



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102790402 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 28

(21) 申请号 201210228867. 3

CN 202178583 U, 2012. 03. 28,

(22) 申请日 2012. 07. 02

JP 2002233194 A, 2002. 08. 16,

(73) 专利权人 清华大学

审查员 陈新红

地址 100084 北京市海淀区清华园 1 号

专利权人 江苏省电力公司

(72) 发明人 郭庆来 李海峰 孙宏斌 罗建裕

王彬 孙大雁 张伯明 刘今

吴文传 李汇群 刘翊枫 汤磊

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事

务所(普通合伙) 11201

代理人 罗文群

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102013697 A, 2011. 04. 13,

CN 101931241 A, 2010. 12. 29,

CN 101277014 A, 2008. 10. 01,

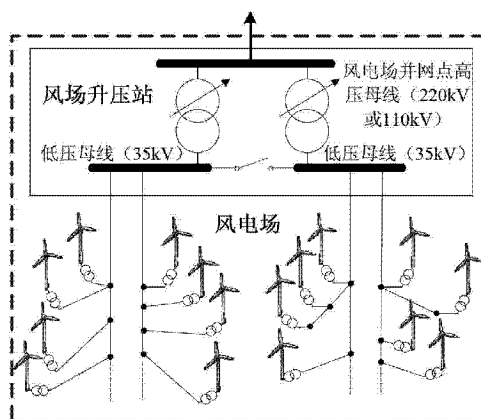
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种用于风电场并网点电压控制的风机选择方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于风电场并网点电压控制的风机选择方法,属于电力系统自动电压控制技术领域。本方法首先定义了风电场内所有受控风机的无功可调裕度,电压安全裕度以及风机的控制性能是否合格,并基于以上定义,计算风机的加权控制因子,用于从所有风机中选择出最适宜参加控制的一定数量的风机,实际参与风电场并网点电压控制。本发明方法,可集成在风电场现场运行的自动电压控制系统中,使该控制系统在控制上具有更优的灵活性,并增强了控制的鲁棒性。



1. 一种用于风电场并网点电压控制的风机选择方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

(1) 设风电场内共有 n 台风机, n 台风机中第 i 台风机的当前无功功率为 Q_i , 第 i 台风机的无功功率上限值和下限值分别为 Q_i^{UpLmt} 和 $Q_i^{DownLmt}$, 则根据 $Q_i^{UpAvail} = Q_i^{UpLmt} - Q_i$, 计算得到第 i 台风机的无功功率向上可调裕度 $Q_i^{UpAvail}$, 根据 $Q_i^{DownAvail} = Q_i - Q_i^{DownLmt}$, 计算得到第 i 台风机的无功功率向下可调裕度 $Q_i^{DownAvail}$, 依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的无功功率向上、向下可调裕度;

(2) 设风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的当前机端电压为 V_i , 风机机端电压的安全上限值为 V_i^{UpLmt} , 安全下限值为 $V_i^{DownLmt}$, 则根据 $V_i^{UpMargin} = V_i^{UpLmt} - V_i$, 计算得到第 i 台风机的电压向上安全裕度 $V_i^{UpMargin}$, 根据 $V_i^{DownMargin} = V_i - V_i^{DownLmt}$, 计算得到第 i 台风机的电压向下安全裕度 $V_i^{DownMargin}$, 依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的电压向上、向下安全裕度;

(3) 设风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的前一次无功功率控制目标值为 Q_i^{OldRef} , 第 i 台风机的当前无功功率为 Q_i , 第 i 台风机的无功功率控制量程为 Q_i^{Range} , 无功功率控制合格阈值为 β_i , β_i 的取值范围为 0 到 10%, 则按下式计算得到第 i 号风机的无功功率控制合格标志位 Qlt_i : 若 $\frac{|Q_i^{OldRef} - Q_i|}{Q_i^{Range}} \leq \beta_i$, 则令 $Qlt_i = 1$; 若 $\frac{|Q_i^{OldRef} - Q_i|}{Q_i^{Range}} > \beta_i$, 则令 $Qlt_i = 0$, 依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的无功功率控制合格标志位的值;

(4) 设风电场并入电网的并网点电压的实际值为 V_w^{Real} , 电网调度中心下发的风电场并入电网的并网点的电压控制目标值为 V_w^{Ref} , 设风电场并入电网的并网点电压合格阈值为 V_{Dead} , 对风电场并入电网的并网点电压进行判断, 若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| \leq V_{Dead}$, 则结束控制; 若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| > V_{Dead}$ 且 $V_w^{Ref} > V_w^{Real}$, 则进行步骤(5), 若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| > V_{Dead}$ 且 $V_w^{Ref} < V_w^{Real}$, 则进行步骤(6);

(5) 风电场并入电网的并网点的升压控制:

(5-1) 设定风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的加权控制因子 X_i , $X_i = W_Q \times Q_i^{UpAvail} + W_V \times V_i^{UpMargin} + W_{Qlt} \times Qlt_i$, 其中 W_Q 、 W_V 、 W_{Qlt} 为三个加权权重系数, W_Q 、 W_V 的取值范围为 1 至 100, W_{Qlt} 的取值范围为 10000 到 999999, 根据上式分别计算风电场内所有风机的加权控制因子 X_i ;

(5-2) 对上述加权控制因子由大至小进行排序, 选择与前 m 个加权控制因子相对应的 m 台风机参与电压控制, m 的取值范围为 1 到 n 的整数;

(5-3) 设选出的 m 台风机中的第 j 台风机的当前无功功率为 Q_j , 无功功率上限值为 Q_j^{UpLmt} , 并设风机的无功功率对风电场并入电网的并网点处电压的灵敏度平均值为 S_{wig}^{poc} , 第

j 台风机的无功功率控制目标值 Q_j^{set} 为：
$$Q_j^{set} = Q_j + \frac{V_w^{Ref} - V_w^{Real}}{S_{wtg}^{poc}} \times \frac{Q_j^{UpLmt} - Q_j}{\sum_{j=1}^m (Q_j^{UpLmt} - Q_j)},$$

分别计算 m 台风机的无功功率控制目标值,并分别将 m 台风机的无功功率当前值调整为相应的无功功率控制目标值,完成控制;

(6) 风电场并入电网的并网点处的降压控制:

(6-1) 定义风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的加权控制因子 X_i ,
$$X_i = W_Q \times Q_i^{DownAvail} + W_V \times V_i^{DownMargin} + W_{Qlt} \times Qlt_i,$$
 其中, W_Q 、 W_V 、 W_{Qlt} 为三个加权权重系数, W_Q 、 W_V 的取值范围为 1 至 100, W_{Qlt} 的取值范围为 10000 到 999999, 根据上式分别计算风电场内所有风机的加权控制因子 X_i ;

(6-2) 对上述加权控制因子由大至小进行排序,选择与前 m 个加权控制因子相对应的 m 台风机参与电压控制, m 的取值范围为 1 到 n 的整数;

(6-3) 设选出的 m 台风机中的第 r 台风机的当前无功功率为 Q_r , 无功功率下限值为 $Q_r^{DownLmt}$, 设风机的无功对风电场并网点处电压的灵敏度平均值为 S_{wtg}^{poc} , 则计算第 r 台风机的

无功功率控制目标值 Q_r^{set} 为：
$$Q_r^{set} = Q_r + \frac{V_w^{Ref} - V_w^{Real}}{S_{wtg}^{poc}} \times \frac{Q_r - Q_r^{DownLmt}}{\sum_{r=1}^m (Q_r - Q_r^{DownLmt})}$$

分别计算 m 台风机的无功功率控制目标值,并分别将 m 台风机的无功功率当前值调整为相应的无功功率控制目标值,完成控制。

一种用于风电场并网点电压控制的风机选择方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于风电场并网点电压控制的风机选择方法,属于电力系统自动电压控制技术领域。

背景技术

[0002] 近年来频频发生风电场内风机因电压问题而脱网,而在风电场内搭设自动电压控制系统被认为是解决风电场电压问题的一个有效手段。风电场自动电压控制,即是利用风电场内的风机,静态无功补偿装置,静态无功发生器,等设备来完成风电场内电压的安全优化控制,具体来说,就是需要在维持场内所有风机的机端电压均在安全范围内的基础上完成调度中心下发的对风电场并网点电压的控制目标(通常为风电场升压站高压母线电压)。

[0003] 通常风电场自动电压控制系统是通过控制风电场内风机的无功功率的大小,来控制风电场并网点电压,但由于风电场内往往包含了几十至几百台风机,如果每轮控制均控制风电场内所有风机,则一方面会对通讯系统造成较大压力,另一方面会使得单台风机分配得到的无功调节量较小,若无功调节量小于风机的无功调节最小步长,则会造成风机不动作。所以为了使电压控制具备更优的灵活性与更强的鲁棒性,可在每轮控制中,依据并网点电压控制目标,从风电场内所有风机中选出最适宜参加控制的一定数目的风机,实际参与风电场并网点电压控制。

[0004] 在已有的风电场电压控制过程中会用到无功功率对电压的灵敏度,无功功率对电压灵敏度是用来表征无功功率和电压间的线性关系。设节点 A 的无功功率变化量为 ∂Q ,节点 B 的电压变化量为 ∂V ,则节点 A 的无功功率对节点 B 电压的灵敏度 S_A^B 的定义可由下式给出:

$$[0005] \quad S_A^B = \frac{\partial V}{\partial Q} \quad (1)$$

[0006] 风电场内所有节点间的无功功率对电压的灵敏度可以组成无功功率对电压的灵敏度矩阵,无功功率对电压的灵敏度矩阵的具体计算方法,可参见孙宏斌,张伯明,相年德在《准稳态灵敏度的分析方法》(中国电机工程学报,1999年4月V19N4, pp. 9-13)。

发明内容

[0007] 本发明的目的是提出一种用于风电场并网点电压控制的风机选择方法,以克服现有技术的不足之处,每轮控制中均从风电场内所有风机中选出最适宜参加控制的一定数目的风机,投入实际控制,可提高控制的灵活性,增强控制鲁棒性。

[0008] 本发明提出的用于风电场并网点电压控制的风机选择方法,包括以下步骤:

[0009] (1) 设风电场内共有 n 台风机, n 台风机中第 i 台风机的当前无功功率为 Q_i , 第 i 台风机的无功功率上限值和下限值分别为 Q_i^{UpLmt} 和 $Q_i^{DownLmt}$, 则根据 $Q_i^{UpAvail} = Q_i^{UpLmt} - Q_i$, 计算得到第 i 台风机的无功功率向上可调裕度 $Q_i^{UpAvail}$, 根据 $Q_i^{DownAvail} = Q_i - Q_i^{DownLmt}$, 计算得到第 i 台风机的无功功率向下可调裕度, 依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的无功功率向

上、向下可调裕度；

[0010] (2) 设风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的当前机端电压为 V_i ，风机机端电压的安全上限值为 V_i^{UpLmt} ，安全下限值为 $V_i^{DownLmt}$ ，则根据 $V_i^{UpMargin} = V_i^{UpLmt} - V_i$ ，计算得到第 i 台风机的电压向上安全裕度 $V_i^{UpMargin}$ ，根据 $V_i^{DownMargin} = V_i - V_i^{DownLmt}$ ，计算得到第 i 台风机的电压向下安全裕度 $V_i^{DownMargin}$ ，依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的电压向上和向下安全裕度；

[0011] (3) 设风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的上一次无功功率控制目标值为 Q_i^{OldRef} ，第 i 台风机的当前无功功率为 Q_i ，第 i 台风机的无功功率控制量程为 Q_i^{Range} ，无功功率控制合格阈值为 β_i ， β_i 的取值范围为 0 到 10%，则按下式计算得到第 i 号风机的无功功率控制合格标志位 Qlt_i ：若 $\frac{|Q_i^{OldRef} - Q_i|}{Q_i^{Range}} \leq \beta_i$ ，则令 $Qlt_i=1$ ；若 $\frac{|Q_i^{OldRef} - Q_i|}{Q_i^{Range}} > \beta_i$ ，则令 $Qlt_i=0$ ，依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的无功功率控制合格标志位的值；

[0012] (4) 设风电场并入电网的并网点电压的实际值为 V_w^{Real} ，电网调度中心下发的风电场并入电网的并网点的电压控制目标值为 V_w^{Ref} ，设风电场并入电网的并网点电压合格阈值为 V_{Dead} ，对风电场并入电网的并网点电压进行判断，若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| \leq V_{Dead}$ ，则结束控制；若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| > V_{Dead}$ 且 $V_w^{Ref} > V_w^{Real}$ ，则进行步骤(5)，若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| > V_{Dead}$ 且 $V_w^{Ref} < V_w^{Real}$ ，则进行步骤(6)；

[0013] (5) 风电场并入电网的并网点的升压控制：

[0014] (5-1) 设定风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的加权控制因子 X_i ， $X_i = W_Q \times Q_i^{UpAvail} + W_V \times V_i^{UpMargin} + W_{Qlt} \times Qlt_i$ ，其中 W_Q 、 W_V 、 W_{Qlt} 为三个加权权重系数， W_Q 、 W_V 的取值范围为 1 至 100， W_{Qlt} 的取值范围为 10000 到 999999，根据上式分别计算风电场内所有风机的加权控制因子 X_i ；

[0015] (5-2) 对上述加权控制因子由大至小进行排序，选择与前 m 个加权控制因子相对应的 m 台风机参与电压控制，m 的取值范围为 1 到 n 的整数；

[0016] (5-3) 设选出的 m 台风机中的第 j 台风机的当前无功功率为 Q_j ，无功功率上限值为 Q_j^{UpLmt} ，并设风机的无功功率对风电场并入电网的并网点处电压的灵敏度平均值为 S_{wtg}^{poc} ，第 j

台风机的无功功率控制目标值 Q_j^{set} 为：
$$Q_j^{set} = Q_j + \frac{V_w^{Ref} - V_w^{Real}}{S_{wtg}^{poc}} \times \frac{Q_j^{UpLmt} - Q_j}{\sum_{j=1}^m (Q_j^{UpLmt} - Q_j)}$$

[0017] 分别计算 m 台风机的无功功率控制目标值，并分别将 m 台风机的无功功率当前值调整为相应的无功功率控制目标值，完成控制；

[0018] (6) 风电场并入电网的并网点的降压控制：

[0019] (6-1) 定义风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的加权控制因子 X_i ， $X_i = W_Q \times Q_i^{DownAvail} + W_V \times V_i^{DownMargin} + W_{Qlt} \times Qlt_i$ ，其中 W_Q 、 W_V 、 W_{Qlt} 为三个加权权重系数， W_Q 、 W_V 的取值范围为 1 至 100， W_{Qlt} 的取值范围为 10000 到 999999，根据上式分别计算风电场内所有风机的加权控制因子 X_i ；

[0020] (6-2) 对上述加权控制因子由大至小进行排序，选择与前 m 个加权控制因子相对

应的 m 台风机参与电压控制, m 的取值范围为 1 到 n 的整数;

[0021] (6-3) 设选出的 m 台风机中的第 r 台风机的当前无功功率为 Q_r , 无功功率下限为 $Q_r^{DownLmt}$, 设风机的无功对风电场并网点处电压的灵敏度平均值为 S_{wig}^{Doc} , 则按照前述定义, 计

算第 r 台风机的无功功率控制目标值 Q_r^{set} 为:
$$Q_r^{set} = Q_r + \frac{V_w^{Ref} - V_w^{Real}}{S_{wig}^{Doc}} \times \frac{Q_r - Q_r^{DownLmt}}{\sum_{r=1}^m (Q_r - Q_r^{DownLmt})}$$

[0022] 分别计算 m 台风机的无功功率控制目标值, 并分别将 m 台风机的无功功率当前值调整为相应的无功功率控制目标值, 完成控制。

[0023] 本发明提出一种用于风电场并网点电压控制的风机选择方法, 其特点和效果是, 本发明方法首先定义了风电场内所有受控风机的无功可调裕度, 电压安全裕度以及风机的控制性能是否合格, 并基于以上定义, 计算风机的加权控制因子, 用于从所有风机中选择出最适宜参加控制的一定数量的风机, 实际参与风电场并网点电压控制。相比于现有风电场内所有风机均参与控制的方法, 具有更优的灵活性与更强的鲁棒性。本发明方法, 可集成在风电场现场运行的自动电压控制系统中, 以取得更好的控制效果。

附图说明

[0024] 图 1 是使用本发明方法的风电场电力网络图。

具体实施方式

[0025] 本发明提出的用于风电场并网点电压控制的风机选择方法, 其涉及的风电场电力网络图如图 1 所示, 本方法包括以下步骤:

[0026] (1) 设风电场内共有 n 台风机, n 台风机中第 i 台风机的当前无功功率为 Q_i , 第 i 台风机的无功功率上限值和下限值分别为 Q_i^{UpLmt} 和 $Q_i^{DownLmt}$, 则根据 $Q_i^{UpAvail} = Q_i^{UpLmt} - Q_i$, 计算得到第 i 台风机的无功功率向上可调裕度 $Q_i^{UpAvail}$, 根据 $Q_i^{DownAvail} = Q_i - Q_i^{DownLmt}$, 计算得到第 i 台风机的无功功率向下可调裕度, 依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的无功功率向上、向下可调裕度;

[0027] (2) 设风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的当前机端电压为 V_i , 风机机端电压的安全上限值为 V_i^{UpLmt} , 安全下限值为 $V_i^{DownLmt}$, 则根据 $V_i^{UpMargin} = V_i^{UpLmt} - V_i$, 计算得到第 i 台风机的电压向上安全裕度 $V_i^{UpMargin}$, 根据 $V_i^{DownMargin} = V_i - V_i^{DownLmt}$, 计算得到第 i 台风机的电压向下安全裕度 $V_i^{DownMargin}$, 依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的电压向上, 向下安全裕度;

[0028] (3) 设风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的前一次无功功率控制目标值为 Q_i^{OldRef} , 第 i 台风机的当前无功功率为 Q_i , 第 i 台风机的无功功率控制量程为 Q_i^{Range} , 无功功率控制合格阈值为 β_i , β_i 的取值范围为 0 到 10%, 则按下式计算得到第 i 号风机的无功功率控制合格标志位 $Q1t_i$: 用于描述第 i 号风机的无功功率控制性能是否合格。若 $\frac{|Q_i^{OldRef} - Q_i|}{Q_i^{Range}} \leq \beta_i$,

说明风机的无功功率控制性能合格, 则令 $Q1t_i=1$; 若 $\frac{|Q_i^{OldRef} - Q_i|}{Q_i^{Range}} > \beta_i$, 说明风机的无功功率控制性能不合格, 则令 $Q1t_i=0$, 依此方法分别计算风电场内所有 n 台风机的无功功率控制合

格标志位的值；

[0029] (4) 设风电场并入电网的并网点电压的实际值为 V_w^{Real} ，电网调度中心下发的风电场并入电网的并网点的电压控制目标值为 V_w^{Ref} ，设风电场并入电网的并网点电压合格阈值为 V_{Dead} ，对风电场并入电网的并网点电压进行判断，若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| \leq V_{Dead}$ ，则说明风电场并网点电压已满足要求，结束控制；若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| > V_{Dead}$ 且 $V_w^{Ref} > V_w^{Real}$ ，说明需要控制风机增发无功功率以提高风电场并网点电压，则进行步骤(5)，若 $|V_w^{Ref} - V_w^{Real}| > V_{Dead}$ 且 $V_w^{Ref} < V_w^{Real}$ ，说明需要控制风机减发无功功率以降低风电场并网点电压，则进行步骤(6)；

[0030] (5) 风电场并入电网的并网点的升压控制：

[0031] (5-1) 为了判断风机是否适于参与控制，需要综合考虑风机的无功可调裕度，电压安全裕度以及无功控制合格标志位，设定风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的加权控制因子 X_i ， $X_i = W_Q \times Q_i^{UpAvail} + W_V \times V_i^{UpMargin} + W_{Qlt} \times Qlt_i$ ，其中 W_Q 、 W_V 、 W_{Qlt} 为三个加权权重系数， W_Q 、 W_V 的取值范围为 1 至 100， W_{Qlt} 的取值范围为 10000 到 999999；因为希望优先选择无功功率控制合格的风机进行控制，所以定义 W_{Qlt} 的取值远大于 W_Q 、 W_V 。根据上式分别计算风电场内所有风机的加权控制因子 X_i ；

[0032] (5-2) 对上述加权控制因子由大至小进行排序，选择与前 m 个加权控制因子相对应的 m 台风机参与电压控制， m 的取值范围为 1 到 n 的整数； m 的具体取值可根据现场需求进行整定。

[0033] (5-3) 设选出的 m 台风机中的第 j 台风机的当前无功功率为 Q_j ，无功功率上限值为 Q_j^{UpLmt} ，采用以上背景技术中介绍的准稳态灵敏度计算方法，根据风电场内网络模型和现场电气量测数据，可以计算得到风电场内所有节点间的无功功率对电压的灵敏度矩阵，然后从该灵敏度矩阵中获取风电场内每台风机的无功功率对风电场并网点电压的灵敏度，计算这些灵敏度的平均值，记为 S_{wtg}^{poc} ，第 j 台风机的无功功率控制目标值 Q_j^{set} 为：

$$[0034] \quad Q_j^{set} = Q_j + \frac{V_w^{Ref} - V_w^{Real}}{S_{wtg}^{poc}} \times \frac{Q_j^{UpLmt} - Q_j}{\sum_{j=1}^m (Q_j^{UpLmt} - Q_j)},$$

[0035] 分别计算 m 台风机的无功功率控制目标值，并分别将 m 台风机的无功功率当前值调整为相应的无功功率控制目标值，完成控制；

[0036] (6) 风电场并入电网的并网点的降压控制：

[0037] (6-1) 为了判断风机是否适于参与控制，需要综合考虑风机的无功可调裕度，电压安全裕度以及无功控制合格标志位，定义风电场内 n 台风机中的第 i 台风机的加权控制因子 X_i ， $X_i = W_Q \times Q_i^{DownAvail} + W_V \times V_i^{DownMargin} + W_{Qlt} \times Qlt_i$ ，其中 W_Q 、 W_V 、 W_{Qlt} 为三个加权权重系数， W_Q 、 W_V 的取值范围为 1 至 100， W_{Qlt} 的取值范围为 10000 到 999999。因为希望优先选择无功功率控制合格的风机进行控制，所以定义 W_{Qlt} 的取值远大于 W_Q 、 W_V 。根据上式分别计算风电场内所有风机的加权控制因子 X_i ；

[0038] (6-2) 对上述加权控制因子由大至小进行排序，选择与前 m 个加权控制因子相对应的 m 台风机参与电压控制， m 的取值范围为 1 到 n 的整数； m 的具体取值可根据现场需求进行整定。

[0039] (6-3) 设选出的 m 台风机中的第 r 台风机的当前无功功率为 Q_r ，无功功率下限值

为 $Q_r^{DownLmt}$,同样采用以上背景技术中介绍的准稳态灵敏度计算方法,根据风电场内网络模型和现场电气量测数据,计算得到风电场内所有节点间的无功功率对电压的灵敏度矩阵,然后从该灵敏度矩阵中获取风电场内每台风机的无功功率对风电场并网点电压的灵敏度,计算这些灵敏度的平均值,记为 S_{wtg}^{poc} ,则按照前述定义,计算第 r 台风机的无功功率控制目

标值 Q_r^{set} 为:

$$Q_r^{set} = Q_r + \frac{V_w^{Ref} - V_w^{Real}}{S_{wtg}^{poc}} \times \frac{Q_r - Q_r^{DownLmt}}{\sum_{r=1}^m (Q_r - Q_r^{DownLmt})}$$

[0040] 分别计算 m 台风机的无功功率控制目标值,并分别将 m 台风机的无功功率当前值调整为相应的无功功率控制目标值,完成控制。

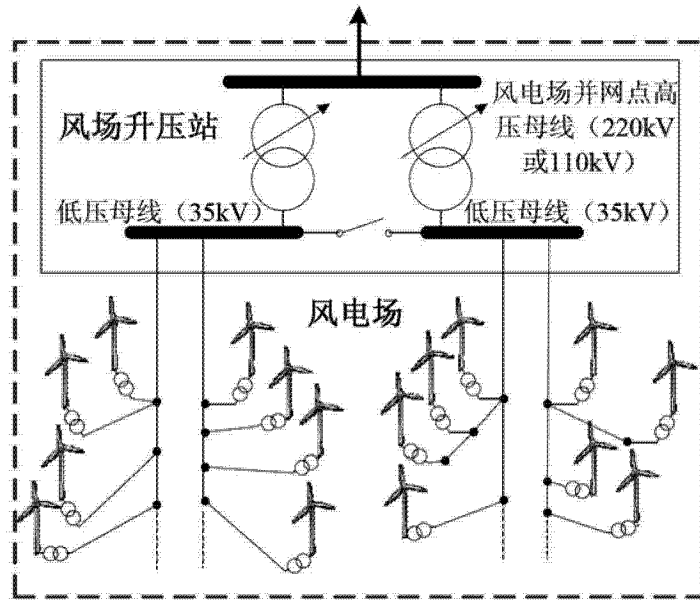


图 1