



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102097828 B

(45) 授权公告日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201010614310. 4

(22) 申请日 2010. 12. 30

(73) 专利权人 中国电力科学研究院
地址 100192 北京市海淀区清河小营东路
15 号
专利权人 国家电网公司

(72) 发明人 王伟胜 刘纯 黄越辉 许晓艳
查浩 马烁 高云峰 曲春辉
李鹏

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有
限公司 11271
代理人 徐国文

(51) Int. Cl.
H02J 3/46 (2006. 01)
H02J 13/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101931241 A, 2010. 12. 29, 权利要求
1-7.
US 2002/0103745 A1, 2002. 08. 01, 全文.
JP 特开 2003-83229 A, 2003. 03. 19, 全文.
CN 101706335 A, 2010. 05. 12, 全文.

审查员 顾瑞婷

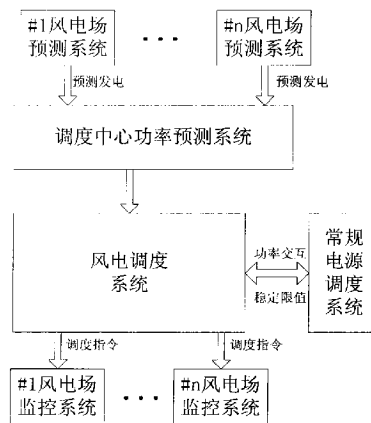
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于功率预测的风电优化调度方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于功率预测的风电优化调度方法,该方法用于包含风电的电力调度运行方案决策中。该方法利用风电场功率预测曲线,通过计算系统调峰容量及安全稳定限额,将调度范围内风电总出力分为受限时段调度和非受限时段调度,非受限时段调度以预测发电曲线为依据,考虑预测发电的误差范围,受限时段以风电场总限额及各风电场预测发电出力为约束,考虑风电预测误差,优化分配各风电场的发电功率限值,使得系统在满足安全稳定运行条件下最大能力消纳风电。风电调度曲线将由风电场发电执行,以帮助提高电网运行安全性,提高风电消纳能力,最大程度利用风电。



1. 一种基于功率预测的风电优化调度方法,其特征在于包括以下步骤:

第一步:将风电场风电功率预测结果和调度中心风电功率预测结果协调优化,在负荷高峰时取两端预测值中的最小值参加优化调度,在其他时刻,通过实时监测两端预测值之间的绝对差值,并在差值超出设定值时提供告警功能,此时调度员进行手动调整,最终得到综合风电功率预测结果;

第二步:根据得到的风电功率预测结果,与常规电源调度结合,综合考虑系统调峰和安全稳定约束,若系统调峰受限或安全稳定受限,风电调度进入受限时段;若无调峰受限和安全稳定受限,风电调度进入非受限时段;

第三步:风电调度受限时段,根据受限功率限值、各风电场功率预测值与功率预测误差范围,以风电限电量最小为目标,通过建立相关目标和约束函数,进行优化求解,得到各风电场功率分配结果,风电场输出功率为零到受限功率区间范围内;

第四步:风电调度非受限时段,风电场输出功率为预测上报结果的 $\pm \sigma$ MW 误差区间内;误差 σ 根据风电功率预测精度获得,不同风电场采用不同的误差 σ ;

网内各风电场风电功率预测系统向调度中心预报未来风电发电功率曲线,与调度中心风电功率预测系统的预测结果协调优化后,综合得出各风电场预测发电功率曲线 $P_{\text{预测}}$,并与常规电源调度系统交互功率,使之满足系统安全稳定运行要求,风电调度系统将协调后的各风电场发电计划曲线 $P_{\text{计划值}}$ 下发各风场执行;

各风电场发电计划曲线 $P_{\text{计划值}}$ 制定需首先判断电网调峰和各种安全约束限制下风电最大接纳能力 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$, $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 由调峰约束下风电最大接纳能力和各种安全约束限制下最大接纳能力综合得到;

电网调峰约束下的风电最大接纳能力与总负荷预测、联络线计划、常规机组最小出力和备用容量相关连,计算公式为:

$$P_{\text{调峰受限下风电最大接纳能力}} = P_{\text{总负荷预测}} + P_{\text{联络线计划}} - P_{\text{常规机组最小出力}} - P_{\text{备用容量}} \quad (1)$$

得到电网风电最大接纳能力 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 后,和各风电场预测发电功率曲线 $P_{\text{预测}}$ 比较,若 $P_{\text{风电最大接纳能力}} > P_{\text{预测}}$,则风电调度进入非受限时段,风电计划曲线为预测值误差带范围内,即 $P_{\text{计划值}} = (P_{\text{预测}} - \sigma) \text{MW} \sim (P_{\text{预测}} + \sigma) \text{MW}$;若 $P_{\text{风电最大接纳能力}} < P_{\text{预测}}$,则风电调度进入受限时段,风电计划曲线为最大值为 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$,最小值为零的区间带,即 $P_{\text{计划值}} = 0 \sim P_{\text{风电最大接纳能力}}$,单位 MW。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:考虑到系统调峰容量及安全稳定限额,部分时段需要对风电功率进行限制,风电的调度分受限时段和非受限时段,非受限时段内以充分利用风电为原则,风力发电可以在预测允许的区间范围 $\pm \sigma$ MW 内波动,受限时段内多个风电场功率限值需通过优化算法函数优化分配;

在系统受限时段,将 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 、各功率预测值 $P_{\text{预测},i}$ 与预测误差范围 $\pm \sigma$ MW 作为功率分配方案的输入,通过考虑功率受限时段内系统受限风电电量最小为目标,考虑各风电场预测发电及总功率限值为约束,优化分配各风场可输出功率 $P_i(t)$,优化分配函数如下式所述:

$$\min f = \sum_i^n Q_i(P_i(t)) \quad (2)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^n P_i(t) \leq P_{\text{风电最大接纳能力}}(t) \quad (3)$$

$$P_i(t) \leq P_{\text{预测}, i} \quad (4)$$

公式(2)中 f 为受限时段内风电总限电量, Q_i 为第 i 个风电场限电量, 是风电场可输出功率 $P_i(t)$ 的函数。

一种基于功率预测的风电优化调度方法

技术领域

[0001] 本发明属于新能源发电领域,涉及一种基于功率预测的风电优化调度方法。

背景技术

[0002] 电力系统是一个复杂的动态系统,其安全稳定运行本质上要求发电与负荷需求之间必须时刻保持平衡。电力系统如果不能进行有效控制而出现供需失衡,将影响负荷的可靠用电甚至可能引起系统大范围事故。

[0003] 风力发电具有间歇性和随机性的特点,大规模风力发电并网对电力系统的安全稳定运行带来了非常大的影响,系统中其他稳定电源必须像跟踪负荷一样,跟随风电的出力波动而波动。当系统中风力发电与电力系统最大负荷之比比较小时,风电出力对系统的影响比较小,风电出力的波动和负荷波动一样,系统中其他稳定电源可以跟随负荷和风电叠加后的波动。但是,当风力发电出力与系统最大负荷之比比较大时,风电出力的大范围波动对系统安全经济运行方案产生非常大的影响,传统的安全经济运行方案必须做出调整才能维持系统稳定。在风电装机比重较大的电网,为维持电力系统的安全稳定运行,已经出现了在小负荷时段限制风电出力的现象,如在风电装机比例较高的内蒙古和吉林省,在冬季供热期间,由于电网调节能力不足导致风电出力被限的情况时有发生,再如蒙东地区和西北地区,因为电网输送能力不足导致风电功率时有受限。大规模风电并网引起的电力系统安全稳定问题、调峰、调频等问题是目前制约我国风电大规模发展的主要瓶颈之一。

[0004] 在没有风力发电并网的系统中,电网调度部门根据负荷预测曲线,对各发电厂发电任务进行合理规划和安排,提出各发电厂的日发电计划。大规模风力发电并网后,如果仍然只按负荷预测曲线安排发电计划,将不能满足风力发电出力的大范围波动特性。大规模风力发电并网的调度运行问题是风电装机比例较大的电网都面临的难题。为了应对风力发电的随机性、间歇性和不可随意控制性,电力系统在运行中必须考虑留有足够的备用电源和调峰容量,以保证风力发电出力不足时能够正常向用户供电,这必将造成系统备用容量增大;而在风电出力大、而负荷不足时,又必须采取降低火电机组出力的方式来保证供需平衡,这不仅增加了系统的运行成本,同时还会给系统的安全稳定运行带来隐患。因此,随着风力发电装机容量的增加,其并网后的调度运行成为迫不及待需要解决的问题,只有风电参与系统的调度运行才能保证电力系统的安全稳定运行、提高系统消纳风电的能力、提高系统运行的经济性。

[0005] 风电的调度运行依赖于风功率预测,由于风电功率预测主要依赖于数值天气预报,受数值天气预报的影响,风电功率预测结果精度偏低。受预测精度的影响,风电功率还未能准确纳入系统调度运行,导致系统运行中不能优先考虑风电,致使实际运行中风电功率受限电量比较多,不利于清洁能源的利用。

[0006] 因此,需要提供一种系统和方法,用于指导风力发电的调度,从而提供系统的安全稳定运行水平以及系统消纳风电的能力,以减少风力发电的受限电量,提高风力发电利用率。

[0007] 中国专利申请号 200820228501.5,发明名称:一种风电调度决策支持装置,公开号:201369575,公开了一种风电调度决策支持装置,可实现风电上网功率预测、风电并网运行电网调峰能力分析以及风电并网运行电网安全决策支持系统三个功能,然而该装置:(1)最终给出所有风电机组运行状态和上网功率,在风电规模较小的电网尚可实现,在风电规模较大的电网所需处理数据量巨大,操作性不强。本专利采取了分层分级的方式,调度部门只给出各个风电场的运行状态和上网功率,风电机组的运行状态和上网功率优化在场站侧完成;(2)没有考虑预测误差对调度决策的影响,本专利综合考虑风电功率预测误差和负荷预测误差制定备用容量,且在优化风电场功率分配时也考虑预测误差的影响;(3)没有给出优化分配风电场出力和风电机组出力的方案,本专题提出了风电功率受限时段风电场发电功率优化算法。

发明内容

[0008] 本发明提供了一种基于功率预测的风电优化调度方法,该方法用于包含风电的电力调度运行方案决策中。该方法利用风电场功率预测曲线,通过计算系统调峰容量及安全稳定限额,将调度范围内风电总出力分为受限时段调度和非受限时段调度,非受限时段调度以预测发电曲线为依据,考虑预测发电的误差范围,受限时段以风电场总限额及各风电场预测发电出力为约束,优化分配各风电场的发电功率限值,使得系统在满足安全稳定运行条件下最大能力消纳风电。风电调度曲线将由风电场发电执行,以帮助提高电网运行安全稳定性,提高风电消纳能力,最大程度利用风电。

[0009] 本发明的一种基于功率预测的风电优化调度方法,包括以下步骤:

[0010] 第一步:将风电场风电功率预测结果和调度中心风电功率预测结果协调优化,在负荷高峰时取两端预测值中的最小值参加优化调度,在其他时刻,通过实时监测两端预测值之间的绝对差值,并在差值超出设定值时提供告警功能,此时调度员进行手动调整,最终得到综合风电功率预测结果;

[0011] 第二步:根据得到的风电功率预测结果,与常规电源调度结合,综合考虑系统调峰和安全稳定约束,若系统调峰受限或安全稳定受限,风电调度进入安全受限时段;若无调峰受限和安全稳定受限,风电调度进入安全非受限时段;

[0012] 第三步:风电调度安全受限时段,根据受限功率限值、各风电场功率预测值与功率预测误差范围,以风电限电量最小为目标,通过建立相关目标和约束函数,进行优化求解,得到各风电场功率分配结果,风电场输出功率为零到受限功率区间范围内。

[0013] 第四步:风电调度安全非受限时段,风电场输出功率为预测上报结果的 $\pm \sigma$ MW 误差区间内;误差 σ 根据风电功率预测精度获得,不同风电场可采用不同的误差 σ 。

[0014] 其中,网内各风电场风电功率预测系统向调度中心预报未来风电发电功率曲线,与调度中心风电功率预测系统的预测结果协调优化后,综合得出各风电场预测发电功率曲线 $P_{\text{预测}}$,并与常规电源调度系统交互功率,使之满足系统安全稳定运行要求,风电调度系统将协调后的各风电场发电计划曲线 $P_{\text{计划值}}$ 下发各风场执行;

[0015] 风电计划曲线 $P_{\text{计划值}}$ 制定需首先判断电网调峰和各种安全约束限制下风电最大接纳能力 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$, $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 由调峰约束下风电最大接纳能力和各种安全约束限制下最大接纳能力综合得到;

[0016] 电网调峰约束下的风电最大接纳能力与负荷预测值、联络线计划、机组组合方式、区域控制偏差和备用容量相关连,计算公式为:

$$P_{\text{调峰受限下风电最大接纳能力}} = P_{\text{总负荷预测}} + P_{\text{联络线计划}} - P_{\text{常规机组最小出力}} - P_{\text{备用容量}} \quad (1)$$

[0018] 得到电网风电最大接纳能力 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 后,和风电功率预测值 $P_{\text{预测}}$ 比较,若 $P_{\text{风电最大接纳能力}} > P_{\text{预测}}$,则风电调度进入非限电时段,风电计划曲线为预测值误差带范围内,即 $P_{\text{计划值}} = (P_{\text{预测}} - \sigma) \text{MW} \sim (P_{\text{预测}} + \sigma) \text{MW}$;若 $P_{\text{风电最大接纳能力}} < P_{\text{预测}}$,则风电调度进入限电时段,风电计划曲线为最大值为 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$,最小值为零的区间带,即 $P_{\text{计划值}} = 0 \sim P_{\text{风电最大接纳能力}}$,单位 MW;

[0019] 其中,考虑到系统调峰容量及安全稳定限额,部分时段需要对风电功率进行限制,风电的调度分安全稳定受限调度时段和安全稳定非受限调度时段,安全稳定非受限调度时段内以充分利用风电为原则,风力发电可以在预测允许的区间范围 ($\pm \sigma \text{MW}$) 内波动,安全稳定受限调度时段内多个风电场功率限值需通过优化算法函数优化分配;

[0020] 在系统安全稳定受限调度时段,将受限功率限值 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 、各功率预测值 $P_{\text{预测},i}$ 与预测误差范围 ($\pm \sigma \text{MW}$) 作为功率分配方案的输入,通过考虑功率受限时段内系统受限风电电量最小为目标,考虑各风电场预测发电及总功率限值为约束,优化分配各风场可输出功率 $P_i(t)$ 。优化分配函数如下式所述:

$$[0021] \quad \min f = \sum_i^n Q_i(P_i(t)) \quad (2)$$

[0022]

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^n P_i(t) \leq P_{\text{风电最大接纳能力}}(t) \quad (3)$$

[0023] $P_i(t) \leq P_{\text{预测}}$,

[0024] 本发明的有益效果是:

[0025] 1、本发明的方法允许风电场参与到系统运行中,通过协调风电与常规电源的调度,使得在保障系统安全稳定运行的基础上提高风电消纳能力;否则电网不能接受或者增加来自于风电场的功率贡献。

[0026] 2、本发明的方法允许风电场能参与电力系统调度运行,包括允许功率波动较大的风电场参与电网运行。

[0027] 3、本发明的方法基于风电功率预测结果进行风电调度,有利于系统调度的可靠性。

[0028] 4、本发明的方法提出建立风电场与调度中心的通信系统,将风电场上报的预计发电功率通过调度中心的协调安排后再下发风电场执行,以协调各风电场之间以及风电场与常规电源之间的电力调度。

[0029] 5、发明的方法提出一种风电调度方法,以充分利用风电所发电量为原则,将风电调度分为安全稳定受限时段与安全稳定非受限时段,两个时段内分别采用不同的方法调度风电场发电。

[0030] 6、发明的方法允许风电场在一定范围内波动运行,能适应风力发电依赖风资源波动的需求,且规定波动范围有利于提高功率预测精度。

[0031] 7、本发明的方法在考虑电网安全稳定约束的前提下优先调度风电,有利于提高电

网安全性。

[0032] 8、本发明的方法将安全稳定受限时段内的受限功率优化分配到各个风电场,减少了风电受限电量,有利于提高电网消纳风电的能力。

[0033] 9、本发明的方法以风电场多发电为原则,增加系统运行的经济性与环保性。

附图说明

[0034] 图 1 是本发明的方法的系统结构图。

[0035] 图 2 是本发明的方法的中风电调度部分框图。

[0036] 图 3 为本发明的方法的风电场功率优化分配框图。

具体实施方式

[0037] 本发明涉及一种方法,该方法允许风电场参与系统的调度,从而可以合理安排常规电源的调度,以提高系统运行的安全稳定性,并提高系统消纳风电的能力。

[0038] 如图 1 所示,网内各风电场风电功率预测系统向调度中心预报未来风电发电功率曲线,与调度中心风电功率预测系统的预测结果协调优化后,综合得出各风电场预测发电功率曲线 $P_{\text{预测}}$,并与常规电源调度系统交互功率,使之满足系统安全稳定运行要求,风电调度系统将协调后的各风电场发电计划曲线 $P_{\text{计划值}}$ 下发各风场执行。

[0039] 风电计划曲线 $P_{\text{计划值}}$ 制定需首先判断电网调峰和各种安全约束限制下风电最大接纳能力 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 。 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 由调峰约束下风电最大接纳能力和各种安全约束限制下最大接纳能力综合得到。

[0040] 电网调峰约束下风电最大接纳能力和负荷预测值、联络线计划、机组组合方式、区域控制偏差、备用容量等相关,计算公式为:

$$[0041] \quad P_{\text{调峰受限下风电最大接纳能力}} = P_{\text{总负荷预测}} + P_{\text{联络线计划}} - P_{\text{常规机组最小出力}} - P_{\text{备用容量}} \quad (1)$$

[0042] 得到电网风电最大接纳能力 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 后,和风电功率预测值 $P_{\text{预测}}$ 比较,若 $P_{\text{风电最大接纳能力}} > P_{\text{预测}}$,则风电调度进入非限电时段,风电计划曲线为预测值误差带范围内,即 $P_{\text{计划值}} = (P_{\text{预测}} - \sigma) \text{MW} \sim (P_{\text{预测}} + \sigma) \text{MW}$;若 $P_{\text{风电最大接纳能力}} < P_{\text{预测}}$,则风电调度进入限电时段,风电计划曲线为最大值为 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$,最小值为零的区间带,即 $P_{\text{计划值}} = 0 \sim P_{\text{风电最大接纳能力}}$,单位 MW。

[0043] 如图 2 所示,考虑到系统调峰容量及安全稳定限额,部分时段需要对风电功率进行限制,风电的调度分安全稳定受限调度时段和安全稳定非受限调度时段,安全稳定非受限调度时段内以充分利用风电为原则,风力发电可以在预测允许的区间范围 ($\pm \sigma \text{MW}$) 内波动,安全稳定受限调度时段内多个风电场功率限值需通过优化算法函数优化分配。

[0044] 如图 3 所示,在系统安全稳定受限调度时段,将受限功率限值 $P_{\text{风电最大接纳能力}}$ 、各功率预测值 $P_{\text{预测},i}$ 与预测误差范围 ($\pm \sigma \text{MW}$) 作为功率分配方案的输入,通过考虑功率受限时段内系统受限风电电量最小为目标,考虑各风电场预测发电及总功率限值为约束,优化分配各风场可输出功率 $P_i(t)$ 。优化分配函数如下式所述:

$$[0045] \quad \min f = \sum_i^n Q_i(P_i(t)) \quad (2)$$

[0046]

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^n P_i(t) \leq P_{\text{风电最大接纳能力}}(t) \quad (3)$$

[0047] $P_i(t) \leq P_{\text{预测}, i}$

[0048] 上面已经根据特定的示例性实施例对本发明进行了描述。对本领域的技术人员来说在不脱离本发明的范围下进行适当的替换或修改将是显而易见的。示例性的实施例仅仅是例证性的,而不是对本发明的范围的限制,本发明的范围由所附的权利要求定义。

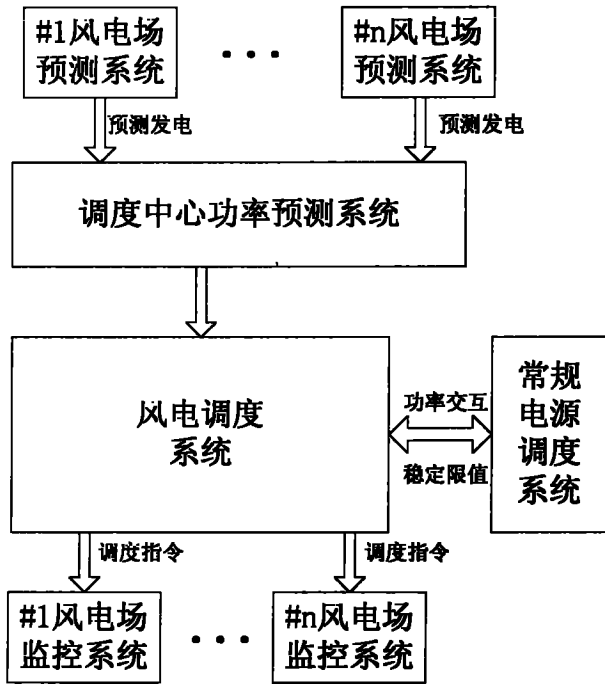


图 1

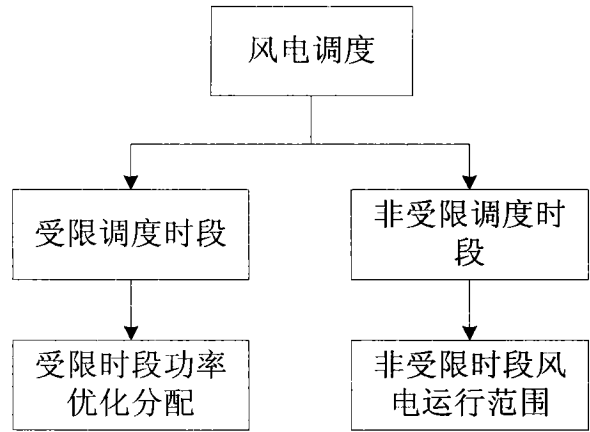


图 2

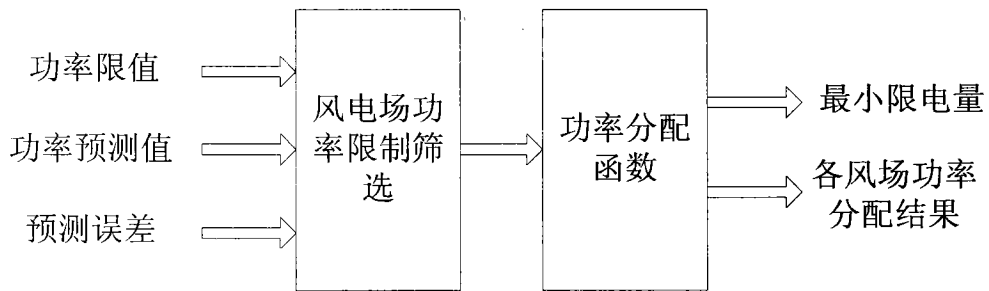


图 3