

电网变电站直流系统蓄电池模型

黄媛^{1,2}, 吕林^{1,2}, 陈井锐^{1,2}, 邓启^{1,2}, 李维强³, 郑勇建⁴

(1. 四川大学电气信息学院, 四川成都 610065; 2. 智能电网四川省重点实验室, 四川成都 610065;
3. 成都电业局, 四川成都 610016; 4. 双流电业局, 四川成都 610200)

摘要: 建立电网变电站阀控式铅酸蓄电池模型, 将变电站的负荷分为经常负荷(控制、保护信号装置等)、事故负荷(汽轮机、发电机润滑油和密封油泵等)、冲击负荷(断路器合闸线圈等)。采用容量换算法对蓄电池的容量进行检测, 建立蓄电池充放电模型, 即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间、负荷变化的数学表达式。通过海志(HAZ) HZB2-300 蓄电池验证, 这里所建模型反映了蓄电池的充放电特性, 该模型适用于变电站直流系统蓄电池监控系统。

关键词: 变电站直流系统; 阀控式铅酸蓄电池; 蓄电池充放电模型; 经常负荷; 事故负荷; 冲击负荷

Abstract: The valve-regulated lead-acid battery model of grid substation is established. According to the different discharge current, the battery loads are divided into 3 types: constant load (control, protection signal device etc.), emergency load (steam turbine, generator lubricating oil and seal oil pump etc.) and impact load (closing coil of circuit breaker etc.). The battery capacity is checked by capacity conversion method. The battery charging and discharging model are established, that is, time-varying and load-variant mathematical models of battery charging and discharging voltage, current and power. The proposed model reflects battery charging and discharging characteristics verified by the simulation of (HAZ) HZB2-300 battery. This model is applicable to battery monitoring system of DC system in the substation.

Key words: DC system of substation; valve-regulated lead-acid battery; battery charging and discharging model; constant load; emergency load; impact load

中图分类号: TM64 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0067-04

0 前言

直流系统是变电站的一个重要组成部分, 对变电站的正常运行有着重要的作用。其中蓄电池的选择和仿真是变电站直流系统研究的重要内容。文献[1]介绍了变电站直流系统蓄电池组的选择、直流回路熔断器、负荷小开关及载流导体的选择、直流系统馈线电网络接线等内容; 文献[2]应用 HOXIE 公式计算蓄电池容量, 详细的分析 HOXIE 的计算方法, 所计算的蓄电池容量偏大, 不利于蓄电池的监控; 变电站主要工作是阀控蓄电池的运行维护方法, 包括专业人员对蓄电池的充放电原理、充放电方法和运行维护方法[3]。变电站直流系统改造和优化问题, 文献[4]提出变电站直流系统的优化方案, 能保证变电站直流系统运行安全可靠。文献[5]比较了直流电源系统中应用的相控整流装置和变频开关装置的优缺点, 结合变频开关电源装置应用, 设计了能实现集中监控的换流站直流电源系统。变电站直流系统故障分析,

文献[6]探讨了该系统运行维护中常见故障的处理方法, 文献[7]分析了低频信号注入法的原理及存在的缺陷, 针对其缺陷提出了基于小波变换的直流系统接地故障检测方案。文献[8,9]建立了阀控铅酸蓄电池的三阶模型, 该模型考虑了蓄电池的内部运行参数, 文献[10,11]基于蓄电池化学原理建立了蓄电池的等效模型, 以上3种等效模型都比较精确地反映了蓄电池的运行特性, 但考虑的参数太多, 其电路等效过程比较复杂。

建立变电站直流系统蓄电池模型, 即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间、负荷变化的数学表达式。采用容量换算法对蓄电池容量进行监控, 并提出反映蓄电池充放电特性的数学表达式, 通过算例分析验证, 所建模型适用于变电站直流系统蓄电池监控系统。

1 电网变电站直流系统容量计算

根据蓄电池放电时间长短将电网变电站直流系统负荷划分为经常负荷(如控制、保护信号装置、

汽轮调速电动机等) ,用 i 表示; 事故负荷(汽轮机、发电机润滑和密封油泵等) 和冲击负荷(断路器合闸线圈等) ,分别用 j 和 k 表示; 负荷的大小用蓄电池的放电电流表征。

变电站直流系统蓄电池放电电流大小为 I ,图 1 为变电站直流系统和表 1 为变电站直流系统负荷统计表。

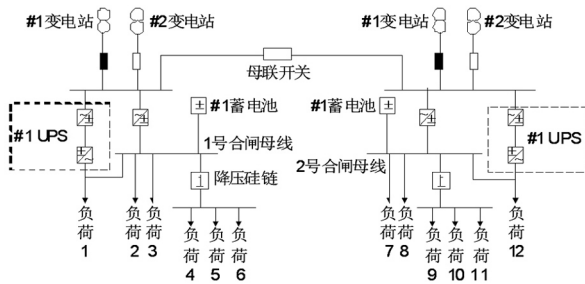


图 1 变电站直流系统

表 1 变电站直流系统负荷统计表

负荷性质	负荷名称	放电电流 /A	放电时间 /h
经常负荷	控制、保护信号	I_{i1} 40.2	t_{i1} 0.4
	汽轮调速电动机	I_{i2} 44.6	t_{i2} 0.6
	实验室	I_{i3} 47.4	t_{i3} 0.5
	经常事故照明	I_{i4} 49.8	t_{i4} 0.3
	经常负荷 n	I_{in} ...	t_{in} ...
事故负荷	汽轮机等	I_{j1} 32.0	t_{j1} 0.4
	UPS	I_{j2} 34.6	t_{j2} 0.8
	事故照明	I_{j3} 37.7	t_{j3} 1.3
	通信备用电源	I_{j4} 39.6	t_{j4} 2.1
	事故负荷 n	I_{jn} ...	t_{jn} ...
冲击负荷	断路器合闸线圈	I_{k1} 26.7	t_{k1} 0.4
	冲击负荷 n	I_{kn} ...	t_{kn} ...

根据表 1 ,可得蓄电的负荷容量统计值为

$$C = \sum_{f=1}^n (I_{if}t_{if} + I_{jf}t_{jf} + I_{kf}t_{kf}) \quad (1)$$

蓄电池总放电时间为

$$t = \sum_{f=1}^n (t_{if} + t_{jf} + t_{kf}) \quad (2)$$

蓄电池放电终止电压为 V , t 对应的容量系数为 K_{cc} ,蓄电池放电 t 小时之后 ,需要的容量 Q 为

$$Q = 1.40 \frac{C}{K_{cc}} \quad (3)$$

1.40 为蓄电池的可靠系数 , K_{cc} 为蓄电池容量系数 ,不同型号的蓄电池对应不同的容量系数曲线图 ,

同一种型号的蓄电池容量系数曲线图不同终止电压对应不同的容量系数曲线^[12,13]。

2 蓄电池带冲击负荷放电电压计算

如表 1 所示 ,假设蓄电池首先带控制、保护信号装置负荷放电 ,依次带汽轮调速电动机等负荷放电 ,最后带通信备用电源负荷放电 ,将蓄电池的放电分成 8 个阶段 ,用 C_n 表示 t_n 为蓄电池放电累积时间 ,冲击负荷断路器合闸线圈可能出现在任何阶段 ,蓄电池的额定放电电压为 U_0 ,额定放电电流为 I_0 ,则

$$K_m = 1.10 \frac{C_n}{tI_0} \quad (4)$$

$$K_{chn} = 1.10 \frac{I_k}{I_0} \quad (5)$$

K_m 为蓄电池的放电倍率 , K_{chn} 为蓄电池在第 n 阶段冲击放电系数 ,根据 K_{chn} 的值到蓄电池持续放电曲线图^[13] 中放电倍率为 K_m 对应的持续放电曲线查出单体蓄电池的电压 U_n 。

蓄电池组带冲击负荷放电电压标么值 U_n^* 为

$$U_n^* = \frac{U_n}{U_0} \quad (6)$$

一般 $0.9 \leq U_n^* \leq 1.1$ 。

3 蓄电池的充放电模型

蓄电池作为电源系统的组成部分 ,起着储备电能、应付电网异常和特殊工作情况、维持系统正常运转的关键作用 ,是需要高可靠电能保障领域的最后一道防线。蓄电池的稳定性和在放电过程中能提供给负载的实际容量对确保设备的安全运行具有十分重要的意义。在停电及设备故障时 ,如果蓄电池组状态差而不能很好工作 ,将会产生灾难性的后果 ,其造成的损失远远大于蓄电池本身的购置成本。

由于受当前技术诊断水平的制约 ,目前中国对蓄电池的维护管理方式还主要采用以产品寿命理论为基础的定期维修和定期更换模式。然而由于影响电池寿命因素众多 ,即使同一厂家同一批次的蓄电池 ,实际寿命差别也相当大 ,甚至有新电池几个月就失效的例子。几十节串联的电池 ,只要一节过早损坏 ,如不及时发现 ,则时间一长 ,其他电池跟着报废。如果失效正好发生在两次定期维修之间 ,在停电及设备故

障时 将会产生灾难性的后果。这是定期维修模式无法解决的。因此,目前的定期维修模式存在着安全隐患,这是要求高可靠性的供电系统无法接受的。

蓄电池充电功率 W 为

$$W = UI = n^2 \sum_{k=0}^7 b_k t^k \sum_{k=0}^7 a_k t^k \quad (7)$$

式(7)中 n 为蓄电池组的个数, a_k 为蓄电池充电电流系数, b_k 为蓄电池充电电压系数, a_k 系数和 b_k 系数统称充电系数,不同厂家不同型号的蓄电池,充电系数不一样。

蓄电池 10 h 放电率放电容量为 C_{10} , 单位: Ah; 10 h 放电电流为 I_{10} , 单位: A, 它们之间的转换关系为: $I_{10} = 0.1 C_{10}$ 。蓄电池放电功率 W_d 的表达式为

$$W_d = nI_{xi} \left[\left(\sum_{k=0}^5 c_k (t+1 - SOC)^k - \frac{(I_{xi} - I_{10}) \sum_{k=0}^3 d_k t^k}{10^6} \right) \right] \quad (8)$$

式 8 中 t 为蓄电池的放电时间, 单位: h, I_{xi} 为蓄电池的放电电流, 单位: A; c_k 和 d_k 为蓄电池的放电系数, 不同厂家不同型号的蓄电池, 放电系数不一样。SOC (state of charge) 为电动汽车蓄电池中一个重要的参数, 指荷电状态, 当蓄电池使用一段时间或搁置不用后的剩余容量与其完全充电状态的容量比值, SOC 等于 1 时, 表示电池处于满充状态。

4 变电站直流系统蓄电池算例分析

仿真算例采用海志 (HAZ) 型号为 HZB2-300 的铅酸蓄电池, 额定容量为 300 Ah, 单体蓄电池的额定电压为 2 V, 蓄电池工作温度为 25 ± 2 °C, 蓄电池放电终止电压单体蓄电池为 1.95 V, 蓄电池个数 N 为 52 个; 恒电流充电方式, 充电电压单体蓄电池最高不能超过 2.35 V; 恒电压充电方式, 充电电压单体蓄电池不能超过 2.35 V, 当充电电流下降到 $0.05 I_{10}$ 时停止充电, I_{10} 为 10 小时率放电电流, 海志 (HAZ) HZB2-300 蓄电池充电系数、放电系数如表 2、表 3 所示。

图 2 反映了蓄电池充电功率随时间的变化曲线, 在 10 h 之前, 蓄电池的端电压随着充电时间不断上升, 蓄电池的充电电流随时间不断下降, 其综合结果是蓄电池的充电功率基本保持恒定。10 h 以后, 蓄电池进入最后充电阶段, 正极板上的水产生氧气, 消耗掉了部分正电子, 负极板上的氧气被还原成水, 消耗掉了负极板上部分电子。蓄电池的端电压逐渐达

到最大值, 保持不变, 而充电电流快速下降, 蓄电池充电功率随着充电电流不断减小, 最后蓄电池开始饱和。

表 2 海志 (HAZ) HZU2-300 蓄电池充放电系数

a 系数		b 系数	
a_0	3.0480×10^1	b_0	1.9915×10^0
a_1	-2.8467×10^0	b_1	-1.0197×10^{-2}
a_2	3.0733×10^0	b_2	3.7955×10^{-2}
a_3	-1.2285×10^0	b_3	-1.2545×10^{-2}
a_4	2.2816×10^{-1}	b_4	1.9106×10^{-3}
a_5	-2.1080×10^{-2}	b_5	-1.4531×10^{-4}
a_6	9.3344×10^{-4}	b_6	5.3744×10^{-6}
a_7	-1.5797×10^{-5}	b_7	-7.7234×10^{-7}

表 3 海志 (HAZ) HZU-300 蓄电池

c 系数		d 系数	
c_0	2.102931	d_0	563.7342
c_1	-0.046643	d_1	161.8875
c_2	0.029312	d_2	-48.8535
c_3	-0.008638	d_3	3.8350
c_4	0.000996		
c_5	-0.00004		

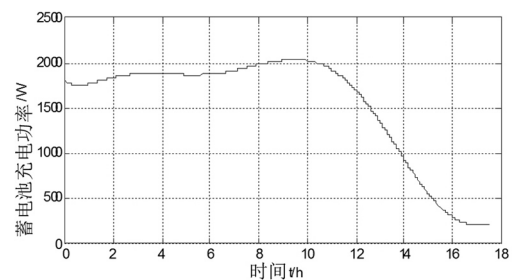


图 2 蓄电池充电功率随时间的变化曲线

图 3 是蓄电池组放电功率曲面图, 从图中可以看出, 在同一时刻, 蓄电池的放电功率随放电电流的增大而增大, 0 到 13 小时为蓄电池的工作区, 随着放电电流的增大, 工作区减小, 在蓄电池的工作区以内, 蓄电池基本能够平稳地提供负荷功率。13 小时以后, 蓄电池放电功率急速下降, 直到放电功率为零, 蓄电池进入此阶段, 不能再承担负荷, 需要对蓄电池进行充电。

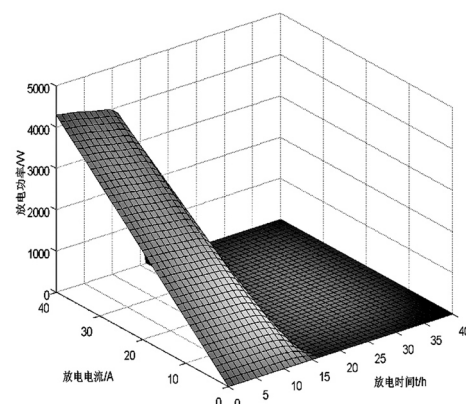


图 3 电动汽车蓄电池组放电功率曲面图

5 结 论

采用容量换算法和电流换算法对蓄电池容量进行检测,最后建立蓄电池充放电模型,即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间变化的数学表达式,通过海志(HAZ)型号为HQB2-300的铅酸蓄电池仿真验证,蓄电池充电端电压随时间不断增大,充电电流随时间不断减小,充电功率与充电电流走势基本一致。这里所建模型反映了蓄电池的充放电特性,适用于监控系统。

参考文献

[1] 徐海明,王全胜. 直流电源设备使用与维护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[2] 于崇干,邹昌泉. 应用HOXIE公式计算蓄电池容量[J]. 蓄电池, 2006, 12(3): 38-42.

[3] 黎廷广. 变电站阀控蓄电池运行维护[J]. 电工技术, 2008(2): 59-60.

[4] 顾宁. 浅谈变电站直流系统优化[J]. 广东科技, 2010, 19(10): 126-128.

[5] 刘森,张海凤,李书勇. 广州换流站直流电源系统的改造设计与实施[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 49-52.

[6] 闫晓丽. 变电站直流系统运行维护及故障处理[J]. 电气时代, 2010(12): 80-81.

[7] 李冬辉,史临潼. 发电厂和变电站直流系统接地故障检测总体方案[J]. 电网技术, 2004, 29(1): 56-59.

[8] Ceraolo M. New Dynamical Models of Lead-acid Batteries[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(4): 1184-1190.

[9] 王欣伟,韩肖清,门汝佳. 太阳能风能发电系统中铅酸蓄电池建模与仿真[J]. 山西电力, 2009, 153(2): 23-26.

[10] Song Zhang, Deam Edwards. Three-dimensional Conductivity Model for Porous Electrodes in Lead Acid Batteries[J]. Journal of Power Sources, 2007, 172(2): 957-961.

[11] Matthias Durr, Andrew Cruden, Sinclair Gair, et al. Dynamic Model of a Lead Acid Battery for Use in a Domestic Fuel Cell System[J]. Journal of Power Sources, 2006, 161(2): 1400-1411.

[12] 徐海明,王全胜. 变电站直流电源设备使用与维护: 阀控密封铅酸电池[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[13] 汪海鑫. 电力系统用阀控式密封铅酸电池的选择和应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

作者简介:

黄媛(1974)女,博士研究生,主要从事电力系统分析与控制;

吕林(1963)男,教授,硕士,主要从事配电网自动化方面的研究;

陈井锐(1986)男,硕士研究生,研究方向为配电网和微电网的分析与计算及其电动汽车分析。

(收稿日期:2011-10-08)

(上接第42页)

[4] Al-Othman, A. K. Irving, M. R. Uncertainty Modeling in Power System State Estimation[C]. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2005(152): 233-239.

[5] Nisheeth. Practical Experience with Rule-based On-line Topology Error Detection[C]. IEEE Power Industry Computer Application Conference held in Scottsdale, Arizona. May 4-7, 1993: 841-847.

[6] H. Singh, F. L. Alvarado. Network Topology Determination Using Least Absolute Value State Estimation[J]. IEEE Trans. PWRs, 1995, 10(3): 1159-1163.

[7] L. Mili, G. Steeno, F. Dobraca, D. French. A Robots Estimation Method for Topology Error Identification[J]. IEEE Transaction on Power Systems, 1999, 14(4): 1469-1476.

[8] Souza J C S, Leite da Silva A M, Alves da Silva A P. On-line Topology Determination and Bad Data Suppression in

Power System Operation Using Artificial Neural Networks[J]. IEEE Trans PWRs, 1998, 13(3): 796-803.

[9] 周苏荃,柳焯. 新息图法状态估计[J]. 继电器, 2000, 28(4): 1-5, 23.

[10] 周苏荃,柳焯. 新息图法拓扑错误辨识[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(4): 23-27.

[11] 周苏荃,张艳军. 新息图状态估计多相关不良数据辨识[J]. 电力系统及其自动化学报. 2008, 20(4): 1-6.

[12] 周苏荃,柳焯. 新息图法识别多重网络结构动态变化[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 67-72.

作者简介:

李子清(1987),男,甘肃金昌人,四川省电力公司自贡电业局,主要研究方向为变电站设计与规划;

辛旺(1986),男,重庆北碚人,重庆市电力公司北碚供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行;

邓永红(1985),男,湖南邵阳人,四川省电力公司乐山电业局五通供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行。

(收稿日期:2011-06-01)