

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 609**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

G05F 1/66 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.01.2015** **PCT/EP2015/050610**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.07.2015** **WO15110336**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2015** **E 15700262 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020** **EP 3097622**

54 Título: **Regulación de parque eólico con comportamiento mejorado de saltos de valor de consigna**

30 Prioridad:

22.01.2014 DE 102014000790

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.02.2021

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY
SERVICE GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**SCHRÖTER, THOMAS;
GEISLER, JENS;
OTT, THOMAS y
BLUHM, ROMAN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 804 609 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Regulación de parque eólico con comportamiento mejorado de saltos de valor de consigna

La invención se refiere a un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas, que presentan en cada caso un control de funcionamiento, así como un maestro de parque para controlar las turbinas eólicas. En el maestro de parque se aplica una señal de valor de consigna para la potencia de salida del parque eólico, a partir de la cual el maestro de parque genera señales de consigna para las potencias de salida de las turbinas eólicas.

Debido al desarrollo creciente de las turbinas eólicas, es necesario que los parques eólicos también participen en la regulación de red. Para ello, los parques eólicos pueden obtener de los operadores de red valores de consigna para la potencia activa que ha de ser suministrada. Así, en particular en situaciones de viento fuerte, la potencia activa suministrada por el parque eólico se limita para evitar una sobrecarga de la red o un aumento no deseado de la frecuencia de red, lo que podría conducir a su vez a otros fallos de red. Estos valores de consigna especificados para un parque eólico no son estáticos, sino que pueden variar en función de condiciones de funcionamiento. En este contexto se pueden producir variaciones tanto hacia abajo, a potencias más bajas, como hacia arriba, a potencias más altas. Los valores de consigna se aplican en un maestro de parque del parque eólico. El maestro de parque incluye una regulación de la potencia suministrada por el parque eólico, de tal modo que actúa sobre la potencia activa suministrada por las turbinas eólicas individuales. Para ello, el maestro de parque suministra a las turbinas eólicas señales de valor de consigna correspondientes.

A este respecto se han dado a conocer dos modalidades diferentes para el maestro de parque. En una primera modalidad, en caso de una variación del valor de consigna, el maestro de parque suministra un nuevo valor de consigna uniforme a las turbinas eólicas. El valor de consigna uniforme para las turbinas eólicas ofrece la ventaja de un cálculo sencillo. Sin embargo, a cambio de ello, no es posible tener en cuenta los estados de funcionamiento de las turbinas eólicas individuales. Por ello, la regulación del maestro de parque ha de actuar muy lentamente, en particular para prevenir el riesgo de subimpulsos (que pueden conducir a pérdidas de ingresos considerables) en caso de reducciones de potencia. Sin embargo, una regulación tan lenta es desventajosa en la práctica. En la otra modalidad, el maestro de parque suministra valores de consigna individuales a las turbinas eólicas individuales. Esto tiene lugar teniendo en cuenta la potencia disponible de cada turbina eólica individual. El documento EP 2 028 368 A2 da a conocer un concepto de este tipo (la forma en dos partes de las reivindicaciones 1 y 12 se basa en este documento).

La ventaja consiste en una adaptación precisa a las condiciones respectivas de las turbinas eólicas individuales. Sin embargo, esto tiene la desventaja de depender en gran medida de la exactitud de la capacidad de determinación de las potencias disponibles. Otra desventaja consiste en que este concepto es sumamente costoso y genera mucho tráfico de datos en redes de señales del parque eólico. Por lo tanto, debido a estos grandes requisitos de tráfico de datos, que no siempre se pueden satisfacer en tiempo real, en la práctica este concepto no es muy a prueba de fallos. El documento US2012/0053751 A1 describe un parque eólico y un "maestro de parque" con un regulador de potencia, que prevé un control predictivo ("Model Predictive Control").

La invención tiene por objetivo crear una regulación mejorada que combine las preferencias de una mayor rapidez con estabilidad y poco gasto.

La solución según la invención radica en las características indicadas en las reivindicaciones. Las reivindicaciones dependientes tienen por objeto perfeccionamientos ventajosos.

En un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas, que presentan en cada caso un control de funcionamiento, así como un maestro de parque para controlar las turbinas eólicas que incluye una regulación de potencia, en la que se aplica una señal de valor de consigna para una potencia de salida del parque eólico y que suministra una señal de consigna para la potencia de salida de la turbina eólica, según la invención está previsto que la regulación de potencia presente un predictor configurado para determinar valores de consigna corregidos para la turbina eólica en caso de una variación de la señal de valor de consigna para el parque eólico, siendo aplicados los valores de consigna corregidos al regulador de potencia.

La invención se basa en el conocimiento de que mediante un predictor es posible obtener rápidamente, después de una variación del valor de consigna para el parque eólico, un nuevo ajuste para un valor de consigna preferiblemente uniforme para las turbinas eólicas. Gracias al predictor se puede llegar al nuevo valor que ha de ser ajustado con más precisión de lo que era posible hasta ahora. De este modo ya solo se requiere poco reajuste. Por lo tanto, es robusto en cuanto a su comportamiento de ajuste y en particular evita un déficit, es decir, el ajuste de un valor de consigna demasiado bajo, con la consecuencia no deseada de una pérdida de ingresos que en ocasiones es considerable. De este modo, gracias al predictor según la invención se minimizan las pérdidas. Además, el predictor solo requiere un gasto relativamente bajo, ya que permite prever un valor de consigna central para la turbina eólica del parque y hace innecesarios los valores de consigna individuales, que solo se pueden transmitir de forma costosa. La invención permite lograr, también con un predictor relativamente fácil de parametrizar, una mejora considerable del comportamiento del parque eólico en caso de saltos de valor de consigna.

Una ventaja sorprendente del predictor según la invención consiste en que es robusto frente a diferentes condiciones de funcionamiento de las turbinas eólicas individuales en el parque. Esto tiene una gran importancia práctica, en particular porque, precisamente en caso de parques eólicos grandes, con frecuencia se producen diferentes velocidades del viento en las distintas áreas del parque eólico. Por lo tanto, las turbinas eólicas presentan diferentes condiciones de funcionamiento y pueden producir cantidades de potencia diferentes. El mérito de la invención consiste en haber reconocido que el predictor según la invención también conduce a resultados muy favorables en la práctica bajo estas condiciones difíciles. En el estado actual de la técnica no existe ningún tipo de orientación a este respecto.

A continuación, primero se explican algunos conceptos utilizados:

Por un valor de consigna se entiende un valor especificado para una potencia activa que puede ser suministrada como máximo por una turbina eólica o por el parque eólico. Debido a la naturaleza de una turbina eólica, ésta no siempre puede alcanzar este valor de consigna en caso de condiciones de viento débil; en cambio, si sopla suficiente viento, no ha de superar dicho valor. Las señales de valor de consigna pueden tener lugar como especificación de potencia absoluta (por ejemplo en kW o MW), o también pueden estar previstas como, así llamadas, magnitudes normalizadas (por regla general en relación con la potencia nominal y, por lo tanto, de forma adimensional, como un dato porcentual). La invención permite que las turbinas eólicas del parque eólico obtengan el mismo valor de consigna. No obstante, esto no es forzosamente necesario, también es igualmente posible formar grupos de turbinas eólicas dentro del parque eólico, obteniendo cada grupo su propio valor de consigna.

Por aplicación se entiende una actuación en el regulador de potencia, en concreto en sus señales de entrada y/o salida (en particular mediante aplicación aditiva o multiplicativa) y/o en el propio regulador de potencia (en particular como control previo, control posterior o aplicación de magnitudes de perturbación).

Preferiblemente, el predictor presenta un modelo inverso del parque eólico. De forma especialmente conveniente se trata de un modelo simplificado. El modelo simplificado ahorra tiempo de cálculo y sigue ofreciendo la ventaja considerable de ser mucho más fácil de parametrizar que un modelo complejo. La robustez ya mencionada del predictor según la invención también tiene un efecto positivo frente a imprecisiones del modelo, de modo que el predictor ya logra buenos resultados con un modelo simplificado.

Ventajosamente, el predictor presenta un estimador para la potencia disponible de la turbina eólica. Éste se basa en el conocimiento de que el valor final estacionario para la potencia de una turbina eólica en un funcionamiento limitado por valor de consigna consiste, por un lado, en el mínimo del valor de consigna de la turbina eólica y, por otro lado, en la potencia real momentánea de la turbina eólica determinada por las condiciones del viento. De este modo, la invención aprovecha la ventaja de que los valores necesarios se pueden medir con exactitud y/o por regla general ya están presentes de todos modos en el control de funcionamiento. Por lo tanto, un estimador basado en este concepto proporciona por un lado buenos resultados y requiere poco gasto.

Partiendo de esta base, mediante un estimador adicional se puede determinar fácilmente la potencia esperada del parque sumando las potencias de las turbinas eólicas individuales del parque eólico. Preferiblemente, a esta suma se le resta un valor por las pérdidas de potencia en el parque. El valor de estas pérdidas del parque se puede determinar a partir de la diferencia entre la suma de las turbinas eólicas individuales formada tal como se ha indicado más arriba, por un lado, y la potencia de salida total medida del parque eólico, por otro lado. Por lo tanto, la invención establece una relación entre el valor final estacionario estimado para la potencia suministrada por el parque P_{stat_Park} y el valor de consigna para la turbina eólica según

$$P_{stat_Park} = \left(\sum_i \min(P_{ist}(i), P_{s_WEA}) \right) - P_v$$

en donde P_v es la pérdida de potencia del parque eólico anteriormente explicada, $P_{ist}(i)$ es la potencia real momentánea de la turbina eólica i y P_{s_WEA} es el valor de consigna uniforme para todas las turbinas (del parque eólico o del grupo dentro del parque eólico).

Convenientemente, el predictor presenta un modelo de parque inverso con un módulo de diferencia de potencia y un contador, en donde el módulo de diferencia de potencia está configurado para determinar un valor de potencia que le falta al nuevo valor de consigna para el parque eólico, y el contador está provisto de un filtro que solo registra turbinas eólicas con una reserva de potencia positiva. En este contexto, por un valor de potencia que falta se entiende la diferencia de potencia existente entre el valor de consigna previsto para la potencia de las turbinas eólicas y la potencia disponible de éstas. Si la potencia disponible es mayor, se habla de una "diferencia de potencia positiva". Por lo tanto, el módulo de diferencia de potencia determina si una turbina eólica puede suministrar la potencia de consigna que se espera de ella (es decir, si tiene reserva de potencia) y, en caso negativo, cuál es la magnitud del déficit (cantidad de potencia que falta). Por otro lado, el contador registra la cantidad de turbinas eólicas que presentan una diferencia de potencia positiva, es decir, que tienen reserva de potencia. A partir de ello se determina una corrección que se añade al valor de consigna para la turbina eólica. Preferiblemente, esto tiene lugar de tal modo que el déficit total (suma de la potencia que falta), determinado por el módulo de diferencia de potencia, se divide entre la cantidad de turbinas eólicas con reserva de potencia registradas por el contador. Esto se puede realizar, por ejemplo, mediante un elemento

de distribución correspondiente. Después se genera una señal de corrección que se suministra adicionalmente a las turbinas eólicas.

En este contexto, la invención aprovecha el hecho de que de este modo se puede suministrar un valor de consigna uniforme a todas las turbinas eólicas. Gracias al modelo de parque inverso se puede aumentar el valor de consigna para todas las turbinas eólicas de forma correspondiente al déficit, siendo esta corrección mayor cuanto menor es el estado del contador para la cantidad de turbinas que realmente son capaces de suministrar la potencia deseada. Por lo tanto, según la invención, mediante la señal de corrección se "predice" hacia arriba en lo que respecta a la potencia, en concreto en mayor medida cuanto mayor es el déficit y en consecuencia la demanda, por un lado, y cuanto menor es la cantidad de las turbinas disponibles para cubrir este déficit de potencia, por otro lado. De este modo, las turbinas eólicas contribuyen de forma totalmente individual al aumento de potencia también en caso de un valor de consigna uniforme, aportando las turbinas eólicas con reserva de potencia una potencia de corrección adicional determinada metódicamente para compensar el déficit de potencia en turbinas eólicas débiles. De esta forma se evitan de modo elegante y sencillo las desventajas de los sistemas conocidos, que consisten en que éstos son lentos (cuando primero se suministra un nuevo valor de consigna en la magnitud del valor especificado y después el valor de consigna se ajusta en una variación iterativa hasta que el valor real se aproxima al valor especificado) o son muy caros (cuando se han de suministrar valores de consigna diferentes a las turbinas eólicas individuales).

El mérito de la invención consiste en haber reconocido que el control de las turbinas eólicas en el parque eólico puede tener lugar de todos modos mediante el mismo valor de consigna corregido, de manera que basta con determinar un único valor de consigna y suministrar el mismo a las turbinas eólicas, ya que el valor de consigna aumentado no influye en modo alguno en aquellas turbinas eólicas que en cualquier caso no son capaces de alcanzar el nuevo valor de consigna (por ejemplo porque las condiciones del viento son desfavorables en las mismas y por lo tanto éstas producen una potencia deficiente), dado que en cualquier caso no pueden aportar la potencia aumentada; por lo tanto, la corrección no tiene ningún efecto en estas turbinas eólicas. En cambio, en las turbinas eólicas que tienen una reserva de potencia, por ejemplo debido a unas condiciones del viento más favorables, mediante la señal de corrección se alcanza el aumento de potencia deseado. Dado que la cantidad de estas turbinas eólicas se ha determinado mediante el contador y que la magnitud de la corrección se ha determinado correspondientemente a dicha cantidad (cuanto mayor es la cantidad de las turbinas capaces, menor es la contribución adicional que ha de aportar cada una de ellas), de este modo se logra una buena predicción para la potencia de salida. Por lo tanto, se puede ir rápidamente y sin grandes desviaciones al nuevo valor de consigna.

Si bien con esta forma de realización de la invención relativamente sencilla ya se obtienen resultados bastante buenos, la invención prevé otra forma de realización que, con un gasto algo más alto, logra resultados todavía mejores. Para ello, el predictor con su modelo de parque inverso presenta un clasificador que clasifica las turbinas eólicas del parque eólico en función de su potencia de salida actual y suministra una lista de clasificación correspondiente (con las turbinas eólicas y la potencia de salida como elementos). De este modo se puede determinar cuántas turbinas eólicas pueden seguir el ritmo, es decir, proporcionar suficiente potencia, hasta qué valor especificado. Por lo tanto se puede reaccionar de forma más sensible a los requisitos de potencia adicional. Preferiblemente está previsto que el predictor incluya un aproximador que forma una función lineal por tramos basada en la lista de clasificación creada por el clasificador, siendo los elementos de la lista de clasificación puntos de apoyo para la función lineal por tramos. De este modo, mediante una interpolación lineal es posible un cálculo directo de la potencia suministrada en total por el parque eólico. La interpolación lineal ofrece además la ventaja de que las secciones lineales respectivas se pueden invertir fácilmente, es decir, que su función inversa se puede determinar tanto fácilmente como con exactitud. Con este fin está previsto preferiblemente un módulo inverso en el que se implementa una función inversa de la función lineal por tramos. Por lo tanto, para cada valor de consigna especificado para la potencia de parque se puede determinar de forma sencilla y directa qué magnitud ha de tener el valor de consigna para las turbinas eólicas y cuántas turbinas eólicas serán capaces de aportar este valor de potencia o cuáles están ya en su límite de potencia debido a las condiciones reinantes (condiciones del viento).

La invención se refiere además a un procedimiento correspondiente para el funcionamiento de un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas, que presentan en cada caso un control de funcionamiento, así como un maestro de parque con un regulador de potencia para controlar las turbinas eólicas, en donde en el maestro de parque se aplica una señal de valor de consigna para la potencia de salida del parque eólico, y a partir de la misma el maestro de parque genera y suministra señales de consigna para la potencia de salida de la turbina eólica, que incluye una predeterminación de la señal de consigna para la potencia de salida de la turbina eólica por medio de un predictor, que está configurado para determinar valores de consigna corregidos para las turbinas eólicas en caso de una variación de la señal de valor de consigna para el parque eólico, y una aplicación de los valores de consigna corregidos en el regulador de potencia. Para una explicación más detallada, véase la descripción anterior.

La invención se explica más detalladamente a continuación con referencia a ejemplos de realización ventajosos. Muestran:

la figura 1 una representación sinóptica de un parque eólico con varias turbinas eólicas y un maestro de parque con un predictor;

la figura 2 una representación esquemática del maestro de parque con el predictor;

- la figura 3 un diagrama de bloques de un primer ejemplo de realización del predictor con un modelo de parque;
- la figura 4 un diagrama con curvas de potencia para el primer ejemplo de realización;
- la figura 5 un diagrama de bloques de un estimador adicional para determinar la potencia de salida esperada del parque eólico;
- 5 la figura 6 un diagrama de bloques de un segundo ejemplo de realización del predictor con un modelo de parque; y
- la figura 7 un diagrama para una curva de potencia según el segundo ejemplo de realización.

La invención se describe por medio de un ejemplo de un parque eólico, tal como está representado de forma ejemplar en la figura 1. El parque eólico incluye múltiples turbinas eólicas 1, estando previstas tres turbinas eólicas en el ejemplo de realización representado. Éstas presentan la misma construcción y para la identificación están indicadas con números romanos I, II o III. Cada una de las turbinas eólicas 1 presenta un generador (no representado) y un control 12 de funcionamiento. La energía eléctrica generada con el generador es suministrada a una red colectora 22 interna del parque, en la que están conectadas las turbinas eólicas 1. La red 22 interna del parque está conectada a una red 99 de alta tensión a través de un punto 29 de conexión (también designado como *Point of Common Coupling*, PCC). Normalmente, esto tiene lugar a través de un transformador de alta tensión (no representado). Además está previsto un maestro 2 de parque eólico, que realiza una regulación superior para las turbinas eólicas 1 del parque eólico. El maestro 2 de parque eólico está conectado con las turbinas eólicas 1 a través de una red 21 de líneas de señales especial interna del parque, más concretamente con los controles 12 de funcionamiento de las turbinas eólicas 1 respectivas.

En las turbinas eólicas 1 están dispuestos sensores 14 de medición para determinar la potencia suministrada por la turbina eólica 1 respectiva a la red colectora 22 interna del parque. Los resultados de medición así obtenidos se aplican en el control 12 de la turbina eólica respectiva y además en la red 21 de líneas de señales interna del parque. Además, en el punto 29 de conexión están previstos otros sensores 28 de medición que registran la potencia total suministrada por el parque y la aplican en forma de señal en el maestro 2 de parque. Además, en el maestro 2 de parque se aplica una señal de entrada para un valor de consigna de una potencia que ha de ser suministrada por el parque eólico P_{s_Park} . Se conduce a un regulador 3 de potencia incluido en el maestro 2 de parque para el parque eólico. El maestro de parque presenta además una conexión 24 de salida, por medio de la cual transmite señales de especificación de valor de consigna P_{s_WEA} a las turbinas eólicas 1 a través de la red 21 de datos interna del parque.

El maestro 2 de parque incluye un predictor 4 para el regulador 3 de potencia, que está aplicado a la salida del regulador 3 de potencia a través de un elemento 8 de aplicación. El predictor 4 incluye además un modelo 5 de parque inverso y un estimador 6.

Todos los valores de potencia utilizados en la siguiente explicación consisten en magnitudes normalizadas, es decir, las potencias están normalizadas a la potencia nominal.

El predictor 4 está configurado para, con un valor de consigna dado para la potencia de parque P_{s_Park} , hallar el valor de consigna normalizado para la potencia de las turbinas eólicas P_{s_WEA} con el que se establezca la potencia de consigna deseada del parque como potencia de parque estacionaria P_{stat_Park} . Para ello está previsto un modelo 5 de parque inverso simplificado. Éste incluye un módulo 50 de diferencia de potencia, un contador 56 y un filtro 54. En la entrada del módulo 50 de diferencia de potencia está previsto un elemento 51 de diferencia, en cuya primera entrada 52 se aplica el valor de consigna del parque eólico P_{s_Park} . En la entrada negativa 53 está aplicada la potencia real P_{ist} de la turbina eólica determinada por el sensor 14 de medición. Si en este contexto resulta un valor superior a cero, se trata de un déficit de potencia, es decir, el suministro de potencia real no cubre la potencia de consigna. En cambio, si el valor es inferior a cero, la turbina es capaz de producir una potencia de salida suficiente. Esto se comprueba mediante el filtro 54. Si el valor es superior a cero, el déficit de potencia resultante se suma mediante un elemento 55 de suma del módulo 50 de diferencia de potencia en las turbinas eólicas 1 individuales del parque eólico. Si el valor es inferior a cero, el contador 56 se incrementa en 1. Al final del cálculo, el módulo 50 de diferencia de potencia indica el déficit de potencia total resultante en la turbina eólica del parque, mientras que el contador 56 indica la cantidad de turbinas eólicas que pueden suministrar potencia adicional. En una etapa posterior, el déficit de potencia total resultante se divide mediante un elemento de división 57 entre la cantidad z de turbinas con capacidad productiva determinada por el contador 56 y de este modo se calcula un valor de potencia de corrección P_{korr} . En una etapa posterior, éste se suma al valor de consigna original para la potencia de parque P_{s_Park} a través de un elemento 8 de aplicación realizado como elemento de suma. Por lo tanto, el modelo 5 de parque inverso modifica la especificación de valor de consigna P_{s_WEA} y la aplica en las turbinas eólicas 1 individuales en la conexión 24 de salida del maestro 2 de parque a través de la red 21 de señales interna del parque.

De este modo se logra que aquellas turbinas eólicas que fundamentalmente son capaces de proporcionar una potencia de salida suficiente cubran el déficit de potencia provocado por las turbinas con capacidad insuficiente, dividiendo el déficit de potencia entre la cantidad de las turbinas con capacidad correspondiente. El predictor 4 determina en qué medida se ha de aumentar correspondientemente el valor de consigna para todas las turbinas eólicas.

Esto se explica a modo de ejemplo en la figura 4 para tres turbinas eólicas, en concreto por medio de un salto de valor de consigna (representado con línea de trazos) desde un 100% de la potencia de parque en un principio hasta un 40% de la potencia de parque (correspondientemente de 1,0 a 0,4 en representación normalizada). La turbina eólica II suministra una potencia suficientemente grande, mientras que las otras dos turbinas eólicas I, III no suministran suficiente potencia. Por lo tanto, estas dos turbinas eólicas generan una potencia deficiente en relación con el nuevo valor de consigna (representado en cada caso mediante las dos flechas en negrita que apuntan hacia abajo). Los déficits de potencia son de un 8% o un 22%, respectivamente, lo que corresponde a 0,08 o 0,22 en representación normalizada. Por lo tanto, en total resulta un déficit de potencia de un 30% (correspondiente a 0,30 normalizado). Este déficit de potencia se divide entre la cantidad de turbinas con suficiente capacidad de potencia (solo una en el ejemplo representado), y de este modo resulta un valor de incremento de un 30% (correspondiente a 0,30 normalizado) para todas las turbinas, tal como está representado en la figura mediante las barras con sombreado cruzado orientadas hacia arriba. Por lo tanto, como nuevo valor de consigna ya no se transmite 0,40, sino $0,40 + 0,30 = 0,70$ a las turbinas eólicas 1 (representado por una línea de trazos y puntos), y en concreto a todas las turbinas eólicas 1. Para las dos turbinas eólicas I, III con capacidad insuficiente, el aumento del valor de consigna es irrelevante, ya que en cualquier caso no pueden satisfacer dicho valor. Sin embargo, esto sí es importante para la turbina eólica II, que puede suministrar potencia adicional y ajusta la potencia de salida correspondientemente al valor de consigna incrementado, con lo que compensa el déficit de potencia de las otras dos turbinas. De este modo, en caso de un salto de valor de consigna se puede realizar una predicción, de manera que el nuevo valor se ajusta rápidamente sin que se produzcan grandes desviaciones.

Antes de describir un segundo ejemplo de realización, primero se explica la estructura del estimador 6. El estimador 6 incluye un formador 60 de mínimos con varias conexiones 61, 62 de entrada y una conexión 63 de salida. En la conexión 61 de entrada se aplica un valor para la potencia disponible de la turbina eólica 1 respectiva, tal como lo determina el sensor 14 de medición. En cambio, en la conexión 62 de entrada se aplica un valor para la potencia de consigna normalizada de la turbina eólica. A partir de estos dos valores de entrada, el formador 60 de mínimos genera una señal de salida, seleccionando y suministrando la señal más baja. En este contexto, el estimador 6 utiliza la potencia real momentánea como estimación de la potencia disponible, que no obstante está limitada por una especificación de la potencia de consigna máxima. Este valor se suministra en la conexión 63. Para cada una de las turbinas eólicas 1 se realiza una formación de mínimos de este tipo, y los resultados respectivos se suman mediante un dispositivo 65 de suma. En una etapa posterior, al valor de suma así formado se le resta, con un elemento 66 de diferencia, un valor para las pérdidas de potencia en el parque. Esta pérdida de potencia P_v es independiente del valor de consigna establecido y resulta de la diferencia entre la suma de las potencias reales de las turbinas eólicas 1 y la potencia total del parque eólico determinada por el sensor 28 de medición en el punto 29 de conexión. Se ha de señalar que, para simplificar, en el ejemplo de realización representado, el formador 60 de mínimos parte de valores de consigna normalizados idénticos para las turbinas eólicas 1 del parque.

De este modo se puede generar un valor final estacionario estimado para la potencia suministrada por el parque, de acuerdo con la relación

$$P_{stat_Park} = \left(\sum_i \min(P_{ist}(i), P_{S_WEA}) \right) - P_v$$

Un segundo ejemplo de realización del predictor 4, representado en la figura 6, presenta un modelo inverso más costoso. Como en el primer ejemplo de realización, en una entrada 52' se aplican señales para la potencia de $P_{ist}(i)$ realmente suministrada por las turbinas eólicas 1. Por medio de estas señales de potencia, las turbinas eólicas 1 se clasifican en orden creciente mediante un clasificador 51'. Por lo tanto, el clasificador 51' genera una lista 54' de clasificación. Ésta incluye como datos para la turbina eólica 1 en cada caso una medida para la potencia real normalizada, estando clasificada la lista 54' de clasificación en orden creciente. Mediante un aproximador 55' se forma una función lineal por tramos para la potencia de salida de todas las turbinas eólicas 1 del parque eólico. En este contexto, los valores de la lista 54' de clasificación sirven como puntos de apoyo. De este modo, en un primer segmento de la función lineal por tramos todas las turbinas eólicas funcionan a tope y el valor de consigna se puede incrementar a partir de cero, incrementándose en total la potencia suministrada por todo el parque eólico hasta que la primera turbina eólica conforme a la lista 54' de clasificación (es decir, la que presenta la potencia más débil) alcanza su valor máximo. Éste es el primer punto de apoyo (véase el punto A en la figura 7, aquí la turbina eólica I alcanza su valor máximo). A partir de este valor, esta turbina eólica (turbina eólica I) ya no participa en otros incrementos del valor de consigna, dado que ya suministra la potencia máxima posible para ella con las condiciones del viento respectivas. Con ello comienza un segundo segmento de la función lineal por tramos, que de este modo se extiende de forma algo más plana que el primer segmento. El segundo segmento así iniciado prosigue hasta que la siguiente turbina eólica según la lista 54' de clasificación alcanza a su vez su valor máximo (en el ejemplo de realización representado se trata de la turbina eólica III, en el punto B en la figura 7). En el tercer segmento que sigue a continuación, esta turbina eólica tampoco participa ya en un incremento del valor de consigna, dado que ya ha alcanzado su valor máximo. De este modo, el tercer segmento es algo más plano todavía. Éste termina donde la turbina eólica más potente alcanza su valor máximo (turbina eólica II, en el punto C en la figura 7). Al continuar incrementándose el valor de consigna para las turbinas eólicas, la potencia suministrada por el parque eólico ya no aumenta, dado que todas las turbinas eólicas funcionan con su valor máximo. Por lo tanto, después sigue un segmento horizontal (a partir del punto C en la figura 7). En la figura 7 se muestra una representación correspondiente para un parque eólico con tres turbinas eólicas,

representándose en las abscisas el valor de consigna normalizado para las turbinas eólicas P_{S_WEA} y en las ordenadas la potencia suministrada en total de forma estacionaria por el parque eólico P_{stat_Park} .

- 5 La función lineal por tramos establecida por el aproximador 55' se invierte mediante un módulo inverso 57'. Matemáticamente, esto tiene lugar mediante una fórmula de punto-pendiente conocida en sí, implementada en el módulo inverso 57'. La inversión resultante está representada esquemáticamente en el bloque 57'. A partir de ello se genera una tabla 58' de consulta. Por lo tanto, para cualquier valor de la potencia de consigna del parque eólico P_{S_Park} se puede calcular directamente qué valor de consigna normalizado corresponde para las turbinas eólicas individuales P_{S_WEA} (véanse las líneas en negrita y provistas de flechas en la figura 7). Este valor se aplica entonces correspondientemente y se suministra a las turbinas eólicas 1 individuales a través de la conexión 24.
- 10 Lo anterior se ha explicado con un ejemplo de un valor de consigna que se encuentra entre el segundo y el tercer punto de apoyo. A este respecto se ha de recordar que todos los datos de potencia están normalizados. Para la función implementada en el módulo inverso 57' es aplicable:

$$P_{S_WEA} = P_{i_WEA_B} + \frac{P_{i_WEA_C} - P_{i_WEA_B}}{P_{Park_C} - P_{Park_B}} * (P_{S_Park} - P_{Park_B})$$

- 15 En este contexto, P_{Park_B} y P_{Park_C} representan la potencia suministrada en total por el parque en los puntos de apoyo B y C, y los valores $P_{i_WEA_B}$ o $P_{i_WEA_C}$ las potencias alcanzadas por la segunda o la tercera turbina eólica, respectivamente, en la lista de clasificación.

REIVINDICACIONES

1. Parque eólico con al menos dos turbinas eólicas (1), que presentan en cada caso un control (12) de funcionamiento, así como un maestro (2) de parque con un regulador (3) de potencia para controlar las turbinas eólicas (1), en el que se aplica una señal de valor de consigna para la potencia de salida del parque eólico (P_{S_Park}) y que suministra señales de consigna para la potencia de salida de la turbina eólica (P_{S_WEA}),
5
caracterizado por que
la regulación (3) de potencia presenta un predictor (4) que está configurado para determinar valores de consigna corregidos para las turbinas eólicas (1) en caso de una variación de la señal de valor de consigna para el parque eólico, siendo aplicados los valores de consigna corregidos al regulador (3) de potencia.
- 10 2. Parque eólico según la reivindicación 1, caracterizado por que el predictor (4) comprende un modelo (5) de parque inverso preferiblemente simplificado.
3. Parque eólico según la reivindicación 2, caracterizado por que el predictor (4) comprende un estimador para la potencia disponible de la turbina eólica (1), que preferiblemente está configurado como un formador (60) de mínimos a partir de la potencia real de la turbina eólica y el valor de consigna de la turbina eólica.
- 15 4. Parque eólico según la reivindicación 3, caracterizado por que además está previsto un estimador adicional (6) para la potencia disponible del parque eólico, que está configurado para sumar la potencia determinada por el estimador (60) de las turbinas eólicas (1) y preferiblemente determina un valor estimado para una pérdida de potencia que ha de ser restada.
- 20 5. Parque eólico según una de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado por que el predictor (4) presenta un módulo (50) de diferencia de potencia y un contador (56), en donde el módulo (50) de diferencia de potencia está configurado para determinar un valor de potencia que le falta al nuevo valor de consigna de parque, y el contador (56) está provisto de un filtro (54) que solo registra turbinas eólicas con una reserva de potencia positiva.
6. Parque eólico según la reivindicación 5, caracterizado por que está previsto un módulo distribuidor (57) que divide el valor de potencia determinado por el módulo (50) de diferencia de potencia exclusivamente entre la cantidad (z) de las turbinas eólicas con reserva de potencia positiva registradas por el contador (56).
- 25 7. Parque eólico según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que el módulo (50) de diferencia de potencia determina en cada caso para una de las turbinas eólicas (1) la diferencia entre su grado de potencia actual y el valor de consigna, y suma dicha diferencia a través de las turbinas eólicas (1).
- 30 8. Parque eólico según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el predictor (4) comprende un clasificador (51') que clasifica las turbinas eólicas (1) en función de su potencia de salida actual y suministra una lista clasificada.
9. Parque eólico según la reivindicación 8, caracterizado por que el predictor (4) comprende además un aproximador (54') que una función lineal por tramos de la potencia suministrada por el parque eólico con la lista clasificada como puntos de apoyo.
- 35 10. Parque eólico según la reivindicación 9, caracterizado por que el predictor (4) comprende además un módulo inverso (57') en el que se implementa una función inversa de la función lineal por tramos, preferiblemente como tabla (58') de consulta.
11. Parque eólico según la reivindicación 10, caracterizado por que el nuevo valor de consigna de parque eólico (P_{S_Park}) se aplica en el módulo inverso (57') como señal de entrada, y éste suministra el valor de consigna de turbinas eólicas (P_{S_WEA}) como señal de salida.
- 40 12. Procedimiento para el funcionamiento de un parque eólico con al menos dos turbinas eólicas (1), que presentan en cada caso un control (12) de funcionamiento, así como un maestro (2) de parque con un regulador (3) de potencia para controlar las turbinas eólicas (1), en donde en el maestro (2) de parque se aplica una señal de valor de consigna para la potencia de salida del parque eólico (P_{S_Park}), y a partir de la misma el maestro (2) de parque genera y suministra señales de consigna para la potencia de salida de la turbina eólica (P_{S_WEA}),
45
caracterizado por
una predeterminación de la señal de consigna para la potencia de salida de la turbina eólica (P_{S_WEA}) por medio de un predictor (4), que está configurado para determinar valores de consigna corregidos para las turbinas eólicas (1) en caso de una variación de la señal de valor de consigna para el parque eólico, y una aplicación de los valores de consigna corregidos en el regulador (3) de potencia.
- 50 13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado por que se utiliza un predictor (4) perfeccionado según las reivindicaciones 2 a 11.

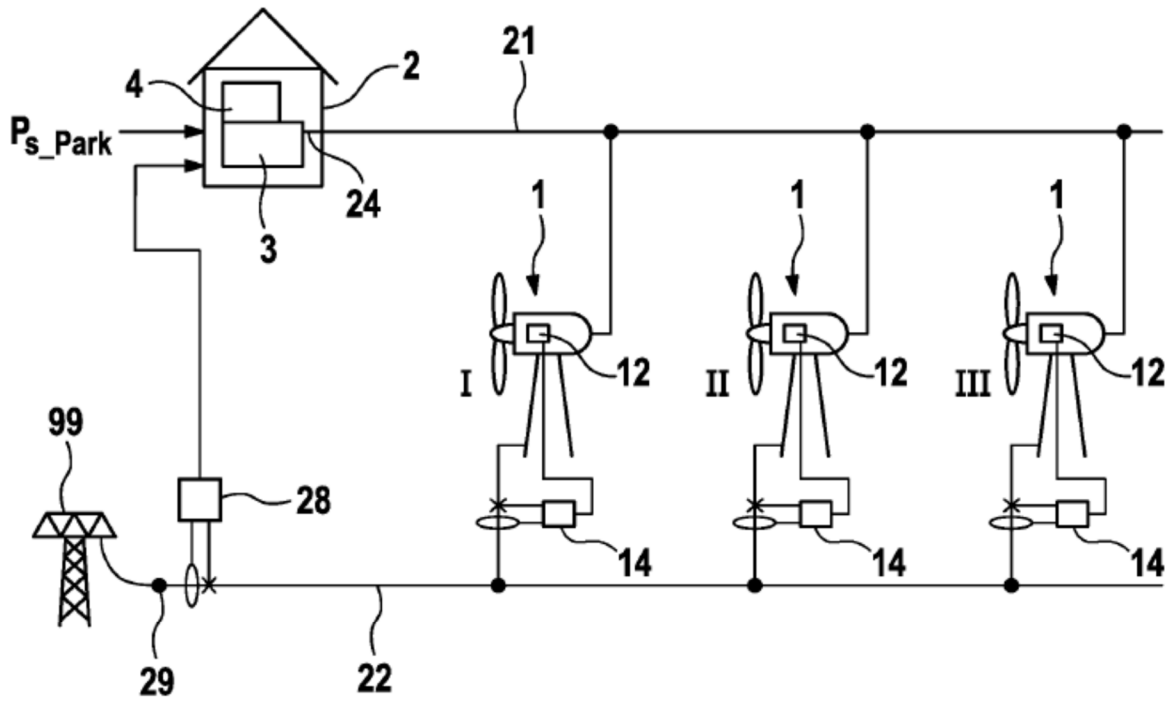


Fig. 1

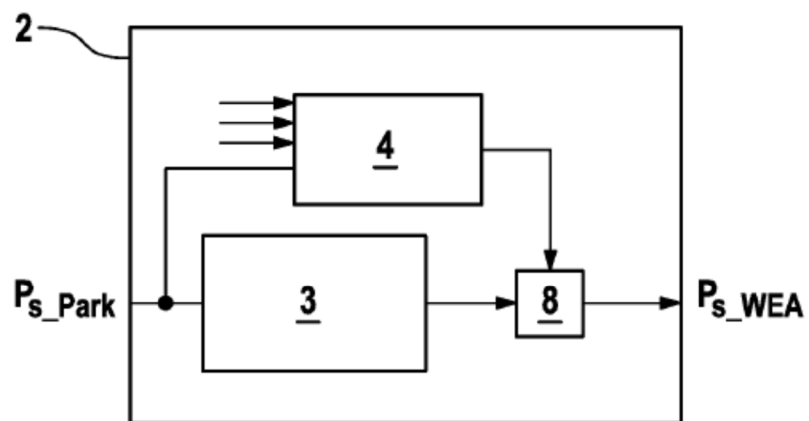


Fig. 2

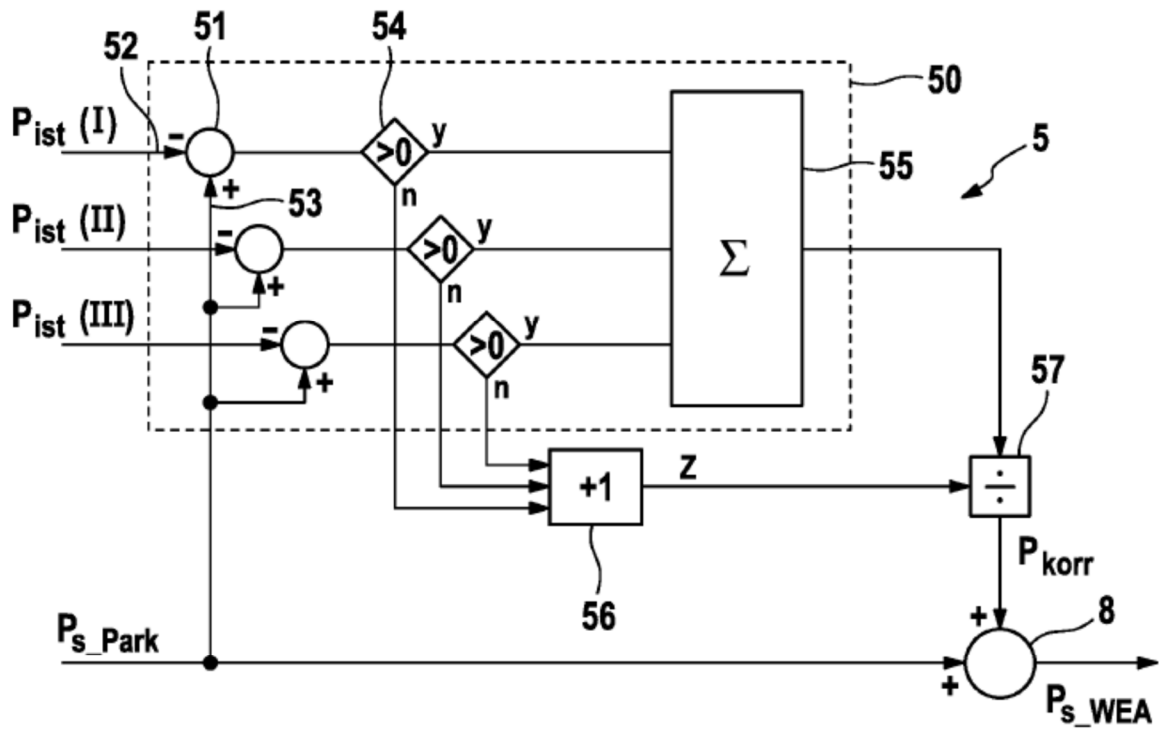


Fig. 3

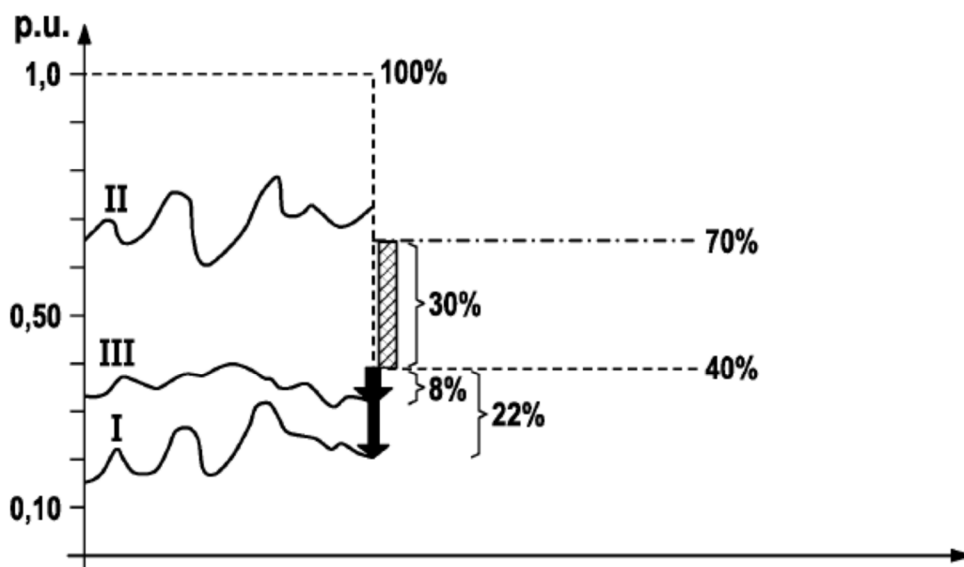


Fig. 4

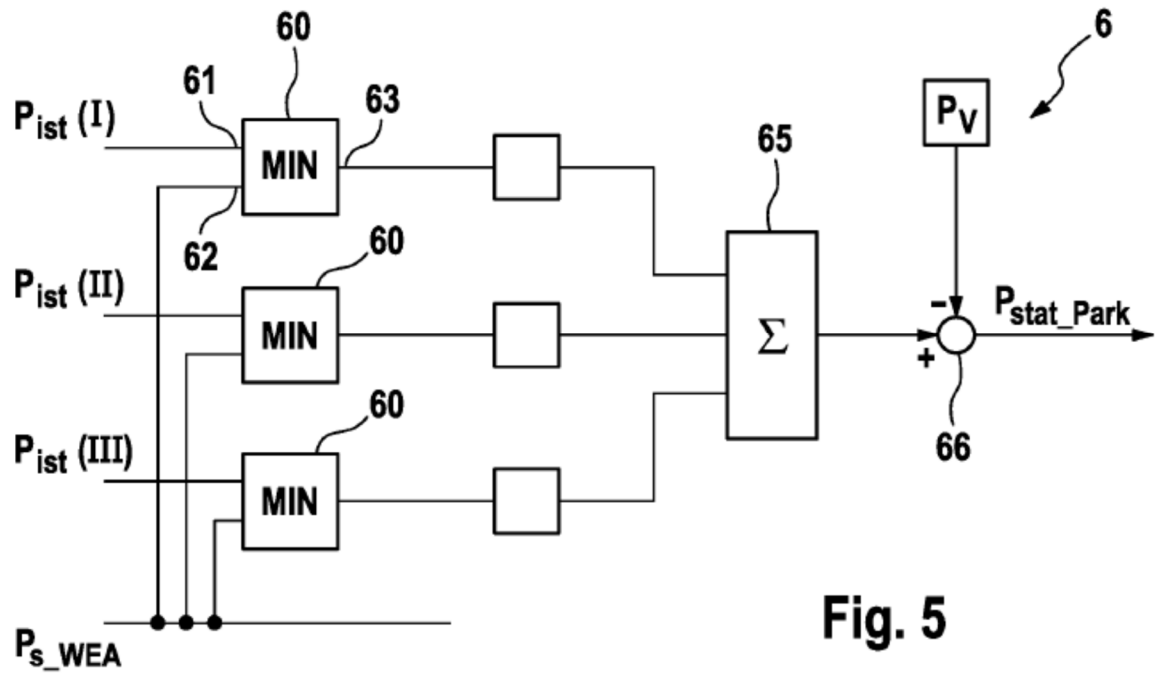


Fig. 5

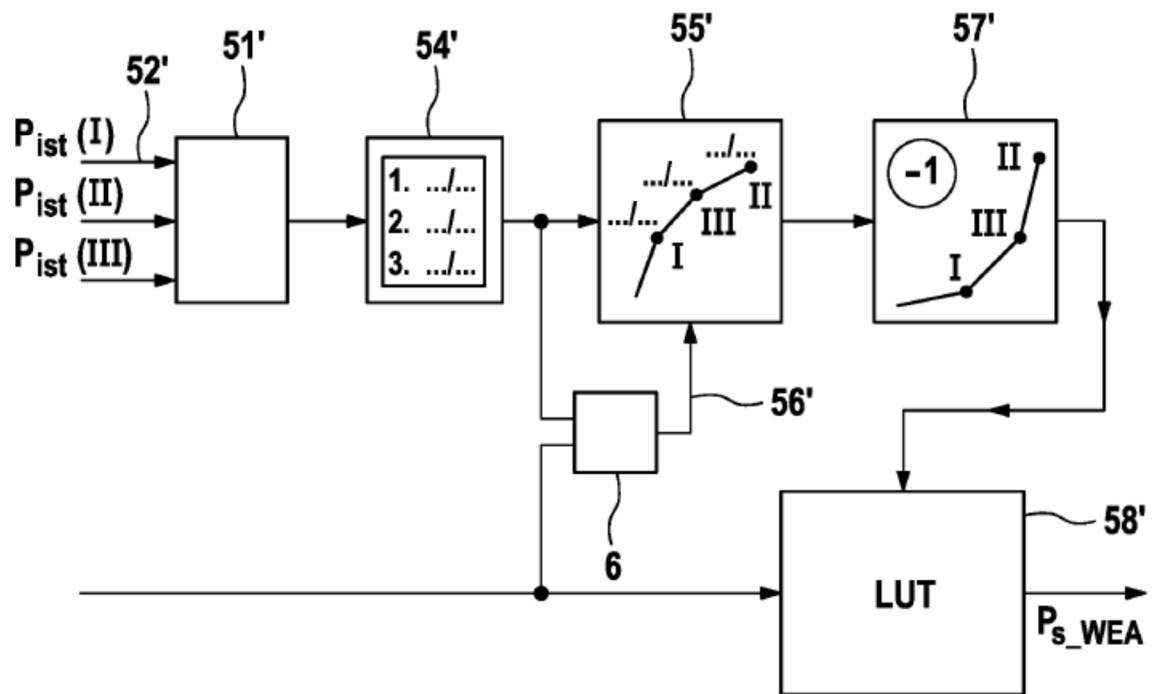


Fig. 6

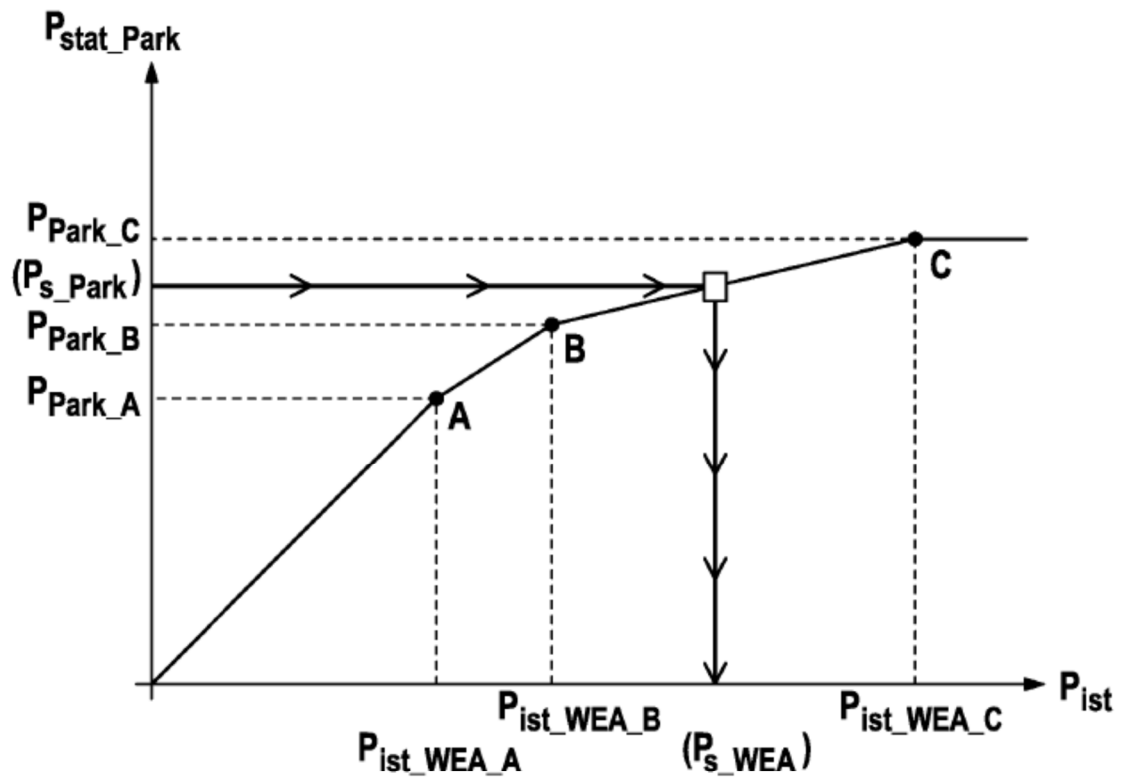


Fig. 7