



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109802414 A

(43)申请公布日 2019.05.24

(21)申请号 201910089482.5

(22)申请日 2019.01.29

(71)申请人 国家电网有限公司

地址 100000 北京市西城区长安街86号

申请人 国网河南省电力公司经济技术研究院

(72)发明人 王世谦 宋晓凯 耿翠英 王文豪

娄北 林烽 张龙 郭建宇 刘洋

(74)专利代理机构 郑州知己知识产权代理有限公司

公司 41132

代理人 季发军

(51)Int.Cl.

H02J 3/32(2006.01)

H02J 3/18(2006.01)

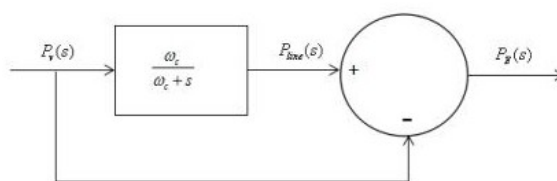
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法

(57)摘要

本发明提供一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,包括如下步骤:S1、对新能源输出功率样本数据进行选取;S2、对样本数据分析及建模;S3、确定滤波的频率范围并选择截止频率;S4、确定储能系统ESS的额定功率;S5、储能额定容量选择和建模。该方法根据频谱分析的结果确定低通滤波的截止频率,使补偿更准确,既能满足波动要求,又使容量尽可能小。



1. 一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,其特征在于:包括如下步骤:

- S1、对新能源输出功率样本数据进行选取;
 S2、对样本数据分析及建模;
 S3、确定滤波的频率范围并选择截止频率;
 S4、确定储能系统ESS的额定功率;
 S5、储能额定容量选择和建模。

2. 如权利要求1所述的平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,其特征在于:所述步骤S1中对新能源发电系统的功率波动采样周期为5min,选取片段长度为12h。

3. 如权利要求2所述的平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,其特征在于:在所述步骤3中,平滑波动的目标是使并网输出有功功率波动满足一定要求:在某时间段内功率波动小于设定值,功率输出波动率定义如下:假定在t时间段内功率波动率用 F_t 表示则有

$$F_t = \frac{\Delta P_t}{P_n} = \frac{P_{t\max} - P_{t\min}}{P_n} \times 100\% \quad \text{式 1}$$

式中: P_n 为新能源额定功率,kW; ΔP_t 为t时间段内最大功率变化量, $P_{t\max}$ 、 $P_{t\min}$ 分别为t时间段内最大与最小输出功率,kW;

判断目标功率输出是否满足要求,需要保证波动率不超过设定值 F_{tup} ,即:

$$F_t \leq F_{tup} \quad \text{式 2}$$

根据波动约束条件,求每一个连续时间段t内的最大与最小输出功率为:

$$P_{t\max}(i) = \max[P(i:i+T/T_s)] \quad \text{式 3}$$

$$P_{t\min}(i) = \min[P(i:i+T/T_s)] \quad \text{式 4}$$

式中: $P_{t\max}$ 、 $P_{t\min}$ 分别为每1个连续时间段t内的最大与最小输出功率; $i=1,2,\dots,(N-T/T_s)$ 表示从第1个采样数据开始每1个连续的时间段起点,其中 T/T_s 取整; T_s 为样本数据采样周期; N 为采样点数;

根据式1,计算每一个连续时间段t内的功率波动率,从而得到整个数据周期内的最大功率波动率;

对样本数据进行离散傅里叶变换,得到幅频特性:

$$P(k) = \sum_{n=0}^{N-1} P(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad \text{式 5}$$

其中, $k=0,1,\dots,N-1$;

根据幅频特性,得到功率波动的主要频率范围 $[\omega_L, \omega_H]$, ω_L 、 ω_H 分别为波动频率范围的下限值和上限值。

4. 如权利要求3所述的平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,其特征在于:在步骤S3中采用一阶低通滤波,以储能放电功率为正,充电功率为负,变量关系为

$$P_{line}(s) = \frac{\omega_c}{\omega_c + s} P_v(s) \quad \text{式 6}$$

$$P_E(s) = P_{line}(s) - P_v(s) = -\frac{s}{\omega_c + s} P_v(s) \quad \text{式 7}$$

式中： $P_v(s)$ 为新能源的输出功率； $P_{line}(s)$ 为并网联线功率； $P_E(s)$ 为储能补偿的功率； ω_c 为滤波器截止频率；

将 $s = j\omega$ 代入式6，得幅频特性为

$$P_{line}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega/\omega_c)^2}} P_v(\omega) \quad \text{式 8}$$

储能的补偿容量与补偿频段直接相关，截止频率 ω_c 越小，储能补偿的频率范围就越大，整体的平滑效果越好，但是所需储能容量也越大；在确定系统截止频率时，采用试频法，从低频开始逐渐向高频试；若滤波后得到的联络线功率波动率远远小于约束条件，则配置的储能容量偏大，可将截止频率向高频取；若得到的联络线功率波动率大于约束条件，则需将频率向低频取；当波动率小于并接近约束条件时，为理想的截止频率值。

5. 如权利要求4所述的平滑新能源输出功率波动的储能配置方法，其特征在于：确定储能系统ESS的额定功率首先考虑充放电效率，考虑充放电效率的储能功率为

$$P_E(n) = \begin{cases} \frac{P_{EO}(n)}{\eta_d}, & P_{EO}(n) \geq 0 \\ P_{EO}(n) \cdot \eta_c, & P_{EO}(n) < 0 \end{cases} \quad \text{式 9}$$

式中： $n=1, 2, \dots, N$ ， $P_E(n)$ 为储能实际充放电功率； $P_{EO}(n)$ 为经低通滤波得到的储能参考充放电功率； η_d 为放电效率； η_c 为充电效率； N 为采样数据个数；

其次考虑充放电电量均衡，储能的充放电功率要保证储能能够连续稳定运行，即在整個运行周期内，不会出现储能不足或过剩的情况；因此，在整个周期内，储能运行过程中应满足净充放电电量为0，根据 $E=PT$ 可知能量的平衡即体现在功率的平衡上，将储能补偿功率值进行纵坐标的平移，同时将联络线输出功率也进行相反方向的平移，公式如下：

$$\Delta P = \frac{1}{N} \sum_1^N P_E[n] \quad \text{式 10}$$

$$P'_E[n] = P_E[n] - \Delta P \quad \text{式 11}$$

$$P'_{line}[n] = P_{line}[n] - \Delta P \quad \text{式 12}$$

式中： $n=1, 2, \dots, N$ ； ΔP 为平移量； $P'_E[n]$ 、 $P'_{line}[n]$ 分别为平移后的储能补偿功率和联络线功率，得知平移后的联络线波动率是不变的；

在整个周期内，储能所需补偿功率绝对值的最大值即为储能应具备的最大充放电功率，即储能的额定功率

$$P_{EN} = \max\{|P'_E[n]|\} \quad \text{式 13。}$$

6. 如权利要求5所述的平滑新能源输出功率波动的储能配置方法，其特征在于：容量确定首先需要充放电电量计算，储能的充放电电量为：

$$E[n] = \sum_0^N P'_E[n] \frac{T_s}{3600} \quad \text{式 14}$$

其中， $n=0, 1, 2, \dots, N$ ；电量单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ；

额定容量计算如下：

储能系统的剩余能量变化可用荷电状态SOC来表示，计算方法为

$$S = S_0 - \frac{E[n]}{E_N} \quad \text{式 15}$$

式中： S 为实时荷电状态； S_0 为初始荷电状态； E_N 为储能额定容量；充电时 $E[n]$ 为负，剩余能量增加，SOC增大；放电时 $E[n]$ 为正，剩余能量减小，SOC降低；

储能的初始SOC和能量应能满足：在该SOC下，最大正能量波动时SOC不低于低限值，最大负能量波动时SOC不高于高限值；根据式14求得最大正能量波动值为 $\max\{E[n]\}$ ，最大负能量波动值为 $\min\{E[n]\}$ ；

设储能系统荷电状态最大和最小允许值分别为 S_{\max} 和 S_{\min} ，可得：

$$\begin{cases} S_0 - S_{\min} \geq \frac{\max\{E[n]\}}{E_N} \\ S_{\max} - S_0 \leq \frac{\min\{E[n]\}}{E_N} \end{cases} \quad \text{式 16}$$

取满足条件的最小 E_N ，可得：

$$\begin{cases} E_N = \frac{\max\{E[n]\}}{S_0 - S_{\min}} \\ E_N = \frac{|\min\{E[n]\}|}{S_{\max} - S_0} \end{cases} \quad \text{式 17}$$

解得：

$$E_N = \frac{\max\{E[n]\} + |\min\{E[n]\}|}{S_{\max} - S_{\min}} \quad \text{式 18。}$$

7. 如权利要求6所述的平滑新能源输出功率波动的储能配置方法，其特征在于：对储能初始状态确定，通过式17中两式相等求得初始荷电状态：

$$S_0 = \frac{\max\{E[n]\} S_{\max} - \min\{E[n]\} S_{\min}}{\max\{E[n]\} - \min\{E[n]\}} \quad \text{式 19}$$

通过储能参考功率值求得储能的正能量波动值和最大负能量波动值，给定SOC的最大最小范围后，得到储能的最小额定容量，并求得储能初始状态；将储能调整在该初值状态后，即可满足整个周期内的充放电需求。

一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法

技术领域

[0001] 本发明涉及配电网技术领域,具体涉及一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法。

背景技术

[0002] 随着科学技术的发展,电力系统已经逐渐发展成为集中式发电、远距离输电的大型电网,由于能源、环境、经济多方面要素影响,传统的火力发电的煤、石油能燃料日益耗尽,亟须新的清洁能源的引入,既保证的能源供给的同时保证排放的气体不污染环境,引入光伏、风能发电无疑是很好的选择,随着国家对于清洁能源的大力倡导,新能源形式正大批量接入电力系统,随着电力系统规模的不断扩大和系统复杂性的增加,电力系统的频率特性也越来越复杂,对电力系统频率的控制变得异常困难;而光伏和风力发电自身的随机性,不确定性,给电网的安全可靠运行带来了越来越多的挑战。

[0003] 中国专利数据库于2012年10月3日公开了一件专利名称为“风光储联合发电系统有功协调控制方法”的专利申请,其专利号为:ZL201210167984.3,该方法通过发挥风能、光能、储能资源的优势互补,有效利用储能系统对电能存储和释放,合理调整风、光等可再生能源,实现风光储联合发电系统的输出功率类似常规电源一样跟踪调度指令。但该方法需要配置电池储能系统,将新能源联合发电系统组建为一个可调度的发电单元,建设成本高,在大规模新能源并网模式下的应用推广受到一定的限制。

[0004] 上海电机学院硕士论文《风光储联合并网发电系统中电池储能单元的平滑控制策略研究》提出了基于模糊控制的SOC主动调节控制策略,但模糊控制的工程实现过程过于复杂,控制精度及动态品质差。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明提供一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,根据频谱分析的结果确定低通滤波的截止频率,使补偿更准确,既能满足波动要求,又使容量尽可能小。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,包括如下步骤:

[0007] S1、对新能源输出功率样本数据进行选取;

[0008] S2、对样本数据分析及建模;

[0009] S3、确定滤波的频率范围并选择截止频率;

[0010] S4、确定储能系统ESS的额定功率;

[0011] S5、储能额定容量选择和建模。

[0012] 进一步的,所述步骤S1中对新能源发电系统的功率波动采样周期为5min,选取片段长度为12h。

[0013] 进一步的,平滑波动的目标是使并网输出有功功率波动满足一定要求:在某时间

段内功率波动小于设定值,功率输出波动率定义如下:假定在t时间段内功率波动率用 F_t 表示则有

$$[0014] \quad F_t = \frac{\Delta P_t}{P_n} = \frac{P_{t\max} - P_{t\min}}{P_n} \times 100\% \quad \text{式 1}$$

[0015] 式中: P_n 为新能源额定功率,kW; ΔP_t 为t时间段内最大功率变化量, $P_{t\max}$ 、 $P_{t\min}$ 分别为t时间段内最大与最小输出功率,kW;

[0016] 判断目标功率输出是否满足要求,需要保证波动率不超过设定值 F_{tup} ,即:

$$[0017] \quad F_t \leq F_{tup} \quad \text{式 2}$$

[0018] 根据波动约束条件,求每一个连续时间段t内的最大与最小输出功率为:

$$[0019] \quad P_{t\max}(i) = \max[P(i:i+T/T_s)] \quad \text{式 3}$$

$$[0020] \quad P_{t\min}(i) = \min[P(i:i+T/T_s)] \quad \text{式 4}$$

[0021] 式中: $P_{t\max}$ 、 $P_{t\min}$ 分别为每1个连续时间段t内的最大与最小输出功率; $i=1, 2, \dots, (N-T/T_s)$ 表示从第1个采样数据开始每1个连续的时间段起点,其中 T/T_s 取整; T_s 为样本数据采样周期; N 为采样点数;

[0022] 根据式1,计算每一个连续时间段t内的功率波动率,从而得到整个数据周期内的最大功率波动率;

[0023] 对样本数据进行离散傅里叶变换,得到幅频特性:

$$[0024] \quad P(k) = \sum_{n=0}^{N-1} P(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \quad \text{式 5}$$

[0025] 其中, $k=0, 1, \dots, N-1$;

[0026] 根据幅频特性,得到功率波动的主要频率范围 $[\omega_L, \omega_H]$, ω_L, ω_H 分别为波动频率范围的下限值和上限值。

[0027] 进一步的,在步骤S3中采用一阶低通滤波,以储能放电功率为正,充电功率为负,变量关系为

$$[0028] \quad P_{line}(s) = \frac{\omega_c}{\omega_c + s} P_v(s) \quad \text{式 6}$$

$$[0029] \quad P_E(s) = P_{line}(s) - P_v(s) = -\frac{s}{\omega_c + s} P_v(s) \quad \text{式 7}$$

[0030] 式中: $P_v(s)$ 为新能源的输出功率; $P_{line}(s)$ 为并网联络线功率; $P_E(s)$ 为储能补偿的功率; ω_c 为滤波器截止频率;

[0031] 将 $s = j\omega$ 代入式6,得幅频特性为

$$[0032] \quad P_{line}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_c)^2}} P_v(\omega) \quad \text{式 8}$$

[0033] 储能的补偿容量与补偿频段直接相关,截止频率 ω_c 越小,储能补偿的频率范围就越大,整体的平滑效果越好,但是所需储能容量也越大;在确定系统截止频率时,采用试频法,从低频开始逐渐向高频试;若滤波后得到的联络线功率波动率远远小于约束条件,则配置的储能容量偏大,可将截止频率向高频取;若得到的联络线功率波动率大于约束条件,则

需将频率向低频取;当波动率小于并接近约束条件时,为理想的截止频率值。

[0034] 进一步的,确定储能系统ESS的额定功率首先考虑充放电效率,考虑充放电效率的储能功率为

$$[0035] \quad P_E(n) = \begin{cases} \frac{P_{EO}(n)}{\eta_d}, & P_{EO}(n) \geq 0 \\ P_{EO}(n) \cdot \eta_c, & P_{EO}(n) < 0 \end{cases} \quad \text{式 9}$$

[0036] 式中: $n=1, 2, \dots, N$ 。 $P_E(n)$ 为储能实际充放电功率; $P_{EO}(n)$ 为经低通滤波得到的储能参考充放电功率; η_d 为放电效率; η_c 为充电效率; N 为采样数据个数;

[0037] 其次考虑充放电均衡,储能的充放电功率要保证储能能够连续稳定运行,即在整个运行周期内,不会出现储能不足或过剩的情况;因此,在整个周期内,储能运行过程中应满足净充(放)电电量为0,根据 $E=PT$ 可知能量的平衡即体现在功率的平衡上,将储能补偿功率值进行纵坐标的平移,同时将联络线输出功率也进行相反方向的平移,公式如下:

$$[0038] \quad \Delta P = \frac{1}{N} \sum_1^N P_E[n] \quad \text{式 10}$$

$$[0039] \quad P'_E[n] = P_E[n] - \Delta P \quad \text{式 11}$$

$$[0040] \quad P'_{line}[n] = P_{line}[n] - \Delta P \quad \text{式 12}$$

[0041] 式中: $n=1, 2, \dots, N$; ΔP 为平移量; $P'_E[n]$ 、 $P'_{line}[n]$ 分别为平移后的储能补偿功率和联络线功率,得知平移后的联络线波动率是不变的;

[0042] 在整个周期内,储能所需补偿功率绝对值的最大值即为储能应具备的最大充放电功率,即储能的额定功率

$$[0043] \quad P_{EN} = \max \{ |P'_E[n]| \} \quad \text{式 13。}$$

[0044] 进一步的,容量确定首先需要充放电计算,储能的充放电电量为:

$$[0045] \quad E[n] = \sum_0^N P'_E[n] \frac{T_s}{3600} \quad \text{式 14}$$

[0046] 其中, $n=0, 1, 2, \dots, N$;电量单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$;

[0047] 额定容量计算如下:

[0048] 储能系统的剩余能量变化可用荷电状态SOC来表示,计算方法为

$$[0049] \quad S = S_0 - \frac{E[n]}{E_N} \quad \text{式 15}$$

[0050] 式中: S 为实时荷电状态; S_0 为初始荷电状态; E_N 为储能额定容量;充电时 $E[n]$ 为负,剩余能量增加,SOC增大;放电时 $E[n]$ 为正,剩余能量减小,SOC降低;

[0051] 储能的初始SOC和能量应能满足:在该SOC下,最大正能量波动时SOC不低于低限值,最大负能量波动时SOC不高于高限值;根据式14求得最大正能量波动值为 $\max \{E[n]\}$,最大负能量波动值为 $\min \{E[n]\}$;

[0052] 设储能系统荷电状态最大和最小允许值分别为 S_{\max} 和 S_{\min} ,可得:

$$[0053] \quad \begin{cases} S_0 - S_{\min} \geq \frac{\max\{E[n]\}}{E_N} \\ S_{\max} - S_0 \leq \frac{\min\{E[n]\}}{E_N} \end{cases} \quad \text{式 16}$$

[0054] 取满足条件的最小 E_N ,可得:

$$[0055] \quad \begin{cases} E_N = \frac{\max\{E[n]\}}{S_0 - S_{\min}} \\ E_N = \frac{|\min\{E[n]\}|}{S_{\max} - S_0} \end{cases} \quad \text{式 17}$$

[0056] 解得:

$$[0057] \quad E_N = \frac{\max\{E[n]\} + |\min\{E[n]\}|}{S_{\max} - S_{\min}} \quad \text{式 18。}$$

[0058] 进一步的,对储能初始状态确定,通过式17中两式相等求得初始荷电状态:

$$[0059] \quad S_0 = \frac{\max\{E[n]\} S_{\max} - \min\{E[n]\} S_{\min}}{\max\{E[n]\} - \min\{E[n]\}} \quad \text{式 19}$$

[0060] 通过储能参考功率值求得储能的 $\max\{E[n]\}$ 和 $\min\{E[n]\}$,给定SOC的最大最小范围后,得到储能的最小额定容量,并求得储能初始状态;将储能调整在该初值状态后,即可满足整个周期内的充放电需求。

[0061] 本发明的有效效果如下:

[0062] (1) 该方法根据频谱分析的结果确定低通滤波的截止频率,使补偿更准确,既能满足波动要求,又使容量尽可能小。

[0063] (2) 补偿功率的计算考虑了储能充放电损耗及充放电电量均衡的约束,得到的补偿功率更真实可靠。

[0064] (3) 储能容量和初始状态的计算考虑了荷电状态的限制,使储能不会过充过放。

附图说明

[0065] 图1为本发明一阶低通滤波原理图;

[0066] 图2为本发明实施例二中某光伏电厂的光伏出力曲线图;

[0067] 图3为本发明实施例二中某光伏电厂的光伏出力频谱图;

[0068] 图4为本发明实施例二中某光伏电厂的光伏出力频谱图局部放大图。

[0069] 图5为本发明实施例二中某光伏电厂的光伏出力、联络线功率及储能功率波形图。

[0070] 图6为本发明实施例二中某光伏电厂的储能能量和SOC变化波形图。

具体实施方式

[0071] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例的附图1-6,对本发明实施例的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于所描述的本发明的实施例,本领域普通技术人员所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0072] 实施例一,

[0073] 本实施例提供了一种平滑新能源输出功率波动的储能配置方法,包括如下步骤:

[0074] S1、对新能源输出功率样本数据进行选取;

[0075] S2、对样本数据分析及建模;

[0076] S3、确定滤波的频率范围并选择截止频率;

[0077] S4、确定储能系统ESS的额定功率;

[0078] S5、储能额定容量选择和建模。

[0079] 平滑新能源发电系统的功率输出波动,需要以新能源输出功率的典型样本数据为基础。为实现ESS安装的规划设计,样本数据主要通过历史观测数据或典型季节采样数据获得。采样数据的采样周期、数据片段长度等参数由研究的具体问题而定。

[0080] 样本数据采样周期确定,ESS用于平滑新能源的短时波动时,观测的时间窗口一般为几秒到数十分钟。例如风力发电系统通常考虑抑制化0.01-1Hz频段范围的功率波动(对应时间尺度1-100s),因为该频段的功率波动对主电网危害最大。为抑制该频段的功率波动,根据香农采样定理,采样频率应大于等于信号中最高频率的2倍,否则会发生混叠而使观测结果产生偏差,即采样频率至少取2Hz,对应的采样周期为0.5s。ESS用于平滑风电长时功率波动时,其主要作用是吸收微电网内新能源出力与外部负荷之间的不平衡功率,相应的观测时间窗口就应选择的较长,一般为数十分钟到几小时。本发明原始功率样本数据的采样周期为5min。

[0081] 采样数据片段长度确定,对于样本数据片段的长度选择,应尽可能使得ESS在这段时间内充、放电量大致平衡(除去充放过程中的功率损耗)。这样可保证储能系统在起始时刻与结束时刻所存储的电量基本相等。对于新能源出力短时波动平滑时,其数据片段长度可选1h;对于长时波动平滑时,数据片段长度可选为1d。

[0082] 本发明选取片段长度12h,根据获得的典型历史气象数据,得出新能源输出功率数据,负荷选取典型日负荷数据。以100min最大波动率作为评价指标,使其控制在2%以内。

[0083] 进一步的,平滑波动的目标是使并网输出有功功率波动满足一定要求:在某时间段内功率波动小于设定值,功率输出波动率定义如下:假定在t时间段内功率波动率用 F_t 表示则有

$$[0084] \quad F_t = \frac{\Delta P_t}{P_n} = \frac{P_{t\max} - P_{t\min}}{P_n} \times 100\% \quad \text{式 1}$$

[0085] 式中: P_n 为新能源额定功率,kW; ΔP_t 为t时间段内最大功率变化量, $P_{t\max}$ 、 $P_{t\min}$ 分别为t时间段内最大与最小输出功率,kW;

[0086] 判断目标功率输出是否满足要求,需要保证波动率不超过设定值 F_{tup} ,即:

$$[0087] \quad F_t \leq F_{tup} \quad \text{式 2}$$

[0088] 根据波动约束条件,求每一个连续时间段t内的最大与最小输出功率为:

[0089] $P_{tmax}(i) = \max[P(i:i+T/T_s)]$ 式3

[0090] $P_{tmin}(i) = \min[P(i:i+T/T_s)]$ 式4

[0091] 式中： P_{tmax} 、 P_{tmin} 分别为每1个连续时间段t内的最大与最小输出功率； $i=1, 2, \dots, (N-T/T_s)$ 表示从第1个采样数据开始每1个连续的时间段起点，其中 T/T_s 取整； T_s 为样本数据采样周期； N 为采样点数；

[0092] 根据式1，计算每一个连续时间段t内的功率波动率，从而得到整个数据周期内的最大功率波动率；

[0093] 对样本数据进行离散傅里叶变换，得到幅频特性：

[0094]
$$P(k) = \sum_{n=0}^{N-1} P(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}$$
 式5

[0095] 其中， $k=0, 1, \dots, N-1$ ；

[0096] 根据幅频特性，得到功率波动的主要频率范围 $[\omega_L, \omega_H]$ ， ω_L, ω_H 分别为波动频率范围的下限值和上限值。

[0097] 进一步的，在步骤S3中采用一阶低通滤波，以储能放电功率为正，充电功率为负，变量关系为

[0098]
$$P_{line}(s) = \frac{\omega_c}{\omega_c + s} P_v(s)$$
 式6

[0099]
$$P_E(s) = P_{line}(s) - P_v(s) = -\frac{s}{\omega_c + s} P_v(s)$$
 式7

[0100] 式中： $P_v(s)$ 为新能源的输出功率； $P_{line}(s)$ 为并网联络线功率； $P_E(s)$ 为储能补偿的功率； ω_c 为滤波器截止频率；

[0101] 将 $s = j\omega$ 代入式6，得幅频特性为

[0102]
$$P_{line}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega/\omega_c)^2}} P_v(\omega)$$
 式8

[0103] 由式8可以看出：一阶低通滤波器的幅频函数是一个单调递减的函数，当 $\omega=0$ 时，幅值取到最大值1；当 $\omega=\omega_c$ 时，幅值为0.707；随着 ω 值的增加，系统的幅频响应逐渐平滑地衰减为零。也就是说，当取合适的滤波截止频率 ω_c ，即可将高于该频率的波动分量的幅值逐渐衰减为零。

[0104] 在上述确定的波动频率范围 $[\omega_L, \omega_H]$ 内，选择截止频率，对样本功率进行一阶低通滤波。利用上述的公式，计算低通滤波输出的联络线功率波动率，进行波动约束条件校验，确定既能满足波动要求，储能容量又尽量小的截止频率，从而得到对应的联络线功率和储能参考功率。

[0105] 储能的补偿容量与补偿频段直接相关，截止频率 ω_c 越小，储能补偿的频率范围就越大，整体的平滑效果越好，但是所需储能容量也越大；在确定系统截止频率时，采用试频法，从低频开始逐渐向高频试；若滤波后得到的联络线功率波动率远远小于约束条件，则配置的储能容量偏大，可将截止频率向高频取；若得到的联络线功率波动率大于约束条件，则需将频率向低频取；当波动率小于并接近约束条件时，为理想的截止频率值。

[0106] 进一步的,低通滤波得到的储能所需补偿的参考功率值,需要考虑储能充放电过程中的能量损耗,即充放电效率。在放电时,储能实际放电功率为需满足的参考放电功率加上放电损耗,其值为参考放电功率除以放电效率;在充电时,储能实际充电功率为需满足的参考充电功率扣除充电损耗,其值为参考充电功率乘以充电效率,考虑充放电效率的储能功率为

$$[0107] \quad P_E(n) = \begin{cases} \frac{P_{EO}(n)}{\eta_d}, & P_{EO}(n) \geq 0 \\ P_{EO}(n) \cdot \eta_c, & P_{EO}(n) < 0 \end{cases} \quad \text{式 9}$$

[0108] 式中: $n=1, 2, \dots, N$ 。 $P_E(n)$ 为储能实际充放电功率; $P_{EO}(n)$ 为经低通滤波得到的储能参考充放电功率; η_d 为放电效率; η_c 为充电效率; N 为采样数据个数;

[0109] 其次考虑充放电均衡,储能的充放电功率要保证储能能够连续稳定运行,即在整个运行周期内,不会出现储能不足或过剩的情况;因此,在整个周期内,储能运行过程中应满足净充(放)电量为0,根据 $E=PT$ 可知能量的平衡即体现在功率的平衡上,将储能补偿功率值进行纵坐标的平移,同时将联络线输出功率也进行相反方向的平移,公式如下:

$$[0110] \quad \Delta P = \frac{1}{N} \sum_1^N P_E[n] \quad \text{式 10}$$

$$[0111] \quad P'_E[n] = P_E[n] - \Delta P \quad \text{式 11}$$

$$[0112] \quad P'_{line}[n] = P_{line}[n] - \Delta P \quad \text{式 12}$$

[0113] 式中: $n=1, 2, \dots, N$; ΔP 为平移量; $P'_E[n]$ 、 $P'_{line}[n]$ 分别为平移后的储能补偿功率和联络线功率,得知平移后的联络线波动率是不变的;

[0114] 在整个周期内,储能所需补偿功率绝对值的最大值即为储能应具备的最大充放电功率,即储能的额定功率

$$[0115] \quad P_{EN} = \max \{ |P'_E[n]| \} \quad \text{式 13}$$

[0116] 进一步的,容量确定首先需要充放电计算,储能的充放电电量为:

$$[0117] \quad E[n] = \sum_0^n P'_E[n] \frac{T_s}{3600} \quad \text{式 14}$$

[0118] 其中, $n=0, 1, 2, \dots, N$;电量单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$;

[0119] 额定容量计算如下:

[0120] 储能系统的剩余能量变化可用荷电状态SOC来表示,计算方法为

$$[0121] \quad S = S_0 - \frac{E[n]}{E_N} \quad \text{式 15}$$

[0122] 式中: S 为实时荷电状态; S_0 为初始荷电状态; E_N 为储能额定容量;充电时 $E[n]$ 为负,剩余能量增加,SOC增大;放电时 $E[n]$ 为正,剩余能量减小,SOC降低;

[0123] 储能的初始SOC和能量应能满足:在该SOC下,最大正能量波动时(放电累计最大)SOC不低于低限值,最大负能量波动时(充电累计最大)SOC不高于高限值;根据式14求得最大正能量波动值为 $\max \{ E[n] \}$,最大负能量波动值为 $\min \{ E[n] \}$;

[0124] 设储能系统荷电状态最大和最小允许值分别为 S_{\max} 和 S_{\min} ,可得:

$$[0125] \quad \begin{cases} S_0 - S_{\min} \geq \frac{\max\{E[n]\}}{E_N} \\ S_{\max} - S_0 \leq \frac{\min\{E[n]\}}{E_N} \end{cases} \quad \text{式 16}$$

[0126] 取满足条件的最小 E_N ,可得:

$$[0127] \quad \begin{cases} E_N = \frac{\max\{E[n]\}}{S_0 - S_{\min}} \\ E_N = \frac{|\min\{E[n]\}|}{S_{\max} - S_0} \end{cases} \quad \text{式 17}$$

[0128] 解得:

$$[0129] \quad E_N = \frac{\max\{E[n]\} + |\min\{E[n]\}|}{S_{\max} - S_{\min}} \quad \text{式 18。}$$

[0130] 进一步的,对储能初始状态确定,通过式17中两式相等求得初始荷电状态:

$$[0131] \quad S_0 = \frac{\max\{E[n]\} S_{\max} - \min\{E[n]\} S_{\min}}{\max\{E[n]\} - \min\{E[n]\}} \quad \text{式 19}$$

[0132] 通过储能参考功率值求得储能的 $\max\{E[n]\}$ 和 $\min\{E[n]\}$,给定SOC的最大最小范围后,得到储能的最小额定容量,并求得储能初始状态;将储能调整在该初值状态后,即可满足整个周期内的充放电需求。

[0133] 实施例二

[0134] 本实施例以河南某光伏电场的功率数据为平滑对象,取其一周内周一到周日的发电数据,如图2所示,采样周期为5min,最大输出功率为26.25KW,最小输出功率为0KW,平均功率为9.45KW,每100min最大功率波动率为3.33%,充放电效率为0.92,SOC上限取0.9,下限取0.2;光伏出力曲线如图2所示。

[0135] 基于离散傅里叶变换由式5对光伏输出功率进行频谱分析,如图3所示。可以看出,光伏输出功率波动成分的频率主要集中在低频附近,低频波动的幅值较大,高频波动的幅值越来越小,越来越缓慢。

[0136] 图4为光伏出力频谱图局部放大图,可在0.005-0.02Hz内选择滤波截止频率,使电池储能系统补偿从给定频率 f 至0.02Hz之间的波动成分,平滑光伏输出功率曲线。通过试频法,即可求出不同截止频率对应的联络线功率。

[0137] 求得不同截止频率滤波输出每100min的联络线功率的最大波动率,如下表所示。

算法	滤波时间常数	最大功率波动率/%
[0138] 低通滤波	50	1.51
	100	1.56
	150	1.97
	200	2.46
	250	2.77

[0139] 要求经储能补偿后,每100min波动率控制在2%以内,由上表可知,取时间常数为150时,波动率小于并接近约束条件,所需储能容量较小。储能经过充放电效率和充放电均衡修正后,得到的实际输出功率和经过储能补偿的联络线输出功率波形如图5中曲线所示。根据图5中储能输出功率及式13、18、19可确定储能额定功率为10.76KW,额定容量为285.72KW.H,初始SOC为44.48%。

[0140] 利用式14、15对确定的储能功率、容量和初始SOC进行校验,储能能量波动和SOC变化如图5和6所示。

[0141] 可见,能量变化和SOC的变化趋势相对应,SOC在限制范围内,在上午太阳光照较强时,储能充电,下午光照变弱时,储能放电。以上所述是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明所述原理的前提下,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

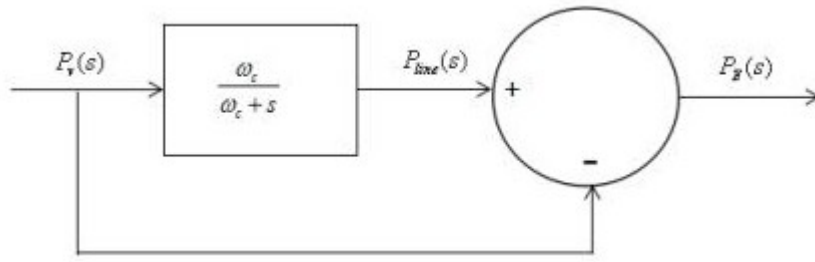


图1

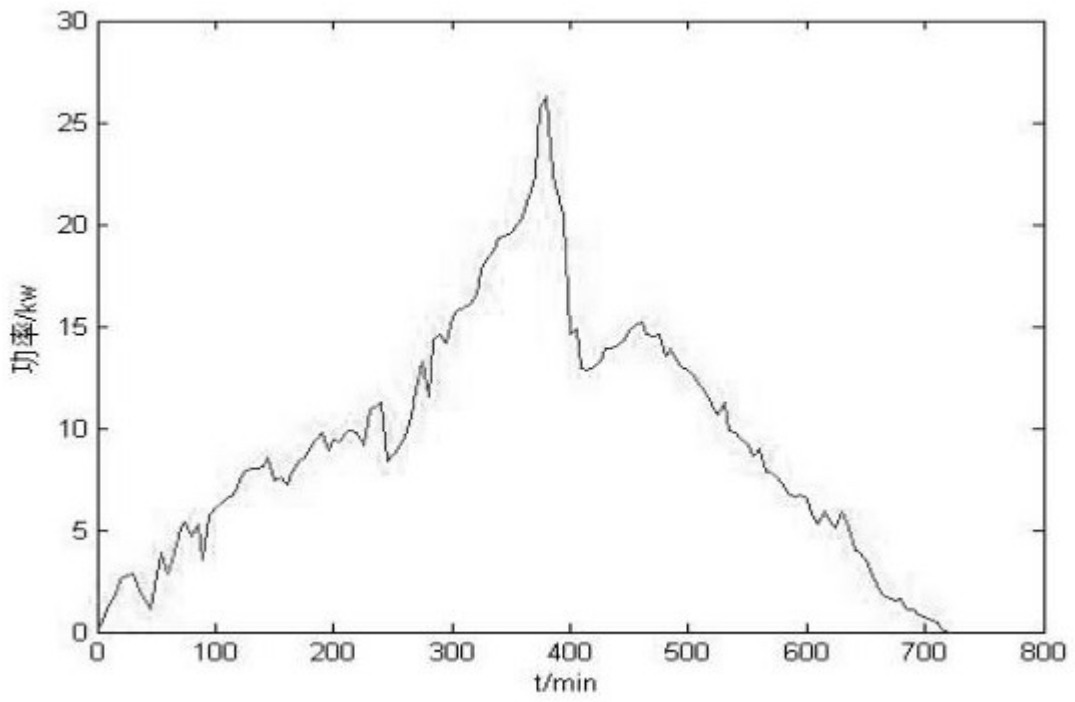


图2

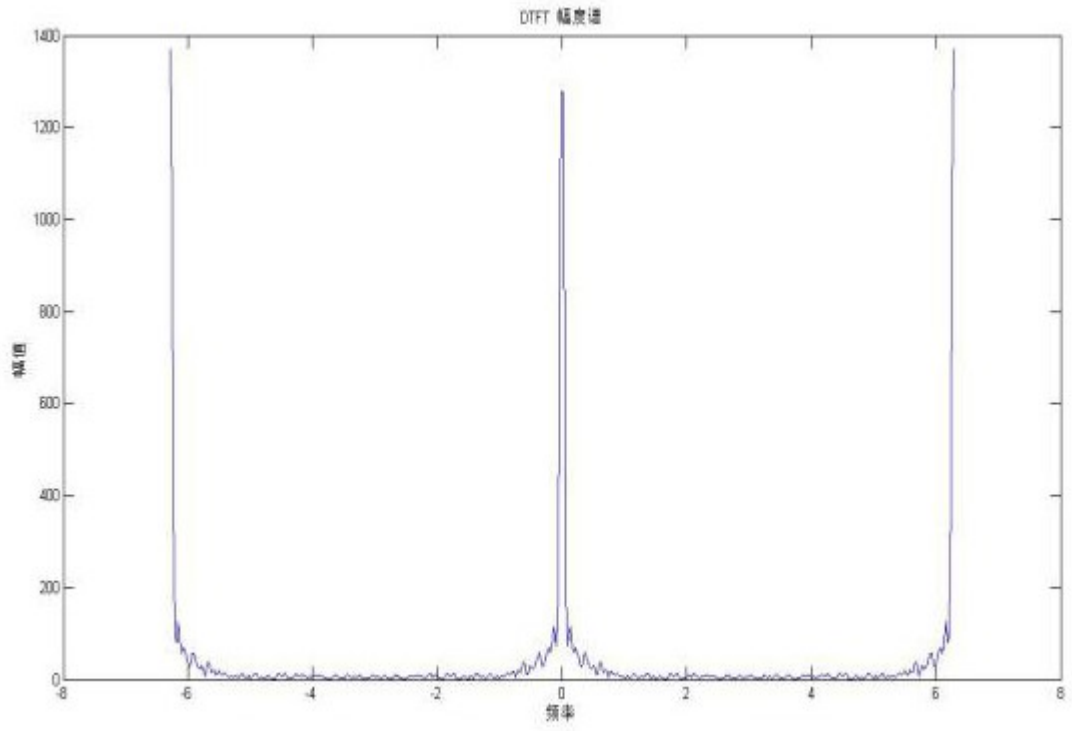


图3

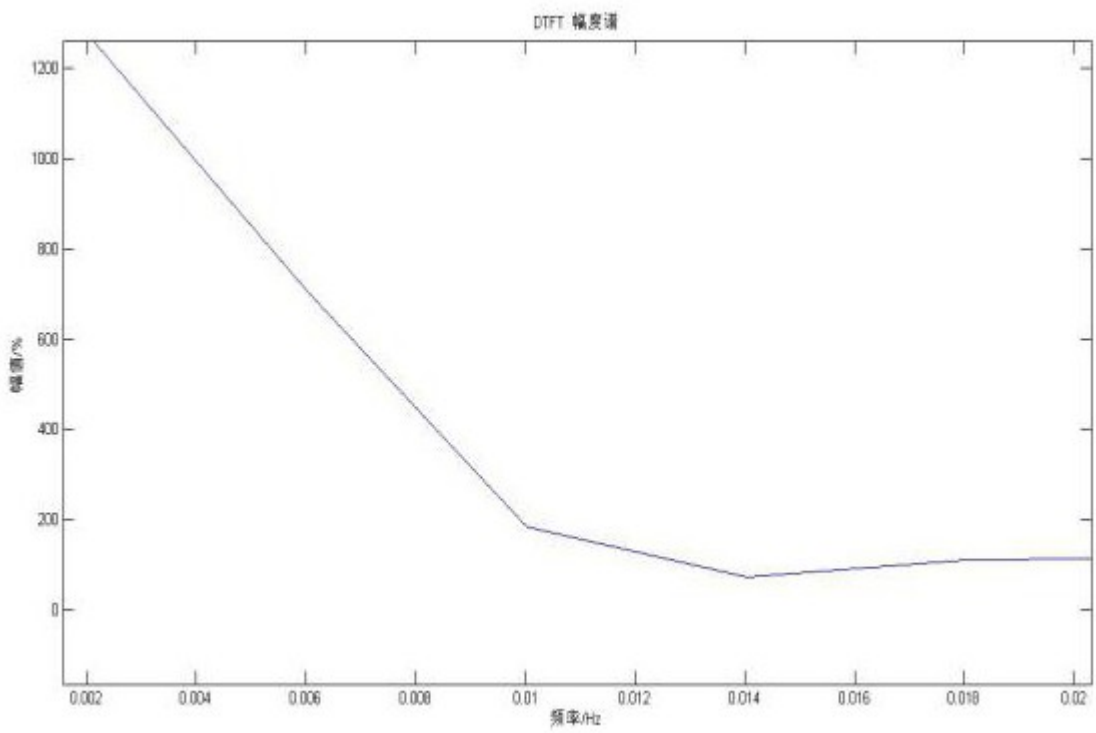


图4

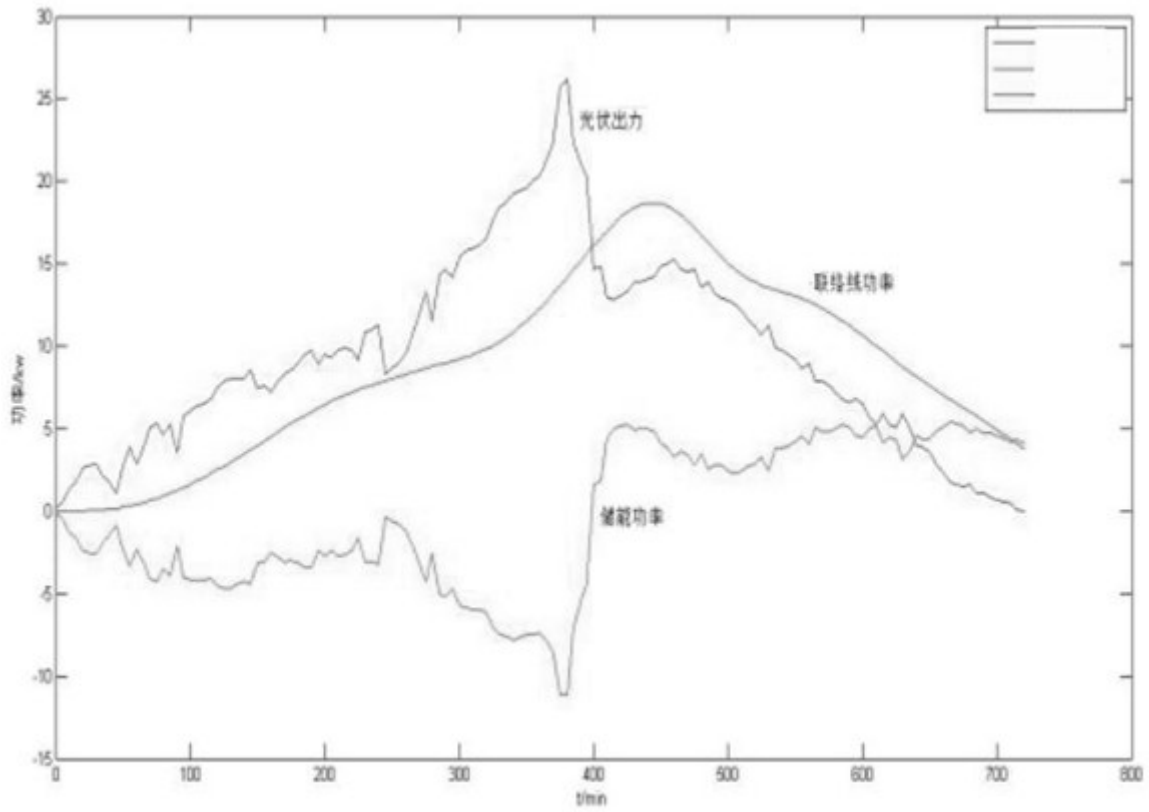


图5

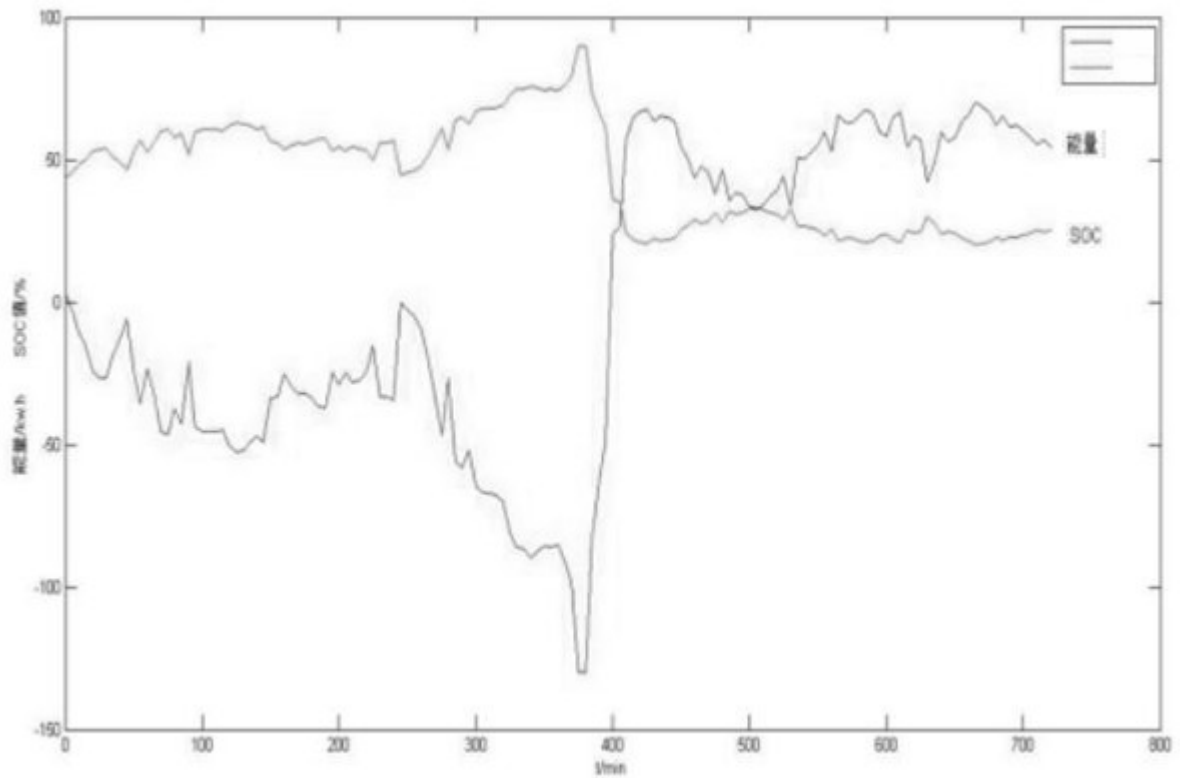


图6