

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 537**

51 Int. Cl.:

H02J 7/34

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.09.2015 PCT/EP2015/070955**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.03.2017 WO17045698**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.09.2015 E 15763897 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 3350902**

54 Título: **Control de velocidad de rampa de central eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.03.2020

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden , CH**

72 Inventor/es:

**JOHANSSON, NICKLAS;
TENGNER, TOMAS y
HUOTARI, MIKKO**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 746 537 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

Control de velocidad de rampa de central eléctrica

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un método para controlar una velocidad de rampa de salida de potencia activa de una central eléctrica a un Punto de Acoplamiento Común (PCC) con una red eléctrica.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Las fuentes de energía renovable (RES) tales como la energía eólica y solar están aumentando rápidamente en el ámbito mundial. En redes pequeñas con alta penetración de RES, tal como en las islas, las rápidas fluctuaciones intermitentes de RES plantean un reto para las unidades de regulación convencionales tales como las centrales térmicas y los generadores de gas.

20 Con cantidades crecientes de RES en las redes de energía y con tamaños cada vez mayores de las centrales eléctricas de energía renovable, los reguladores y los Operadores del Sistema de Transmisión (TSO) están poniendo en práctica nuevos códigos de red que imponen restricciones en las velocidades máximas de rampa de potencia activa.

Los integradores de sistemas han comenzado a instalar sistemas de almacenamiento de energía de batería (BESS) para cumplir con estas limitaciones.

25 Un método de control de velocidad de rampa estándar para controlar un BESS no requiere ninguna previsión de la salida de potencia RES, pero existen métodos de control de velocidad de rampa que utilizan una previsión.

30 El documento US 8.295.989 se refiere al control de la velocidad de rampa descendente en respuesta a una predicción de una reducción demasiado rápida en la salida del sistema. En este procedimiento, una velocidad de rampa descendente que, de no ser así, superaría la velocidad de cambio tolerable por la red puede mantenerse dentro de los límites tolerables si la pérdida de potencia se predice de antemano.

35 El documento US 2010/198420 que se refiere al movimiento de seguimiento de las nubes se utiliza para predecir los efectos de la cubierta de nubes sobre la irradiación de un sistema de generación de energía distribuida alimentada por energía solar. Las predicciones permiten que una central eléctrica solar mantenga los cambios en su producción de energía total dentro de los requisitos operativos con una dependencia menor o nula del almacenamiento de energía.

40 El documento US 2010/204844 A1 se refiere a un método para anticipar un cambio en la producción de energía de una central eléctrica fotovoltaica con paneles solares distribuidos en una amplia zona geográfica. En caso de un día parcialmente nublado, una nube sombreará un panel solar en la periferia de la central eléctrica y luego se desplazará sucesivamente sobre otros paneles solares de la planta a medida que pasa sobre ella. Mediante el uso de sensores de energía distribuidos en la planta para detectar la salida de energía variable de diferentes paneles solares en la planta, que corresponde a una nube que pasa sobre la misma, es posible predecir cómo cambiará la salida de energía de la planta mientras la nube continúa pasando sobre la planta y tomar las medidas adecuadas para mitigar, por ejemplo, la velocidad de rampa excesivamente rápida.

SUMARIO DE LA INVENCION

50 Es un objetivo de la presente invención reducir el coste de almacenamiento de energía, mediante un sistema y un método de control que toman datos de previsión como entrada al controlador del Sistema de Almacenamiento de Energía (ESS). El método de control desarrollado permite que el ESS sea más pequeño en términos de potencia y calificación energética. Además, el rendimiento de energía de almacenamiento se puede reducir, lo que disminuye las pérdidas asociadas y aumenta la vida útil del ESS, p. ej., duración de la batería en caso de un BESS. De conformidad con un aspecto de la presente invención, se da a conocer un método para controlar la velocidad de rampa de salida de potencia activa de una central eléctrica a un Punto de Acoplamiento Común (PCC) con una red eléctrica de conformidad con la reivindicación 1.

60 Según otro aspecto de la presente invención, se da a conocer un producto de programa informático que comprende componentes ejecutables por ordenador para hacer que un controlador realice una forma de realización del método de la presente invención cuando los componentes ejecutables por ordenador se ejecutan en circuitos de procesador comprendidos en el controlador.

65 Según otro aspecto de la presente invención, se da a conocer un controlador para controlar la velocidad de rampa de salida de potencia activa de la central de una central eléctrica a un PCC con una red eléctrica de conformidad con la reivindicación 11.

5 Conviene señalar que cualquier característica de cualquiera de los aspectos inventivos puede aplicarse a cualquier otro aspecto, cuando sea apropiado. Asimismo, cualquier ventaja de cualquiera de los aspectos puede aplicarse a cualquiera de los demás aspectos. Otros objetivos, características y ventajas de las formas de realización adjuntas serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, de las reivindicaciones dependientes adjuntas, así como de los dibujos.

10 En general, todos los términos utilizados en las reivindicaciones han de interpretarse de conformidad con su significado ordinario en el campo técnico, a menos que se defina explícitamente lo contrario en el presente documento. Todas las referencias a "un/uno/el elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc." han de interpretarse abiertamente como que se refieren a al menos una instancia operativa del elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc., a no ser que se indique explícitamente de otro modo. Las etapas de cualquier método aquí descrito no tienen que realizarse en el orden exacto indicado, a menos que se indique explícitamente. El uso de "primero", "segundo", etc. para diferentes características/componentes de la presente invención solo tiene como objetivo distinguir las características/componentes de otras características/componentes similares y no impartir ningún orden o jerarquía a las características/componentes.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 Se describirán formas de realización, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de una forma de realización de una central eléctrica de conformidad con una forma de realización de la presente invención.

25 La Figura 2 es un diagrama de bloques esquemático de una forma de realización de un controlador de conformidad con la presente invención.

La Figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de una forma de realización de un método de la presente invención.

30 La Figura 4 es un diagrama de bloques funcionales esquemático de un método de control de bucle abierto.

La Figura 5 es un diagrama de bloques funcionales esquemático de un modelo de control de bucle cerrado, que comprende un diagrama de bloques funcionales que ilustra una forma de realización de un controlador de conformidad con la presente invención.

La Figura 6 muestra gráficos que ilustran la diferencia en la operación de ESS para los métodos de control STDRR y FCRR, respectivamente.

40 La Figura 7 muestra gráficos de resultados de simulación para la forma de realización y referencias del método de control de la $FCRR_{fp}$ -STDRR de la invención.

La Figura 8 muestra gráficos de resultados de simulación para la forma de realización y referencias del método de control de $FCRR_{fb}$ de la invención.

45 La Figura 9 muestra gráficos de resultados de simulación para la forma de realización y referencias del método de control de $FCRR_{fbm}$ de la invención.

50 La Figura 10 es un diagrama de bloques funcionales esquemático que ilustra la forma de realización del método de control RC de la invención.

La Figura 11 es un gráfico de resultados de simulación para la forma de realización del método de control RC de la invención para diferentes coeficientes k .

55 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Las formas de realización se describirán, a continuación, más completamente haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran ciertas formas de realización. Sin embargo, otras formas de realización en numerosas formas diferentes son posibles dentro del alcance de la presente invención. Por el contrario, las siguientes formas de realización se proporcionan a modo de ejemplo, de modo que esta descripción de la invención se haga exhaustiva y completa, y se transmitirá completamente el alcance de la invención a los expertos en esta técnica. Los números iguales se refieren a elementos similares en toda la invención. Cuando se refiere a la potencia en este documento, está prevista la potencia activa a no ser que se indique de otro modo.

65 La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de una forma de realización de una central eléctrica 1 de conformidad con una forma de realización de la presente invención.

Un RES 2, p.ej., el sistema generador de energía solar, eólica y/o de olas, está conectado a una red eléctrica a través de un PCC. El RES genera una salida (positiva o negativa, pero normalmente positiva) de la potencia activa P_{RES} . Puesto que la salida RES puede variar según, por ejemplo, la condición climática, un ESS 3, p. ej., un BESS o un volante o elemento similar, también está comprendido en la central eléctrica 1 para compensar la salida variable de RES emitiendo P_{ESS} de potencia activa positiva o negativa que se combina con la P_{RES} para formar el P_{Plant} de potencia activa emitida por la central eléctrica a la red eléctrica a través del PCC:

$$P_{Plant} = P_{RES} + P_{ESS} \quad (1)$$

donde P_{ESS} es la potencia de carga/descarga del ESS. Si se utiliza un modelo de bucle cerrado, una realimentación negativa desde el estado de carga (SoC) del ESS evita que el SoC se desplace a largo plazo.

Un controlador 4 también está comprendido en la central eléctrica 1. El controlador 4 está configurado para generar y enviar una señal de control al ESS 3 para controlar la salida (positiva o negativa) del P_{ESS} de potencia desde el ESS. El controlador también puede recibir de forma continua o periódica información sobre la P_{ESS} de salida de potencia presente (en este caso, también denominada corriente) desde un sensor de potencia en o flujo abajo del ESS 3. El controlador recibe, de forma continua o periódica, información sobre la salida de potencia presente (en este caso, también denominada corriente) P_{RES} desde un sensor de potencia en o flujo abajo de RES 2. En algunas formas de realización, el controlador también puede configurarse para generar y enviar una señal de control al RES 2 para controlar (normalmente reduciendo, de forma preventiva) la salida de potencia P_{RES} desde el RES.

El controlador 4 también puede recibir señales de entrada de sensores externos, p. ej, sensores meteorológicos, tales como sensores climáticos para p. ej., radiación solar, velocidad del viento y condiciones similares, posiblemente ubicados a cierta distancia de la central eléctrica 1, para ayudar al controlador 4 en la previsión de la salida de potencia futura P_{RES} de la RES 2.

La Figura 2 es un diagrama de bloques esquemático de una forma de realización de un controlador 4 de conformidad con la presente invención. El controlador comprende circuitos de procesador, p. ej., de un procesador o de un FPGA, que puede ejecutar software almacenado en una unidad de almacenamiento, p. ej., de una memoria o de un FPGA, del controlador, para permitir que el controlador 4 realice una forma de realización de un método de la presente invención, por el cual se pueden formar módulos funcionales en el controlador, por ejemplo, en su circuito de procesador, para realizar las diferentes etapas del método. Estos módulos se ilustran esquemáticamente como bloques dentro del controlador 4. Por lo tanto, el controlador comprende un módulo de interfaz de comunicación 24 para obtener información sobre una salida de potencia activa P_{RES} de RES actual de un RES 2 comprendido en la central eléctrica, así como para enviar una señal de control ESS al ESS 3 para controlar la salida de potencia activa, P_{ESS} , del ESS. El controlador también comprende un módulo de previsión para efectuar la previsión de la salida de potencia activa P_{RES} futura de RES, durante un período de tiempo futuro predefinido y para, en función de la información de salida de potencia activa de RES actual obtenida y de la salida de potencia activa de RES prevista, determinar si una velocidad de rampa prevista de la salida de potencia activa P_{RES} de RES, durante dicho período de tiempo futuro, supera un límite de velocidad de rampa máxima predefinido de una salida de potencia activa de planta P_{Plant} . El controlador también comprende un módulo selector 22 para, sobre la base de dicha determinación, determinar si la velocidad de rampa prevista supera el límite de velocidad de rampa máxima, seleccionando un primer método de control que se basa en la salida de potencia activa P_{RES} de RES futura prevista si se determinó que la velocidad de rampa prevista supera el límite de velocidad de rampa máxima predefinido durante el período de tiempo futuro, o seleccionando un segundo método de control que no se base en la salida de potencia activa P_{RES} de RES futura prevista si se determinó que la velocidad de rampa prevista no supera el límite de velocidad de rampa máxima predefinida durante el período de tiempo futuro. El controlador también comprende un módulo generador de señal 23 para generar una señal de control ESS, de conformidad con el método de control seleccionado, para controlar la salida de potencia activa P_{ESS} del ESS de modo que la velocidad de rampa de salida de potencia activa de la planta P_{Plant} se mantenga inferior al límite de la velocidad de rampa máxima predefinida durante el período de tiempo. En otras formas de realización, los módulos 21 a 24 pueden estar formados por hardware o por una combinación de hardware y software.

La Figura 3 es un diagrama de flujo esquemático de una forma de realización de un método de la presente invención, para controlar la velocidad de rampa de salida de potencia activa de planta P_{Plant} de una central eléctrica 1 a un PCC con una red eléctrica.

Se obtiene información sobre una salida S1 de potencia activa RES actual, P_{RES} , de un RES 2 comprendido en la central eléctrica.

La salida de potencia activa P_{RES} futura de RES durante un período de tiempo futuro predefinido se prevé como S2. En algunas formas de realización, la previsión S2 se basa en señales de entrada de un sensor 5, p. ej., un sensor meteorológico tal como un sensor de radiación solar o velocidad del viento. En algunas formas de realización, la previsión se basa en el análisis numérico de la salida de potencia activa P_{RES} pasada de RES. En algunas formas de realización, la previsión se basa en una combinación de dicha entrada de sensor y dicho análisis numérico.

5 Sobre la base de la información de salida de potencia activa RES actual obtenida y de la salida de potencia activa RES prevista, se determina entonces S3 si una velocidad de rampa prevista de la salida de potencia activa P_{RES} de RES durante dicho período de tiempo futuro supera un límite de velocidad de rampa máxima predefinido de una salida de potencia activa de planta P_{Plant} . La salida de potencia activa de planta P_{Plant} es, como se mencionó con anterioridad, una combinación (suma) de la salida de potencia activa P_{RES} de RES y una salida de potencia activa P_{ESS} del ESS, de un ESS 3 comprendido en la central eléctrica, en cualquier momento dado.

10 Sobre la base de dicha determinación S3 si la velocidad de rampa prevista supera el límite de velocidad de rampa máxima, hay una selección S4 de un primer método de control que se basa en la salida de potencia activa P_{RES} futura prevista de RES si se determinó que la velocidad de rampa prevista supera el límite de velocidad de rampa máxima predefinido durante el período de tiempo futuro. De no ser así, existe una selección S4 de un segundo método de control, que es diferente del primer método de control, si se determinó que la velocidad de rampa prevista no supera el límite de velocidad de rampa máximo predefinido durante el período de tiempo futuro. El segundo método de control puede, por ejemplo, basarse en la salida de potencia activa P_{RES} futura prevista de RES en un grado menor que el primer método de control, o no en absoluto. El segundo método de control puede, por ejemplo, utilizar una combinación de menos del 50%, p. ej., entre el 20% y el 5%, de un método FCRR aquí dado a conocer y al menos el 50% del método STDRR aquí también dado a conocer, o solamente el método STDRR.

20 A continuación, el primer o segundo método de control seleccionado se utiliza S5 para generar una señal de control de ESS para controlar la salida de potencia activa P_{ESS} de ESS de modo que la velocidad de rampa de la salida de potencia activa de planta P_{Plant} se mantenga inferior al límite de velocidad de rampa máxima predefinido durante el período de tiempo (el período de tiempo es el mismo período de tiempo que anteriormente se denomina período de tiempo futuro, pero estrictamente hablando ya no es futuro, sino más bien actual).

25 La Figura 4 es un diagrama de bloques funcionales esquemático de una forma de realización de un modelo de control de bucle abierto para controlar el SoC del ESS 3, que puede utilizarse con algunas formas de realización de la presente invención.

30 La Figura 5 es un diagrama de bloques funcionales esquemático de una forma de realización de un modelo de control de bucle cerrado para controlar el SoC del ESS 3, que puede utilizarse con algunas formas de realización de la presente invención. La Figura 5 muestra también una representación funcional esquemática de una forma de realización de un controlador 4 de velocidad de rampa de la presente invención. El controlador 4 selecciona entre un método de control de velocidad de rampa estándar (STDRR) y un método de control de velocidad de rampa previsto (FCRR) basado en la salida de potencia prevista P_{fc} de RES 2.

El control STDRR, que es un método más simple para el control de la velocidad de rampa, en donde P_{Plant} puede seguir a P_{RES} con la limitación

$$40 \quad \left| \frac{dP_{plant}}{dt} \right| \leq r_i \quad (2)$$

donde r_i es el límite de la velocidad de rampa. Por lo tanto, si P_{RES} experimenta una rampa más rápida que r_i , P_{plant} sigue a P_{RES} con algún retardo, y de no ser así $P_{Plant}=P_{RES}$. El método STDRR no requiere ninguna previsión de la salida de potencia RES.

45 Un control de velocidad de rampa también puede utilizar una previsión de potencia a corto plazo para poder reaccionar de antemano a las próximas rampas en la potencia activa de RES 2. El objetivo puede ser, por ejemplo, limitar el gradiente de potencia activa mientras que se minimiza el rendimiento energético del ESS 3. Lo que antecede puede realizarse minimizando la función de coste

$$50 \quad C(t) = \int_t^{t+t_f} \left(P_{plant}(\tau) - P_{RES,fc}(\tau) \right)^2 d\tau. \quad (3)$$

La función de coste de la Ecuación (3) también está sujeta a los criterios de la Ecuación (2)

$$\left| \frac{dP_{plant}}{dt} \right| \leq r_l$$

5 En la Ecuación (3), $P_{RES,fc}$ es una previsión de P_{RES} y t_r es el horizonte de previsión (es decir, la duración del período de tiempo futuro predeterminado aquí dado a conocer). Para distinguir este método de las variaciones presentadas a continuación, se denominará $FCRR_{fp}$. Aunque la trayectoria óptima P^*_{Plant} se calcula hasta el final del horizonte de previsión, solo se pueden utilizar los valores calculados hasta la próxima actualización periódica de previsión. En la próxima actualización de previsión, se puede realizar una nueva optimización. Se supone que el intervalo de tiempo (período) entre las sucesivas actualizaciones de previsión es más corto que el horizonte de previsión.

10 La motivación para utilizar previsiones en el control de la limitación de la velocidad de rampa se puede encontrar al estudiar la Figura 6. En este caso, se supone una etapa ideal (desde 1 a 0) en la salida de potencia P_{RES} de RES 2. En la parte inferior de la figura, se supone un BESS 3 que utiliza el método STDRR. Se constata que el BESS limita la velocidad de la rampa al nivel requerido, lo que conduce a una respuesta retardada de potencia de toda la planta 1 (P_{Plant}). La zona sombreada en la figura representa la energía descargada desde el BESS 3. En la parte superior
15 de la figura, se supone un BESS 3 provisto de un sistema $FCRR_{fp}$ basado en una previsión ideal de la salida de potencia RES. Se constata que el BESS puede, en este caso, preparar el evento operativo antes del cambio en P_{RES} y de este modo, cargar la batería antes de la descarga. Esto conlleva, en el caso ideal, a que el SoC del BESS estará en el mismo nivel antes y después del evento, que no es el caso en el caso STDRR.

20 Conviene señalar también, haciendo referencia a la Figura 6, que el rendimiento energético del BESS 3 es significativamente menor con el método de control FCRR. De hecho, el método FCRR disminuye la potencia de rendimiento del BESS hasta un factor de 4 en comparación con el método STDRR en el caso ideal.

25 Además, la profundidad de descarga (DoD) del BESS 3, debido al evento operativo, en el caso ideal se minimizará mediante el método de control FCRR y se reducirá notablemente respecto al caso STDRR. Esta característica se puede utilizar para reducir la calificación energética requerida del BESS 3 o disminuir el nivel medio de DoD para múltiples eventos asumiendo la misma calificación energética para ambos métodos de control. Un DoD medio más bajo y un rendimiento energético menor proporcionarán una vida útil más larga para las baterías puesto que la vida útil se deteriora significativamente para ciclos con un DoD de mayor magnitud.

30 Sin embargo, en la vida real, las previsiones de potencia RES suelen ser no perfectas. Los métodos FCRR de la técnica anterior son muy sensibles a los errores de previsión. De hecho, el método $FCRR_{fp}$ puede funcionar de formas más desfavorable que el método STDRR en presencia de errores de previsión realistas. Esta circunstancia aumentará notablemente el rendimiento energético del ESS 3.

35 Según la presente invención, una etapa para disminuir el rendimiento energético consiste en utilizar el método $FCRR_{fp}$ solo si hay una violación prevista dentro del horizonte de previsión. De no ser así, se utiliza el método STDRR. Esta combinación de métodos se denominará aquí $FCRR_{fb}$ -STDRR.

40 El efecto de esta modificación se presenta en la Figura 7, que ilustra una rampa de potencia de 2 minutos de duración. En este caso, la previsión se realiza en cada minuto completo. La potencia P_{RES} real (actual) (que se representa en línea continua) no viola el límite de velocidad de rampa (línea de trazos), tal como se muestra en el gráfico de la izquierda que ilustra el P_{Plant} de las salidas de potencia previstas y reales para diferentes métodos. Sin embargo, la previsión de P_{RES} (línea de puntos y trazos) indica una violación de la velocidad de rampa futura. En este caso, los valores de $P_{RES,f}$ se obtienen a partir de la línea de previsión. Si se utiliza el método $FCRR_{fp}$, el P_{Plant}
45 sigue la previsión en cada momento. Esta circunstancia da lugar a una disminución continua en la energía del ESS 3 tal como se muestra en el gráfico de la derecha que ilustra los cambios en el estado del ESS. Si el método $FCRR_{fp}$ se utiliza solo cuando se espera que exista una violación de rampa, al final de la rampa (de conformidad con la previsión), el método STDRR se hace cargo y P_{Plant} comienza a seguir P_{RES} en su lugar tal como lo muestra el
50 $FCRR_{fb}$ -STDRR (línea de trazos largos). Por lo tanto, el cambio en el estado de ESS se reduce en gran medida.

55 Como alternativa, la minimización de $C(t)$ en la Ecuación (3) se puede utilizar para determinar la potencia P_{ESS} futura del ESS en lugar de determinar la potencia de planta futura P_{Plant} . También en este método, denominado $FCRR_{fb}$, la previsión solo se utilizará cuando esté prevista una violación de la rampa; de no ser así, se puede utilizar el método STDRR. El método $FCRR_{fb}$ puede tener una menor sensibilidad a los errores de previsión.

60 El método $FCRR_{fb}$ fue objeto de prueba de la misma manera que se representa en la Figura 7, según se ilustra en la Figura 8. La respuesta de potencia P_{Plant} y los cambios correspondientes en el estado ESS se muestran de la misma manera, en los lados izquierdo y derecho de la figura, respectivamente. Se puede constatar que el método $FCRR_{fb}$ (línea de trazo corto) produce un rendimiento energético significativamente menor que el método $FCRR_{fp}$ -STDRR (línea de trazos largos). El método $FCRR_{fb}$ reduce a la mitad aproximadamente el rendimiento energético en comparación con el método $FCRR_{fp}$ -STDRR en este caso.

El método FCRR_{fb} reduce el rendimiento energético del ESS en comparación con el método FCRR_{fp}-STDRR, tal como se muestra en la Figura 8. Para disminuir todavía más el rendimiento energético del ESS, se puede realizar una modificación adicional. En el momento de la actualización más reciente de la previsión de P_{RES}, además de realizar la minimización de la función de coste en la Ecuación (3) para obtener la potencia ESS óptima prevista, se puede realizar el método de control de velocidad de rampa estándar STDRR para la previsión dada. Se pueden comparar las dos curvas opcionales para P_{Plant} y para los intervalos de tiempo en los que las curvas difieren más que un límite especificado ε, se utiliza la potencia de ESS dada por FCRR_{fb}. Para los intervalos de tiempo restantes, se puede utilizar el método STDRR. Este método se indica por FCRR_{fbm}. Una motivación para esta modificación es que se puede requerir una cierta magnitud y duración de la violación de la rampa prevista para evitar que se utilice el método de previsión cuando realmente no es necesario, evitando así la acción innecesaria de ESS debido a inexactitudes en la previsión.

El método FCRR_{fbm} también se utilizó de la misma manera que en las Figuras 7 y 8, tal como se muestra en la Figura 9. La respuesta de potencia de P_{Plant} y los cambios correspondientes en el estado de ESS se muestran de la misma manera, en los lados izquierdo y derecho de la figura, respectivamente. Se puede constatar, a partir de la Figura 9, que el método FCRR_{fbm} proporciona un rendimiento energético ESS significativamente menor que el método FCRR_{fb}. En el gráfico de la izquierda, la línea del método FCRR_{fbm} sigue la línea del método FCRR_{fb} hasta que se intersecta con la línea de P_{RES} actual (línea continua) después de lo cual sigue dicha línea P_{RES} actual. En consecuencia, en el gráfico de la derecha, la línea del método FCRR_{fbm} sigue la línea del método FCRR_{fb} hasta que alcanza aproximadamente -0.02, después de lo cual la línea del método FCRR_{fbm} permanece constante en -0.02.

También se ha desarrollado otra modificación del método para el control de la velocidad de rampa, denominado control sólido (RC). De manera similar a los métodos FCRR, utiliza previsiones de potencia RES para preparar un evento de aumento de potencia. El esquema del sistema de control se presenta en la Figura 10. Este esquema puede ser ventajoso en algunos escenarios operativos dependiendo de la varianza de potencia RES y de la precisión de la previsión.

En el método RC, el método estándar de control de velocidad de rampa STDRR se realiza para el horizonte de previsión dado y la desviación correspondiente predicha del estado de carga (SoC) del ESS se calcula a partir del punto de ajuste SoC_{ref} del SoC al final del horizonte de previsión (sección superior en la Figura 10). La desviación prevista ΔSoC(t+tf) se utiliza para controlar el ESS 3 (sección inferior en la Figura 10). Sin embargo, en este caso, la ganancia proporcional K depende de la previsión:

$$K = \begin{cases} k \frac{t_f - t_v}{t_f}, & \text{violación prevista,} \\ k & \text{, sin violación prevista.} \end{cases} \quad (4)$$

En este caso, t_v es el tiempo de la violación de la velocidad de rampa donde t_v alcanza valores entre 0 y t_f. El coeficiente k define la agresividad operativa del control. Si se predice una violación de la velocidad de rampa, la ganancia del controlador K es mayor cuanto antes se prediga la violación (el t_v es el más pequeño). Si no se predice una violación de la velocidad de rampa, la ganancia del controlador es igual al coeficiente k.

El valor de k desempeña un papel importante en el rendimiento del controlador 4. Si el valor de k es pequeño, las acciones de control son pequeñas pero la sensibilidad de control al error de previsión es pequeña. Cuando k→0, el método RC se aproxima al método de control STDRR. Por otro lado, cuando el valor de k aumenta, el control actúa más agresivamente y aumenta la sensibilidad del control a los errores de previsión. El efecto de la elección del valor k se ilustra en la Figura 11, donde se da a conocer un evento de aceleración con un límite de velocidad de rampa de 0.1 p.u./min. La figura también muestra la respuesta de potencia cuando se utiliza el método FCRR_{fp}. En este caso, se supone una previsión ideal. La Figura 11 muestra cómo actúa el método RC como el método STDRR cuando k=0.

Cuando k=0.1, el método RC reacciona a la próxima rampa descargando el ESS 3. Durante la formación de la rampa, el ESS 3 se carga a un SoC que es mayor que el SoC inicial. Después de establecerse la rampa, el RC hace retornar el SoC de nuevo al punto de ajuste descargando energía. La Figura 11 también muestra cómo el método FCRR_{fp} proporciona un rendimiento energético menor que el método RC si la previsión de potencia es ideal. En realidad, ningún otro método puede producir un rendimiento energético de ESS más pequeño que el método FCRR_{fp} si la previsión es ideal. Sin embargo, según se indicó con anterioridad, la previsión no suele ser ideal.

Las formas de realización del método de la presente invención se diseñaron con el fin de minimizar el rendimiento energético del ESS 3. Hacerlo así permite el uso de capacidades de almacenamiento de energía más pequeñas y reduce las pérdidas relacionadas con el ESS.

Además, si el ESS es un BESS, minimizar el rendimiento de energía también dará como resultado una mayor duración de la batería.

5 Las ventajas del método de control propuesto aumentan para una mejor precisión de la previsión y para límites de
velocidad de rampa más estrictos. Se ha encontrado que un error de previsión de energía eólica de entre 3% y 5%
para una previsión de 10 minutos es realista con los métodos de previsión disponibles. El requisito de potencia
máxima de BESS puede disminuir con las formas de realización de método propuestas de conformidad con los
10 resultados de la simulación. Además, la relación de energía a potencia puede reducirse significativamente, lo que en
la práctica significa que se puede utilizar una batería con menor capacidad de energía. Además, la degradación
cíclica de las baterías puede reducirse.

15 Las formas de realización de la presente invención pueden ponerse en práctica, de manera adecuada, utilizando uno
o más ordenadores de uso general convencionales u ordenadores digitales especializados, dispositivos informáticos,
máquinas o microprocesadores, que incluyen uno o más procesadores, memorias y/o medios de almacenamiento
legibles por ordenador programados de conformidad con las enseñanzas de la presente invención. Los
programadores expertos pueden preparar fácilmente la codificación de software apropiada basándose en las
enseñanzas de la presente invención, tal como será evidente para los expertos en esta técnica de software.

20 En algunas formas de realización, la presente invención incluye un producto de programa informático que es un
medio de almacenamiento no transitorio o medio legible por ordenador (multimedia) que tiene instrucciones
(software) almacenadas en el mismo/en el cual puede utilizarse para programar un ordenador para realizar
cualesquiera de los métodos/procesos de la presente invención. Los ejemplos del medio de almacenamiento pueden
25 incluir, entre otros, cualquier tipo de disco, incluidos disquetes, discos ópticos, DVD, CD-ROM, microdrive y discos
magneto-ópticos, ROM, RAM, EPROM, EEPROM, DRAM, VRAM, dispositivos de memoria instantánea, tarjetas
magnéticas u ópticas, nanosistemas (incluidos circuitos integrados de memoria molecular) o cualquier tipo de medio
o dispositivo adecuado para almacenar instrucciones y/o datos.

La presente invención se ha descrito principalmente con anterioridad haciendo referencia a unas pocas formas de
realización.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar la velocidad de rampa de salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}) de una central eléctrica (1) a un Punto de Acoplamiento Común, PCC, con una red eléctrica, comprendiendo el método:

5 la obtención (S1) de información sobre una salida de potencia activa actual RES (P_{RES}) de una fuente de energía renovable, RES, (2) comprendida en la central eléctrica;

10 la previsión (S2) de salida de potencia activa RES (P_{RES}) futura, durante un período de tiempo futuro predefinido, basado en señales de entrada procedentes de un sensor meteorológico (5);

15 sobre la base de la información de salida de potencia activa RES actual (S1) obtenida y en la salida de potencia activa RES (S2) prevista, la determinación (S3) de si una velocidad de rampa prevista de la salida de potencia activa (P_{RES}) de RES durante dicho período de tiempo predefinido supera un límite máximo predefinido de velocidad de rampa (r_i) de una salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}), siendo la salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}) una combinación de la salida de potencia activa (P_{RES}) de RES y una salida de potencia activa (P_{ESS}) del ESS, de un sistema de almacenamiento de energía, ESS, (3) comprendido en la central eléctrica, en cualquier momento dado;

20 la selección (S4) de un primer método de control (FCRR) que se basa en la salida de potencia activa RES futura prevista (P_{RES}) cuando se ha determinado (S3) que la velocidad de rampa prevista supera el límite de velocidad de rampa máximo predefinido durante el período de tiempo predefinido, y la selección (S4) de un segundo método de control (STDRR) que no se basa en la salida de potencia activa (P_{RES}) futura de RES prevista cuando se ha determinado (S3) que la velocidad de rampa prevista no supera el límite de velocidad de rampa máximo predefinido durante el período de tiempo predefinido; y

30 la utilización (S5) de los métodos de control primero y segundo seleccionados para generar una señal de control ESS para controlar la salida de potencia activa (P_{ESS}) del ESS de modo que la velocidad de rampa de salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}) se mantenga inferior al límite de velocidad de rampa máxima predefinido durante el período de tiempo predefinido.

2. El método según la reivindicación 1, en donde el sensor (5) se coloca a una distancia de la central eléctrica (1).

35 3. El método según la reivindicación 1 o 2, en donde la previsión se basa en señales de entrada procedentes de un sensor (5) de radiación solar o velocidad del viento.

4. El método según cualquier reivindicación precedente, en donde la previsión se basa en el análisis numérico de la salida de potencia activa (P_{RES}) pasada de RES.

40 5. El método según cualquier reivindicación precedente, en donde el primer método de control (FCRR) comprende generar una señal de control RES para reducir la salida de potencia activa (P_{RES}) de RES durante dicho período de tiempo predefinido.

45 6. El método según cualquier reivindicación precedente, en donde el primer método de control (FCRR) comprende minimizar una función de coste $C(t)$ de tiempo t donde $P_{RES,fc}$ es una previsión de la salida de potencia activa RES P_{RES} y t_r es la longitud del período de tiempo predefinido, de conformidad con:

$$C(t) = \int_t^{t+t_f} \left(P_{plant}(\tau) - P_{RES,fc}(\tau) \right)^2 d\tau \quad \text{a reserva de}$$

$$\left| \frac{dP_{plant}}{dt} \right| \leq r_i$$

50 en donde r_i es el límite de velocidad de rampa.

7. El método según cualquier reivindicación precedente, en donde el primer método de control (FCRR) comprende utilizar una ganancia (K) que depende de un coeficiente (k) así como la duración del período de tiempo predefinido (t_i) y el tiempo (t_v) cuando la velocidad de rampa prevista supera el límite máximo de velocidad de rampa (r_i) si la

velocidad de rampa prevista supera el límite de velocidad de rampa máxima, mientras que la ganancia (K) es igual al coeficiente (k) si la velocidad de rampa prevista no supera el límite máximo de velocidad de rampa.

5 8. El método según cualquier reivindicación precedente, en donde el método se realiza periódicamente con un período que es más corto que la duración del período de tiempo predefinido.

9. El método según cualquier reivindicación precedente, en donde el período de tiempo predefinido tiene una duración de menos de 1 hora, tal como una duración dentro del intervalo de 1 o 10 minutos a 1 hora.

10 10. Un producto de programa informático que comprende componentes ejecutables por ordenador para hacer que un controlador (4) realice el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 cuando los componentes ejecutables por ordenador se ejecutan en circuitos de procesador comprendidos en el controlador.

15 11. Un controlador (4) para controlar la velocidad de rampa de salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}) de una central eléctrica (1) a un Punto de Acoplamiento Común, PCC, con una red eléctrica, comprendiendo el controlador:

circuitos del procesador; y

20 una unidad de almacenamiento que almacena software ejecutable por dichos circuitos del procesador mediante la cual dicho controlador está operativo para:

obtener información sobre una salida de potencia activa (P_{RES}) de RES actual de una Fuente de Energía Renovable, RES, (2) comprendida en la central eléctrica;

25 efectuar la previsión de la salida de potencia activa (P_{RES}) futura de RES, durante un período de tiempo futuro predefinido, en función de las señales de entrada procedentes de un sensor meteorológico (5);

30 sobre la base de la información de salida de potencia activa RES actual obtenida y de la salida de potencia activa RES prevista, determinar si una velocidad de rampa prevista de la salida de potencia activa (P_{RES}) de RES durante dicho período de tiempo predefinido supera un límite de velocidad de rampa máxima predefinido de una salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}), siendo la salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}) una combinación de la salida de potencia activa (P_{RES}) de RES y de una salida de potencia activa (P_{ESS}) del ESS, de un sistema de almacenamiento de energía, ESS, (3), comprendido en la central eléctrica, en cualquier momento dado;

35 seleccionar un primer método de control (FCRR) que se base en la salida de potencia activa (P_{RES}) futura prevista de RES cuando se haya determinado que la velocidad de rampa prevista supera el límite de velocidad de rampa máximo predefinido durante el período de tiempo predefinido, o seleccionar un segundo método de control (STDRR) que no se basa en la salida de potencia activa (P_{RES}) futura prevista de RES cuando se ha determinado que la velocidad de rampa prevista no supera el límite de velocidad de rampa máximo predefinido durante el período de tiempo predefinido; y

40 utilizar el primer o segundo método de control seleccionado para generar una señal de control de ESS para controlar la salida de potencia activa (P_{ESS}) de ESS de modo que la velocidad de rampa de salida de potencia activa de la planta (P_{Plant}) se mantenga inferior al límite de velocidad de rampa máximo predefinido durante el período de tiempo predefinido.

45

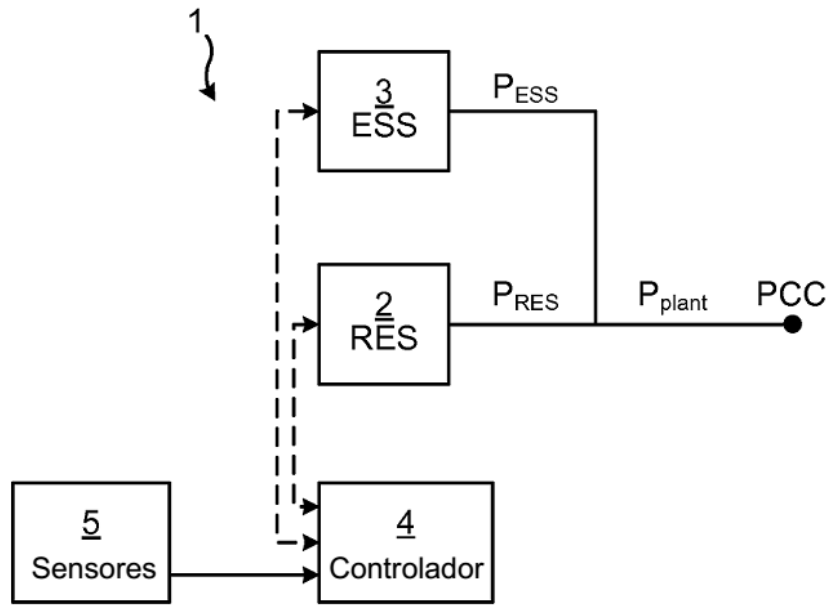


Fig. 1

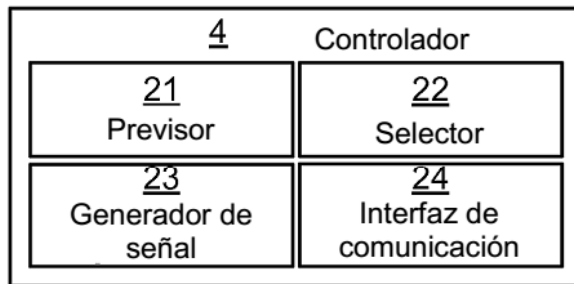


Fig. 2

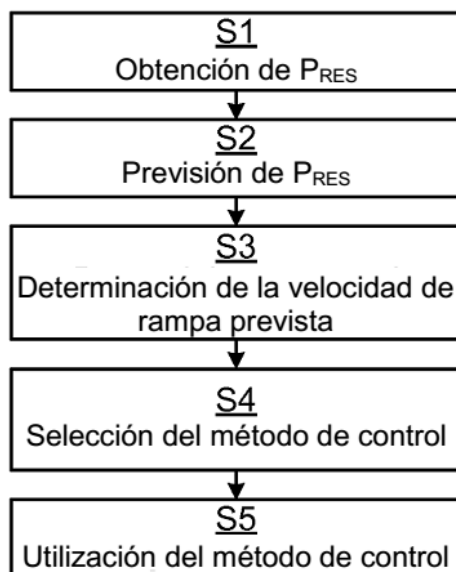


Fig. 3

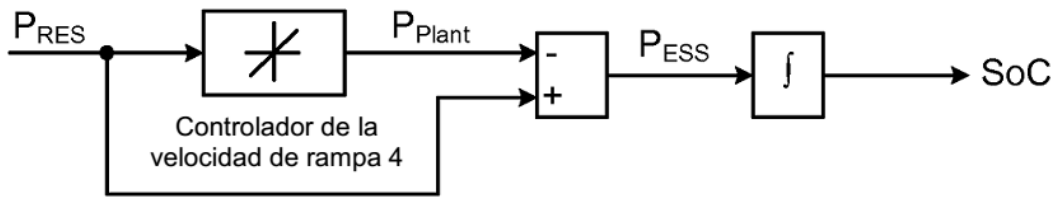


Fig. 4

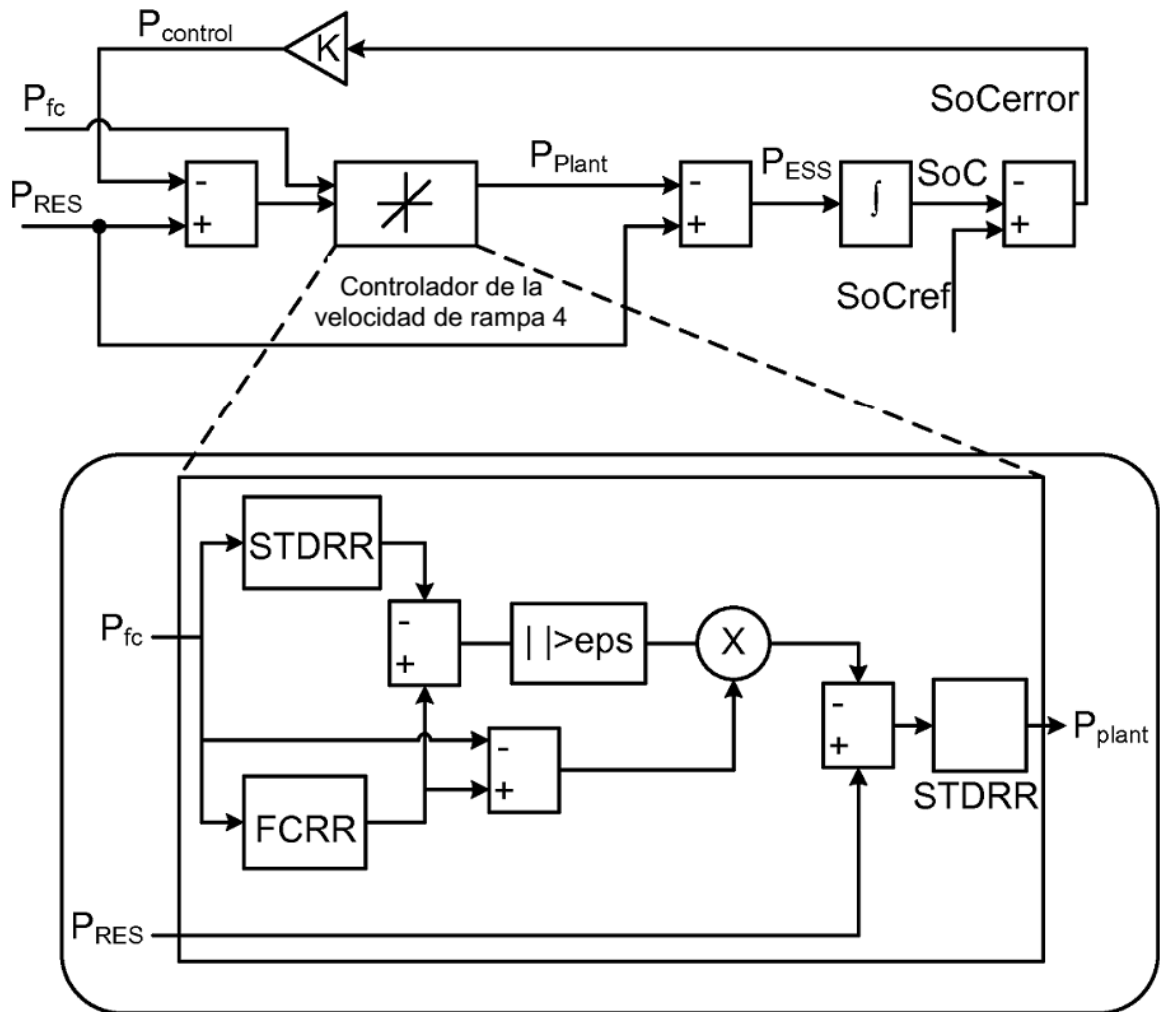


Fig. 5

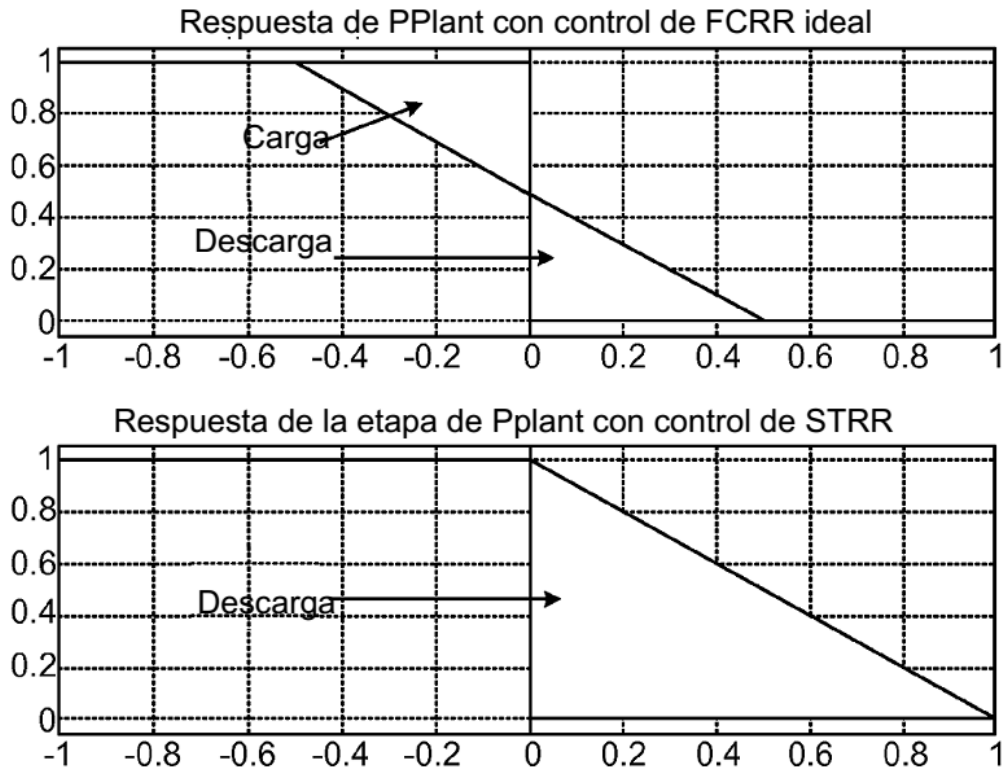


Fig. 6

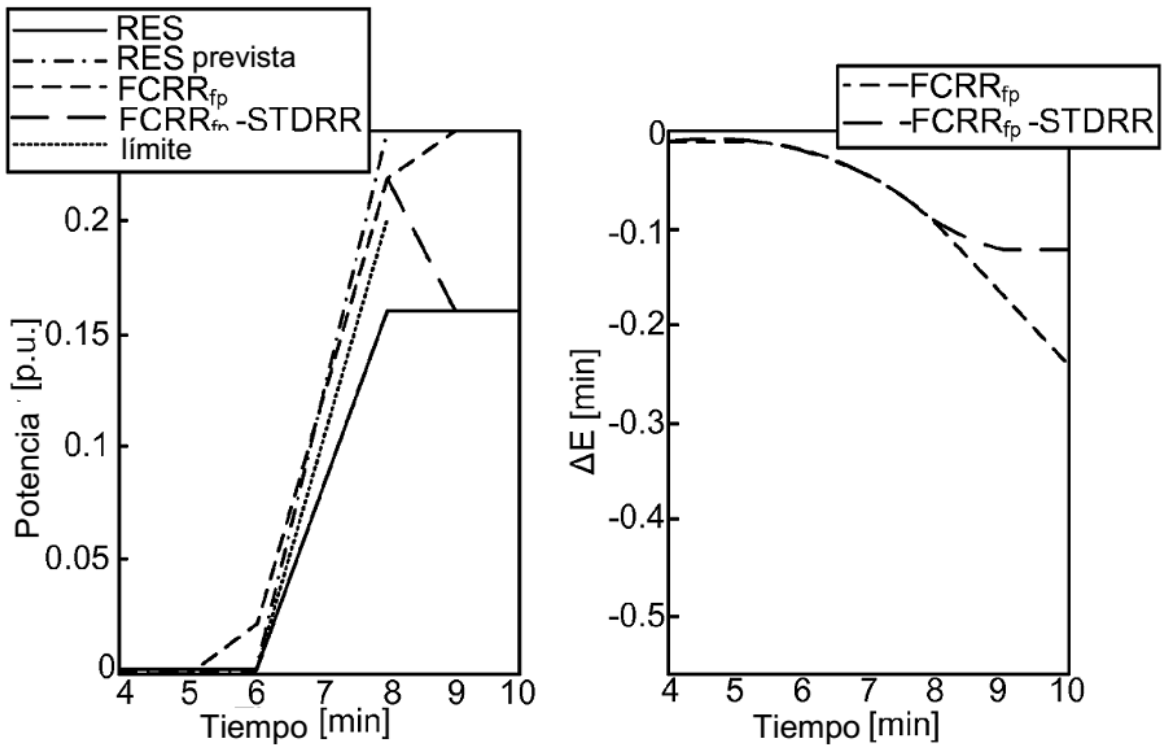


Fig. 7

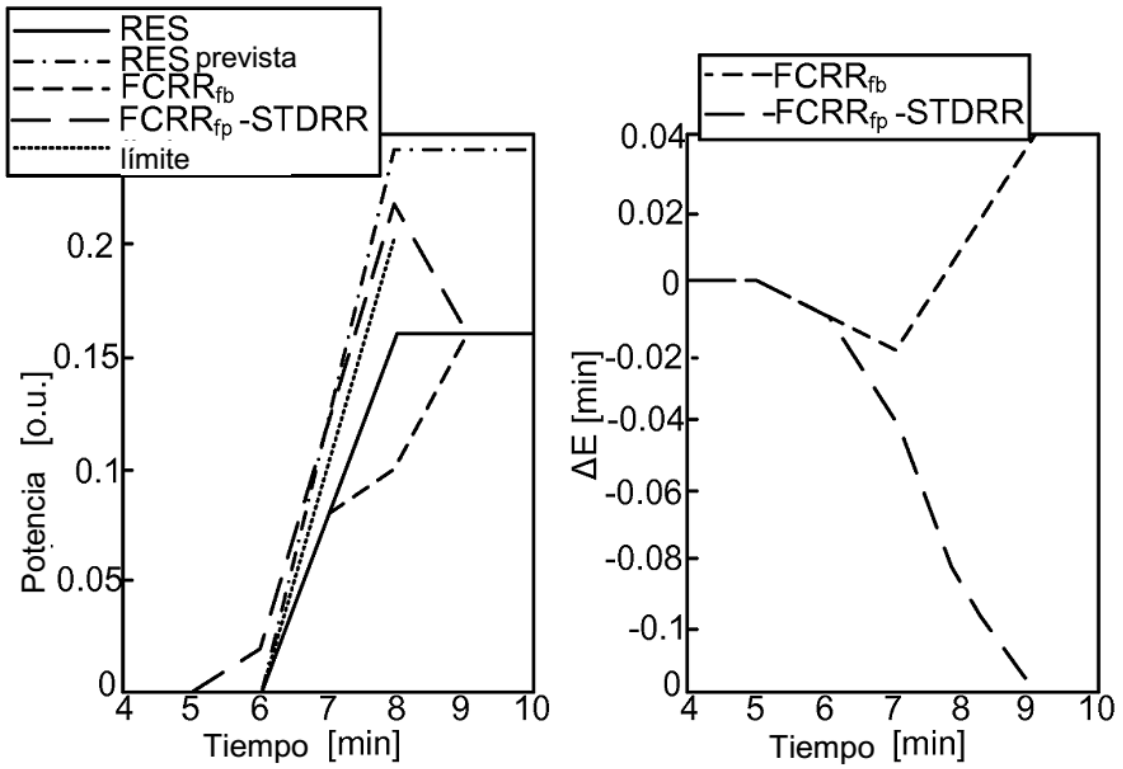


Fig. 8

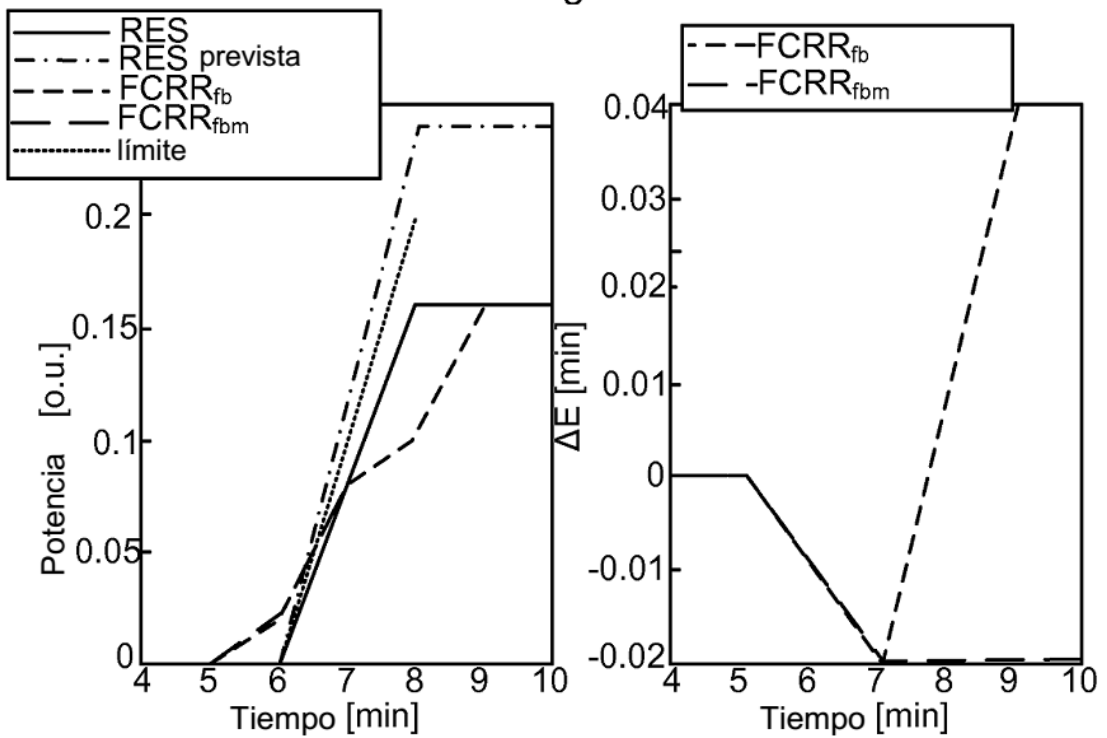


Fig. 9

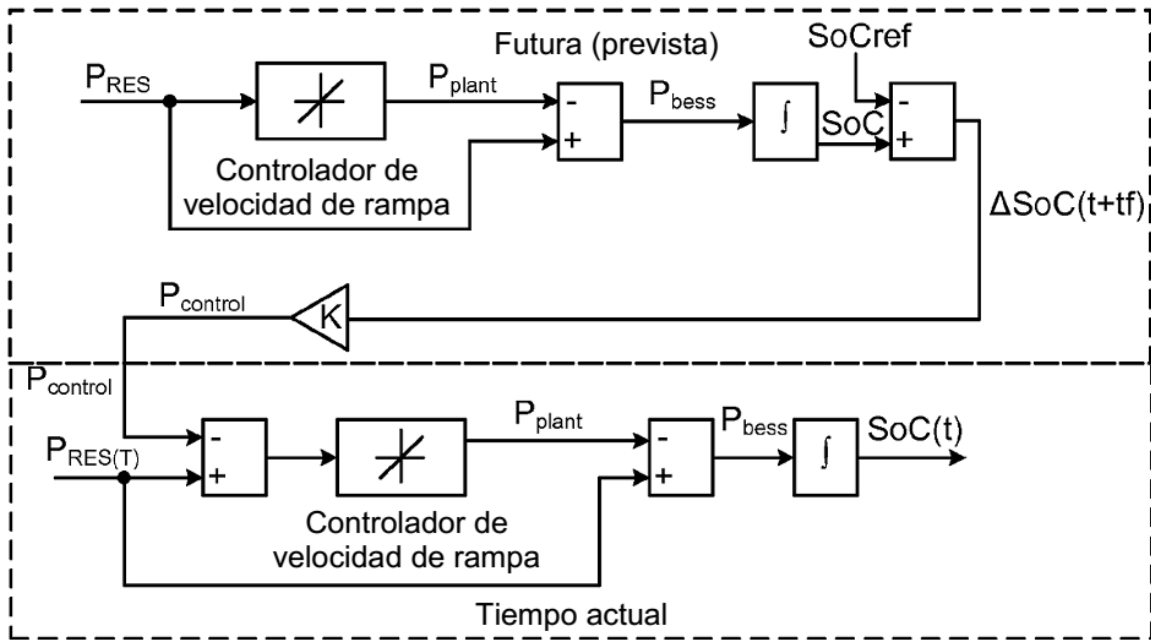


Fig. 10

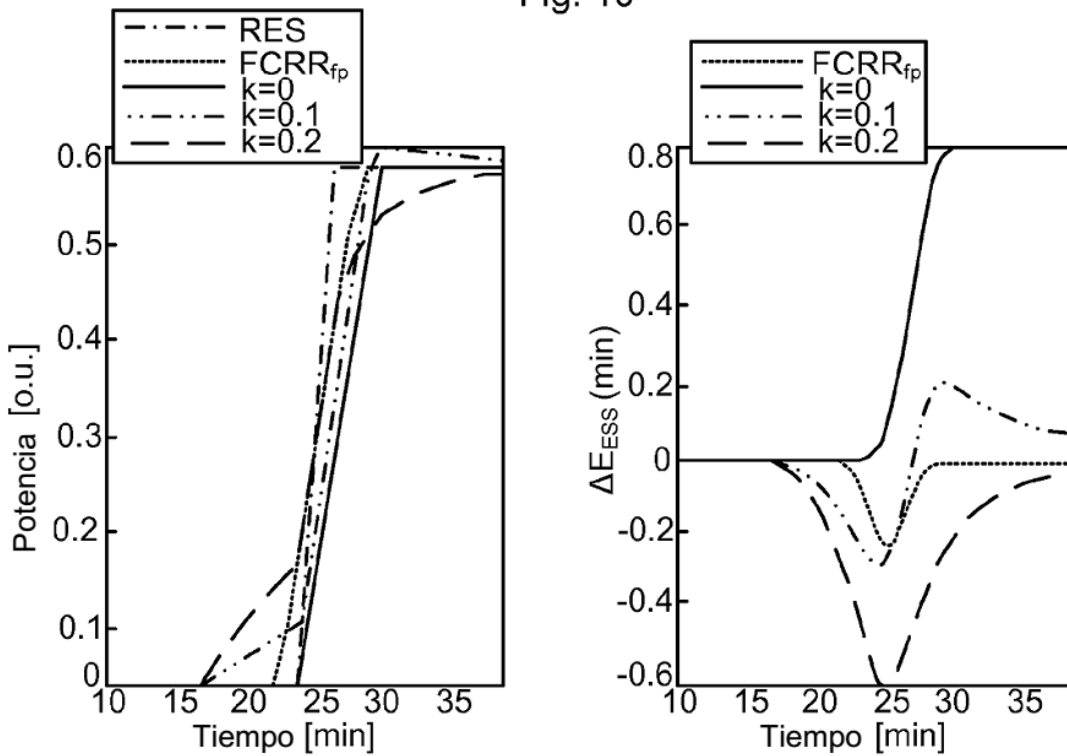


Fig. 11