



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105896581 B

(45)授权公告日 2018.06.26

(21)申请号 201610356376.5

(22)申请日 2016.05.25

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105896581 A

(43)申请公布日 2016.08.24

(73)专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 高宇 卜飞飞 黄文新

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限

公司 32200

代理人 熊玉玮

(51)Int.Cl.

H02J 3/32(2006.01)

H02J 3/28(2006.01)

(56)对比文件

CN 103683309 A,2014.03.26,全文.

孙玉龙.基于混合储能的小型风力发电系统
能量管理研究.《中国优秀硕士学位论文全文数
据库工程科技II辑》.2016,(第01期),C042-273,
第30-39页.

审查员 苏建明

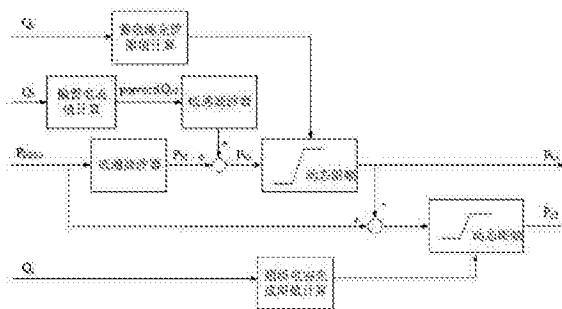
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

混合储能系统的能量管理策略

(57)摘要

本发明公开了混合储能系统的能量管理策略,涉及微电网混合储能系统的能量管理策略,属于微电网储能的技术领域。能量管理策略包含三次功率分配过程,在保证混合储能系统功率不变的前提下,首先将储能系统功率预分配给蓄电池和超级电容,接着根据预蓄电池与超级电容之间流动的功率值在预分配的基础上进行二次功率分配,最后考虑储能单元充放电限制约束在二次分配的基础上进行最终分配,充分发挥各储能单元的特性,使各储能单元之间形成优势互补,从而提高储能系统的性能。



1. 混合储能系统的能量管理策略,其特征在于,包括如下三次功率分配过程:

功率预分配过程:为蓄电池和超级电容预分配功率;

第二次功率分配过程:在保证混合储能系统功率不变的前提下,以平衡功率给定值为预分配功率的偏置量对预分配功率进行第二次分配,所述平衡功率给定值为蓄电池和超级电容之间流动的功率值,蓄电池和超级电容之间流动的功率值通过对超级电容荷电状态进行偏置电流计算确定;

第三次功率分配过程:在保证混合储能系统功率不变的前提下,考虑蓄电池充放电限制和超级电容充放电限制的约束对第二次分配的功率进行第三次分配。

2. 根据权利要求1所述混合储能系统的能量管理策略,其特征在于,所述功率预分配过程具体为:给蓄电池分配混合储能系统功率的低频分量作为预分配功率,蓄电池预分配功率 P_{b1} 为:

$P_{b1} = P_{HESS} \cdot \frac{1}{st_s + 1}$,给超级电容分配混合储能系统功率的高频分量以及冲击功率作

为预分配功率,超级电容预分配功率 P_{c1} 为: $P_{c1} = P_{HESS} - P_{b1} = P_{HESS} \cdot \frac{st_s}{st_s + 1}$, P_{HESS} 为混合储能系统功率, t_s 为时间常数, s 为拉普拉斯算子。

3. 根据权利要求2所述混合储能系统的能量管理策略,其特征在于,第二次功率分配过程结束后,蓄电池二次分配功率 P_{b2} 为: $P_{b2} = P_{b1} + p_{OFFSET}(Q_c)$,超级电容二次分配功率 P_{c2} 为: $P_{c2} = P_{HESS} - P_{b2}$, Q_c 为超级电容电量, $p_{OFFSET}(Q_c)$ 为平衡功率给定值,平衡功率给定值与超级电容电量有关。

4. 根据权利要求3所述混合储能系统的能量管理策略,其特征在于,第三次功率分配过程结束后,

蓄电池三次分配功率 P_{b3} 为:

$$P_{b3} = \begin{cases} P_{b_max}; & P_{b2} > P_{b_max} \\ P_{b2}; & P_{b_min} < P_{b2} < P_{b_max} \\ P_{b_min}; & P_{b2} < P_{b_min} \end{cases}$$

超级电容三次分配功率 P_{c3} 为:

$$P_{c3} = \begin{cases} P_{c_max}; & P_{HESS} - P_{b3} > P_{c_max} \\ P_{HESS} - P_{b3}; & P_{c_min} < P_{HESS} - P_{b3} < P_{c_max} \\ P_{c_min}; & P_{HESS} - P_{b3} < P_{c_min} \end{cases}$$

其中, P_{b_max} 、 P_{b_min} 为蓄电池充放电上下限, P_{c_max} 、 P_{c_min} 为超级电容充放电上下限。

混合储能系统的能量管理策略

技术领域

[0001] 本发明公开了混合储能系统的能量管理策略,涉及微电网混合储能系统的能量管理策略,属于微电网储能的技术领域。

背景技术

[0002] 为了避免大电网带来的各种问题,如:大电网在电力负荷增加时,相应输电线路容量的增加导致电网可靠性降低;远距离输电线路受到局部干扰时给大电网带来的冲击使得系统的稳定性不能可靠保证。大电网采用集中式发电,不够灵活,偏远地区供电难,电网建设成本高等,分布式发电得到了发展。分布式发电的能源多为太阳能、风能等清洁、可再生能源,有利于环境保护。分布式发电的优点虽然很多,但是也存在一些问题。太阳能和风能作为能源是不稳定的,可控性差,比如在无光或者无风的时候,发电系统就不能够正常工作,会对大电网造成不可估量的影响。

[0003] 为了协调大电网和分布式发电的矛盾,人们提出了微电网的概念。微电网由分布式电源、储能系统、负荷、与大电网连接的电力电子变换器和控制系统组成。微电网易于控制,能够根据负荷的改变灵活调节发电量,可靠性高,可以并网运行,也可以独立运行。储能作为微电网的重要组成部分,起着至关重要的作用。

[0004] 储能系统可以实现稳定供电,当微电网负荷增大时,储能系统可以为负荷供电;当负荷减少时,储能系统可以存储分布式发电单元的多余电能,这样可以有效地减少分布式发电单元的容量要求。实际应用对于储能系统的要求是很多的。首先,储能系统应当具有一定的能量密度,可以存储足够的能量用于较长时间的供电;其次,储能系统应当具有一定的功率密度,以应对外部特定时刻的大功率充放电要求;此外,在分布式能源波动较大时,为了始终给负载提供稳定供电,储能系统需能够平抑这部分功率波动。考虑实际工程因素,任何一种单一的储能方式都难以完全满足储能系统的这些要求。因此,混合储能系统就成为了研究的热点,其中由蓄电池与超级电容组成的混合储能系统得到了许多人的青睐。蓄电池能量密度大,但功率密度小,且蓄电池不宜频繁充放电和大功率充放电;超级电容能量密度虽然小,但具有很大的功率密度,循环寿命长。二者具有很强的互补作用,由蓄电池与超级电容组成的混合储能系统可以很好的满足实际应用中储能系统的各种要求。

[0005] 为了充分发挥二者的互补关系,并能够对二者实施有效的充放电控制,一个可靠有效的能量管理策略是必不可少的。现有的一些能量管理策略多为考虑蓄电池电荷量和超级电容电荷量对储能系统能量进行一次分配,且通过分别控制各储能单元侧变换器实现充电、放电、开、关的状态切换以实现能量控制,而在这些状态间切换时需要通过繁琐的控制逻辑来使各状态稳定过渡并协调各储能单元配合工作。

发明内容

[0006] 本发明的发明目的是针对上述背景技术的不足,提供了本发明公开了混合储能系统的能量管理策略,根据蓄电池和超级电容之间流动的功率值以及储能单元充放电极限,

在不影响储能系统外部特性的前提下为储能单元动态分配功率,解决了现有能量管理策略控制逻辑复杂且没有充分利用储能单元之间的互补优势的技术问题。

[0007] 本发明为实现上述发明目的采用如下技术方案:

[0008] 混合储能系统的能量管理策略,包括如下三次功率分配过程:

[0009] 功率预分配过程:为蓄电池和超级电容预分配功率;

[0010] 第二次功率分配过程:在保证混合储能系统功率不变的前提下,以平衡功率给定值为预分配功率的偏置量对预分配功率进行第二次分配;

[0011] 第三次功率分配过程:在保证混合储能系统功率不变的前提下,考虑蓄电池充放电限制和超级电容充放电限制的约束对第二次分配的功率进行第三次分配。

[0012] 作为所述混合储能系统的能量管理策略的进一步优化方案,功率预分配过程具体为:给蓄电池分配混合储能系统功率的低频分量作为预分配功率,蓄电池预分配功率 P_{b1} 为:

$P_{b1} = P_{HESS} \cdot \frac{1}{st_s + 1}$,给超级电容分配混合储能系统功率的高频分量以及冲击功率作为预分配

功率,超级电容预分配功率 P_{c1} 为: $P_{c1} = P_{HESS} - P_{b1} = P_{HESS} \cdot \frac{st_s}{st_s + 1}$, P_{HESS} 为混合储能系统功率,

t_s 为时间常数, s 为拉普拉斯算子。

[0013] 进一步的,所述混合储能系统的能量管理策略的第二次功率分配过程结束后,蓄电池二次分配功率 P_{b2} 为: $P_{b2} = P_{b1} + P_{OFFSET}(Q_c)$,超级电容二次分配功率 P_{c2} 为: $P_{c2} = P_{HESS} - P_{b2}$, Q_c 为超级电容电量, $P_{OFFSET}(Q_c)$ 为平衡功率给定值,平衡功率给定值与超级电容电量有关。

[0014] 再进一步的,所述混合储能系统的能量管理策略的第三次功率分配过程结束后,

[0015] 蓄电池三次分配功率 P_{b3} 为:

$$[0016] \quad P_{b3} = \begin{cases} P_{b_max}; & P_{b2} > P_{b_max} \\ P_{b2}; & P_{b_min} < P_{b2} < P_{b_max} \\ P_{b_min}; & P_{b2} < P_{b_min} \end{cases}$$

[0017] 超级电容三次分配功率 P_{c3} 为:

$$[0018] \quad P_{c3} = \begin{cases} P_{c_max}; & P_{HESS} - P_{b3} > P_{c_max} \\ P_{HESS} - P_{b3}; & P_{c_min} < P_{HESS} - P_{b3} < P_{c_max} \\ P_{c_min}; & P_{HESS} - P_{b3} < P_{c_min} \end{cases}$$

[0019] 其中, P_{b_max} 、 P_{b_min} 为蓄电池充放电上下限, P_{c_max} 、 P_{c_min} 为超级电容充放电上下限。

[0020] 作为所述混合储能系统的能量管理策略的更进一步优化方案,平衡功率给定值为蓄电池和超级电容之间流动的功率值,蓄电池和超级电容之间流动的功率值通过对超级电容荷电状态进行偏置电流计算确定。

[0021] 本发明采用上述技术方案,具有以下有益效果:

[0022] (1) 能量管理策略包含三次功率分配过程,在保证混合储能系统功率不变的前提

下,首先将储能系统功率预分配给蓄电池和超级电容,接着根据预蓄电池与超级电容之间流动的功率值在预分配的基础上进行二次功率分配,最后考虑储能单元充放电限制约束在二次分配的基础上进行最终分配,充分发挥各储能单元的特性,使各储能单元之间形成优势互补,从而提高储能系统的性能;

[0023] (2) 本发明仅用一个处理器即可实现能量管理策略,各储能单元公用该处理器形成的控制外环使得各储能单元侧的变换器能够协同控制,考虑储能单元充放电限制的约束加入的动态限幅环节根据储能单元荷电量调节功率阈值,不同于通过开关储能单元以调节功率的传统方式,使储能单元间可协同工作,合理分配响应功率,并能够在各状态间进行平滑过渡,免去了繁琐的逻辑切换,保证了各储能单元正常稳定的运行,改善了储能单元的工作状态,提高了储能单元的寿命;

[0024] (3) 能量管理策略中平衡功率的存在,可最尽可能保证超级电容的电量处于期望状态,减小了系统中超级电容的容量配置。

附图说明

[0025] 图1为混合储能系统结构示意图。

[0026] 图2为储能单元荷电状态示意图,其中, Q_{b_max} 、 Q_{b_min} 为蓄电池的电荷量上下限, Q_{b_high} 、 Q_{b_low} 为蓄电池正常状态下电荷量的上下限, Q_{c_max} 、 Q_{c_min} 为超级电容的电荷量上下限, Q_{c_high} 、 Q_{c_low} 为超级电容正常状态下电荷量的上下限, Q_{c_ref} 为超级电容期望电荷量, $Q_{c_ref_max}$ 、 $Q_{c_ref_min}$ 为超级电容期望电荷量的上下限。

[0027] 图3为储能单元不同电量下充放电限值示意图,其中, i 表示储能单元的电流, i 为正表示放电, i 为负表示充电, Q 表示储能单元电量值,阴影部分表示储能单元工作范围。

[0028] 图4为超级电容不同电量下期望的给定电流值。

[0029] 图5为混合储能系统能量管理策略控制框图。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图对发明的技术方案进行详细说明。

[0031] 由图1所示的混合储能系统,由蓄电池与超级电容作为储能单元,并分别经由双向直流变换器接入直流电网,二者共同响应储能系统的充放电要求。能量管理策略的任务就是协调蓄电池与超级电容合理分配充放能量,保护储能单元正常稳定工作,并能够使储能系统快速准确的响应外部的充放电要求。

[0032] 蓄电池能量密度大、功率密度小、循环寿命短、充放电效率低,不适合用于大功率充放电和频繁的充放电。而超级电容恰恰相反,超级电容功率密度大、能量密度小、循环寿命长、充放电效率高,主要运用于循环充放电场合和大功率充放电场合,但是由于其能量密度低的特点,若要使其提供蓄电池相同的能量,则需要的体积和重量要比蓄电池大得多。通过将蓄电池与超级电容混合使用,不仅可以提高储能系统的功率输出能力、降低损耗,还能够减小蓄电池的充放电次数,延长蓄电池的寿命。

[0033] 根据蓄电池与超级电容的特性,混合储能应当由蓄电池提供主要能量,超级电容提供波动能量与冲击能量。使用低通滤波器对混合储能系统功率 P_{HESS} 进行滤波,将滤波后得到的低频部分作为蓄电池预分配功率 P_{b1} ,然后将剩余的高频部分以及冲击功率交由超级

电容补偿得到超级电容预分配功率 P_{c1} 。这样就完成了混合储能系统功率 P_{HESS} 在蓄电池和超级电容之间的预分配：

$$[0034] \quad P_{b1} = P_{HESS} \cdot \frac{1}{st_s + 1},$$

$$[0035] \quad P_{c1} = P_{HESS} - P_{b1} = P_{HESS} \cdot \frac{st_s}{st_s + 1},$$

[0036] 式中， t_s 为低通滤波器的时间常数，根据蓄电池实际需要进行选取； s 为拉普拉斯算子。

[0037] 根据蓄电池与超级电容的荷电状态将二者的工作状态作图2的划分。蓄电池的工作状态分为禁止充电状态，电量充足状态，电量正常状态，电量过低状态，禁止放电状态这五种状态。超级电容的工作状态与蓄电池的工作状态基本相似，只是在电量正常状态中增加了期望电量状态。

[0038] 在本混合储能系统中，希望超级电容的电量一直维持在期望电量范围内。超级电容提供或者吸收了储能系统的峰值功率，偏离了期望电量范围时，可以以最快的速度恢复到该电量区域，以应对下一次的功率冲击。通过这种方法可以充分利用超级电容的容量，并尽可能的减小对超级电容容量的配置。为使超级电容的电量尽快恢复至期望范围，采用对预分配电流值进行偏置的方法，在满足外部充放电要求的情况下，以最大充放能力对超级电容进行充放电，即进行功率的第二次分配：

$$[0039] \quad P_{b2} = P_{b1} + p_{OFFSET}(Q_c) = P_{HESS} \cdot \frac{1}{st_s + 1} + p_{OFFSET}(Q_c)$$

$$[0040] \quad P_{c2} = P_{HESS} - P_{b2} = P_{HESS} \cdot \frac{st_s}{st_s + 1} - p_{OFFSET}(Q_c)$$

[0041] 式中， $p_{OFFSET}(Q_c)$ 为功率偏置值，即为蓄电池和超级电容之间流动的功率值，该值是动态变化的并且与超级电容的电量值 Q_c 有关，在超级电容电量值偏离期望值较大时，该偏置值为系统可提供的最大偏置值，而在超级电容逐渐接近期望值时，该偏置值逐渐减小，直至为0。 $p_{OFFSET}(Q_c)$ 首先根据超级电容电量值 Q_c 计算偏置电流值，然后对偏置电流值进行低通滤波得到。 P_{b2} 为蓄电池二次分配功率， P_{c2} 为超级电容二次分配功率。图4为二次功率分配后超级电容的期望给定值。

[0042] 为使储能单元正常稳定的工作，保证储能单元的寿命，对储能系统的保护措施是必不可少的。储能单元工作在禁止充电状态时，限制储能单元的充电电流为0；当储能系统工作在电量充足状态时，限制储能单元的充电电流，以达到恒压充电的效果；当储能单元工作在电量正常状态时，充放电电流限制值即为最大充放电电流值；当储能系统工作在电量过低状态时，逐步减小放电电流值限制；当储能单元工作在禁止放电状态时，限制储能单元放电电流为0。该动态限幅示意图如图3所示。通过以上限制可保证储能单元不至于过充或者过放，也不会出现充放电电流过大的情况。因此在功率二次分配的基础上应再结合各储能单元的充放电限值对功率进行最终的分配：

$$\begin{aligned}
 [0043] \quad P_{b3} &= \begin{cases} P_{b_max}; P_{b2} > P_{b_max} \\ P_{b2}; P_{b_min} < P_{b2} < P_{b_max}, \\ P_{b_min}; P_{b2} < P_{b_min} \end{cases} \\
 [0044] \quad P_{c3} &= \begin{cases} P_{c_max}; P_{HESS} - P_{b3} > P_{c_max} \\ P_{HESS} - P_{b3}; P_{c_min} < P_{HESS} - P_{b3} < P_{c_max}, \\ P_{c_min}; P_{HESS} - P_{b3} < P_{c_min} \end{cases}
 \end{aligned}$$

[0045] P_{b3} 为蓄电池三次分配功率, P_{c3} 为超级电容三次分配功率。

[0046] 因为二次功率的分配最终是受到各储能单元的充放电限值的限制的,所以最终实际的偏置电流值有些情况下是达不到期望的电流偏置值的,但是其始终是以最大能力接近期望偏置值,即以最大能力使超级电容的电量恢复期望值。

[0047] 综上所述,蓄电池与超级电容所组成的混合储能系统的能量管理策略的控制框图如图5所示,具体实现方法如下:

[0048] (1) 采用低通滤波器对混合储能系统功率 P_{HESS} 进行预分配:其中,混合储能系统功率低频分量由蓄电池提供,混合储能系统功率高频分量以及冲击功率由超级电容提供,预分配给蓄电池的功率记为 P_{b1} ,预分配给超级电容的功率记为 P_{c1} ;

[0049] (2) 根据超级电容荷电状态 Q_c 计算出储能系统内部平衡功率给定值 $p_{OFFSET}(Q_c)$,即蓄电池与超级电容之间流动的功率值,从而保证超级电容电量始终处于或趋于期望的电量值,该电流值的大小不会影响储能系统的外部特性,将平衡功率给定值作为预分配功率值的偏置量,在保证总功率不变的前提下,进行功率的二次分配,实现功率在储能系统内部的流动,第二次分配给蓄电池的功率记为 P_{b2} ,第二次分配给超级电容的功率记为 P_{c2} ,为防止偏置值给蓄电池电流带来波动,对偏置电流计算后的平衡功率进行低通滤波后再与预分配给蓄电池的功率 P_{b1} 累加;

[0050] (3) 根据蓄电池与超级电容各自的荷电状态 Q_b 和 Q_c 计算出各自的充放电限值,实现动态限幅,即在不同荷电状态下对储能单元充放电电流大小的限制,根据各储能单元的充放电限值,结合二次分配的功率值,对储能系统的功率值进行最终分配,第三次分配给蓄电池的功率记为 P_{b3} ,第三次分配给超级电容的功率记为 P_{c3} 。

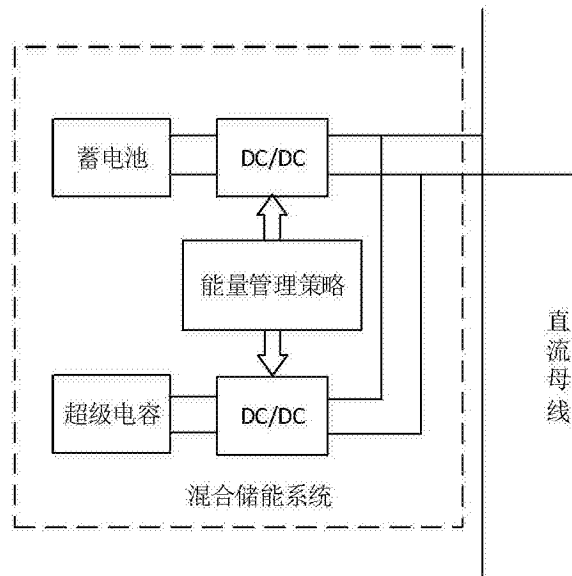


图1

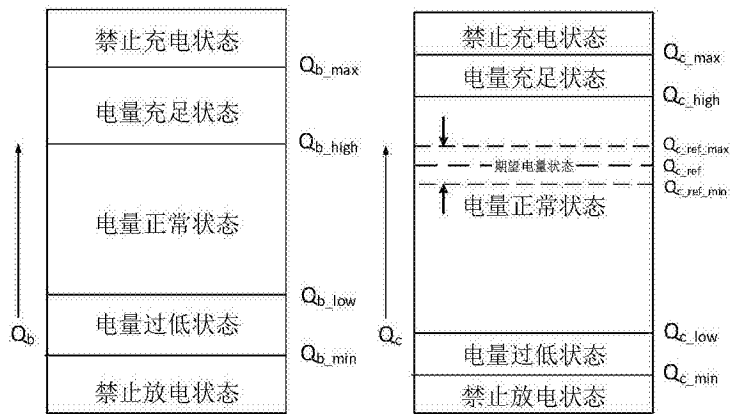


图2

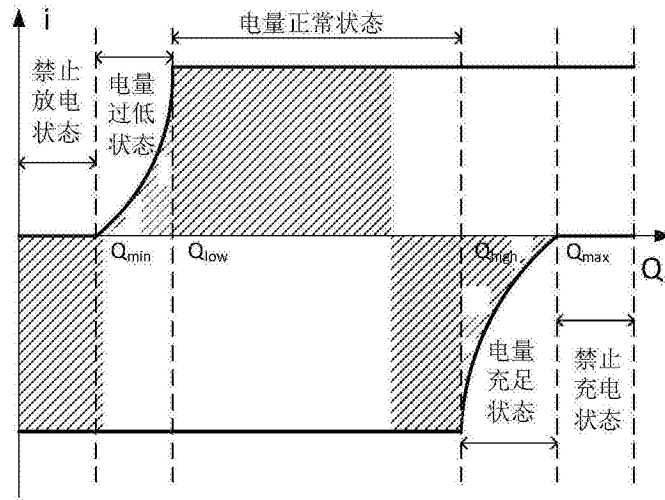


图3

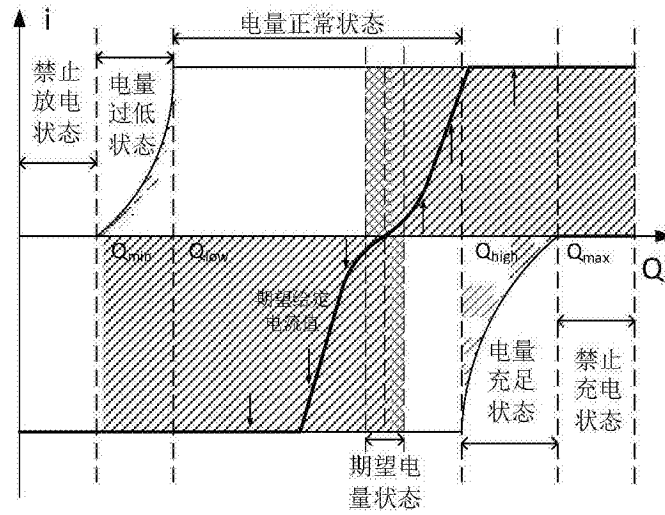


图4

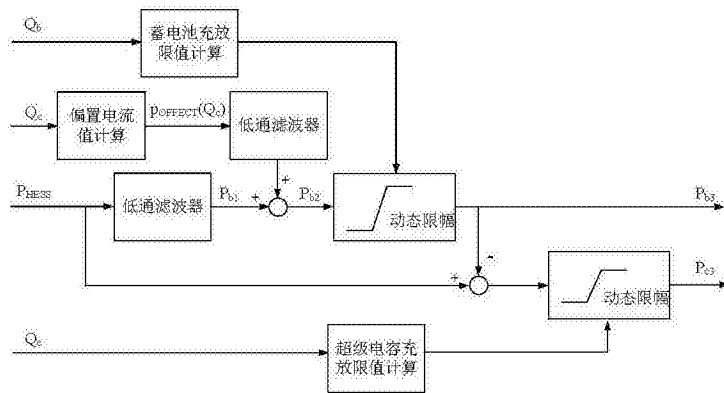


图5