



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107769255 A

(43)申请公布日 2018.03.06

(21)申请号 201711181190.1

(22)申请日 2017.11.23

(71)申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

(72)发明人 程鹏 王鸣迪 杨新九 刘阔 韩孝乾 赵旭冉 王晓超 李睿焯 成倩

(51) Int. Cl. H02J 3/38(2006.01)

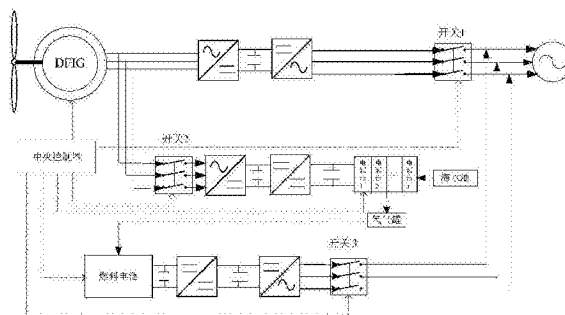
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统及其控制方法

(57)摘要

本发明提供的是一种基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统及其控制方法。包括变速恒频风力发电机组、海水池、电解池和燃料电池，发电机组连接PWM变流器输入端，PWM变流器输出端经总控制开关连接电网；发电机组发出的电依次经过电解池控制开关、电解池整流器后降压输送到电解池；氢气罐连接燃料电池给燃料电池输送氢气；燃料电池输出电升压经逆变器、燃料电池控制开关输送到电网；中央控制器分别连接发电机组、电解池、燃料电池、总控制开关、电解池控制开关和燃料电池控制开关。本发明的通过风电制氢能不断增加变速恒频发电系统的总功率，能够使得风力发电机承受的风速能够分阶段不断增加，省去变桨距过程，节省风电机的制造成本。



1. 一种基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统,包括变速恒频风力发电机组、海水池、电解池和燃料电池,其特征是:变速恒频风力发电机组连接PWM变流器输入端,PWM变流器输出端经总控制开关连接电网;变速恒频风力发电机组发出的电依次经过电解池控制开关、电解池整流器后降压输送到电解池;氢气罐连接燃料电池给燃料电池输送氢气;燃料电池输出电经逆变器、燃料电池控制开关输送到电网;中央控制器分别连接变速恒频风力发电机组、电解池、燃料电池、总控制开关、电解池控制开关和燃料电池控制开关。

2. 根据权利要求1所述的基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统,其特征是:所述变速恒频风力发电机组为双馈异步风力发电机。

3. 一种基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统的控制方法,其特征是:

包括起动区、最大风能追踪区、恒转速区、接入电解池区,分别控制在以下模式运行:

模式一:当变速恒频风力发电机组在起动区运行时,采用定桨距自启方式,达到自启动速度后启动,变速恒频风力发电机组将发出的电经过整流后供给电解池,产生氢气,并将氢气输送到燃料电池,燃料电池发出的电经逆变后供给电网;

模式二:当变速恒频风力发电机组运行到起动区末端点后,变速恒频风力发电机组在最大风能追踪区运行,变速恒频风力发电机组停止给电解池供电,变速恒频风力发电机组并网运行在最高转速以下,实行最大风能追踪控制变速运行,变速恒频风力发电机组转速随风速作相应变化,变速恒频风力发电机组控制子系统通过发电机的输出功率控制来调节转速;

模式三:当变速恒频风力发电机组运行到最大风能追踪区末端点后,变速恒频风力发电机组在恒转速区运行,变速恒频风力发电机组不再进行最大风能追踪,而是利用发电机子系统控制发电机的输出功率达到最大,在允许最大转速上恒转速发电运行;

模式四:当变速恒频风力发电机组运行到恒转速区末端点后,变速恒频风力发电机组达到额定功率,并入电解池使整个系统额定功率变大,如果变速恒频风力发电机组的转速继续增大,中央控制器控制重新进行最大风能追踪,如果最高转速没超过最大风速则在此条件下继续运行,如果最大风速超过最大转速,则重复模式三、模式四过程;

模式五:当遇到故障或不可抗力导致变速恒频风力发电机组不能继续运行时,中央控制器控制变速恒频风力发电机组脱网,风力机停止工作,燃料电池利用储存的氢气进行反应,继续向电网供电。

基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种风力发电系统,本发明也涉及一种风力发电系统的控制方法。

背景技术

[0002] 随着经济高速发展对电能依赖程度的加剧,电力系统的规模不断增大,结构日趋复杂。电能生产、传输与消费环节之间的强耦合性使得针对局部扰动的不恰当处置可导致影响范围扩大,甚至诱发恶性连锁反应,酿成大面积停电事故。近年来,由于可再生能源发电大规模接入电力系统以及强随机、突发性极端自然灾害的频发,发生这种大面积停电的风险还有逐步增大的趋势。

[0003] 近年来,国家大力发展风电,有大规模的资金扶持,几万千万瓦级、几十万千万瓦级甚至千万千万瓦级的风电场相继大量上马,不但从国外引进先进的大型发电机组,国内企业也在制造更多的大型风力发电机组。近几年的情况是制造风力发电机或引进风力发电机的企业大有斩获,获得了不菲的收益,而接受和运行、管理这些机组的企业的实际情况,却是不大乐观的,甚至有人称现在的这种风电是“垃圾电”。

[0004] 而利用风力发电制氢可以有效缓解该现状,氢能源是能够储存的,可以直接提供给发电厂发电。风小电量小时电解的氢气数量较少,风大电量小时产生的氢气就很多,在整个的发电制氢过程中所有的电能都可以全部的转化为氢气。更有意义的是切实的达到了大量减少二氧化碳的目的,这才是真正的取之不尽用之不竭的可循环往复的可持续发展的干净能源。

[0005] 弃风是指在风电发展初期,风机处于正常情况下,由于当地电网接纳能力不足、风电场建设工期不匹配和风电不稳定等自身特点导致的部分风电场风机暂停的现象。2011年至2016年,我国弃风电量累计达到997亿千瓦时,直接经济损失超过530亿元。仅过去一年弃风电量就达到339亿千瓦时,直接经济损失超180亿元,几乎抵消全年风电新增装机的社会效益。因此,现在迫切需要解决问题是:在最大限度提高风能利用率同时,使风力发电机组在各种风速下都能稳定运行并发电,减少弃风现象。

[0006] 申请号为201510481776.4,名称为一种风-氢-水-电混合能源系统拓扑结构及其控制方法,公开的是关于风电制氢控制方法的技术方案,但此技术方案并没有提高弃风的利用率,而是一种单纯利用电解氢气提高电能质量的技术方案;申请号为201620643333.0,名称为一种基于PLC控制的风电制氢控制系统中,只解决了风电制氢的智能化控制问题;申请号为201610365954.1的专利文件中公开的一种“风电制氢装置及控制方法”,以及申请号为2010105129.5的专利文件中公开的“一种海上风电功率/频率控制方法”,只能在一定程度上预测和控制电网调度实现最优分配;申请号为201210057067.X的专利文件中公开的“非并网风电制氢装置”,以及申请号为201510486504.3的专利文件中公开的“离网型风电制氢转换系统”,并不能发电的同时给电网供电;申请号为201010538149.7的专利文件中公开的“一种风电制氢调控并网系统”,利用风电制氢解决风电并网问题。以上专利文件中公

开的技术方案均未从根本上解决弃风问题。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种能提高风机发电效率,实现风、氢、电、海水等能源的合理利用的基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统。本发明的目的还在于提供一种基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统的控制方法。

[0008] 本发明的目的是这样实现的:

[0009] 本发明的基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统包括变速恒频风力发电机组、海水池、电解池和燃料电池,变速恒频风力发电机组连接PWM变流器输入端,PWM变流器输出端经总控制开关连接电网;变速恒频风力发电机组发出的电依次经过电解池控制开关、电解池整流器后降压输送到电解池;氢气罐连接燃料电池给燃料电池输送氢气;燃料电池输出电经升压经逆变器、燃料电池控制开关输送到电网;中央控制器分别连接变速恒频风力发电机组、电解池、燃料电池、总控制开关、电解池控制开关和燃料电池控制开关。

[0010] 所述变速恒频风力发电机组为双馈异步风力发电机。

[0011] 本发明的基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统的控制方法为:

[0012] 包括起动区、最大风能追踪区、恒转速区、接入电解池区,分别控制在以下模式运行;

[0013] 模式一:当变速恒频风力发电机组在起动区运行时,采用定桨距自启方式,达到自启动速度后启动,变速恒频风力发电机组将发出的电经过整流后供给电解池,产生氢气,并将氢气输送到燃料电池,燃料电池发出的电经逆变后供给电网;

[0014] 模式二:当变速恒频风力发电机组运行到起动区末端点后,变速恒频风力发电机组在最大风能追踪区运行,变速恒频风力发电机组停止给电解池供电,变速恒频风力发电机组并网运行在最高转速以下,实行最大风能追踪控制变速运行,变速恒频风力发电机组转速随风速作相应变化,变速恒频风力发电机组控制子系统通过发电机的输出功率控制来调节转速;

[0015] 模式三:当变速恒频风力发电机组运行到最大风能追踪区末端点后,变速恒频风力发电机组在恒转速区运行,变速恒频风力发电机组不再进行最大风能追踪,而是利用发电机电子系统控制发电机的输出功率达到最大,在允许最大转速上恒转速发电运行;

[0016] 模式四:当变速恒频风力发电机组运行到恒转速区末端点后,变速恒频风力发电机组达到额定功率,并入电解池使整个系统额定功率变大,如果变速恒频风力发电机组的转速继续增大,中央控制器控制重新进行最大风能追踪,如果最高转速没超过最大风速则在此条件下继续运行,如果最大风速超过最大转速,则重复模式三、模式四过程;

[0017] 模式五:当遇到故障或不可抗力导致变速恒频风力发电机组不能继续运行时,中央控制器控制变速恒频风力发电机组脱网,风力机停止工作,燃料电池利用储存的氢气进行反应,继续向电网供电。

[0018] 目前,变速恒频风力发电系统一般都采用变桨距风力机来实现最大风能追踪,采用的发电机主要是双馈异步风力发电机和永磁同步风力发电机两种。而本发明通过风电制氢来不断增加变速恒频发电系统的总功率,省去了复杂的变桨距过程,采用定桨距风力机同样实现系统稳定运行。这样既简化了控制过程和结构,减轻风力发电机组的重量,节约大

量成本,同时也不存在定桨距失速和效率低等问题,又可以增加弃风利用率,提高电能质量和效益。

[0019] 本发明提出了一种变速恒频定桨距海上风电制氢的控制方法,利用定桨距控制方式,节省风力发电机制造成本,增加弃风利用率,提高风电电能质量,即避免或尽可能减少弃风,以提高风机发电效率,实现风、氢、电、海水能源合理利用。

[0020] 有益效果:本发明的系统和控制方法通过风电制氢能不断增加变速恒频发电系统的总功率,能够使得风力发电机承受的风速能够分阶段不断增加,省去变桨距过程,节省风电机的制造成本,始终使风机在最大的效率上运行,减少风能的浪费,大大提高弃风利用率或完全消除弃风所造成的电能浪费,并实现风、氢、电、海水能源合理利用。

附图说明

[0021] 图1为双馈风力发电机组系统的拓扑结构。

[0022] 图2为本发明的发电系统的运行区域。

具体实施方式

[0023] 下面举例对本发明做更详细的描述。

[0024] 结合图1,本发明的基于海上风电制氢的变速恒频风力发电系统包括变速恒频风力发电机组(本实施方式采用双馈异步风力发电机)、海水池、电解池、燃料电池。其中双馈异步风力发电机连接双极性PWM输入端,双极性PWM变流器输出端经总控制开关1连接电网;电解池接受风力发电机发出的电,产生氢气,风力发电机发出的电依次经过电解池控制开关2、电解池整流器后降压输送到电解池;电解池将电解产生的氢气储存在氢气罐内,氢气罐连接燃料电池给燃料电池输送氢气;氢气在燃料电池内与空气中的氧气反应产生电能,燃料电池输出电经逆变器、开关3输送到电网。系统由中央控制器控制,分别连接双馈异步风力发电机、电解池、燃料电池、总控制开关、电解池控制开关1和燃料电池控制开关3。

[0025] 本发明基于变速恒频风力发电系统控制策略,分为四个区域来实施控制,即起动区、最大风能追踪区、恒转速区、接入电解池区,如图2所示。AB段为起动区,此段风速从接近零上升到切入风速,切入风速以下发电机与电网脱离,风速大于或等于切入风速时发电机并网发电。BC段为最大风能追踪区,此时风电机组已并网且运行在最高转速以下,风力机桨距角处于不调节的定桨距运行状态。CD段为恒转速区,此时风电机组已达到最高转速,风力机的机械功率达到最大,但风力机的电气输出功率尚未达到额定输出状态。DE段为接入电解池区,此时风力机组电气输出功率即将达到最大,系统并入电解池,系统总额定功率增大,这时系统有一个新的最大转速,中央控制器随着风速继续增大进行控制,实现最大风能追踪,重复BC段工作过程。当再次达到最大转速后,重复CD段工作过程。风力机组输出功率再次达到最大,重复DE段工作过程。

[0026] 当双馈异步风力发电机起动在AB段运行时,此时发电机未并网,利用中央控制器采用模式一运行。模式一具体为发电机在AB段时,这里采用定桨距自启方式,风力发电机安装一个叶尖阻尼板和机械刹车装置,达到自启动速度后启动,发电机将发出的电经过整流后供给电解池,产生氢气,并将氢气输送到燃料电池,燃料电池发出的电经逆变后供给电网。

[0027] 当双馈异步风力发电机运行到B点时,中央控制器控制电解池脱网,风力发电机停止给电解池供电,同时风力发电机并网,采用模式二运行。模式二具体为发电机运行到BC段时,电能质量和电量满足电网需求,发电机停止给电解池供电,风电机组并网运行在最高转速以下。该区域实行最大风能追踪控制变速运行,风电机组风转速随风速作相应变化,发电机控制子系统通过发电机的输出功率控制来调节转速。

[0028] 当双馈异步电机运行到C点时,风电机组达到最高机械转速,但风力机输出功率未达到允许的额定输出状态,为保护机组不过载,采用模式三运行。模式三具体为在CD段,风力发电机不再进行最大风能追踪,而是利用发电机子系统控制发电机的输出功率达到最大,确保在允许最大转速上的恒转速发电运行。

[0029] 当双馈异步电机运行到D点时,中央控制器控制电解池并网,风力发电机向电解池供电,电解池向燃料电池提供氢气,燃料电池并入电网,采用模式四运行。模式四具体为风电机组达到额定功率,并入电解池使整个系统额定功率变大,此时风电机组的转速可以继续增大,中央控制器控制重新进行最大风能追踪,如果最高转速没超过最大风速,则在此条件下继续运行,如果最大风速超过最大转速,则重复模式三、模式四过程。

[0030] 当遇到故障或不可抗力导致风力机不能继续运行时,中央控制器控制风力机组脱网,风力机停止工作,采用模式五。模式五具体为风力机脱网,风电机组停止工作,燃料电池利用储存的氢气进行反应,继续向电网供电。

[0031] 风力机是风力发电系统中能量转换的首要环节,用来截获流动空气所携带的动能,并将其中一部分转换为机械能。因此,不仅决定了整个风电系统的输出功率,而且直接影响风电机组的运行安全、稳定、可靠等性能,是风电系统的关键。风力机的从输出功率可表达为

$$[0032] \quad P_V = \frac{1}{2}(\rho S_w v)v^2 = \frac{1}{2}\rho S_w v^3 \quad (1)$$

[0033] 式中, ρ 为空气密度; S_w 为风力机叶片扫风掠面积; v 为进入风力机扫掠面之前的空气流速(即未扰动风速)。

[0034] 由于通过风轮旋转面的风能并非全部都能被风力机吸收,故定义风能系数 C_p 来表征风力机捕获风能的能力,这样风力机的输出机械功率为

$$[0035] \quad P_a = C_p P_V = \frac{1}{2}\rho S_w v^3 C_p = \frac{\pi}{8}\rho D_w^2 v^3 C_p \quad (2)$$

[0036] 式中, D_w 为风轮的直径。

[0037] 一个特定的定桨距风力机具有唯一的可使 C_p 达到最大值的叶尖速比,称为最佳叶尖速比 λ_{opt} ,其对应的 C_p 为最大风能利用系数 C_{pmax} 。在某一固定的风速 v 下,随着风力机转速 n_w 其 C_p 值会作出相应变化,从而使风力机输出的机械功率 P_a 发生变化。不同风速下定桨距风力机最大功率点 P_{opt} 的连线成为最佳功率曲线,运行在 P_{opt} 曲线上风力机将获得最大风能,输出最大功率 P_{max} :

$$[0038] \quad P_{max} = k_w \omega_w^3 \quad (3)$$

[0039] 式中, $k_w = 0.5\rho S_w (R_w/\lambda_{opt})^3 C_{pmax}$,是与风力机有关的常数。由此可以表明,一台确定的风力机其最佳功率曲线也确定,其最大功率与转速成三次方关系。

[0040] 如图2,当双馈异步风力发电机从A点起动,并保持在起动区,还不足以将风力发电

机组拖动到切入的转速;或者风力发电机组从小功率状态切出,没有重新并入电网,这时的风力机处于自由转动状态,机械刹车已松开,叶尖阻尼板已收回,风轮处于迎风状态,电能质量和电量不满足电网需求,这时开关1断开,开关2闭合,双馈异步风力发电机供电给电解池1,电解池1工作电解海水产生氢气,当氢气罐内气压达到其最大值时,氢气罐向燃料电池传输氢气,燃料电池工作,这时开关3闭合,燃料电池向电网输送稳定的是交流电。

[0041] 当双馈异步风力发电机功率达到B点时,发电机控制子系统调节定子电压使其满足并网条件,采用模式2运行,这时中央控制器控制开关1闭合,开关2断开,风力发电机向电网供电停止向电解池供电,当氢气罐内气压低于其最小值时,停止向燃料电池提供氢气,燃料电池停止工作,开关3断开。此时风力机实行最大风能追踪控制的变速运行,采用磁场定向的矢量变换控制策略,风电机组的转速随风速做相应变化,以确保风力机的风能利用系数始终保持最大值 C_{pmax} ,根据公式可知风力机功率始终为该风速下的最大值。

[0042] 当双馈异步风力发电机功率达到C点时,风电机组达到最高转速,风力机输出功率为达到额定输出状态,模式三启动,不再进行最大风能追踪运行,中央控制器通过子系统控制发电机的输出功率,确保在允许额定功率上的恒转速发电运行。

[0043] 当双馈异步风力发电机达到D点额定功率时,如果外界风速继续变大,模式四启动,中央控制器控制开关2闭合,控制电解池1启动,风力机组的额定功率为 P_c ,电解池1的额定功率为 P_{c1} ,此时系统的总额定功率应该为 P_c+P_{c1} ,根据公式(3)可知风力机的最大转速 ω_w 变为原来的 $\sqrt[3]{(P_c+P_{c1})/P_c}$ 倍,所以风力机组所能承担的最大风速也变为原来的 $\sqrt[3]{(P_c+P_{c1})/P_c}$ 倍。此时风力发电系统有一个新的最大转速,中央控制器重新启动最大风能追踪,这时系统功率曲线在DE电解池区,风电机组的转速随风速作相应变化。这里电解池1的额定功率最好选择与风力机组额定功率相近,太大会造成系统总功率降到起动区,太小对系统承担风速提升较小。当氢气罐内气压大于其最高气压时,氢气罐向燃料电池提供氢气,燃料电池工作,开关3打开,燃料电池发出的电经逆变后在合适时机接入电网。当风速持续增大达到风电机组最高转速,重复恒转速区工作。当风力发电机组再次达到最大额定功率时,中央控制器控制电解池2并入系统,重复电解池区工作,这时系统总额定功率为 $P_c+P_{c1}+P_{c2}$,风力机最大转速变为最初的 $\sqrt[3]{(P_c+P_{c1}+P_{c2})/P_c}$ 倍,风力机组所能承担的最大风速也变为最初的 $\sqrt[3]{(P_c+P_{c1}+P_{c2})/P_c}$ 倍。同样电解池2的功率应该与 P_c+P_{c1} 相近。同理,在风速无限提高的时候,系统有n个电解池来提高系统的总额定功率,第n个电解池的功率应为

[0044] $P_\Sigma = P_c + P_{c1} + P_{c2} \dots + P_{cn}$ 风力机最大转速变为最初的 $\sqrt[3]{(P_\Sigma)/P_c}$ 倍,风力机组所能承担的最大风速也变为最初的 $\sqrt[3]{(P_\Sigma)/P_c}$ 倍,理论上系统可以在任意风速下达到最佳功率,不会造成弃风的浪费。

[0045] 当双馈异步风力发电机出现故障或不可控因素导致不能工作时,中央控制器控制模式五开始工作,叶尖阻尼板启动,风电机组失速,开关1、开关2断开,风力机组脱网,不在向电解池和电网供电,此时氢气罐继续向燃料电池提供氢气直至氢气罐内气压低于最低气压时,燃料电池停止工作,开关3断开,停止向电网输送电能。

[0046] 根据风电场具体情况,可以将双馈风力发电机组替换为永磁同步发电机组。

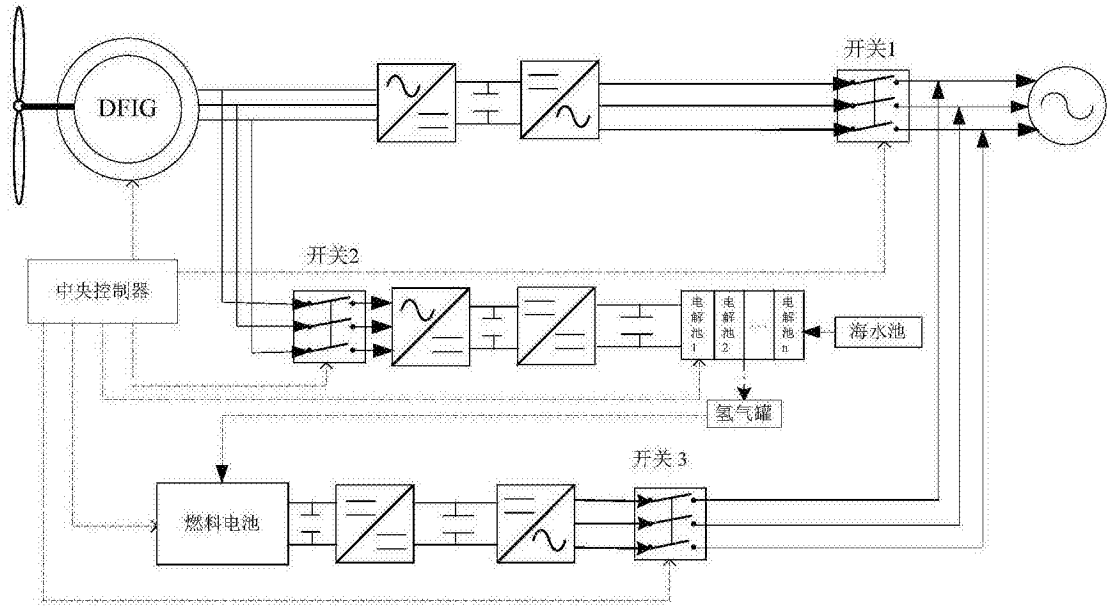


图1

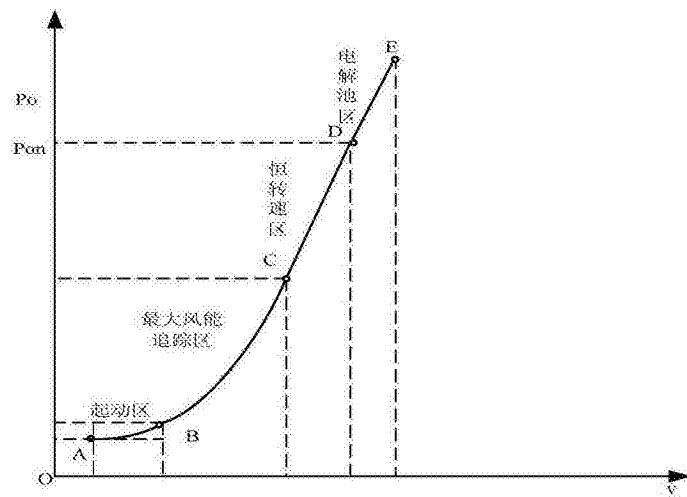


图2