

MÉTODO Y SISTEMA DE SIMULACIÓN DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

5 CAMPO TÉCNICO RELACIONADO

La presente invención se relaciona con métodos y sistemas implementados por computadora para hacer simulaciones de aplicaciones eléctricas. Específicamente, la presente divulgación se relaciona con métodos y sistemas configurados para la simulación dinámica de una red de distribución eléctrica.

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

El estado de la técnica divulga métodos y sistemas de simulación de varios usuarios, como los descritos en los documentos US6134516A y SIEMENS (*“Role-based Access Control in Power Systems”*, recuperado de: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:35d2faf3679168b2652df8dca10cda032d9f4783/2016-07-ew-article-cyber-security-bisale-en.pdf>), en adelante, “SIEMENS”.

El documento US6134516A divulga un método de ejecución de una pluralidad de trabajos de simulación en una red de sistemas de simulación, donde la red de sistemas de simulación incluye una pluralidad de estaciones de trabajo de cliente, y un servidor de simulación que incluye una unidad de cómputo.

Particularmente, menciona que varios usuarios pueden estar conectados desde diferentes terminales a la unidad de cómputo para ejecutar sus trabajos de simulación de forma secuencial, donde la secuencia está definida por unos ciclos de tiempo predeterminados.

Además, el documento US6134516A menciona que el método de ejecución comprende una etapa de poner en cola un primer trabajo de simulación asociado a un primer diseño de usuario y un segundo trabajo de simulación asociado a un segundo diseño de usuario, donde se determina una prioridad entre el primer trabajo de simulación y el segundo trabajo de simulación, y se proporciona acceso a una unidad de cómputo al primer trabajo de simulación y el segundo trabajo de simulación de forma compartida en función de la prioridad y por un tiempo predeterminado.

Adicionalmente, el método ejecuta un proceso de intercambio, donde se corre el trabajo de simulación con mayor prioridad y una vez transcurre el tiempo predeterminado se carga y corre el segundo trabajo de simulación en la unidad de cómputo durante el tiempo predeterminado.

También, durante el proceso de intercambio, la unidad de cómputo está configurada para almacenar la información del primer trabajo de simulación en un módulo de memoria, que particularmente puede ser un módulo de memoria local o una base de datos en la nube.

- 5 Además, US6134516A divulga que el método comprende un modo de funcionamiento de emulación de un circuito, donde se genera un modelo de software del circuito y un modelo de hardware del circuito, donde se generan unas señales de entrada y de salida, mediante la simulación del comportamiento del circuito frente a las señales de entrada.
- 10 Posteriormente, el modo de funcionamiento de emulación genera unos datos de entrada y unos datos de salida que pueden ser registrados y almacenados en la unidad de almacenamiento.

- Por su parte, el documento no patente SIEMENS divulga un sistema de control de acceso
- 15 basado en roles (RBAC) que permite controlar el acceso de unos usuarios a los recursos de un sistema, donde el sistema de control asigna unos privilegios a un usuario con base en un rol que se le es asignado.

- Además, dichos privilegios asignados están asociados a unos derechos que permiten al
- 20 usuario acceder a una información limitada y suficiente para realizar una tarea asignada. Particularmente, este sistema de control está aplicado en la en sistemas de distribución de energía, puesto que se deben considerar varias limitaciones dependiendo del rol del usuario en el sistema de distribución.

- 25 También, SIEMENS divulga que el sistema de control puede contar con una base de datos conectada a una unidad de cómputo central, donde se puede almacenar información de la red de distribución eléctrica, donde el acceso a dicha información está limitada por los roles de los usuarios.

- 30 Adicionalmente, en la FIG. 2 de SIEMENS se puede observar que el sistema de control está conectado a al menos un terminal que permite a al menos un usuario tener acceso a información de la red de distribución eléctrica, donde la comunicación se hace remotamente mediante internet.

35 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

- La FIG. 1 ilustra un diagrama de bloques de una modalidad de un sistema de simulación dinámica de una red de distribución eléctrica que comprende un elemento eléctrico físico, y una unidad de cómputo conectada a unos terminales, y configurada para realizar una
- 40 modalidad de un método de simulación dinámica, interactiva, sincrónica de una red de distribución eléctrica.

La FIG. 2 ilustra un diagrama de flujo de una modalidad de un método de simulación dinámica, interactiva, sincrónica de una red de distribución eléctrica que comprende unas etapas de la a) a la h).

- 5 La FIG. 3 ilustra un diagrama de bloques de una modalidad de un sistema de simulación dinámica de una red de distribución eléctrica que comprende una pluralidad de terminales que envían unos comandos seguidos de una señal de inicio a una unidad de cómputo.

- 10 La FIG. 4 ilustra un diagrama de bloques de una modalidad de un sistema de simulación dinámica de una red de distribución eléctrica que comprende una pluralidad de terminales que envían unos comandos a una unidad de cómputo, y una modalidad de un proceso de clasificación para obtener una lista de comandos.

- 15 La FIG. 5 ilustra un diagrama de bloques de una modalidad de un sistema de simulación dinámica de una red de distribución eléctrica que comprende una pluralidad de terminales conectados a una unidad de cómputo, donde la unidad de cómputo envía un conjunto de datos de parámetros eléctricos a un módulo de memoria.

- 20 La FIG. 6 ilustra un diagrama de bloques de una modalidad de un modelo de distribución eléctrica que incluye una pluralidad de elementos eléctricos simulados conectados a unos elementos eléctricos físicos, con los cuales interactúa un usuario.

BREVE DESCRIPCIÓN

- 25 La presente invención se relaciona con métodos y sistemas implementados por computadora para hacer simulaciones de aplicaciones eléctricas. Específicamente, la presente divulgación se relaciona con métodos y sistemas configurados para la simulación dinámica de una red de distribución eléctrica

- 30 Además, el método de simulación dinámica, interactiva, sincrónica, de una red de distribución eléctrica, comprende una etapa a) de generar en una unidad de cómputo un modelo de red de distribución eléctrica, donde el modelo de red de distribución eléctrica incluye al menos un elemento eléctrico físico conectado a la unidad de cómputo, y una etapa b) de iniciar una simulación mediante la unidad de cómputo del modelo de red de distribución eléctrica generado en la etapa a), donde al iniciar la simulación se parametriza una
35 información y un estado de operación del elemento eléctrico físico y de al menos un elemento eléctrico simulado del modelo de red de distribución.

- Adicionalmente, el método comprende una etapa c) de establecer comunicación entre al
40 menos dos terminales y la unidad de cómputo, cada terminal configurada para recibir comandos de un usuario, y una etapa d) de obtener en la unidad de cómputo un rol de cada usuario en el modelo de red de distribución eléctrica desde la terminal asociada dicho usuario,

donde la unidad de cómputo controla un nivel de acceso del usuario a la información del modelo de red de distribución eléctrica y a unos permisos de interacción con los elementos eléctricos simulados dependiendo del rol que posee el usuario.

- 5 También, dicho método de simulación comprende una etapa e) de recibir en la unidad de cómputo unos comandos desde cada terminal, donde los comandos son generados por cada usuario con base en los permisos de interacción y una etapa f) de obtener una lista de comandos mediante un proceso de clasificación, donde el proceso de clasificación asigna una categoría de prioridad a cada comando según un dato de tiempo y el rol del usuario que lo genera.

Además, el método comprende una etapa g) de modificar la simulación mediante la unidad de cómputo según la lista de comandos obtenida en la etapa f), donde durante la simulación los comandos de la lista de comandos modifican en tiempo real el estado de operación, y una etapa h) de obtener un conjunto de datos de parámetros eléctricos mediante la unidad de cómputo como resultado de la simulación de la etapa g), donde el conjunto de datos de parámetros eléctricos incluye el estado de operación y la información, después de la actualización de la simulación en la etapa g), del modelo de distribución de red eléctrica.

- 20 Por otra parte, el sistema de simulación dinámica de la red de distribución eléctrica comprende al menos elemento eléctrico físico y una unidad de cómputo configurada para realizar las etapas previamente mencionadas del método de simulación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 La presente invención se relaciona con métodos y sistemas implementados por computadora para hacer simulaciones de aplicaciones eléctricas. Específicamente, la presente divulgación se relaciona con métodos y sistemas configurados para la simulación dinámica de una red de distribución eléctrica

30 Haciendo referencia a la FIG. 1 y FIG. 2, el método de simulación dinámica, interactiva, sincrónica, de una red de distribución eléctrica, que comprende las etapas de:

- a) generar en una unidad de cómputo (100) un modelo de red de distribución eléctrica (110), donde el modelo de red de distribución eléctrica (110) incluye un elemento eléctrico físico (140) conectado a la unidad de cómputo (100);

- b) iniciar una simulación (300) mediante la unidad de cómputo (100) del modelo de red de distribución eléctrica (110) generado en la etapa a), donde al iniciar la simulación (300) se parametriza una información (112) y un estado de operación (117) del elemento eléctrico físico (140) y de al menos un elemento eléctrico simulado (141) del modelo de red de distribución (110);

- c) establecer comunicación entre al menos dos terminales (150) y la unidad de cómputo (100), cada terminal (150) configurada para recibir comandos de un usuario (160);

d) obtener en la unidad de cómputo (100) un rol (165) de cada usuario (160) en el modelo de red de distribución eléctrica (110) desde la terminal (150) asociada dicho usuario (160), donde la unidad de cómputo (100) controla un nivel de acceso del usuario (160) a la información (112) del modelo de red de distribución eléctrica (110) y a unos permisos de interacción (114) con el elemento eléctrico físico (140) dependiendo del rol (165) que posee el usuario (160);

e) recibir en la unidad de cómputo (100) unos comandos (167) desde cada terminal (150), donde los comandos (167) son generados por cada usuario (160) con base en los permisos de interacción (114);

f) obtener una lista de comandos (210) mediante un proceso de clasificación (200), donde el proceso de clasificación (200) asigna una categoría de prioridad (230) a cada comando (167) según un dato de tiempo (169) y el rol (165) del usuario (160) que lo genera;

g) modificar la simulación (300) mediante la unidad de cómputo (100) según la lista de comandos (210) obtenida en la etapa f), donde durante la simulación (300) los comandos (167) de la lista de comandos (210) modifican en tiempo real el estado de operación (117); y

h) obtener un conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) mediante la unidad de cómputo (100) como resultado de la simulación (300) de la etapa g), donde el conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) incluye el estado de operación (117) y la información (112), después de la actualización de la simulación (300) en la etapa g), del modelo de distribución de red eléctrica (110).

Para el entendimiento de la presente divulgación, el método de simulación dinámica interactiva y sincrónica de una red de distribución eléctrica, también llamado método de simulación comprende una etapa a) de generar en una unidad de cómputo (100) un modelo de red de distribución eléctrica (110) (también llamado modelo de red (110)), donde el modelo de red (110) incluye un elemento eléctrico físico (140) conectado a la unidad de cómputo (100).

El modelo de red de distribución eléctrica (110) es una representación de una red eléctrica, donde dicha red eléctrica está compuesta por diferentes elementos eléctricos como por ejemplo transformadores, generadores eléctricos, motores eléctricos, líneas de transmisión, cargas eléctricas, donde dichos elementos eléctricos están interconectados e interactúan entre ellos.

Además, el modelo de red de distribución eléctrica (110) comprende un elemento eléctrico físico (140), donde dicho elemento eléctrico físico (140) es un elemento con el que un usuario (160) puede interactuar físicamente, y dicha interacción con el elemento eléctrico físico (140) se verá reflejada en la simulación (300) del modelo de distribución eléctrica (110). En una modalidad preferida, el modelo de red de distribución eléctrica (110) comprende una pluralidad de elementos eléctricos físicos (140).

Particularmente, el elemento eléctrico físico (140) puede escogerse del grupo de componentes eléctricos que comprende generadores, cargas, líneas de transmisión, transformadores, interruptores, dispositivos de protección eléctrica, y combinaciones de los anteriores.

En una modalidad de la divulgación, el elemento eléctrico físico (141) está asociado a un elemento eléctrico simulado (141), donde la interacción hecha por el usuario (160) con el elemento eléctrico físico (140) se verá reflejada como un cambio en dicho elemento eléctrico simulado (141) en la simulación (300).

Además, el elemento eléctrico físico (140) está conectado a al menos un medidor, conectado a la unidad de cómputo (100), donde el medidor hace una medición de una variable eléctrica (v.g. voltaje, corriente, resistencia) y envía dicha medición a la unidad de cómputo (100).

Por ejemplo, el usuario (160) puede contar con un banco de capacitancias y con un banco de resistencias como elementos eléctricos físicos (140), y el medidor puede hacer una medición de voltaje en las resistencias y enviarla a la unidad de cómputo (100).

Posteriormente, la unidad de cómputo (100) hace un proceso de conversión donde las mediciones son modificadas de acuerdo con una escala, donde la variable eléctrica medida se ve reflejada en la simulación (300) acorde con el modelo de la red eléctrica (110). Por ejemplo, si la medición del voltaje en las resistencias de 10V, se puede implementar una escala de 1:1000, de manera que el voltaje en el elemento eléctrico simulado (141) asociado a al elemento eléctrico físico (140) tendrá un voltaje de 10kV en la simulación.

Nuevamente haciendo referencia a la FIG. 1 y FIG. 2, el método de simulación comprende una etapa b) de iniciar una simulación (300) mediante la unidad de cómputo (100) del modelo de red (110) generado en la etapa a), donde al iniciar la simulación (300) se parametriza una información (112) del modelo de red de distribución eléctrica (110) y un estado de operación (117) del elemento eléctrico físico (140) del modelo de red de distribución (110).

Para el entendimiento de la divulgación, se entenderá por simulación al proceso de recrear artificialmente un modelo o proceso que sucede en la vida real, para validar y obtener resultados mediante herramientas computacionales, como unidades de cómputo, que se acerquen a los que se obtendrían de un modelo real. Particularmente, la simulación del modelo de red eléctrica se encarga de recrear escenarios de la relación entre los elementos eléctricos para monitorear el comportamiento de los mismos dependiendo de sus configuraciones.

Por lo tanto, en la etapa b) del método, se inicia la simulación (300) del modelo de red de distribución eléctrica (110), donde se parametriza una información (112) la cual se relaciona

con un estado del modelo de red de distribución eléctrica (110) que se selecciona entre un estado normal, en falla, o apagada.

Por ejemplo, si la información (112) indica que el modelo de red de distribución eléctrica (110) se encuentra en estado normal, significa que su funcionamiento es correcto y que existen una transferencia eléctrica correcta entre los elementos eléctricos del modelo. Por el contrario, si la información (112) indica que el modelo de red (110) se encuentra en falla significa que existe un elemento eléctrico que no se encuentra funcionando bien lo cual puede estar interfiriendo en la transferencia eléctrica entre los diferentes elementos eléctricos.

Además, durante la etapa b) del método, se parametriza un estado de operación (117) de del elemento eléctrico físico (140) que está conectado a la unidad de cómputo (100), donde dicho estado de operación (117) se relaciona con una variable seleccionada entre voltaje, corriente, fase, potencia, tipo de carga y combinaciones de las mismas. Asimismo, el estado de operación (117) también puede estar relacionado con una de dichas variables de un elemento eléctrico simulado.

Por ejemplo, el estado de operación (117) puede indicar un tipo de carga del elemento eléctrico simulado (141) o del elemento eléctrico físico (140), donde el tipo de carga puede indicar si es una carga eléctrica de tipo resistiva, inductiva o capacitiva. Particularmente, las cargas eléctricas (v.g. bombillas) son cargas resistivas, una línea de transmisión o un motor eléctrico pueden ser cargas de tipo inductivas o resistivas.

Retomando el ejemplo donde el elemento eléctrico físico (140) es un banco de resistencias, la parametrización del estado de operación (117) indicaría el valor de la impedancia del banco de resistencias, la cual se representaría como la impedancia de la carga en el modelo de red (100) de la simulación (300), e indicaría que es una carga netamente resistiva. Por otra parte, si el elemento eléctrico físico (140) fuera un motor eléctrico, el estado de operación (117) podría indicar su voltaje, corriente, fase, potencia real, potencia imaginaria, potencia aparente o combinaciones de las mismas.

Nuevamente haciendo referencia a las FIG. 1 y FIG. 2, el método de simulación comprende una etapa c) de establecer comunicación entre al menos dos terminales (150) y la unidad de cómputo (100), cada terminal (150) configurada para recibir comandos de un usuario (160).

En una modalidad preferida, la comunicación establecida entre cada terminal (150) y la unidad de cómputo (100) se realiza mediante protocolos de comunicación inalámbrica que se seleccionan del grupo que comprende Modbus, DNP3, IEC 61850, HTTP, HTTPs, TCP, UDP, Wifi, GSM, y combinaciones de las mismas.

Además, cada terminal (150) que se comunica con la unidad de cómputo (100) está relacionada con un usuario (160) diferente, lo cual implica que en la simulación (300) más

de un usuario (160) puede interactuar con la misma. Lo anterior permite al método de simulación tener una interacción entre múltiples usuarios (160), y tener una simulación (300) más realista debido a los diferentes roles (165) que existen.

5 Adicionalmente, cada terminal (150) está configurada para recibir unos comandos (167) del usuario (160), donde dichos comandos (167) permiten al usuario (160) interactuar con los elementos eléctricos simulados, modificando la información (112) y los estados de operación (117) de los elementos físicos simulados.

10 Por ejemplo, un usuario (160) puede enviar un comando (167) para variar la fase de la tensión de un motor eléctrico, por lo tanto, la información (112) del modelo de red (110) puede cambiar entrando en falla, o permanecer en estado normal, y el estado de operación (117) de dicho elemento eléctrico simulado se va a ver modificado variando la fase de la tensión del motor.

15

Asimismo, si un usuario (160) interactúa con el elemento eléctrico físico (140), la unidad de cómputo (100) recibirá este cambio como un comando (167) donde, al igual que en el ejemplo anterior, puede modificar la información (112) del modelo de red (110) y modificar el estado de operación (117) del elemento eléctrico simulado con el que se asocia dicho
20 elemento eléctrico físico (140) dentro de la simulación (300).

Nuevamente haciendo referencia a las FIG. 1 y FIG. 2 el método de simulación comprende una etapa d) de obtener en la unidad de cómputo (100) un rol (165) de cada usuario (160) en el modelo de red de distribución eléctrica (110) desde la terminal (150) asociada dicho
25 usuario (160), donde la unidad de cómputo (100) limita el acceso del usuario (160) a la información (112) del modelo de red de distribución eléctrica (110) y a unos permisos de interacción (114) con los elementos eléctricos simulados (141) dependiendo del rol (165) que posee el usuario (160).

30 En una modalidad preferida, el rol (165) que se define para cada usuario (160) se escoge del grupo que comprende administrador, cliente, distribuidor, y hacker, donde cada uno de los roles (165) se relaciona con una función que tiene el usuario (160) en el modelo de red (160).

Por ejemplo, si el usuario (160) tiene un rol (165) de distribuidor su función en la simulación
35 (300) es generar suficiente energía eléctrica para distribuirla y abastecer una demanda energética de las cargas existentes en el modelo de red (110). Similarmente, si el rol (165) es de cliente, su función en la simulación (300) es interactuar con las cargas del modelo de red (110) para generar o disminuir la demanda energética.

40 Además, cada rol (165) es enviado desde la terminal (150) asociada a un usuario (160) hacia la unidad de cómputo (100), de manera que cuando ésta identifica el rol (165) de cada usuario (160), hace una limitación del acceso a la información (112). Por ejemplo, si un usuario

(160) tiene un rol (165) de administrador o distribuidor tendrá acceso a la información (112), mientras que si un usuario (160) tiene rol (165) de hacker o consumidor no tendrá acceso a la información (112).

- 5 Adicionalmente, la unidad de cómputo (100) define el acceso los permisos de interacción (114) al usuario (160) dependiendo de su rol (165), donde los permisos de interacción (114) indican si el usuario (160) puede interactuar o modificar el estado de operación (117) de un elemento eléctrico físico (140) o elemento eléctrico simulado (141).
- 10 Por ejemplo, si un usuario (160) tiene rol (165) de distribuidor, la unidad de cómputo (100) le asignará unos permisos de interacción (114) donde el usuario (160) podrá modificar el estado de operación (117) de un generador (elemento eléctrico simulado (141)), o de un banco de capacitancias (elemento eléctrico físico (140)).
- 15 Similarmente, si un usuario (160) tiene rol (165) de hacker, la unidad de cómputo (100) le negará la interacción y modificación del estado de operación (117) de los elementos eléctricos (140, 141), pero dependiendo de los comandos (167) del hacker, la unidad de cómputo podrá ir asignando nuevos permisos de interacción para ese usuario (160).
- 20 Lo anterior permite tener una simulación (300) del modelo de red (110) más fiel a la realidad, donde por ejemplo un administrador puede tener permisos para verificar la información (112) pero no interactuar con un elemento eléctrico simulado (141) como un motor, mientras que un generador debería tener acceso a la información (112) y podrá interactuar con los elementos eléctricos (140, 141).
- 25 Similarmente, el hecho de que los permisos de interacción (114) sean asignados dinámicamente por la unidad de cómputo (100) nuevamente permite tener una simulación (300) más realista pues dependiendo del estado del modelo de red (110) nuevos permisos de interacción (114) pueden darse haciendo la simulación (300) dinámica, interactiva y
- 30 sincrónica.

En una modalidad de la divulgación, la etapa d) del método de simulación incluye una subetapa d1) de verificar si existe un nuevo usuario (160), donde si existe un nuevo usuario (160) asociado a una nueva terminal (150) se repite la etapa c) donde se establece

35 comunicación entre la nueva terminal (150) y la unidad de cómputo (100), y donde si no existe un nuevo usuario (160) se continua con la etapa e).

Por lo tanto, si existe un nuevo usuario (160) la unidad de cómputo (100) tendrá la comunicación con la nueva terminal (150) asociada y se procederá nuevamente con la etapa

40 d) asociando un rol (165) al nuevo usuario (160) y asignando los permisos de interacción (114) y limitando el acceso a la información (112) de acuerdo con el rol (165).

La etapa d1) genera una ventaja pues asegura que antes de continuar con la simulación (300) todos los usuarios (160) que van a interactuar en la simulación estén desde su terminal (150) conectados con la unidad de cómputo (100).

- 5 Nuevamente haciendo referencia a las FIG. 1 y FIG. 2, el método de simulación comprende una etapa e) de recibir en la unidad de cómputo (100) los comandos (167) desde cada terminal (150), donde los comandos (167) son generados por cada usuario (160) con base en los permisos de interacción (114).
- 10 Como se mencionó previamente, cada usuario (160) genera unos comandos (167) los cuales son enviados a la unidad de cómputo (100) desde la terminal (150) asociada a dicho usuario (160), donde los comandos (167) permiten al usuario (160) interactuar con el modelo de red (110), y donde dichos comandos (167) se ven limitados por la unidad de cómputo (100) dependiendo de los permisos de interacción (114) que tiene el usuario (160) dependiendo de
- 15 su rol (165).

En una modalidad preferida, la unidad de cómputo (100) hace un proceso de verificación, donde identifica si el comando (167) enviado por el usuario (160) cumple con las limitaciones de los permisos de interacción (114).

- 20 Además, haciendo referencia a la FIG. 3 la etapa e) del método de simulación puede comprender una subetapa e1) de recibir en la unidad de cómputo (100) una señal de inicio (168) desde cada terminal (150), donde la señal de inicio (168) indica que un usuario (160) ha enviado un comando (167), o que ha transcurrido un periodo de tiempo predeterminado
- 25 sin recibir un comando (167) de dicho usuario (160), donde una vez la unidad de cómputo (100) recibe una señal de inicio (168) de cada terminal (150) conectada a dicha unidad de cómputo (100) se continua con la etapa f).

- 30 Particularmente, durante la subetapa e1) la unidad de cómputo (100) identifica la cantidad de terminales (150) con las que se encuentra en comunicación, por lo que una vez finaliza la etapa d) inicia un periodo de tiempo predeterminado en el cual los usuarios (160) pueden enviar comandos (167) desde su terminal (150) asociada, una vez el usuario (160) termina de enviar dichos comandos (167) la terminal envía una señal de inicio (168) para indicarle a la unidad de cómputo (100) que no hacen falta comandos (167) por enviar.

- 35 Similarmente, una vez transcurre el periodo de tiempo predeterminado y un usuario no ha enviado ningún otro comando (167), la terminal (150) envía la señal de inicio (168) para que la unidad de cómputo (100) finalmente cuente con que todas las terminales han enviado su señal de inicio (168) y pueda proceder con la etapa siguiente.

- 40 Lo anterior genera una ventaja pues permite a la unidad de cómputo (100) tener un sistema de control para identificar si hace falta recibir algún comando (167), si se han recibido todos

los comandos (167) correctamente, o si una terminal (150) tiene una falla en la comunicación con la unidad de cómputo (100).

Haciendo referencia a la FIG. 1 y FIG. 2, el método de simulación comprende una etapa f) de obtener una lista de comandos (210) mediante un proceso de clasificación (200), donde el proceso de clasificación (200) asigna una categoría de prioridad (230) a cada comando (167) según un dato de tiempo (169) y el rol (165) del usuario (160) que lo genera.

En una modalidad de la divulgación, el proceso de clasificación (200) recibe todos los comandos (167) enviados por todos los usuarios (160) y una vez la unidad de cómputo (100) recibe la señal de inicio (168) de la subetapa e1) procede a hacer una lista de prioridad de los comandos (167) asignando la categoría de prioridad (230), donde la categoría de prioridad (230) se selecciona entre prioridad alta, prioridad media, y prioridad baja.

Particularmente, la asignación de la categoría de prioridad (230) a un comando (167) se hace dependiendo del rol (165) del usuario (160) que lo genera, y una vez se asigna la categoría de prioridad (230) a cada comando (167), el proceso de clasificación (200) los organiza en un arreglo de datos, donde el arreglo de datos puede ser una matriz, donde en la primera fila pone los comandos de prioridad alta, en la segunda fila los de prioridad media y en la tercera fila los de prioridad baja.

Similarmente, durante la organización del arreglo de datos, el proceso de clasificación (200) tiene en cuenta un dato de tiempo (169) para organizarlos en el orden de llegada de los comandos (167), por lo que cada categoría de prioridad (230) tendrá una cola de comandos (167) organizada según dicho dato de tiempo (169).

En una modalidad no ilustrada, una vez el proceso de clasificación (200) ha ordenado todos los comandos (167) en el arreglo de datos procede a hacer la lista de comandos (210) donde pone en cola primero los comandos (167) de prioridad alta en orden de llegada según el dato de tiempo (169), luego los de prioridad media en el mismo orden y finalmente los comandos (167) de prioridad baja. Haciendo referencia a la FIG. 4, en una modalidad preferida, el proceso de clasificación (200) genera tres listas de comandos (210), una para cada categoría de prioridad (230).

El proceso de clasificación (200) donde se obtiene la lista de comandos (167) según la categoría de prioridad (230) y el dato de tiempo (169) permite tener una simulación (300) más realista pues genera que los usuarios (160) con roles más importantes tengan una prioridad más alta en la interacción con el modelo de red eléctrica (110).

Por ejemplo, en una red de distribución eléctrica real, un distribuidor controla si se suministra energía a los clientes, o si por el contrario se debe hacer un corte de energía debido a una falla o limitaciones en la generación de energía, mientras que el cliente depende del

suministro que recibe por parte del distribuidor, de manera que, a pesar de que si el cliente aumenta la carga en la red de distribución eléctrica real, el distribuidor decide si debe generar la energía solicitada o parar la generación y distribución de energía.

- 5 Por lo tanto, con el fin de que la simulación (300) sea más realista el proceso de clasificación (200) hace la lista de comandos (210) con base en categorías de prioridad (230) que dependen del rol (165) del usuario (160). En este ejemplo particular, deben ser priorizados los comandos (167) de los usuarios con rol (165) de distribuidor, que los comandos de los usuarios (160) con rol (165) de cliente.

10

Nuevamente haciendo referencia a las FIG. 1 y FIG. 2, el método de simulación comprende una etapa g) de modificar la simulación (300) mediante la unidad de cómputo (100) según la lista de comandos (210) obtenida en la etapa f), donde durante la simulación (300) los comandos (167) de la lista de comandos (210) modifican en tiempo real el estado de
15 operación (117).

Durante la etapa g) del método de simulación, la unidad de cómputo (100) obtiene la lista de comandos (210) e identifica unas instrucciones que contiene cada comando (167), donde cada uno está asociado a la modificación de un elemento eléctrico simulado (141), por lo que
20 la unidad de cómputo (100) modifica el estado de operación (117) de dicho elemento eléctrico simulado (141) con base en dichas instrucciones en tiempo real.

En la modalidad donde solo se tiene una lista de comandos (210), la unidad de cómputo (100) va haciendo la modificación de cada elemento eléctrico simulado (141) una a una, en el orden
25 de la lista de comandos (210).

Sin embargo, en una modalidad preferida ilustrada en la FIG. 4, la unidad de cómputo (100) tiene las tres listas de comandos (210), donde la unidad de cómputo (100) hace una asignación de unos recursos computacionales para realizar los comandos (167) durante la
30 simulación (300), donde la asignación de recursos se hace respecto a la categoría de prioridad asociada al comando (167) según el dato de tiempo (169) y el rol (165) del usuario (160) que lo genera.

Un ejemplo de la asignación de recursos de la unidad de cómputo (100) es la cantidad de
35 núcleos que le asigna a cada lista de comandos (210) para realizar las tareas en hilos paralelos. Se entenderá en la divulgación como núcleos a unidades de procesamiento que se encargan de realizar una tarea predeterminada, por lo que, si se asigna un mayor número de núcleos a una tarea, se harán más procesos en paralelo (hilos paralelos) que permitirán terminar dicha tarea más rápido.

40

Por lo tanto, en este ejemplo, si la unidad de cómputo (100) tiene ocho núcleos podría asignar cuatro núcleos a la categoría de prioridad (230) alta, tres a la prioridad media y uno a la de

prioridad baja, y como resultado realizar los comandos (167) de la lista de comandos (210) de prioridad alta más rápido que las de las otras prioridades.

En una modalidad de la divulgación, la etapa g) del método de simulación comprende una subetapa g1) de verificar si existe al menos un nuevo comando (167), donde si existe se repite el método desde la etapa e), de lo contrario se procede con la etapa g).

Dicha etapa g1) es ejecutada por la unidad de cómputo (100) una vez se ha finalizado la etapa g) de modificar la simulación (300), por lo que, una vez se han ejecutado todos los comandos (167) la unidad de cómputo (100) puede preguntar a las terminales (150) si existen nuevos comandos (167), y de haber al menos un nuevo comando (167) la unidad de cómputo (100) ejecuta el método de simulación desde la etapa e) de recibir dichos comandos (167).

Nuevamente haciendo referencia a las FIG. 1 y FIG. 2, el método de simulación comprende una etapa h) de obtener un conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) mediante la unidad de cómputo (100) como resultado de la modificación de la simulación (300) de la etapa g), donde el conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) incluye el estado de operación (117) y la información (112), después de la actualización de la simulación (300) en la etapa g), del modelo de distribución de red eléctrica (110).

Haciendo referencia a la FIG. 5, la etapa h) del método de simulación comprende una subetapa h1) de almacenar el conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) en un módulo de memoria (320) conectado a la unidad de cómputo (100).

Por otra parte, haciendo referencia a la FIG. 1, se tiene un sistema de simulación dinámica de una red de distribución eléctrica, que comprende al menos un elemento eléctrico físico (140) y una unidad de cómputo (100) conectada al elemento eléctrico físico (140) y a al menos dos terminales (150), donde la unidad de cómputo (100) está configurada para ejecutar las etapas a) a h) del método de simulación dinámica, interactiva, sincrónica, de una red de distribución eléctrica.

En una modalidad de la divulgación, la unidad de cómputo (100) incluye un módulo de comunicaciones (700) que está configurado para establecer comunicación entre al menos dos terminales (150) y la unidad de cómputo (100), cada terminal (150) configurada para recibir comandos de un usuario (160).

Además, dicho módulo de comunicaciones (700) permite a la unidad de cómputo (100) obtener un rol (165) de cada usuario (160) en un modelo de red de distribución eléctrica (110) desde la terminal (150) asociada dicho usuario (160), y recibir en la unidad de cómputo (100) unos comandos (167) desde cada terminal (150), donde los comandos (167) son generados por cada usuario (160) con base en los permisos de interacción (114).

Adicionalmente, el módulo de comunicaciones (700) permite la comunicación entre la unidad de cómputo (100) y las terminales (150) mediante un protocolo de comunicaciones seleccionado entre Modbus, DNP3, IEC 61850, HTTP, HTTPs, TCP, UDP, Wifi, GSM, y combinaciones de las mismas.

5

En una modalidad de la divulgación, la unidad de cómputo (100) incluye un módulo de simulación (600) configurado para generar en la unidad de cómputo (100) un modelo de red de distribución eléctrica (110), donde el modelo de red de distribución eléctrica (110) incluye un elemento eléctrico físico (140) conectado a la unidad de cómputo (100), e iniciar una simulación (300) mediante la unidad de cómputo (100) del modelo de red de distribución eléctrica (110), donde al iniciar la simulación (300) se parametriza una información (112) y un estado de operación (117) del elemento eléctrico físico (140) del modelo de red de distribución (110).

15 Además, el módulo de simulación (600) permite modificar la simulación (300) según una lista de comandos (210) donde durante la simulación (300) los comandos (167) de la lista de comandos (210) modifican en tiempo real el estado de operación (117), y obtener un conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) mediante la unidad de cómputo (100) como resultado de la simulación (300), donde el conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) incluye el estado de operación (117) y la información (112), después de la actualización de la simulación (300) del modelo de distribución de red eléctrica (110).

En una modalidad preferida, el módulo de simulación (600) puede ser una unidad de procesamiento central (CPU por sus siglas en inglés) donde se generan los procesos previamente mencionados. Particularmente, el módulo de simulación (600) puede ser una unidad de cómputo esclava donde el módulo de simulación (600) consulta datos de la unidad de cómputo (100) durante la simulación (300) para la actualización de datos de la información (112) y los estados de operación (117) y generar el conjunto de datos de parámetros eléctricos (310).

30

En una modalidad de la divulgación, a una unidad de cómputo (100) incluye un módulo de control (900) configurado para limitar el acceso del usuario (160) a una información (112) del modelo de red de distribución eléctrica (110) y a unos permisos de interacción (114) con el elemento eléctrico físico (140) dependiendo del rol (165) que posee el usuario (160).

35

Además, el módulo de control (900) está configurado para obtener una lista de comandos (210) mediante un proceso de clasificación (200), donde el proceso de clasificación (200) asigna una categoría de prioridad (230) a cada comando (167) según un dato de tiempo (169) y el rol (165) del usuario (160) que lo genera.

40

Por lo tanto, el módulo de control (900) permite controlar los cambios que se llevarán a cabo en la simulación (300) mediante la asignación de categorías de prioridad (230) a los

comandos (167) de los usuarios (160), así como la asignación de recursos computacionales para realizar los comandos (167) durante la simulación (300), así como genera limitaciones de interacción a los usuarios (160) mediante los permisos de interacción (114) que permiten tener una simulación más realista.

5

Haciendo referencia a la FIG. 5, el sistema de simulación además comprende un módulo de memoria (320) conectado a la unidad de cómputo (100), donde el módulo de memoria (320) permite almacenar el conjunto de datos de parámetros eléctricos (310).

10

En una modalidad preferida, el módulo de memoria (320) es una base de datos conectada a la unidad de cómputo (100) mediante protocolos de comunicaciones seleccionado entre Modbus, DNP3, IEC 61850, HTTP, HTTPs, TCP, UDP, Wifi, GSM, y combinaciones de las mismas. Sin embargo, la base de datos puede ser local y estar conectada a la unidad de cómputo (100) directamente.

15

Haciendo referencia a la FIG. 5, las terminales (150) están conectadas a un dispositivo periférico puede ser seleccionado entre una unidad de memoria, una base de datos, un disco duro, un teclado, una pantalla táctil, una pantalla, y combinaciones de los mismos, con el fin de una interacción más fácil por parte del usuario (160) con la terminal (150).

20

EJEMPLOS

Ejemplo 1:

25

Se diseñó un sistema de simulación dinámica de una red de distribución eléctrica, las características fueron las siguientes:

En un primer ejemplo, se diseñó un sistema que comprendía un elemento eléctrico físico (140) que era un banco de resistencias con el que un primer usuario (160) podía interactuar.

30

Además, el sistema incluía una unidad de cómputo (100) de tipo servidor local que incluía un módulo de comunicaciones (700) para establecer comunicación con tres terminales (150) de tipo computador portátil, donde el módulo de comunicaciones (700) recibía un rol (165) de cada usuario (160), así como unos comandos (167) desde cada terminal (150).

35

Adicionalmente, el sistema comprendía un módulo de simulación (600) que era una CPU de 16 núcleos, 20 hilos, 5.0Ghz, el cual está encargado de generar el modelo de red de distribución (110), ilustrado en la FIG. 6, con tres elementos eléctricos simulados (141) y tres nodos, donde cada nodo está conectado por una línea de transmisión, un primer nodo está conectado a un generador, y un segundo y tercer nodo están conectados a una carga. Particularmente, la primera y segunda carga se asocia con un banco de resistencias con el que interactúa un usuario (160).

40

Además, el módulo de simulación (600) permite iniciar, y modificar la simulación (300) del modelo de red de distribución (110), con base en los comandos (167) recibidos por el módulo de comunicaciones (700), generando un conjunto de datos de parámetros eléctricos (310).

5

También, el sistema comprendía un módulo de control (900) que permitía controlar el nivel de acceso que tenían los usuarios (160) a la información (112) del modelo de red (110) y controlaba las interacciones de los usuarios (160) con los elementos eléctricos físicos y simulados (140, 141). Asimismo, controla los recursos computacionales asignados para
10 realizar comandos (167) durante la simulación (300) respecto a la categoría de prioridad (230) del comando (167).

La configuración anterior permitió realizar una simulación de una red de distribución eléctrica, donde varios usuarios podían conectarse a un mismo sistema e interactuar con la
15 simulación simultánea y sincrónicamente.

Ejemplo 2:

En un segundo ejemplo, el sistema del primer ejemplo estaba configurado para realizar un
20 método de simulación dinámica, interactiva, sincrónica, de una red de distribución eléctrica, con una etapa a) de generar el modelo de red de distribución (110) del ejemplo 1, ilustrado en la FIG. 6, el cual incluye una pluralidad de elementos eléctricos simulados (141), donde dos están asociados a un elemento eléctrico físico (140).

25 Además, se ejecutó una etapa b) de iniciar una simulación (300), donde se parametrizó una información (112) del modelo de red (110), donde se observó que dicho modelo de red (110) se encuentra en estado normal y se parametriza el estado de operación (117) de cada elemento eléctrico simulado (141) donde el generador generaba 10MVA y las cargas eran de 10kOhm.

30 Posteriormente, se ejecutó una etapa c) donde se estableció la comunicación entre la unidad de cómputo (100) y los tres terminales (150) del ejemplo 1 y se ejecutó una etapa d) donde el primer usuario (160) tiene un rol (165) de distribuidor, un segundo usuario (160) tiene un rol (165) de hacker y un tercer usuario (160) tiene un rol (165) de cliente.

35 Particularmente, el primer usuario (160) contó con unos permisos de interacción (114) para interactuar con el generador eléctrico, donde podía acceder al estado de operación (117) y enviar comandos (167) para modificar el estado de operación (117). Adicionalmente, el primer usuario (160) debido a su rol de distribuidor tenía acceso a toda la información (112) que le permitía identificar el estado del modelo de red de distribución (110).

40

Por otra parte, el segundo usuario (160) en una primera instancia de la simulación (300) no tenía permisos de interacción (114) con los elementos eléctricos (140, 141), ni tenía acceso

a la información (112) del modelo de distribución eléctrica (110). Sin embargo, a medida que enviaba comandos (167) a la unidad de cómputo (100), iba adquiriendo permisos de interacción (114) que le permitieron cambiar el estado de operación del generador eléctrico y acceso a dicha información (112).

5

Similarmente, el tercer usuario (160) tenía unos permisos de interacción (114) que le permitían variar los estados de operación (117) de las cargas eléctricas, sin embargo, su rol (165) limitaba el acceso a la información (112) y a modificar el estado de operación (117) del generador eléctrico.

10

Además, se ejecutó una etapa e) donde, como se ilustra en la FIG. 4, el primer usuario (160) generó un comando (167), y los envió desde su terminal (150) asociada a la unidad de cómputo (100). Similarmente, el segundo usuario (160) envió dos comandos (167) y el tercer usuario (160) envió tres comandos (167) a la unidad de cómputo (100).

15

Adicionalmente, durante una etapa f) se obtuvo una lista de comandos (210) mediante un proceso de clasificación (200), donde el proceso de clasificación (200) asigna una categoría de prioridad (230) a cada comando (167) según un dato de tiempo (169) que se refiere al momento en que se envió el comando (167) y el rol (165) del usuario (160) que lo genera.

20

Por lo tanto, el comando (167) del primer usuario (160) se asoció a una prioridad alta por su rol (165) de distribuidor, los comandos (167) del segundo usuario (160) se asociaron a una prioridad media y los comandos del tercer usuario (160) se asociaron con prioridad baja.

25

Debido a la prioridad (230) de los comandos (167) siempre se ejecutaban primero los comandos (167) del primer usuario (160) con rol de distribuidor que los comandos (167) del tercer usuario (160) con rol de cliente. Sin embargo, los comandos (167) del segundo usuario (160) se ejecutaban cada vez que se ejecutaban dos comandos (167) del primer usuario (160) debido a su prioridad (230) media.

30

Además, se ejecutó una etapa g) de modificar y actualizar la simulación (300) según la lista de comandos (210) generada por el proceso de clasificación (200) y una etapa h) donde se obtuvo un conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) una vez se ha modificado la simulación (300) con base en los comandos (167).

35

La configuración anterior permitió realizar la simulación de un modelo de red de distribución eléctrica (110) mediante una unidad de cómputo (100), en la cual se conectaban tres usuarios y podían modificar el estado del modelo de la red de distribución eléctrica (110) de la simulación (300) sincrónicamente.

40

Además, permitió hacer una asignación de recursos computacionales, que permitieron hacer una simulación (300) más realista debido a la asignación de prioridades (230) según el rol (165) y el dato de tiempo (169).

Ejemplo 3:

En un tercer ejemplo, el sistema del ejemplo 1, además comprendió un módulo de memoria (320) conectado a la unidad de cómputo (100), donde el módulo de memoria (320) es una base de datos en la nube.

La configuración anterior permitió a los usuarios (160) acceder al conjunto de datos de parámetros eléctricos (310) desde sus terminales (150), accediendo tanto a los datos de información (112) y a los estados de operación (117) actuales, como a los de anteriores simulaciones (300) remotamente.

Se debe entender que la presente divulgación no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la divulgación, definido por las siguientes reivindicaciones.