

基于分组控制的直流电源核容装置及方法

杜思宇 邵江南 郭登科 郭书波 柴鹏为

国网新疆电力有限公司昌吉供电公司 新疆 昌吉 831100

摘要:一种基于分组控制的直流电源核容装置及方法包括:并联电源模块,由若干蓄电池模组组成的蓄电池模块;数据采集模块,用于采集并联电源模块的电源信息和开关量状态信息;充电机模块,用于为并联电源模块充电;核容控制模块,用于控制并联电源模块的核容操作,并根据数据采集模块采集的信息输出异常告警信息。本装置是对并联电源模块的蓄电池模组进行核容,核容控制模块控制蓄电池模组从第一个蓄电池单体开始放电,依次对蓄电池单体的放电时间和放电电流进行监测,核容过程是先放电后充电,节省核容时间,提升核容效率。

关键词:分组控制;直流电源;核容装置

DOI:10.12417/3083-5526.25.01.001

1 引言

在变电站直流电源系统中,蓄电池组作为关键的后备电源,其可靠性和稳定性直接影响电力系统的安全运行。目前,变电站直流电源系统运行的蓄电池组主要主要为串联型结构,即通过将多节蓄电池依次串联连接,以提高总输出电压。例如,将24节2V蓄电池串联可获得48V的直流电源。然而,串联型蓄电池组在实际运行和维护中存在以下显著缺陷:

(1)单节故障影响整体性能,串联结构中,若某一节蓄电池出现容量衰减、内阻增大或开路故障,将导致整组蓄电池的输出电压下降,甚至系统瘫痪,可靠性较差。

(2)维护需逐个检测,运维过程中需对每节蓄电池进行单独检测和容量测试,工作量大且耗时,难以实现快速故障定位。

(3)均衡管理复杂,由于单体蓄电池的容量、内阻等参数存在差异,串联结构易出现充放电不平衡问题,需额外配置电池管理系统(BMS),增加了系统复杂度与成本。

(4)更换成本高。当单节蓄电池失效时,往往需整组更换,造成资源浪费和经济损失。

为克服上述问题,并联型蓄电池组逐渐成为研究热点。其通过将多节蓄电池的正负极分别并联连接,保持输出电压不变,总输出电流为各蓄电池电流之和。例如,4节12V/10A蓄电池并联后,输出电压仍为12V,而总电流提升至40A。这种结构具有单体故障容错性强(单节故障不影响整组输出)、兼容不同品牌/类型蓄电池等优势。然而,并联结构亦存在不足,例如:

(1)性能一致性要求高:若并联蓄电池的内阻、容量差

异较大,可能导致电流分配不均,加速部分电池老化。

(2)系统复杂度增加:需精确监控各支路电流,对管理系统的精度和可靠性提出更高要求。

此外,现行标准要求蓄电池组需定期进行核对性放电试验(新装后全容量测试,运行2年后每2年一次,4年后每年一次),以评估其实际容量。传统串联结构的核容测试需对整组放电,操作繁琐且可能影响系统供电连续性。

因此,亟需一种适用于并联型蓄电池组的高效、安全的核容技术,在简化运维流程的同时,提升系统的可靠性和经济性。

2 基于分组控制的直流电源核容装置及方法技术的实现

2.1 基于分组控制的直流电源核容装置及方法研究方法

2.1.1 数据采集与充电准备

步骤S1:数据采集:数据采集模块启动,通过并联电源监测模块采集蓄电池单体电压、温度、充电电流、放电电流、内阻等电源信息,通过开关量监测模块采集各关键开关的状态信息,并将数据实时上传至核容控制模块。

步骤S2:充电运行:充电机模块通过交流互投装置选择稳定的交流输入(第一或第二交流输入),经整流模块转换为直流电后,通过双向DC/DC模块降压(220VDC转24VDC),为并联电源模块的蓄电池模组提供均充/浮充电流。此时,充电机输出开关、蓄电池输出开关、母线侧总输出开关及各模块输出开关均处于合闸状态,系统正常带载,蓄电池模组处于储能状态。

作者简介:杜思宇(1992.05—),男,汉族,山东省菏泽市人,本科,职称:工程师,研究方向:变电站一体化电源。

2.1.2 分组核容控制

核容控制模块接收核容命令后，启动分组核容操作，核心逻辑为“当前蓄电池单体放电核容时，前一个蓄电池单体进行充电”，具体步骤如下：

模式切换：并联电源模块退出降压充电模式，关闭 AC/DC 变换器 (MK1-5)，切换至升压模式 (24VDC 转 220VDC)，动态调节输出电压以维持 I10 放电电流 (I10 为 10 小时率放电电流，即额定容量 C10 与 10 的比值，如 C10=100Ah，则 I10=10A)。

分组放电与容量计算：首先对第一蓄电池单体进行放电，直至其电压达到终止电压 (2V 单体为 1.8V，12V 单体为 10.8V)，通过“放电电流 × 放电时间”计算第一单体的核容容量。

交替充电：当第一单体放电结束后，立即启动对其的充电操作 (通过双向 DC/DC 模块切换回降压模式)，同时启动第二蓄电池单体的放电操作，重复容量计算逻辑。

循环执行：依次对所有蓄电池单体执行“放电 - 充电”交替操作，直至所有单体完成一次充放电循环，核容过程结束。

2.1.3 异常告警与故障应对

在核容过程中，核容控制模块实时接收数据采集模块的监测数据，当检测到参数超出设定阈值时，立即输出异常告警信息，告警类型包括：

电压异常：单体过压 / 欠压 (阈值可遥调)、蓄电池组过压 / 欠压。

内阻异常：单体内阻过大 (如超过标准值的 120%，阈值可遥调)。

温度异常：单体过温 (阈值可遥调)、环境过温。

其他异常：核容电流异常、模块通讯故障、蓄电池熔断器异常等。

此外，针对特殊故障场景，装置具备以下应对能力：

母线失压：若因短路、负荷冲击或模块故障导致母线失压，各分组电池通过并联电源模块升压均衡带载，保障母线不失压；若某分组电池开路，其他模块可重新分配直流负荷，降低系统瘫痪风险。

大电流需求：当系统需要大电流时 (如短路、负荷冲击)，续流回路通过二极管与熔断器接入直流母线，提供驱动保护器件动作的能量，确保故障线路及时隔离。

2.2 基于分组控制的直流电源核容装置结构方案

2.2.1 并联电源模块

并联电源模块是装置的储能核心，负责在充电机故障或

停电时为带载设备提供备用电源，同时作为核容操作的对象。其主要包括蓄电池模组与续流电源模块。

(1) 蓄电池模组

蓄电池模组由若干蓄电池单体组成，所有单体并联设置于充电机模块的输出端，形成多组并联电池单元。本装置中，共设置 9 组分组电池，其中 5 组为 12 节单体电池，4 组为 11 节单体电池 (以 2V/104 节电池组为例)，总电压通过后续续流回路调节以适配带载设备需求。

(2) 续流电源模块

续流电源模块的核心功能是在并联型蓄电池无法输出大电流时 (如短路、负荷冲击场景)，为直流母线提供大电流支撑，保障带载设备供电稳定。其主要组成部件及功能如下：

续流控制开关：串联于蓄电池模块控制开关输出端与带载母线之间，控制续流回路的通断。

双向 DC/DC 模块：并联于蓄电池模组两端，实现不同直流电压的双向变换 (正常工作时将 220VDC 降压为 24VDC 为蓄电池充电，核容或大电流需求时将 24VDC 升压为 220VDC 供给带载设备)。

熔断器：设置于蓄电池模组与双向 DC/DC 模块之间，用于过流保护，当电路出现过流、短路故障及时断开，保护设备安全。

蓄电池模块控制开关：与双向 DC/DC 模块连接，控制蓄电池模组的充放电回路通断。

二极管：负极端与续流电源模块负极连接，正极端与充电机模块负极输出端连接，作为逆止二极管防止电流反向流动，保障续流回路在大电流场景下可靠接入直流母线。

本装置中 8 个并联电池模块首尾相连 (8×12×2=192V) 形成续流回路，通过双向 DC/DC 模块调节电压，满足带载设备对大电流与电压稳定性的双重需求。

2.2.2 数据采集模块

数据采集模块是实现蓄电池状态监测与异常判断的基础，负责实时采集并联电源模块的电源信息与开关量状态信息，为核容控制与告警输出提供数据支撑。其包括并联电源监测模块与开关量监测模块。

(1) 并联电源监测模块

该模块通过多类传感器实现对蓄电池单体及回路状态的全方位监测，具体组成如下：

蓄电池电压传感器：与每个蓄电池单体连接，实时检测单体电压。

蓄电池温度传感器：采用热敏电阻，通过导热绝缘胶固定于蓄电池负极采样线金属线耳，直接传导极柱热量，减少环境干扰，精准监测单体温度。

充电电流传感器：设置于充电回路上，监测蓄电池单体的充电电流。

放电电流传感器：设置于续流回路上，监测蓄电池的放电电流。

蓄电池内阻检测器：与蓄电池单体连接，监测蓄电池绝缘状态与内阻变化。

通过将采集到的单体电压、温度、充电电流、放电电流等数据，与蓄电池额定容量、放电时间、截止电压等标准参数对比，可初步判断蓄电池是否存在性能异常或回路故障。

(2) 开关量监测模块

该模块负责监测系统关键开关的状态，确保回路通断可控与故障溯源，监测对象包括：充电机输出开关（如 ICK 1、#1QS2）、蓄电池输出开关（如 IDK 1、#1QS1）、并联电源母线侧总输出开关（ZK1）、各并联电源模块输出开关（QF1-9）等，实时反馈开关合闸/分闸状态至核容控制模块。

2.2.3 充电机模块

充电机模块是系统的主供电源，负责为带载设备供电的同时，为并联电源模块充电，保障蓄电池模块的储能状态。其采用双交流输入设计以提升供电可靠性，具体组成如下：

第一交流输入模块：主外部供电电源，为蓄电池模块与带载设备提供常规交流输入。

第二交流输入模块：备用外部供电电源，在第一交流输入异常时切换投入。

交流互投装置：通过转换开关实现两路交流输入的切换，当一路进线异常时，根据设定延时（0.1-15秒）自动切换至另一路，确保交流输入连续性。

整流模块：将交流互投装置选择的交流电转换为直流电，用于蓄电池充电与带载设备供电。本装置根据蓄电池容量配置5个整流模块，实现高频整流，提升电能转换效率。

2.2.4 核容控制模块

核容控制模块是装置的核心控制单元，负责接收核容命令、控制并联电源模块的核容操作（充放电模式切换、电流电压调节），并根据数据采集模块的监测数据输出异常告警信息，确保核容过程安全高效。

3 基于分组控制的直流电源核容装置及方法优点

核容效率高：采用“前一模块充电、后一模块放电”的分组控制策略，无需等待所有模块放电完成后再充电，显著缩短核容总时间。

供电连续性强：核容过程中充电机模块正常带载，并联电源模块通过模式切换保障直流母线电压稳定，避免传统离线核容导致的系统断电风险。

监测精度高：温度传感器直接固定于蓄电池极柱，减少环境干扰；多维度数据（电压、电流、内阻、温度）实时采集，确保异常状态及时发现。

故障应对能力强：续流回路提供大电流支撑，二极管与熔断器实现过流保护，分组设计降低单一模块故障对系统的影响。

4 结语

本研究提出的基于分组控制的直流电源核容装置及方法，通过模块化设计与动态控制策略，有效解决了传统直流电源核容效率低、供电稳定性不足的问题。装置通过并联电源模块与续流电源模块的协同，实现了大电流场景下的可靠供电；数据采集模块的多维度监测与核容控制模块的分组策略，保障了核容过程的高效性与安全性。该装置及方法适用于电力、通信、数据中心等对直流备用电源可靠性要求高的领域，具有广阔的应用前景。

参考文献：

- [1] 程煜杰, 杨士奇, 丁圆, 等. 一种基于蓄电池抽头分组的守护型直流电源系统及其控制策略 [J]. 电器与能效管理技术, 2024 (3): 15-20, 35.
- [2] 龚青苑, 姚文熙, 吕征宇. 模块化串联结构高压电源的两级分组控制系统 [J]. 电源学报, 2020, 18 (4): 172-177.
- [3] 冒如权, 丁洁. 适用于可控直流源的备电切换模块及其控制方法 [J]. 机电设备, 2025, 42 (3): 23-26, 33.
- [4] 宋丹丹. 模块化串联结构电源系统中两级分组控制的故障检测策略 [J]. 通信电源技术, 2024, 41 (15): 135-137.