(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102611203 B
(45)授权公告日 2014.03.05

(21)申请号 201210066119.X

(22)申请日 2012.03.14

(73)专利权人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区清华园 1 号清华大学汽车系

(72)发明人 李建秋 徐梁飞 帅志斌 欧阳明高 卢兰光 杨福源

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
代理人 徐宁 关畅

(51)Int.Cl.
H02J 15/00(2006.01)
H02J 7/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 102290845 A,2011.12.21,参见说明书第 0031 段、图 6.
US 2011/0128760 A1,2011.06.02,说明书第 0031 段、图 6.
EP 2058918 A2,2009.05.13,全文.

审查员 曹玮

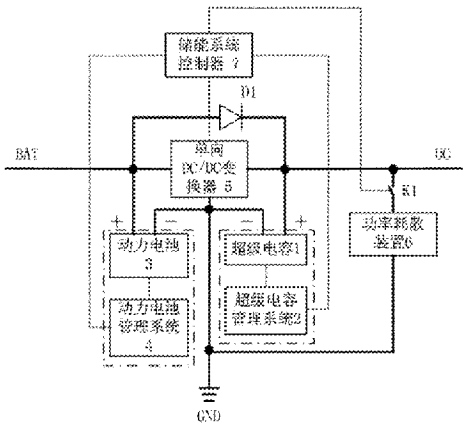
权利要求书1页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

一种车用高效复合储能系统

(57)摘要

本发明涉及一种车用高效复合储能系统，它包括超级电容及控制其工作的超级电容管理系统、动力电池及控制其工作的动力电池管理系统、单向 DC/DC 变换器、功率二极管，功能耗散装置、功率开关和储能系统控制器；单向 DC/DC 变换器并联功率二极管，功率二极管的阳极连接单向 DC/DC 变换器的输出端，功率二极管的阴极连接单向 DC/DC 变换器的输入端；功率二极管的阳极还连接动力电池的正极，阴极还连接超级电容的正极；动力电池负极、超级电容负极和单向 DC/DC 变换器共地；超级电容的正极和负极之间还连接有串联的功率开关和功率耗散装置；动力电池管理系统、超级电容管理系统、功率开关和单向 DC/DC 变换器均由储能系统控制器协调控制工作。本发明能广泛应用于新能源汽车储能系统应用中。



CN 102611203 B

1. 一种车用高效复合储能系统，其特征在于：它包括超级电容及控制其工作的超级电容管理系统、动力电池及控制其工作的动力电池管理系统、单向 DC/DC 变换器、功率二极管，功能耗散装置、功率开关和储能系统控制器；

所述单向 DC/DC 变换器并联所述功率二极管，所述功率二极管的阳极连接所述单向 DC/DC 变换器的输出端，所述功率二极管的阴极连接所述单向 DC/DC 变换器的输入端；所述功率二极管的阳极还连接所述动力电池的正极，阴极还连接所述超级电容的正极；所述动力电池负极、超级电容负极和单向 DC/DC 变换器共地；所述超级电容的正极和负极之间还连接有串联的所述功率开关和功率耗散装置；所述动力电池管理系统、超级电容管理系统、功率开关和单向 DC/DC 变换器均由所述储能系统控制器协调控制工作；

所述动力电池和超级电容的端电压满足关系式：$V_{BAT} \leqslant V_{UC}+V_{D1}$，则所述车用高效复合储能系统具有联合驱动态、解耦态和联合回馈态三种储能状态；其中 V_{BAT} 为所述动力电池的端电压，V_{UC} 为所述超级电容的端电压，V_{D1} 为所述功率二极管两端的电压降。

2. 如权利要求 1 所述的一种车用高效复合储能系统，其特征在于：所述车用高效复合储能系统通过三个端口与新能源汽车的动力系统接口连接，所述三个端口分别为所述动力电池正极 BAT 端、所述超级电容正极端 UC 端和地线 GND 端。

3. 如权利要求 1 所述的一种车用高效复合储能系统，其特征在于：所述单向 DC/DC 变换器采用降压型单向 DC/DC 变换器，其通断状态和工作模式由所述储能系统控制器控制。

4. 如权利要求 2 所述的一种车用高效复合储能系统，其特征在于：所述单向 DC/DC 变换器采用降压型单向 DC/DC 变换器，其通断状态和工作模式由所述储能系统控制器控制。

5. 如权利要求 1 所述的一种车用高效复合储能系统，其特征在于：所述联合驱动态满足 $V_{BAT}=V_{UC}+V_{D1}$，所述单向 DC/DC 变换器和功率开关都关断；从所述 BAT 端输出的能量均由所述动力电池提供，从所述 UC 端输出的能量由所述动力电池和超级电容共同提供；从所述 BAT 端输入的能量为所述动力电池和超级电容充电，从所述 UC 端输入的能量只能为所述超级电容充电。

6. 如权利要求 1 所述的一种车用高效复合储能系统，其特征在于：所述解耦态满足 $V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，所述单向 DC/DC 变换器和功率开关都关断；所述动力电池只能通过所述 BAT 端充放电，所述超级电容只能通过所述 UC 端充放电。

7. 如权利要求 1 所述的一种车用高效复合储能系统，其特征在于：所述联合回馈态满足 $V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，所述单向 DC/DC 变换器导通，所述功率开关关断或接通；通过控制所述单向 DC/DC 变换器工作模式，控制电流从所述 UC 端流向所述 BAT 端，为所述动力电池充电或为所述 BAT 端的负载提供能量；同时，电流通过接通的所述功率开关流经所述功率耗散装置。

8. 如权利要求 1 或 2 或 3 或 4 或 5 或 6 或 7 所述的一种车用高效复合储能系统，其特征在于：所述功率耗散装置主要由功率电阻、电容和电感组成，所述功率电阻与所述电容并联，之后与所述电感串联。

一种车用高效复合储能系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种新能源汽车储能系统，特别是关于一种基于超级电容和动力电池的车用高效复合储能系统。

背景技术

[0002] 随着能源危机和全球变暖问题的日趋严峻，节能减排已成为全球汽车行业的紧迫任务，新能源汽车因此得到了快速的发展，而混合动力汽车和纯电动车是新能源汽车中最有发展前景的两类。混合动力汽车的动力系统主要由动力单元和储能系统构成，动力单元的作用是将车用燃料的化学能转换成机械能并最终转换成电能（柴油机或汽油机），或直接转换成电能（燃料电池发动机）；储能系统的作用是提供动力单元和其他车载附件启动过程所需的能量，并为动力单元提供一个能量的“缓存”，帮助提高整车的峰值功率输出能力，同时在车辆制动时回收制动能量，起到“吸峰填谷”的作用，有效地避免了动力单元峰值功率输出能力差、动态响应慢等缺点，提高车辆的动力性和经济性，并能提高某些动力单元（如燃料电池发动机）的使用寿命和耐久性；如果储能系统的容量足够大（如某些Plug-in车型），还可以帮助提高车辆的续驶里程。纯电动车的动力系统则主要由储能系统构成，储能系统提供车辆行驶过程中所需的全部能量，是车辆的动力源。

[0003] 一种常用的车用储能系统为动力电池，如镍氢电池、锂聚合物电池等，其中发展最快、最有应用前景的是锂聚合物电池，它的优点是储能容量大，工作电压变化范围小，能够为动力单元提供足够稳定的“缓存”，但其充放电效率一般较低（85％左右）、充放电电流不能太大，使得制动能量回馈利用率不高，系统的经济性受到限制；动力电池的充放电循环使用寿命低（约几千次）、且对环境适应性较差（不耐低温），使得系统的维护成本高、应用范围受到限制。另一种车用储能系统为超级电容，它的优点是充放电效率高，能够达到99％，充放电循环使用寿命也高（可以达到100万次），并且温度适用范围宽（-40℃～65℃），因此，能够高效利用瞬态制动回馈的功率。但是相对于动力电池而言，超级电容的比容量比动力电池小，因此每次充放电的能量较小，不能充分地实现“吸峰填谷”的功能，难以保证车辆的持续加速爬坡能力和持续大强度制动时能量回收的能力。此外，由于超级电容的端电压随着电池荷电状态(State of Charge，SOC)变化很大，会导致车载附件的供电电压不平稳。

[0004] 为了兼顾动力电池和超级电容的优点，出现了将二者以一定关系进行连接所组成的复合储能系统。最典型的一种是将动力电池和超级电容各通过一个双向DC/DC变换器连接到动力系统的直流母线上，通过双向DC/DC变换器分别对动力电池和超级电容的充放电过程进行控制（如图1所示）。整个系统既具有动力电池储能容量大的优点，又具有超级电容充放电效率高和寿命长的优点，在浅度充放时使用超级电容，深度充放时使用动力电池，能够较好地完成“吸峰填谷”的功能，对系统的使用寿命也有较大的改善作用。但是，采用这种构型的复合储能系统的缺点也很明显：系统中需要使用两个双向DC/DC变换器，成本较高，响应时间慢，效率低，因为所有进出超级电容和动力电池的能量都要经过双向DC/DC变换器两次，假设双向DC/DC变换器的效率为95％，那么能量进出双向DC/DC变换器的效率

就只有 95% ×95%＝ 90.25%。

[0005] 另外一种由动力电池和超级电容组成的复合储能系统舍弃了 DC/DC 变换器的使用，将动力电池和超级电容都直接连接在直流母线上（如图 2 所示）。这种结构避免了能量进出双向 DC/DC 变换器所造成的损失，但其缺点是不能充分利用超级电容的容量：由于动力电池的端电压随 SOC 的变化是硬特性（即 SOC 变化很大，而端电压变化不大），而超级电容的端电压随 SOC 的变化是软特性（即 SOC 发生变化时，端电压也随之有较大的变化），因此在系统工作时，直流母线的电压始终被动力电池维持在一个很窄的变化范围内，导致超级电容的端电压和对应的 SOC 也在很窄的范围内变化，不能进行充分的充放电，使得超级电容的优势受到很大的局限。

发明内容

[0006] 针对上述问题，本发明的目的是提供一种具有高效和大电流回收制动能量的能力，能够实现制动能量回馈利用的最优化，提高整车的经济性能和动力性能，有效地降低系统成本和控制难度，并能减少在双向 DC/DC 转换器上损失能量的车用高效复合储能系统。

[0007] 为实现上述目的，本发明采取以下技术方案：一种车用高效复合储能系统，其特征在于：它包括超级电容及控制其工作的超级电容管理系统、动力电池及控制其工作的动力电池管理系统、单向 DC/DC 变换器、功率二极管，功能耗散装置、功率开关和储能系统控制器；所述单向 DC/DC 变换器并联所述功率二极管，所述功率二极管的阳极连接所述单向 DC/DC 变换器的输出端，所述功率二极管的阴极连接所述单向 DC/DC 变换器的输入端；所述功率二极管的阳极还连接所述动力电池的正极，阴极还连接所述超级电容的正极；所述动力电池负极、超级电容负极和单向 DC/DC 变换器共地；所述超级电容的正极和负极之间还连接有串联的所述功率开关和功率耗散装置；所述动力电池管理系统、超级电容管理系统、功率开关和单向 DC/DC 变换器均由所述储能系统控制器协调控制工作。

[0008] 所述车用高效复合储能系统通过三个端口与新能源汽车的动力系统接口连接，所述三个端口分别为所述动力电池正极 BAT 端、所述超级电容正极端 UC 端和地线 GND 端。

[0009] 所述单向 DC/DC 变换器采用降压型单向 DC/DC 变换器，其通断状态和工作模式由所述储能系统控制器控制。

[0010] 所述动力电池和超级电容的端电压满足关系式：$V_{BAT} \leqslant V_{UC}+V_{D1}$，则所述车用高效复合储能系统具有联合驱动态、解耦态和联合回馈态三种储能状态；其中 V_{BAT} 为所述动力电池的端电压，V_{UC} 为所述超级电容的端电压，V_{D1} 为所述功率二极管两端的电压降。

[0011] 所述联合驱动态满足 $V_{BAT} = V_{UC}+V_{D1}$，所述单向 DC/DC 变换器和功率开关都关断；从所述 BAT 端输出的能量均由所述动力电池提供，从所述 UC 端输出的能量由所述动力电池和超级电容共同提供；从所述 BAT 端输入的能量为所述动力电池和超级电容充电，从所述 UC 端输入的能量只能为所述超级电容充电。

[0012] 所述解耦态满足 $V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，所述单向 DC/DC 变换器和功率开关都关断；所述动力电池只能通过所述 BAT 端充放电，所述超级电容只能通过所述 UC 端充放电。

[0013] 所述联合回馈态满足 $V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，所述单向 DC/DC 变换器导通，所述功率开关关断或接通；通过控制所述单向 DC/DC 变换器工作模式，控制电流从所述 UC 端流向所述 BAT 端，为所述动力电池充电或为所述 BAT 端的负载提供能量；同时，电流通过接通的所述功率

开关流经所述功率耗散装置。

[0014] 所述功率耗散装置主要由功率电阻、电容和电感组成，所述功率电阻与所述电容并联，之后与所述电感串联。

[0015] 本发明由于采取以上技术方案，其具有以下优点：1、本发明由于采用通过并联的功率二极管和单向 DC/DC 变换器将动力电池和超级电容进行连接，能够充分兼顾动力电池储能容量大和超级电容瞬时充放电功率大等优点，使得整个储能系统不仅具有较大的电能存储量，还具有高效和大电流回收制动能量的能力，能够实现制动能量回馈利用的最优化，从而提高整车的经济性能和动力性能。2、本发明由于采用一个单向 DC/DC 变换器和一个功率二极管即可实现动力电池和超级电容的有效协同工作，避免了双向 DC/DC 变换器的使用，在完全实现系统功能的前提下，有效地降低了系统的成本和控制难度，并减少了在双向 DC/DC 变换器上的能量损失。3、本发明由于在超级电容的正负极之间还连接有串联的功率开关和功率耗散装置，在超级电容和动力电池都充满电的情况下仍可继续吸收回馈的制动能量。减轻了新能源汽车在持续大强度制动的情况下机械制动系统的负担，并减少了机械制动系统的磨损。本发明可以广泛应用于新能源汽车储能系统应用中。

附图说明

[0016] 图 1 是现有技术中使用双向 DC/DC 变换器将动力电池和超级电容相结合的复合储能系统结构示意图；

[0017] 图 2 是现有技术中将动力电池和超级电容直接连接的复合储能系统结构示意图；

[0018] 图 3 是本发明的整体结构示意图；

[0019] 图 4 是本发明在混合动力车上应用的结构示意图；

[0020] 图 5 是本发明应用在车辆启动和正常驱动时的功率流向示意图；

[0021] 图 6 是本发明应用在制动能量回馈阶段一中的功率流向示意图；

[0022] 图 7 是本发明应用在制动能量回馈阶段二中的功率流向示意图；

[0023] 图 8 是本发明应用在制动能量回馈阶段三中的功率流向示意图；

[0024] 其中，各附图中粗实线表示复合储能系统中的电力连接线，细虚线表示通讯及控制信号线（包括控制器之间的 CAN 或 FlexRay 网络通讯总线，以及数字量、模拟量信号线）。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0026] 如图 3 所示，本发明提供了一种是利用现有技术中的超级电容 1 及控制其工作的超级电容管理系统 2、动力电池 3 及控制其工作的动力电池管理系统 4 相结合的车用高效复合储能系统，其包括单向 DC/DC 变换器 5、功率二极管 D1，功能耗散装置 6、功率开关 K1 和储能系统控制器 7。

[0027] 单向 DC/DC 变换器 5 并联功率二极管 D1，功率二极管 D1 的阳极连接单向 DC/DC 变换器的输出端，功率二极管 D1 的阴极连接单向 DC/DC 变换器的输入端；功率二极管 D1 的阳极还连接动力电池 3 的正极，功率二极管 D1 的阴极还连接超级电容 1 的正极，且动力电池 3 负极、超级电容 1 负极和单向 DC/DC 变换器 5 共地。在超级电容 1 的正极和负极之间还连接有串联的功率开关 K1 和功率耗散装置 6，功率耗散装置 6 用于在动力电池 3 和超级电

容 1 都充满电的情况下继续吸收系统回馈的制动能量。其中，动力电池管理系统 2、超级电容管理系统 2、功率开关 K1 和单向 DC/DC 变换器 5 均由储能系统控制器 7 协调控制工作，储能系统控制器 7 通过数字量、模拟量信号线实现简单信息的传递，并通过 CAN 通讯网络或 FlexRay 通讯网络实现大量数据的交换。

[0028] 当本发明在新能源汽车上应用时，车用高效复合储能系统通过三个端口与新能源汽车的动力系统接口连接，三个端口分别是动力电池 3 正极（称为 BAT 端）、超级电容 1 正极（称为 UC 端）和地线（称为 GND 端）。现有技术中车辆的整车控制器接收各部件控制器或管理单元发来的各部件运行状态相关信息，结合驾驶员的钥匙信号、加速踏板信号、制动踏板信号等操纵信号以及车辆的行驶状况，依据整车控制策略，向各部件控制器或管理系统下达控制命令，实现对整个混合动力系统的综合协调控制。

[0029] 上述实施例中，单向 DC/DC 变换器 5 采用降压型单向 DC/DC 变换器，该降压型单向 DC/DC 变换器可以工作在恒压模式和恒流模式，其通断状态和工作模式由储能系统控制器 7 控制；单向 DC/DC 变换器 5 输入端为高压端，与超级电容 1 正极连接，输出端为低压端，与动力电池 3 正极连接。

[0030] 上述各实施例中，功率耗散装置 6 主要由功率电阻、电容和电感组成，功率电阻与电容并联，之后与电感串联。功率耗散装置 6 由功率开关 K1 控制其工作，功率开关 K1 由储能系统控制器 7 控制其通断，进而使得功率耗散装置 6 消耗指定数值的恒定功率。功率耗散装置 6 中各个元器件的参数根据车辆在最高车速和满载质量的条件下进行回馈制动时电机驱动系统所能回收的最大功率进行选取。

[0031] 上述各实施例中，本发明主要是通过单向 DC/DC 变换器 5 与功率二极管 D1 的配合，实现了动力电池 3 工作电压和超级电容 1 工作电压的解耦，使二者都能在各自理想的使用工况下工作，将二者的优点进行了有效的融合。由于功率二极管 D1 的存在，动力电池 3 和超级电容 1 的端电压满足关系式：$V_{BAT} \leqslant V_{UC}+V_{D1}$，其中 V_{BAT} 为动力电池 3 的端电压，V_{UC} 为超级电容 1 的端电压，V_{D1} 为功率二极管 D1 两端的电压降。因此，结合现有技术中新能源汽车的控制策略，本发明存在联合驱动态、解耦态和联合回馈态三种储能状态：

[0032] 联合驱动态：$V_{BAT} = V_{UC}+V_{D1}$，单向 DC/DC 变换器 5 关断，功率开关 K1 关断。在这种状态下，从 BAT 端输出的能量均由动力电池 3 提供，从 UC 端输出的能量可以由动力电池 3 和超级电容 1 共同提供；从 BAT 端输入车用高效复合储能系统的能量可以为动力电池 3 和超级电容 1 充电，从 UC 端输入车用高效复合储能系统的能量只能为超级电容 1 充电。

[0033] 解耦态：$V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，单向 DC/DC 变换器 5 关断，功率开关 K1 关断。在这种状态下，动力电池 3 只能通过 BAT 端进行充放电，超级电容 1 只能通过 UC 端进行充放电。

[0034] 联合回馈态：$V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，单向 DC/DC 变换器 5 导通，功率开关 K1 关断或接通。在这种状态下，通过控制单向 DC/DC 变换器 5 工作在恒流模式或恒压模式，可以控制电流从 UC 端流向 BAT 端，为动力电池 3 充电或为 BAT 端的负载提供能量。同时电流也可通过接通的功率开关 K1 流经功率耗散装置 6。

[0035] 根据上述三种储能状态中车用高效复合储能系统的状态特点，在 BAT 端和 UC 端连接不同的负载或动力单元，即可充分发挥动力电池 3 和超级电容 1 各自的优点。

[0036] 下面通过一个典型实施例对本发明作进一步的介绍，将本发明的车用高效复合储能系统应用在混合动力汽车上。

[0037] 如图4所示，本发明与混合动力汽车的连接关系为：将混合动力汽车的动力单元8和车载附件9连接在本发明的BAT端，将混合动力汽车的电机10通过电机控制器11连接在本发明的UC端，混合动力汽车系统各部件共地。通过混合动力汽车的整车控制器控制动力单元8、电机10和车用高效复合储能系统中储能系统控制器7的协调工作。其中，动力单元8、动力电池3、超级电容1、电机10、电机控制器11、单向DC/DC变换器5、功率二极管D1、功率耗散装置6、功率开关K1、车载附件9共同构成了系统的电力部分，即强电部分；混合动力汽车的整车控制器、动力单元控制器12、动力电池管理系统4、超级电容管理系统2、电机控制器11、混合动力汽车的ABS制动控制系统（制动防抱死控制系统）、单向DC/DC变换器5共同构成了系统的控制部分，即弱电部分。则该混合动力汽车与本发明结合后在车辆启动驱动过程、正常行驶过程和制动过程中的工作原理如下：

[0038] 1）在启动阶段和正常行驶的驱动过程中：

[0039] 如图5所示，在车辆启动前和启动过程中，动力单元8不能立即对外输出功率，此时由储能系统控制器7控制单向DC/DC变换器5关断，功率开关K1断开，此时，$V_{BAT} \leqslant V_{UC}+V_{D1}$，本发明的车用高效复合储能系统处于状态一或状态二。若车用高效复合储能系统处于状态一，则由超级电容1和动力电池3共同放电驱动电机10，而车载附件9所需能量由动力电池3供给；若车用高效复合储能系统处于状态二，则车载附件9所需的能量仍由动力电池3提供，驱动电机10所需的能量则先由超级电容1提供，当超级电容1放电至端电压V_{UC}满足$V_{BAT} = V_{UC}+V_{D1}$时，进入状态一的模式，由超级电容1和动力电池3共同放电驱动电机10。在这整个过程中，没有能量经过单向DC/DC变换器5，几乎所有的能量都是从动力电池3和超级电容1直接供给用电设备的，只有功率二极管D1上会有少量的功率损耗，相对于整车功率而言基本可以忽略，因此，此过程中系统的能量效率非常高。

[0040] 在完成启动过程之后，车辆正常行驶的驱动过程之中，主要由动力单元8输出功率，此时由储能系统控制器7控制单向DC/DC变换器5关断，功率开关K1断开，此时，$V_{BAT} \leqslant V_{UC}+V_{D1}$，车用高效复合储能系统处于状态一或状态二。若车用高效复合储能系统处于状态一，即$V_{BAT} = V_{UC}+V_{D1}$，则当电机10与车载附件9的需求功率之和小于动力单元8的输出功率时，动力单元8还可为超级电容1和动力电池3同时充电，此时超级电容1和动力电池3的电压共同上升；当电机10与车载附件9的需求功率之和大于动力单元8的输出功率时（如车辆加速或爬坡等需要大功率输出的情况下），又可由超级电容1和动力电池3共同放电，辅助功率输出。若车用高效复合储能系统处于状态二，即$V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，则由超级电容1放电驱动电机10，动力单元8输出的功率用来为车载附件9供电或为动力电池3供电，当超级电容1放电至端电压V_{UC}满足$V_{BAT} = V_{UC}+V_{D1}$时，则进入状态一的模式。在这整个过程中，同样没有能量经过单向DC/DC变换器5，只有功率二极管D1上会有少量的功率损耗，相对于整车功率而言基本可以忽略，整个系统的能量效率仍然非常高。

[0041] 2）在车辆制动时，通过混合动力汽车的动力系统与ABS制动控制系统的配合，制动过程将分成三个阶段：

[0042] 阶段一：如图6所示，发生在车辆制动初期或轻度制动时，超级电容1未充满电的情况下，这种情况一般发生在市区工况行驶时车辆短时间轻度制动，或长时间制动过程的初期。阶段一中电机10工作在发电模式，产生制动回馈能量，动力单元8停止输出功率，由储能系统控制器7控制单向DC/DC变换器5关断，功率开关K1断开，车用高效复合储能系

统工作在状态一或状态二，由电机控制器 11 输出的制动回馈电流只能流向超级电容 1，为超级电容 1 充电。由于超级电容 1 的充放电效率很高 (99％左右)，充放电电流大、响应快，因此制动回馈产生的能量几乎能够全部被超级电容 1 吸收；此外，由于车辆在城区行驶工况中的制动基本都是频繁的轻度制动，使用超级电容 1 来吸收制动初期或频繁轻度制动的回馈能量还能充分利用超级电容 1 充放电循环使用寿命高的优点，避免动力电池 3 的频繁充放电，保护动力电池 3。在阶段一中，由电机控制器 11 产生的回馈能量直接进入超级电容 1，没有任何中间环节的损耗，因此具有极高的能量回馈效率，超级电容 1 快速高效率充放的优点也被充分发挥，能够尽可能多地高效回收轻度制动和制动过程初期所产生的能量。

[0043] 阶段二：如图 7 所示，发生在车辆制动时超级电容 1 已充满电而动力电池 3 还未充满电的情况下，这种情况一般发生在车辆深度制动过程中，经过阶段一的制动将超级电容 1 充满电之后。阶段二中电机 10 仍工作在发电模式，产生制动回馈能量，动力单元 8 停止输出功率，由储能系统控制器 7 控制单向 DC/DC 变换器 5 导通，功率开关 K1 断开，由于此时超级电容 1 已充满电，因此必然有 $V_{BAT} < V_{UC}+V_{D1}$，复合储能系统工作在状态三，则由电机控制器 11 输出的制动回馈电流经过单向 DC/DC 变换器 5 流向动力电池 3，为动力电池 3 充电，同时也为车载附件 9 供电，根据动力电池管理系统 4 的充放电策略，单向 DC/DC 变换器 5 可工作在恒流模式或恒压模式。在阶段二中，由电机控制器 11 产生的回馈能量经过单向 DC/DC 变换器 5 进入动力电池 3，进一步回馈制动能量，动力电池 3 容量大的优点被充分发挥，能够尽可能多地回收制动能量，而单向 DC/DC 变换器 5 的效率一般在 95％左右，因此该过程中的能量回馈效率也比使用双向 DC/DC 变换器时高很多。

[0044] 阶段三：如图 8 所示，发生在车辆制动时超级电容 1 和动力电池 3 均已充满电的情况下，这种情况一般发生在车辆持续大强度制动（如在山区行驶下长坡）过程中，经过阶段一和阶段二的制动将超级电容 1 和动力电池 3 都充满电之后。阶段三中电机 10 仍工作在发电模式，产生制动回馈能量，动力单元 8 停止输出功率，由储能系统控制器 7 控制单向 DC/DC 变换器 5 导通、功率开关 K1 接通，车辆高效复合储能系统工作在状态三，由电机控制器 11 输出的回馈电流有两个去向：通过单向 DC/DC 变换器 5 为车载附件 9 供电；通过功率开关 K1 流过功率耗散装置 6，以热能等形式消耗掉。因此，本发明的车辆高效复合储能系统能够有效减轻机械制动系统的负担，避免长时间大负荷机械制动导致制动系统发热、磨损，制动效率降低甚至失效。

[0045] 综上所述，本发明提供的使用超级电容 1 和动力电池 3 相结合的车用高效复合储能系统能够在车辆制动能量回馈时优先使用超级电容储能，在需要峰值功率输出时也能够优先使用超级电容释放能量，充分发挥了超级电容充放电效率高、电流大、响应快的优点，以及充放电循环使用寿命高的优点；同时，在制动能量回馈阶段超级电容充满电时动力电池可继续吸收回馈能量，在驱动阶段需要持续加速爬坡时动力电池也可持续输出能量，有效地增强了储能系统“吸峰填谷”的能力。而且，由于本发明通过功率二极管 D1 和单向 DC/DC 变换器 5 的并联连接，在保证动力电池 3 和超级电容 1 各自的优势能够得以充分发挥的前提下，使得在系统的各种工况中驱动电流和回馈电流流经的电力电子器件都达到了尽可能少的程度，中间环节的能量损耗降到了最低，避免了现有技术中使用双向 DC/DC 变换器的复合储能系统成本高、响应时间慢、中间环节能量损耗大等缺点；又实现了动力电池 3 的端电压 V_{BAT} 和超级电容 1 的端电压 V_{UC} 的解耦，使得超级电容 1 的端电压 V_{UC} 可以高于动力

电池 3 的端电压 V_{BAT}，能够进行更加充分的充放电，避免了现有技术中无 DC/DC 变换器的复合储能系统中超级电容的使用容量远低于实际容量的“容量浪费”情况。

[0046] 上述各实施例仅用于说明本发明，各部件的结构和连接方式都是可以有所变化的，在本发明技术方案的基础上，凡根据本发明原理对个别部件的连接和结构进行的改进和等同变换，均不应排除在本发明的保护范围之外。

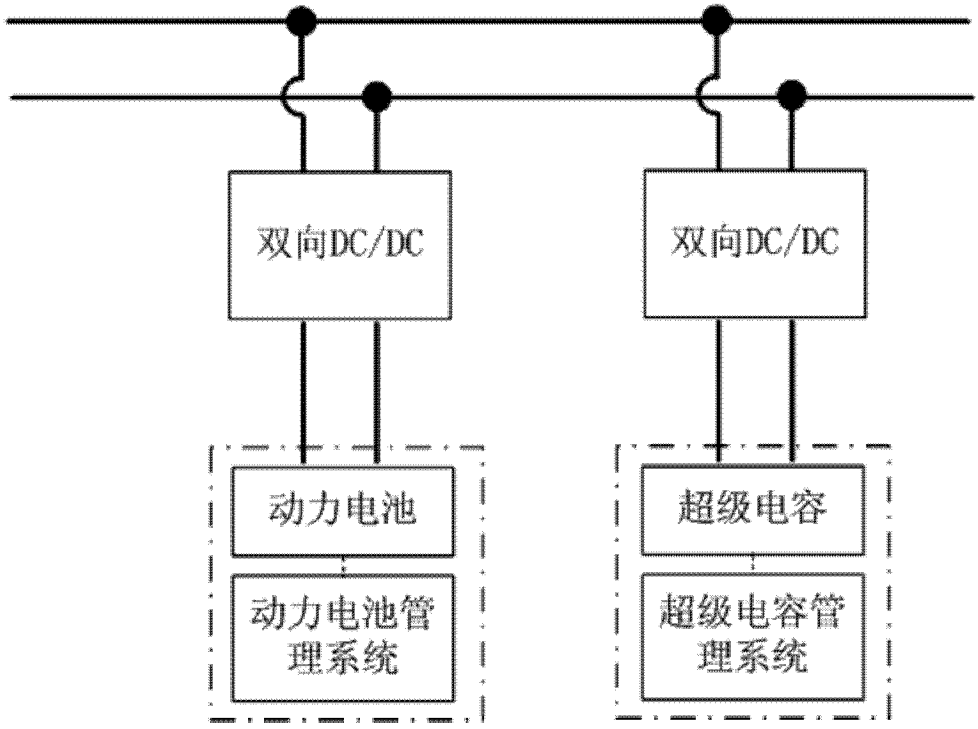

双向DC/DC
双向DC/DC
动力电池
动力电池管理系统
超级电容
超级电容管理系统

图 1

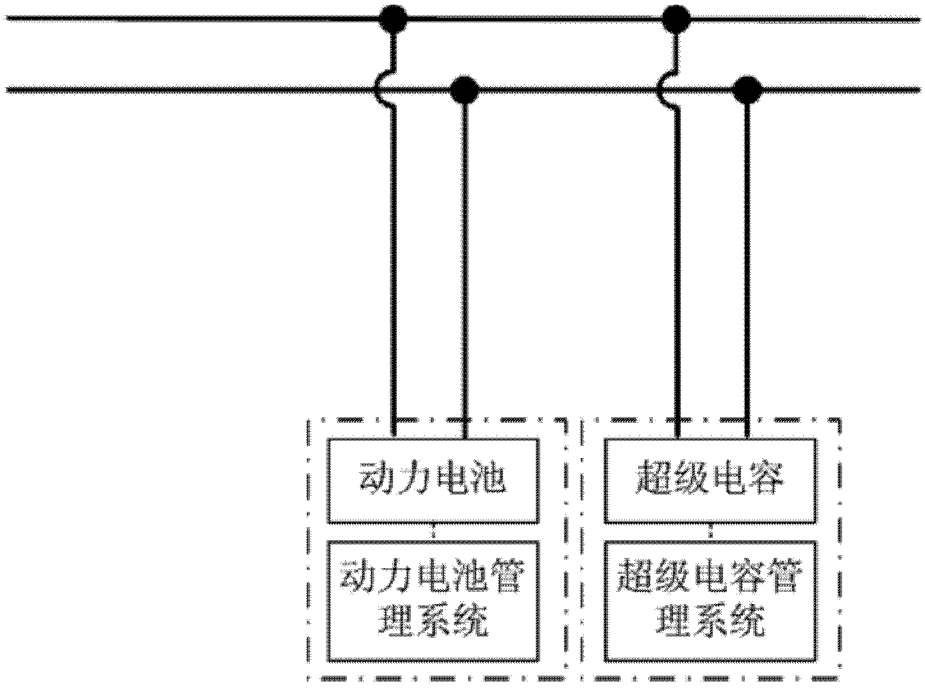

动力电池
动力电池管理系统
超级电容
超级电容管理系统

图 2

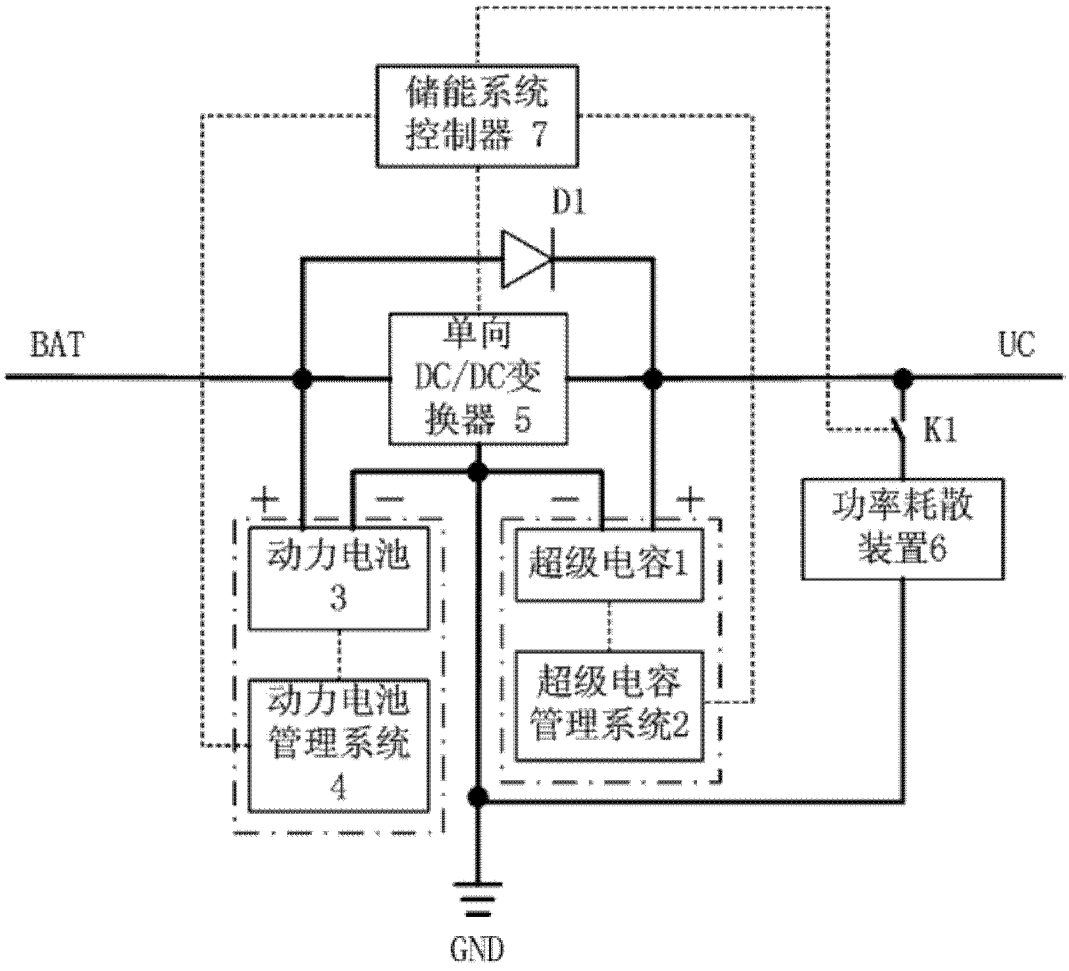

储能系统
控制器 7
D1
BAT
单向
DC/DC变
换器 5
UC
K1
功率耗散
装置6
动力电池
3
超级电容1
动力电池
管理系统
4
超级电容
管理系统2
GND

图 3

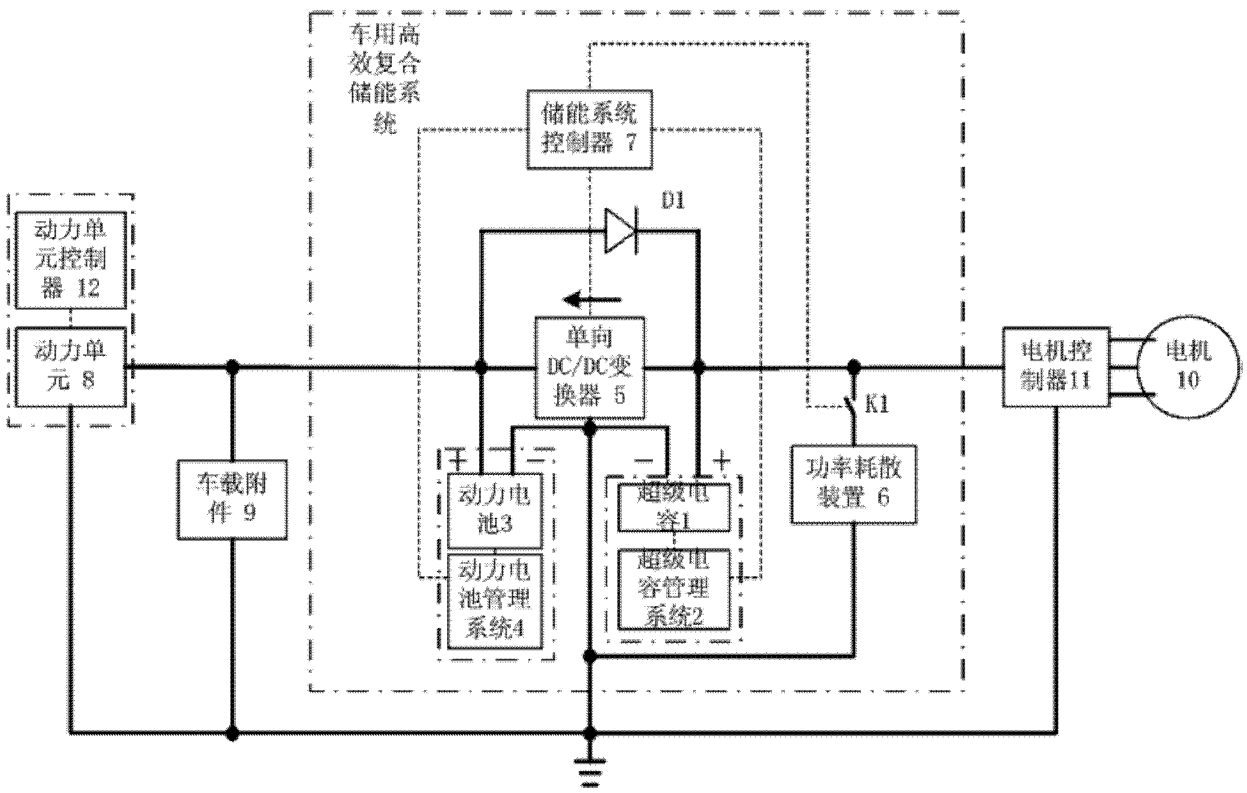

车用高效复合储能系统
储能系统控制器 7
D1
动力单元控制器 12
动力单元 8
单向DC/DC变换器 5
电机控制器11
电机10
K1
车载附件 9
动力电池3
超级电容1
功率耗散装置 6
动力电池管理系统4
超级电容管理系统2
+
-
+
-

图 4

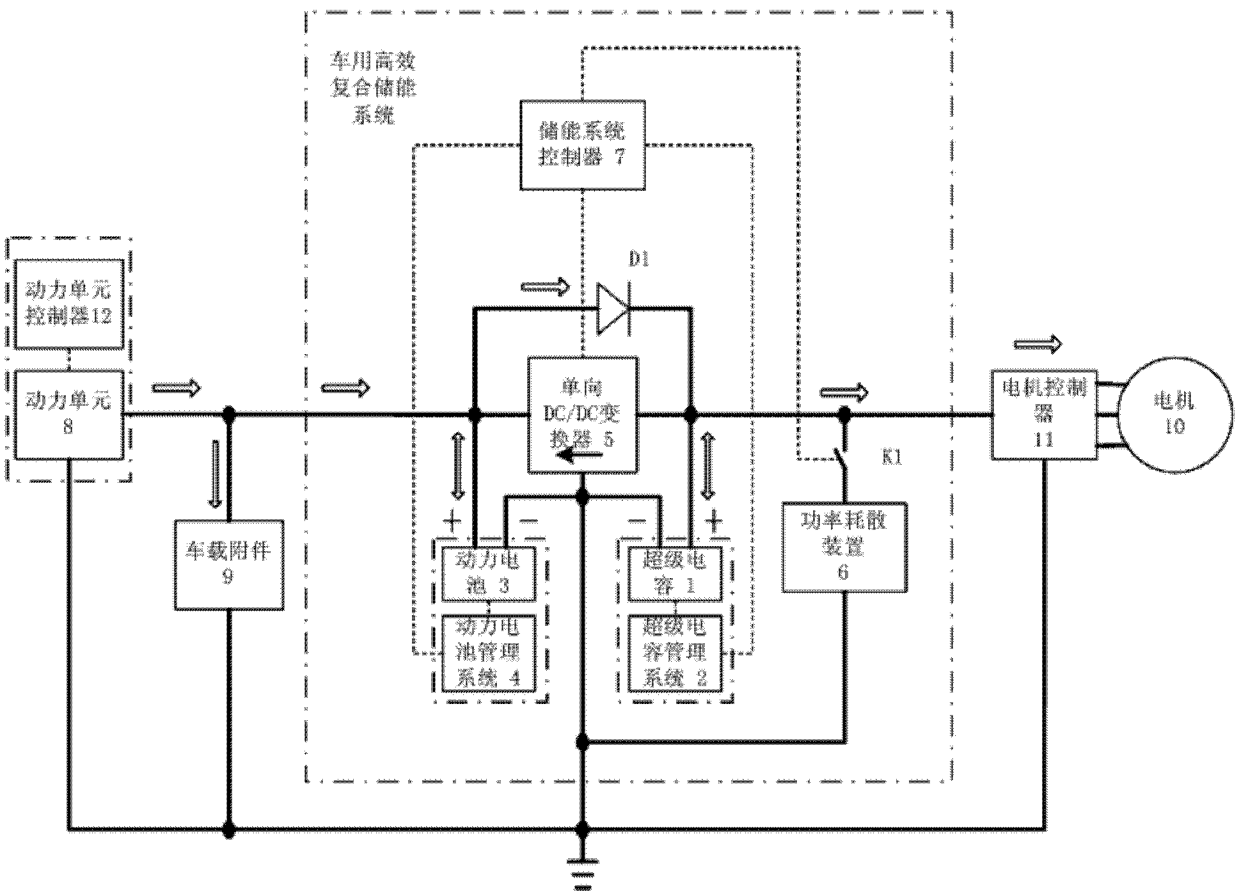

车用高效
复合储能
系统
储能系统
控制器 7
D1
动力单元
控制器12
动力单元
8
单向
DC/DC变
换器 5
电机控制
器
11
电机
10
K1
车载附件
9
动力电
池 3
超级电
容 1
功率耗散
装置
6
动力电
池管理
系统 4
超级电
容管理
系统 2

图 5

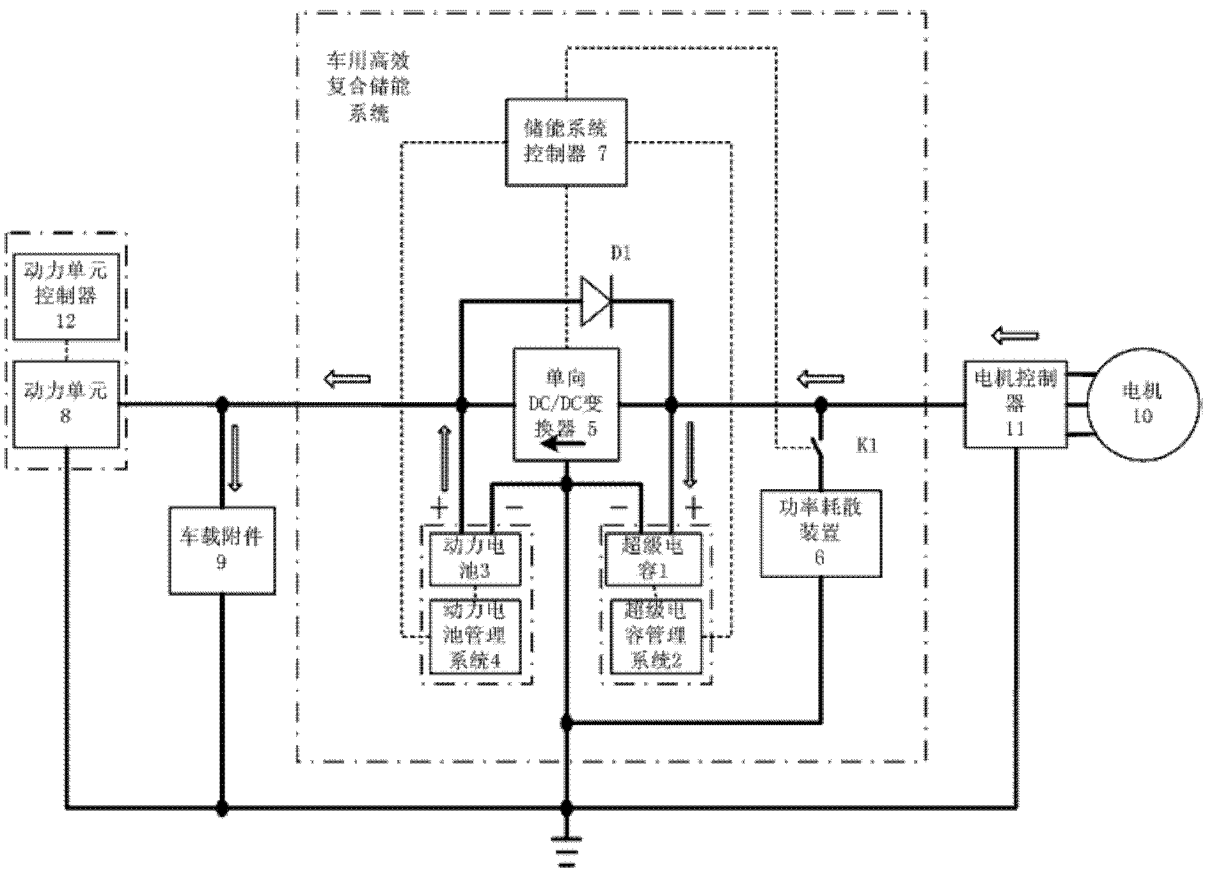

车用高效
复合储能
系统
储能系统
控制器 7
D1
动力单元
控制器
12
动力单元
8
单向
DC/DC变
换器 5
电机控制
器
11
电机
10
K1
车载附件
9
动力电
池3
超级电
容1
功率耗散
装置
6
动力电
池管理
系统4
超级电
容管理
系统2

图 6

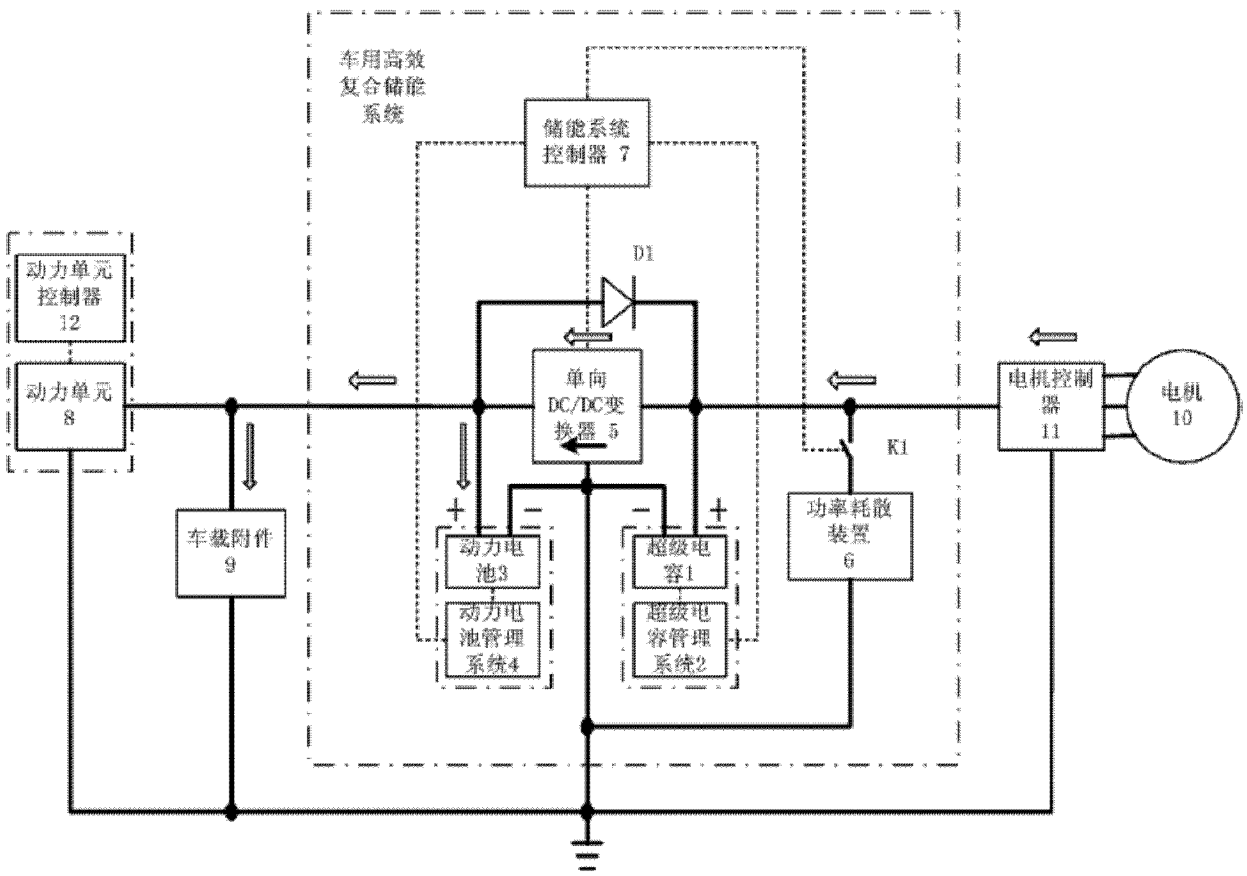

车用高效
复合储能
系统
储能系统
控制器 7
D1
动力单元
控制器
12
动力单元
8
单向
DC/DC变
换器 5
K1
电机控制
器
11
电机
10
车载附件
9
动力电
池3
动力电
池管理
系统4
超级电
容1
超级电
容管理
系统2
功率耗散
装置
6

图 7

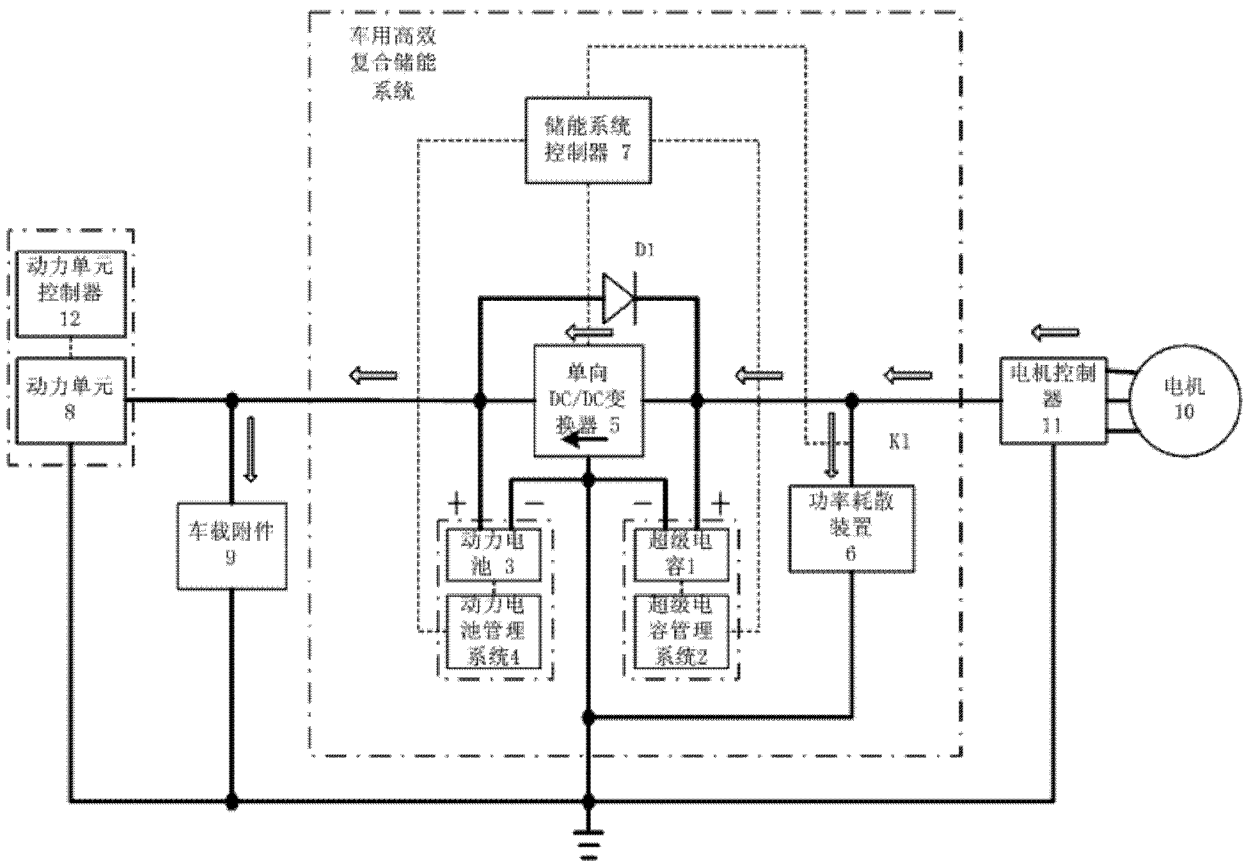

车用高效
复合储能
系统
储能系统
控制器 7
D1
动力单元
控制器
12
动力单元
8
单向
DC/DC变
换器 5
电机控制
器
11
电机
10
K1
车载附件
9
+
−
动力电
池 3
动力电
池管理
系统4
−
+
超级电
容1
超级电
容管理
系统2
功率耗散
装置
6

图 8