



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111725829 A

(43)申请公布日 2020.09.29

(21)申请号 201910209645.9

(22)申请日 2019.03.19

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 陈自强 周诗尧

(74)专利代理机构 上海交达专利事务所 31201

代理人 王毓理 王锡麟

(51)Int.Cl.

H02J 3/32(2006.01)

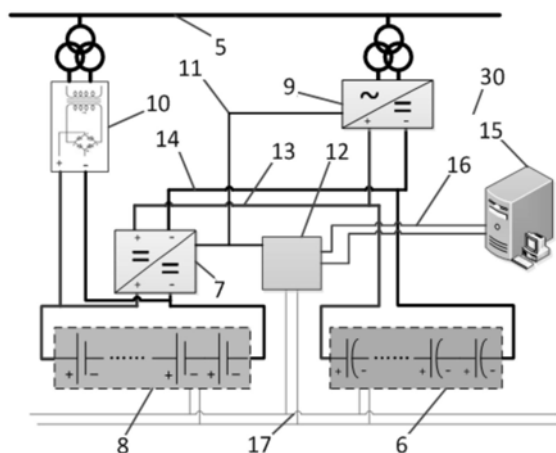
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

用于船舶的分级复合储能系统

(57)摘要

一种用于船舶的分级复合储能系统,包括:与中压交流电网依次相连并形成闭环的整流变压器、第一电池模块、双向DC/DC电路、第二电池模块和双向逆变器,以及控制系统,其中:控制系统分别与整流变压器、双向DC/DC电路、双向逆变器和电池模块相连接接收运行状态参数信息、故障信息、实时采集中压交流电网的电压并输出控制指令。本发明采用钛酸锂电池替代超级电容,有效减少复合储能装置的体积、重量和成本;采用分级结构,有效区分各级控制器与管理系统的功能,简化了控制器设计并降低了成本;各级储能系统采用分布式架构,使得储能装置具有极强的可扩展性与可靠性,解决了大规模复合储能系统的控制与管理问题;能够适用于船舶,且寿命长、能耗低、响应速度快。



1. 一种用于船舶的分级复合储能系统,其特征在于,包括:与中压交流电网依次相连并形成闭环的整流变压器、第一电池模块、双向DC/DC电路、第二电池模块和双向逆变器,以及控制系统,其中:控制系统分别与整流变压器、双向DC/DC电路、双向逆变器和电池模块相连接接收运行状态参数信息、故障信息、实时采集中压交流电网的电压并输出控制指令;

所述的控制系统包括:与电池单元对应相连的多个单元级电池管理模块,以及与单元级电池管理模块依次相连的模组级电池管理器、主控制模块和上位机,其中:单元级电池管理模块与模组级电池管理器相连并输出电池单元的剩余容量和故障信息;模组级电池管理器与主控制模块相连并输出单元级电池管理模块的总电压、总电流、绝缘电阻、故障信息和参数辨识信息;模组级电池管理器与高压管理箱相连以控制电池模组的通断和预充电;主控制模块与上位机相连并输出储能装置中各电池模组的电压、电流、双向DC/DC电路运行状态参数和储能装置的故障信息的同时接收控制信息,主控制模块另外分别与双向逆变器、双向DC/DC电路和整流变压器相连并传输电池模组的状态参数和控制信号;

所述的状态参数包括:连接状态、电压信息、电流信息、健康状态和故障码。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征是,所述的第一电池模块和第二电池模块分别为磷酸铁锂电池模块和钛酸锂电池模块,其均包括:多个电池单元和高压电管理箱,其中:高压电管理箱与多个电池单元串联,电池单元与单元级电池管理模块相连并获取电池单元的状态参数,高压电管理箱与模组级电池管理器通过PWM控制线束和模拟量采集线束相连;所述的电池单元内设有多个串联的电池单体。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征是,所述的模组级电池管理器中设有主动均衡电路以调节电池单元的容量不一致性,该主动均衡电路由单向DC/DC电路构成,该主动均衡电路与对应的各个电池单元并联,其中:单向DC/DC电路的输入端与电池模组的输出端相连,通过模组级电池管理模块控制各个单向DC/DC的功率大小:当电池单元的电量偏低,电池单元所并联的DC/DC开始向电池单元输出电能,为电池单元充电。

4. 根据权利要求2所述的系统,其特征是,所述的单元级电池管理模块中设有被动均衡电路以调节电池单体的不一致性,该被动均衡电路由串联的MOSFET和功率电阻构成,若干个被动均衡电路与各个电池单体并联,通过单元级电池管理模块控制各个MOSFET的通断:当电量偏高的电池单体所并联的MOSFET导通,则电池单体内的电能流经功率电阻,转化为热能被耗散到空气中。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征是,所述的高压管理箱包括:输入端正极、输入端负极、正极接触器、预充电接触器、负极接触器、泄放接触器、预充电电阻、泄放电阻、输出端正极和输出端负极,其中:预充电接触器与预充电电阻构成的支路与正极接触器构成的支路相并联,并联后两端分别为输入端正极和输出端正极;泄放电阻和泄放接触器串联连接于输出端负极和输出端正极之间,输入端正极和输入端负极分别与电池模组内的电池组的正极和负极相连,输出端正极和输出端负极分别与相邻的电池模组内的高压电管理箱的输出端正极和输出端负极相连。

6. 一种基于上述任一权利要求所述用于船舶的分级复合储能系统的控制方法,其特征在于,通过实时测量电池模组的输出电压,利用递推最小二乘-扩展卡尔曼滤波算法实时计算模块的SOC,即模块中各个模组SOC的平均值;当磷酸铁锂电池模块的SOC低于下限时,整流变压器从中压交流电网截取电能,降压整流后向磷酸铁锂电池模块充电;当钛酸锂电池

模块的SOC低于下限时,双向DC/DC电路吸收磷酸铁锂电池模块的电能,调压后将电能转移至钛酸锂电池模块;当钛酸锂电池模块的SOC高于上限时,双向DC/DC电路吸收钛酸锂电池模块的电能,调压后将电能转移至磷酸铁锂电池模块;当用电负载的用电功率发生突变且柴油发电机的输出功率不能及时调节,导致中压电网的电压突然低于额定电压时,通过基于自适应PID控制方法的中压电网电压闭环控制调节双向逆变器从钛酸锂电池模块中吸收电能的功率,将直流电逆变为交流电后入中压交流电网,提高中压交流电网的电压;当中压交流电网电压高于额定电压时,通过基于自适应PID控制方法的中压电网电压闭环控制调节双向逆变器从中压交流电网中吸收电能的功率,将交流电整流为直流电后输入钛酸锂电池模块,降低中压交流电网的电压。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征是,所述的递推最小二乘-扩展卡尔曼滤波算法,具体步骤包括:

步骤1) 设定参数估计初值:以离线参数辨识得到电池等效电路模型的参数,利用该参数计算ARMA模型的初始值,设定遗忘因子为0.99;

步骤2) 设定状态估计初值:在0-1之间任取一个值作为SOC的初始值,设置输入噪声方差阵与观察噪声方差阵;

步骤3) 测量k时刻的电池路端电压 $U(k)$ 、电流数据 $I(k)$;

步骤4) 利用上一时刻电池SOC和开路电压 U_{oc} ,根据 $E_L(k) = U_{oc}(k) - U_L(k)$,求出k时刻的 $E_L(k)$,从而得到递推最小二乘算法所需的观测向量 $\varphi(k)$;

步骤5) 利用递推最小二乘求出k时刻的参数辨识值;

步骤6) 将等效电路模型的模型参数估计值代入扩展卡尔曼滤波算法算法的状态空间模型中,依次完成状态空间模型更新、k时刻的状态参数计算、增益矩阵计算、k时刻状态估计参数修正、得到k时刻电池的SOC估计值、误差协方差矩阵更新;

步骤7) 获取下一时刻的新数据 U 、 I ,返回步骤4。

用于船舶的分级复合储能系统

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种船舶储能领域的技术，具体是一种用于船舶的分级复合储能系统。

背景技术

[0002] 在恶劣天气与复杂海况下，依靠综合电力推进船舶航行时，风、浪、流的突然变化会对推进器的负荷带来巨大的扰动。由于船舶电网容量小，频繁的负载扰动会给电网的稳定性，以及船舶用电设备带来负面的影响，还会造成发电机组的油耗增加。储能装置能够有效缓解电力推进装置对船舶电网的冲击。储能装置通过控制其与电网之间的能量流动，移峰填谷，平复负载扰动给电网带来的冲击，增强电网电压的稳定性。船舶储能装置对能量密度与高功率密度同时存在刚性需求，所以复合储能装置结合能量型储能器件与功率型储能器件的优点，是能量与功率兼顾型储能装置的最佳选择。现有的复合储能装置采用超级电容作为功率型储能器件，存在设计规模小、成本高的缺点，并不适合应用于船舶。

发明内容

[0003] 本发明针对现有技术存在的上述不足，提出一种用于船舶的分级复合储能系统，采用钛酸锂电池和磷酸铁锂电池，配合分级分布式架构，在储能装置的规模、容量和成本上进行了优化。

[0004] 本发明是通过以下技术方案实现的：

[0005] 本发明包括：与中压交流电网依次相连并形成闭环的整流变压器、第一电池模块、双向DC/DC电路、第二电池模块和双向逆变器，以及控制系统，其中：控制系统分别与整流变压器、双向DC/DC电路、双向逆变器和电池模块相连接接收运行状态参数信息、故障信息、实时采集中压交流电网的电压并输出控制指令。

[0006] 所述的第一电池模块和第二电池模块分别为磷酸铁锂电池模块和钛酸锂电池模块，其均包括：多个电池单元和高压电管理箱，其中：高压电管理箱与多个电池单元串联，电池单元与单元级电池管理模块相连并获取电池单元的状态参数，高压电管理箱与模组级电池管理器通过PWM控制线束和模拟量采集线束相连。

[0007] 所述的电池单元内设有多个串联的电池单体。

[0008] 所述的高压管理箱包括：输入端正极、输入端负极、正极接触器、预充电接触器、负极接触器、泄放接触器、预充电电阻、泄放电阻、输出端正极和输出端负极，其中：预充电接触器与预充电电阻构成的支路与正极接触器构成的支路相并联，并联后两端分别为输入端正极和输出端正极；泄放电阻和泄放接触器串联连接于输出端负极和输出端正极之间，输入端正极和输入端负极分别与电池模组内的电池组的正极和负极相连，输出端正极和输出端负极分别与相邻的电池模组内的高压电管理箱的输出端正极和输出端负极相连。

[0009] 所述的控制系统包括：与电池单元对应相连的多个单元级电池管理模块，以及与单元级电池管理模块依次相连的模组级电池管理器、主控制模块和上位机，其中：单元级电

池管理模块与模组级电池管理器相连并输出电池单元的剩余容量和故障信息;模组级电池管理器与主控制模块相连并输出单元级电池管理模块的总电压、总电流、绝缘电阻、故障信息和参数辨识信息;模组级电池管理器与高压管理箱相连以控制电池模组的通断和预充电;主控制模块与上位机相连并输出储能装置中各电池模组的电压、电流、双向DC/DC电路运行状态参数和储能装置的故障信息的同时接收控制信息,主控制模块另外分别与双向逆变器、双向DC/DC电路和整流变压器相连并传输电池模组的状态参数和控制信号。

[0010] 所述的单元级电池管理模块中设有被动均衡电路以调节电池单体的不一致性。

[0011] 所述的被动均衡电路由串联的MOSFET和功率电阻构成,若干个被动均衡电路与各个电池单体并联,通过单元级电池管理模块控制各个MOSFET的通断:当电量偏高的电池单体所并联的MOSFET导通,则电池单体内的电能流经功率电阻,转化为热能被耗散到空气中。

[0012] 所述的模组级电池管理器中设有主动均衡电路以调节电池单元的容量不一致性。

[0013] 所述的主动均衡电路由单向DC/DC电路构成,该主动均衡电路与对应的各个电池单元并联,其中:单向DC/DC电路的输入端与电池模组的输出端相连,通过模组级电池管理模块控制各个单向DC/DC的功率大小:当电池单元的电量偏低,电池单元所并联的DC/DC开始向电池单元输出电能,为电池单元充电。

技术效果

[0014] 与现有技术相比,本发明采用钛酸锂电池替代超级电容,有效减少复合储能装置的体积、重量和成本;采用分级结构,有效区分各级控制器与管理系统的功能,简化了控制器设计并降低了成本;各级储能系统采用分布式架构,使得储能装置具有极强的可扩展性与可靠性,解决了大规模复合储能系统的控制与管理问题;能够适用于船舶,且寿命长、能耗低、响应速度快。

附图说明

[0015] 图1为本发明应用的拓扑结构示意图;

[0016] 图2为本发明的结构示意图;

[0017] 图3为磷酸铁锂电池模块的结构示意图;

[0018] 图4为钛酸锂电池模块的机构示意图;

[0019] 图5为高压管理箱的电气原理图;

[0020] 图中:柴油发电机1、三相异步发电机2、船舶电站3、用电负载4、中压交流电网5、钛酸锂电池模块6、双向DC/DC电路7、磷酸铁锂电池模块8、双向逆变器9、整流变压器10、控制线束11、主控制模块12、正极直流母线13、负极直流母线14、上位机15、系统级CAN总线16、模块级CAN总线17、PWM控制线束18、模拟量采集线束19、单元级CAN总线20、模组级电池管理器21、单元级电池管理模块22、磷酸铁锂电池模组23、磷酸铁锂电池单元24、磷酸铁锂电池单体25、高压电管理箱26、钛酸锂电池模组27、钛酸锂电池单元28、钛酸锂电池单体29、控制系统30、输入端正极2601、输入端负极2602、正极接触器2603、预充电接触器2604、负极接触器2605、泄放接触器2606、预充电电阻2607、泄放电阻2608、输出端正极2609、输出端负极2610。

具体实施方式

[0021] 如图1和图2所示,本实施例包括:柴油发电机1、三相异步发电机2、船舶电站3、用电负载4、中压交流电网5、钛酸锂电池模块6、双向DC/DC电路7、磷酸铁锂电池模块8、双向逆变器9和整流变压器10,以及控制系统30,其中:柴油发电机1、三相异步发电机2、船舶电站3和中压交流电网5依次相连,用电负载4与中压交流电网5相连,整流变压器10、磷酸铁锂电池模块8、双向DC/DC电路7、钛酸锂电池模块6和双向逆变器9依次串联后与中压交流电网5相连,控制系统30与双向DC/DC电路7、双向逆变器9和整流变压器10分别通过控制线束11相连,控制系统30控制双向DC/DC电路7中电能的流动方向和功率,控制系统30控制双向逆变器9的输出功率、相位和频率,控制系统30控制整流变压器10中电能的流动方向和功率。

[0022] 所述的钛酸锂电池模块6与双向逆变器9之间通过正极直流母线13和负极直流母线14连接。

[0023] 如图2至图4所示,所述的控制系统30包括:依次相连的单元级电池管理模块22、模组级电池管理器21、主控制模块12和上位机15,其中:单元级电池管理模块22与模组级电池管理器21通过单元级CAN总线20相连,模组级电池管理器21与主控制模块12通过模块级CAN总线17相连,主控制模块12与上位机15通过系统级CAN总线16相连并传输状态参数和控制信号。

[0024] 所述的主控制模块12包括:处理器单元、采集单元以及通讯单元D单元,其中:采集单元分别采集正极直流母线13和负极直流母线14对地电压和电流以及中压交流电网5电压和电流信息,采集单元与处理器单元相连并传输采集到的电压、电流信息,通讯单元与上位机相连并传输控制器运行参数,通讯单元与模组级电池管理器21相连并传输电池模组运行状态,处理器单元与通讯单元相连并传输通讯单元接收到的信息和处理器单元需要发送的信息。

[0025] 如图3和图4所示,所述的磷酸铁锂电池模块8包括:多个并联的磷酸铁锂电池模组23。

[0026] 所述的磷酸铁锂电池模组23包括:多个磷酸铁锂电池单元24和高压电管理箱26,其中:高压电管理箱26与多个磷酸铁锂电池单元24串联,磷酸铁锂电池单元24与单元级电池管理模块22相连并获取磷酸铁锂电池单元24的状态参数,高压电管理箱26与模组级电池管理器21通过PWM控制线束18和模拟量采集线束19相连。

[0027] 所述的磷酸铁锂电池单元24内设有多个串联的磷酸铁锂电池单体25。

[0028] 所述的钛酸锂电池模块6与磷酸铁锂电池模块8相比,结构相同,仅把磷酸铁锂电池模组23改为钛酸锂电池模组27,磷酸铁锂电池单元24改为钛酸锂电池单元28,磷酸铁锂电池单体25改为钛酸锂电池单体29。

[0029] 所述的状态参数包括:连接状态、电压信息、电流信息、健康状态和故障码。

[0030] 如图5所示,所述的高压电管理箱26包括:输入端正极2601、输入端负极2602、正极接触器2603、预充电接触器2604、负极接触器2605、泄放接触器2606、预充电电阻2607、泄放电阻2608、输出端正极2609和输出端负极2610,其中:预充电接触器2604与预充电电阻2607串联构成支路并与正极接触器2603构成的支路相并联,盖并联干路的两端分别为输入端正极2601和输出端正极2609,泄放电阻2608和泄放接触器2606串联于输出端负极2610和输出端正极2609之间,输入端正极2601和输入端负极2602分别与电池模组内的电池组的正极和

负极相连,输出端正极2609和输出端负极2610分别与相邻的电池模组内的高压电管理箱26的输出端正极2609和输出端负极2610相连。

[0031] 如图1所示,柴油发动机1带动三相异步发电机2发电,三相异步发电机2发出的交流电经过船舶电站3的变压、调频后输入中压交流电网5。

[0032] 本发明涉及上述系统的控制方法,包括以下步骤:通过实时测量电池模组的输出电压,利用递推最小二乘-扩展卡尔曼滤波算法实时计算模块的SOC,即模块中各个模组SOC的平均值;当磷酸铁锂电池模块8的SOC低于下限时,整流变压器10从中压交流电网5截取电能,降压整流后向磷酸铁锂电池模块8充电;当钛酸锂电池模块6的SOC低于下限时,双向DC/DC电路7吸收磷酸铁锂电池模块8的电能,调压后将电能转移至钛酸锂电池模块6;当钛酸锂电池模块6的SOC高于上限时,双向DC/DC电路7吸收钛酸锂电池模块6的电能,调压后将电能转移至磷酸铁锂电池模块8;当用电负载4的用电功率发生突变且柴油发电机1的输出功率不能及时调节,导致中压电网5的电压突然低于额定电压时,通过基于自适应PID控制方法的中压电网电压闭环控制调节双向逆变器9从钛酸锂电池模块6中吸收电能的功率,将直流电逆变为交流电后入中压交流电网5,提高中压交流电网5的电压;当中压交流电网5电压高于额定电压时,通过基于自适应PID控制方法的中压电网电压闭环控制调节双向逆变器9从中压交流电网5中吸收电能的功率,将交流电整流为直流电后输入钛酸锂电池模块6,降低中压交流电网5的电压。

[0033] 所述的下限优选为30%以下;所述的上限优选为80%以上。

[0034] 所述的递推最小二乘-扩展卡尔曼滤波算法,具体步骤包括:

[0035] 1) 设定参数估计初值:以离线参数辨识得到电池等效电路模型的参数,利用该参数计算ARMA模型的初始值,设定遗忘因子为0.99;

[0036] 2) 设定状态估计初值:在0-1之间任取一个值作为SOC的初始值,设置输入噪声方差阵与观察噪声方差阵。

[0037] 3) 测量k时刻的电池路端电压 $U(k)$ 、电流数据 $I(k)$ 。

[0038] 4) 利用上一时刻电池SOC和开路电压 U_{oc} ,根据 $E_L(k) = U_{oc}(k) - U_L(k)$,求出k时刻的 $E_L(k)$,从而得到递推最小二乘算法所需的观测向量 $\varphi(k)$;

[0039] 5) 利用递推最小二乘求出k时刻的参数辨识值。

[0040] 6) 将等效电路模型的模型参数估计值代入扩展卡尔曼滤波算法算法的状态空间模型中,依次完成状态空间模型更新、k时刻的状态参数计算、增益矩阵计算、k时刻状态估计参数修正、得到k时刻电池的SOC估计值、误差协方差矩阵更新。

[0041] 7) 获取下一时刻的新数据 U 、 I ,返回步骤4。

[0042] 所述的中压交流电网的额定电压根据不同船舶设计,具体范围一般为2000~6000V。

[0043] 如图2~图4所示,所述的磷酸铁锂电池模块8和钛酸锂电池模块6各自通过改变对应电池模组的数量来改变容量,再通过各自改变电池单元的电池单体的数量来改变总电压。模组级电池管理器21监控电池单元的状态参数;模组级电池管理器21与高压电管理箱26相连以检测两个电池模组的运行状态,诊断是否存在绝缘故障、接触器黏连故障和短路故障等,并通过控制高压电管理箱26内的接触器闭合,达到控制两个电池模组的通断和预充电作用。主控制模块12通过多约束动态算法实时计算磷酸铁锂模块8和钛酸锂模块6在5

秒内最大可持续充电或放电功率(SOP);实时采集船舶中压交流电网5的电压,对采集得到的电压信号做快速傅里叶变换(FFT),并设定截止频率,分离出低频和高压电压波动信号;以SOP和FFT计算结果作为输入量,利用模糊控制算法控制双向DC/DC电路7中电能的流动方向与功率;主控制模块12利用SVPWN算法和自适应PID算法控制双向逆变器9的输出功率、相位、频率,实现对中压交流电网5的稳压。主控制模块12根据磷酸铁锂电池模块8的剩余电量,调节PWM控制信号的占空比调节整流变压器10的输出功率。主控制模块12与双向DC/DC电路7、双向逆变器9和整流变压器10相连并传输模拟量和控制信号;主控制模块12与模组及电池管理系统21相连并传输电池模组的连接状态、总电压、总电流、健康状态、故障码等信息,以及主控制模块12的控制命令;主控制模块12与上位机15相连并传输磷酸铁锂电池模块8和钛酸锂电池模块6的电压、电流、健康状态、剩余电量、故障码信息。

[0044] 如图2和图5所示,当电池模组需要并入电池模块时,预充电接触器2604和负极接触器2605闭合,电流从输入端正极2601流经预充电电阻2607后流向输出端负极2610;当高压电管理箱26输入输出端电压差小于30V后,预充电完成,闭合正极接触器2603,断开预充电接触器2604,电池模组并入电池模块。当电池模块需要检修时,断开各个高压电管理箱26的正极接触器2603和负极接触器2605,闭合泄放接触器2606、电流从输出端正极2609流经泄放电阻2608,流向输出端负极2610,直流母线寄生电容中的残余电能被泄放电阻2608转化为热能,耗散至空气中,当直流母线正负极电压差小于20V时,能量耗散完成,断开泄放接触器2606。

[0045] 上述具体实施可由本领域技术人员在不背离本发明原理和宗旨的前提下以不同的方式对其进行局部调整,本发明的保护范围以权利要求书为准且不由上述具体实施所限,在其范围内的各个实现方案均受本发明之约束。

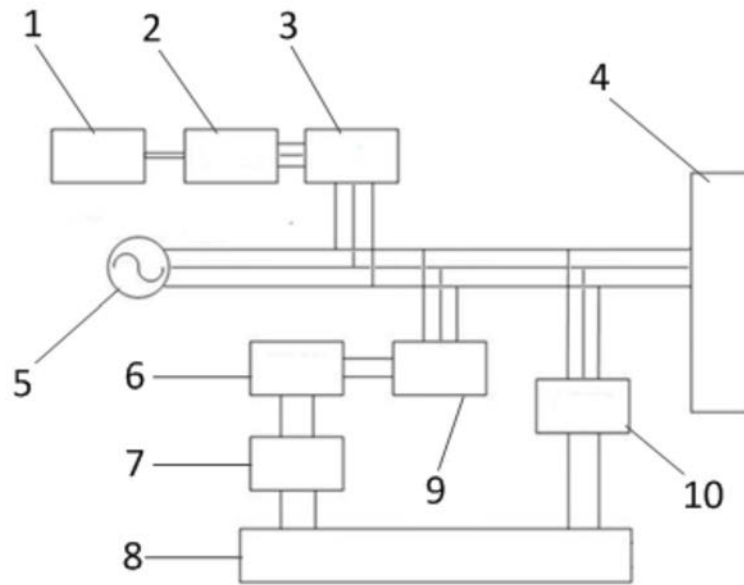


图1

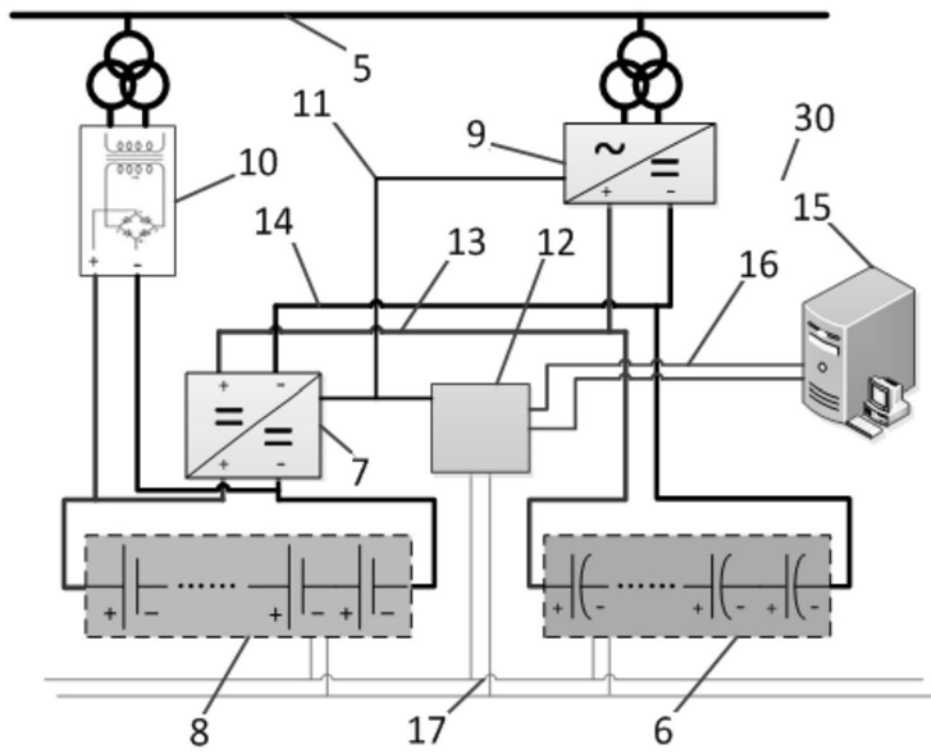


图2

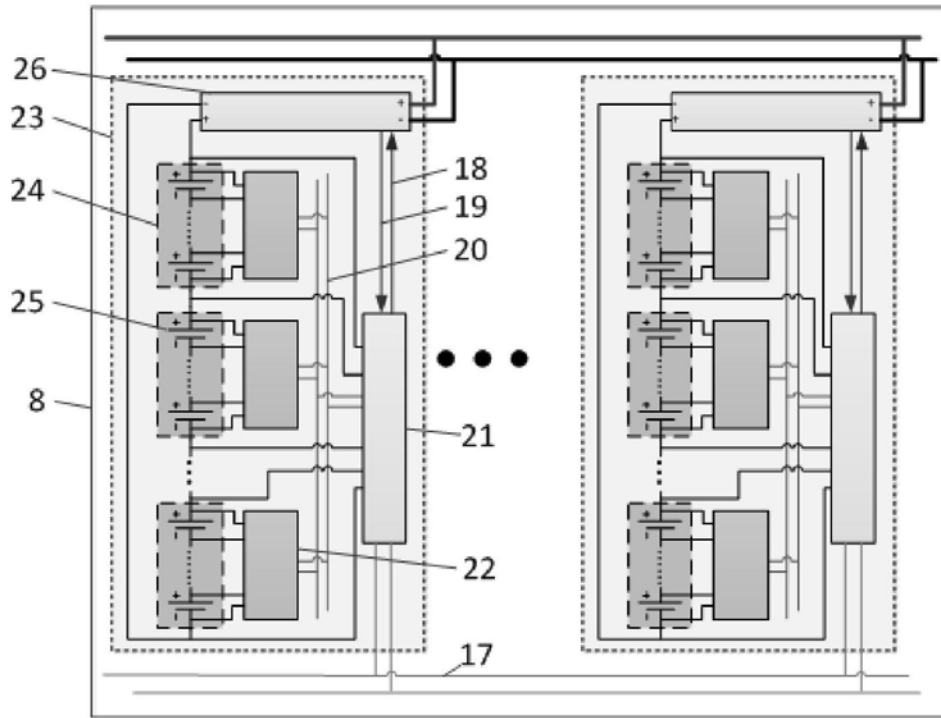


图3

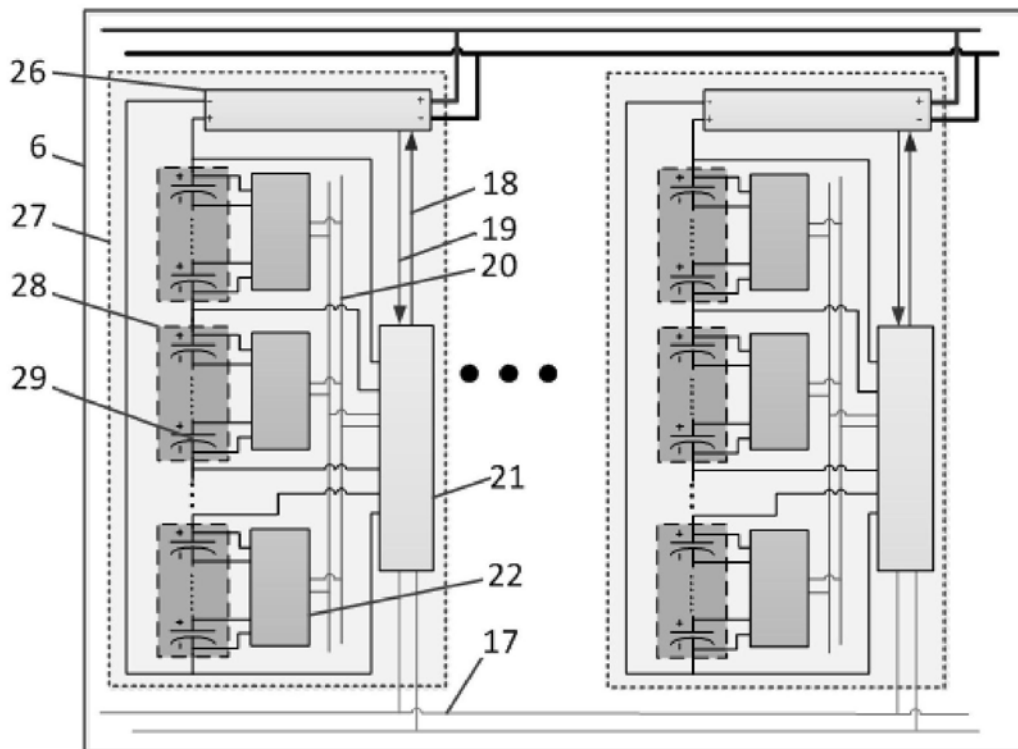


图4

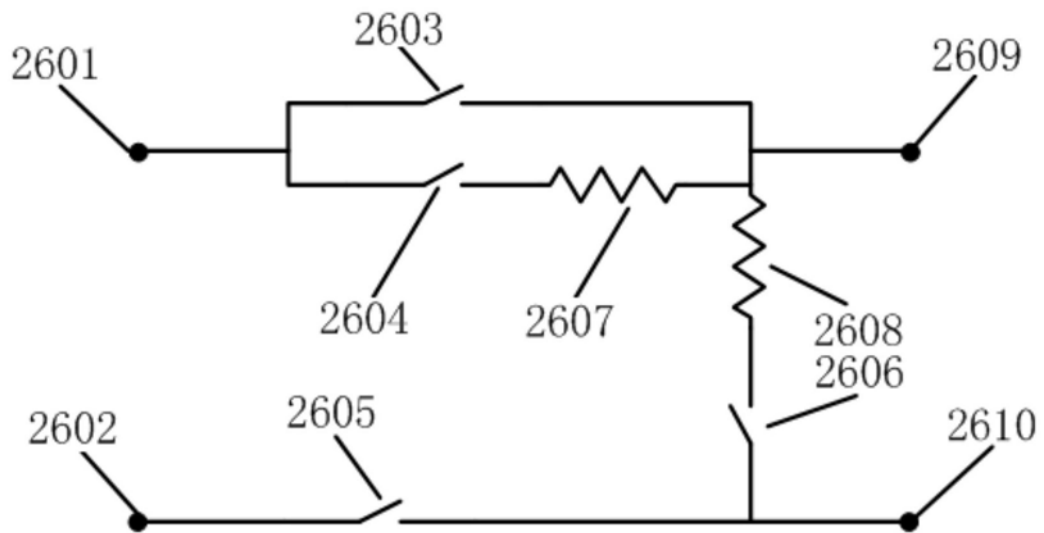


图5