

电池储能系统建模及其应用

王鹏飞

(河海大学能源与电气学院, 南京 210098)

摘要: 在风力发电系统中, 由于风能的随机性和间歇性, 导致风电场输出功率很不稳定, 严重影响电能质量, 储能系统的加入能有效改善风电的电能质量。本文采用了考虑电池容量损耗的电池模型, 设计了 AC/DC 双向变流器, 提出了适合电池储能系统的控制策略, 建立了电池储能系统模型。验证了应用电池储能系统能有效对风电场输出功率进行平滑。

关键词: 电池模型 电池储能系统 风力发电系统

Battery storage system modeling and application

Wang Pengfei

(College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing, 210098)

Abstract: In wind power system, due to the random and intermitter of wind energy, the wind power is very unstable, serious impact on power quality. energy storage can effectively improve power quality. In this paper, a battery model with capacity loss is peristent, and designed the AC/DC inverter and control strategy of battery storage system. establishment of a battery energy storgy system model, and use battery storage system to smoothed wind power.

Keywords: Battery model; BESS; Wind power system

0 引言

能源和环境是目前人类生存、发展需要解决的迫切问题。常规能源以煤、石油、天然气为主, 不仅资源有限, 而且造成了严重的大气污染。因此, 对可再生能源的开发利用, 特别是对风能的开发利用, 已受到世界各国的高度重视。

风能作为一种能量资源有其自身的特点, 它是一种在大部分地区和大部分时间可很容易获取的能源, 但它又有一定的变化性和随机性, 并且不能直接储存。风的这种变化性和随机性增加了风能利用的困难, 使得必须在风力机系统中增加储能系统。风力发电系统储能装置的作用是在风力强时, 除了通过风力发电机组向负荷供电外, 将多余的风能转换为其他形式的能量在储能装置中储存起来, 在风力弱或无风时, 再将储能装置中储存的能量释放出来并转换为电能, 向负荷供电。

现如今研究较多的储能系统主要是: 飞轮储能系统、电池储能系统、超导储能系统。文献^[1]研究了电池储能系统在改善并网风电场电能质量, 但是其电池模型不能显示电池状态参数, 并且没有考虑电池容量的损耗; 文献^[2]提出利用飞轮储能系统提高并网风电场的电能质量; 文献^[3]利用超导储能系统可平滑风电输出功率波动, 飞轮储能、超级电容器、燃料电池及超导储能蓄电容量和价格等方面的限制使其不适用于大规模蓄电场合。目前大规模使用的储能系统主要是电池储能系统。

本文应用 C++ 语言编译电池模型、逆变器模型及控制模型, 建立电池储能系统, 并验证了应用电池储能系统能有效平滑风电场功率输出。

1 电池数学模型

目前实际运行的风力发电系统中, 储能单元通常选择蓄电池储能。在风力发电系统中, 锂离子蓄

电池有高达 90% 以上的充放电转化率，这比抽水储能发电站的转化效率还要高出一些，甚而也比氢燃料电池的 80% 发电效率还要高。至于氢燃料电池技术目前并不成熟，并且其发电成本也将十分昂贵。锂离子电池与现有的铅酸电池、镍氢电池相比有诸多优点，如无记忆效应、高工作电压、低自放电率、无环境污染、高能量密度等，在电子消费品领域应用十分普遍，所以本文选择锂离子电池作为研究对象。

本文采用 MinChen 等^[4]提出的电池模型，该模型电池电压表示为：

$$V = a \times \exp(b \times SOC) + c + d \times SOC + e \times SOC^2 + f \times SOC^3 \quad (1)$$

式中：a、b、c、d、e 分别为系数；SOC 为电池荷电状态，其定义为：

$$SOC = C / C_r \quad (2)$$

式中：C 为电池存储容量 (Ah)；C_r 为电池额定容量 (Ah)；

由于电池在正常的使用中，其内部会造成一定的能量损耗^[5]，致使电池容量减小，由于此模型没有考虑电池容量损耗的因素，因此需要加入电池容量损耗因子 δ，此时电池 SOC 表达式为：

$$SOC = \frac{C}{C_r \times \delta} \quad (3)$$

电池容量表达式：

$$C = \int I dt \quad (4)$$

式中：I 为电池电流 (A)；t 为时间 (s)；

2 电池储能系统建模

本文采用三相电压型变流器，电压源变流器可由 IGBT 构成的换流桥、换流电抗器、直流电容器和交流滤波器等元件组成。换流电抗器是换流器与交流系统能量交换的纽带，实现交流电流的滤波；直流电容器能够缓冲换流器桥臂关断时的冲击电流，减小直流侧谐波，起到直流电压支撑作用，是保证系统正常运行的关键；交流滤波器起到滤除交流侧谐波的作用。

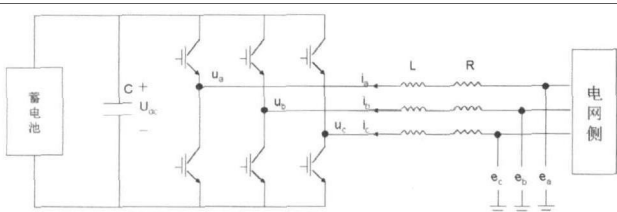


图 1 电池储能系统

Fig. 1 Battery Energy Storage System

图 1 中，e_a、e_b、e_c 为三相电网电压，i_a、i_b、i_c 为三相电流，由于交流侧的电压、电流均为时变量，所以不便于控制。如果将三相相对静止的正弦量经过坐标变换转换成以电网基波频率同步旋转的 DQ 坐标系，并采用直接电流控制，减少了控制量，并简化了控制结构。

三相电压型变流器的数学模型可以写成：

$$\begin{pmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{L} & \omega \\ -\omega & -\frac{r}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{u_{rd}}{L} \\ -\frac{u_{rq}}{L} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{e_d}{L} \\ \frac{e_q}{L} \end{pmatrix} \quad (5)$$

其中 u_{ra}、u_{rb}、u_{rc} 为变流器的桥臂电压，经过坐标变换后，转换到 DQ 两相同步旋转坐标系下，得：

$$\begin{pmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{L} & \omega \\ -\omega & -\frac{r}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{u_{rd}}{L} \\ -\frac{u_{rq}}{L} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{e_d}{L} \\ \frac{e_q}{L} \end{pmatrix} \quad (6)$$

由于该式中 DQ 轴变量相互耦合，给控制器的设计带来一定的困难，故引入前馈解耦控制。电流采用 PI 调节，控制量 u_{rd}、u_{rq} 的方程如下：

$$\begin{cases} u_{rd} = -(K_p + \frac{K_i}{s})(i_{dref} - i_d) + \omega Li_q + e_d \\ u_{rq} = -(K_p + \frac{K_i}{s})(i_{qref} - i_q) - \omega Li_d + e_q \end{cases} \quad (7)$$

K_p、K_i 分别为电流环的比例控制参数和积分控制参数，i_{dref}、i_{qref} 为 DQ 坐标系的三相变流器交流侧的参考电流。控制器设计如下图：

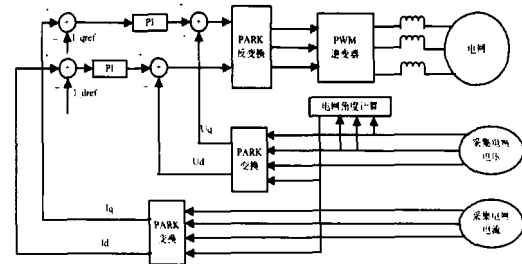


图 2 控制策略

Fig. 2 Control strategy

三相 PWM 变流器输出的有功功率 P_b 和无功功率 Q_b 可以表示为：

$$\begin{cases} P_b = \frac{3}{2}(e_d \cdot i_d + e_q \cdot i_q) \\ Q_b = \frac{3}{2}(e_q \cdot i_d - e_d \cdot i_q) \end{cases} \quad (8)$$

在旋转的 DQ 同步坐标系下，e_q = 0，e_d = U，其中 U 为电网相电压峰值，则：

$$\begin{cases} P_b = \frac{3}{2}e_d \cdot i_d \\ Q_b = -\frac{3}{2}e_d \cdot i_q \end{cases} \quad (9)$$

由公式可以看出有功功率与 d 轴电流 i_d 成正比, 无功功率与 q 轴电流 i_q 成正比, 通过对 i_d 和 i_q 的控制, 可以实现有功和无功的解耦控制。

由于风速的不可控性、随机性, 使得风力发电机输出功率波动过大, 从而对电网的运行的稳定性造成很大的影响。这里电池主要以平滑风力发电机端口功率为目的, 使得发电机发出的有功功率 P 在设定的区间 $[P_{\min}, P_{\max}]$ 上, 在电池投入运行的情况下, 当 $P \leq P_{\min}$ 时, 电池发出的功率为 $P_{\min} - P$, 即电池放电; 当 $P_{\max} \leq P$ 时, 电池吸收的功率为 $P - P_{\max}$, 即电池充电。

3 算例仿真

将电池储能系统接入风力发电系统, 系统模型如图 4 所示。

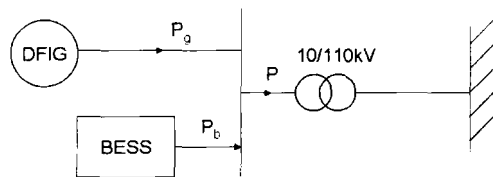


图 4 风力发电系统结构图

Fig. 4 Wind Power system

设定风力发电系统发出功率参考值为 0.75MW, 此时由于风能的随机性, 风电系统发出功率将产生波动, 此时, 应用电池储能系统对风功

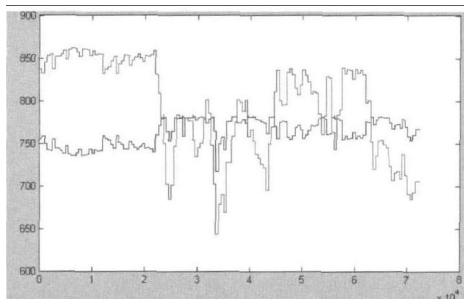


图 5 电池容量满足需求时风电系统发出功率

Fig. 5 Wind power at big capacity of battery

率进行平滑。当时电池容量满足需求时, 仿真结果如图 5, 图中蓝色为加入电池储能系统后风场输出功率, 绿色为未加入电池储能系统风场输出功率, 由图可见, 输入到电网的功率最大波动从 14.55% 降到了 4.59%, 从仿真结果可以看出, 电池储能系统能实现了并网风电机组输出功率的快速补偿, 在风速快速扰动的情况下平滑风电场的输出, 从而降低了风电机组输出功率波动对电网的冲击, 有效提高电网的电能质量和并网风电系统自身的稳定

性。当电池容量偏小时, 当风电功率波动较大时, 此时电池储能系统不能再发出或吸收功率, 仿真结果如图 6, 因此准确知道电池储能系统的状态对于风电系统的正常运行至关重要并且具有一定的实际意义。

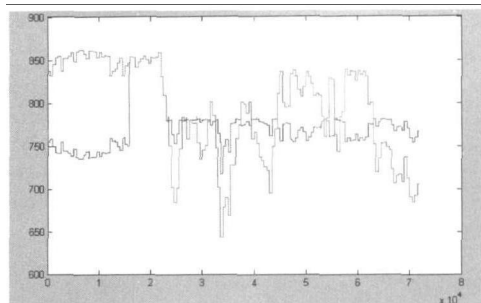


图 6 电池容量偏小时风电系统发出功率

Fig. 6 wind power at small capacity of

battery

4 结论

本文建立了能反映电池容量大小的电池模型, 并且考虑了电池容量损耗因素, 设计了 AC/DC 双向变流器, 提出了适合的电池储能系统充放电控制策略, 建立了电池储能系统模型。根据不同的电池容量进行仿真, 仿真结果显示, 准确知道电池容量的状态对于风电系统的正常运行至关重要, 体现了本模型的有效性和合理性。

参考文献

- [1] 张步涵, 曾杰, 毛承雄, 等. 电池储能系统在改善并网风电场电能质量和稳定性中的应用 [J]. 电网技术, 2006, 30 (15): 54-58.
- [2] 汤凡, 刘天琪, 李兴源. 用于风电场功率控制的飞轮储能系统仿真研究 [J]. 电网与清洁能源, 2010, (02): 63-68.
- [3] 刘昌金, 胡长生, 李霄, 等. 基于超导储能系统的风电场功率控制系统设计 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (16): 83-88.
- [4] M. Chen, G. A. R. Mora. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance [C]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006, 21: 504-511.
- [5] 郭炳焜, 李新海, 杨松青. 化学电源 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2009.