

[蓄电池]

便携式蓄电池内阻快速测试系统研究

文/陈昱 张成彬

上海久隆电力(集团)有限公司; 上海东开自动化技术有限公司

随着经济快速发展和社会进步, 电力用户对供电的可靠性提出了越来越高的要求。变电站中直流系统对电力系统供电安全性起着非常重要的支撑作用。在直流系统中, 由于蓄电池的原因, 仅仅靠UPS等自身的可靠性是无法确保在紧急情况下提供安全的供电服务; 在重大电源事故中, 70%的事故与蓄电池故障相关。

蓄电池在使用过程中会出现的负极板硫化、热失控、失水和正极板腐蚀等问题, 可能导致蓄电池容量下降, 外在表现是内阻升高。因此, 研究采用最新计算机技术、超低功耗技术及最新的测量蓄电池内阻的算法, 开发出一套便携式快速蓄电池内阻测试系统, 减轻运维人员的工作强度, 同时保障变电站直流系统的安全稳定运行, 杜绝安全隐患, 为国家电网建设坚强电网保驾护航, 具有显著的经济效益和社会意义。

本测试系统研究基于最新计算机技术、超低功耗技术及最新的测量算法, 构建一套快速蓄电池内阻检测系统, 快速解决变电站直流系统中的安全隐患, 减轻运维现场工作的测试时间和劳动强度, 同时可以有效提升直流系统运维管理系统的水平, 在掌握多种变电站蓄电池的大量参数及测试数据的基础上, 为后续直流系统运维及专家系统生成提供数据支撑。

蓄电池内阻便携快速测试系统研究的意义

由于电力供用电系统中变电站众多, 每个变电站都有直流系统, 在长期的运行中, 都需要对蓄电池中的落后电池进行检测和筛选, 因此能够快速进行蓄电池内阻检测系统的需求量很大。目前国内市

场还没有发现类似或相同性能的产品, 该测试系统可以减少大量的设备投资, 降低人员运维管理综合成本。

便携快速测试系统可以高效快速地完成直流系统中不良电池的检测作业任务, 降低操作人员的作业时间, 减少操作人员的劳动强度, 降低安全隐患, 避免潜在意外事故的发生, 实现对变电站直流系统运维作业的精细化安全管理, 有力保障变电站直流运维的作业安全及电网安全稳定经济运行, 具有深远的社会效益。

便携式快速测试系统研究的目标

针对现场实际需要, 以及当前国内外蓄电池内阻测试技术的发展水平现状, 快速测试系统研究的目标是: 为直流系统稳定安全运行研制一套蓄电池内阻的便携快速检测系统。根据变电站的实际情况, 通过分组, 依据强大的软件分析功能、数据处理功能, 半数递减, 快速识别内阻异常的电池, 一次能够测试直流柜一层的蓄电池组, 同时能够测试单体电池的内阻, 快速发现电池组中的落后或劣化的电池。

目标一: 在充电回路上没有额外串接开关、二极管或其他装置, 不对原有运行中的直流系统造成

影响。内阻采集采用直流脉冲放电法，避免放电对直流系统造成影响。

目标二：能够快速测试蓄电池内阻，迅捷找出落后或劣化的电池，为变电站直流系统内阻检测操作提供一个简洁的快速现场测试环境及测试方案，为现场运维人员提供快速的技术监测手段，提高直流系统作业安全管理水平，并通过现场采集的蓄电池参数及大数据为安排决策提供具体支撑数据。

目标三：系统装置重量及体积大小适中，便于携带，易于使用。

理论研究和试验、关键技术分析

1. 理论研究和试验

该系统的理论研究和新的蓄电池内阻测试方法。

针对现有蓄电池内阻检测方法存在的准确度差、复杂性高和影响蓄电池寿命等缺点，通过控制开关管的通断使蓄电池对负载进行脉冲电流放电，同时采集放电前后的电压及电流，经交流差分电路放大后将交流信号转变为直流信号，再通过滤波电路处理后进行模数转换，最后由单片机进行分析处理，实时在线计算蓄电池内阻。

半数递减分组测量法：系统中采用现场安装后的蓄电池按电池机柜每层电池自然分组测试，发现有异常电池后，再以大致半数递减的方式对电池组筛选，发现内阻异常的电池。

脉冲电流放电法测量法：在放电过程中，通过内部算法控制电流振幅及脉冲频率，保证蓄电池电压的响应来源于蓄电池本身的真实能量层而不是表面能量层。设备通过短时间（3~5 s）中等电流放电（方波）来测量阻抗，电流放电会引起很小的电压波动，测试仪能够监测到电压的波动，并放大处理，进而计算得出阻抗值。采用四线法测量：先两线分组测试，后可对个别电池四线测试，减少测量误差。

脉冲电流放电法需要测量的参数较少，降低了系统的复杂性，可提高在线测量蓄电池内阻的精确度，同时避免瞬间大电流对蓄电池的损害，延长使用寿命。

新的测试算法需要对电池做大量的试验，采取原始数据然后做横向及纵向的比较来进行分析处

理，并对新的理论算法进行验证。该研究目标是在新的理论算法及大量试验的基础上完成的。

2. 直流放电及多循环的测试技术

(1) 方案一

蓄电池内阻在线测量的方法采用直流放电法。在放电的同时，系统高速采集电池的放电曲线，取得压降后计算出电池的内阻。

系统控制放电负载接入到电池组的每个循环两端，采集不同电流 I_1 、 I_2 所对应的电压值，通过公式得到其内阻值，如图1所示。

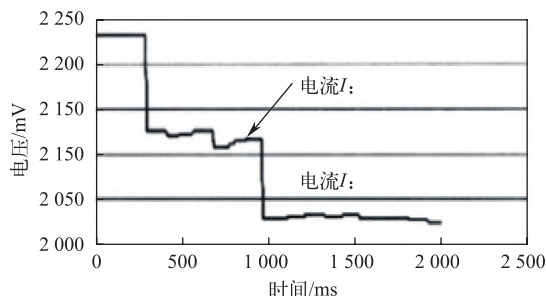


图1

计算公式为

$$R = \frac{U_1 U_2}{I_1 I_2} \quad (1)$$

(2) 方案二

按照ALBER的测试原理：①向负载模块放出电流值范围为30~70 A的大电流，维持时间3.25 s；②测量放电电压稳定后的瞬间断电电压差与电流值；③计算电压差 ΔV （ $V_2 - V_1$ ）与电流值（ I ）的比值，得出蓄电池的内阻 $R = \Delta V / I$ 。

放电过程中电压的变化，需要选择稳定区域来计算电压变化幅值，而蓄电池内阻值通常比较小，在一定电流下，电压变化的幅度也很小，不太容易准确测量，因此系统选用16位AD转换芯片完成对单体电压的采样。

3. 内阻比较方法

(1) 内阻横向比较法

内阻横向比较法：①求出每个电池组的平均内阻值；②逐个比较，选取平均内阻值比较高的蓄电池组；③通过继续做核对性放电，判断此电池是否已存在问题。

内阻横向比较法可能会发生判断错误，其原因在于：做容量核对性放电时发现，内阻比较高的电池容量仍能达到100%，这些蓄电池组中，单个电池

的内阻不尽相同。不同厂家，不同型号的蓄电池，由于采用不同的制作材料和制造工艺，内阻差别往往也比较大。

所以横向比较法仅对同一厂家同一型号的蓄电池具有参考意义，并不能完全准确判断电池容量。

(2) 内阻纵向比较法

内阻纵向比较法：以容量为100%（新电池安装时）时取得的内阻值为基准值，对同一个电池在不同时间测得的内阻进行比较。高出基准值25%以上的电池，以基准值的50%为界，低于者判定其处于临界状态，需要做进一步确认或活化处理，高出者则判定该电池容量已经低于80%。

经实际应用验证，这种内阻纵向比较法是非常有效的。

本系统采用内阻纵向比较方法进行比较判断，找出落后电池，同时参考横向比较的方法。

本系统方案是针对采用2 V电池组成的直流系统，系统由监控显示部分、采集模块、放电模块和电源部分组成。

便携式快速测试系统整体方案设计

本系统方案是针对采用2 V电池组成的直流系统，系统包括：10 in触摸屏监控显示部分、数据采集模块、放电模块和锂电池充放电电源。

数据采集及内阻测试计算包括蓄电池组的电压、电流等的采集，放电回路搭建。在电池内阻测试时，启动内阻测试程序，控制放电模块，完成对单体电池或电池组内阻的测量。然后通过RS 485总线送至监控显示部分，进行数据分析与判断。

整套系统采用50 000 mA·h的锂电池作为工作电源，显示液晶采用10 in触摸屏，操作系统采用LINUX，数据库采用SQLITE，计算存储及分析CPU采用ARM，RAM 2G，32G电子盘，一个RJ45 100/10 M自适应，一个USB接口。

1. 系统监控显示部分

系统监控显示部分完成系统的显示、分析和判断功能；每个采集模块最多可完成20只电池组电压、电流的采集及电池组内阻的测量；1个放电模块可以完成1组20只电池组的放电，可以测试20块电池组内阻，然后和标准内阻值进行横向及纵向的比较判定该组电池是否有不良电池。

提出面向多任务实时数据采集及数据智能分析的高级功能应用。系统基于LINUX下的采集及分析计算的涉及，包括有RS 485、RJ45、WiFi和USB等接口，建立一种数据池，对所有的采集数据进行分析计算。

(1) 监控显示部分主要功能

触摸屏人机接口，显示电池组信息；遥测：单体电压、单体内阻、整组电压、充放电电流和电池温度；曲线图：显示组压-电流曲线；柱状图：可实现单体电压、内阻柱状图的方式显示，便于比较；告警功能：提供单体电压异常、电池欠电压、内阻超限、内阻异常和综合故障告警等；通信处理：设备具有以太网\USB等接口，可以上传，或拷贝数据。

(2) 分析软件功能

实现监测数据以图形和曲线多种形式显示，画面友好且方便查看；单体电池及电池组电压及内阻均可通过柱状图和曲线进行横向对比；单体内阻及电池组内阻可采用柱状图或曲线进行纵向比较；保存每次监测数据，可保存及查询历史数据；根据检测的历史数据进行综合分析，判断分析电池性能，找出或预警落后电池。

2. 数据采集模块功能

采集模块在正常情况下，完成单体电压、电池组充放电电流等参数的检测；在电池内阻测试时，启动内阻测试程序，控制放电模块，完成对单体电池内阻的测量。然后通过RS 485总线送至监控显示部分，进行数据分析与判断。

(1) 采集部分硬件方案

采用STM32F系列作CPU，满足快速测量的要求；选用16位AD采样芯片；采用同步信号控制电阻模块投切负载，达到同步采样，提高测量准确度；选用高压差分放大器，最高可承受100 V电压；智能接口：完成程序下发、参数上下装及与采集模块的信息交流，可通过跳线选择RS 232或RS 485工作方式；隔离：采用DC/DC和光耦隔离。

(2) 采集模块主要指标

电池电压 $\pm 0.5\%$ ；1路整组电压 $\pm 0.5\%$ ；1路整组电池电流 $\pm 1\%$ ；电池内阻重复准确度 $\pm 5\%$ 采用同步信号控制电阻模块投切负载，达到同步采样，

提高测量准确度；选用高压差分放大器，最高可承受100 V电压。

3. 放电模块

放电模块采用功率负载技术。在采集模块控制下放电模块接通负载放电回路，通过负载放电，配合采集模块完成放电电流采集，进行内阻计算。

放电模块执行采集模块下发过来的启动放电或停止放电指令，同时为了保证放电功能的安全性和可靠性，放电模块内部有控制装置：可依据事先所设定的时间限制，决定和执行是否自动切断放电回路（即便电子开关已损坏，也能保证切断命令的执行）。

放电模块的原理框图如图2所示。

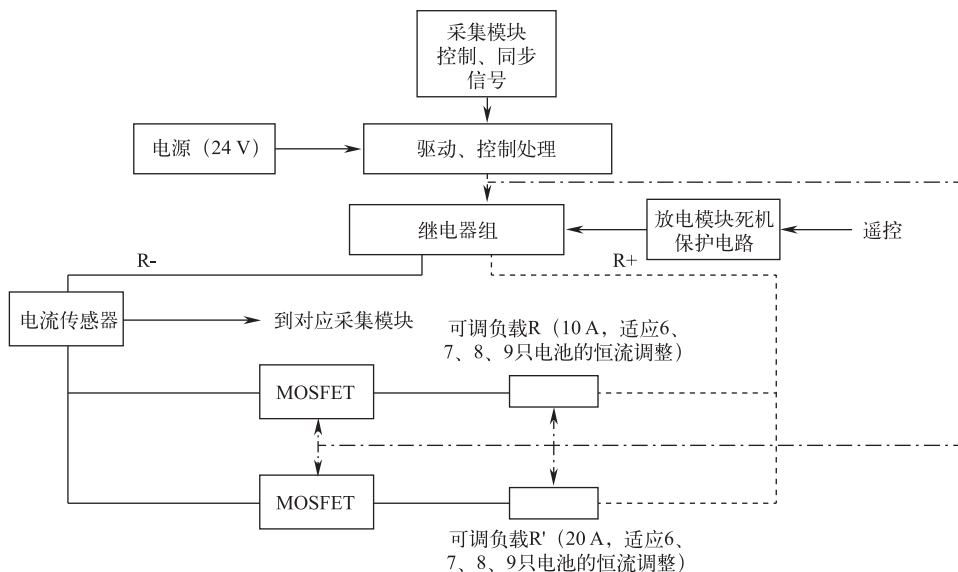


图2 放电模块原理框图

主要指标：1个分组电池接入；2级负载快速切换；硬件方案：负载采用功率电阻加散热片的方式，分为2级，分别配置为10 A、20 A。

本系统研究的创新点及解决的问题

1. 系统研究创新点

(1) 半数递减分组测量方法

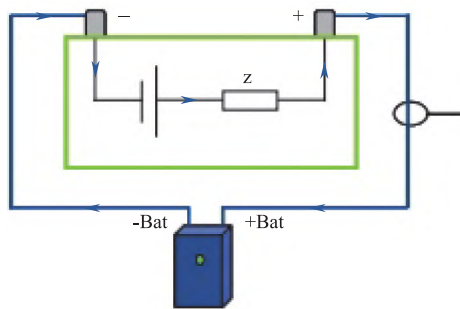
系统中采用现场安装后的蓄电池按电池机柜每层电池自然分组测试，发现有异常电池后，再以大致半数递减的方式对电池组筛选，发现内阻异常的电池。

(2) 脉冲电流放电法测量技术

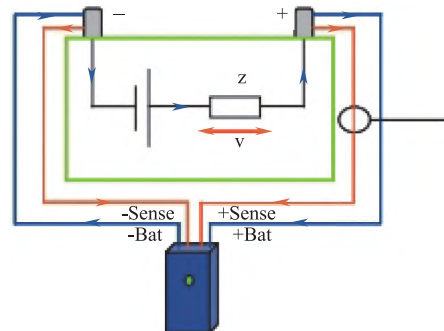
在放电过程中，通过内部算法控制电流振幅及脉冲频率，以保证蓄电池电压的响应来源于蓄电池本身的真实能量层而不是表面能量层。设备通过短时间（3~5 s）中等电流放电（方波）来测量阻抗，电流放电会引起很小的电压波动，测试仪能够监测到电压的波动，并放大处理，进而计算得出阻抗值。

(3) 测量4线法

先两线分组测试，后可对个别电池4线测试，减少测量误差，如图3所示。



(a) 由“+Bat”、“-Bat”进行检测



(b) 由“+Sense”、“-Sense”进行检测

图3 四线法测量蓄电池阻抗图示

(下转第127页)

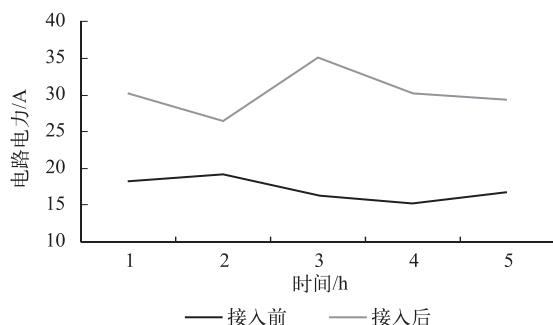


图1 测试结果对比图

从电压质量、电能损耗和短路电流三个方面分析分布式光伏发电接入后对电网造成的影响。

①在电压质量方面，分布式光伏发电的接入对电网电压质量有着显著的影响，导致电网电压波动；②在电能损耗方面，分布式光伏发电的接入对电网电能损耗也存在一定的加剧作用；③在短路电流方面。当光伏组件与电网并网时，引发短路故障时的短路电流更加明显。

结束语

本文提出分布式光伏发电与储能对电网的影响分析研究，切实明确其在电压质量、电能损耗和短路电流三个方面的作用形式。针对分布式光伏发电接入后对电网造成的影响，可以优化光伏组件布局和结构，提高光伏组件的转换效率和稳定性，降低

对电网电压质量的影响。其次，可以选择低阻抗的输电线路和高效的变压器等，降低电能传输过程中的损失。除此之外，还可以选择合适的保护装置和制定合理的保护策略，如过电流保护、过电压保护和欠压电保护等，确保电网的安全运行。**EA**

(收稿日期：2024-04-25)

参考文献

- [1] 孟中强, 李飞, 张豪, 等. 基于随机潮流与双层经济性指标的微电网储能优化配置[J]. 电气应用, 2023, 42(8): 92-99.
- [2] 宋智强, 黄耀辉, 赵化时, 等. 含多类型直流的交直流混联电网潮流计算方法适用性分析[J/OL]. 电力自动化设备, 2023, 7(4): 1-10.
- [3] 唐文静, 唐俊杰, 林星宇, 等. 基于外网静态等值与无迹变换法的互联电网概率潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(10): 117-127.
- [4] 管恩齐, 何晋, 骆通. 含直流潮流控制器的真双极多端柔性直流电网潮流计算研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2023, 44(2): 68-76.
- [5] 巨云涛, 李嘉伟, 陈浩, 等. 基于局部几何参数化和JFNG算法的微电网群分布式连续潮流计算[J]. 电力自动化设备, 2023, 43(6): 71-77+136.

(上接第124页)

(4) 搭建大数据及专家智能分析功能软件

针对采集到的大量现场蓄电池参数及数据等进行分析，为以后生成专家系统做数据支撑。

系统研究解决的主要问题。

1) 实现变电站中直流系统中蓄电池内阻快速检测，减轻现场工作人员的劳动强度。

2) 解决便携式蓄电池内阻测试设备中只能测试单体电池内阻问题，解决便携式蓄电池测试仪在现场测试中噪声干扰影响测量准确度问题。

3) 解决传统直流放电法测试中设备笨重，不易

携带，并且能够避免蓄电池过度放电等对蓄电池寿命产生的影响。

结束语

通过对蓄电池内阻快速测试系统的研究，成功构建一套基于计算机技术、超低功耗技术及新型蓄电池内阻算法并具有智能分析功能的蓄电池内阻快速测试装置，实现直流系统运维人员快速测试蓄电池内阻的目的，为电力系统安全稳定运行提供支持。**EA**

(收稿日期：2024-06-13)