



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101725480 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 08

(21) 申请号 200910208892. 3

US 4400659 A, 1983. 08. 23,

(22) 申请日 2009. 10. 30

US 6479907 B1, 2002. 11. 12,

US 6420796 B1, 2002. 07. 16,

(30) 优先权数据

12/262951 2008. 10. 31 US

审查员 朱旭辉

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 A·S·阿基里斯 P·维亚斯

R·W·德尔梅里科

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 严志军 刘华联

(51) Int. Cl.

F03D 9/00 (2006. 01)

F03D 7/00 (2006. 01)

H02P 9/04 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 7002260 B2, 2006. 02. 21,

CN 101109938 A, 2008. 01. 23,

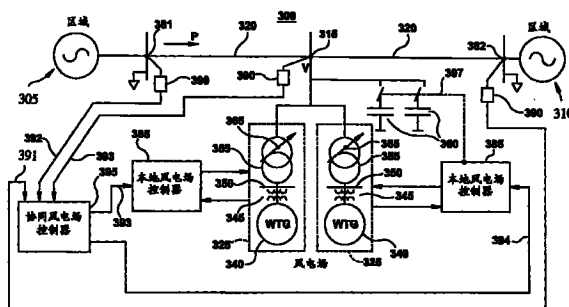
权利要求书4页 说明书9页 附图11页

(54) 发明名称

风电场的广域传输控制

(57) 摘要

通过风电场 (325) 的协同控制 (395) 提供一种用于改进公用传输系统 (5) 的动态和电压稳定性的系统。将可包括同步相量的传输系统 (5) 的电气测量 (390) 供应给一个或多个风电场控制器 (385), 风电场控制器 (385) 再执行改进公用系统 (5) 中的机电振荡的减振或电压性能的调节功能。控制结构具有分散的性质, 其在通信失败的情况下保持运转。益处是对机电振荡的改进的减振和更好的电压性能以及最终增加的装备的利用, 减少安装其它的网络装备。



1. 一种风力涡轮发电机控制系统,用于多个风电场,所述风电场均包括至少两个通过采集总线 and 主变压器连接到与传输网络的共同连接点上的风力涡轮发电机,所述传输网络包括物理地分配在所述传输网络内的多个发电机 / 负载组并且包括至少一个不可再生的能量源,所述风力涡轮发电机控制系统包括:

风电场控制器,用于所述多个风电场中的各个风电场,其中,所述风电场控制器控制所述风电场内的所述至少一个风力涡轮发电机的运转;

在传输网络上的至少一个测量点,所述至少一个测量点相对于所述多个风电场中的各个风电场的所述共同连接点是远程的,用于测量所述传输网络的运行参数;

多个传感器,位于所述传输网络上的所述至少一个测量点上,相对于所述多个风电场中的各个风电场的所述共同连接点是远程的,用于涉及所述多个风电场中的各个风电场的控制的传输网络运行参数的测量;

协同风电场控制器,使用涉及至少一个风电场的控制的至少一个测量到的所述传输网络的运行参数,以便在相对于所述多个风电场中的各个风电场的与所述传输网络的所述共同连接点为远程的位置处产生用于所述传输网络的稳定性的输出信号;

通信部件,用于将相对于所述多个风电场中的各个风电场的所述共同连接点为远程的位置的所述传输网络运行参数传送到所述协同风电场控制器并且将所述输出信号传送到所述多个风电场中的至少一个风电场。

2. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,用于所述多个风电场中的各个风电场的所述风电场控制器控制所述风力涡轮发电机的端电压、所述风电场的电压输出、所述风力涡轮发电机的无功功率输出以及所述风电场的无功功率输出中的至少一个。

3. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,来自所述协同风电场控制器的用于所述传输网络的稳定性的输出信号包括:减轻所述传输网络上的电压骤降的信号。

4. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,来自所述协同风电场控制器的用于所述传输网络的稳定性的输出信号包括:为发生在所述传输网络上的机电振荡提供减振控制的信号。

5. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,来自所述协同风电场控制器的所述输出信号还包括:对于所述至少一个风电场中的各个风电场的风电场无功功率参考信号。

6. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,来自所述协同风电场控制器的所述输出信号包括:对于所述多个风电场中的各个风电场的风电场电压参考信号。

7. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,来自所述协同风电场控制器的所述输出信号还包括:对于所述多个风电场中的各个风电场的风电场有功功率参考信号和风电场无功功率参考信号中的至少一个。

8. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,所述风力涡轮发电机控制系统进一步包括被提供给所述协同风电场控制器的网络限制,所述网络限制包括对于所述至少一个风电场的无功功率和电压中的至少一个的约束。

9. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,所述风力涡轮发电机控制系统进一步包括被提供给所述协同风电场控制器的网络限制,所述网络限制包括对于所述传输网络的相对于与所述至少一个风电场的共同连接点为远程的位置的无功功率和电压中的至少一个的约束。

10. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,所述风力涡轮发电机控制系统进一步包括:

用于所述主变压器的加载抽头变换器,包括远程控制能力;

包括远程控制能力的无源并联补偿器;以及

输出信号,从所述协同风电场控制器到所述加载抽头变换器以及所述无源并联补偿器中的至少一个,用于减轻电压骤降。

11. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,所述风力涡轮发电机控制系统进一步包括:

用于所述主变压器的加载抽头变换器,包括远程控制能力;

包括远程控制能力的无源并联补偿器;

输出信号,从所述协同风电场控制器到所述加载抽头变换器以及所述无源并联补偿器中的至少一个,用于减弱所述传输电网上的机电振荡。

12. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮控制系统,其特征在于,由所述传感器测量的所述运行参数包括在传输网络的多个发电/负载组中的至少一个发电/负载组上的所述至少一个测量点处的有效功率、无功功率、电流和相角中的至少一个。

13. 根据权利要求 12 所述的风力涡轮控制系统,其特征在于,由所述传感器测量的所述参数包括在传输网络的多个发电/负载组中的至少一个发电/负载组上的所述至少一个测量点处的电压量值和电压参考角度增量。

14. 根据权利要求 13 所述的风力涡轮控制系统,其特征在于,所述通信部件用于传输由所述传感器测量的传输网络参数到所述协同风电场控制器,包括同步相量。

15. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮控制系统,其特征在于,所述协同风电场控制器包括:

冲失滤波器;

超前-滞后补偿器;

增益系数;以及

钳位输出限制器,它们共同以串行操作作用于在相对于共同连接点为远程的所述传输网络上测得的并通过通信系统传送至所述协同风电场控制器的运行参数。

16. 根据权利要求 1 所述的风力涡轮控制系统,其特征在于,所述协同风电场控制器进一步包括:

可调节的参考电压输入;

在相对于所述风电场的与所述传输网络的所述共同连接点为远程的所述传输网络上的至少一个测量位置上的测量电压参数;

比较所述可调节的参考电压和所述测量电压参数的比较器;

作用于来自所述比较器的输出的比例积分滤波器;

用于所述风电场和所述网络上的测量点中的至少一个的用于有效功率和无功功率限

制的输入；

分配算法,所述分配算法将命令信号供应给一个或多个风电场和 / 或无源装置。

17. 根据权利要求 15 所述的风力涡轮发电机控制系统,其特征在于,所述协同风电场控制器定位在公用系统操作员的计算机系统上。

18. 根据权利要求 15 所述的公用传输电网,其特征在于,所述协同风电场控制器定位在用于独立的计算机系统上。

19. 根据权利要求 15 所述的公用传输电网,其特征在于,所述协同风电场控制器定位在独立的计算机系统上。

20. 一种用于保持传输网络上稳定性的方法,所述传输网络包括带有物理地分配在所述传输网络内的至少一个不可再生能源源的多个发电机 / 负载组,以及多个风电场,所述风电场均具有风电场控制器和至少两个通过采集总线 and 主变压器连接到与所述传输网络的共同连接点上的风力涡轮发电机,所述方法包括:

从相对于所述多个风电场中的各个风电场的与所述传输网络的共同连接点为远程的所述传输网络上的至少一个点测量至少一个传输网络运行参数;

将所述至少一个传输网络运行参数从相对于所述多个风电场中的各个风电场的所述共同连接点为远程的所述传输网络上的所述至少一个点传送到协同风电场控制器;

由所述协同风电场控制器响应至少一个测量到的所述传输网络运行参数而在相对于所述多个风电场中的各个风电场的与所述传输网络的所述共同连接点为远程的位置处确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令;

在相对于所述多个风电场中的各个风电场的与所述传输网络的所述共同连接点为远程的位置,将对至少一个风电场的用于所述传输系统的稳定性的运行命令从所述协同风电场控制器传送至所述至少一个风电场;以及

将由所述多个风电场中的至少一个风电场的命令输出在所述共同连接点提供给所述传输网络,以便对于所述传输网络上的相对于所述共同连接点为远程的所述至少一个点保持稳定性。

21. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令的步骤还包括:确定减轻所述传输网络上的电压骤降的运行命令。

22. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令的步骤还包括:确定对所述传输网络提供减振控制的运行命令。

23. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令的步骤还包括:确定用于所述至少一个风电场控制器的风电场无功功率参考信号,其中,所述信号增强传输网络稳定性。

24. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令的步骤还包括:确定用于所述至少一个风电场控制器的风电场电压参考信号,其中,所述信号增强传输网络稳定性。

25. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令的步骤还包括:确定用于所述

至少一个风电场控制器的风电场有效功率参考信号,其中,所述信号增强传输网络稳定性。

26. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令的步骤还包括:确定加载抽头变换器的设置以增强传输网络稳定性,其中,所述至少一个风电场包括用于所述主变压器的所述加载抽头变换器。

27. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,确定用于至少一个风电场的涉及所述传输网络的稳定性的运行命令的步骤还包括:确定无源并联补偿设置以增强传输网络稳定性,其中,所述至少一个风电场包括无源并联补偿。

28. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,从所述传输网络上的至少一个点测量至少一个传输网络运行参数的步骤还包括:测量参数,所述参数包括在传输网络的所述发电/负载组上的所述至少一个测量点处的有效功率、无功功率、电流和相角中的至少一个。

29. 根据权利要求 20 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,从所述传输网络上的至少一个点测量至少一个传输网络运行参数的步骤还包括:测量参数,所述参数包括在传输网络的所述发电/负载组上的所述至少一个测量点处的电压量值和电压参考角度增量。

30. 根据权利要求 29 所述的用于保持传输网络上稳定性的方法,其特征在于,由所述传感器测量的所述参数作为同步相量被供应到所述协同风电场控制器。

风电场的广域传输控制

技术领域

[0001] 本发明大致涉及电力系统内的电风电场系统的稳定性控制,并且更具体地,涉及通过控制电风电场系统的电力系统动态和电压稳定性控制。

背景技术

[0002] 通常,电力系统包括遍布在一定地理区域的多个发电装备。电力系统还包括同样可遍布在该地理区域的消耗功率(负载)的系统。电力系统还包括输电网,电力线路的网络以及用于将电传送和分配到整个地理区域的相关的设备。输电网的基础设施可包括,但不限于用于电力系统运转的互连、控制、维护和改进的装置。通常,电力系统包括集中控制系统,集中控制系统操作性地连接于发电装备,以便例如应用处理逻辑来控制各发电装备的功率输出。网络操作员通常操作集中控制系统。由集中控制系统控制的发电装备的功率输出可包括,但不限于电功率的量,以及对于该电功率的电压。

[0003] 发电装备包括单个的发电站。发电站可例如通过将电功率输送到这些区而各服务输电网内的地理区。发电装备可各自包括任何类型的功率源。例如,发电装备可包括至少部分地由煤,水,可燃流体诸如汽油、天然气、柴油燃料等,原子能,风,和太阳能产生电功率的功率源。

[0004] 风能常常被用于利用例如大型风力涡轮机的旋转以驱动发电机而在通常称为风电场的发电厂产生电功率。风电场及其相关的风电场控制器可控制无功功率供应,以及在更有限的程度上控制有效功率。Larsen 在美国专利第 7, 119, 452 号、第 7, 166, 928 号和第 7, 224, 081 号中描述了用于风力发电机的电压控制,其包括具有无功功率命令的场级(farm-level)控制器以及风力涡轮发电机控制系统。风力涡轮发电机电压控制可通过高于发电机级(变电所或场级)控制器根据参考设置调节电压来提供。无功功率可在较长的期限(例如几秒钟)内调节,而风力涡轮发电机端电压在较短的期限(例如几分之一秒)内调节以减轻快速的输电网瞬变现象的影响。

[0005] 为了经济上的原因并且作为减少化石燃料发电对环境影响的途径之一,具有更大功率输出的风力涡轮发电机正在被生产出来,并且具有更多风力涡轮发电机的风电场正在投入运转。来自风电场的功率输出在未来可能包括沿着传输电网供应和传送的总功率的更大部分。同时,关于新的大规模风电场可用的传输容量以及限制传输容量的稳定性问题存在越来越多的关注。

[0006] 传输系统的最大运行容量常常会受限于电压稳定性、电压极限,以及机电振荡而不是受限于热负载极限。如果可以克服这些约束,可更好地利用网络装备并且有时可以避免额外装备的投资。

[0007] 图 1 显示由于在多个区域之间增加的功率传送引起的传输系统崩溃的代表性的响应曲线,以及对于风电场的有创造性的控制的应用怎样可以延伸传输系统的运转,防止电压骤降。垂直轴线表示传输系统电压功率流 175,而水平轴线表示功率流 180。在压力状态,随着功率流(P)175 增加,在电压对功率流的线(实线)185 上给定点的电压 180 开始减

少。由于电压骤降,可在系统中传送的功率 P 必须限制为低于 $P_{\max_1,194}$ 。如果功率增加到接近于 $P_{\max_1,194}$,电压 180 显著地“骤降”,通常使保护继电器运转而负载断开。在实践中,将运行极限(未示出)保持为低于 $P_{\max_1,194}$ 以避免崩溃。

[0008] 可能发生的机电振荡模式,可以是本地的,在该情况下发电装备中单个的同步发电机相对于电力系统振荡(以 0.3 到 1Hz 的次序),可以是外部区域,在该情况下多组发电机在长距离系统振荡上振荡(0.2 到 1.0Hz),以及可以是可为本地方式和外部区域模式结合的复合振荡。

[0009] 机电振荡将最可能发生在网络中的传统发电机内。当前的风力涡轮发电机(WTG)技术与振荡无关(但是它们可影响它们的减振(damping))。进一步地,潜在的新 WTG 概念(具有直接连接的同步机的水力转矩变换器)可积极参与机电振荡模式。

[0010] 机电振荡的减振可随着在同步发电机激励下的控制装置或者电力系统稳定器(PSS)控制而改进。PSS 已经应用于常规的发电中。

[0011] 灵活交流传输系统(FACTS)装置是许多传输系统问题的解决方案。这些常常由增加了串联或并联电容器以及其它无源装置或有源开关而构成的装置可加到传输电网中。典型的 FACTS 装置是静态 VAR 补偿器(SVC)和静态同步补偿器(STATCOM)。SVC 和 STATCOM 是用于在高电压电传输网络上提供快动无功功率补偿的电气装置。其它解决方案包括构筑附加的线路和在长线路中利用串联电容器。然而,FACTS 方法招致用于硬件修理的成本。

[0012] 因此,需要提供用于在传输系统上防止电压骤降的结构和方法,其中,电压骤降来源于在传输线路上的压力状态。进一步地,需要改进输电网内机电振荡的减振。

发明内容

[0013] 本发明涉及一种利用风电场电压控制能力以提供传输系统的稳定性的系统和办法。具体地,风电场电压控制能力可用于:1) 避免压力电网系统上的电压骤降,以及 2) 为风电场可连接于其上的输电网中的机电振荡提供减振。

[0014] 增强起源于本地风电场控制器控制本地风力涡轮机的输出无功功率的能力。由于用于风力涡轮机的电力变换器以及它们甚至在零风速供应无功功率的能力,这是可能的。可将合并到控制器中的广域测量供应给风电场。有助于稳定传输电网的多个风电场的协同也是本发明的特征。改进的传输网络的稳定性和电压控制可以鲁棒的方式在故障事件过程中和故障事件后提供。这可最终增加利用风电场中可用设备的网络装备的应用。

[0015] 根据本发明的第一方面,提供风力涡轮发电机控制系统。该控制系统提供给至少一个风电场,其包括通过采集总线 and 主变压器连接到功率传输网络的共同连接点的至少一个风力涡轮发电机。功率传输网络包括物理地分配在传输网络内并且包括至少一个不可再生能源源的多个发电机/负载组。

[0016] 风力涡轮发电机控制系统包括用于各至少一个风电场中的风电场控制器,其中,风电场控制器控制风电场内至少一个风力涡轮发电机的运转。控制系统还包括用于传输系统运行参数测量的位于传输系统上的至少一个测量点以及用于涉及一个或多个风电场控制的传输系统参数测量的多个传感器。协同控制器使用测量到的风电场传输系统参数以产生增强传输系统稳定性的输出信号。提供通信部件以便将传输系统参数传送到协同控制器并且将控制信号传送到至少一个风电场。

[0017] 根据本发明的第二方面,提供一种用于保持功率传输网络上稳定性的方法。该传输网络可包括带有物理地分配在传输网络内的至少一个不可再生能源源的多个发电机/负载组以及具有风电场控制器的至少一个风电场。风电场可包括通过采集总线和主变压器连接到功率传输网络的共同连接点的至少一个风力涡轮发电机。

[0018] 该方法包括在传输网络上的至少一个点测量至少一个传输系统运行参数。该方法还包括将至少一个传输系统运行参数从传输网络上的至少一个点传送到协同风电场控制器。协同控制器响应至少一个测量到的传输系统参数,确定用于至少一个风电场的涉及传输系统稳定性的运行命令。将对风电场用于传输系统稳定性的运行命令从协同控制器传送到至少一个风电场。将来自风电场的命令输出在共同连接点提供给传输网络。

附图说明

[0019] 本发明的这些以及其它特征、方面和优点在参考附图阅读下列详细说明时将变得更好理解,在附图中同样的标号表示同样的部件,其中:

[0020] 图 1 显示响应曲线,其显示由于过功率引起的传输系统崩溃的代表性的曲线,以及用于风电场的有创造性的控制的应用怎样可以延伸传输系统的运转,防止电压骤降;

[0021] 图 2 显示合并了对于多个不可再生能源电功率发生源以及至少一个发电风电场的系统参数测量位置的传输系统;

[0022] 图 3 显示具有风电场控制器以及用于在传输系统控制中进行辅助的其它控制装置的风电场的构造;

[0023] 图 4 显示用于改进发生在与图 1 的传输系统相似的传输系统中的机电振荡的减振的发明的协同控制器的实施例;

[0024] 图 5 显示为多个风电场的风力涡轮机提供控制的发明的协同控制器的实施例;

[0025] 图 6 显示为多个风电场内的风力涡轮机以及相关联的无功控制装置提供控制的发明的协同控制器的实施例。

[0026] 图 7 显示现有技术传输网络的图示,该传输网络包括连接到风电场的既具有发电能力又具有负载供应能力的两个区域 (area);

[0027] 图 8 显示用于机电振荡的小信号分析的网络的拉普拉斯框图;

[0028] 图 9A-9C 显示没有稳定环的图 7 中传输网络的负载切换事件的时间模拟;

[0029] 图 10 显示包括稳定环的用于机电振荡的小信号分析的网络的拉普拉斯框图;

[0030] 图 11 显示合并了用于网络机电振荡改进的减振的稳定环的发明的风电场控制器实施例;以及

[0031] 图 12A-12D 显示合并了发明的稳定环实施例的图 7 中传输网络的负载切换事件的时间模拟。标号说明 5 传输系统 10 组 120 组 230 组 340 风电场 45 风力涡轮发电机 50 传输线 175 电压 180 功率流 185 电压对功率流曲线 194Pmax1 198Pmax2 300 传输系统 305 区域 1310 区域 2315 共同连接点 320 传输线 325 风电场 330 传输线 340 风力涡轮发电机 345 连接变压器 355 主变压器 360 并联电容器 365 加载抽头变换器 380 点 381 点 385 本地风电场控制器 391, 392, 393 检测到的系统参数 395 协同风电场控制器 397 控制信号 400 风力涡轮机控制系统 401 第一点 402 第二点 403 区域 1404 区域 2405 测量工具 410 本地风电场控制器 415 通信网络 425 通信网络 430 协同风电场控制器 435 冲失滤波器 440 超前-滞后补偿

器 445 增益 450 输出限制器 460 协同风电场的输出 461 风电场电压参考变化 465 风电场无功功率参考变化 470 风力涡轮机电压参考变化 475 风力涡轮机无功功率参考变化 480 风电场操作员的计算机系统 485 风电场管理系统 490 公用系统操作员的计算机 495 独立的计算机系统 500 协同风电场控制系统 511, 512. 515 系统参数的测量组 520, 521. 525 系统上的测量点 531, 532. 535 系统上的传感器 540 通信网络 545 通信网络 550 用于多个风电场的协同风电场控制器 561, 562. 563 来自多个风电场的输出 571, 572. 575 多个风电场 605 协同系统控制器 610 V_{ref} 615 比较器 621, 622, 623 传输系统 625 V_{remote} 626 点 1627 滤波器 630 比例 - 积分调节器算法 640 分配算法 645 Q, V 限制 655 远程无源并联补偿控制信号 665 控制信号 670 并联电容器 675 负载抽头开关 680 Q_{ref} (风电场) 685 V_{ref} (风电场) 690 本地风电场控制器 695 本地风电场 696 点 2710 发电机传输 / 负载区域 1715 共同连接点 720 发电机传输 / 负载区域 2723 电抗 724 本地区域负载 725 传输线 740 风力涡轮发电机 745 连接变压器 750 采集总线 (collection bus) 755 主变压器 760 风电场 770 输出电压 E_1 780 输出电压 E_2 805 区域 1 的等价惯量 806 区域 2 的负载减振常数 810 区域 1815 区域 1 的负载减振常数 816 区域 2 的等价惯量 820 区域 2825 E_1 826 E_2 835 $\Delta \omega_1$ 836 $\Delta \omega_2$ 845 $\Delta \delta_1$ 846 $\Delta \delta_2$ 850 X - 区域 1 和区域 2 之间的总电抗 865 $\Delta \delta_{10}$ 866 $\Delta \delta_{20}$ 880 同步转矩系数 885 ΔP_{L1} 886 ΔP_{L2} 888 ΔP_s 890 比较器 895 ΔP_{12} 910 流动在区域之间的电流 920 流动在区域之间的功率 930 在 POCC 处的电压 940 瞬变的 T 开始 970 最大幅值电流 975 最大幅值功率 980 在 POCC 处的最大幅值电压 1100 风电场协同控制器 1110 ΔP_{12} 1115 E_0 1120 ΔI_{12} 1140 协同控制器 1141 冲失滤波器 1142 超前 - 滞后滤波器 1143 增益系数 1150 ΔQ_{ref} 1160 风电场控制器 1170 风电场 1180 ΔV_s 1185 I_0 1190 ΔP_s 1210 电流 1220 功率 1230 风电场电压 1240 无功功率命令 1250 T_1 开始时间

具体实施方式

[0032] 本发明的下列实施例具有许多优点, 包括通过风电场的协同 (coordinated) 控制改进的公用传输系统的动态和电压稳定性。

[0033] 将系统的电气测量部件 (具有或没有同步相量) 供应给一个或多个风电场控制器, 其再执行改进公用电网中的电压性能和 / 或机电振荡的减振的调节功能。控制结构可具有分散的性质, 其在通信失败的情况下保持运转。益处是更好电压性能, 对机电振荡改进的减振以及最终增加的装备的利用, 减少安装其它网络装备的需要。

[0034] 本发明利用本地风电场控制器的能力来控制本地风力涡轮机的输出无功功率。由于用于风力涡轮机的电力变换器和它们甚至在零风速供应无功功率的能力, 这是可能的。根据本发明的一个方面, 输电网中的一个或多个风电场可提供有传输系统的广域测量。将广域测量输入到协同控制器中。协同控制器可为单独的风电场或多个风电场提供调节。由协同控制器执行的调节可有助于保持输电网上的电压并且防止电压骤降, 可有助于提供输电网上的振荡的减振, 或者提供电压控制和减振的结合。广域测量可能是或者可能不是同步相量的形式。

[0035] 应用广域测量来改进传输系统稳定性已经在文献中提出。Kamwa、Grondin 和 Hebert (“基于大型功率系统 \hat{A} - A 分散 / 分级方法的稳定控制的广域测量”, 发表于 IEEE Trans. Power Systems, Vol. 16, No. 1, pp. 136-152, 2001 年 2 月) 提出了在 Hydro-Quebec

系统中,通过在少量 PSS 控制器中利用一些广域测量和附加的控制信号而得到改进的外部区域模式的减振,在远程弱总线中增强的电压外形以及整体更好的系统鲁棒性。Quintero 和 Venkatasubramanian (“用于减轻大型电力系统中的小信号不稳定性的实时广域控制框架”,发表于 Proc. 38th Hawaii Intl. Conf. System Science \hat{A} -2005) 介绍了利用广域测量和分散的 SVCs 的集中控制器,以便在系统故障过程中以及在系统故障之后改进减振。

[0036] 广域测量 (WAM) 系统 (还与术语广域监测关联) 包括传感器、电子装置和通信网络以允许远程位置的快速监测。通信网络以高速度和可靠性在地理上分散的区域操作。在系统中通信的信息必须“实时”传送,就是说要保证数据在固定的和预先指定的时间延迟内到达。电子装置通常可为“智能电子装置”,如在技术报告 IEC TR61850-1, 第一版 2003-04, “变电所中的通信网络和系统 - 第一部分:介绍和综述”中定义的。通信协议包括发表于 03/30/2001 的 IEEE 标准 1344-1995“功率系统的同步相量标准”。IEEE 标准 1344-1995 用于变电所中的同步相量测量系统,包括数据对相量转换的同步、数据采集、定时输入和来自相量测量单元 (PMU) 的相量数据输出的格式。不指定响应时间、硬件、精度软件或计算相量的处理。上述标准介绍了在变电所或局域网 (LAN) 中的通信协议,诸如用于风电场或其它发电 / 负载区域中的一个。这个标准不覆盖变电所和远程监测或控制中心之间的数据交换。

[0037] 图 2 显示传输系统 5 的图示,传输系统 5 将若干组发电机和负载与设置在一个或多个风电场中的一个 (或多个) 风力涡轮机连接在一起。组 1 10、组 2 20 和组 3 30 发电机 / 负载组表示并且可包括从一个或多个能量源诸如煤、蒸汽、水、可燃流体诸如汽油、天然气、柴油燃料、太阳能、核动力,以及燃气涡轮发电站供应电功率的一个或多个发电机。单个的发电机 / 负载组可供应该组本地的负载,诸如工业的、商业的和住宅的设施。传输系统可通过传输线 50 进一步与包括一个或多个风力涡轮发电机 45 的一个或多个风电场 40 联系在一起。

[0038] 传输系统包括多个参数,诸如有功功率 (P)、无功功率 (Q)、电流值 (I) 以及发电机组之间的电流相角 (ϕ)。这些参数包括表示发电机 / 负载组之间关系的下标符号。例如,量 P_{32} 表示在组 3 的输出处测量到的沿着标记在图表上的箭头方向从组 3 到组 2 的有功功率流。这个箭头的方向是任意的并且仅描述在本文中使用的常规以指示正电流的方向。任何一个量可以是负值。在各个组,量 δ_i 和 V_i 表示在组 i 测量到的电压向量的相角和量值。

[0039] 在各个发电机 / 负载组,可为参数 P、Q、I、 ϕ 、 δ_i 和 V_i 的测量提供适合的点。这些参数可以远程地提供给风电场控制器以促进可发生在发电机 / 负载组之间以及之中的传输输电网上的电压稳定性以及机电振荡的控制。上述参数的测量可以由可与技术报告 IECTR 61850-1, 第一版 2003-04 中限定的那些工具类似的工具在风电场的发电机 / 负载组以及在传输电网内的其它点完成。这些数据可以测量并且处理为同步相量。因为同步相量被参考为非常精确和准确的共同时间参考,诸如全球定位系统时钟,并且可合并的高速传输系统内,甚至越过广泛分布的地理区域取得的测量可以被准确地比较,以用于控制广泛分散的元件,诸如传输系统的部件。同步相量测量的数据处理可根据发表于 03/30/2001 的 IEEE 标准 1344-1995 “功率系统的同步相量标准”来执行。

[0040] 图 3 显示带有风电场控制器和位于包括发电 / 负载区域的传输系统内的其它控制装置的风电场的构造。传输系统 300 包括两个风电场 325,其代表可能通过共同连接点

315 连接到传输系统 300 的任何数量的多个风电场。传输系统 300 进一步包括多个发电 / 负载区域, 由两个区域, 区域 1 305 和区域 2 310 表示。传输线 330 提供在区域 1 305 和区域 2 310 之间。传输系统参数表示成和先前关于图 2 介绍的命名法一致。各风电场 325 可包括多个风力涡轮发电机 (WTG) 340 以及用于将各单个的 WTG340 连接到集电极总线 (collectorbus) 350 的相关的连接变压器 345。主变压器 T355 将各风电场的集电极总线 350 连接到传输线 330 的共同连接点 315。风电场 325 可进一步包括其它装备, 诸如并联电容器 360 以及用于主变压器 355 的加载抽头变换器 (OLTCs) 365。本地风电场控制器 385 可为风电场 325 内的 WTG340 和其它控制元件的运转提供整体控制。本地风电场控制器 385 可提供风力涡轮发电机的有效功率以及无功功率控制。

[0041] 在这个示例性的系统中, 功率 (P) 通过传输线 320 从区域 1305 流向区域 2 310。在可预先确定的系统上的一个或多个点 380、381、315, 通过工具 390 测量到系统参数并且将其供应给协同风电场控制器 395, 协同风电场控制器 395 协同一个或多个风电场 325 和 / 或其它装备的响应, 这些设备诸如风电场 325 内的并联电容器 360 以及加载抽头变换器 (OLTCs) 365。

[0042] 信号 391、392、393 表示检测到的传输系统参数, 可将其提供给协同风电场控制器 395 以有助于避免传输线上的电压骤降。防止传输线上的电压骤降可通过经由控制信号调节风电场的无功功率来提供。风电场还可包括通过控制信号 397 在本地风电场控制器 385 的方向下运行的并联电容器 360 和其它控制装置。并联电容器可有助于防止传输线上的电压骤降。可将多个传输系统参数提供给协同风电场控制器。在进一步的方面, 有功功率可还原为用于控制电压骤降的变量。

[0043] 图 4 显示带有控制器的风力涡轮机控制系统 400, 该控制器称作“协同风电场控制器”, 其可用于限制发生在诸如图 3 中显示的传输系统中的电压振荡。系统参数的测量可从位于多个位置的测量点的系统获得。测量点可通过区域 1403 和区域 2404 的代表性的第一点 401 和第二点 402 分别表示。上述测量可提供为同步相量。测量工具 405 检测系统参数并且将测量提供给通信网络 415 以便传送到协同风电场控制器 430。协同风电场控制器 430 的一个实施例包括算法的实现, 可包含冲失滤波元件 435、超前 - 滞后补偿器 440、增益 445 以及输出限制器 450。

[0044] 冲失滤波器 435 是高通滤波器, 其排斥稳态和非常低频的输入, 而使中到高频输入的瞬态量通过。使用它使得控制器不影响系统的稳态运行点, 而代之以允许在运行点周围修改。可以包括另外的滤波器, 诸如低通滤波器。超前 - 滞后补偿器 440 是设计成在所希望的频率下将频率分量的相位提前或延迟的滤波器, 并且应用于改进反馈控制电路内的减振特性。由值 K 表示的增益 445 是输出信号对输入信号的比率。饱和部件 450 产生与输入值相同的输出, 除非输入大于某预先确定的上极限或小于预先确定的下极限, 在这种情况下将输出分别设定为上极限或下极限。

[0045] 然后通过通信网络 425 将协同风电场控制器 430 的输出 460 传送到本地风电场控制器 410。输出信号 430 可为风电场电压参考变化 ($\Delta V_{ref}(WP)$) 460、风电场无功功率参考变化 ($\Delta Q_{ref}(WP)$) 465、单个风力涡轮机电压参考变化 ($\Delta V_{ref}(WT)$) 470、单个风力涡轮机无功功率参考变化 ($\Delta Q_{ref}(WT)$) 475 中的至少一个, 或者以可用于风电场控制系统的其它格式 (诸如 Larsen 在美国专利第 7, 119, 452 号、第 7, 166, 928 号和第 7, 224, 081 号中介绍

的)。上述实施例介绍了单独的风电场 475 的控制,但这样的控制可延伸到多个风电场。协同风电场控制器 430 可物理地定位在计算机系统 480 上,计算机系统 480 合并为风电场管理系统 485 的一部分,风电场管理系统 485 可出现在风电场 475 中,物理地定位在公用系统操作员 490 的计算机系统上,或者它可以在独立的计算机系统 495 上实现。

[0046] 再次参考图 1,本发明通过控制连接于传输网络的风电场演习的用于传输线电压的稳定性控制的应用可延伸传输系统的运转,防止电压骤降。例如,将在电压骤降开始前要传送功率的系统容量延伸(虚线)195 到 $P_{max2198}$ 。

[0047] 图 5 显示发明的协同风电场控制器的实施例,其可用于限制发生在诸如图 1 中显示的传输系统中的电压振荡。图 5 表示图 4 的情况的延伸,其中将控制延伸到多个风电场。包括在控制器内的详细元件未示出,但实际上图 4 中的控制器的功能延伸到了多个输入和输出的情况。

[0048] 协同风电场控制系统 500 包括表示为风电场控制器 1571、风电场控制器 2572 和风电场控制器 n 575 的多个本地风电场控制器,以为传输电网提供稳定性控制。协同风电场控制系统 500 不限于任何特定数量的风电场的控制。协同风电场控制器 500 接收多个测量组(表示为测量组 1 511、测量组 2 512、..... 测量组 n 515)。各个测量组可包括传输系统参数,传输系统参数可包括来自传输网络上多个不同的测量点 520、521、..... 525 的 (P 、 Q 、 I 、 ϕ 、 δ_i 和 V_i)。测量组 511、512、..... 515 由通信网络 525 从位于测量点的传感器 531、532、..... 535 传送到协同风电场控制器 550。来自协同风电场控制器 550 的输出信号由通信网络 545 传送到相应的风电场控制器 571、572、..... 575。

[0049] 协同控制器的输出对 m 个不同的风电场提供控制信号以便改进传输线上的机电振荡的减振。协同控制器的元件可包括延伸到多输入多输出情况的冲失滤波器、表现出图 4 中的超前-滞后滤波器的性质(多输入多输出)的滤波器、放大矩阵以及输出饱和限制。到风电场的多个控制信号可包括先前关于图 4 的单独的风电场控制器 430 介绍了的风电场电压参考变化 ($\Delta V_{ref}(WP)$) 460、风电场无功功率参考变化 ($\Delta Q_{ref}(WP)$) 465、单个风力涡轮机电压参考变化 ($\Delta V_{ref}(WT)$) 470、单个风力涡轮机无功功率参考变化 ($\Delta Q_{ref}(WT)$) 475 中的至少一个。

[0050] 图 6 显示发明的协同控制器的实施例,其将控制提供给多个风电场内的风力涡轮机和相关的无功控制装置。协同系统控制器 605 提供输出以便控制多个系统无功控制装置,另外将稳定控制信号 665 提供给风电场 695。这样的无功控制装置可包括无源并联电容器 670 和加载抽头变换器 675。

[0051] 输入是参考电压 (V_{ref}) 610,其可由公用系统操作员预编程或设定,并且可以时常更新。将 (V_{ref}) 610 与电压测量 (V_{remote}) 625 比较,电压测量来自传输系统上限定的点 $P1626$ 并且相对风电场 695 连接于网络系统的任何点 $P2696$ 可以是远程的。在这个示例中,协同系统控制器 605 可包括比例-积分 ($P+I$) 调节器算法(滤波器)630 以及分配算法(网络解决方案)640,其技术效果是将命令信号供应给一个或多个风电场和/或无源装置,诸如并联电容器 670 和加载抽头变换器 675。限制 645 可包括用于各种风电场和传输电网的节点的无功功率和电压,其可在算法的处理中被考虑。到风电场的命令信号可包括无功功率参考 ($Q_{ref}(WP)$) 680 或电压参考 ($V_{ref}(WP)$) 685。

[0052] 图 7 显示包括连接于风电场的既带有发电能力又带有负载供应能力的两个区域

的传输网络的图示。发电机传输 / 负载区域 1710 和区域 2720 通过包括电抗 723 的传输线 725 被连接。多个风力涡轮发电机 740 通过连接变压器 745 连接到采集总线 750。采集总线通过主变压器 755 连接到共同连接点 715。发电机传输 / 负载区域 1710 和发电机传输 / 负载区域 2720 分别供应本区域负载 P_{L1} 724 和 P_{L2} 725。发电机传输 / 负载区域 1 710 和发电机传输 / 负载区域 2 720 分别以参考角度 δ_1 提供 E1 的输出电压, 以及以参考角度 δ_2 提供 E2 的输出电压。

[0053] 图 8 显示图 7 的网络的拉普拉斯框图, 用于机电振荡的小信号分析。M1 和 M2 分别表示区域 1 和区域 2 的等价惯量。D1 和 D2 分别表示区域 1 和区域 2 的负载 - 减振常数。E1 和 E2 分别表示区域 1 和区域 2 的电压量值。 δ_1 和 δ_2 分别表示相对于区域 1 和区域 2 的相同参考的电压角度。 P_{L1} 和 P_{L2} 分别表示区域 1 和区域 2 中的负载功率消耗。 ω_1 和 ω_2 分别表示区域 1 和区域 2 的频率。 X 表示区域 1 和区域 2 之间有效的总电抗。 δ_{10} 和 δ_{20} 表示相对于相同参考的初始电压角度。 I_0 表示区域 1 和区域 2 之间电流的初始量值。 T 是根据方程 1 确定的同步转矩系数: $T = (E1 * E2 / X) * \cos(\delta_{10} - \delta_{20})$ 方程 1

[0054] 根据 T 的值, 将差分功率流 (differential power flow) 驱动在区域 1 和区域 2 之间。区域 1 和区域 2 之间的差分功率流必须足够强以保持两个区域同步。依靠系统的减振特性, 差分功率流可以减弱, 可能振荡, 或者可能增长到系统跳闸 (trip) 发生的点。

[0055] 图 9A-9C 显示没有稳定环的图 7 中传输网络的负载切换事件的时间模拟。图 9A 显示流动在区域之间的电流 910 的瞬态响应。图 9B 显示流动在区域之间的功率 920 的瞬态响应。图 9C 显示在位于风电场和输电网 (图 7) 之间的连接点 (POC) 的电压 930 的响应。瞬变现象是由 T1 940 处的负载移位开始的, 其引起电流 910、功率 920 和电压 930 共振模式的振荡。显示了电流、功率和电压振荡的最大幅值 A_1 970, A_2 975 和 A_3 980。

[0056] 图 10 显示包括稳定环的网络的拉普拉斯框图, 用于机电振荡的小信号分析。图 8 的拉普拉斯小信号模型可通过合并同步功率流 ΔP_s 888 修改, 将同步功率流 ΔP_s 888 在加法器 890 加到转矩产生块 (block) T 880 的输出以产生修改的差分功率流 ΔP_{12} 895。新的同步功率流 ΔP_s 888 可用发明的风电场控制器产生。

[0057] 图 11 显示发明的风电场协同控制器的实施例, 其合并了稳定环以便改进网络机电振荡的减振。系统参数 (I_1 、 V_1 、 δ_1 和 P_1) 以及 (I_2 、 V_2 、 δ_2 和 P_2) 可通过如图 2 和图 3 中的广域测量系统测量。 ΔI_{12} 1120 (从区域 1 到区域 2 的电流) 可从差分功率流 ΔP_{12} 1110 和 E_0 115 推断出来。 ΔI_{12} 1120 可应用于协同风电场控制器 1140, 该协同风电场控制器 1140 包括冲失滤波器 1141、超前 - 滞后滤波器 1142、增益系数 1143 和系统限幅器 1144 以提供 ΔQ_{ref} 1150 使其传送到传输系统内的风电场 1170 的本地风电场控制器 1160 以稳定振荡。风电场 1170 响应 ΔQ_{ref} 1150 可产生差分电压输出 ΔV , 导致差分电流输出 ΔI_0 1185, 将差分功率输出 ΔP_s 1190 提供给传输网络。

[0058] 图 12A-12D 显示合并了本发明稳定环的实施例的图 7 的传输网络的负载切换事件的时间模拟。图 12A 显示在区域之间流动的电流 1210 的瞬态响应。图 12B 显示在区域之间流动的功率 1220 的瞬态响应。图 12C 显示在位于风电场和输电网之间 (图 7) 的连接点 (POC) 的电压 1230 的响应。图 12D 显示合并了图 11 的稳定环的无功功率命令 1250。瞬变现象是由在 T11250 的负载移位开始的, 其引起电流 1210、功率 1220 和电压 1230 的减弱的振荡响应。电流、功率和电压瞬态响应 1270、1275 和 1280 的最大幅值对于图 9A-9C 未加稳

定措施的系统振荡 970、975 和 980 的最大幅值显著地减小。

[0059] 风电场功率控制的有效性可通过利用广域测量和高带宽通信网络进一步开发。考虑到单独的风电场实例,利用各涡轮机的电力变换器在互连的点提供无功功率的能力可改进减振和电压性能。对这些合并了广域测量的控制器的附加条件用于改进系统稳定性。具有一组协同控制器设置的一组风电场,各风电场供应有少量可能不同的广域测量,其可进一步改进整体系统性能。一种备选的方法包括集中控制器,其用网络宽测量和高带宽控制器来用于风电场促动信号的通信。

[0060] 虽然在这里介绍了各种实施例,从说明书应当意识到在其中可以做出各种元件的结合、变型或改进,而在本发明的范围内。

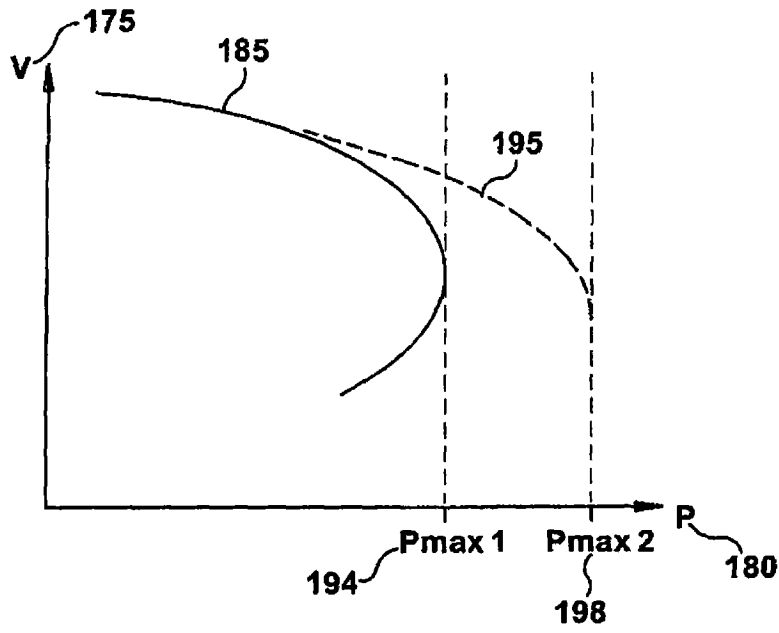


图 1

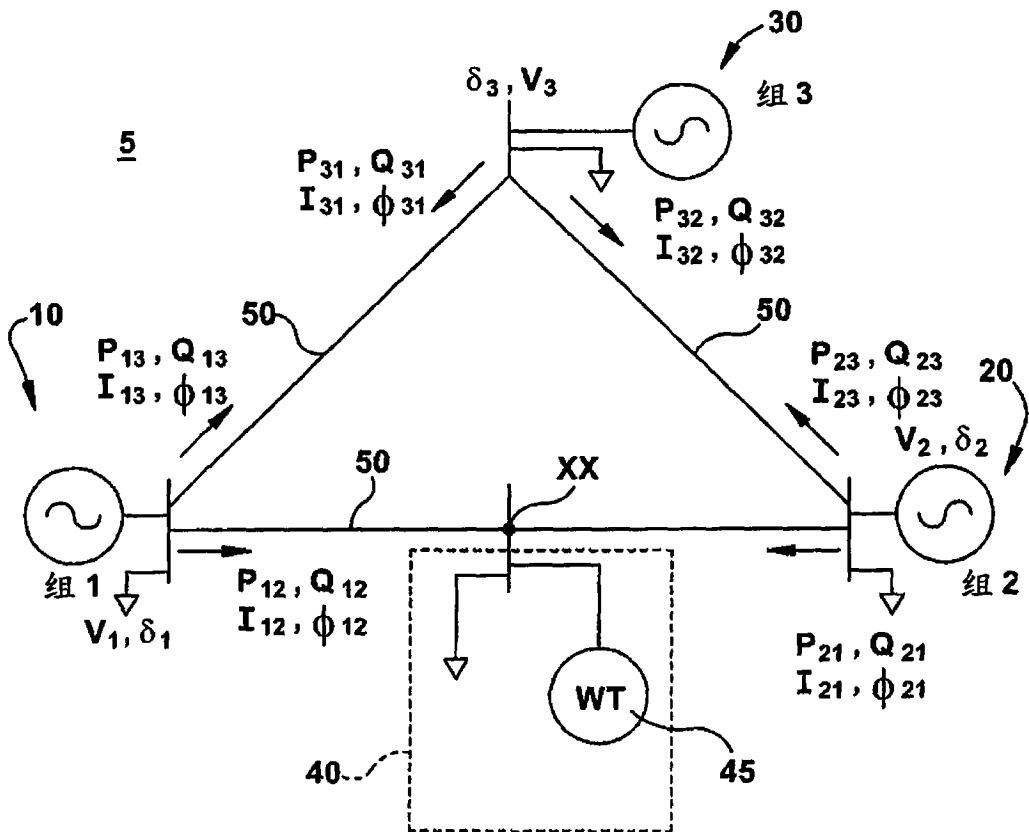


图 2

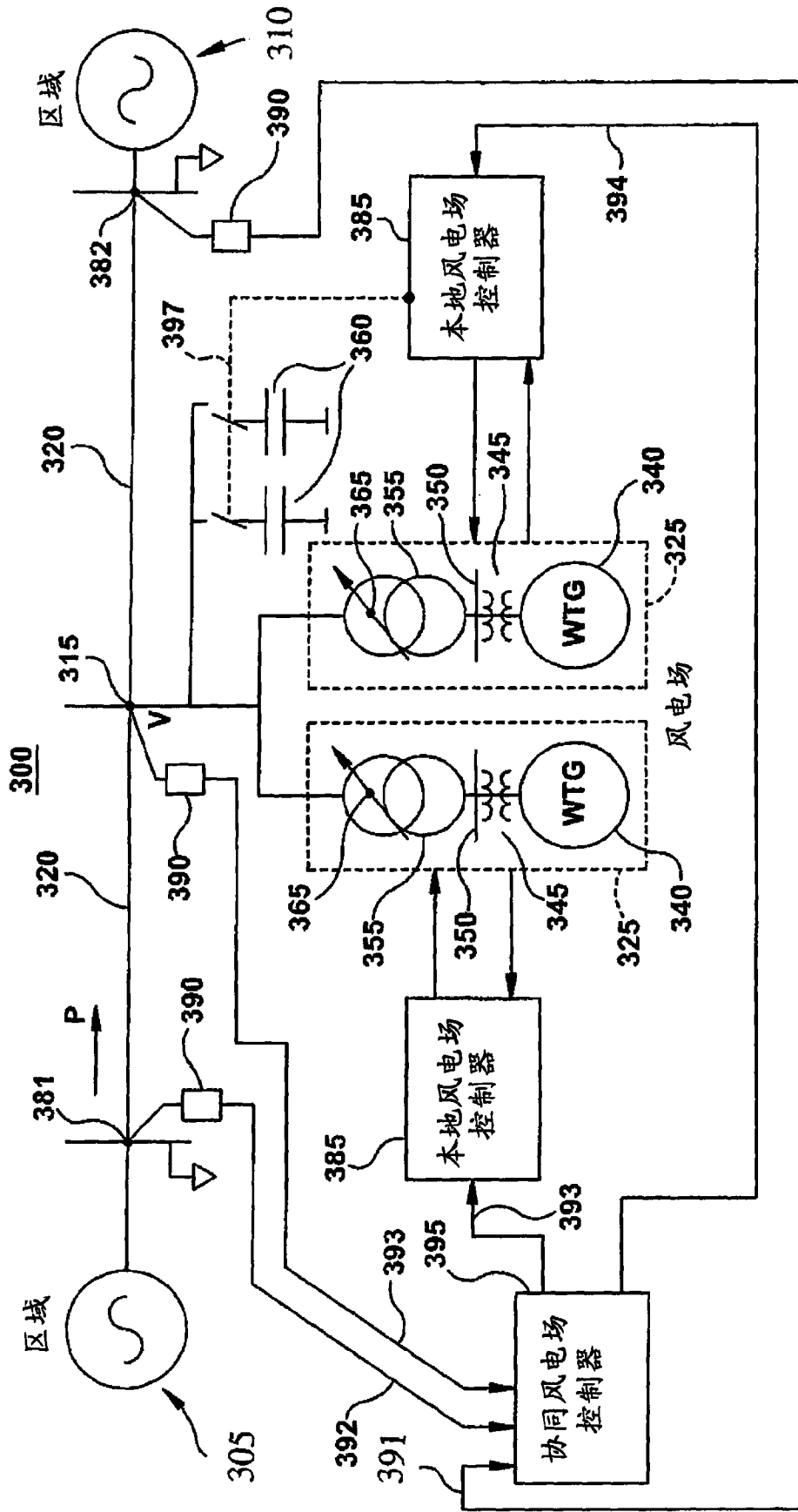


图 3

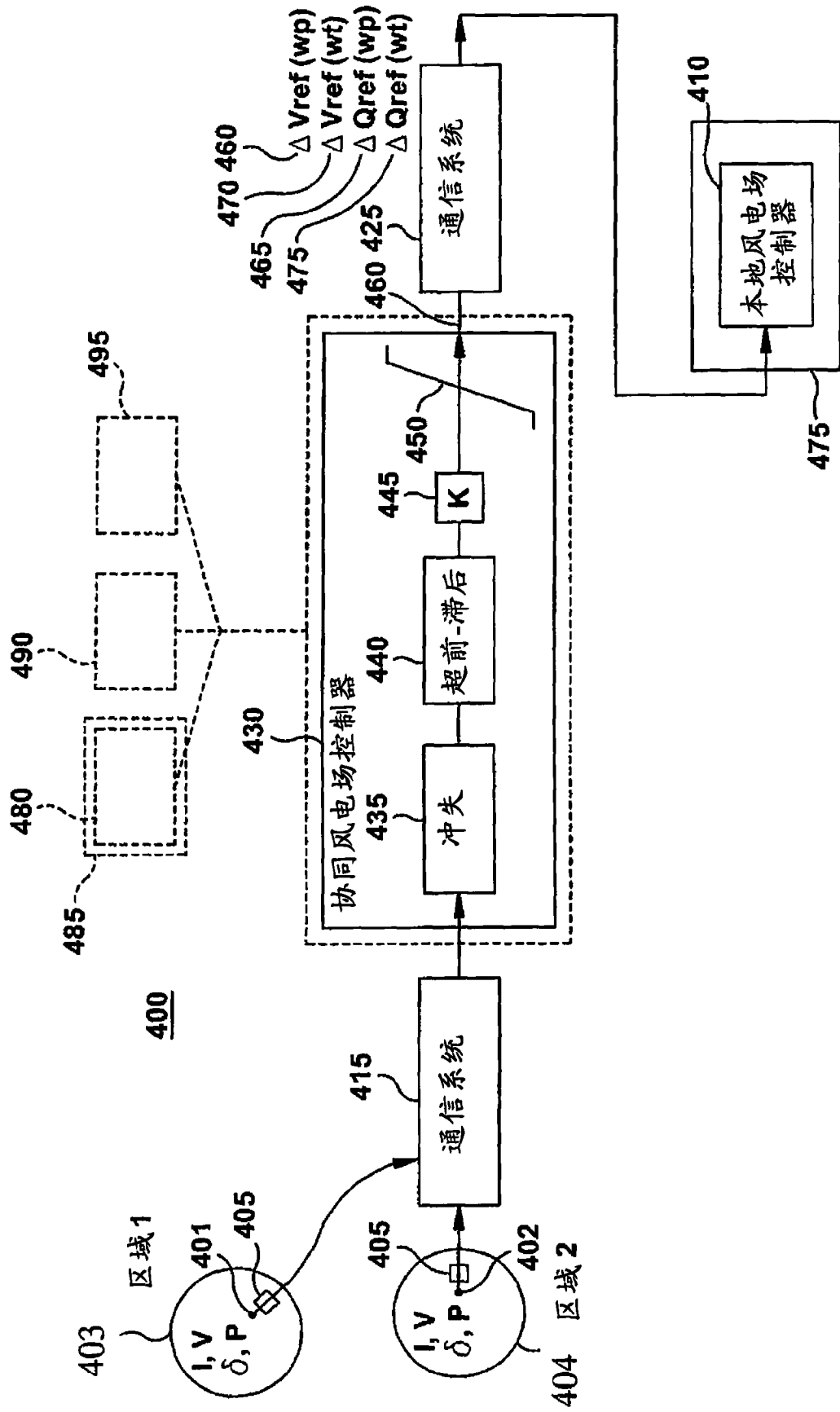


图 4

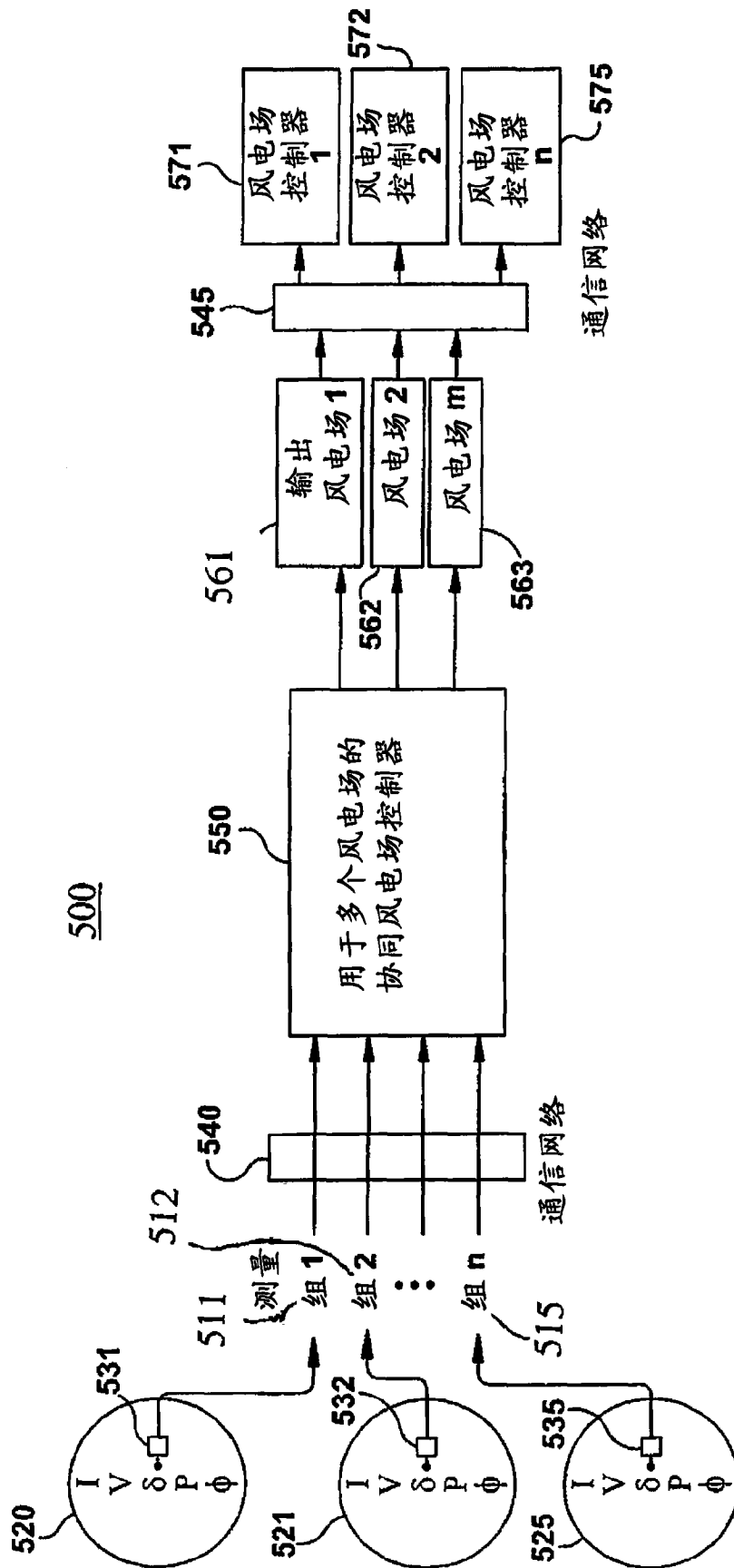


图 5

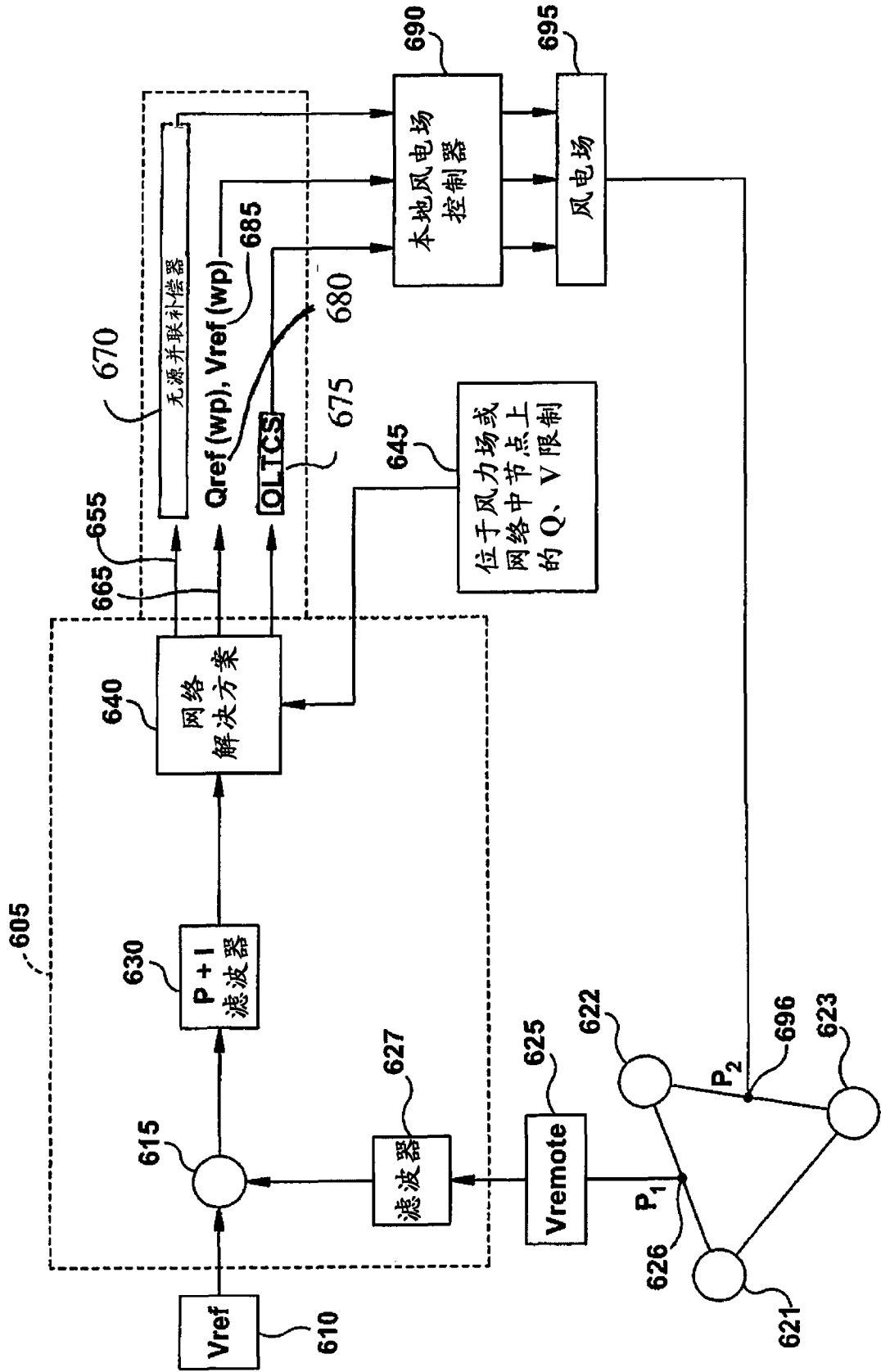


图 6

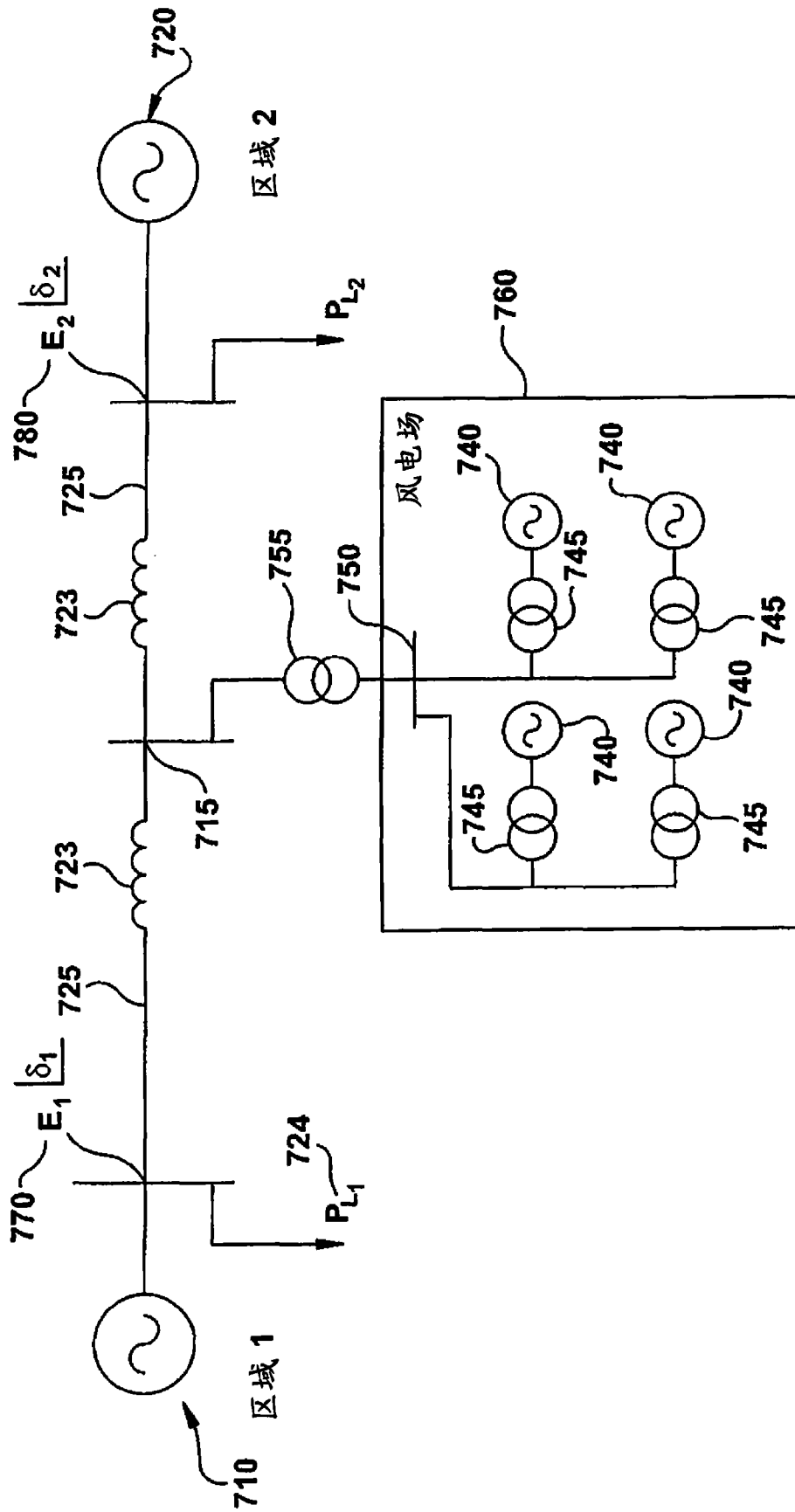


图 7

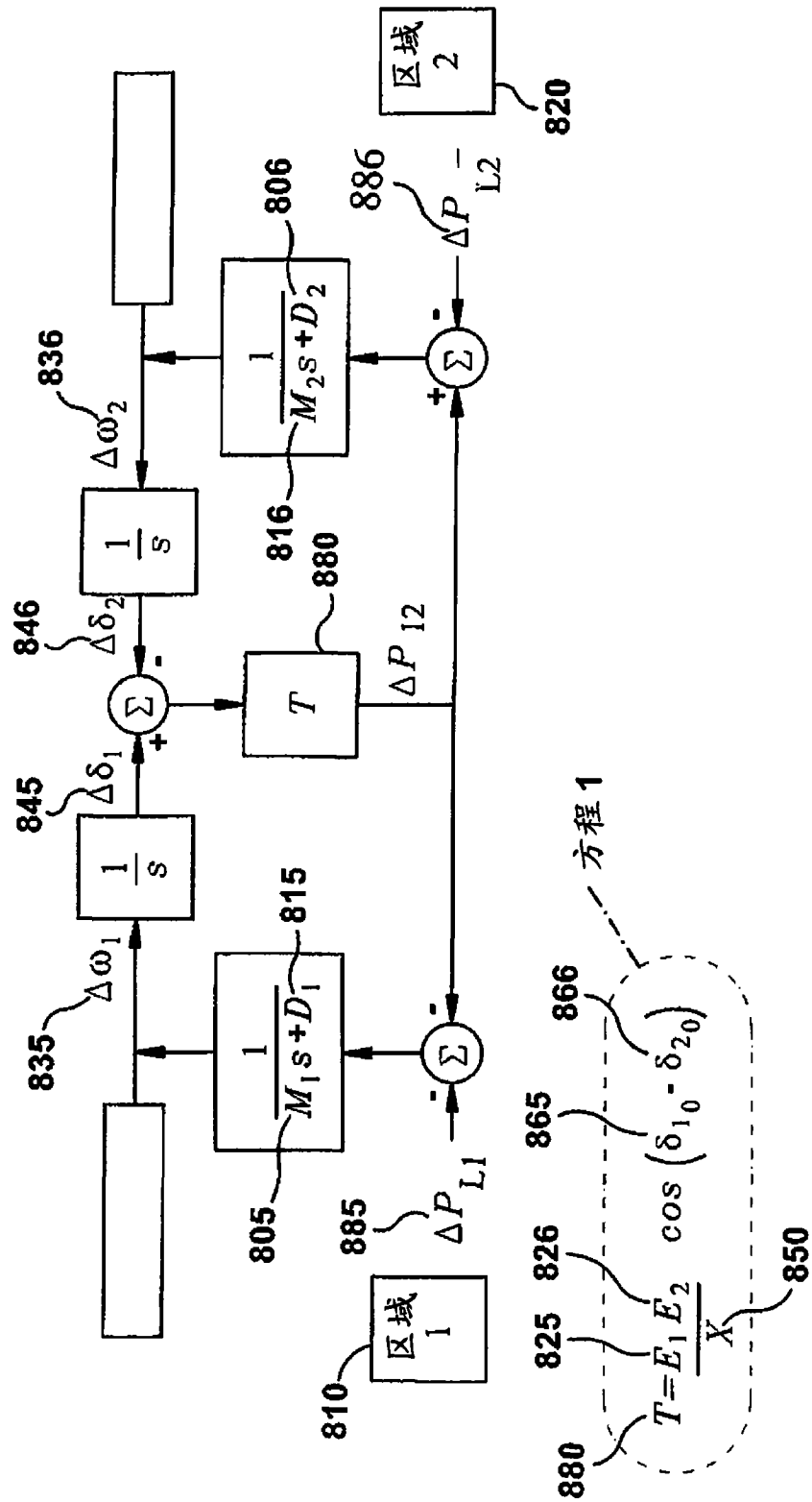


图 8

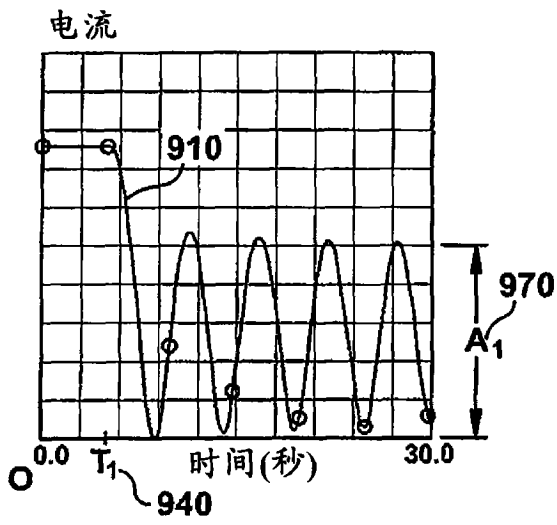


图 9A

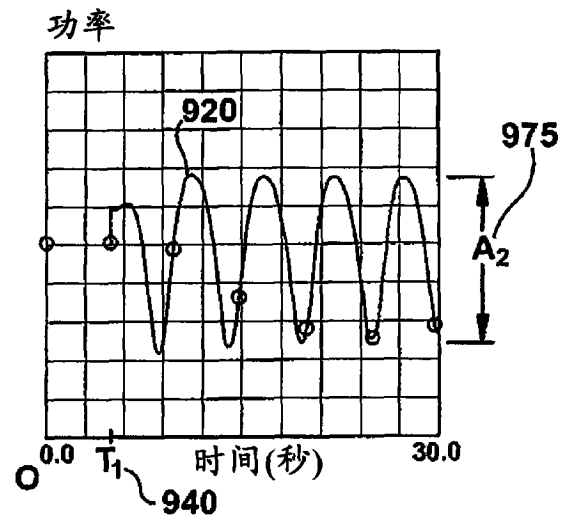


图 9B

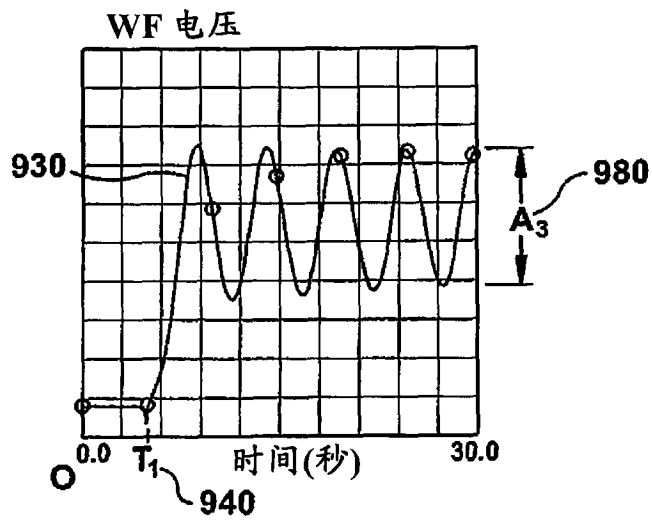


图 9C

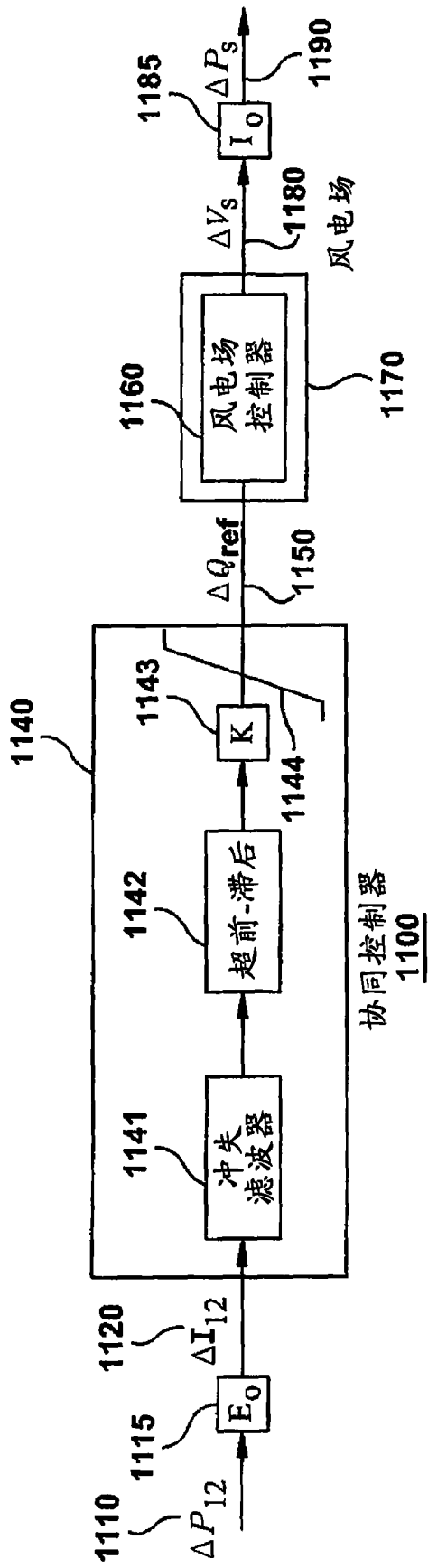


图 11

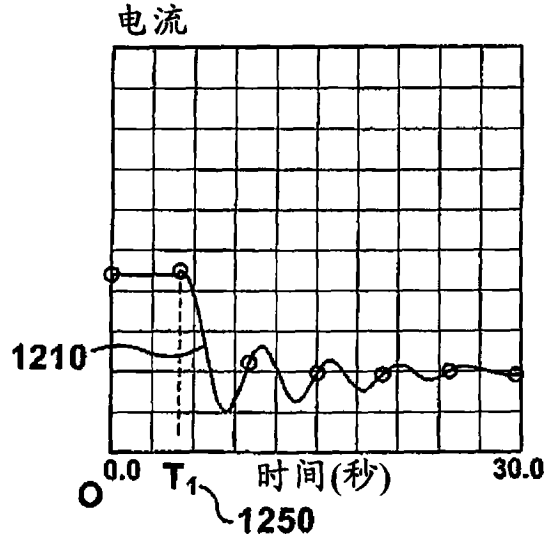


图 12A

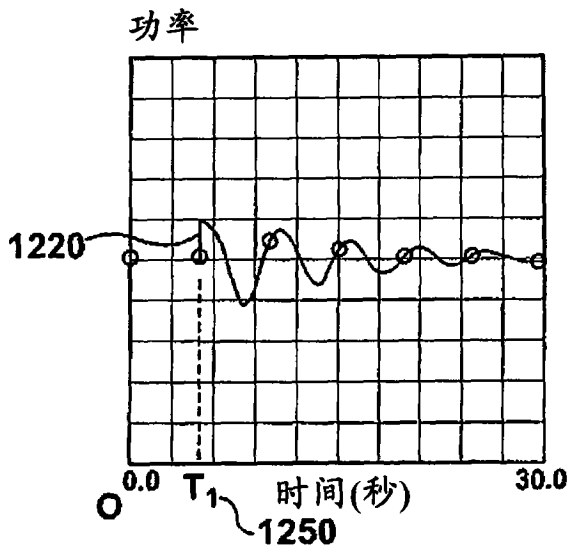


图 12B

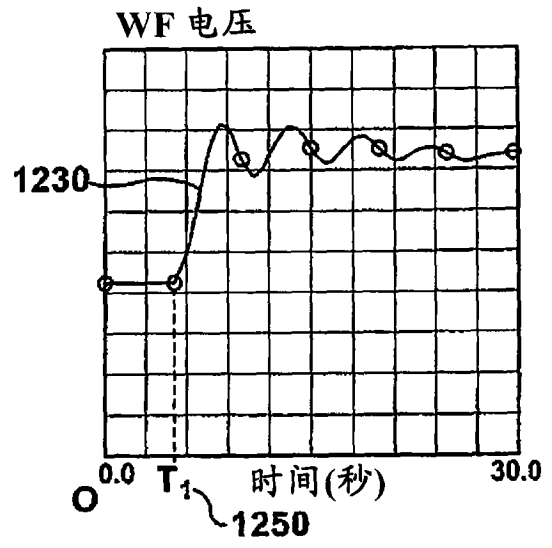


图 12C

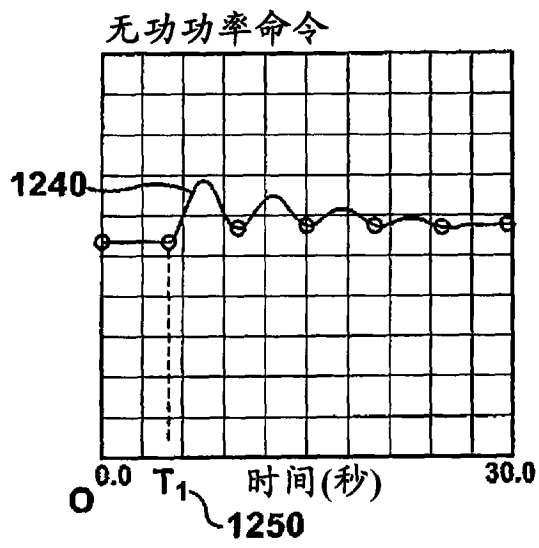


图 12D