

SISTEMA Y MÉTODO PARA EQUILIBRIO DE CARGA

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente de los Estados Unidos N° 16/593,380 presentada con fecha 4 de octubre de 2019, cuyo contenido se incorpora aquí como referencias en su totalidad

Campo

La presente invención se relaciona con la generación de energía en una compañía hidroeléctrica y específicamente con la generación y el almacenamiento de electricidad mediante fuentes de energía renovables.

Información sobre antecedentes

Históricamente, las centrales hidroeléctricas con capacidad de reserva del mundo han sido la mayor fuente de energía de la red eléctrica para prevenir y/o mitigar el riesgo de un apagón frente a los fenómenos naturales de alto impacto. Estas centrales han asegurado un funcionamiento robusto y flexible de la red de distribución que por lo tanto reduce su vulnerabilidad en condiciones normales y con contingencias.

Además, el almacenamiento de energía hidroeléctrica por bombeo (PHES) permite el ahorro de la energía de fuentes intermitentes tales como la solar y eólica o que el exceso de electricidad de fuentes continuas de carga de base (como carbón o nuclear) para períodos de demanda más alta. Los embalses usados con almacenamiento por bombeo son bastante pequeños cuando se los compara con las represas hidroeléctricas con una capacidad de energía similar y los períodos de generación suelen ser menos de la mitad del día.

En la actualidad, más del noventa y seis por ciento (96%) de la capacidad de almacenamiento de energía instalada del mundo proviene de un almacenamiento por bombeo. Capaces de proveer energía renovable precisamente cuando se la necesita, estos proyectos habitualmente consisten en la construcción de embalses superiores e inferiores de agua, con o sin represas que los acompañen.

Resumen

Se divulga un sistema de manejo de carga para una central hidroeléctrica, el sistema comprende: un generador de energía configurado para generar energía eléctrica desde un flujo de agua para la provisión a una red de energía; un

embalse virtual configurado para almacenar la energía eléctrica generada y despachar la energía eléctrica almacenada hacia la red eléctrica; y una pluralidad de disyuntores que conectan una salida del generador de energía hacia la red de energía y hacia el embalse virtual; una unidad de control configurada para controlar los estados de funcionamiento de la pluralidad de disyuntores de manera tal que la energía eléctrica generada se almacene en el embalse virtual y que por lo menos una de la energía eléctrica generada y la energía eléctrica almacenada se provea a la red de energía.

Se divulga un método para el equilibrio de carga de un sistema de energía hidroeléctrica, el sistema de energía hidroeléctrica incluye un generador de energía, una pluralidad de sensores, un embalse virtual, una pluralidad de disyuntores enclavados y una unidad de control, el método comprende: medir, a través de una pluralidad sensores, uno o más parámetros de funcionamiento del sistema de energía hidroeléctrica y controlar, a través de la unidad de control, los estados de funcionamiento de la pluralidad de disyuntores enclavados para almacenar la energía eléctrica emitida por el generador en el embalse virtual y despachar la energía eléctrica almacenada en el embalse virtual a la red de energía, en donde los estados

de funcionamiento de la pluralidad de disyuntores enclavados se controlan de acuerdo con por lo menos un punto fijo de funcionamiento o uno o más parámetros de funcionamiento medidos del sistema de energía.

Se divulga un medio legible por computadora no transitorio, el medio legible por computadora está codificado con un código del programa que, cuando se lo pone en contacto con un procesador informático, hace que el procesador informático ejecute un método para el equilibrio de carga de un sistema de energía hidroeléctrica con demandas de una red de energía, el método comprende los pasos de recibir una pluralidad de parámetros del sistema de energía medida; y controlar los estados de funcionamiento de la pluralidad de disyuntores enclavados para almacenar la energía eléctrica emitida por un generador en un embalse virtual y despachar la energía eléctrica almacenada en el embalse virtual hacia una red de energía, en donde los estados de funcionamiento de la pluralidad de disyuntores enclavados se controlan de acuerdo con por lo menos uno de un punto fijo de funcionamiento del sistema de energía o uno o más de los parámetros del sistema de energía medidos.

Breve descripción de los dibujos

Otros objetivos y ventajas de la presente invención se advertirán a partir de la siguiente descripción de ejemplos de realizaciones preferidas cuando se la interpreta en conjunto con los dibujos que se exponen en la presente.

La Figura 1 ilustra un sistema de manejo de carga en una central hidroeléctrica de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención.

La Figura 2 ilustra un sistema de control de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención.

La Figura 3 es un diagrama que ilustra un gráfico para mostrar la tolerancia máxima permitida desde las bandas muertas altas y bajas.

La Figura 4 es un método que ilustra un método para el manejo de la carga de acuerdo con un ejemplo de realización.

Descripción detallada

Algunos ejemplos de realizaciones de la presente invención se refieren a una manera de almacenar energía de una central hidroeléctrica para su posterior uso. La energía se

puede almacenar en una red baterías, tales como baterías de ion de litio. El almacenamiento de energía de la red de baterías permite almacenar la energía sin la infraestructura física necesaria para el bombeo de agua.

Una represa hidroeléctrica (HD) es una estructura conocida que define o se usa en combinación con una central hidroeléctrica (por ejemplo, un generador de energía). La HD cumple dos funciones importantes. En primer lugar, incluye un embalse que almacena el agua obtenida de un recurso natural (por ejemplo, un río, un arroyo, un lago, etc.). En segundo lugar, la HD libera gradualmente el agua almacenada o ajusta el flujo de agua desde el embalse según la demanda. El agua liberada pasa a través de un generador de turbinas para proveer energía a la red de energía o carga. Normalmente una HD puede generar energía durante todo el año si hay suficientes reservas disponibles mediante el almacenamiento del agua que fluye a través de un río. En esta disposición, el río normalmente tiene suficiente flujo de agua en el transcurso del tiempo para generar energía en los horarios de alto consumo. La HD necesita una inversión mayor y relativamente costosa, así como una mayor superficie para la construcción del embalse y la central.

Una central hidroeléctrica de agua fluyente (RoR) usa una parte del flujo de un río para generar electricidad. La central de agua fluyente no tiene un embalse y en consecuencia, funciona en forma continua porque no tiene la capacidad de almacenamiento de agua (sin reservas). La turbina está limitada a su capacidad instalada porque convierte el agua disponible en energía eléctrica en el momento. El agua fluyente puede proveer niveles intermitentes de la energía eléctrica de acuerdo con el flujo de agua que pasa a través del generador turbina.

Un almacenamiento de energía hidroeléctrica por bombeo (PHES) es un tipo de almacenamiento de energía hidroeléctrica usado por los sistemas de energía eléctrica para el equilibrio de carga diario. El sistema de PHES almacena la energía en la forma de energía potencial gravitatoria del agua bombeada desde un embalse de elevación más baja para el almacenamiento en una elevación más alta. La energía eléctrica fuera de punta excedente de bajo costo normalmente se usa para hacer funcionar las bombas. Durante los períodos de alta demanda eléctrica, el agua almacenada se libera a través de las turbinas para producir energía eléctrica. Si bien las pérdidas del proceso de bombeo hacen de la central un consumidor neto de la energía total, el sistema aumenta sus ingresos a través

de la venta de electricidad diaria durante períodos de demanda pico, cuando los precios son más altos.

El operador de sistema independiente (ISO) es igualmente una organización formada por recomendación de la Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC). En las zonas donde se lo establece, el ISO coordina, controla y monitorea el funcionamiento de un sistema de energía eléctrica, habitualmente dentro de un solo estado de Estados Unidos, pero algunas veces comprende a varios estados.

La Figura 1 ilustra un sistema de manejo de carga para una central hidroeléctrica de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención.

Como se muestra en la Figura 1, el sistema 100 puede incluir una central de energía 102 configurada para generar energía eléctrica desde el flujo de agua de río para proveer a una red de energía 104. La central de energía 102 puede estar configurada como un agua fluyente, que no tiene un embalse físico para almacenar agua para el uso posterior en la generación de energía. La central de energía 102 puede incluir cualquier combinación de componentes del sistema de energía tal como una turbina de agua que convierte la energía potencial cinética del agua en trabajo

mecánico, uno o más generadores de turbinas que convierten la fuerza motriz de la turbina de agua en energía eléctrica y cualquier otro componente adecuado según se desee. La cantidad total de la energía eléctrica generada por la central de energía es igual a P_G .

El sistema 100 puede incluir un embalse virtual 106 configurado para almacenar la energía eléctrica y despachar la energía eléctrica a la red eléctrica 104. El embalse virtual 106 puede incluir una tecnología de almacenamiento reutilizable tal como un sistema de almacenamiento de batería (BSS) 108 y un inversor de energía 110. El BSS 108 puede incluir una red de baterías de cualquier tecnología de batería reutilizable existente o futuro que incluye ion de litio, baterías de flujo o cualquier otra batería recargable adecuada que se desee, que puede almacenar energía eléctrica durante por lo menos cinco (5) horas para el posterior despacho a la red eléctrica 104. El inversor de energía 110 cambia de corriente alterna a corriente continua para el almacenamiento en el BSS 108 y realiza la operación opuesta cuando la energía almacenada en el BSS 108 se despacha hacia la red eléctrica 104. El embalse virtual 106 también puede incluir un controlador del embalse virtual (VR) 111 configurado para controlar las operaciones de carga y

descarga del BSS 108. Como se discute detalladamente a continuación, el embalse virtual 106 puede estar configurado para complementar la energía eléctrica provista a la red por la planta de electricidad 102 durante los períodos de alta demanda. El embalse virtual 106 está incluido en un circuito de embalse virtual 107 que incluye uno o más transformadores 112, 114 configurados para acondicionar y/o transformar la energía eléctrica que fluye hacia o desde el BSS 108 para el almacenamiento o despacho, uno o más disyuntores 116, 118 para la conexión o desconexión del circuito de embalse 107 para la alimentación a la red eléctrica 102 y un transformador elevador 115.

Los transformadores de corriente 112, 114 y los disyuntores 116, 118 están dispuestos en pares a ambos lados del transformador elevador 120. Los pares de transformadores o disyuntores se usan para acondicionar la energía eléctrica según si una operación de almacenamiento o despacho se está realizando por el embalse virtual 106. Un primer par configurado para controlar el despacho de la energía eléctrica desde el embalse virtual 106 a la red eléctrica 104. El primer par incluye el transformador de corriente 112 y el disyuntor 116. El transformador de corriente 112 se conecta con una salida del inversor de energía 110 y el

disyuntor 116 se conecta entre el transformador de corriente 112 y el transformador elevador 120. Un segundo par configurado para controlar el flujo de energía eléctrica en el embalse virtual 106 para el almacenamiento incluye el transformador de corriente 114 y el disyuntor 118. El transformador de corriente 114 está conectado con una salida del circuito de la central eléctrica 105 y el disyuntor 118 está conectado entre el transformador de corriente 114 y el transformador elevador 120. El flujo total de energía hacia o desde el embalse virtual 106 es P_G .

El sistema 100 también incluye un tercer par de transformadores o disyuntores configurado para controlar el flujo de la energía eléctrica desde la central eléctrica 102 y/o el embalse virtual 106 a la red eléctrica 104. El transformador 126 está conectado con la salida del circuito de la central eléctrica 105 y la salida del circuito del embalse virtual 107. Un disyuntor 128 es el disyuntor de sincronización principal para la central eléctrica 100 y está conectado entre el transformador de corriente 126 y la red eléctrica 104.

El sistema 100 también incluye un sistema de control 130 configurado para controlar los estados de funcionamiento de

la pluralidad de disyuntores 116, 118, 128 de manera tal que la energía eléctrica generada se almacene en el embalse virtual 106 y que por lo menos una de la energía eléctrica generada o la energía eléctrica almacenada se provea a la red eléctrica 104. La inyección de potencia activa total a la red eléctrica 104 (P_{total}) es igual a la suma de la inyección de potencia activa desde la central eléctrica de agua fluyente 102 (P_G) más la potencia activa desde el embalse virtual 106 (P_{VD}) o:

$$P_{total} = P_G + P_{VD} \quad (1)$$

La Figura 2 ilustra un sistema de control de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención. Como se muestra en la Figura 2, el sistema de control 130 puede incluir una unidad de control 200 y un controlador maestro 210. La unidad de control 200 puede incluir una combinación de componentes de software y de hardware configurados para funcionar como un control de automatización de en tiempo real y/o una unidad terminal remota. Por ejemplo, la unidad de control 200 puede incluir uno o más procesadores 203 que están codificados con cualquier cantidad de módulos de software para ejecutar funciones y/o cálculos de control específicos. La unidad de control 200 también puede incluir una infraestructura de comunicaciones 202 capaz de recibir y transmitir datos a través de una red por cable o

inalámbrica tal como una red de área local (LAN) o una red de área amplia (WAN) y establecer una conexión dentro de los componentes del sistema a través de una red de control supervisor y de adquisición de datos para la comunicación de los datos y comandos de control. La unidad de control puede estar configurada para incluir la memoria 205 para almacenar datos y/o información de la configuración para la comunicación y/o el control.

El sistema de control 130 también puede incluir un controlador maestro 210. El controlador maestro 210 puede estar configurado para incluir, en forma no taxativa, una computadora de escritorio, un grupo de computadoras de escritorio, un servidor, un grupo de servidores, un decodificador u otro tipo similar de dispositivo capaz de obtener una entrada desde un ISO o un usuario, que recibe datos que especifican los estados de funcionamiento y los valores de medición de uno o más componentes del sistema 100 y generan instrucciones y/o señales de control para controlar el funcionamiento de uno o más componentes del sistema 100. El sistema 100 puede incluir uno o más sensores 126 para medir una frecuencia de red de acuerdo con un ejemplo de realización.

Como se muestra en la Figura 2, de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención, el controlador maestro 210 puede incluir uno o más procesadores 212 codificados con uno o más módulos de software para generar una interfaz hombre-máquina (HMI) 214. La HMI 214 puede estar configurada para generar un monitor que brinda información de medición y/o un estado de funcionamiento de diversos sistemas y componentes en el sistema de manejo de carga 100 que incluye uno o más componentes y/o parámetros del circuito de central eléctrica 103 y el circuito de embalse virtual 107. Además, la HMI 214 puede generar opciones para controlar los modos de funcionamiento del sistema de manejo 100 que incluye diversos componentes del circuito de central eléctrica 105 y el circuito de embalse virtual 107. Por ejemplo, a través del HMI 214, un ISO puede enviar comandos directamente a la unidad central 200 a través del dispositivo de interfaz de comunicación 220. Esos dispositivos de interfaz pueden recibir comandos desde fuentes de control externas a través del protocolo de comunicaciones DNP3. El controlador maestro 210 también puede incluir uno más dispositivos de memoria 215 para almacenar datos relacionados con el embalse virtual 106, la central eléctrica 102 y la red eléctrica 103.

Volviendo a la Figura 1, el sistema 100 puede incluir un enclavamiento de relé 132 configurado para interconectar la pluralidad de disyuntores 116, 118, 128. El controlador maestro 210 puede estar configurado para generar señales y/o datos de control para controlar que la unidad de control 200 ajuste el enclavamiento de relé 132 basado en por lo menos la energía eléctrica P_G generada por la central eléctrica 102. El enclavamiento de relé 132 de un dispositivo electrónico inteligente puede incluir una solución de bus de proceso IEC 61850 que permite el mapeo de las mediciones hechas en los disyuntores 116, 118, 128 a los relés de protección ubicados en la unidad de control 200 y/o el controlador maestro 210 usando comunicaciones seguras. La IEC incorpora un sistema de fibra dura diseñado para reducir la mano de obra general asociada con las tareas de diseñar, documentar, instalar y ensayar los sistemas de protección y control. Al dirigirse específicamente a los cables de cobre y a la totalidad de la mano de obra necesaria para el embalse virtual 106, el sistema de fibra dura permite un mayor aprovechamiento y optimización de los recursos, elimina la mayoría los cables de cobre para aprovechar mejor los recursos para el diseño, la construcción, la comisión y el mantenimiento de la protección y el control del sistema de energía y emplea una

arquitectura robusta y simple para desplegar el bus del proceso IEC 61850.

El ejemplo de enclavamiento de relé 132 como se describe anteriormente reduce la exposición a las amenazas a la ciberseguridad a través de comunicaciones selladas y mejora la seguridad limitando la cantidad de señales de energía alta en las instalaciones de control. Además, de acuerdo con ejemplos de realizaciones de la presente invención, el dispositivo electrónico inteligente se aplica en la diferencia de línea de multiterminales donde 2 o más terminales están a menos de 2 km de distancia y en las salas de protección y control remoto para que la subestación de control mitigue la exposición de los operadores a los riesgos de arco de flameo. Ambas pueden ser propiedades del circuito de embalse virtual 107. El dispositivo electrónico inteligente está dispuesto para proteger los arrollamientos del generador de la central de energía 102, ya que el embalse virtual está configurado para despachar la energía eléctrica almacenada a la central eléctrica cuando el generador está en servicio.

De acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención, la HMI 214 del controlador maestro 210 puede proporcionar directamente el ajuste de los puntos fijos de

despacho de potencia real y reactiva del embalse virtual 106. Los puntos fijos de despacho se pueden especificar para cada uno de los miembros de diferentes modos de funcionamiento y solo pueden ser efectivos cuando el generador está en funcionamiento y solo cuando el disyuntor de sincronización principal 12 está cerrado. En virtud del enclavamiento de relé 132 entre el disyuntor de sincronización principal 128 y los disyuntores 116 y 118 en el circuito de embalse virtual 107, el controlador maestro 210 asegura que el embalse virtual 106 no pueda cargar o descargar a los arrollamientos del generador de la central eléctrica 102 en una situación en la cual el generador de la central eléctrica 102 no está funcionando y/o el disyuntor de sincronización principal 128 está abierto. La HMI 202 del controlador maestro 210 puede incluir un enclavamiento de control asociado con el sistema de control del embalse virtual 106. El enclavamiento de control es un gatillo que informa al sistema de control del embalse virtual 106 cuando la salida del generador de la central eléctrica 102 está por debajo de P_G que especifica una condición en la cual el BSS del embalse virtual 106 no se debe cargar ni descargar. Por ejemplo, se deben cumplir las siguientes condiciones para la carga y descarga del BSS 108:

$$\begin{array}{lll} \text{Descarga de baterías} & P_{\text{total}} = P_G + P_{VD} & P_G > P_{VD} \\ & (2) \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Carga de baterías} & P_{\text{total}} = P_G - P_{VD} \quad P_{\text{total}} > 0. \text{ y } P_G > P_{VD} \\ & (3) \end{array}$$

De acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención, el sistema de manejo total 100 puede proporcionar una protección de generación excesiva para el embalse virtual 106. La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra el diagrama de bloques para la comunicación de señales y datos de control de la presente invención. Como se muestra en la Figura 2, el controlador del VR 111 puede estar configurado para modificar la salida de energía eléctrica del embalse virtual 106 de manera tal que la salida total de la central eléctrica 102 y el embalse virtual 106 no pase de un punto fijo definido de generación en la red eléctrica 104. El controlador del VR 111 puede incluir uno o más procesadores 227, la memoria 227 para almacenar datos relacionados con el embalse virtual 106 y el circuito del embalse virtual 107 y una HMI 229. El controlador del VR 111 también incluye una interfaz de comunicación 231 para enviar y/o recibir señales y/o datos de control al embalse virtual 106 y el controlador maestro 210. La interfaz de comunicación 231 puede incluir una pluralidad de componentes de comunicaciones para conectar y

darle un formato a las señales de datos para la comunicación a través de la LAN, la WAN, inalámbrica, RF, SCADA, Bluetooth o cualquier otro formato de comunicación que se desee o se especifique para el control. El punto fijo de salida eléctrica del embalse virtual 106 se puede definir a través de la HMI 212 del controlador maestro 210. El punto fijo se puede comunicar con la unidad de control 200 para el control en tiempo real de la salida eléctrica.

Se puede controlar que el embalse virtual 106 funcione en uno de numerosos modos de funcionamiento. El control del embalse virtual 106 puede estar especificado por el sistema de control 130 en general y más específicamente la unidad de control 200 puede comunicar señales de control desde el controlador maestro 210 a través del controlador del VR 111.

En un modo manual (MM), el controlador del VR 111 y/o el controlador maestro 210 pueden proporcionar el control completo del embalse virtual 106 desde una interfaz (HMI) de pantalla táctil nativa extensible y personalizable tanto en forma local como en forma remota. El modo manual puede incluir un modo de despacho manual. La HMI remota se puede implementar a través de la HMI 202 del controlador maestro 210. De acuerdo con otro ejemplo de realización, la HMI

remota se puede implementar en un dispositivo informático móvil tal como un teléfono inteligente, una tableta, una computadora portátil u otro dispositivo electrónico inteligente que tiene una capacidad de conexión portátil y dinámica con la red inalámbrica. Para el funcionamiento en el modo de despacho manual, que consiste en el despacho de energía eléctrica desde el embalse virtual 106, el embalse virtual 106 que incluye el circuito de embalse virtual 107 se sincroniza con la red eléctrica 104 y responde a los ajustes del operador sin violar los límites y protecciones del generador de la central eléctrica 102. El modo de despacho manual provee el control manual de un punto fijo de despacho en el cual un operador puede ajustar directamente los puntos fijos de despacho de potencia real y reactiva a través de la HMI 229. Como ya se discutió, se puede acceder a la HMI a través del controlador del VR 111, del controlador maestro 210 y/o de un dispositivo informático móvil 240.

De acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención, el sistema de manejo de carga 100 puede incluir un modo de control de generación automático (AGC). El modo de AGC se usa para el despacho controlado o remoto de varios recursos. En el modo de AGC, la unidad de control 200 se puede configurar para controlar los parámetros y/o

los puntos fijos desde el controlador maestro 210. La unidad de control 200 puede pasar los datos y/o señales recibidas a la red eléctrica 102 a través de un enlace de comunicaciones. El modo de despacho de AGC incluye el despacho de potencia reactiva con parámetros controlables, el despacho de potencia reactiva y el índice de carga o descarga de rampa.

En un AGC de modo de comercio de energía las señales se envían a la instalación para realizar el comercio de energía.

En un modo de mitigación de la rampa en el sistema de red eléctrica, las señales del AGC se envían mediante la unidad de control 200 a la central eléctrica 102 para realizar la mitigación de la rampa.

En un modo de manejo del estado de carga (SOC) (para la restauración del SOC), el BSS 108 del embalse virtual 106 se puede mudar al BSS 108 del embalse virtual 106.

Un servicio de regulación de frecuencia se puede denominar una regulación terciaria de frecuencia (TFR). La TFR se puede implementar mediante el control AGC del embalse virtual 106 desde el operador del sistema. La FFR, PFR y

SFR son servicios de contingencia de la frecuencia que implementa el embalse virtual 106 a partir de las mediciones de la frecuencia de la red en la central eléctrica de agua fluyente 102 y por lo tanto no necesitan el AGC.

También se puede controlar que el embalse virtual 106 funcione en uno de varios modos de control de frecuencia. Los diversos tipos de modos de control de frecuencia disponibles están basados en selecciones elegidas a través de la HMI 202, de acuerdo con la pluralidad de modos de control de frecuencia.

El embalse virtual 106 puede funcionar de acuerdo con una regulación rápida de frecuencia (FFR), que es un servicio de contingencia (lo cual significa que se lo debe proveer en forma prioritaria sobre cualquier otra operación que esté realizando el embalse virtual 106 en ese momento) en el cual el embalse virtual está configurado para suministrar el 100% de la reserva de compromiso al operador del sistema dentro del tiempo de 1 segundo a 10 segundos de acuerdo con una función de caída de frecuencia.

La regulación primaria de frecuencia (PFR) es uno de los modos de control de la frecuencia que es un servicio de

contingencia (lo cual significa que se lo debe proveer en forma prioritaria sobre cualquier otra operación que esté realizando el embalse virtual 106 en ese momento) en el cual el embalse virtual 135 puede estar configurado para suministrar el 100% de la reserva de compromiso al ISO dentro del tiempo de 10 segundos a 5 minutos de acuerdo con la función de caída de frecuencia.

Una regulación secundaria de frecuencia (SFR) es un modo de control de la frecuencia que representa un servicio de contingencia en el cual el embalse virtual está configurado para suministrar el 100% de la reserva de compromiso al ISO dentro del tiempo de 5 minutos a 15 minutos de acuerdo con la función de caída de frecuencia. De acuerdo con un ejemplo realización, durante el modo de SFR, se puede ajustar a cada uno de uno o más generadores sincrónicos para funcionar a diferentes velocidades, pero en una misma frecuencia, en la cual varios generadores sincrónicos se pueden conectar en paralelo.

La regulación terciaria de frecuencia (TFR) es un modo de control de la frecuencia en el cual el ISO envía una señal de AGC al embalse virtual 106 para controlar la frecuencia del sistema de la red eléctrica.

La Figura 3 es un diagrama que ilustra un gráfico que muestra la tolerancia máxima permitida desde las bandas muertas altas y bajas. El diagrama de la Figura 3 está ajustado en el contexto de un ejemplo de sistema eléctrico de 60 Hz. Las coordenadas (60, 0) del gráfico representan un punto fijo en la frecuencia (60) y la potencia (0), de manera tal que la caja limitada representa el rango de desviación del punto fijo. De acuerdo con un ejemplo de realización, la caja limitada representa una banda muerta de $\pm 1\%$ en el punto fijo de carga o descarga para el BSS 108. Se debe comprender que las coordenadas del punto fijo pueden tener valores de acuerdo con una frecuencia principal o de utilidad según se desee. Por ejemplo, de acuerdo con un ejemplo de realización la frecuencia principal puede ser de 50 Hz que es un punto fijo de (50, 0). La Figura 3 ilustra una técnica de control de la velocidad de caída en la cual la salida de energía de dichos uno o más generadores de la central eléctrica 102 se reduce a medida que aumenta la frecuencia de la línea. Dicho índice de energía producido por la central eléctrica 102 se puede controlar basado en la frecuencia de la red.

La línea de gráfico 1 de la Figura 3 representa la frecuencia delta de energía total, que es la desviación en Hertz de la frecuencia del sistema desde la frecuencia

deseada del sistema en la cual el BSS 108 debe estar en la carga o descarga de energía total.

La línea de gráfico 2 de la Figura 3 muestra la frecuencia delta de banda muerta, que es la desviación máxima, en Hertz, entre la frecuencia medida del sistema y la frecuencia deseada del sistema, dentro de la cual la HMI que funciona en el controlador maestro 210 o el controlador del VR 111 es libre de cargar o descargar el BSS 108 a fin de devolverlo a un estado deseado de carga. Se permiten diferentes valores de frecuencia delta baja y frecuencia delta alta.

La línea de gráfico 3 de la Figura 3 muestra un punto fijo de carga de banda muerta, un punto fijo de descarga de banda muerta, que representan un despacho máximo de energía en Kilowatts, en un estado en el cual la batería despacha la energía eléctrica almacenada mientras está dentro de la configuración de la banda muerta normal de la frecuencia. Por ejemplo, el punto fijo de descarga no permite que el BSS 108 descargue por debajo del 2% de la carga máxima. Es decir, como mínimo el BSS 108 está configurado para tener por lo menos el 2% de la carga en todo momento. En forma similar, el punto fijo de la carga ajusta una detención al 98% del máximo de la carga completa de manera tal que la

capacidad de carga del BSS 108 no supere el 98% o el 99%. Como resultado, el SOC se puede manejar cuando la regulación de la frecuencia está inactiva. Un punto fijo más pequeño reduce la desviación desde la frecuencia deseada de la red.

La línea de gráfico 4 de la Figura 3 es el punto fijo de descarga de baja frecuencia, el punto fijo de carga de alta frecuencia, que son parámetros que representan un valor fijo, en kilowatts, para el desvío cuando la FFR se está corrigiendo para la baja frecuencia o la alta frecuencia. El desvío permite que el SOC se maneje cuando el sistema está siguiendo la curva de caída de la regulación de la frecuencia.

La línea de gráfico 5 de la Figura 3 es la banda muerta de SOC alto, la banda muerta de SOC bajo, que son parámetros que representan la tolerancia máxima, en puntos porcentuales (por ejemplo, $\pm 1\%$), que el SOC de una red de baterías del BSS 108 puede variar desde el valor deseado. Fuera de este rango, los despachos se desvían para manejar el SOC.

De acuerdo con un ejemplo de realización, cuando la frecuencia de línea cae por debajo de 60 Hz, el embalse

virtual 106 se descarga para inyectar energía en el sistema para impulsar la carga. En cambio, cuando la frecuencia está por encima de 60 Hz, el sistema está experimentando más energía que la necesaria para la carga. En este caso, el embalse virtual 106 se carga con la energía desde la línea de energía.

La Figura 4 es un método que ilustra un método para el manejo de la carga de acuerdo con un ejemplo de realización. Las partes de procesamiento del método se pueden implementar a través de la HMI 202 de dichos uno o más componentes del sistema de manejo de carga 100.

En un primer paso, uno o más de la pluralidad de sensores miden los parámetros de funcionamiento del sistema de energía hidroeléctrica (400). Los estados de funcionamiento de la pluralidad de los disyuntores enclavados 116, 118, 128 se controlan de manera tal que la energía eléctrica emitida por el generador en la central eléctrica 102 se almacena en el embalse virtual 106 y la energía eléctrica y que se despache la energía eléctrica almacenada en el embalse virtual 106 hacia una red eléctrica (402). Los estados de funcionamiento de la pluralidad de disyuntores enclavados se controlan en uno de un punto fijo de funcionamiento o uno o más parámetros de funcionamiento medidos del sistema de energía 100. Se despacha una

cantidad de energía eléctrica desde el embalse virtual basado en un punto fijo predefinido de energía eléctrica que se debe proveer a la red eléctrica (404).

Hardware del sistema

Continuando con la referencia a las figuras incluidas en la presente, dichos uno o más procesadores de una unidad de control 200, el controlador maestro 210 o el controlador del embalse virtual 111 pueden ser un dispositivo de procesador de propósito general. De acuerdo con los ejemplos de realizaciones de la presente invención, el procesador o la memoria de hardware 205 conectados al procesador de hardware están codificados con una serie de software adecuada para llevar a cabo el procesamiento. Dichos uno o más procesadores se pueden conectar con una infraestructura de comunicación, tal como un bus interno, una cola de mensajes, una red, un modelo de paso de mensajes multinúcleo, etc.

La red 109 puede ser cualquier red adecuada para cumplir las funciones como se divulga en la presente y puede incluir una configuración de la capacidad de comunicaciones para una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), una red inalámbrica (por ejemplo, Wi-Fi), una red de

comunicación móvil, una red SCADA, una red satelital, la internet, una fibra óptica, un cable coaxial, infrarrojo, radio frecuencia (RF) o cualquier combinación de ellos. Otros tipos y configuraciones de redes adecuadas serán evidentes para las personas con conocimientos del arte relevante.

El dispositivo informático móvil puede incluir una memoria 220 (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio, una memoria de solo lectura, etc.) y también puede incluir varias memorias. De acuerdo con un ejemplo de realización, la memoria 205 puede incluir medios de registro legibles por computadora no transitorios (por ejemplo, ROM, unidad de disco rígido RAM, memoria rápida, una memoria óptica, una unidad de estado sólido, etc.). Un dispositivo de procesador de hardware como se discute en la presente puede ser un procesador de hardware único, una pluralidad de procesadores de hardware o combinaciones de ellos. El dispositivo de procesador de hardware puede tener uno o más "núcleos" de procesador.

Los datos almacenados en el controlador maestro, la unidad de control y/o el dispositivo informático pueden incluir cualquier tipo de medio legible por computadora adecuado, tal como un almacenamiento óptico (por ejemplo, un disco

compacto, un disco versátil digital, un almacenamiento magnético (por ejemplo, una unidad de disco rígido) o una unidad de estado sólido, un sistema operativo y una o más aplicaciones.

Como ya se discutió, dichos uno o más procesadores pueden incluir una infraestructura de comunicaciones. De acuerdo con un ejemplo de realización, la unidad de control 200 puede incluir una interfaz de comunicaciones 214 como parte de la infraestructura de comunicaciones. La interfaz de comunicaciones 214 para proveer la capacidad de comunicación. La interfaz de comunicaciones 204 puede estar configurada para permitir que el software y los datos se transfieran entre el dispositivo de borde electrónico y otros dispositivos externos como se describe en la presente. Algunos ejemplos de interfaces de comunicaciones 204 pueden incluir un modem inalámbrico (por ejemplo, un transmisor y receptor), una interfaz de red (por ejemplo, una tarjeta de Ethernet), un puerto de comunicaciones, una ranura y tarjeta de comunicaciones PCMCIA o cualquier otro chip de comunicaciones, etc. El software y los datos se pueden transferir a través de la interfaz de comunicaciones o desde los dispositivos externos.

Las memorias pueden ser medios de registro legibles por computadora no transitorios y pueden almacenar sistemas operativos y/o programas informáticos que ha de ejecutar el dispositivo electrónico móvil. Los programas informáticos también pueden recibirse a través de la interfaz de comunicaciones. Dichos programas informáticos, cuando se ejecutan, pueden permitir que el dispositivo de borde electrónico móvil implemente sus funciones operativas. Por ejemplo, el sistema operativo y/o el dispositivo de procesador de hardware acceda u opere componentes de hardware tales como una cámara o cualquier dispositivo sensor deseado GPS, interfaz periférica, puerto de interfaz USB/Firewire/Thunderbolt y/o monitor (por ejemplo, una pantalla LED, una pantalla táctil, etc.).

Numerosas variantes de realizaciones divulgadas en la presente serán evidentes para los expertos en el arte. De acuerdo con ejemplos de realizaciones, dichos uno o más dispositivos de borde inteligentes pueden interconectarse opcionalmente con la nube y configurarse con un núcleo del sistema operativo desarrollado especialmente, aunque esto no necesariamente es así.

El software de la invención puede estar configurado en un sistema operativo (OS) recién desarrollado o se puede

proveer como un paquete de instalación de software en un núcleo de un sistema operativo preexistente. La funcionalidad como se describe en la presente puede entonces ser un núcleo o puede ser una aplicación que se ejecuta en otro OS preexistente. La funcionalidad como se describe puede ser un software y/o un firmware se que debe cargar en cualquiera de diferentes plataformas de hardware existentes.

Los expertos en el arte apreciarán que la presente invención se puede realizar en otra forma sin apartarse de su espíritu o de las características esenciales. Las realizaciones divulgadas en la presente en consecuencia se consideran en todos los aspectos como ilustrativas y no taxativas. El alcance de la invención está indicado por las reivindicaciones adjuntas y no por la descripción precedente y todos los cambios que estén dentro de la definición y del alcance y sus equivalentes están comprendidos en la presente.