



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109861261 A
(43)申请公布日 2019.06.07

(21)申请号 201910192425.X

(22)申请日 2019.03.14

(71)申请人 万克能源科技有限公司
地址 310012 浙江省杭州市滨江区长河街
道滨盛路1786号汉氏大厦1708室

(72)发明人 庞先标 曹笃峰 虞云龙

(74)专利代理机构 杭州橙知果专利代理事务所
(特殊普通合伙) 33261

代理人 李品

(51) Int. Cl.
H02J 3/32(2006.01)

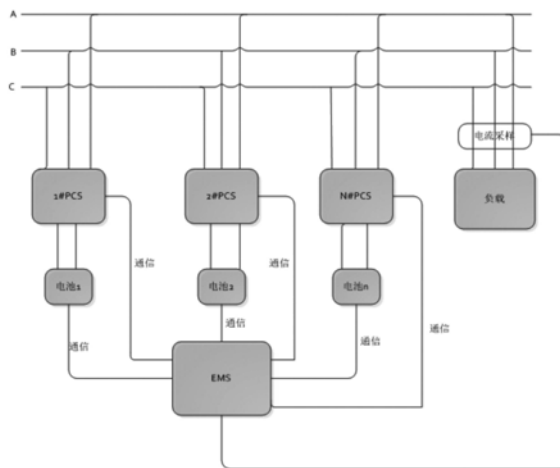
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种基于EMS的储能变流器的功率均衡控制方法,储能控制系统

(57)摘要

本发明提出一种基于能量管理系统(EMS)的储能变流器(PCS)的功率均衡控制方法以及实现此类方法的储能控制系统。该方法包括:基于交流电力网络负载侧的负载总功率和各PCS的功率等级计算出各PCS所需的分配功率;根据每个电池通信上传给该EMS的电池SOC值,先计算出电池SOC平均值再保证当前若干个电池中电池SOC值较大者相应的较多输出能量而电池SOC值较小者相应的较少输出能量;根据以上计算结果计算出每台PCS应该输出的均衡功率调节值。然后该EMS通过与每台PCS通信把每台PCS对应的均衡功率调节值下发给各PCS,从而实现各PCS的功率均衡控制。



1. 一种基于EMS的PCS的功率均衡控制方法,其特征在于包括以下步骤:

第一步、基于交流电力网络负载侧的负载总功率 $P_{\text{负载}}$ 和各PCS的功率等级,在不考虑电池SOC值的情况下计算出各PCS所需的分配功率,其中,该EMS基于所接入的每台PCS的额定功率 $P_{i\text{额定}}$ 和所述负载总功率 $P_{\text{负载}}$,根据公式(1),用每台PCS的额定功率 $P_{i\text{额定}}$ 比上该EMS所挂接的所有PCS的额定功率之和再乘以实时的负载总功率 $P_{\text{负载}}$,计算出每台PCS所需的分配功率 P_i ,其中 $i=1,2,\dots,n$:

$$P_i = \frac{P_{i\text{额定}}}{\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}}} \times P_{\text{负载}} \quad (1)$$

第二步、根据每个电池/电池组通信上传给该EMS的电池SOC值 SOC_i 数据,利用公式(2)先计算出电池SOC平均值 $SOC_{\text{平均}}$,

$$SOC_{\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i}{n} \quad (2)$$

再根据公式(3),将每个电池/电池组的电池SOC值 SOC_i 与上述电池SOC平均值 $SOC_{i\text{平均}}$ 求差,再乘以当前系统的PCS额定功率的可调节裕度 $\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}}$,再乘以一预定比例系数 k 的倒数得出每台PCS需要微调的功率 ΔP_{SOC} ,这样可保证当前若干个电池中电池SOC值较大者相应的较多输出能量而电池SOC值较小者相应的较少输出能量:

$$\Delta P_{SOC} = \left(SOC_i - SOC_{\text{平均}} \right) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}} \right) \quad (3)$$

第三步、根据以上公式(3)的计算结果利用如下公式(5)计算出每台PCS应该输出的均衡功率调节值 P_{ave} :

$$P_{\text{ave}} = P_i + \Delta P_{SOC} \quad (5)$$

第四步、该EMS通过与每台PCS通信把每台PCS对应的均衡功率调节值 P_{ave} 下发给各PCS,从而实现各PCS的功率均衡控制。

2. 根据权利要求1所述的基于EMS的PCS的功率均衡控制方法,其特征在于,具体的预定 k 值是根据每台PCS的输出功率小于其额定功率来给出,具体根据公式(4)求出该 k 值:

$$\frac{P_{i\text{额定}}}{\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}}} \times P_{\text{负载}} + \left(SOC_i - SOC_{\text{平均}} \right) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}} \right) \leq P_{i\text{额定}} \quad (4)$$

3. 一种储能控制系统,其特征是:包括能量管理系统(EMS),该能量管理系统通信连接若干个电池,每一电池通过一储能变流器电力连接到交流电力网络,该能量管理系统又通过电流采样单元电力连接到一电力负载端用于采集交流电力网络负载侧的负载总功率。

4. 根据权利要求3所述的储能控制系统,其特征在于该EMS被配置为:

基于交流电力网络负载侧的负载总功率 $P_{\text{负载}}$ 和各PCS的功率等级,在不考虑电池SOC值的情况下计算出各PCS所需的分配功率,其中,该EMS基于所接入的每台PCS的额定功率 $P_{i\text{额定}}$ 和所述负载总功率 $P_{\text{负载}}$,根据公式(1),用每台PCS的额定功率 $P_{i\text{额定}}$ 比上该EMS所挂接的所有PCS的额定功率之和再乘以实时的负载总功率 $P_{\text{负载}}$,计算出每台PCS所需的分配功率 P_i ,其中 $i=1,2,\dots,n$:

$$P_i = \frac{P_{i\text{额定}}}{\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}}} \times P_{\text{负载}} \quad (1)$$

根据每个所连接的电池/电池组通信上传给该EMS的电池SOC值SOC_i数据,利用公式(2)先计算出电池SOC平均值SOC_{平均},

$$SOC_{\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i}{n} \quad (2)$$

再根据公式(3),将每个电池/电池组的电池SOC值SOC_i与上述电池SOC平均值SOC_{i平均}求差,再乘以当前系统的PCS额定功率的可调节裕度 $\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}}$,再乘以一预定比例系数k的倒数得出每台PCS需要微调的功率 ΔP_{SOC} ,这样可保证当前若干个电池中电池SOC值较大者相应的较多输出能量而电池SOC值较小者相应的较少输出能量:

$$\Delta P_{SOC} = \left(SOC_i - SOC_{\text{平均}} \right) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}} \right) \quad (3)$$

根据以上公式(3)的计算结果利用如下公式(5)计算出每台PCS应该输出的均衡功率调节值P_{ave}:

$$P_{\text{ave}} = P_i + \Delta P_{SOC} \quad (5)$$

通过与每台PCS通信把每台PCS对应的均衡功率调节值P_{ave}下发给各PCS,从而实现各PCS的功率均衡控制。

5. 根据权利要求4所述的储能控制系统,其特征在于,具体的预定k值是根据每台PCS的输出功率小于其额定功率来给出,具体根据公式(4)求出该k值:

$$\frac{P_{i\text{额定}}}{\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}}} \times P_{\text{负载}} + \left(SOC_i - SOC_{\text{平均}} \right) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}} \right) \leq P_{i\text{额定}} \quad (4)。$$

一种基于EMS的储能变流器的功率均衡控制方法, 储能控制系统

技术领域

[0001] 本发明属于一种储能变流器 (PCS) 的功率均衡控制方法, 用于大规模电力储能系统、微电网系统的控制, 更具体地, 本发明涉及一种基于EMS平台的PCS功率均衡控制方法。

背景技术

[0002] 近年来, 随着电力电子技术的迅速发展, 储能变流器 (PCS) 越来越朝着大容量的方向发展。特别是在新能源应用领域, 例如风力发电, 光伏发电, 蓄能电站, 微电网等, 其中PCS的容量可以高达数兆瓦 (MW)。然而, 受制于功率开关器件的通流能力, 在大功率应用场合特别是在低压大电流领域中, 使用单个PCS的技术方案难以满足功率输出的要求, 只能采用多个PCS并联的技术方案以提高变流器的输出功率。

[0003] 在多台并联的PCS并联离网运行的模式下, 每台PCS按电压源的方式, 用虚拟同步机或者下垂控制策略并联带负载运行, 因各台PCS元器件参数的差异、控制参数的差异、线路阻抗的差异等等均会导致各PCS等效输出阻抗彼此会有差异, 从而导致输出电流会有差别, 因此在传统的电压源控制策略条件下的PCS并联系统很难做到功率均衡分配。

[0004] 现有技术方案及存在问题:

[0005] 1、主从控制: 主从控制式PCS并联系统中, 一台PCS作为主机按照电压源方式运行, 其他PCS均作为从机, 按照电流源的方式进行工作, 主机功率分配模块根据负载电流为每一个从机提供电流参考信号, 实现负载均分。此控制方式的主要缺点是: 整个系统的动态响应能力完全依赖于主机的响应能力, 系统动态性能差, 主机一旦故障停机, 整个系统将无法工作, 系统可靠性不高; 在此类并联系统中从机的数目会影响并联系统的稳定性。

[0006] 2、集中控制: 集中控制方式是通过一个外部总控制器检测总负载电流并对其进行均分, 经过通信线发到各个PCS单元的控制中作为其电流参考值的控制策略。此控制方式的主要缺点是: 一是增加系统成本, 二是一旦外部总控制器出现故障, 整个系统将不能正常工作。

[0007] 3、外加无源阻抗: 在PCS输出端增加电阻电感从而增加系统阻抗, 可使PCS并联系统改善因输出阻抗和线路阻抗差异造成的均流效果差的不利影响, 从而达到功率均分的效果。此控制方式的主要缺点是: 一是增加了系统成本, 二是额外的增加了系统损耗, 影响系统整体效率。

[0008] 4、引入虚拟阻抗: 在上述传统下垂控制策略的基础上增加虚拟阻抗控制, 虚拟阻抗的引入使得等效输出阻抗在较宽的频带下呈现为电阻性, 而且通过选取相对较大的虚拟电阻分量可以实现各PCS单元按照自身容量分担负载功率, 可使PCS并联系统达到功率均衡分配的目的。但是此虚拟阻抗控制方式的实现需要改变PCS原有的软件控制算法, 实现起来比较复杂, 并且虚拟阻抗值的选取会影响系统运行的稳定性能, 计算出比较合理的虚拟阻抗值也需要较大的工作量。

[0009] 综上所述, 包含以上四种及其它现有技术方案中对均流问题的解决方案都有各自

的优缺点,并且都是从设备本身出发去寻找解决方案,并没有考虑储能电池SOC值对各台PCS功率分配的影响。

发明内容

[0010] 有鉴于此,本发明依托于能量管理系统(EMS)平台,在不增加任何硬件成本和不改变原有PCS下垂特性基础上简单地解决功率均衡分配的问题。在本发明的各实施方案中,EMS本身需要和各个变流器和电池管理系统(BMS)之间建立通讯连接,收集各个PCS单元的电流、电压、功率值和电池荷电状态(SOC)值,可在此基础上根据该电池SOC、各PCS单元的容量大小和负载功率大小做相应的控制策略,从而对各PCS进行二次功率分配。如此,各PCS只需接收EMS传输的控制指令并在原有功率控制环节加上EMS功率分配指令就可使系统实现功率合理分配。

[0011] 为了实现上述目的和效果,本发明的具体实施方案是:一种基于EMS平台的PCS的功率均衡控制方法,包括以下步骤:

[0012] 第一步、基于交流电力网络负载侧的负载总功率 $P_{\text{负载}}$ 和各PCS的功率等级,在不考虑电池SOC值的情况下计算出各PCS所需的分配功率,其中,该EMS基于所接入的每台PCS的额定功率 $P_{i\text{额定}}$ 和所述负载总功率 $P_{\text{负载}}$,根据公式(1),用每台PCS的额定功率 $P_{i\text{额定}}$ 比上该EMS所挂接的所有PCS的额定功率之和再乘以实时的负载总功率 $P_{\text{负载}}$,计算出每台PCS所需的分配功率 P_i ,其中 $i=1,2,\dots,n$:

$$P_i = \frac{P_{i\text{额定}}}{\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}}} \times P_{\text{负载}} \quad (1)$$

[0013] 第二步、根据每个电池/电池组通信上传给该EMS的电池SOC值 SOC_i 数据,利用公式(2)先计算出电池SOC平均值 $SOC_{\text{平均}}$,

$$SOC_{\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i}{n} \quad (2)$$

[0014] 再根据公式(3),将每个电池/电池组的电池SOC值 SOC_i 与上述电池SOC平均值 $SOC_{\text{平均}}$ 求差,再乘以当前系统的PCS额定功率的可调节裕度 $\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}}$,再乘以一预定比例系数 k 的倒数得出每台PCS需要微调的功率 ΔP_{SOC} ,这样可保证当前若干个电池中电池SOC值较大者相应的较多输出能量而电池SOC值较小者相应的较少输出能量:

$$\Delta P_{\text{SOC}} = (SOC_i - SOC_{\text{平均}}) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}} \right) \quad (3)$$

[0015] 在一个实施方案中,具体的预定 k 值是根据每台PCS的输出功率小于其额定功率来给出,具体根据公式(4)求出该 k 值:

$$\frac{P_{i\text{额定}}}{\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}}} \times P_{\text{负载}} + (SOC_i - SOC_{\text{平均}}) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}} - P_{\text{负载}} \right) \leq P_{i\text{额定}} \quad (4)$$

[0016] 第三步、根据以上公式(3)的计算结果利用如下公式(5)计算出每台PCS应该输出的均衡功率调节值 P_{ave} :

$$P_{\text{ave}} = P_i + \Delta P_{\text{SOC}} \quad (5)$$

[0017] 第四步、该EMS通过与每台PCS通信把每台PCS对应的均衡功率调节值 P_{ave} 下发给各PCS,从而实现各PCS的功率均衡控制。

[0018] 在本发明执行此步骤的储能控制系统拓扑中,该储能控制系统是包括一个能量管理系统(EMS),该能量管理系统通信连接若干个电池/电池组,每一电池通过一储能变流器电力连接到三相电力网络,该能量管理系统又通过电流采样单元电力连接到一电力负载端用于采集交流电力网络负载侧的负载总功率。

[0019] 其中,该EMS被配置为:基于交流电力网络负载侧的负载总功率 $P_{负载}$ 和各PCS的功率等级,在不考虑电池SOC值的情况下计算出各PCS所需的分配功率,其中,该EMS基于所接入的每台PCS的额定功率 $P_{i额定}$ 和所述负载总功率 $P_{负载}$,根据公式(1),用每台PCS的额定功率 $P_{i额定}$ 比上该EMS所挂接的所有PCS的额定功率之和再乘以实时的负载总功率 $P_{负载}$,计算出每台PCS所需的分配功率 P_i ,其中 $i=1,2,\dots,n$:

$$P_i = \frac{P_{i额定}}{\sum_{i=1}^n P_{i额定}} \times P_{负载} \quad (1)$$

[0020] 根据每个所连接的电池/电池组通信上传给该EMS的电池SOC值 SOC_i 数据,利用公式(2)先计算出电池SOC平均值 $SOC_{平均}$,

$$SOC_{平均} = \frac{\sum_{i=1}^n SOC_i}{n} \quad (2)$$

[0021] 再根据公式(3),将每个电池/电池组的电池SOC值 SOC_i 与上述电池SOC平均值 $SOC_{i平均}$ 求差,再乘以当前系统的PCS额定功率的可调节裕度 $\sum_{i=1}^n P_{i额定} - P_{负载}$,再乘以一预定比例系数 k 的倒数得出每台PCS需要微调的功率 ΔP_{SOC} ,这样可保证当前若干个电池中电池SOC值较大者相应的较多输出能量而电池SOC值较小者相应的较少输出能量:

$$\Delta P_{SOC} = (SOC_i - SOC_{平均}) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i额定} - P_{负载} \right) \quad (3)$$

[0022] 根据以上公式(3)的计算结果利用如下公式(5)计算出每台PCS应该输出的均衡功率调节值 P_{ave} :

$$P_{ave} = P_i + \Delta P_{SOC} \quad (5)$$

[0023] 通过与每台PCS通信把每台PCS对应的均衡功率调节值 P_{ave} 下发给各PCS,从而实现各PCS的功率均衡控制。

[0024] 在一个实施方案中,具体的预定 k 值是根据每台PCS的输出功率小于其额定功率来给出,具体根据公式(4)求出该 k 值:

$$\frac{P_{i额定}}{\sum_{i=1}^n P_{i额定}} \times P_{负载} + (SOC_i - SOC_{平均}) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i额定} - P_{负载} \right) \leq P_{i额定} \quad (4)。$$

附图说明

[0025] 图1是本发明用于储能变流器的储能控制系统的原理拓扑图。

具体实施方式

[0026] 本发明的实施方案和效果将通过结合附图描绘的方式来得到更加详细的体现。应当理解的是,在以下实施方案中使用的“平台”、“单元”和/或“模块”是硬件设备和/或硬件集成电路,也可以是运行在这些硬件上的固件程序,可被测试人员手动地安装。在本发明一种基于EMS平台的PCS功率均衡控制方法中,主要包括以下步骤:

[0027] 第一步、基于负载侧总功率和各PCS功率等级,在不考虑电池组SOC值的情况下计算各PCS所需的分配功率。

[0028] 例如,执行此步骤的储能控制系统拓扑可如图1所示,其中该储能控制系统包括一个能量管理系统(EMS),该能量管理系统分别通信连接若干个支路上的电池/电池组1,2...n,每一电池组又通过一储能变流器(1#PCS,2#PCS...,N#PCS)电力连接到三相交流电力网络,

[0029] 在该实施方案中,该PCS用于在直流电力网络与交流电力网络之间进行AC/DC的相互转换,也可以认为这种转换是双向的。该PCS包括有源开关部件、电力耦接该有源开关部件的双向逆变桥和隔离变压器,其中所述有源开关部件进一步电力耦接一个开关控制器。在某些实施例中,该开关控制器是集成在上述EMS中并根据该EMS的处理器/单片机的控制指令控制上述这些有源开关部件的通断。

[0030] 例如,有源开关部件包括连接在上述电池/电池组与双向逆变桥之间的直流断路器以及连接在该隔离变压器与交流电力网络之间的交流断路器。较佳地,该PCS还包括连接在该双向逆变桥与隔离变压器之间的交流接触器。

[0031] 另外,所述PCS还包括设置在该直流电力网络向交流电力网络的电力通路上的滤波器。开关控制器还可电连接一或多个通信部件,用于与EMS之间建立例如基于负载电力线、无线局域网(W-LAN)或合适基带网络的通讯。

[0032] 在其它一些实施方案中,该EMS通讯连接BMS以采集各支路上电池组的电池荷电状态(SOC)值。有些情况下,通过该BMS向EMS中的通讯单元和处理器提供电力。

[0033] 其中,该EMS提取并基于所接入的每台PCS的额定功率和负载总功率,根据公式(1),用每台PCS的额定功率比上挂接的所有PCS额定功率之和再乘负载实时功率,可计算出每台PCS所需要分配的功率 P_i 。

$$P_i = \frac{P_{i\text{额定}}}{\sum_{i=1}^n P_{i\text{额定}}} \times P_{\text{负载}} \quad (1)$$

[0034] 第二步、从该BMS提取并根据每个电池/电池组上传给该EMS的电池SOC数据,利用公式(2)先计算出电池SOC平均值,

$$SOC_{\text{平均}} = \frac{\sum_1^n SOC_i}{n} \quad (2)$$

[0035] 再根据公式(3),将每个电池/电池组的电池SOC值与上述电池SOC平均值求差乘以当前系统的额定功率可调节裕度,再乘以一预定比例系数k得出每台PCS需要微调的功率 ΔP_{soc} ,这样可保证当前电池中电池SOC值较大者相应的较多输出能量而电池SOC值较小者相应的较少输出能量。

$$\Delta P_{SOC} = (SOC_i - SOC_{平均}) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i额定} - P_{负载} \right) \quad (3)$$

[0036] 在一个实施方案中,具体的预定k值可根据每台PCS的输出功率小于其额定功率来给出,具体根据公式(4)求出k值。

$$\frac{P_{i额定}}{\sum_{i=1}^n P_{i额定}} \times P_{负载} + (SOC_i - SOC_{平均}) \times \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^n P_{i额定} - P_{负载} \right) \leq P_{i额定} \quad (4)$$

[0037] 第三步、根据如下公式(5)计算出每台PCS应该输出的均衡功率调节值 P_{ave} 。

$$P_{ave} = P_i + \Delta P_{SOC} \quad (5)$$

[0038] 第四步、该EMS通过与每台PCS通信,把每台PCS对应的均衡功率调节值 P_{ave} 下发给各PCS,从而实现了该储能控制系统的PCS功率均衡控制。

[0039] 基于以上实施方案,在该储能控制系统中列举一个具体实例分析:现有一储能控制系统包含三套PCS及与之电力连接的电池系统单元,这三台PCS的额定功率值分别为:

[0040] $P_{1额定} = 50KW$;

[0041] $P_{2额定} = 100KW$;

[0042] $P_{3额定} = 150KW$;

[0043] 其相应连接的电池/电池组的电池SOC值为:

[0044] $SOC_1 = 80\%$;

[0045] $SOC_2 = 60\%$;

[0046] $SOC_3 = 40\%$;

[0047] 此时负载总功率为100KW,根据上面公式(1)可知:

[0048] $P_1 = 50 \div (50+100+150) \times 100KW = 16.67KW$;

[0049] $P_2 = 100 \div (50+100+150) \times 100KW = 33.33KW$;

[0050] $P_3 = 150 \div (50+100+150) \times 100KW = 50KW$;

[0051] 根据公式(2)可知: $SOC_{平均} = (40\%+60\%+80\%) \div 3 = 60\%$;

[0052] 根据公式(3)可知:

[0053] $50 \div (50+100+150) \times 100KW + (80\%-60\%) \times 1/k \times (300KW-100KW) \leq 50KW$;

[0054] $100 \div (50+100+150) \times 100KW + (60\%-60\%) \times 1/k \times (300KW-100KW) \leq 100KW$;

[0055] $150 \div (50+100+150) \times 100KW + (40\%-60\%) \times 1/k \times (300KW-100KW) \leq 150KW$;

[0056] 基于以上结果得出: $k \geq 1.2$;

[0057] 可根据上述储能控制系统的调节精度选择该k值大小,只要保证 $k \geq 1.2$,则各PCS就不会超过额定功率运行,k值越大调节精度越高。假定取 $k=2$,此时:

[0058] $P_{ave1} = 16.67KW + 20KW = 36.67KW$;

[0059] $P_{ave2} = 33.33KW + 0KW = 33.33KW$;

[0060] $P_{ave3} = 50KW - 20KW = 30KW$;

[0061] 此时,就可保证各个电池组中电池SOC值较高者输出能量相对略高,SOC值较低者输出能量略低,以此满足该系统的功率均衡控制。

[0062] 基于此,本发明的实施效果是显著的:基于储能系统的能量管理平台(EMS)在不增加任何硬件成本和不改变原有PCS下垂特性基础上简单地解决功率均衡分配的问题,该EMS

可根据电池SOC、各PCS单元的容量大小和负载功率大小做相应的控制策略以对各PCS进行二次功率分配,各个PCS只需要接收控制指令并且在原有功率控制环节加上EMS功率分配指令就可使该系统实现功率合理分配。

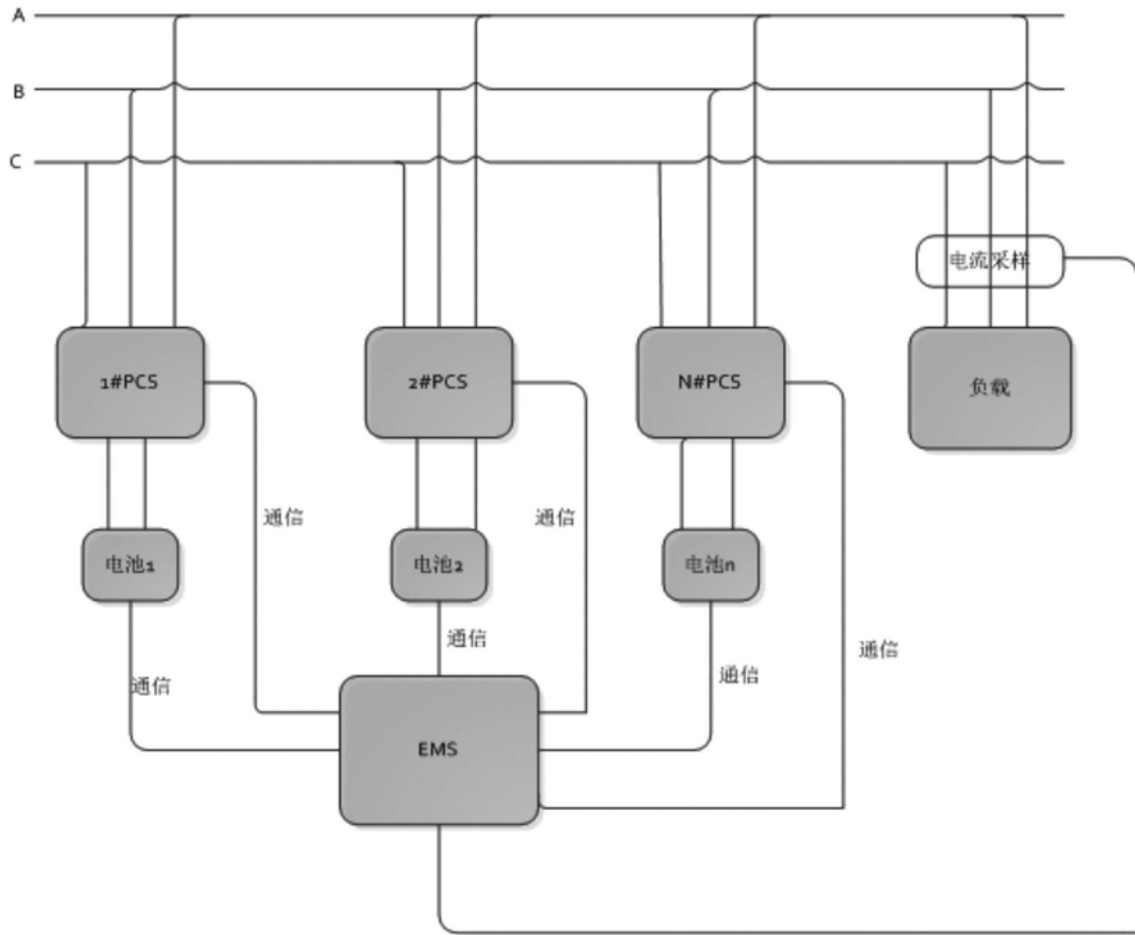


图1