然受到稀土资源和成本的制约。因此,研究高性能的无需稀土永磁材料的电机系统是电动汽车驱动电机技术的发展趋势。开关磁阻电机(SRM)作为新型无需稀土永磁材料电机的代表在近年来得到了广泛的研究,其结构简单坚固,定转子无永磁体且转子无绕组,具有良好的高速性能和环境适应性。此外,其控制灵活、起动扭矩大电流小、调速性能佳、容错能力强,因而非常适合电动汽车的频繁启停、增减速、爬坡等工况。开关磁阻电机将是未来电动汽车驱动电机最为重要的选择之一。

[0003] 从电动汽车能量存储的角度,将锂电池与具备高功率密度的超级电容结合而构成混合能量存储系统,则可以使得存储能源兼具高能量密度和高功率密度的特性,从而可更好地满足电动车起动和加速性能要求,并可提高制动能量回收效率并改善电池寿命。电池和超级电容组合的混合能量存储系统不仅可以用作混合动力电动汽车和燃料电池电动汽车的辅助动力源,也可以作为纯电动汽车的主动动力源。因此,采用电池和超级电容混合能量存储系统供电的电动汽车开关磁阻电机驱动系统则是未来电动汽车的一种典型的驱动系统结构。目前在电动汽车开关磁阻电机系统的研究中,主要是针对电池单源供电而进行的,对于混合存储除能源供电的开关磁阻电机系统并没有进行系统研究。

[0004] 功率变换器作为混合能量存储系统与开关磁阻电机的功率传输接口,需要兼顾储能源的接入和开关磁阻电机的控制。在目前的研究中,开关磁阻电机的功率主电路可以有多种形式,其中不对称半桥主电路由于各相完全独立、控制灵活、换相能力强、容错能力强和可靠性强等优点,在SRM驱动系统中应用最为广泛,也是目前最适合电动汽车应用的SRM功率变换器。就电池接入开关磁阻电机功率变换器而言,目前主要有采用电池直接接入SRM功率变换器直流母线端的方式,以及分别采用Boost和Buck/Boost DC-DC变换器来实现母线电压调节的方式。相对于直接接入母线的方式,利用DC-DC变换器可以降低母线电压的波动,有利于缓解由于母线电压波动而引起的SRM转矩脉动,同时可避免SRM在续流或制动模式下对电池频繁充电而影响电池寿命。

[0005] 在新能源发电领域,近年来所研究的电池和超级电容的混合能量存储系统的功率变换器主要有如下几种拓扑结构:1)全被动型结构(拓扑1),即电池与超级电容并联直接接入逆变器直流母线端;2)半被动型结构(拓扑2),该结构中超级电容(电池)经双向DC-DC变换器后与电池(超级电容)并联接入直流母线端;3)全主动型结构1(拓扑3),该结构采用将电池和超级电容经两个独立的双向DC-DC变换器并联后接入直流母线端的方式;4)全主动

型结构2(拓扑4),即采用一个双输入双向DC-DC变换器来替代拓扑3)中的两个DC-DC变换器的方法。相较于前三种拓扑结构,拓扑4采用紧凑的多输入DC-DC变换器结构可以有效降低系统成本和体积,同时可以实现双储能功率可控和超级电容的高效利用,也增加了储能源选取灵活性。因此,采用双输入或多输入双向DC-DC变换器的拓扑结构将是实现混合能量存储系统接入的一种最具潜力的方式。

## 发明内容

[0006] 目的:为了解决电池、超级电容混合动力电动汽车开关磁阻电机驱动系统中双储能源输入的能量管理以及开关磁阻电机驱动控制问题,本发明提供一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器。

[0007] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:

[0008] 一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器,包括:电池、超级电容、A相绕组、B相绕组、C相绕组,还包括:DC-DC变换器、不对称半桥功率变换器,所述DC-DC变换器包括开关管S1、开关管S2、开关管S3,开关管S1、开关管S2、开关管S3相互串联,电池、超级电容分别通过输入滤波电感Lb1和输入滤波电感Lu1接入DC-DC变换器a和b两点,所述开关管S3,开关管S1、开关管S2均反并有二极管,所述DC-DC变换器输出端并联有母线滤波电容C1;所述不对称半桥功率变换器包括第一桥臂、第二桥臂、第三桥臂,所述第一桥臂包括开关管Sap、开关管San、功率二极管Dap、功率二极管Dan,所述开关管Sap、开关管San之间串入A相绕组,功率二极管Dap、功率二极管Dan构成A相绕组关断续流回路;所述第二桥臂包括开关管Sbp、开关管Sbn、功率二极管Dbp、功率二极管Dbn,所述开关管Sbp、开关管Sbn之间串入B相绕组,功率二极管Dbp、功率二极管Dbn构成B相绕组关断续流回路;第三桥臂包括开关管Scp、开关管Scn、功率二极管Dcp、功率二极管Dcn,所述开关管Scp、开关管Scn之间串入C相绕组,功率二极管Dcp、功率二极管Dcn构成C相绕组关断续流回路;所述第一桥臂、第二桥臂、第三桥臂之间相并联,所述DC-DC变换器、不对称半桥功率变换器相级联。

[0009] 一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器工作方法,包括步骤如下:

[0010] 步骤一:采用一个三开关管串联型双输入DC-DC变换器拓扑结构实现电池和超级电容的混合储能接入;

[0011] 步骤二:将三开关管级联双输入DC-DC变换器与开关磁阻电机不对称半桥功率变换器级联,构成整个电动汽车驱动电机的功率变换器拓扑;

[0012] 步骤三:以三个开关管串联型DC-DC变换器输出端电压以及超级电容输出功率为控制参量,将DC-DC变换器的三个开关管在任意一个开关周期内按两管开通一管关断的逻辑进行控制,即可等效控制为两个相对独立的传统的Buck/Boost双向DC-DC变换器,从而实现电池和超级电容的能量传输控制,DC-DC变换器输出端电压即开关磁阻电机不对称半桥功率变换器母线电压亦能得到升压和稳定控制;

[0013] 步骤四:三个开关管串联型DC-DC变换器输出端作为开关磁阻电机不对称半桥电路的母线端,通过采用开关磁阻电机不对称半桥电路实现开关磁阻电机的驱动控制和能量回馈控制;

[0014] 步骤五:通过对三开关管串联型双输入DC-DC变换器控制,可使超级电容吸收不对称半桥功率变换器控制开关磁阻电机时的续流回馈能量,避免对电池的频繁充电,利于电

池健康管理；

[0015] 步骤六：利用整个电动汽车驱动电机功率变换器拓扑结构，结合步骤三至步骤五所述的控制方法，可使得整个系统具备电池、超级电容的混合储能源的接入能力，并可根据电动汽车特殊运行工况要求实现对开关磁阻电机的控制。

[0016] 有益效果：本发明提供了一种电池超级电容电动车开关磁阻电机功率变换器，对于电动汽车开关磁阻电机驱动系统而言，采用一种紧凑型的双输入DC-DC变换器与不对称半桥功率变换器结合，可以同时满足电池、超级电容双储能源输入控制和开关磁阻电机驱动控制的要求。此外，该功率变换器有效节省了开关管资源，可进一步降低系统成本和体积，具备高集成度、轻型化和低成本等优点。

[0017] 1. 本发明的功率变换器拓扑中，采用源端三个开关管串联型DC-DC变换器可以同时控制电池和超级电容双源的输出能量分配，可避免开关磁阻电机关断续流直接对电池充电而影响电池寿命，有利于电池的健康管理。

[0018] 2. 本发明的功率变换器拓扑中，采用源端三个开关管串联型DC-DC变换器可以实现后级不对称半桥功率变换器电路的母线电压升压和调节，可以有效控制母线电压波动，从而进一步降低开关磁阻电机的转矩脉动，提高开关磁阻电机驱动性能。

[0019] 3. 本发明的电动汽车电机驱动功率变换器拓扑可实现电池和超级电容的双源混合输入控制和开关磁阻电机驱动控制，其储能源端具备高能量密度和高功率密度的特性，更符合电动汽车复杂运行工况以及续航能力的要求，可进一步提升开关磁阻电机在未来电动汽车中的应用价值。

## 附图说明

[0020] 图1为本发明的电池、超级电容混合动力电动汽车开关磁阻电机驱动系统功率变换器拓扑结构；

[0021] 图2为本发明的电池、超级电容接入的三开关串联式双输入DC-DC变换器拓扑；

[0022] 图3为图2所述变换器的开关管S1和S2视为一个开关管 $S^{\wedge}$ 时的等效Buck/Boost双向DC-DC变换器；

[0023] 图4为图2所述变换器的开关管S2和S3视为一个开关管 $S^*$ 时的等效Buck/Boost双向DC-DC变换器；

[0024] 图5为传统的采用两个Buck/Boost双向DC-DC变换器并联的双电源接入功率变换器；

[0025] 图6为开关磁阻电机不对称半桥功率变换器拓扑。

## 具体实施方式

[0026] 本发明采用一种三开关串联型双输入DC-DC变换器与开关磁阻电机不对称半桥电路级联的功率变换器拓扑作为电池、超级电容混合动力电动汽车开关磁阻电机驱动系统的主功率变换器，其源端DC-DC变换器可以实现电池和超级电容的双源接入，并使得后级不对称半桥功率变换器母线电压的可调，而后级不对称半桥功率电路则可实现开关磁阻电机的驱动控制。

[0027] 下面结合附图对发明的技术方案进行详细说明：

[0028] 如图1所示,功率变换器主要分为两个部分,即前级端DC-DC变换器部分和后级不对称半桥功率变换器部分。其中,前级端DC-DC变换器为如图2所示,从结构上看,前级端DC-DC变换器主电路由三个开关管S1、S2、S3串联而成,其输入端的电池和超级电容,分别通过DC-DC变换器输入滤波电感Lb1和Lu1接入变换器a和b两点,DC-DC变换器的输出端为后级功率变换器的母线端,其中C1为母线滤波电容。后级功率变换器电路,如图6所示,以三相开关磁阻电机为例的,以A相为例,功率变换器第一桥臂两个开关管Sap和San之间串入开关磁阻电机的A相绕组,并采用两个功率二极管Dap和Dan构成相绕组关断续流回路,B相和C相接法与之相同。将前级端的三开关串联式双输入DC-DC变换器与后级端不对称半桥电路相级联,即构成本发明的电池、超级电容混合动力电动汽车开关磁阻电机驱动系统功率变换器拓扑。

[0029] 该拓扑的前级端和后级端变换器的控制方法和功能不同,下面结合附图分别予以说明。

[0030] 如图2如示,DC-DC变换器的输入端为电池和超级电容混合输入,输出端为图5所示不对称半桥变换器的母线端。如图3所示,对于输入源Vbat而言,如果将开关管S1和开关管S2视为一个开关管S<sup>^</sup>,那么开关管S<sup>^</sup>、开关管S3和电池Vbat将等效于一个Buck/Boost双向DC-DC变换器。同理,如图4所示,对于输入源超级电容Vuc而言,若将开关管S2和开关管S3视为一个开关管S\*,那么开关管S\*、开关管S1和超级电容Vuc则可等效于另一个Buck/Boost双向DC-DC变换器。因此,DC-DC变换器相较于如图5所示传统的采用两个Buck/Boost变换器并联的结构节省了一个开关管,将有利于提高系统集成度,降低系统成本和体积。

[0031] 从控制的角度,可将DC-DC变换器等效为两个独立的Buck/Boost变换器来控制,即只要满足所等效的Buck/Boost变换器的上、下管开关信号互补原则。因此,对于DC-DC变换器的三个开关管而言,在任意一个开关周期内,均有且只有一个开关管断开,而另外两个开通。遵循该控制逻辑,本发明采用母线电压外环和输入源Vbat的输入电流内环级联的双闭环控制来获取开关管S3的控制信号,同时通过设定输入源Vuc的输出功率而获取该源输出电流的参考值,并通过电流闭环获取开关管S1的控制信号,从而利用与非门逻辑而得到公共开关管S2的控制信号。通过该控制方式,可实现开关磁阻电机驱动控制所需母线电压的调节以及输入源Vuc的功率控制,而根据输入输出能量守恒原理,DC-DC变换器可以利用输入源Vbat来实现开关磁阻电机驱动所需功率与输入源Vuc的输出功率间的差值的调节。

[0032] 图6所示的开关磁阻电机不对称半桥功率变换器与图2所示的三开关串联式双输入DC-DC变换器级联,功率变换器母线电压由前端DC-DC变换器控制,通过采用开关磁阻电机电流斩波控制和角度位置控制方法可以控制不对称半桥功率变换器各桥臂开关管开通与关断,从而实现开关磁阻电机的驱动控制。在相非导通状态,绕组电流可以通过桥臂的上、下续流二极管续流而回馈至源端,在无需改变源端三开关串联式DC-DC变换器的控制方法的前提下,通过合理调节超级电容的功率参考值,可以使得超级电容能有效的回收开关磁阻电机回馈能量。该方式可以充分利用超级电容可频繁充放电的特点,避免回馈能量直接给电池充电,利于电池的健康管理。

[0033] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

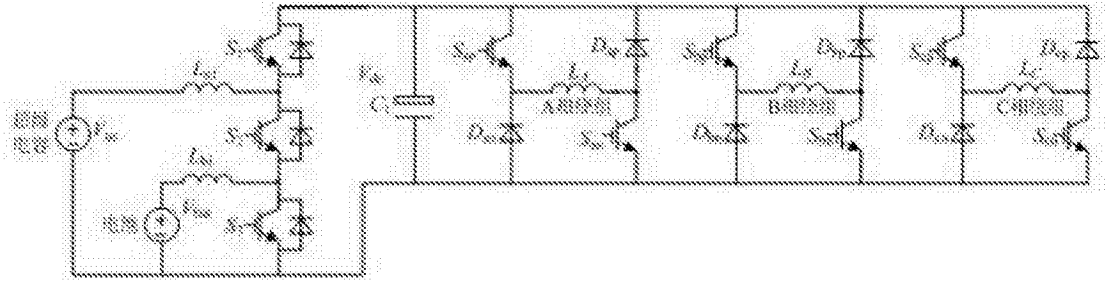


图1

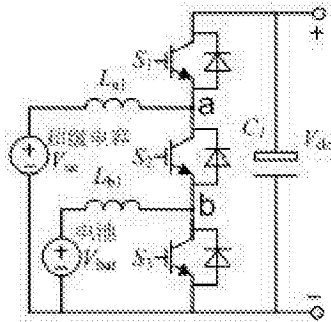


图2

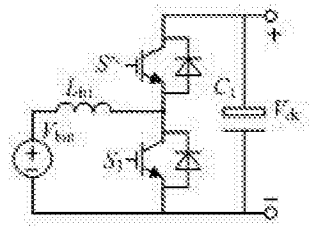


图3

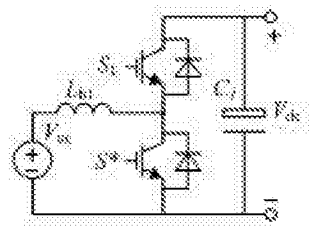


图4

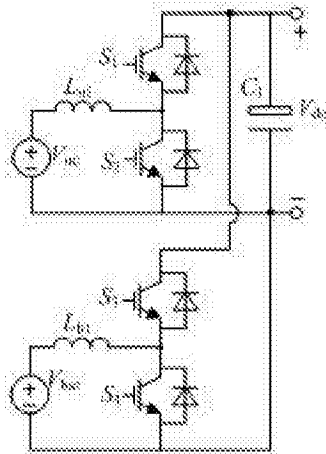


图5

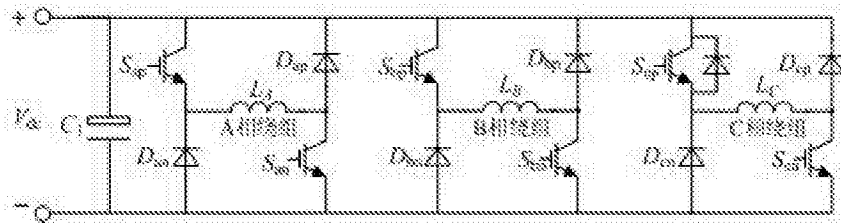


图6