



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104410092 B

(45)授权公告日 2017.01.25

(21)申请号 201410743868.0

(22)申请日 2014.12.08

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104410092 A

(43)申请公布日 2015.03.11

(73)专利权人 国网新疆电力公司经济技术研究院

地址 830010 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市高新技术产业开发区(新市区)长春北路1118号

(72)发明人 刘永亭

(74)专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

代理人 张法高

(51)Int.Cl.

H02J 3/32(2006.01)

(56)对比文件

CN 103236708 A, 2013.08.07,

CN 103701144 A, 2014.04.02, 全文.

CN 104158202 A, 2014.11.19, 全文.

CN 104184159 A, 2014.12.03, 全文.

GB 2477166 A, 2011.07.27, 全文.

审查员 王鸿

权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

一种多元互补新能源发电系统的能量协调优化方法

(57)摘要

本发明公开了一种多元互补新能源发电系统的能量协调优化方法。通过对微型燃气轮机、蓄电池、超级电容器的协调控制,平抑系统功率波动,保证系统功率平衡,微型燃气轮机的输出功率用于补偿功率缺额和平抑低频段功率波动,降低储能装置的配置容量。由于风力发电输出功率波动较大,含有高频分量和低频分量,除依靠微型燃气轮机补充系统功率平衡外,还利用能量型储能装置蓄电池和功率型储能装置超级电容器保证功率平抑的准确性和快速性。通过实时跟踪调节滤波器时间常数T,使得缺额功率在储能装置之间得到更为合理分配,减小储能装置荷电状态越限概率,充分利用不同种类储能装置的优势,满足系统功率平衡。

1.一种多元互补新能源发电系统的能量协调优化方法,其特征在于所述的多元互补新能源发电系统包括风力发电机、微型燃气轮机、蓄电池、超级电容器、负荷及控制系统,通过对微型燃气轮机、蓄电池、超级电容器的协调控制,平抑系统功率波动,保证系统功率平衡,微型燃气轮机的输出功率用于补偿功率缺额和平抑低频段功率波动,降低储能装置的配置容量,由于风力发电输出功率波动较大,含有高频分量和低频分量,除依靠微型燃气轮机补充系统功率平衡外,还利用能量型储能装置蓄电池和功率型储能装置超级电容器保证功率平抑的准确性和快速性,控制系统负责多元互补新能源发电系统的调控,

所述的利用能量型储能装置蓄电池和功率型储能装置超级电容器的特点,保证功率平抑的准确性和快速性,具体为:

采用一阶低通滤波的方法区分较大时间尺度功率波动和较小时间尺度功率波动,其中,较小时间尺度功率波动采用超级电容器承担,较大时间尺度功率波动采用蓄电池承担,所述的一阶低通滤波的传递函数为:

$$G(s) = \frac{1}{1+sT} \quad (10)$$

其中,s为拉普拉斯变量,T表示一阶低通滤波器的时间常数,由式可知,一阶低通滤波器的截止频率与滤波器时间常数T的大小有关,当T发生变化时,滤波效果随之发生变化,T的大小与蓄电池和超级电容器承担的功率缺额有关,T越大,蓄电池承担的功率部分变化更为平滑,超级电容器承担的功率比重越大,反之,T越小,蓄电池承担的功率变化时间尺度越小,则蓄电池承担功率与总功率缺额趋于一致,超级电容器承担功率比重越小,故通过实时调节T的大小来调整其滤波效果,使协调控制具有自适应性,保证功率缺额在不同储能装置之间合理分配;

所述的滤波器的时间常数T调整的方法为:

为保证蓄电池和超级电容器各自特点得到成分发挥,并延长二者的使用寿命,缺额功率分配由二者的荷电状态SOC决定,蓄电池的SOC安全工作区间为0.2-0.8,优化区间为0.4-0.6,超级电容器的SOC安全工作区间为0.1-0.9,优化区间为0.4-0.8,在优化区间内,储能装置具备较强的充放电能力,且利于延长其循环寿命,为此,荷电状态在非优化区间时,应根据蓄电池和超级电容器的SOC得出合理的变化量 $\Delta T$ ,实时跟踪调节滤波器时间常数T,进而分配缺额功率,减小进入非安全区间的概率,因此定义储能系统的平均SOC为:

$$SOC_{avg} = \frac{SOC_{BESS} Q_{BESS} + SOC_{SC} Q_{SC}}{Q_{BESS} + Q_{SC}} \quad (11)$$

其中, $Q_{BESS}$ 和 $Q_{SC}$ 分别为蓄电池和超级电容器的容量, $SOC_{BESS}$ 和 $SOC_{SC}$ 分别为蓄电池和超级电容器的荷电状态;滤波器时间常数变化量 $\Delta T$ 为:

$$\Delta T = \frac{(SOC_{BESS} - SOC_{avg}) + (SOC_{avg} - SOC_{SC})}{SOC_{avg}} \quad (12)$$

滤波器时间常数为:

$$T_2 = T_1 \pm \Delta T \quad (13)$$

其中, $T_1$ 为调整前的滤波器时间常数, $T_2$ 为调整后的滤波器时间常数;滤波器时间常数T调整规则如下:

(1)充电过程

a. 如果 $SOC_{BESS}$ 不位于优化区间,则 $T_2 = T_1 + \Delta T$ ,当 $SOC_{BESS} > SOC_{SC}$ 时,  $\Delta T > 0$ ,滤波器时间常数增大,蓄电池充电功率减小,对应的超级电容器充电功率增大,二者的荷电状态趋于系统平均荷电状态,便于发挥各自特点优势;当 $SOC_{BESS} < SOC_{SC}$ 时,  $\Delta T < 0$ ,滤波器时间常数减小,蓄电池充电功率增大,对应的超级电容器充电功率减小,同样,二者的荷电状态趋于系统平均荷电状态;当 $SOC_{BESS} = SOC_{SC}$ 时,  $\Delta T$ 保持不变;

b. 如果 $SOC_{BESS}$ 位于优化区间,则进一步判断 $SOC_{SC}$ 是否位于优化区间,如果不位于优化区间,  $\Delta T$ 调节同a;

#### (2)放电过程

c. 如果 $SOC_{BESS}$ 不位于优化区间,则 $T_2 = T_1 - \Delta T$ ,当 $SOC_{BESS} > SOC_{SC}$ 时,  $\Delta T > 0$ ,滤波器时间常数减小,蓄电池放电功率增大,对应的超级电容器放电功率减小,二者的荷电状态趋于系统平均荷电状态,便于发挥各自特点优势;当 $SOC_{BESS} < SOC_{SC}$ 时,  $\Delta T < 0$ ,滤波器时间常数增大,蓄电池放电功率减小,对应的超级电容器放电功率增大,同样,二者的荷电状态趋于系统平均荷电状态;当 $SOC_{BESS} = SOC_{SC}$ 时,  $\Delta T$ 保持不变;

d. 如果 $SOC_{BESS}$ 位于优化区间,则进一步判断 $SOC_{SC}$ 是否位于优化区间,如果不位于优化区间,  $\Delta T$ 调节同c。

## 一种多元互补新能源发电系统的能量协调优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种多元互补新能源发电系统的能量协调优化方法,属新能源技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着环境问题和能源危机的日趋严重,传统电力系统通过消耗化石燃料来产生电能以及长距离传输的方式已难以满足节能减排、减轻环境污染、降低网损、改善电能质量和提高供电可靠性等要求,世界各国都在大力开发新能源及可再生能源和推动智能电网新技术的发展,以提高可再生能源发电的比重和满足用户对电能质量和供电可靠性的更高要求。因此,一种由光伏发电、风力发电、微型燃气轮机和储能装置等组成的多元互补发电系统应用而生。

[0003] 多元互补新能源发电系统主要目标是充分利用间歇性新能源发电,满足负荷功率需求,提高系统效率。在外界环境和自然因素的影响下,间歇性新能源发电(风力发电和光伏发电)输出功率的随机性和波动性,负荷功率的随机波动给电网的稳定运行带来了新挑战,如何使系统内部功率平衡,安全稳定运行,能量优化分布成为了多元互补新能源发电系统实现高效经济运行的关键。多元互补发电系统中间歇性新能源、微型燃气轮机和储能装置等典型分布式能源的功率响应特性各异,多时间尺度的能量协调优化方法更具工程应用价值。

[0004] 多元互补新能源发电系统中分布式能源机组的时间响应特性差别较大,按照时间尺度分类:分钟级(风力发电、光伏发电等)、秒级(微型燃气轮机、柴油发电机等)、毫秒级(储能装置),另外,各类负荷的响应速度也不相同,因此,多元互补发电系统的能量优化较为复杂。采用固定功率输出且不计及时间响应的能量优化方法难以保证电网的稳定经济运行,应通过多时间尺度能量协调优化并计及电能质量指标,实现多种分布式能源与负载之间最佳的能量匹配,即时-分-秒时间尺度的能量协调优化方法。其中,多元互补发电系统的优化运行和机组组合优化属于运行发电计划的制定,优化时间尺度为“时”,微型燃气轮机等机组承担功率缺额,其功率输出存在延时,优化时间尺度为“分”,储能装置的响应速度较快,优化时间尺度为“秒”。

[0005] 多元互补发电系统通过相应的控制和各子系统之间的有效协调,使得功率得到有效传递,满足所连负载需求。随着科技发展和进步,风力发电系统(wind power generation systems, WPGS)的建设成本和运行成本不断降低,将接近与传统化石燃料发电。随着半导体制造技术的发展,光伏电池的效率和装机容量明显增大,光伏发电系统(photovoltaic systems, PVS)的成本也明显降低。然而,和风力发电相比,光伏发电的能量转换效率和功率密度较低,成本较高,所以大型光伏电站可产生足够的电力供给分散的孤立负荷,或通过DC-AC转换器将功率输送到公用电网。燃料电池可以利用传统的化石燃料,如煤、石油、天然气,或含氢分子的回收能量,如沼气、甲醇等,燃料电池的发电方式和传统的热电厂完全不同。燃料电池发电具有高效率,低污染,上门安装调试,排出的热量和水可重复利用,燃料多

样性等优势。

[0006] 在另一方面,多元互补发电系统的能量存储子系统发挥着重要作用,并在适当的时刻存储和释放电能。飞轮储能系统(FESS)系统通过飞轮以动能的方式存储电能,它可以被称为“动能电池”。FESS的优点是能量存储密度高,与系统功率交换效率高,80-90%的高转换效率和无污染设计。当集成连接到弱电和含风力发电或其它可再生能源发电的孤岛电力系统中,飞轮储能可以提供一个有效的短期存储用于过滤风功率波动。电池储能系统(BESS)以直流形式存储电能,它需要整流电路,充电电路和DC-AC逆变器与交流系统交换电能。超级电容器(SC)利用双电层原理直接存储电能,容量介于蓄电池和传统电容器之间。SC具有体积小、质量轻、功率密度高、动态响应快、循环使用寿命长等优点。

## 发明内容

[0007] 本发明所考虑的多元互补发电系统中包含分布式电源和各类储能装置,并且负荷结构较复杂,波动较大,系统中能量协调优化较困难。另外,风力发电输出功率波动较为剧烈,功率波动中高频分量所占比例较高,光伏发电输出功率波动较为缓慢,功率波动中低频分量所占比例较高,可见,风力发电给分布式电源和储能装置的协调运行,以平抑功率波动,保证功率平衡提出了更高的要求。为此,以含风力发电的多元互补发电系统为例,重点分析系统运行过程中“分-秒”时间尺度优化过程,协调微型燃气轮机、蓄电池、超级电容器输出功率来弥补系统功率缺额,平抑功率波动,保证良好的电能质量指标。

[0008] 1 风速模型及风力发电输出功率特性

[0009] 在风力发电系统中,风速的模拟是关键的一环,正确的风速模型不仅能够很好的反应实际风速变化情况,而且能够给风力发电系统研究提供正确的源参数。风力发电机组的发电量取决于风速。风速建模为基础风速、阵风风速、斜坡风速和噪声风速的代数和。以下是不同风速分量的相关方程。

[0010] 基本风速分量可表示为:

$$[0011] \quad V_{WB} = K_b \quad (1)$$

[0012] 其中 $K_b$ 为常数,它总是被假定为存在于风机运行整个过程中。

[0013] 阵风风速分量可表示为:

$$[0014] \quad V_{WG} = \begin{cases} 0, & t < T_{1G} \\ V_{\cos}, & T_{1G} < t < T_{1G} + T_G \\ 0, & T_{1G} + T_G < t \end{cases} \quad (2)$$

[0015] 其中, $V_{\cos} = (\text{MAXG}/2) \{ [1 - \cos 2\pi \{ (t/T_G) - (T_{1G}/T_G) \}] \}$ , $T_G$ 是阵风持续时间, $T_{1G}$ 是阵风开始的时间,MAXG是阵风风速最大值。

[0016] 斜坡风速分量可表示为:

$$[0017] \quad V_{WR} = \begin{cases} 0, & t < T_{1R} \\ V_{\text{ramp}}, & T_{1R} < t < T_{2R} \\ 0, & T_{2R} < t \end{cases} \quad (3)$$

[0018] 其中, $V_{\text{ramp}} = \text{MAXR} [1 - (t - T_{2R}) / (T_{1R} - T_{2R})]$ ,MAXR是斜坡风速最大值, $T_{1R}$ 是斜坡风速开始时间, $T_{2R}$ 是斜坡风速结束时间。

[0019] 噪声风速分量可表示为:

$$[0020] \quad V_{wN} = 2 \sum_{i=1}^N \sqrt{S_V(w_i)} \Delta w \cos(w_i t + \varphi_i) \quad (4)$$

[0021] 其中,  $w_i = (i-1/2) \Delta w$ ,  $\varphi_i$  为在  $0-2\pi$  均匀概率密度分布的随机变量,  $S_V(w_i)$  为频谱密度函数。

$$[0022] \quad S_V(w_i) = \frac{2K_N F^2 |w_i|}{\pi^2 [1 + (Fw_i/\mu\pi)^2]^{4/3}} \quad (5)$$

[0023]  $K_N (=0.004)$  为表面阻力系数,  $F (=2000)$  为湍流尺度,  $\mu$  分别为在 7.5、4.5 和 15 米参考高度的平均风速,  $N=50$ ,  $\Delta w=0.5-2.0$  弧度/秒。

[0024] 根据上述风速分量, 风速模型为:

$$[0025] \quad V_w = V_{WB} + V_{WG} + V_{WR} + V_{WN} \quad (6)$$

[0026] 风力发电机的输出功率系数  $C_p$  是叶尖速比  $\lambda$  和叶片桨距角  $\beta$  的函数。叶尖速比  $\lambda$  是叶片尖端的转速与风速的比值:

$$[0027] \quad \lambda = \frac{R_{blade} \omega_{blade}}{V_w} \quad (7)$$

[0028] 其中,  $R_{blade}$  为叶片的半径, 取值为 23.5m,  $\omega_{blade}$  为叶片旋转角速度, 取值为 3.14rad/s。

[0029] 风能利用系数  $C_p$  的表达式为:

$$[0030] \quad C_p = (0.44 - 0.0167\beta) \sin \left[ \frac{\pi(\lambda - 3)}{15 - 0.3\beta} \right] - 0.0184(\lambda - 3)\beta \quad (8)$$

[0031] 其中, 当风速低于额定风速时  $\beta=0$ , 则风力发电机输出功率为:

$$[0032] \quad P_w = \frac{1}{2} \rho A_r C_p V_w^3 \quad (9)$$

[0033] 其中, 空气密度  $\rho=1.25\text{kg/m}^3$ , 叶片扫过区域面积  $A_r=1735\text{m}^2$ 。

[0034] 2多元互补新能源发电系统的功率能量协调优化

[0035] 多元互补新能源发电系统中, 含有风力发电机、微型燃气轮机、蓄电池、超级电容器、负荷及相应的控制系统, 通过对微型燃气轮机、蓄电池、超级电容器的协调控制, 平抑系统功率波动, 保证系统功率平衡。其中, 微型燃气轮机的输出功率通过优化调度系统得出, 用于补偿主要的功率缺额和平抑变化较平缓的低频段功率波动, 降低储能装置的配置容量。然而由于风力发电输出功率波动较大, 含有高频分量和低频分量, 仅依靠微型燃气轮机无法满足系统功率平衡, 本文针对功率波动特点, 充分利用能量型储能装置蓄电池和功率型储能装置超级电容器的特点, 保证功率平抑的准确性和快速性。

[0036] 能量型储能元件的能量密度大, 但功率密度小, 充放电效率低, 循环寿命短, 对充放电过程敏感, 对大功率充放电和频繁充放电的适应性不强。功率型储能元件性能稳定, 响应速度快, 大功率输出能力强, 能量转换效率高, 循环寿命长, 非常适应于大功率充放电和循环充放电的场合, 但储能量较低, 且在充放电过程中, 端电压会随着储能量的变化而变化。将两者进行组合, 配合协调控制, 形成多类型储能, 可以使蓄电池能量密度大与超级电

容器功率密度大、充放电速度快、储能效率高,以及循环寿命长等特点相结合,具备大幅提升储能系统性能的潜力。

[0037] 如图1所示,本发明采用低通滤波的方法区分较大时间尺度功率波动和较小时间尺度功率波动,其中,小时间尺度功率波动采用超级电容器承担,大时间尺度功率波动采用蓄电池承担。一阶低通滤波的传递函数为:

$$[0038] \quad G(s) = \frac{1}{1+sT} \quad (10)$$

[0039] 其中,T表示一阶低通滤波器的时间常数。由式可知,一阶低通滤波器的截止频率与滤波器时间常数T的大小有关,当T发生变化时,滤波效果随之发生变化。T的大小与蓄电池和超级电容器承担的功率缺额有关,T越大,蓄电池承担的功率部分变化更为平滑,超级电容器承担的功率比重越大,反之,T越小,蓄电池承担的功率变化时间尺度越小,则蓄电池承担功率与总功率缺额趋于一致,超级电容器承担功率比重越小。故可以通过实时调节T的大小来调整其滤波效果,使协调控制具有自适应性,保证功率缺额在不同储能装置之间合理分配。

[0040] 如图2所示, $\Delta P$ 为系统非计划功率缺额, $P_{MT}$ 为微型燃气轮机输出功率, $P_{BESS}$ 为蓄电池输出功率, $P_{SC}$ 为超级电容器输出功率。因此可得:

[0041] 为保证蓄电池和超级电容器的各自特点得到成分发挥,并延长二者的使用寿命,缺额功率分配由二者的荷电状态SOC决定,如图3所示,蓄电池的SOC安全工作区间为0.2-0.8,优化区间为0.4-0.6,超级电容器的SOC安全工作区间为0.1-0.9,优化区间为0.4-0.8,在优化区间内,储能装置具备较强的充放电能力,且利用延长其循环寿命。为此,荷电状态在非优化区间时,应根据蓄电池和超级电容器的SOC得出合理的变化量 $\Delta T$ ,实时跟踪调节滤波器时间常数T,进而分配缺额功率,减小进入非安全区间的概率,因此定义储能系统的平均SOC为:

$$[0042] \quad SOC_{avg} = \frac{SOC_{BESS} Q_{BESS} + SOC_{SC} Q_{SC}}{Q_{BESS} + Q_{SC}} \quad (11)$$

[0043] 其中, $Q_{BESS}$ 和 $Q_{SC}$ 分别为蓄电池和超级电容器的容量, $SOC_{BESS}$ 和 $SOC_{SC}$ 分别为蓄电池和超级电容器的荷电状态。滤波器时间常数变化量 $\Delta T$ 为:

$$[0044] \quad \Delta T = \frac{(SOC_{BESS} - SOC_{avg}) + (SOC_{avg} - SOC_{SC})}{SOC_{avg}} \quad (12)$$

[0045] 滤波器时间常数为:

$$[0046] \quad T_2 = T_1 \pm \Delta T \quad (13)$$

[0047] 其中, $T_1$ 为调整前的滤波器时间常数, $T_2$ 为调整后的滤波器时间常数。滤波器时间常数T调整规则如下:

[0048] (1)充电过程

[0049] a. 如果 $SOC_{BESS}$ 不位于优化区间,则 $T_2 = T_1 + \Delta T$ ,当 $SOC_{BESS} > SOC_{SC}$ 时, $\Delta T > 0$ ,滤波器时间常数增大,蓄电池充电功率减小,对应的超级电容器充电功率增大,二者的荷电状态趋于系统平均荷电状态,便于发挥各自特点优势;当 $SOC_{BESS} < SOC_{SC}$ 时, $\Delta T < 0$ ,滤波器时间常数减小,蓄电池充电功率增大,对应的超级电容器充电功率减小,同样,二者的荷电状态趋

于系统平均荷电状态;当 $SOC_{BESS} = SOC_{Sc}$ 时,  $\Delta T$ 保持不变。

[0050] b. 如果 $SOC_{BESS}$ 位于优化区间, 则进一步判断 $SOC_{Sc}$ 是否位优化区间, 如果不位于优化区间,  $\Delta T$ 调节同a。

[0051] (2)放电过程

[0052] a. 如果 $SOC_{BESS}$ 不位于优化区间, 则 $T_2 = T_1 - \Delta T$ , 当 $SOC_{BESS} > SOC_{Sc}$ 时,  $\Delta T > 0$ , 滤波器时间常数减小, 蓄电池放电功率增大, 对应的超级电容器放电功率减小, 二者的荷电状态趋于系统平均荷电状态, 便于发挥各自特点优势; 当 $SOC_{BESS} < SOC_{Sc}$ 时,  $\Delta T < 0$ , 滤波器时间常数增大, 蓄电池放电功率减小, 对应的超级电容器放电功率增大, 同样, 二者的荷电状态趋于系统平均荷电状态; 当 $SOC_{BESS} = SOC_{Sc}$ 时,  $\Delta T$ 保持不变。

[0053] b. 如果 $SOC_{BESS}$ 位于优化区间, 则进一步判断 $SOC_{Sc}$ 是否位优化区间, 如果不位于优化区间,  $\Delta T$ 调节同a。

[0054] 总之, 通过实时跟踪调节滤波器时间常数 $T$ , 使得缺额功率在储能装置之间得到更为合理分配, 减小储能装置荷电状态越限概率, 充分利用不同种类储能装置的优势, 满足系统功率平衡。

### 附图说明

[0055] 图1为多元互补发电系统功率能量协调优化方法;

[0056] 图2为不同类型储能装置输出功率控制框图;

[0057] 图3为不同种类储能装置荷电状态限值分类;

[0058] 图4为风力发电输出功率;

[0059] 图5为微型燃气轮机输出功率;

[0060] 图6传统策略超级电容器输出功率;

[0061] 图7传统策略蓄电池输出功率;

[0062] 图8传统策略超级电容器的荷电状态;

[0063] 图9传统策略蓄电池的荷电状态;

[0064] 图10本发明策略超级电容器输出功率;

[0065] 图11本发明策略蓄电池输出功率;

[0066] 图12本发明策略超级电容器荷电状态;

[0067] 图13本发明策略蓄电池荷电状态。

### 具体实施方式

[0068] 下面结合附图, 对实施例作详细说明。应该强调的是, 下述说明仅仅是示例性的, 而不是为了限制本发明的范围及其应用。

[0069] 利用MATLAB/Simulink软件搭建多元互补发电系统模型, 包含风力发电机、微型燃气轮机、蓄电池、超级电容器和负荷。采用定滤波时间常数的传统策略和多元互补发电系统功率能量协调优化方法分别进行仿真实验, 对各发电单元进行协调控制, 比较两种策略的效果, 初始低通滤波时间常数 $T$ 均取5。仿真时间设为100s, 负荷功率在50s时由3MW突变为2MW, 蓄电池和超级电容器的初始荷电状态均为0.5, 风速数据如下表1所示。

[0070] 表1风速数据



[0071]

数据	风速	基本风速	阵风风速	斜坡风速	噪声风速
风速相关数据		$K_b=8$ 、10m/s	$MAXG=10$	$MAXR=12$	$\mu=3$ 、2、5 m/s
作用时间		0-60s、60-100s	23-27s	27-30s	0-100s

[0072] 1. 传统策略

[0073] 低通滤波时间常数 $T$ 均取5, 蓄电池和超级电容器的初始荷电状态均为0.5。根据表1中的风速数据和风力发电输出功率特性, 得出风力发电输出功率, 如图4所示。微型燃气轮机输出功率时间尺度较长, 用于弥补功率缺额中分钟级的功率分量, 超级电容器和蓄电池相互配合, 承担秒级的功率分量, 输出功率分别如图5、6、7所示。

[0074] 由图5、6、7可知, 微型燃气轮机、超级电容器、蓄电池的输出功率响应时间特性不同, 用来弥补不同时间尺度的功率缺额。低通滤波时间常数保持不变, 各储能装置承担的缺额功率时间尺度不变。

[0075] 各储能装置承担功率决定了各自的荷电状态, 如图8、9所示。超级电容器承担功率较小, 但波动较快, 其荷电状态变化较快, 且荷电状态始终位于其优化区间0.3-0.8, 没有越限。蓄电池承担功率较大, 但波动较慢, 其荷电状态变化较慢, 由于承担较大的功率导致其荷电状态进入非安全工作区间, 对蓄电池损伤较大。

[0076] 2. 本发明策略

[0077] 本发明策略中, 低通滤波时间常数 $T$ 随着储能装置荷电状态的变化而变化, 具有自适应性, 在保证功率平抑和满足功率需求的前提下, 合理分配功率缺额, 使得各储能装置的优势得到发挥, 减小其荷电状态越限的概率。为保证两种策略的可比性, 本发明策略中风力发电和微型燃气轮机的输出功率与传统策略相同。

[0078] 由图10、图11可知, 随着功率的变化, 储能装置荷电状态随之变化, 低通滤波时间常数同时变化。开始时负荷较高, 属于放电过程, 且此时 $T=0.5$ , 蓄电池放电较多, 荷电状态下降较多,  $\Delta T < 0$ , 滤波器时间常数增大, 与传统策略相比, 蓄电池放电功率减小, 对应的超级电容器放电功率增大, 二者荷电状态趋于平均荷电状态。负荷降低后, 属于充电过程, 开始时蓄电池充电功率升高较快,  $\Delta T$ 由此时二者荷电状态确定, 并对二者输出功率进行调整, 与传统策略相比, 蓄电池充电功率降低, 超级电容器充电功率升高, 二者荷电状态趋于平均荷电状态。

[0079] 通过对低通滤波时间常数的实时调节, 使得超级电容器和蓄电池的输出功率随之改变, 保证二者的荷电状态尽量趋于平均荷电状态, 如图12、13所示, 超级电容器的荷电状态较传统策略变化增大, 二者的荷电状态均未进入非安全工作区间, 在有效发挥二者优势的同时, 保证了其安全性能。

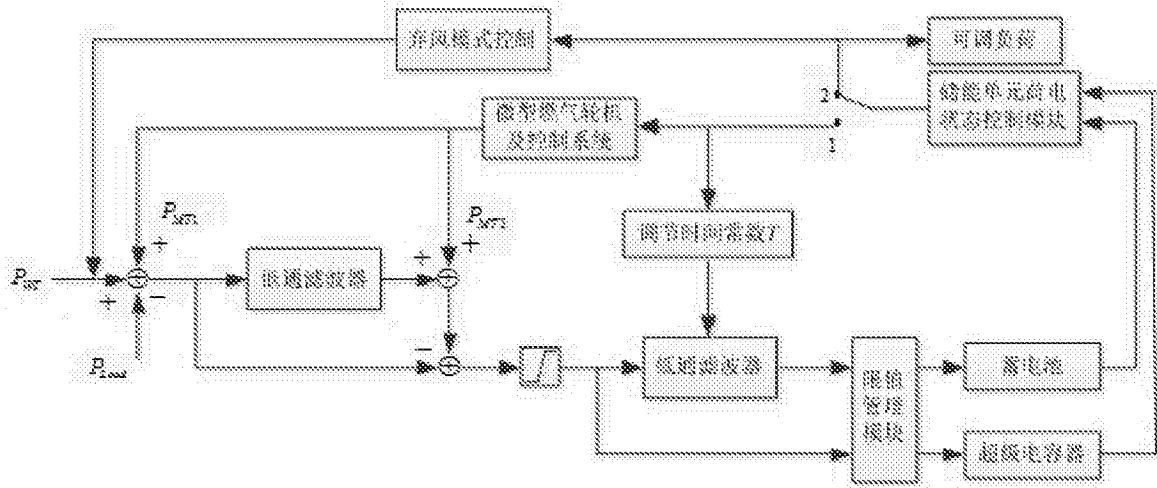


图1

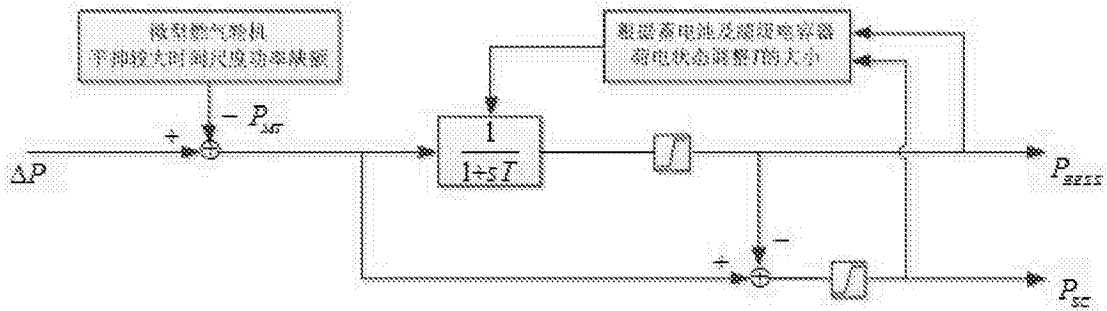


图2

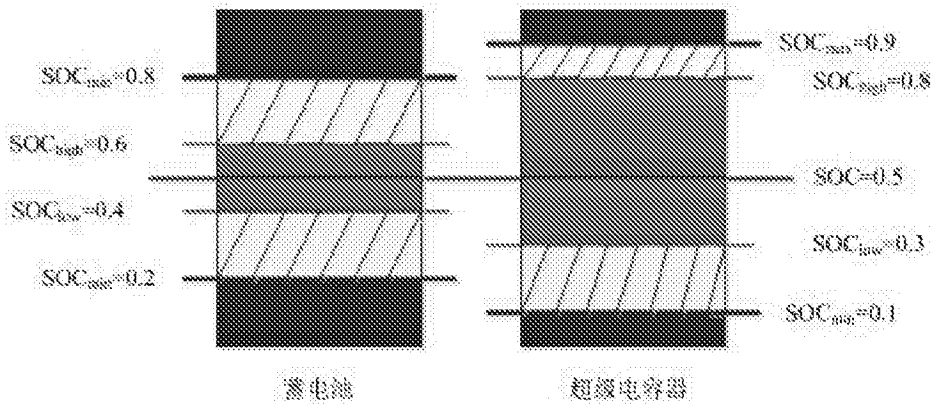


图3

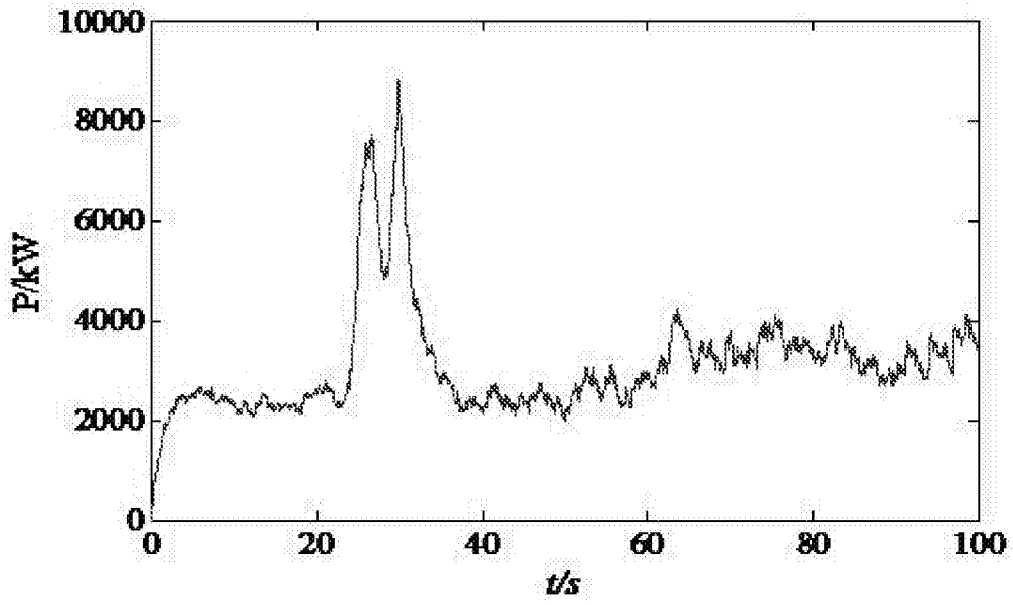


图4

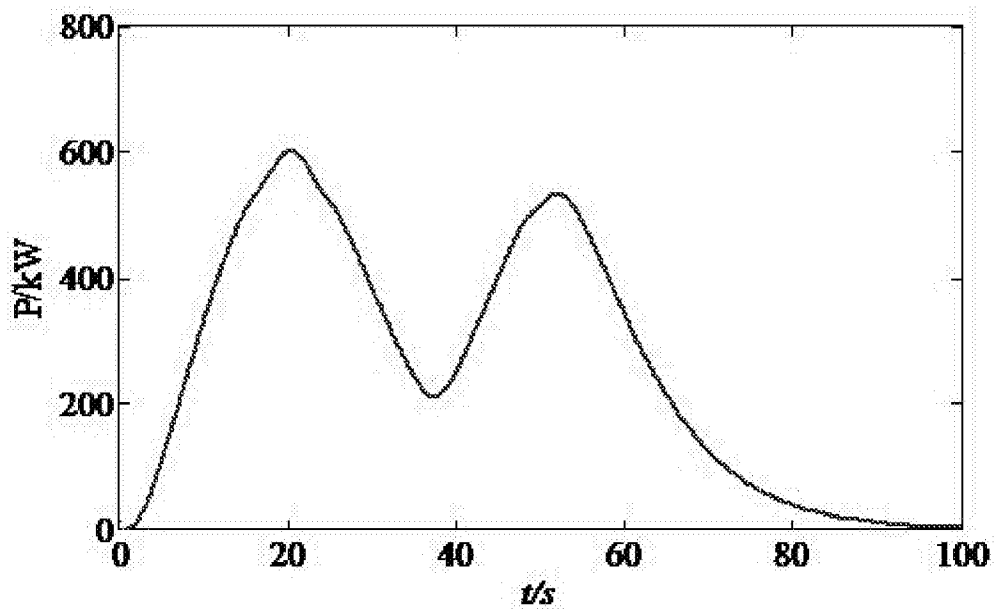


图5

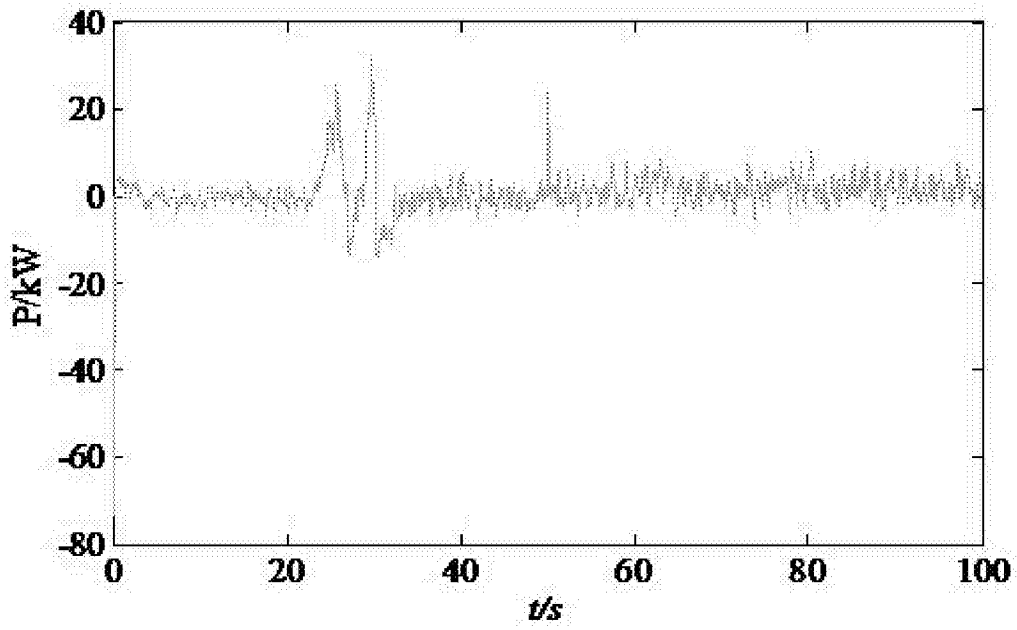


图6

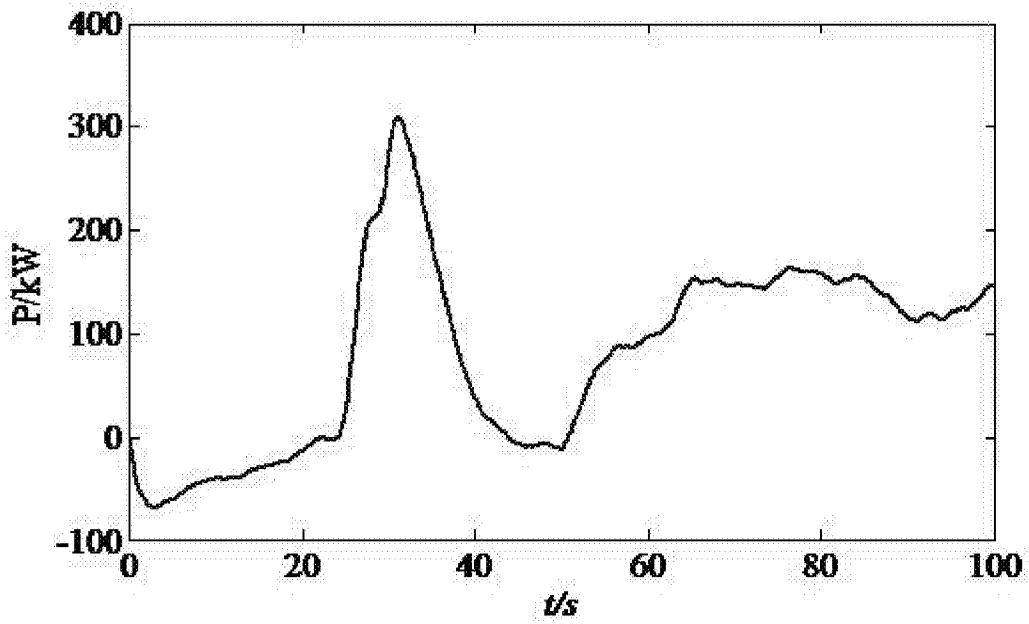


图7

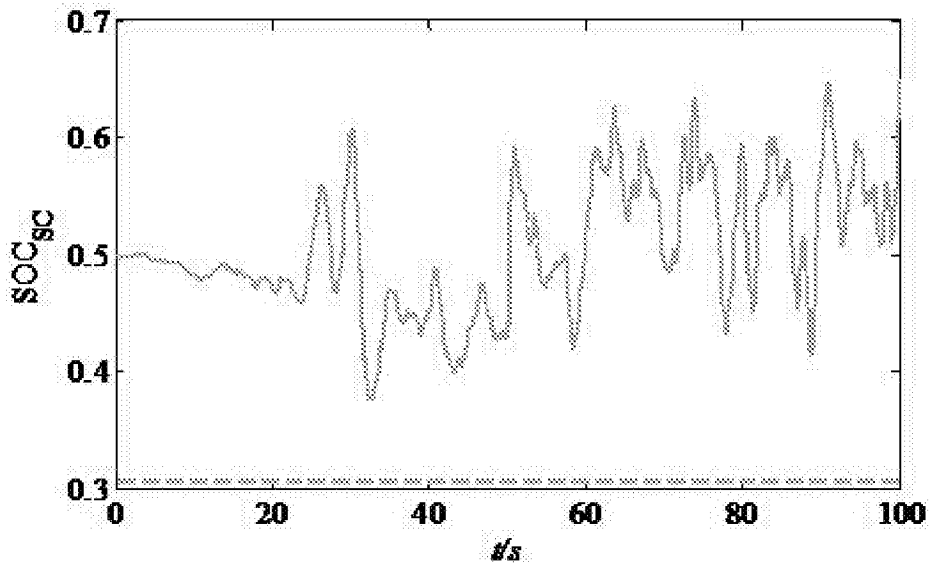


图8

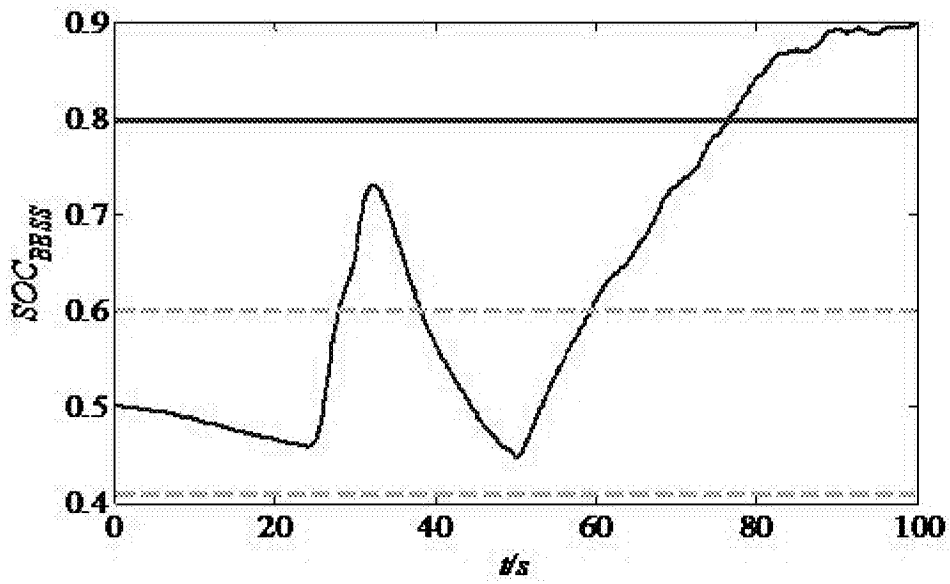


图9

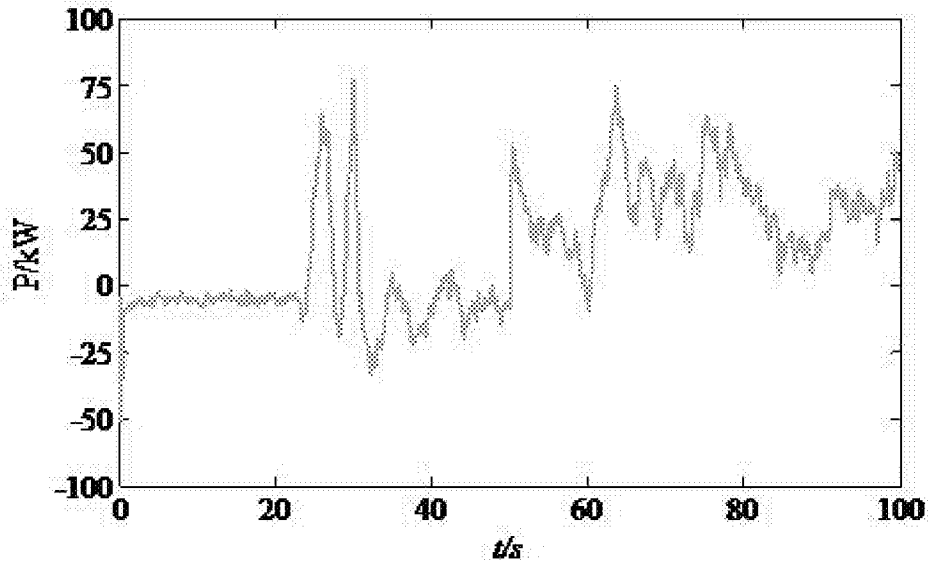


图10

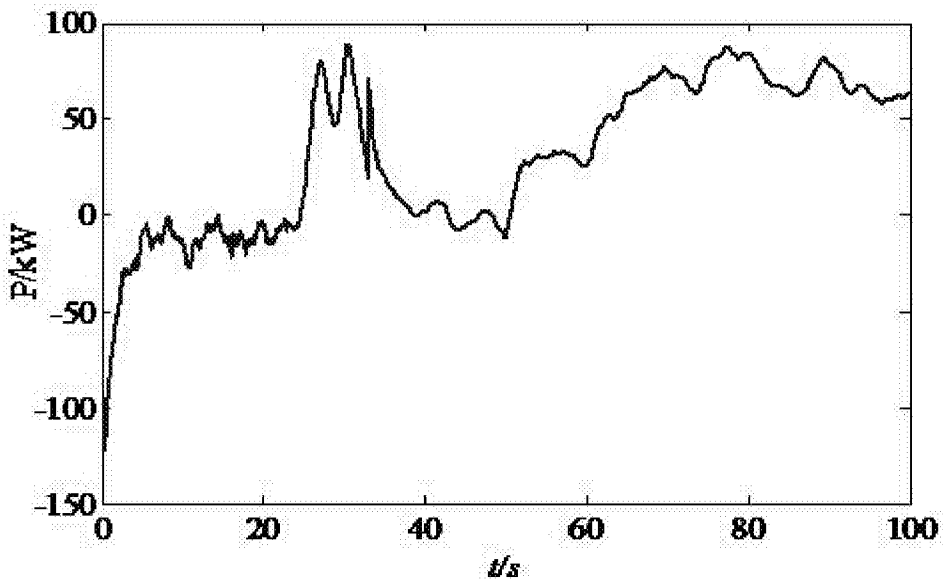


图11

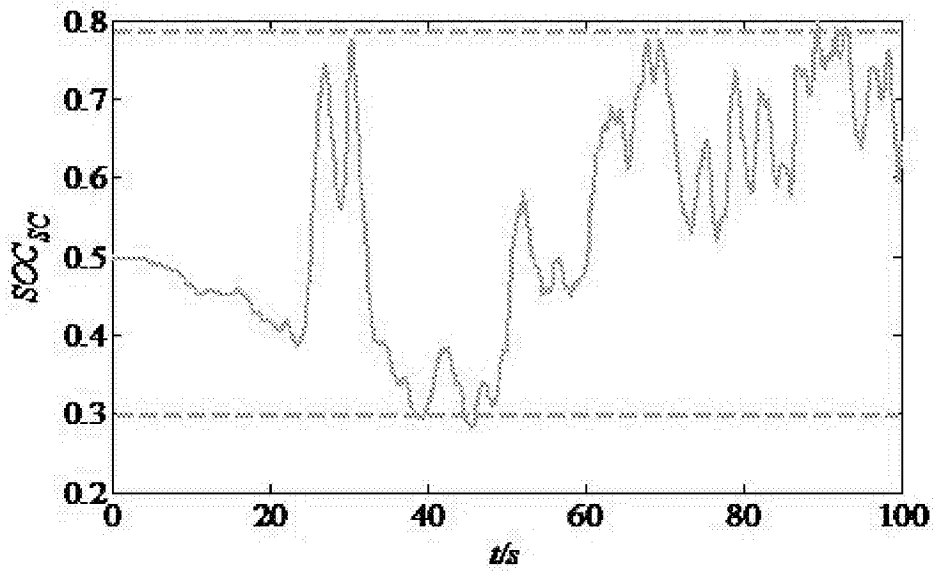


图12

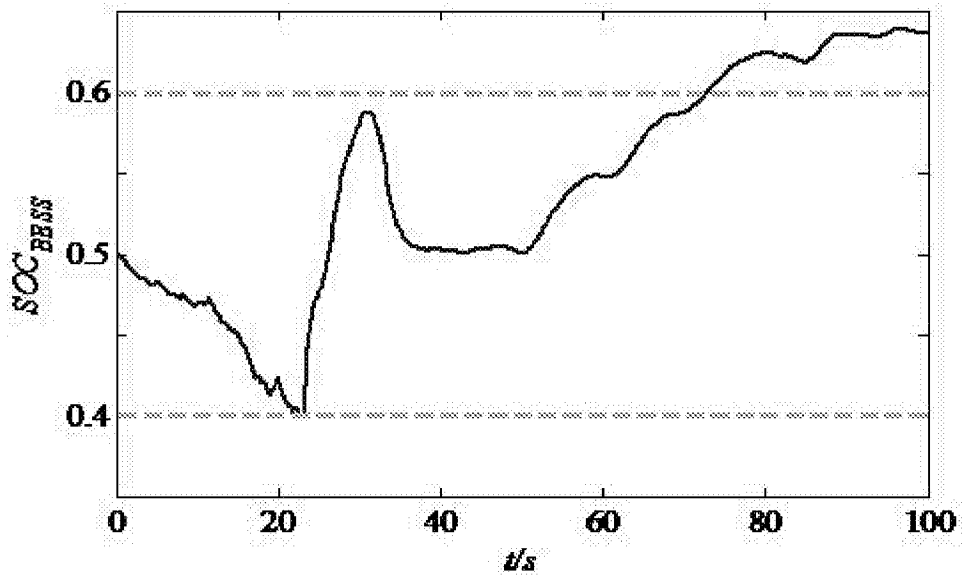


图13