(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106143171 A
(43)申请公布日 2016.11.23

(21)申请号 201510148732.X

(22)申请日 2015.03.31

(71)申请人 通用电气公司
地址 美国纽约州

(72)发明人 李飞 朱鹏程 康鹏举

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 张东梅

(51)Int.Cl.
B60L 11/18(2006.01)

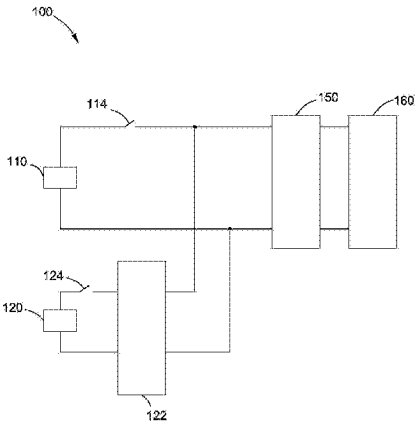
权利要求书2页 说明书6页 附图8页

(54)发明名称

多源能量存储系统及能量管理控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种多源能量存储系统，其包括第一能量存储系统、第二能量存储系统、第二直流－直流变换器和控制器。所述第一能量存储系统可选择地耦合到一电气负载，所述第二直流－直流变换器和控制器可选择地耦合在所述第二能量存储系统与所述第一能量存储系统和电气负载中的至少一个之间。所述控制器设置来控制所述第一和第二能量存储系统和所述第二直流－直流变换器在预充电模式和正常操作模式运行。在预充电模式时，第一能量存储系统经由第二直流－直流变换器给第二能量存储系统充电。在正常操作模式时，第二能量存储系统经由第二直流－直流变换器耦合到电气负载上。本发明还涉及一种用所述多源能量存储系统给电气负载提供电力的方法。



CN 106143171 A

1. 一种多源能量存储系统，其包括：

第一能量存储系统，其可选择地耦合到一电气负载；

第二能量存储系统；

第二直流－直流变换器，其可选择地耦合在所述第二能量存储系统与所述第一能量存储系统和电气负载中的至少一个之间；以及

控制器，设置来控制所述第一和第二能量存储系统和所述第二直流－直流变换器在预充电模式和正常操作模式下运行，其中：

在所述预充电模式时，所述第一能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器给所述第二能量存储系统充电；以及

在所述正常操作模式时，所述第二能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器耦合到所述电气负载上。

2. 如权利要求 1 所述的多源能量存储系统，其进一步包括：

第一直流－直流变换器，其可选择地耦合在所述第一能量存储系统和所述电气负载之间；以及

旁路，其可选择地耦合在所述第一能量存储系统与所述第一直流－直流变换器的输入端、第二直流－直流变换器的输入端及电气负载的输入端中的至少一个之间，其中，

在所述预充电模式时，所述第一能量存储系统通过所述旁路耦合到所述第二直流－直流变换器和所述电气负载，

在所述正常操作模式时，所述第一和第二能量存储系统分别通过所述第一和第二直流－直流变换器并行地耦合到所述电气负载。

3. 一种方法，其包括：

操作包括第一能量存储系统、第二能量存储系统和第二直流－直流变换器的多源能量存储系统，使其处于预充电模式，包括用所述第一能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器给所述第二能量存储系统充电；以及

操作所述多源能量存储系统使其处于正常操作模式，包括用所述第二能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器给电气负载提供电力。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其进一步包括：在所述预充电模式时基于所述第二直流－直流变换器的输出负载来调节所述第二直流－直流变换器的输入电流。

5. 如权利要求 3 所述的方法，其进一步包括：调节所述第一能量存储系统的母线电压，使其在所述正常操作模式时基本保持恒定。

6. 如权利要求 3 所述的方法，其中，操作所述多源能量存储系统使其处于正常操作模式进一步包括：用所述第一能量存储系统经由所述第一直流－直流变换器给所述电气负载提供电力。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其中，操作所述多源能量存储系统使其处于预充电模式进一步包括：用所述第一能量存储系统经由一个平行于所述第一直流－直流变换器的旁路给所述电气负载提供电力。

8. 如权利要求 7 所述的方法，其进一步包括：当在所述第二能量存储系统、第一直流－直流变换器和第二直流－直流变换器中的至少一个中发现故障时，用所述第一能量存储系统经由所述旁路给所述电气负载提供电力，并将所述第二能量存储系统与所述电气负

载的耦合断开。

9. 如权利要求 2 所述的多源能量存储系统或如权利要求 7 所述的方法，其中，所述旁路连接了一个位于所述第一能量存储系统与所述第一直流 - 直流变换器之间的第一节点、和一个位于所述第一和第二直流 - 直流变换器与所述电气负载之间的第二节点。

10. 如权利要求 2 所述的多源能量存储系统或如权利要求 7 所述的方法，其中，所述旁路包括开关装置。

11. 如权利要求 1 所述的多源能量存储系统或如权利要求 3 所述的方法，其中，所述多源能量存储系统进一步包括 ：

第一开关装置，位于所述第一能量存储系统和所述第一直流 - 直流变换器之间 ；

第二开关装置，位于所述第二能量存储系统和所述第二直流 - 直流变换器之间 ；以及

第三开关装置，位于所述旁路中，其中，在所述预充电模式时，所述第一开关装置断开，所述第二和第三开关装置闭合，在所述正常操作模式时，所述第一和第二开关装置闭合，所述第三开关装置断开。

12. 如权利要求 1 所述的多源能量存储系统或如权利要求 3 所述的方法，其中，所述第一能量存储系统进包括电池和发电机中的至少一个，所述第二能量存储系统包括超级电容器。

多源能量存储系统及能量管理控制方法

[0001] 相关申请

[0002] 本发明申请涉及与此同一天由本申请人提交的名为“具有增程器的能量存储系统及能量管理控制方法”的中国专利申请，其整个内容合并在此作为参考，相当于在此完全阐述。

技术领域

[0003] 本发明涉及主要用于车辆驱动等电力系统的能量存储系统及能量管理控制方法，尤其涉及一种多源能量存储系统及其能量管理控制方法。

背景技术

[0004] 当污染问题越来越严重，电动车辆以及可再生能源变得越来越具有吸引力。纯电动车辆使用存储的电能向电动机供电，以驱动车辆。纯电动车辆可以使用一个或多个存储的电能量源。例如，可以使用第一电能量存储源，例如能量电池，用于提供较长持续能量，而使用第二电能量存储源，例如功率电池提供较高功率能量，用于例如车辆加速等。混合电动车辆可以将内燃机与由能量存储装置（如牵引用电池）供电的电动机结合起来以驱动车辆。此类结合可以通过使内燃机和电动机能够在各自较高的效率范围中运行，从而来提高总体燃料效率。例如，电动机可在从静止发车加速时有较高效率，而内燃机可在恒定引擎运行（如高速公路行驶）的持续期间有较高效率。使电动机提升初始加速允许混合动力车辆中的内燃机更小且更具燃料效率。

[0005] 在电池供电的纯电动车辆和插电式混合电动车辆中，高能量密度电池如果电池大小合理配置的话，则一次充电能够满足里程需求。然而，对于具有同样大小的高能量密度电池来说，由于其具有相对低的功率密度，因此却可能无法满足由于瞬时加速或爬坡所导致的功率需求，特别是在重型应用，例如城市公交车或卡车中尤其明显。有鉴于此，可以采用多个能量源或混合能量源来同时满足车辆的里程需求和功率需求，而无需过分增加单一的高能量密度电池的大小。在重型电动车辆中可以使用高能量密度电池和功率电池组合作为混合能量源，因为这类功率电池具有高的功率密度和较长的寿命。然而，当在车辆驱动系统中引入多个能量源或混合能量源时，多个能量源或混合能量源之间的配置和控制变得复杂，如何通过合理配置并控制多个能量源或混合能量源来使车辆驱动系统高效运行以应对各种工况条件，并且尽可能地提高能量使用效率，成为业界有待解决的问题。

[0006] 因此，有必要提供一种系统和方法以解决如上所述的至少一个问题。

发明内容

[0007] 本发明的一个方面在于提供一种多源能量存储系统，其包括第一能量存储系统、第二能量存储系统、第二直流－直流变换器和控制器。其中，所述第一能量存储系统可选择地耦合到一电气负载，所述第二直流－直流变换器可选择地耦合在所述第二能量存储系统与所述第一能量存储系统和电气负载中的至少一个之间。所述控制器设置来控制所述第

一和第二能量存储系统和所述第二直流－直流变换器在预充电模式和正常操作模式下运行。在所述预充电模式时，所述第一能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器给所述第二能量存储系统充电。在所述正常操作模式时，所述第二能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器耦合到所述电气负载上。

[0008] 本发明的另一个方面在于提供一种方法，其包括：

[0009] 操作包括第一能量存储系统、第二能量存储系统和第二直流－直流变换器的多源能量存储系统，使其处于预充电状态，包括用所述第一能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器给所述第二能量存储系统充电；以及

[0010] 操作所述多源能量存储系统使其处于正常操作模式，包括用所述第二能量存储系统经由所述第二直流－直流变换器给电气负载提供电力。

[0011] 通过本发明的多源能量存储系统和能量管理控制方法，不仅能够用多个不同能量存储系统为车辆驱动系统等电力负载提供能量，以满足电力负载的多种功率需求，使其能在不同的工况下运行，还能在不影响系统正常运行的情况下实现不同能量存储系统之间的能量转移，比如，可在系统正常运作的情况下实现高能量密度能量存储系统（例如电池）对高功率密度能量存储系统（例如超级电容）的预充电，操作者不需要等待高功率密度能量存储系统被预充电之后才能启动系统。此外，预充电不需要使用额外的电阻，还可获得更高的预充电效率，节约系统能量，增加系统的功率密度。

附图说明

[0012] 当参照附图阅读以下详细描述时，本发明的这些和其它特征、方面及优点将变得更好理解，在附图中，相同的元件标号在全部附图中用于表示相同的部件，其中：

[0013] 图 1 是根据本发明的一个实施方式的多源能量存储系统的示意性框图。

[0014] 图 2 是图 1 所示的多源能量存储系统的一个具体实施例的电路示意图。

[0015] 图 3 是根据本发明的另一个实施方式的多源能量存储系统的示意性框图。

[0016] 图 4-6 是图 3 所示的多源能量存储系统的一个具体实施例的电路示意图，其中，图 4 显示了该多源能量存储系统在预充电模式时的状态，图 5 显示了该多源能量存储系统在正常操作模式时的状态，图 6 显示了该多源能量存储系统在故障保护模式时的状态。

[0017] 图 7 显示了图 3 所示的多源能量存储系统中的控制器根据一个具体实施方式的示意性框图。

[0018] 图 8 显示了使用所述多源能量存储系统为电气负载提供电力的方法的流程图。

具体实施方式

[0019] 为帮助本领域的技术人员能够确切地理解本发明所要求保护的主题，下面结合附图详细描述本发明的具体实施方式。在以下对这些具体实施方式的详细描述中，本说明书对一些公知的功能或构造不做详细描述以避免不必要的细节而影响到本发明的披露。

[0020] 除非另作定义，本权利要求书和说明书中所使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属技术领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本说明书以及权利要求书中所使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的组成部分。“一个”或者“一”等类似词语并不表示数量限制，而是表示存在至

少一个。“包括”或者“具有”等类似的词语意指出现在“包括”或者“具有”前面的元件或者物件涵盖出现在“包括”或者“具有”后面列举的元件或者物件及其等同元件，并不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接，而是可以包括电性的连接，不管是直接的还是间接的。

[0021] 本发明的实施例一方面涉及一种可以应用于电动车辆、智能电网、微网、太阳能、风电等领域中，用来为电气负载提供电力的多源能量存储系统。

[0022] 图 1 显示了根据本发明的一个实施方式的多源能量存储系统的示意性框图。参照图 1 所示，多源能量存储系统 100 包括可选择地耦合到电气负载 160 的第一能量存储系统 110、以及通过一个直流 - 直流变换器 122 可选择地耦合到电气负载 160 的第二能量存储系统 120。其中，所述直流 - 直流变换器 122 一端耦合于所述第二能量存储系统 120，另一端耦合于所述第一能量存储系统 110 及电气负载 160 上。

[0023] 所述多源能量存储系统 100 还包括控制器 150，用来控制所述第一和第二能量存储系统 110 和 120 以及所述变换器 122 在不同的模式下工作。比如，在一些实施例中，通过所述控制器 150 的控制，所述多源能量存储系统 100 可至少在一预充电模式和一正常操作模式下运行。其中，在预充电模式时，所述第一能量存储系统 110 经由所述直流 - 直流变换器 122 给所述第二能量存储系统 120 充电，在正常操作模式时，所述第二能量存储系统 120 经由所述直流 - 直流变换器 122 耦合到所述电气负载 160 上。在如图 1 所示的实施例中，在所述预充电模式和正常操作模式时，所述第一能量存储系统 110 也耦合至所述电气负载 160 为其提供电力。

[0024] 其中，可在所述第一能量存储系统 110 和电气负载 160 之间设置一个开关装置 114 来实现二者之间选择性的耦合。类似地，也可在所述第二能量存储系统 120 和电气负载 160 之间设置一个开关装置，或具体地，在所述第二能量存储系统 120 和所述直流 - 直流变换器 122 之间设置一个开关装置 124 来实现二者之间选择性的耦合。

[0025] 本文所述的第一能量存储系统可以是高能量密度存储系统，比如，高能量电池（铅酸电池等）、发电机、燃料电池和光伏逆变电源等。第二能量存储系统可以是高功率存储系统，比如，超级电容器等。开关装置可以是任何形式的开关或开关元件的组合。直流 - 直流变换器是指用来将固定的直流电压变换成可变的直流电压的电压转换器，其一般包括脉宽调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 模块，误差放大器模块，比较器模块等几大功能模块。

[0026] 图 2 显示了图 1 所示的实施方式中的多源能量存储系统 100 的一个具体实施例的电路示意图。如图 2 所示，用作第一能量存储系统的铅酸电池 110 通过开关装置 114 可选择地耦合到电气负载 160，用作第二能量存储系统的超级电容器 120 通过开关装置 124 可选择地耦合到直流 - 直流变换器 122，可经由所述直流 - 直流变换器 122 耦合至所述电气负载 160 和所述铅酸电池 110 中的至少一个。从而，可通过控制器 150 的控制，在预充电模式时用铅酸电池 110 经由直流 - 直流变换器 122 给超级电容器 120 充电，在正常操作模式时用超级电容器 122 经由直流 - 直流变换器 122 给电气负载 160 提供电力。此外，该多源能量存储系统 100 还包括一个与所述第一能量存储系统 110 和第二能量存储系统 120 并联的电容 140，用来稳定该多源能量存储系统 100 的输出电压。

[0027] 图 3 显示了根据本发明的另一个实施方式的多源能量存储系统的示意性框图。参

照图 3 所示，多源能量存储系统 200 包括分别通过第一直流 - 直流变换器 212 和第二直流 - 直流变换器 222 可选择地耦合到电气负载 260 的第一能量存储系统 210 和第二能量存储系统 220。其中，所述第一和第二直流 - 直流变换器 212 和 222 之间也相互耦合。具体而言，所述第一直流 - 直流变换器 212 一端耦合于所述第一能量存储系统 210，另一端通过第二直流 - 直流变换器 222 和电气负载 260 之间的节点耦合于所述第二直流 - 直流变换器 222 和电气负载 260 上，所述第二直流 - 直流变换器 222 一端耦合于所述第二能量存储系统 220，另一端通过第一直流 - 直流变换器 212 和电气负载 260 之间的节点耦合于所述第一直流 - 直流变换器 212 和电气负载 260 上。在所述第一能量存储系统 210 和第一直流 - 直流变换器 212 之间连接有第一开关装置 214，在所述第二能量存储系统 220 和第二直流 - 直流变换器 222 之间连接有第二开关装置 224。

[0028] 所述多源能量存储系统 200 还包括一个与所述直流 - 直流变换器 212 并行的旁路 230，通过该旁路，可让所述第一能量存储系统 210 不经过第一直流 - 直流变换器 212 而耦合到第二直流 - 直流变换器 222 和电气负载 260 之间的节点，从而将第一能量存储系统 210 经由第二直流 - 直流变换器 222 耦合到第二能量存储系统 220，或将第一能量存储系统 210 直接耦合到电气负载 260 上。在图 3 所示的具体实施例中，所述旁路 230 连接了一个位于所述第一能量存储系统 210 与所述第一直流 - 直流变换器 212 之间的第一节点 236、和一个位于所述第一和第二直流 - 直流变换器 212 和 222 与所述电气负载 260 之间的第二节点 238。所述旁路 230 可包括开关装置（第三开关装置）234。相对于变换器 212 或 222 来说，所述旁路 230 的电阻可以忽略不计。在一个具体的实施例中，所述旁路 230 只包括所述开关装置 234，而不包括其他电阻较大的元件。这样，在通过该旁路 230 用第一能量存储系统 210 给第二能量存储系统 220 预充电时，可将能量损耗降低到最小。

[0029] 所述多源能量存储系统 200 还包括控制器 250，用来控制所述能量存储系统 210 和 220、变换器 212 和 222 以及所述旁路 230 至少可在一预充电模式和一正常操作模式下工作。在预充电模式时，所述第一能量存储系统 210 经由所述直流 - 直流变换器 222 给所述第二能量存储系统 220 充电，在正常操作模式时，所述第二能量存储系统 220 经由所述直流 - 直流变换器 222 耦合到所述电气负载 260 上。

[0030] 图 4 和图 5 显示了图 3 所示的实施方式中的多源能量存储系统 200 的一个具体实施例的电路示意图，其中，图 4 显示了预充电模式时的状态，图 5 显示了正常操作模式时的状态。

[0031] 在预充电模式时，如图 4 所示，所述第一开关装置 214 断开，所述第二和第三开关装置 224 和 234 闭合，所述第一能量存储系统 210 经由所述第一直流 - 直流变换器 212 给电气负载 260 提供电力，且同时经由所述第二直流 - 直流变换器 222 给所述第二能量存储系统 220 充电。在正常操作模式时，如图 5 所示，所述第一和第二开关装置 214 和 224 闭合，所述第三开关装置 234 断开，所述第一和第二能量存储系统 210 和 220 分别经由第一和第二直流 - 直流变换器 212 和 222 耦合至所述电气负载 260 为其提供电力。

[0032] 此外，在一些实施例中，所述多源能量存储系统 200 在其控制器 250 的控制下还可进一步地在一个故障保护模式下工作。当在所述第二能量存储系统 220、第一直流 - 直流变换器 212 和第二直流 - 直流变换器 222 中的至少一个中发现故障时，可启动所述故障保护模式，停用所述第二能量存储系统 220、第一直流 - 直流变换器 212 和第二直流 - 直流变换

器 222，而仅用所述第一能量存储系统 210 直接给所述电气负载 260 提供电力。如图 6 所示，在故障保护模式时，所述第一和第二开关装置 214 和 224 断开，所述第三开关装置 234 闭合，用所述第一能量存储系统 210 经由所述旁路 230 给所述电气负载 260 提供电力，并将所述第二能量存储系统 220 与所述电气负载 260 的耦合断开。

[0033] 图 7 显示了所述多源能量存储系统 200 中的控制器 250 根据一个具体实施方式的示意性框图。如图 7 所示，所述控制器 250 可包括调节器 251，用来接收一个参考电流 I_{ref} 和一个从所述第二直流 - 直流变换器 222 的输入电流采样获得的采样电流 I_{fb}，并基于该参考电流 I_{ref} 调节第二直流 - 直流变换器 222 的输入电流，比如，将第二直流 - 直流变换器 222 的输入电流调节为该参考电流 I_{ref}。所述控制器 250 还可包括调节器 252 和 253，其中调节器 252 用来基于一个参考电压 V_{bus_ref} 调节第一能量存储系统 210 的母线电压 V_{bus}，产生一个参考电压 V_{i_ref}，调节器 253 用来基于该参考电压 V_{i_ref} 调节所述第二能量存储系统 220 两端的电压 V_{i_fb}。

[0034] 在图 7 所示的具体实施例中，除了所述调节器 251、252 和 253 之外，控制器 250 包括模式选择单元 255 和比较器 257。模式选择单元 255 根据多源能量存储系统 200 所处的工作模式，即预充电模式或正常操作模式，选择来自调节器 251 或 253 的数据，以获得一个符合需要的电压 V_{comp}。比较器 257 将该电压 V_{comp} 与 PWM 控制器提供的参考锯齿波电压 V_{ramp} 进行比较，以进行 PWM 控制。

[0035] 具体而言，在预充电模式时，调节器 251 基于一个与所述第二直流 - 直流变换器 222 的输出负载相关的参考电流来调节所述第二直流 - 直流变换器 222 的输入电流，模式选择单元 255 基于该调节器 251 产生的数据获得一个符合需要的电压 V_{comp}，用于进行 PWM 控制。在正常操作模式时，调节器 252 基于一个参考电压 V_{bus_ref} 调节第一能量存储系统 210 的母线电压 V_{bus}，产生一个参考电压 V_{i_ref}，调节器 253 基于该参考电压 V_{i_ref} 调节所述第二能量存储系统 220 两端的电压 V_{i_fb}，模式选择单元 255 基于该调节器 253 产生的数据获得一个符合需要的电压 V_{comp}，用于进行 PWM 控制。

[0036] 在所述各实施例的多源能量存储系统中，除了第一和第二能量存储系统之外，还可以进一步包括一个或多个并行的能量存储系统。比如，在一些实施例中，所述多源能量存储系统还可进一步包括一个通过第三直流 - 直流变换器可选择地耦合到所述电气负载的第三能量存储系统。该第三能量存储系统可选自燃料电池、光伏逆变电源、发电机或它们的组合。

[0037] 本发明的实施例另一方面涉及一种使用所述多源能量存储系统为电气负载提供电力的能量管理控制方法。在一个具体实施例中，如图 8 所示，该方法包括如下步骤：

[0038] 在步骤 S1 中，操作包括第一能量存储系统、第二能量存储系统和第二直流 - 直流变换器的多源能量存储系统，使其处于预充电模式。该步骤包括用所述第一能量存储系统经由所述第二直流 - 直流变换器给所述第二能量存储系统充电。

[0039] 在步骤 S2 中，操作所述多源能量存储系统使其处于正常操作模式。该步骤包括用所述第二能量存储系统经由所述第二直流 - 直流变换器给电气负载提供电力。

[0040] 在一些实施例中，所述步骤 S1 进一步包括：用所述第一能量存储系统经由一个平行于所述第一直流 - 直流变换器的旁路给所述电气负载提供电力。其中，所述旁路连接了一个位于所述第一能量存储系统与所述第一直流 - 直流变换器之间的第一节点、和一个位

于所述第一和第二直流－直流变换器与所述电气负载之间的第二节点。相对于所述第一或第二直流－直流变换器来说，所述旁路的电阻可以忽略不计。所述旁路可包括一个开关装置。

[0041] 在一些实施例中，所述步骤 S2 进一步包括：用所述第一能量存储系统经由所述第一直流－直流变换器给所述电气负载提供电力。

[0042] 在一些实施例中，所述多源能量存储系统进一步包括位于所述第一能量存储系统和第一直流－直流变换器之间的第一开关装置、位于所述第二能量存储系统和第二直流－直流变换器之间的第二开关装置以及位于所述旁路中的第三开关装置，且在所述步骤 S1 中，所述第一开关装置断开，所述第二和第三开关装置闭合，而在所述步骤 S2 中，所述第一和第二开关装置闭合，所述第三开关装置断开。

[0043] 在一些实施例中，所述步骤 S1 进一步包括：基于所述第二直流－直流变换器的输出负载来调节所述第二直流－直流变换器的输入电流。

[0044] 在一些实施例中，所述步骤 S2 进一步包括：调节所述第一能量存储系统的母线电压，使其在所述正常操作模式时基本保持恒定。

[0045] 在一些实施例中，所述能量管理控制方法进一步包括：当在所述第二能量存储系统、第一直流－直流变换器和第二直流－直流变换器中的至少一个中发现故障时，用所述第一能量存储系统经由所述旁路给所述电气负载提供电力，并将所述第二能量存储系统与所述电气负载的耦合断开。

[0046] 所述能量管理控制方法中所用的可以是前述实施方式或实施例中的任意一种多源能量存储系统，其具体特征在此不再赘述。

[0047] 本发明实施例中提供的多源能量存储系统及能量管理控制方法，可在系统正常运作的情况下实现高能量密度能量存储系统对高功率密度能量存储系统的预充电，操作者不需要等待高功率密度能量存储系统被预充电之后才能启动系统。此外，预充电模式时的充电电路中没有使用额外的电阻，还可获得更高的预充电效率，节约系统能量，增加系统的功率密度。

[0048] 虽然结合特定的具体实施方式对本发明进行了详细说明，但本领域的技术人员可以理解，对本发明可以作出许多修改和变型。因此，要认识到，权利要求书的意图在于覆盖在本发明真正构思和范围内的所有这些修改和变型。

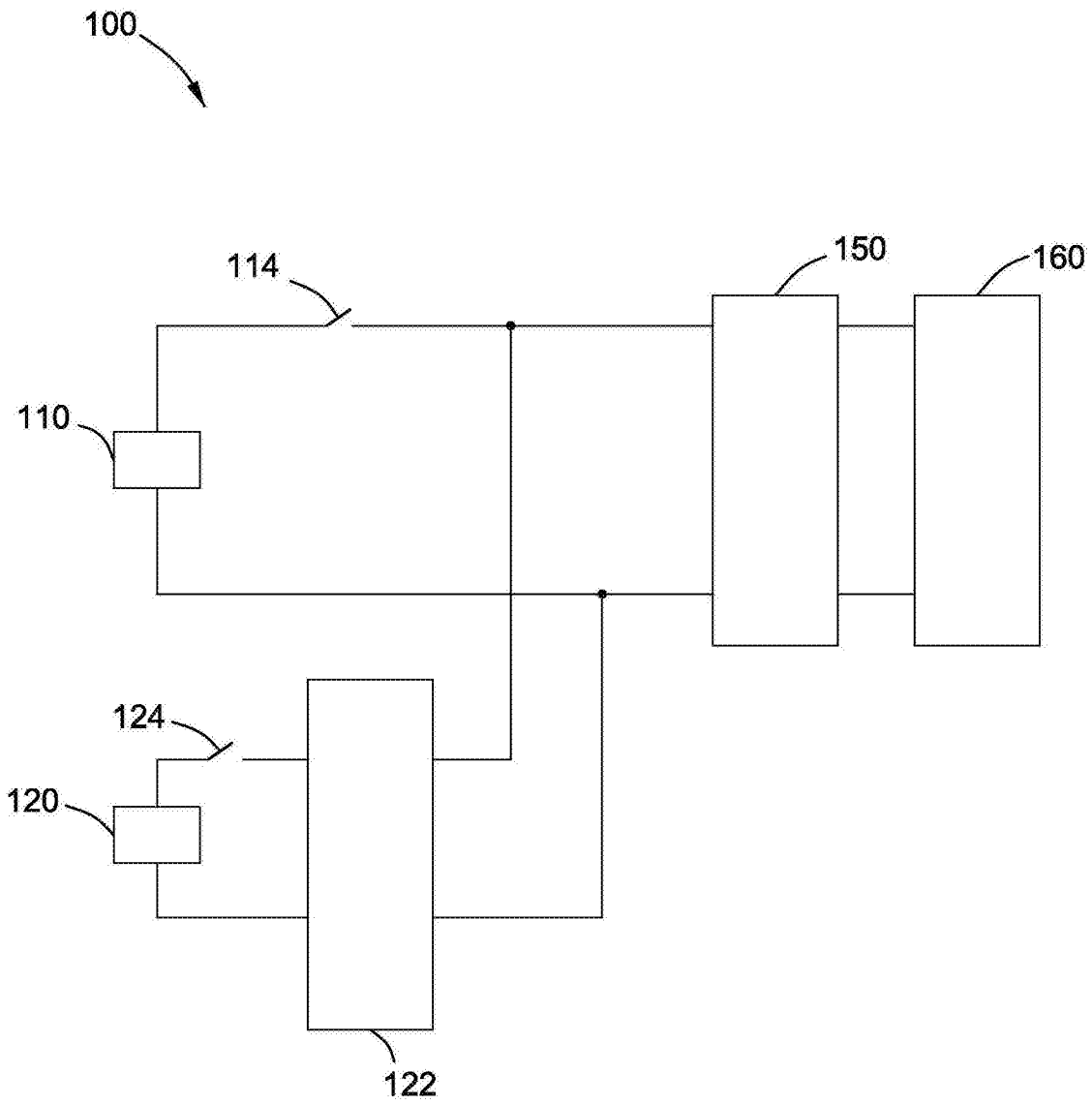


图 1

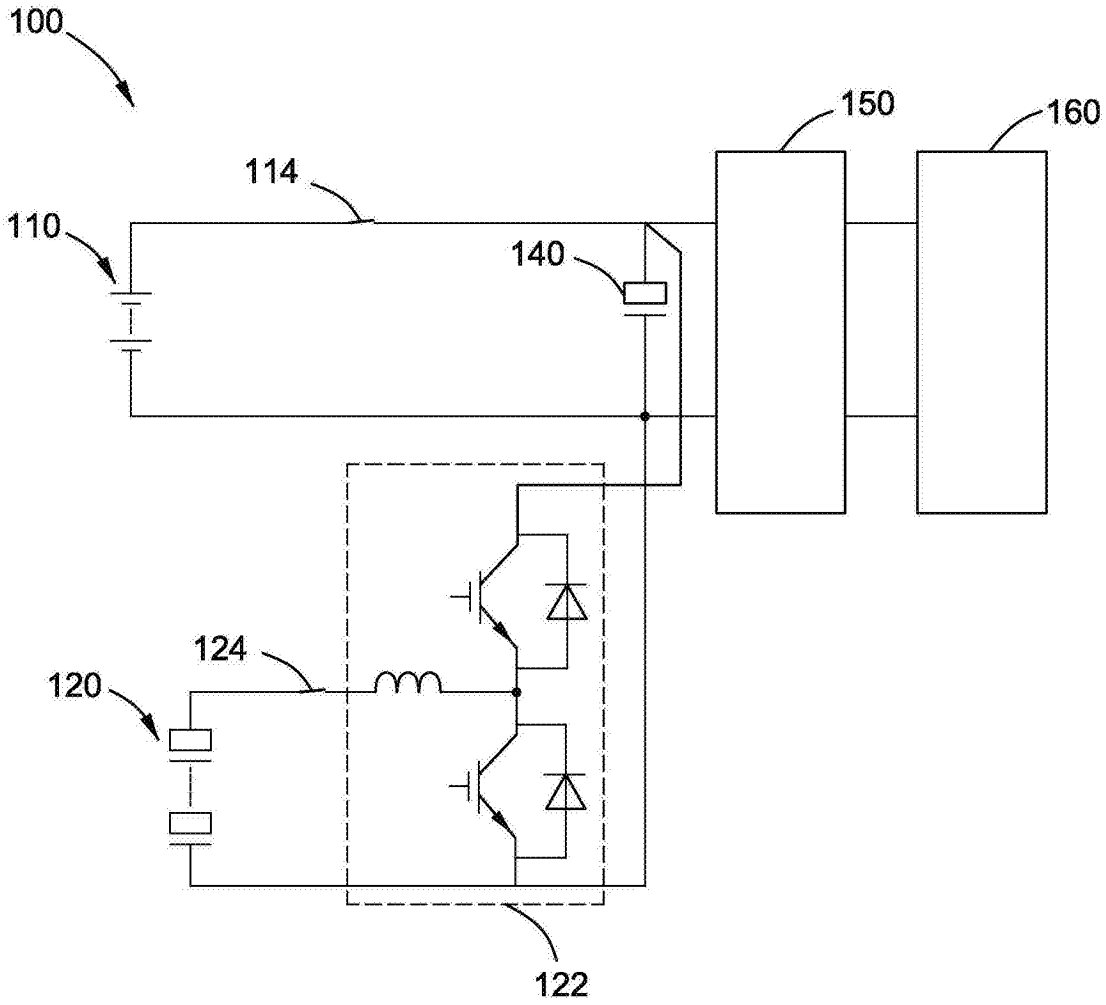


图 2

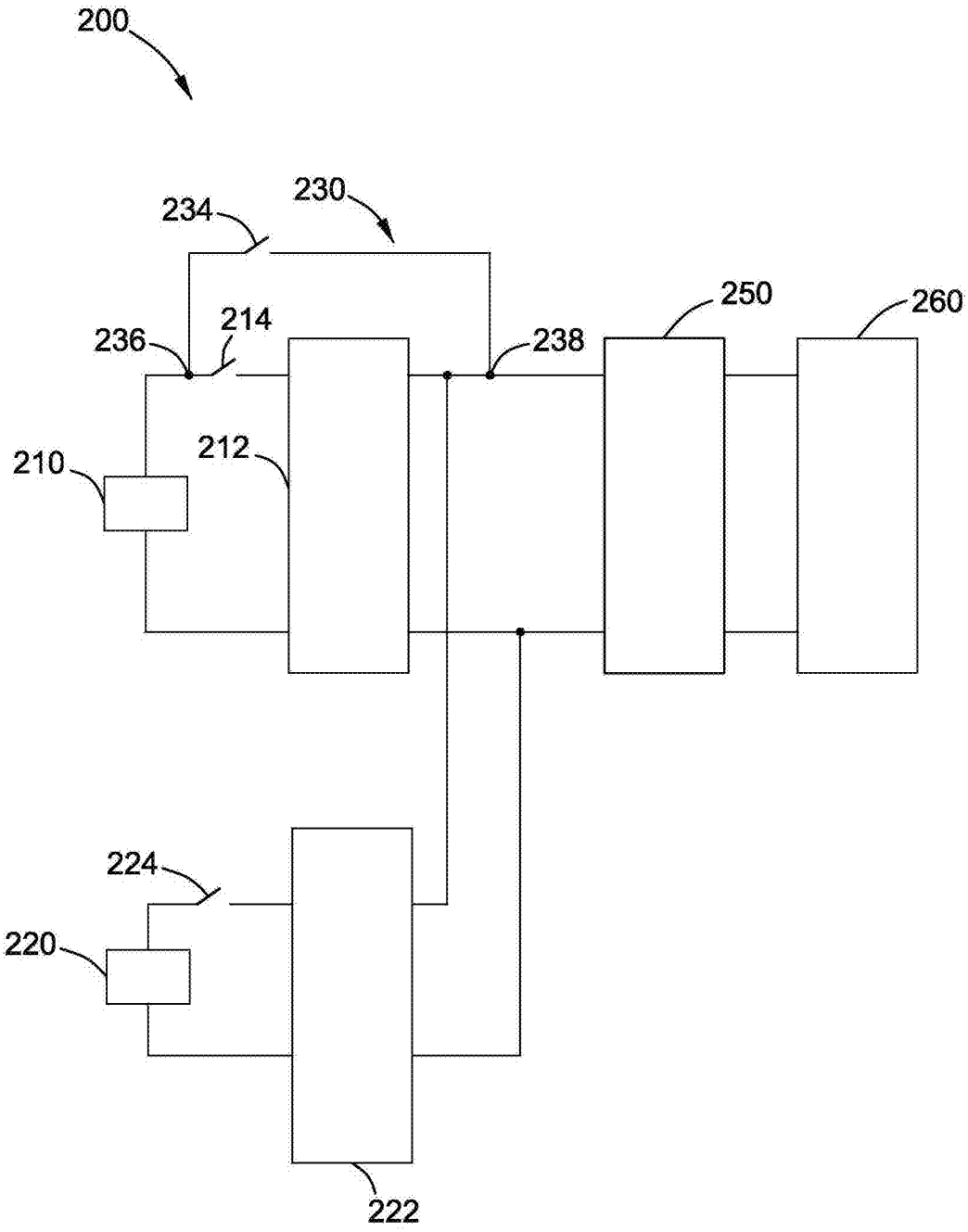


图 3

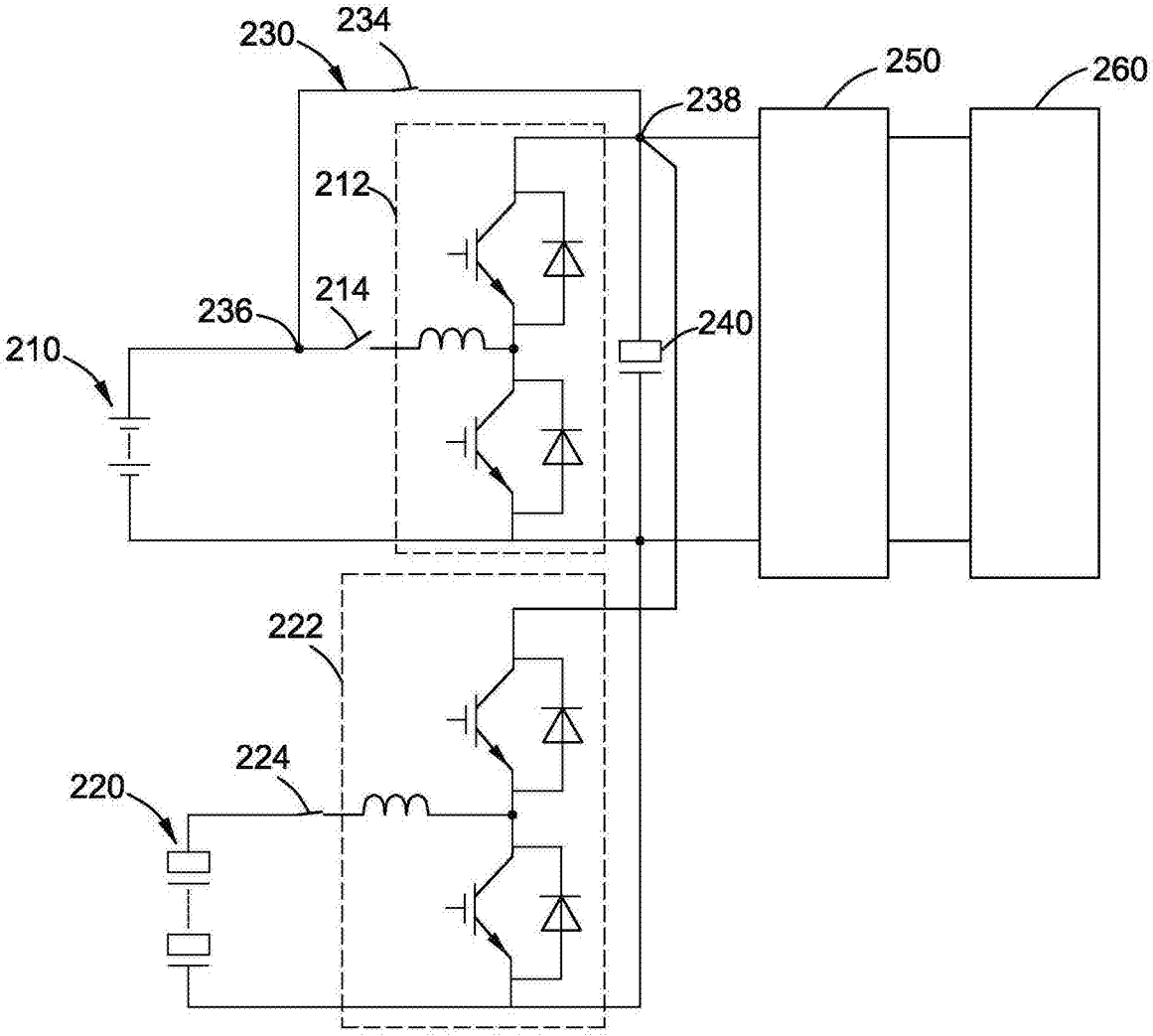


图 4

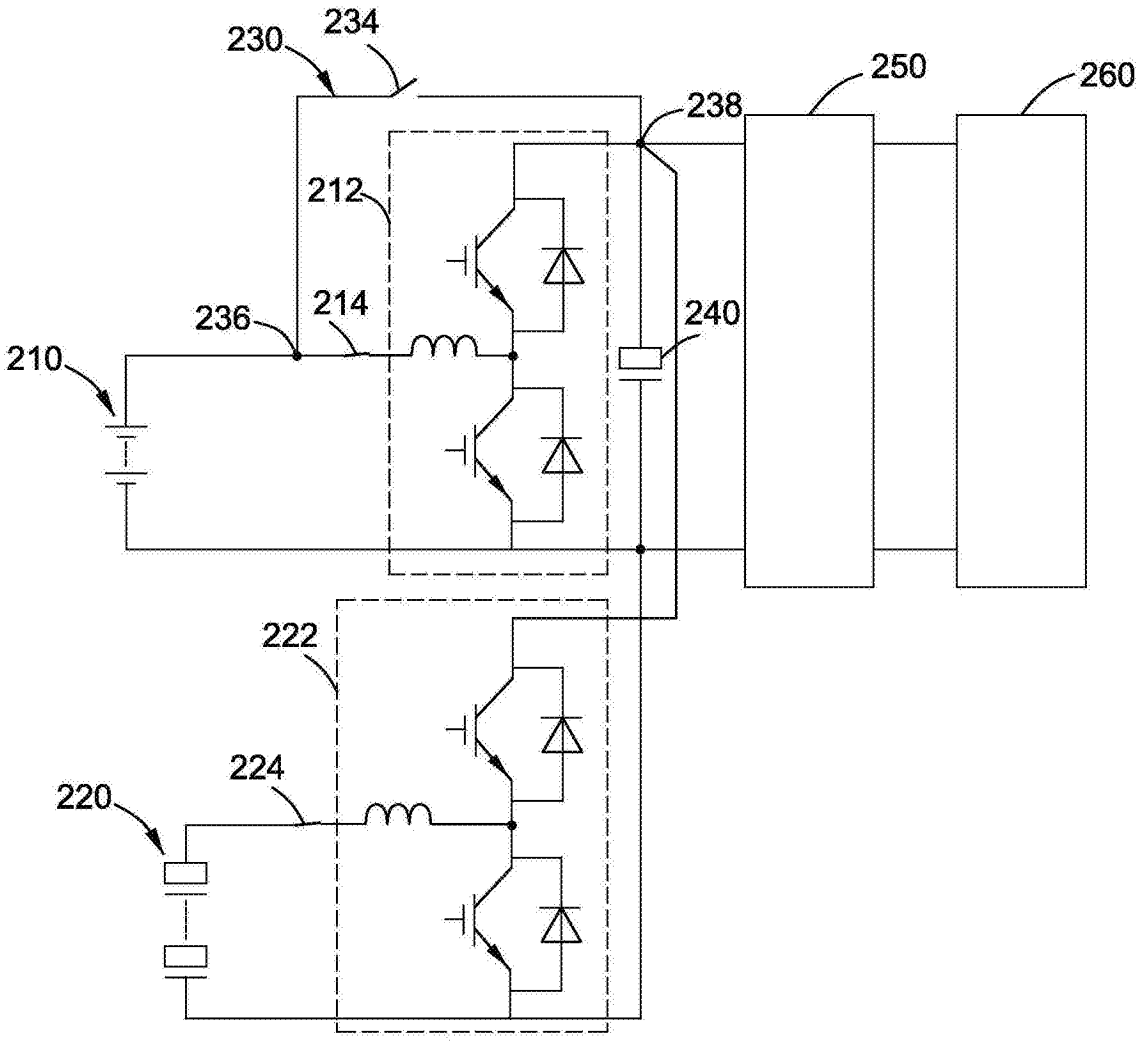


图 5

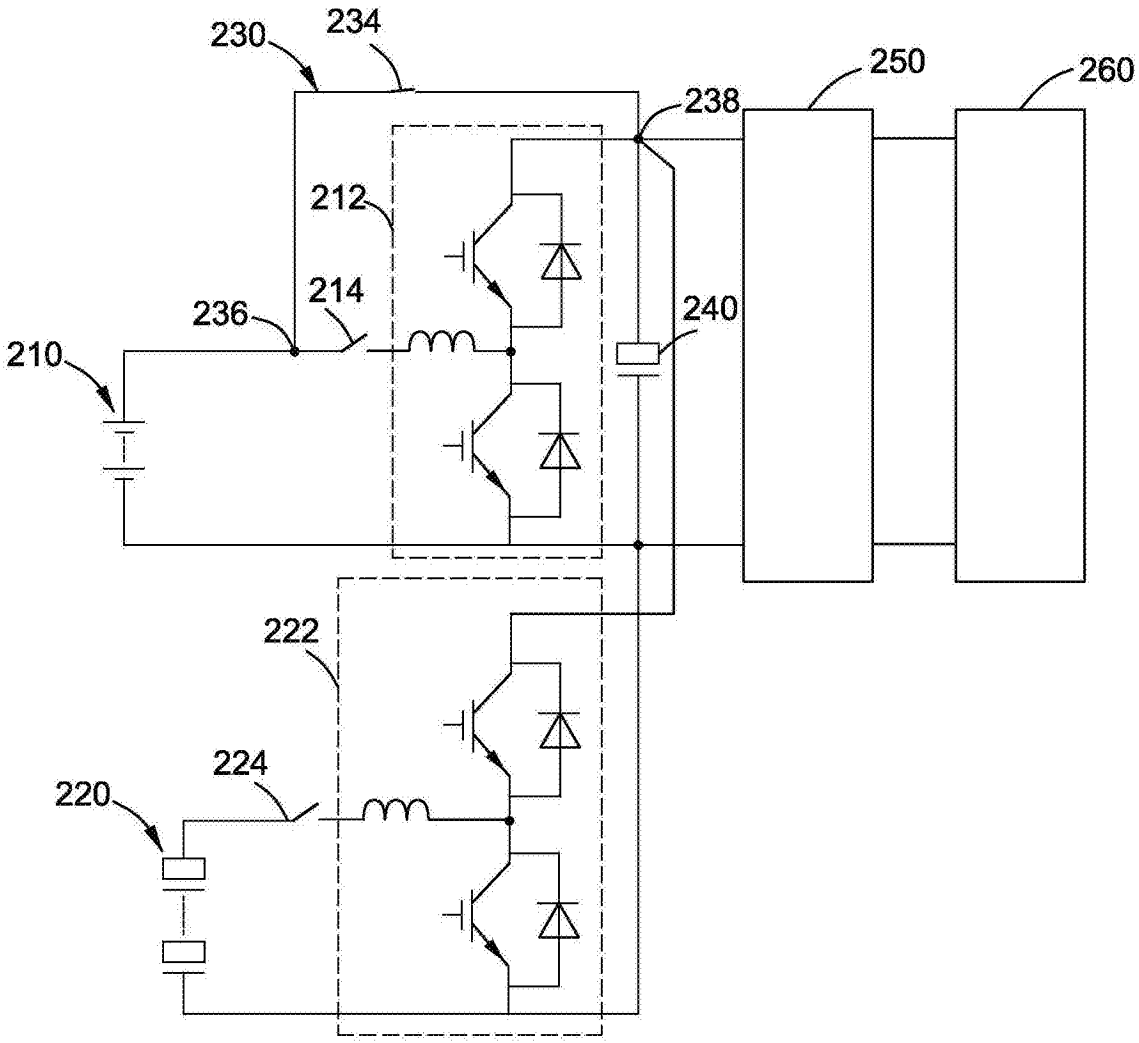


图 6

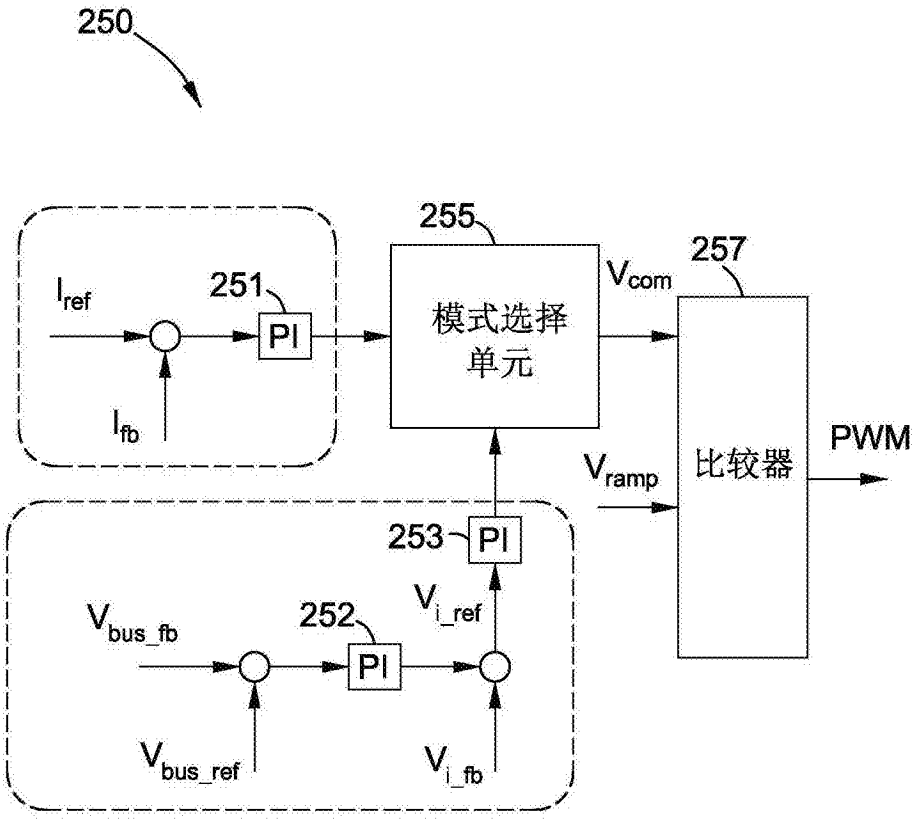

250
255
257
I_{ref}
251
PI
模式选择
单元
V_{com}
I_{fb}
V_{ramp}
比较器
PWM
253
PI
V_{i_ref}
V_{bus_fb}
252
PI
V_{bus_ref}
V_{i_fb}

图 7

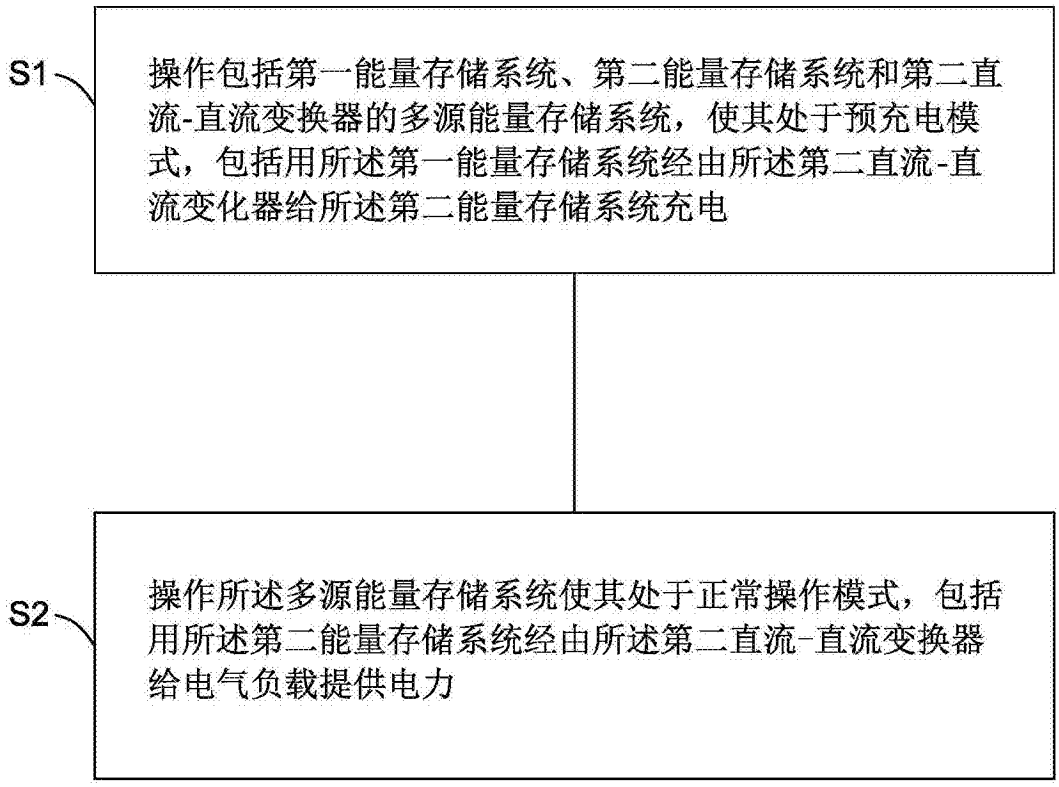

S1
操作包括第一能量存储系统、第二能量存储系统和第二直流-直流变换器的多源能量存储系统，使其处于预充电模式，包括用所述第一能量存储系统经由所述第二直流-直流变化器给所述第二能量存储系统充电
S2
操作所述多源能量存储系统使其处于正常操作模式，包括用所述第二能量存储系统经由所述第二直流-直流变换器给电气负载提供电力

图 8