

SISTEMA, MÉTODO Y APARATO PARA LA UBICACIÓN DE UNA RED

REFERENCIA CRUZADA A LAS SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reclama el beneficio de la solicitud de patente provisional US No. 62/072,891, presentada el 30 de octubre de 2014, cuya descripción se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a la detección de localización, y más particularmente a la detección de localización de aparatos acoplados a una red eléctrica.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a la utilización de comunicaciones desde el borde de una red eléctrica de distribución y más específicamente hacia la detección de señales de caracterización recibidas desde un dispositivo transmisor (en lo sucesivo, "transmisores aguas abajo") situadas en los bordes de la red y/o puntos entre la subestación de distribución y los bordes de la red.

La invención discrimina una señal recibida de un transmisor corriente abajo correlacionando una o más señales de caracterización recibidas con una señal de caracterización de referencia en un receptor de subestación. El transmisor aguas abajo está situado en el borde de la red de distribución o en cualquier punto intermedio entre la subestación de distribución y el borde de la red. La invención está buscando la transmisión durante un intervalo de tiempo, no sabe de qué dispositivo se envía la transmisión o si, o precisamente cuando, esperarla. Debido a la conversación cruzada y a las reflexiones, se pueden recibir múltiples copias de

la señal transmitida en la subestación, recibándose estas copias en diferentes alimentadores y fases. Comparando los resultados de la correlación a través de una topología de alimentadores y fases, la señal recibida que tiene la mejor correlación se selecciona como la señal real. Este enfoque de correlación crea la capacidad de accionar una funcionalidad que puede discriminar en qué alimentador y fase (en lo sucesivo, "fase de alimentación") se transmitió la señal. Como la correlación puede ser aguda en el dominio del tiempo, la invención puede determinar con precisión cuándo se recibió la señal originalmente transmitida en la subestación de distribución. Transmitiendo la señal original en el cruce cero de la tensión del alimentador y la fase en el punto de origen y comparando el tiempo que la señal transmitida fue recibida en la subestación de distribución con respecto a una referencia de tensión o corriente en la subestación, se puede determinar la topología de la red de distribución.

La invención analiza las señales procedentes de todos los alimentadores y fases de la subestación, por ejemplo, todos los trayectos eléctricos de vuelta a la subestación, sustancialmente simultáneamente, y la invención determina, basándose en métricas, que la señal recibida proporciona la mejor correlación con la señal de referencia. En parte, el proceso es una comparación de revisión entre pares, por lo que la señal de referencia se compara con todas las señales recibidas y la señal recibida con el nivel más alto de correlación se identifica como la señal correspondiente a la fase alimentadora de origen.

La presente invención es un sistema utilizado para evaluar las propiedades topológicas y eléctricas de una red eléctrica. Esta información se extrae de una corriente de señales eléctricas resultante de una señal de origen transmitida a través de la red eléctrica y recogida en un Módulo de Inteligencia de Alimentador (FIM) situado en una subestación de distribución. La topología del canal incluye una compilación de dispositivos a través de la cual pasa la señal transmitida e identifica dispositivos adicionales relacionados con la red que pueden

influir en las características de la trayectoria de señal. Subyacente a la siguiente discusión está la noción de una subestación de distribución de la topología de canal. La topología de canal es esencialmente una lista jerárquica de los dispositivos instrumentados en la subestación de distribución y los dispositivos, circuitos y otras características asociadas con cada dispositivo respectivamente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los dibujos adjuntos, que están incorporados en la especificación y forman parte de ella, ilustran modalidades de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Con fines de explicación, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de la presente invención. Será evidente, sin embargo, para un experto en la técnica que la presente invención puede ser practicada sin estos detalles específicos. En otros casos, las estructuras y dispositivos bien conocidos se muestran en forma de diagrama de bloques con el fin de evitar obscurecer innecesariamente la sustancia descrita.

Debe observarse que, si bien las diversas figuras muestran aspectos respectivos de la invención, no se pretende que ninguna figura muestre la invención completa. Más bien, las figuras en conjunto ilustran la invención en sus diversos aspectos y principios. Como tal, no se debe presumir que cualquier figura particular esté exclusivamente relacionada con un aspecto o especie discreta de la invención. Por el contrario, un experto en la técnica apreciaría que las figuras tomadas en conjunto reflejan varias modalidades que ilustran la invención.

Correspondientemente, las referencias en toda la especificación a "una modalidad" o "una modalidad" significan que una característica particular, estructura o característica particular descrita en relación con la modalidad está

incluida en al menos una modalidad de la presente invención. Por lo tanto, la aparición de las frases "en una modalidad" o "en una modalidad" en varios lugares a lo largo de la especificación no se refieren necesariamente a la misma modalidad. Además, las características, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más modalidades. En los dibujos:

La figura 1 es una ilustración simplificada de la trayectoria de potencia desde un punto de generación a una subestación de distribución hasta un consumidor, mostrando las regiones de alta tensión, media tensión y baja tensión de la red de distribución y que representan algunas de las características principales de una red de distribución eléctrica;

La figura 2 es un diagrama de bloques lógico simplificado de las plataformas inteligentes de una modalidad de la invención;

La figura 3 es un diagrama de bloques simplificado del aparato de subestación de distribución en una red de Localización de Red Aware™ (GLA), que ilustra cómo el aparato de red GLA se acopla a líneas de medición de corriente existentes en la subestación de distribución y cómo los datos de un Receptor de Subestación son reacondicionados a un centro de datos;

La figura 4 es una porción del diagrama de la figura 3 en mayor detalle;

La figura 5 es una ilustración simplificada de un flujo de datos;

La figura 6 es una ilustración simplificada de un flujo de datos en otro aspecto;

La figura 7 es un diagrama de bloques simplificado que representa un empleo de detectores cruzados cero;

La figura 8 es un diagrama de flujo de datos simplificado de una metodología, para la detección de GLA y discriminación de fase de alimentación, de acuerdo con una modalidad de la invención; y

La figura 9 es un diagrama de flujo lógico simplificado de una metodología, para la detección de GLA y discriminación de fase de alimentación, de acuerdo con una modalidad de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En la siguiente descripción detallada, se hace referencia a los dibujos que se acompañan, que forman parte de la misma, y en los que se muestra a modo de ilustración modalidades ejemplares específicas de la invención. Estas modalidades se describen con suficiente detalle para permitir que los expertos en la técnica hagan y utilicen la invención, y debe entenderse que pueden realizarse cambios estructurales, lógicos u otros a las modalidades específicas descritas sin apartarse del espíritu y alcance de la presente invención.

Se proporciona la siguiente descripción para permitir a cualquier experto en la técnica hacer y usar las invenciones descritas y establece los mejores modos actualmente contemplados por los inventores para llevar a cabo sus invenciones. En la siguiente descripción, con fines de explicación, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de la presente invención. Será evidente, sin embargo, para un experto en la técnica que la presente invención puede ser practicada sin estos detalles específicos. En otros casos, las estructuras y dispositivos bien conocidos se muestran en forma de diagrama de bloques con el fin de evitar obscurecer

innecesariamente la sustancia descrita.

La presente invención describe un sistema, método y aparato para detectar señales transmitidas desde transmisores aguas abajo sobre una red de distribución eléctrica.

En una modalidad, la presente invención describe un sistema, un método y un aparato para detectar topología de red basada en señales transmitidas desde uno o más transmisores aguas abajo en una red de distribución. En otro aspecto o modalidad, la presente invención describe un sistema, método y aparato para determinar el tiempo de transmisión de una señal relativa a un punto de transmisión. En un aspecto o modalidad aún más, la presente invención extraerá datos codificados de la señal que se utilizará para diversos fines.

Las alteraciones causadas a la señal transmitida, a medida que transita por el canal, son de interés central para establecer comunicaciones óptimas en la red. En particular, mediante análisis continuo (o periódico o esporádico) del perfil de atenuación (atenuación frente a frecuencia de transmisión) del canal, se puede realizar y explotar una selección dinámica de frecuencias óptimas para la comunicación de datos para optimizar la recepción de señal para el canal.

La caracterización de la impedancia puede conseguirse mediante el uso de una senoide de amplitud constante, cuya frecuencia comienza en un extremo de la banda de frecuencia sobre la que se van a realizar mediciones de impedancia, y se incrementa, disminuye o varía de otro modo hasta que alcanza la frecuencia terminal que define el otro extremo de la banda. Este cambio de frecuencia puede realizarse de forma lineal, logarítmica o de cualquier otra manera apropiada. Tal estructura de señal es comúnmente conocida en la literatura técnica

como una senoide barrida o chirrido.

En una modalidad, la invención emplea un método de estímulo-respuesta. Una de tales modalidades incluye una señal de caracterización especialmente diseñada para sondear el canal. En lugar de un conjunto concatenado de tonos discretos, o una senoide continuamente barrida, ciertas modalidades de la invención emplean un conjunto concatenado de chirridos con ventana espectralmente y temporalmente limitados, cada uno restringido para evitar la frecuencia fundamental y sus armónicos. Una señal de caracterización bien elegida tenderá a mitigar la fuga de energía en las frecuencias ocupadas por la frecuencia fundamental y sus armónicos. En muchas redes convencionales, la frecuencia fundamental será 50 Hz, 60 Hz o 400 Hz.

La construcción de la señal caracterizadora especialmente diseñada, también conocida como señal GLA, proporciona un beneficio adicional, en que un cálculo de correlación cruzada, realizado usando la señal GLA recibida y una copia de referencia de la señal GLA transmitida (señal GLA de referencia), proporciona una resolución temporal inequívoca, fuerte, precisa y precisa del tiempo de llegada de la señal GLA. Además, la señal GLA especialmente diseñada proporciona un método para determinar una identificación inequívoca del alimentador y la fase sobre la que se transmitió la señal GLA.

En una modalidad de la invención, un sistema informático (generalmente situado en una subestación de una red de distribución) explora constantemente el flujo de corriente de banda relativamente alta de cada fase de cada alimentador de la red de distribución de la subestación. Estos flujos de corriente pueden incluir señales de transmisión en red recibidas de uno o más transmisores aguas abajo.

En un enfoque preferido, el sistema informático es datos de procesamiento en paralelo recibidos de cada fase de cada alimentador sustancialmente al mismo tiempo. Una señal procedente de un transmisor descendente es una ráfaga de datos que tiene un encabezado y un paquete de datos. El encabezamiento incluye una señal GLA. El sistema informático procesa los datos de cada fase de alimentación buscando una señal candidata, es decir, una posible señal GLA. Cuando se encuentra una señal candidata, el ordenador compara y correlaciona la señal candidata recibida con una o más señales GLA de referencia.

La señal candidata que tiene la correlación más fuerte con la señal GLA de referencia identifica probablemente el alimentador y la fase sobre la que se transmitió la señal GLA original. Como parte de esta correlación, el sistema informático también puede determinar cuándo se inició el inicio de la señal original en relación con cuando se recibió la señal original en la subestación de distribución. Comparando el tiempo en que se recibió el inicio de la señal original en la subestación con el cruce cero más próximo, anterior o posterior al tiempo de recepción, de la fase de referencia de la tensión del alimentador asociado tomada en la subestación, fase en la que la señal se transmitió se puede determinar. Por lo tanto, utilizando el proceso de correlación, la invención puede determinar el alimentador y la fase sobre la que se transmitió la señal original. Mediante el uso del proceso de registro temporal de la señal correlacionada, se puede determinar la fase en la que se transmitió la señal original. Usando ambos procesos juntos hay un aumento en la probabilidad de identificar la fase correcta y el alimentador sobre el cual se transmitió la señal original.

La figura 1 ilustra un segmento típico de una red eléctrica. Generalmente se considera que una red eléctrica está compuesta por dos regiones lógicas, la o las Redes de Transmisión y la o las Redes de Distribución. La red de transmisión se origina en grandes puntos de generación, por ejemplo, la planta de

energía 120, tal como represas hidroeléctricas, reactores nucleares, parques eólicos, granjas solares y centrales eléctricas alimentadas con carbón o gas. La energía desde el punto de generación se transmite como corriente alterna de alto voltaje (CA) a través de una red conectada de líneas largas de alto voltaje a puntos donde existe demanda de energía, como fábricas, granjas y centros de población. En los bordes de la red de transmisión hay una colección de subestaciones de distribución, por ejemplo, la subestación de distribución 124. Las subestaciones de distribución contienen uno o más transformadores de subestación que reducen el voltaje de los niveles de la línea de transmisión alta (típicamente 130 kV a 700 kV) al medio (actualmente típicamente de 4 kV a aproximadamente 35 kV en los Estados Unidos, los voltajes más altos se usan actualmente fuera de los Estados Unidos, aunque la tensión de distribución específica no es pertinente a la invención) en la que la energía se distribuye a los consumidores dentro de un servicio de distribución zona.

En el borde de la red de distribución están un número de transformadores de servicio, por ejemplo, el transformador de servicio 136, que transforman la tensión media de la red de distribución en voltajes más bajos (en los Estados Unidos, típicamente 120 V, 208 V, 240 V, 277 V, o 480 V). Otros voltajes, además de algunos de estos pueden ser utilizados en otras partes del mundo. En algunos casos, un nivel de uno o más transformadores, llamados transformadores reductores, por ejemplo, el transformador 128, que se extiende esquemáticamente entre los transformadores de subestación y los transformadores de servicio, crea reducciones de voltaje intermedio entre la subestación y los transformadores de servicio.

Cada transformador de servicio alimenta uno o más contadores, por ejemplo, usando el medidor 142, o cargas no medidas. Una carga, por ejemplo, la carga 150, puede ser una vivienda, un edificio comercial o industrial, un elemento de infraestructura municipal tal como una serie de farolas, o aparatos agrícolas

tales como sistemas de riego. Una red de distribución típica incluye otros elementos utilizados para controlar, equilibrar y regular el flujo de energía. Ejemplos de tales elementos son bancos de condensadores, por ejemplo, banco de condensadores 132, reguladores de tensión, conmutadores y reconectores.

Las redes de distribución han sido diseñadas y desplegadas en una variedad de configuraciones topológicas. En los Estados Unidos, los tipos de red de distribución se caracterizan típicamente como radial, bucle o en red. Otros casos emergentes son las redes del campus y micro-redes. Topologías adicionales, no descritas, se utilizan en otras partes del mundo. En una red radial, una subestación tiene uno o más transformadores de subestación. Cada transformador de subestación tiene uno o más buses de subestación. Uno o más alimentadores trifásicos "irradian" hacia afuera desde cada bus de subestación, con líneas laterales monofásicas o trifásicas que se derivan de los alimentadores y puntos de derivación (o simplemente "conexiones") que a su vez se ramifican desde el Laterales Las redes radiales son baratas de diseñar y construir porque son simples, pero son más vulnerables a las interrupciones debido a que carecen de rutas de alimentación redundantes, de modo que cualquier rotura hace que al menos una carga pierda potencia. La red y la red de bucle son también bien conocidas por un experto en la técnica y son igualmente susceptibles de soportar modalidades correspondientes de la invención.

Una subestación de distribución recibe potencia de alto voltaje desde la red de transmisión en uno o más grandes transformadores de potencia. Un transformador de subestación de distribución puede incorporar un tipo de regulador denominado cambiador de tomas de carga, que altera el voltaje que el transformador entrega a un bus de distribución de potencia (por ejemplo, un bus de distribución de subestación) incluyendo o excluyendo algunas vueltas del circuito de bobinado secundario del transformador, cambiando de este modo la relación entre la entrada y la tensión de salida. Cierta modalidad de la invención funcionará

adecuadamente a pesar de los cambios en estas relaciones de espiras. Uno o más alimentadores emanan del bus de la subestación. Si se requieren demasiados alimentadores para dar servicio a las cargas o topología, se utilizan transformadores y buses adicionales.

Con el fin de monitorear y controlar los componentes de la red, los transformadores de corriente de fase de alimentación (FPCT) están unidos a conductores portadores de potencia dentro de la subestación. Los FPCT producen una corriente alterna relativamente baja (típicamente hasta 5 amperios) en un conductor en bucle que es exactamente proporcional a la corriente que fluye a través del conductor de alta tensión que se supervisa. Estas salidas de baja intensidad son adecuadas para conectarse a subsistemas de adquisición de datos asociados con sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA) o sistemas de protección de relés en la subestación. Los FPCT están diseñados y construidos en la subestación, ya que cambiar o añadir FPCT a los componentes de alto voltaje es imposible o peligroso mientras la corriente está fluyendo. Por otro lado, los CT de monitoreo adicionales (MCT) pueden añadirse con seguridad alrededor de los bucles de baja corriente según sea necesario sin interrumpir o afectar la entrega de potencia.

Además de las propias líneas eléctricas, la red de distribución contiene numerosos otros dispositivos destinados a regular, aislar, estabilizar y desviar el flujo de potencia. Estos dispositivos incluyen interruptores, reconectadores, bancos de condensadores (normalmente para factor de potencia o corrección de tensión) y reguladores de tensión secundarios. Todos estos dispositivos afectan al comportamiento de la red de distribución cuando se la considera como una red portadora de datos, al igual que las diversas cargas y fuentes de alimentación secundarias de la red. Los dispositivos que tienen cambios abruptos de estado introducirán ruido de impulso en la red, al igual que las cargas que se encienden y se apagan. Algunos dispositivos, tales como transformadores y

bancos de condensadores, filtran y atenúan señales en ciertas frecuencias y pueden causar interferencias de señales por encima de la frecuencia fundamental del sistema de suministro de potencia.

Aparte de los cables que conectan una carga de consumo y el medidor asociado a un transformador de servicio, el transformador de servicio es típicamente el elemento más externo de la red de distribución antes de que la potencia se entregue realmente a un consumidor. El medidor está conectado en el punto donde la energía del transformador de servicio se entrega al consumidor. Los transformadores de servicio pueden ser trifásicos o monofásicos, al igual que los medidores.

Tradicionalmente, los medidores de lectura eran uno de los mayores costos operativos incurridos por las empresas eléctricas. Los medidores eléctricos originales eran dispositivos análogos con una lectura óptica que tenía que ser examinada manualmente mensualmente para conducir el proceso de facturación de la utilidad. Comenzando en la década de 1970, se empezaron a implementar mecanismos para digitalizar los datos de los medidores y automatizar su recolección. Estos mecanismos evolucionaron de los sistemas "caminar" o "conducir" donde el medidor emitiría su lectura actual usando una señal de radio de corto alcance, que fue recibida por un dispositivo transportado por el lector de medidores. Estos primeros sistemas eran conocidos como sistemas automatizados de lectura de contadores o AMR. Posteriormente, comenzó a desplegarse una variedad de redes de recopilación de datos construidas específicamente, que empleaban una combinación de repetidores de RF de corto alcance en una configuración de malla con puntos de recogida equipados con medios de red de retroceso de banda ancha para transportar lecturas agregadas. Con el tiempo, también se implementaron redes bidireccionales de recopilación de propósito-construcción que utilizaban tecnología de paginación bidireccional y comunicaciones celulares, ya sea como sistemas independientes o como parte de

un complejo sistema de recopilación de datos de construcción de propósito.

Estas redes eran capaces de comunicación bidireccional entre el "cabezal de medición" en un centro de servicio y los medidores en el borde de esta red de recogida de datos, que se denomina generalmente Infraestructura de Medición Avanzada o AMI. Las AMI pueden recolectar y almacenar lecturas frecuentemente, normalmente con la frecuencia de cada 15 minutos, y pueden reportarlas casi con tanta frecuencia en toda una implementación. Pueden leer cualquier medidor en la demanda siempre que esta característica se utiliza con moderación, y puede conectar o desconectar cualquier medidor en la demanda también. Los medidores de AMI pueden transmitir señales a dispositivos de consumo con el propósito de ahorro de energía, administración de demanda y facturación de tasa variable. Debido a que la red AMI está separada de la red de distribución de energía, los medidores de AMI no son conscientes de ni son sensibles a cambios en la topología de la red o ciertas condiciones en la red. Sin embargo, la introducción de AMI se considera generalmente ser el principio de la red elegante.

Muchas características de la infraestructura de distribución eléctrica han limitado el éxito de los esfuerzos para usar la propia red como medio de comunicación. En primer lugar, la red es un entorno ruidoso. Los cambios de estado en las cargas en la parrilla, así como los artefactos de control y regulación en la propia red, causan ruido de impulso en la línea eléctrica. El funcionamiento normal de cargas como los motores eléctricos, las variaciones sencillas de la carga total y el ruido ambiental de RF (principalmente por causa del rayo y otras causas relacionadas con el tiempo) se suman a un ruido gaussiano significativo.

El suelo de ruido medido en una subestación típica en los Estados Unidos se sitúa a aproximadamente 80-90 dB por debajo de la amplitud máxima de la frecuencia fundamental de la línea. La impedancia compleja de la red varía entre

los dominios de frecuencia y tiempo. Esto puede conducir a la pérdida de señal en un receptor conectado a la red situado en un punto de voltaje más alto en la red cuando la impedancia aumenta o, alternativamente, forzar al transmisor en la red a usar más energía de la que sería necesaria en promedio.

Los bancos de condensadores situados en puntos a lo largo de la red con el fin de optimizar el factor de potencia pueden provocar una atenuación de la señal. Estos bancos de condensadores pueden ser valores estáticos o dinámicos, que se cambian manual o automáticamente. Más importante aún, los transformadores actúan como filtros de paso bajo, atenuando dramáticamente las señales por encima de cierta frecuencia. La banda de paso efectiva no es la misma en todas las redes de distribución, ya que se emplean diferentes disposiciones y tipos de transformadores y porque los propios transformadores no están ajustados deliberadamente para filtrar a una frecuencia especificada por encima de la fundamental. Todas estas variables afectan la respuesta de frecuencia de la red como medio de transmisión.

Además, la inyección de señales de corriente moduladas en la red puede causar interferencia entre las señales inyectadas ellas mismas. Un fenómeno problemático es la diafonía, donde una señal inyectada en una línea eléctrica es detectable en otra línea. Cuando la diafonía ocurre en dos o más fases del mismo alimentador, puede ser causada por el acoplamiento inductivo y capacitivo cuando las líneas de fase corren una junto a la otra durante la mayor parte de la longitud del alimentador. La diafonía también puede deberse a bobinados de varias fases en el mismo núcleo del transformador.

También se ha medido la diafonía entre alimentador y alimentador, y puede ser causada por la reflexión de la señal inyectada fuera del bus de potencia en la subestación. Como se discutirá más adelante, la amplitud de una señal recibida en una subestación puede ser mayor (en algunas frecuencias) en un canal

de diafonía (fase de alimentación) que en la fase de alimentación de origen. Dada la complejidad, diversidad y edad de las redes de distribución en los Estados Unidos y el mundo, se conoce menos sobre estos fenómenos en frecuencias por encima de las frecuencias fundamentales de las que cabría esperar.

A pesar de las numerosas dificultades de ingeniería inherentes al uso de la red eléctrica como medio de comunicación, ha permanecido atractiva para las empresas eléctricas porque la empresa ya posee la infraestructura y está presente en todos los puntos donde la empresa necesita recopilar datos. Bajo el nombre corporativo Power Line Communication o PLC, algunos protocolos de línea de potencia de media frecuencia se han utilizado con éxito para aplicaciones Red Inteligente. A pesar de sus limitaciones, los sistemas de baja frecuencia han logrado la penetración del mercado en las zonas rurales donde los sistemas inalámbricos son prohibitivos.

Las comunicaciones de alta frecuencia requieren equipo adicional para permitir que las señales atraviesen transformadores y baterías de condensadores. Tales señales también pueden ser severamente atenuadas por el paso a través de cables subterráneos, y pueden emitir señales RF en líneas aéreas. Por consiguiente, esta tecnología no ha sido ampliamente adoptada.

Los problemas con y las limitaciones de los métodos PLC de alta, media y baja frecuencia como se ha discutido anteriormente han llevado en el siglo XXI al rápido desarrollo de redes inalámbricas construidas a medida para la recolección de datos AMI en los Estados Unidos. Los métodos de alta frecuencia en la red han demostrado ser demasiado caros, no suficientemente fiables y demasiado carentes de errores e incertidumbres para ser comercialmente viables. Los métodos de baja frecuencia se pueden implementar con transmisores de bajo costo de borde a subestación, pero estos carecen de la capacidad de soporte de datos requerida por el AMI moderno. Además, los transmisores de baja frecuencia

de subestación a borde, como AFRC, son grandes, caros y tienen efectos secundarios indeseables que limitan su uso en entornos urbanos. Una opción posible sería utilizar transmisores de alta frecuencia de subestación a borde junto con transmisores de baja frecuencia de borde a subestación. Sin embargo, en los Estados Unidos, las fuerzas del mercado han llevado a la rápida penetración de los sistemas AMI inalámbricos, especialmente en áreas urbanas y suburbanas.

Las restricciones de costos y la disponibilidad de espectro no regulado han dictado el uso de arquitecturas de malla dentro de redes AMI, con concentradores de vecindad que recogen datos de un grupo de medidores y utilizan infraestructura tradicional (POTS, fibra o celular) para la red de retroceso a centros de datos. La arquitectura de malla significa que, aunque los transceptores de RF utilizados tienen velocidades de datos individualmente altas, las redes de borde son fácilmente saturadas. La mayor parte de la capacidad de carga de datos disponible en estas redes se utiliza sólo para informar datos de intervalos de medidores, con capacidad limitada reservada para actualizaciones de firmware y paquetes de control para aplicaciones tales como gestión de demanda.

Existen dos factores principales que limitan la utilidad de las infraestructuras AMI existentes. La primera es, por supuesto, las limitaciones de capacidad de la malla. El segundo, y más significativo, es el hecho de que la red AMI no es congruente con la red eléctrica. Es capaz de proporcionar poca información sobre el estado operativo de la red y no tiene conocimiento de la configuración esquemática de la red. Esto no es necesario para la lectura de contadores, pero las aplicaciones de Red Inteligente más sofisticadas (para conservación de energía, protección de activos, equilibrio de carga, aislamiento de fallas, administración de recuperación y determinaciones de pérdidas no técnicas y técnicas) requieren información precisa sobre las relaciones esquemáticas de varios activos (tales como los activos de la red, la carga y las condiciones de los distintos segmentos de la red y el estado actual de los activos bimodales y

multimodales). Esta información, junto con las ubicaciones geoespaciales de los mismos activos, se denomina Mapa de Red.

Las utilidades suelen mantener dos mapas o modelos de la red. Un modelo de red física (PNM) agrega la ubicación geoespacial de los activos en la red. Los PNM gracias a la moderna tecnología GPS, son razonablemente precisos con respecto a los activos puntuales como subestaciones, bancos de condensadores, transformadores e incluso medidores individuales. Las inexactitudes se deben a la falta de actualización de los mapas cuando se realizan reparaciones o cambios. Por ejemplo, un transformador de servicio puede ser movido de un lado a otro de una calle como resultado del ensanchamiento de la calle.

Los activos longitudinales, especialmente los cables enterrados, están menos bien representados en el PNM. El PNM puede contener datos diseñados, pero dado que, en muchos lugares, el cable se colocó antes de que la tecnología de posicionamiento global hubiera madurado, los diseños se basaron en estudios a nivel del suelo. Posteriormente, los mapas originales pueden o no haber sido actualizados para reflejar los cambios. Los cambios superficiales posteriores complican el problema de verificar el recorrido geográfico tomado por las líneas de distribución de media tensión.

El segundo modelo es el modelo de red lógica, o LNM. Los LNM describen cómo se conectan los componentes de la red, sin referencia a su ubicación geoespacial. El LNM cambia con frecuencia. Durante el curso de las reparaciones, la forma en que los transformadores se conectan a los grifos y laterales, y los metros se conectan a los transformadores, pueden ser alterados. Tales cambios afectan tanto al LNM como al PNM.

En muchas utilidades, tales cambios son registrados manualmente por agentes de campo. Los informes manuales pueden o no actualizarse en el LNM y PNM y, cuando se realizan actualizaciones, el intervalo de tiempo entre el mantenimiento que se produce y su registro es variable. Además, muchos componentes de la red, especialmente reguladores, interruptores y reconectores, cambian de estado de forma asíncrona y/o automática. A menos que estos componentes estén equipados con comunicaciones de vuelta a un centro de datos, en lugar de simplemente estar sujetos a sistemas de control locales, tales cambios dinámicos no se reflejan en el LNM. No obstante, afectan la trayectoria de la energía, la carga y el estrés ambiental en otros componentes de la red de distribución, y el nivel de servicio para los consumidores.

Ejemplos de aspectos significativos, pero no confiables, del mapa de red (actual) son el alimentador y la fase por los que cada medidor está alimentado actualmente. Otros factores significativos incluyen la carga relativa en cada fase de cada alimentador, especialmente en las ramas subordinadas (laterales) de la red, la tensión real suministrada a cada medidor, el factor de potencia a lo largo de los bordes de la red y si toda la potencia se mide en un transformador. Además, es importante conocer el estado de los conjuntos de conmutadores, conexiones locales o dispositivos de protección, como fusibles, especialmente después de un evento meteorológico que ha causado interrupciones.

Si se conociera esta información con fiabilidad, las empresas eléctricas podrían ahorrar energía (gran parte de las economías que se transferirían a los consumidores), ahorrarían los costos de mantenimiento, prolongarían la vida del equipo en el campo, mejorarían la eficiencia y vida útil de los servicios públicos y de consumo, evitarían las interrupciones, reducirían los tiempos de recuperación después de interrupciones inevitables y mejorarían la seguridad operativa de sus ingenieros de campo.

El problema de la cartografía dinámica de red dinámica no se resuelve mediante medidores inteligentes inalámbricos. El consenso entre los servicios públicos es que la volatilidad del LNM es tal que el uso de ingenieros de campo para medir y supervisar los atributos cambiantes del mapa de la red no es generalmente una solución rentable o viable.

Las empresas de servicios suelen sobre-suministrar el voltaje de línea a los consumidores para asegurar que las fluctuaciones en la carga, las pérdidas de energía en el cableado doméstico, etc. no dan lugar a que el servicio de algunos consumidores caiga por debajo de 110v AC efectivo en salidas individuales dentro del edificio, que generalmente es óptimo para los electrodomésticos y similares. El objetivo de un sistema de regulación de tensión de conservación de grano fino bien instrumentado podría ser reducir el voltaje efectivo típico en un medidor monofásico a 114V CA medido desde una etapa del servicio 240VAC típico a neutro en los Estados Unidos.

Las restricciones de costos también determinan que la colocación de la instrumentación SCADA en cada activo de campo de media tensión es impracticable. Los "puntos de contacto" en la red de distribución son, para bien o mal, en gran medida los contadores en el borde y la instrumentación en las subestaciones. Esto dicta que las técnicas para la comunicación de la línea eléctrica se revisen, porque las señales que viajan en la línea eléctrica se pueden utilizar tanto para inferir como para informar información de mapeo de red no detectable por medio de AMI inalámbrico. La presencia omnipresente de AMI inalámbrico para los datos de los medidores de informes puede considerarse como un beneficio en la búsqueda de una tecnología eficaz de mapeo de red, ya que libera la limitada capacidad de transmisión de datos de los métodos de transmisión en red de baja frecuencia para soportar sistemas de mapeo de red en lugar. Sin embargo, es deseable identificar un método de transmisión que sea de bajo costo en el borde y en otros puntos dentro del sistema de distribución eléctrica, coexiste

con el AMR o AMI, y no desencadena ninguno de los peligros antes mencionados de la red en red transmisión. Tales trampas también incluyen requisitos para dispositivos intermedios tales como repetidores entre el borde y la subestación; Parpadeo inaceptable; Interferencia de RF; ruido impulsivo; etc. Por último, la transmisión debe requerir muy poca potencia, porque la energía gastada en la conducción de los transmisores reduce los beneficios financieros obtenidos.

Finalmente, la topología esquemática de la red está sujeta a cambios sin aviso o registro. Por lo tanto, la fuente de una señal puede no ser fácilmente discernible. Por consiguiente, sería deseable disponer de una solución razonablemente rápida y razonablemente barata para determinar de forma continua, periódica o esporádica cambios en la topología esquemática de una red y/o para determinar la localización esquemática de una fuente de señal. Además, habiendo establecido estas ubicaciones esquemáticas, hay una gran cantidad de información disponible que se puede analizar para determinar información sobre otros aspectos de la red de distribución tal como, por ejemplo, segmentos que conectan diferentes elementos de la red.

La figura 2 es un diagrama de bloques lógico de las plataformas inteligentes de una modalidad de la invención, que muestra dónde residen los elementos de procesamiento con respecto a una red. La red ejemplar ilustrada incluye una red de área amplia tal como Internet, un AMI, y una red de distribución eléctrica de media tensión, u otro medio de este tipo. Conectado en el borde, o un punto de unión interno, de la red de distribución eléctrica de media tensión es al menos un transmisor corriente abajo.

La figura 2 muestra que el sistema puede dividirse en tres regiones o niveles. El nivel de borde 301 incluye al menos un transmisor corriente abajo. El transmisor de aguas abajo, por ejemplo, el transmisor de aguas abajo 305, puede estar situado en un transformador de servicio 303 o el transmisor de aguas abajo,

por ejemplo, el transmisor de aguas abajo 304, puede estar situado en un lugar de consumo de energía por debajo del transformador de servicio.

La invención no requiere la instalación de dispositivos de comunicación u otras modificaciones entre el nivel de borde y el nivel de subestación. Sin embargo, si es deseable recoger datos de una característica de la red de media tensión, tal como una batería de condensadores, se puede instalar una variación del transmisor corriente abajo. Este transmisor corriente abajo está técnicamente todavía en el nivel de borde, puesto que es accionado por una salida de baja tensión situada en la característica, y no directamente de la línea o líneas de media tensión en las que está instalada la característica de red.

Siguiendo con referencia a la figura 2, el nivel de subestación 306 comprende al menos un Receptor de Subestación 307 operable para recibir transmisiones desde el transmisor de aguas abajo en el nivel de borde, o punto de unión intermedio, sin recurrir a ningún amplificador de señal, mecanismos de derivación o puentes instalados en la infraestructura de media tensión de la red de distribución eléctrica. El o los receptores de subestación se conectan a través de una red de área local a una Plataforma de Computación 308 que contiene una memoria no volátil de lectura por ordenador y una CPU para almacenar y ejecutar el software 309 que mantiene las bases de datos de Inventario y Mapa de Red y realiza las tareas de aprovisionamiento y la gestión de la red de datos.

Adicionalmente, la Plataforma de Computación almacena y ejecuta el software 310 el cual procesa los datos del Mapa de Inventario y de Red en combinación con mensajes recibidos del Receptor de Subestación 307 para inferir información sobre el estado de la Red más allá de lo que el Receptor de Subestación solo puede detectar basándose en sólo las transmisiones entrantes. La combinación del receptor de subestación 307 y su plataforma de computación asociada 308 también se denomina Módulo de Inteligencia de Alimentador (FIM).

En una modalidad de la invención, un receptor de subestación 307 incluye un número de convertidores analógico a digital (A/D), aunque típicamente representado como el convertidor A/D que se encuentra fuera de un receptor de subestación 307. Cada A/D está acoplado a un sensor prospectivo en cada conductor en bucle de fase de alimentación, es decir, cada fase de cada alimentador soporta un convertidor A/D. En una modalidad, las señales recibidas de las fases de los alimentadores son formas de onda actuales. En una aproximación, el convertidor A/D está situado cerca de cada MCT en cada línea de entrada de fase de alimentación respectiva (figura 3).

La FIM incluye MCT acoplados a las salidas de los FPCT. Las salidas de los MCT están, a su vez, conectadas a las entradas de los convertidores A/D, respectivamente. Deseablemente, los A/D están situados cerca del MCT respectivo en cada bucle de corriente de fase de alimentación (figura 3). En un enfoque, cuando se procesan señales, el receptor de subestación 307 ignora señales a la frecuencia fundamental de la red y sus armónicos enteros.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 2, cada subestación de distribución tiene al menos un transformador de subestación. Dependiendo del tipo y número de cargas conectadas a la subestación, puede haber más de un transformador de subestación en una subestación. El transformador de subestación y su topología -los circuitos y características entre el transformador de subestación y sus cargas, inclusive- se denominan generalmente Dominio de Subestación. En un caso ejemplar, el sistema incluye un receptor de subestación 307 asociado de manera única con cada transformador de subestación. En este caso ejemplar, el nivel de subestación 306 tiene dos dominios de subestación correspondientes a los dos receptores de subestación 307. En otros enfoques, un receptor de subestación 307 es compartido por más de un dominio de subestación, o un dominio de subestación tiene más de un receptor de subestación.

En algunas modalidades de la invención, los componentes basados en ordenador del receptor de subestación y los componentes de la plataforma de cálculo están alojados en el mismo subsistema de procesamiento. En tales modalidades, el protocolo de comunicaciones (tal como HTTP) utilizado para transferir datos entre el receptor de subestación y los componentes de software de la plataforma de computación no necesita cambiar, aunque no se requiere una red de área local física.

En una modalidad, la Plataforma de Computación 308 se conecta a una red de área amplia convencional 311, tal como Internet, con el propósito de comunicarse con un Concentrador 312 en un nivel de centro de datos 313. En algunas modalidades de la invención, e independientemente de tanto si la Plataforma de Computación como el Receptor de Subestación están ubicados conjuntamente o en subsistemas de procesamiento separados, los subsistemas de procesamiento pueden configurarse en un clúster redundante para asegurar el funcionamiento continuo del sistema.

Con referencia de nuevo a la figura 2, en ciertas modalidades el Concentrador 312 aloja software con una arquitectura análoga al software en la subestación o subestaciones. Dicha arquitectura puede incluir un componente de gestión de red y datos 314 que proporciona servicios de software a una o más aplicaciones 315 para GLA. Las aplicaciones utilizan protocolos de mensajería basados en la red convencionales tales como, pero no limitados a, JMS, SOAP y REST para publicar información a aplicaciones de suscriptores tales como un Sistema de Información Geográfica (SIG) 316.

El componente de gestión de datos y red 314 puede integrarse con un extremo de cabecera de AMI 317 con el fin de hacer que la red de AMI transmita bloques de datos a los Transmisores de Corriente Abajo en el nivel de borde 301 o en puntos de unión intermedios. El componente 314 de gestión de

datos y de red puede integrarse con el cabecero 317 de AMI utilizando un protocolo estándar y/o una interfaz propietaria.

Otras modalidades de la invención pueden emplear componentes de red auxiliares alternativos. Por ejemplo, la capacidad de emisión de subestación a borde y/o la sincronización de tiempo desde las subestaciones a los transmisores aguas abajo pueden ser proporcionadas por transmisores PLC de tensión media conectados a los alimentadores en la subestación en lugar de usar un AMI para este propósito.

Igualmente, se puede emplear un emisor de radio separado emitiendo mensajes procedentes de la subestación de distribución. El transmisor de radio no necesita estar situado físicamente en la subestación, siempre y cuando haya una vía de comunicaciones desde la Plataforma de Computación en la subestación hasta ese transmisor. Un único transmisor de radio puede servir como canal de subestación a borde para una multiplicidad de subestaciones. Cuando el canal de subestación a borde no es un AMI, puede proporcionarse la sincronización de los relojes de transmisor aguas abajo como se describe en la solicitud de patente de E.U.A No. 13/566,481, titulado Sistema y Métodos para Sincronizar Dispositivos de Borde en Canales Sin Sentido de Portador, que se incorpora aquí como referencia. Un experto en la técnica apreciará que, en las modalidades de la invención en las que los canales no están ranurados en el tiempo (por ejemplo, TDMA), no es necesaria la sincronización de reloj.

La figura 3 es un diagrama de bloques simplificado de un aparato de subestación de distribución típico en una red GLA y borde de la topología de red. La figura 3 incluye una subestación de distribución 440 que incluye un transformador de subestación 442 que está acoplado eléctricamente a un bus de distribución 430 que, a su vez, está acoplado eléctricamente a líneas de fase de alimentación 421. El borde de la red incluye una pluralidad, por ejemplo, n, de cada

alimentador 410 tiene tres líneas de fase de alimentación 421. Cada línea de fase de alimentador respectiva está conectada típicamente a una carga 418 a través de un transformador de servicio 414. Un transmisor de aguas abajo 417 está situado cerca de un transformador de servicio 414 y/o un transmisor de aguas abajo 416 situado junto a/o parte de un medidor. La subestación de distribución 440 también incluye un relé de protección/SCADA 420 que está acoplado eléctricamente a las líneas de fase de alimentación 421 a través de los bucles 426, respectivamente. La FIM también está acoplada eléctricamente a bucles 426 a través de convertidores A/D 422 y MCT 424, respectivamente.

La figura 3 detalla cómo en una modalidad el FIM monitorea las líneas de fase de alimentación 421 en el lado de baja tensión del transformador de subestación 442 uniendo MCT, por ejemplo, MCT 424, a los bucles SCADA/relé de protección, por ejemplo bucles 426, ya en lugar del SCADA o relé de protección 420. Este método de acoplamiento permite instalar un Receptor de Subestación en una subestación de distribución sin interrumpir el funcionamiento de la subestación. Otros métodos de acoplamiento, tales como los transformadores de corriente de sujeción en caliente, son bien conocidos en la técnica y pueden emplearse equivalentemente en lugar del acoplamiento secundario a bucles SCADA descritos en la presente memoria. Algunas subestaciones de distribución 440 pueden carecer de bucles SCADA 426, o los bucles existentes pueden ser inaccesibles debido a la colocación física o las regulaciones de servicios públicos.

La figura 3 muestra también las conexiones MCT 424 a los convertidores A/D 422. Los convertidores A/D 422 digitalizan la señal de corriente analógica leída de la salida de los MCT, cuya salida es proporcional a la corriente que fluye a través de la fase alimentadora correspondiente, medida por su FPCT 425. En ciertas modalidades, la señal digitalizada resultante se transporta a uno o más elementos de cálculo FIM por medio de uno o más conmutadores FIM (no representados en la figura 3 por razones de simplicidad). Como un experto en la

técnica apreciará que, en un sistema ejemplar, el elemento de cálculo incluirá, pero no está limitado a, uno o más de un ordenador convencional a base de microprocesador, un procesador de señal digital u otro dispositivo de procesamiento de señales tal como una matriz de puerta programable de campo y/o una unidad de procesamiento de gráficos. En ciertas modalidades, la FIM abarca toda la electrónica de un receptor de subestación, no todas necesariamente en el mismo bastidor. El interruptor FIM realiza varias funciones, incluyendo la recogida de señales de los A/D. Los conmutadores FIM también proporcionan alimentación a través de la conexión Ethernet a los A/D 422.

El conmutador FIM también envía un reloj común a todos los A/D, que digitalizan una señal de reloj como parte del procesamiento A/D. Esta digitalización de una señal de reloj permite la estampación de tiempo de las corrientes de datos A/D individuales para permitir la alineación posterior de dichas corrientes. En una modalidad, el conmutador FIM tiene una conexión rápida, por ejemplo, Ethernet de gigabit, al elemento de cálculo FIM.

En una modalidad, el ordenador FIM es un ordenador de múltiples núcleos muy rápido que permite sustancialmente el procesamiento en paralelo de cada uno de los canales. En una tal implementación, la computadora FIM incluirá dos elementos de procesamiento basados en Intel Xeon de 20 núcleos. Como tal, se pueden realizar hasta 40 'hilos' de proceso sustancialmente simultáneamente.

Aunque no se muestra, el elemento de procesamiento FIM recibe una o más señales de referencia de tensión desde la subestación de distribución. En una modalidad, estas señales de referencia se reciben a través de un conmutador FIM. Estas señales son una digitalización de las respectivas formas de onda de tensión alterna, medida en la subestación de distribución. En la mayoría de las circunstancias sólo se requiere una señal de referencia de tensión para una subestación. Hay, sin embargo, configuraciones en las que se requieren múltiples

señales de referencia de tensión, y otras en las que no se requieren señales de referencia de tensión.

En la implementación de un sistema de acuerdo con los principios de la invención, es deseable medir el ángulo de voltaje como un parámetro de caracterización de red. Ciertas modalidades de la invención consiguen medir el ángulo de voltaje a través de los siguientes medios: el envío de una señal GLA desde un transmisor corriente abajo se sincroniza con un cruce de voltaje cero de la frecuencia de línea fundamental en el transmisor corriente abajo. Preferiblemente, el evento de cruce de cero de señal de tensión se detecta en una forma pura, habiendo eliminado todos los armónicos de señal y ruido extraño y teniendo cuidado especial para evitar retardos de tiempo no compensados en el procesamiento de la señal. En la subestación de distribución, se hace una medida similar de la línea fundamental de frecuencia de la línea de cruce a cero. El tiempo de estos cruces de cero de voltaje de subestación se compara con un tiempo de llegada de la señal de GLA en el receptor de subestación para medir cualquier desplazamiento de tiempo. Este proceso se repite para cada señal GLA recibida.

Como cuestión práctica, el tiempo de tránsito para la señal GLA entre el transmisor corriente abajo y el receptor de la subestación se considera manejable. Cualquier diferencial de tiempo medido consta de tres componentes: Uno es el tiempo que tarda la frecuencia fundamental en propagarse desde la subestación hasta el transmisor descendente. Un segundo es el desplazamiento real del ángulo de tensión que es el parámetro deseado que se está midiendo. Un tercer componente del diferencial de tiempo es el tiempo de propagación de la señal GLA desde el transmisor descendente a la subestación.

En ciertas circunstancias, es deseable compensar el primer y el tercer de estos factores, así como otros retrasos de medición y procesamiento que pueden ser inherentes al sistema. Después de dicha compensación, cualquier

diferencia de tiempo entre la línea fundamental de cruce de cero en la subestación y recepción de la señal de GLA en la subestación es atribuible a diferencias de ángulo de voltaje.

Un experto en la técnica apreciará que cualquier diferencia de ángulo de tensión refleja características físicas de la red entre el transmisor corriente abajo y el receptor de subestación. En consecuencia, la FIM puede almacenar ángulos de tensión y posteriormente comparar estos valores con los ángulos de tensión recién medidos, por lo que cualquier cambio en el ángulo de tensión medido puede proporcionar información valiosa sobre las características eléctricas de la red y/o su estado operativo. Un experto en la técnica apreciará también que las detecciones de cruce por cero descritas anteriormente pueden implementarse en software, en hardware o en cualquier combinación de hardware y software.

En ciertas circunstancias, será adecuado emplear un único detector de cruce por cero para todos los alimentadores y fases acoplados a una subestación de distribución particular. En otras modalidades, será deseable tener múltiples detectores de cruce por cero. Por ejemplo, cuando una subestación de distribución tiene más de un transformador, puede ser necesario emplear múltiples detectores de cruce por cero.

Cuando un transmisor corriente abajo envía datos a un sistema informático que gestiona la red eléctrica, suele enviarse en forma de un paquete de datos precedido por la señal GLA. Una señal GLA es, típicamente, una señal con una pluralidad de chirridos a lo largo de un intervalo de frecuencias. El sistema de la invención busca esta señal GLA para determinar dónde está situado el paquete de datos comparando el dimensionamiento caracterizante con una señal de caracterización almacenada para encontrar la mayor correlación.

Una señal de caracterización, por ejemplo, una señal GLA, se genera y envía, en general, desde un transmisor situado en un borde de una red eléctrica y la señal se recibe posteriormente en un punto interior de la red eléctrica, por ejemplo, una subestación. En el punto interior, la señal GLA es filtrada y correlacionada con una copia de la señal GLA. En un enfoque, la señal de GLA se filtra de una manera para eliminar porciones no deseadas y/o indeseables de la señal. La señal resultante se compara con una copia de la señal caracterizadora y ejecuta ambas señales a través de un filtro de correlación cruzada que genera señales que demuestran las similitudes y diferencias de las señales. Un filtro de paso de banda para obtener la señal ordenada. Es la medida métrica del sistema y se compara canal a canal y una decisión basada en la mayoría o la totalidad de los canales.

En una aproximación preferida, esta medición de la señal GLA recibida de un transmisor es una medida sustancialmente instantánea, el sistema no utiliza ni genera utilice una señal GLA más antigua recibida previamente en el mismo canal. Cada vez que se envía un mensaje, este GLA es un precursor del mensaje. El trayecto de la señal se determina cada vez que se envía un mensaje: el trayecto GLA. Es importante procesar la señal de GLA de nuevo porque las características de la red, por ejemplo, la impedancia, pueden cambiar con el tiempo, incluso un corto período de tiempo.

La señal de GLA se utiliza para la sincronización de paquetes y acciona el algoritmo de discriminación de fase de alimentación. En ciertas modalidades la señal GLA de referencia se prepara antes de cualquier aplicación, y una representación almacenada se aplica posteriormente en tiempo real. En otras modalidades, una señal GLA de referencia se genera total o parcialmente en tiempo real, ya sea en el transmisor remoto, en el receptor de la subestación, o en ambos.

En una modalidad utilizada en una red eléctrica fundamental de 60 Hz a modo de ejemplo (un experto en la técnica ajustará fácilmente para otras frecuencias fundamentales), la señal GLA consiste en una secuencia de 25 chirridos de frecuencia con ventana sin superposición con una duración total De 3 segundos. Cada chirrido está diseñado para abarcar un rango de frecuencia de 50 Hz entre dos armónicos consecutivos. Una ventana espectral (en este caso una ventana de Tukey) se utiliza para proporcionar una transición suave entre chirridos consecutivos.

En una modalidad, un chirrido de frecuencia que abarca un cierto intervalo de frecuencia $[f_c, f_c+50]$ Hz se interpreta como un chirrido de "prototipo" que abarca el intervalo de frecuencia $[0,50]$ Hz que se traduce posteriormente hasta la banda f_c Hz. Esta interpretación se basa en una definición convencional de un chirrido. Para ver esto, considere el siguiente chirrido, barriendo el rango de $[f_c, f_c+50]$ Hz:

$$x(t) = \exp(2\pi i \{f_c t + \frac{k}{2} t^2\}) \dots\dots\dots(1)$$

Donde $k = 50/T$ es la velocidad a la que la frecuencia cambia de f_c a f_c+50 durante un periodo de tiempo de T segundos. Usando aritmética compleja, esta ecuación puede ser dividida y escrita como

$$x(t) = \exp(2\pi i f_c t) * \exp\left(2\pi i \frac{k}{2} t^2\right) \dots\dots\dots(2)$$

Una ventaja de expresar la señal de esta manera es que el término a la derecha de la multiplicación es independiente del chirrido particular. La expresión en el lado derecho de la multiplicación se multiplica por elementos con una ventana Tukey (o coseno cónico) para permitir transiciones graciosas entre chirridos adyacentes. En una modalidad, la ventana de Tukey usada en el cálculo de cada chirrido de GLA se define pieza por pieza como sigue:

$$w(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left(\frac{2\pi}{r} \left(x - \frac{r}{2} \right) \right) \right\} & 0 \leq x < \frac{r}{2} \\ 1 & \frac{r}{2} \leq x < 1 - \frac{r}{2} \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left(\frac{2\pi}{r} \left(x - 1 + \frac{r}{2} \right) \right) \right\} & 1 - \frac{r}{2} \leq x \leq 1 \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

donde r está comprendido entre 0 y 1 (inclusive) y x es un conjunto de muestras de N puntos linealmente espaciadas entre 0 y 1 (inclusive). El parámetro r controla la forma de la ventana; Es el parámetro que se puede ajustar hacia delante y hacia atrás. Este ajuste afecta a la compensación entre la nitidez de los bordes descendentes en ambos lados del chirrido y la cantidad de ondulación que hay en el recorrido del chirrido.

En un enfoque, y como se ha discutido anteriormente, la señal GLA en el receptor de la subestación es pre-computada y almacenada, habiendo sido generada fuera de línea en lugar de durante el procesamiento de la señal entrante. En primer lugar, se selecciona una forma de onda de señal de GLA deseada y toda la señal de GLA es pre-calculada; una señal GLA es de 3 (tres) segundos de largo a quince (15) k, que es cuarenta y cinco (45) mil muestras. La ventana de Tukey se crea temporalmente y se aplica a todos los sub-chirridos de la señal que comprenden toda la señal GLA. Por ejemplo, se genera un chirrido secundario único que explora un rango de frecuencia particular de 50 Hz, genera ventana Tukey y multiplica el resultado del componente de ventana Tukey por el chirrido secundario. Esto se hace para todos los chirridos sub y los resultados se concatenan juntos. Esta es la forma de onda GLA almacenada. Hay un archivo de configuración que apunta al archivo de texto GLA. El archivo GLA es una muestra digital; el valor de la forma de onda en cualquier punto dado. Se normaliza a 1, por lo que el valor máximo es 1. Es la representación textual de la forma de onda, punto por punto. En un enfoque, se almacena un equivalente FFT de la forma de onda GLA. La ventana de Tukey no se genera sobre la marcha. Se utiliza para generar un chirrido que se almacena en el archivo. En un enfoque, Matlab se utiliza

para generar el chirrido. Obsérvese que la señal de GLA puede ser más corta o más larga que la duración de 3 (tres) segundos, como se requiere para las características de una red de distribución particular.

A la inversa, la señal de GLA puede generarse tal como se necesita cuando, por ejemplo, la memoria local de un transmisor de aguas abajo particular está restringida. En otro enfoque, la señal GLA del transmisor se almacena, por ejemplo, en la memoria del transmisor corriente abajo.

En ciertas modalidades, la secuencia de chirridos de un GLA señalizado permutado. Al observar y examinar la red, se ha observado que hay o puede haber otras señales que barren el espectro, y estas señales pueden interferir con las señales GLA de los transmisores aguas abajo. Al permutar la secuencia de chirrido GLA, la señal GLA puede hacerse más discernible y menos probable que se vea afectada por dicha señal espuria.

Será evidente para un experto en la técnica que, para cualquier señal GLA o recogida de señales GLA, la representación de la misma secuencia de chirrido GLA para la señal GLA debe estar disponible tanto en el transmisor corriente abajo como en la subestación receptor. Se apreciará asimismo que un transmisor aguas abajo puede seleccionar entre una pluralidad de señales GLA (por ejemplo, secuencias de chirrido) para cualquier transmisión dada. La detección de una secuencia GLA específica en un receptor de subestación puede transmitir información adicional. Debe ser obvio para un experto en la técnica que un receptor de subestación puede estar diseñado para detectar cualquier señal GLA presentada, sin un conocimiento *a priori* de la señal GLA específica que se transmite desde el transmisor corriente abajo.

También se apreciará que, en ciertas circunstancias, la elección de una señal GLA particular puede dar como resultado un rendimiento mejorado. El

uso del aprendizaje adaptativo con respecto a la adquisición y aprendizaje de las características de una red o partes de una red puede ser empleado para seleccionar señales GLA para su uso en el sistema.

El receptor de subestación recibe continuamente desde la red de distribución eléctrica diversas señales que incluyen señales GLA desde transmisores aguas abajo. Las señales llegan inicialmente al receptor de la subestación en una forma analógica y se convierten en forma digital a través de convertidores A/D asociados con las respectivas fases de alimentación. Los datos digitales resultantes se asocian con su respectiva fase de alimentación al ser almacenada por la FIM. La FIM almacena la forma digital de las señales (las señales digitales) utilizando un método apropiado para que las señales puedan ser posteriormente analizadas por la FIM. A la luz de lo anterior, se apreciará que habrá una señal digital, asociada con cada fase de alimentación del sistema. Además, la señal digital asociada con una fase de alimentación codificará una versión digital de una señal analógica recibida en el receptor de subestación a través de esa fase de alimentación particular.

Para conceptualizar la corriente de datos, las señales digitales que llegan desde las respectivas fases de alimentación se sincronizan en el tiempo. Las muestras en la corriente de datos están alineadas de tal manera que los mismos números de muestra entre receptores representan el mismo punto en el tiempo. En el momento de la muestra, la FIM obtiene datos de todos los canales en ese momento sustancialmente. Los datos del canal entran en paralelo y una señal GPS ayuda a sincronizar los datos entre sí. En un enfoque, las señales digitales se bloquean dentro de una muestra de cada una (dependiendo de qué velocidad de muestreo). El punto de captura de las señales digitales se rastrea implícitamente en base a la circuitería de hardware, por ejemplo, el circuito A/D específico, de manera que el sistema conozca la fase de alimentación en la que entró cada señal digital.

Véase, por ejemplo, la figura 4, que representa una parte del sistema mostrado en la figura 3. Como se representa en la figura 4, hay una pluralidad de bucles 426 que conectan aguas abajo a los FPCT 425 (figura 3) de los diferentes alimentadores respectivos y una de las tres fases en cada alimentador. Como se representa en la figura, hay tres líneas eléctricas acopladas cada una a un bucle 426 respectivo en un extremo y el otro extremo está acoplado a la entrada de un respectivo convertidor A/D 422. La salida del convertidor A/D 422 está acoplada a una respectiva posición de almacenamiento en una corriente de datos 516 para almacenar la representación digital de la señal analógica entrante. Los datos almacenados en la corriente de datos 516 son posteriormente alineados en el tiempo por el tiempo de llegada al receptor de la subestación y luego almacenados en la memoria temporal 505 alineada. En un enfoque preferido, todos los canales son recibidos sustancialmente al mismo tiempo, digitalizados sustancialmente al mismo tiempo, y se almacenan en una ubicación respectiva sustancialmente al mismo tiempo. En un enfoque, los datos cruzados cero que reflejan la fase o el tiempo de desplazamiento de la corriente en la red en el momento en que el resto de los canales están siendo procesados. En un enfoque, también se digitaliza y almacena una marca de tiempo, por ejemplo, una base T, que refleja el tiempo que la señal se recibió en la subestación, y se almacena junto con cada alimentador.

En un aspecto, una corriente de datos 505 de la invención almacena muchas filas de datos, aunque una fila de datos se muestra en la figura 4, donde el número de las filas será específico del sistema. En una modalidad, se almacenan 60 filas de datos antes y 60 filas de datos después de un tiempo t , y es generalmente suficiente para permitir que una unidad de procesamiento se retrase y no se requiera procesar todos los datos de los canales en tiempo real; sino que puede funcionar en "tiempo casi real". Véase, por ejemplo, la figura 5, que representa una representación de una parte de una corriente de datos 505. La corriente de datos representa filas horizontales de datos, donde cada fila incluye la representación de datos del Alimentador 1, Alimentador 2,..., Alimentador n , donde

cada Alimentador tiene tres fases respectivas de datos. La corriente de datos 505 representada es representativa de toda la corriente de datos 505, que es sustancialmente continua en el tiempo. El flujo de datos de la figura 5 representa los datos digitales del Tiempo t así como unas pocas filas de datos recogidos antes y después del Tiempo t . En otros términos, el flujo de datos es una memoria temporal circular, por lo que se puede acceder a los datos en el flujo durante un período de tiempo, dependiendo del tamaño (cuánto tiempo se guarda) del flujo y de la frecuencia con la que se agregan nuevos datos.

En otra perspectiva, como se representa en la figura 6, la corriente de datos es sustancialmente continua y no se segmenta en paquetes como podría ser sugerido por la figura 5. Al analizar los datos del flujo de datos, la FIM examina un fragmento de flujo de datos; toma datos que comienzan en un cierto tiempo, por ejemplo, x , a través de todos los canales durante un período de tiempo especificado. En un momento posterior, la FIM examina otro fragmento de datos del flujo de datos que comienza en un momento diferente de t , por ejemplo, $t + \delta$. En un enfoque, a medida que la invención analiza datos en la corriente de datos 505, el sistema puede analizar porciones de datos parcialmente solapadas.

Este enfoque de almacenar un flujo de datos proporciona una mayor flexibilidad en el análisis de datos, incluyen la capacidad de acceder aleatoriamente a los datos en la memoria temporal. Normalmente, en los sistemas de análisis actuales, los datos fluyen a través de los sistemas como un flujo real; los sistemas no pueden respaldar y examinar los datos en el tiempo. Además, los sistemas de análisis actuales no pueden examinar los datos más de una vez, ni realinear los datos. Por lo tanto, la presente implementación proporciona una gran flexibilidad en la capacidad de analizar los datos. En un entorno ilimitado, el flujo continuo de datos sería almacenado y siempre accesible. En un enfoque, se almacenan sesenta (60) segundos de datos a través de todos los canales. Por lo tanto, en el medio del flujo de datos habría aproximadamente treinta (30) segundos

delante y detrás de ese tiempo.

Esta implementación de una corriente de datos continua que tiene un segmento almacenado crea un aumento en la elasticidad de la invención. Parte del flujo de datos se implementa utilizando memorias temporales, de tal manera que, si un paso de cálculo se queda atrás, no hay pérdida de datos. Lo ideal es que las memorias temporales almacenen datos hasta que el sistema realice las acciones que deben realizarse. En la implementación, la FIM utiliza el flujo de datos para acceder al flujo en un momento durante un cierto período de tiempo que puede proporcionar una gran parte de los datos. Los procesos FIM que están procesando el flujo de datos generalmente no son conscientes y no necesitan ser conscientes de cómo se almacenan o proporcionan los datos en el flujo de datos. En un enfoque preferido, la FIM emplea un enfoque de múltiples hilos para procesar datos en la corriente de datos, preferiblemente teniendo un proceso único para cada uno de los canales, es decir, cada una de las combinaciones de fase de alimentación. En una implementación actual, la FIM extrae un fragmento de datos, una parte determinada del flujo de datos. Actualmente el fragmento se establece en 4 segundos de longitud, aunque se puede establecer cualquier longitud.

En una modalidad de la invención, la FIM busca detectar la señal GLA. Como se ha indicado anteriormente, puede ser difícil detectar la señal GLA real debido a que la señal se ve afectada por las características de la red. Esta dificultad puede ser ampliada por la sincronización de temporización imperfecta entre el FIM y los transmisores de aguas abajo, de tal manera que la FIM no sabe dónde, por ejemplo, en qué momento, en la corriente de datos se localiza la señal GLA. Estos efectos, por separado o en combinación, también pueden dificultar la determinación precisa de la fase de alimentación a partir de la cual se origina la señal.

La figura 7 representa el procesamiento de señales que tiene lugar dentro del elemento de procesamiento 634. Como se indica, los convertidores analógico-digital 624 reciben entradas de corriente y referencias de tensión respectivas de las fases de alimentación. Los ADC producen respectivas señales digitales 625 que se almacenan en una memoria temporal 626. El elemento de procesamiento 634 actúa para sincronizar flujos de datos de las respectivas señales digitales dentro de la memoria temporal y después para determinar cruces de cero del voltaje 622 y corriente 620 mediante el análisis de las corrientes de datos.

La figura 8 representa un diagrama de flujo de datos simplificado que ilustra un método para detectar una señal GLA y para identificar el alimentador y la fase asociados con esa señal. Una pluralidad de señales entrantes, recibidas desde la red de distribución eléctrica, se digitalizan para formar señales digitales 750 que se almacenan como corrientes de datos alineadas en el tiempo en una memoria temporal 710. En ciertas modalidades, las corrientes de datos alineadas en el tiempo incluirán datos de referencia de voltaje 766 y datos de referencia actuales 768 medidos en la subestación.

La figura 8 muestra una parte 752 de la corriente de datos alineada en el tiempo dentro de la memoria temporal 710. En ciertas modalidades de la invención, las porciones alineadas de la corriente de datos alineada en el tiempo se procesan simultáneamente en paralelo. No obstante, un experto en la técnica apreciará que dicho procesamiento en paralelo no es obligatorio para el funcionamiento de todas las modalidades de la invención.

El procesamiento de las porciones alineadas en el tiempo de la corriente de datos continúa a través del pre-procesado 712. El pre-procesamiento puede incluir, por ejemplo, realizar un filtrado digital de las corrientes de datos para efectuar un filtrado de paso de banda de las señales digitales correspondientes.

Las señales digitales 754 filtradas por paso de banda resultante se procesan posteriormente a través de una correlación 714 que compara las señales digitales respectivas con una copia de referencia codificada de la señal 756 de GLA. La correlación produce una señal 758 de salida de correlación digital que se recibe en una etapa de post-procesamiento 718.

En ciertas modalidades, la etapa de post-procesado 718 extraerá una señal de envoltorio 760 de la señal de salida de correlación digital 758. La señal de envoltorio 760 se analiza adicionalmente 761 para evaluar ciertas métricas de correlación 762, que se ordenan en un proceso de clasificación 764. Un experto en la técnica apreciará que se pueden emplear métricas adicionales 770 en el proceso de clasificación. Los resultados métricos ordenados 724 se evalúan adicionalmente para identificar un resultado 730 que corresponde a la fase de alimentación acoplada eléctricamente al transmisor descendente que origina la señal GLA detectada.

En ciertas modalidades, como se representa en la figura 8, se procesa una porción de flujo de datos correspondiente a una Fase Alimentadora, en un momento que comienza t . En un principio, los datos se procesan previamente 712. Típicamente, este pre-procesado incluiría ejecutar los datos a través de un filtro de paso de banda que elimine porciones del espectro fuera de la banda de interés. También se podrían emplear filtros de muesca para filtrar algunas señales indeseables dentro de la banda de interés, por ejemplo, armónicos, señales alrededor de la frecuencia fundamental y/o señales alrededor de armónicos de la frecuencia fundamental del sistema eléctrico.

La señal pre-procesada resultante se proporciona entonces a un proceso de correlación 714 que correlaciona la señal de dominio de tiempo pre-procesada con una señal de GLA de referencia, empleando un proceso basado en FFT. Un experto en la técnica apreciará que se pueden aplicar tanto técnicas de

correlación cruzada de dominio de tiempo como de dominio de frecuencia.

Las señales resultantes del proceso de correlación se procesan después 718 (en algunos casos, empleando un filtro de paso bajo), para conseguir una envolvente de la señal de correlación. La señal de envolvente resultante del post-procesado se procesa adicionalmente para derivar una colección de métricas de correlación que se relacionan con un grado de correspondencia entre la señal de GLA y la señal de GLA de referencia. Estas métricas se almacenan en un almacén de datos 722. Las métricas de correlación resultantes (y potencialmente otras métricas 770) se usan para clasificar las señales, y la mejor señal se selecciona como resultado 730.

La figura 9 representa un diagrama de flujo lógico simplificado para el procesamiento FIM para detectar una señal GLA e identificar la fase y el alimentador en donde se originó la señal. Un experto en la técnica apreciará que el procesamiento ilustrado en la figura 9 se ejecutará de forma iterativa y continua.

El segmento S1020 de proceso de detección de GLA muestra una aproximación para detectar la señal GLA (si está presente) por correlación con una señal GLA de referencia. El primer estado encontrado en el flujo lógico se denomina estado de detección de GLA. En este estado, se hace una petición al flujo de datos para una matriz especificada por el usuario de muestras digitales de dominio del tiempo para todas las fases de alimentación. Una señal GLA de referencia está correlacionada de forma cruzada con la matriz de muestras de dominio del tiempo.

En una modalidad, las métricas resultantes recogidas de este estado son uno o más del factor de cresta, curtosis, el valor de correlación cruzada de pico y el número de muestra de este valor de pico con relación a los datos solicitados. Un experto en la técnica apreciará que estas métricas, y otras, corresponderán a

las métricas 762 y 770.

En una modalidad, los datos para todas las fases de alimentación de interés se solicitan desde la corriente de datos y los datos devueltos se cortan y se dan a múltiples hilos. En ciertas modalidades, hay una correspondencia uno a uno entre los subprocesos y las señales de fase de alimentación que se procesan. Además, en algunas modalidades, los hilos asociados a estos procesos no necesitan compartir memoria.

Cada hilo ejecuta un algoritmo de correlación cruzada en su segmento de datos asociado. En una modalidad, una porción de datos pasa primero por un algoritmo de acondicionamiento dependiente de canal que filtra los efectos de ruido no deseados. En el contexto actual, esto puede incluir frecuencias armónicas fundamentales del sistema eléctrico dentro de la banda. El algoritmo de pre-procesamiento puede ser estático o dinámico. Los algoritmos de procesamiento previo incluyen típicamente filtros de paso de banda, por ejemplo, filtros FIR, IIR y muesca, pero no se limitan a esos filtros.

Los datos filtrados se correlacionan entonces de forma cruzada con una señal GLA de referencia. En una modalidad, cada hilo tiene su propia señal GLA de referencia. La correlación cruzada puede ejecutarse en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia. Si la correlación cruzada se produce en el dominio de la frecuencia, entonces puede tener sentido almacenar la señal GLA de referencia en el dominio de la frecuencia también.

En una modalidad, se conservan todas las muestras generadas a partir del algoritmo de correlación cruzada (denominado perfil de correlación cruzada) y se extrae su envoltura. El algoritmo utilizado para la extracción de la envoltura puede depender de si la correlación cruzada ocurre en el dominio del tiempo o de la frecuencia.

Si la correlación cruzada se produce en el dominio de la frecuencia, entonces una transformación de Hilbert de dominio de frecuencia se puede utilizar para la extracción de envoltura. La función que produce el perfil de correlación cruzada de envoltura se describe de la siguiente manera: Dejando $f(\cdot)$ denotar una representación genérica de una función que tiene señales de dominio de tiempo como entradas y salidas para su envoltura de dominio de tiempo, este algoritmo puede ser resumido por La siguiente ecuación:

$$f(x * y) = |IFFT(Hilbert(X \times Y^*))| \dots \dots \dots (4)$$

donde Hilbert ($\cdot$) denota el transformador de Hilbert de dominio de frecuencia y IFFT ($\cdot$) denota la Transformada de Fourier Rápida inversa, como es la práctica común.

En un enfoque preferido, se aplican las funciones métricas de correlación de GLA asociadas con cada hilo. Más específicamente, los algoritmos de factor de cresta y curtosis se aplican al perfil de correlación cruzada de cada señal de fase de alimentación. Aunque estas funciones métricas de correlación GLA típicamente no son adecuadas para sistemas que operan sobre una base de muestra por muestra (ya que generalmente requieren grandes cantidades de datos para ser significativo), estas funciones se aplican porque son amplitud independiente y son capaces de capturar la Forma de la señal subyacente. En el contexto de Detección de GLA, estas funciones son efectivas para capturar la nitidez del perfil de correlación cruzada cuando una señal GLA está presente en la porción de datos.

Por ejemplo, si x denota un perfil de correlación cruzada calculado sobre una señal de fase de alimentación arbitraria, el factor de cresta puede calcularse como sigue: dejando

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \dots\dots\dots(5)$$

es una secuencia de números reales, entonces

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)} \dots\dots\dots(6)$$

es el cuadrado medio de la raíz de la secuencia. Con esta definición, el factor de cresta de la secuencia x puede expresarse como:

$$cresta(x) = \frac{\max(|x|)}{x_{rms}} \dots\dots\dots(7)$$

donde

$$|x| = \{|x_1|, |x_2|, \dots, |x_n|\} \dots\dots\dots(8)$$

es la secuencia de valores absolutos. Curtosis se define para ser:

$$kurt(x) = \left\{ \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} \right\} - 3 \dots\dots\dots(9)$$

donde $\bar{x}$ es el valor medio de la secuencia x.

Cada señal de fase de alimentación recibe una puntuación basada en el factor de cresta y la curtosis. A continuación, se calcula una puntuación final basada en una o más métricas resultantes, donde la puntuación final sub es la norma euclidiana o la norma escalada de las métricas. Después de adquirir la puntuación final, la FIM clasifica los canales basándose en su puntuación final. Posterior a esta clasificación, la FIM normaliza la lista ordenada y que proporciona la puntuación final.

Aunque la discusión anterior se basa en el uso del factor de cresta y la curtosis como funciones métricas de correlación de GLA, pueden emplearse otros enfoques por separado o en combinación. El uso del factor de cresta proporciona una relación de señal a ruido (SNR) como calidad al perfil de correlación cruzada y la curtosis proporciona una medida de la picosidad del perfil

de correlación cruzada. Otros enfoques incluyen, pero no se limitan a, el uso de un algoritmo de sesgo.

Así, después de la aplicación de las funciones métricas de correlación GLA, se indica la presencia probable de una señal GLA.

Si la correlación cruzada alcanza o supera un nivel de umbral de detección de GLA especificado por el usuario en al menos un canal, entonces el proceso continúa al segmento de proceso de alineación GLA S1024.

Un nivel de umbral de detección de GLA puede programarse en los parámetros del sistema. En general, el nivel de umbral es proporcionado por un usuario o controlador del sistema. En otro enfoque, el aprendizaje adaptativo se aplica para determinar y establecer un nivel de umbral. En un enfoque, el nivel umbral se basa en la evidencia empírica para establecer su valor. En general, el valor del nivel de umbral se basa en el factor de cresta y el número puede cambiar con el tiempo y puede cambiar dependiendo de las características de la red de distribución.

Si la correlación cruzada no alcanza el nivel de umbral especificado por el usuario en todos los canales, entonces el estado de detección de GLA se repite en el segmento de proceso S1020. Si no se encuentra una señal GLA, el proceso continúa segmentando S1022, donde se solicita una muestra posterior del flujo de datos. Si se encuentra una señal GLA, entonces el proceso continúa segmentando S1024.

En el segmento S1022, la FIM ajusta el tiempo de inicio del flujo de datos que se está analizando. Por ejemplo, si el tiempo actual de inicio del flujo de datos es x , donde $x = 12$ segundos, entonces x se ajusta mediante un x delta. Por ejemplo, en una modalidad, el incremento x delta puede ser igual a 0.25 segundos,

de manera que $x = 12 \text{ segundos} + x \text{ delta} = 12.25 \text{ segundos}$.

Si no se encuentra una señal GLA durante la detección de GLA, se evalúa una porción posterior del flujo de datos, buscando de nuevo la siguiente señal GLA. En una modalidad, el avance de tiempo se establece en 1/4 de segundo, pero éste será configurado por un experto en la técnica de acuerdo con los requisitos de una aplicación particular. El incremento de avance de tiempo se elige de una manera para evitar que falten señales de GLA que están presentes.

En el proceso de alineación de GLA, la información procedente del paso de alineación anterior se utiliza para solicitar nuevos datos del flujo de datos. El inicio de los nuevos datos está alineado con relación a una ubicación estimada en la que la señal de GLA comienza en el flujo de datos. En una modalidad particular, se piden datos desde un tiempo medio segundo antes del tiempo del comienzo de la señal GLA y durante una duración suficiente para capturar el preámbulo GLA entero, la porción del paquete de datos y las muestras adicionales más allá.

Si se inicia el estado de alineación GLA, entonces hay al menos evidencia numérica de que la señal GLA está presente en al menos una señal de fase de alimentación y tiene suficiente potencia comparada con el ruido para justificar una investigación adicional, por ejemplo, la señal estaba por encima de un nivel de umbral de detección de GLA.

Si al menos un canal contiene suficiente señal, el proceso adicional se ejecuta mediante procesos subsiguientes: cálculo métrico de GLA y determinación de fase de alimentación S1029, cálculo y terminación de ángulo de tensión S1026 y demodulación de mensaje S1028. Estas mediciones son completamente independientes y por lo tanto, en una modalidad, pueden realizarse en paralelo.

En circunstancias en las que parece que puede haber una señal GLA presente, pero no se encuentra ninguna, es decir, si está presente energía suficiente tal que se esperaría una señal GLA, pero no se identifica una señal GLA al final del GLA del segmento de alineación S1024, entonces el flujo de proceso continúa a S1022 donde se ajusta el tiempo de selección.

S1026 es el proceso de medición del ángulo de voltaje. El proceso de medición de ángulo de tensión está destinado a determinar qué diferencia de tiempo existe entre el cruce cero, es decir, cuando el transmisor descendente envía su señal y cuando la señal fue recibida por el receptor de subestación.

En una aproximación preferida, el proceso de alineación de GLA da como resultado una correlación aguda entre la señal de GLA recibida y la señal de GLA de referencia. Cuando una señal de correlación fuerte está presente, la FIM puede realizar una copia de seguridad y determinar que la señal debe haberse recibido en el momento x , aunque el sistema esté actualmente en el instante t . En virtud de una fuerte correlación entre la señal GLA y la señal GLA de referencia, es posible obtener una medida exacta de cuándo la señal GLA llegó a la FIM. Esta medición precisa del tiempo puede usarse para limitar el alcance de los datos requeridos de la corriente de datos para calcular el cruce por cero de la referencia de voltaje apropiada. Esto se utiliza para realizar el cálculo del ángulo de voltaje descrito anteriormente.

En varias modalidades, la información de la medición de ángulo de tensión S1026 y la medida de demodulación S1028 se pueden usar en la etapa de desambigüedad S1030. En tales circunstancias, tanto la medición del ángulo de voltaje como la medición de demodulación deben realizarse antes de la etapa de desambigüedad.

El proceso de demodulación S1028 está destinado a desmodular mensajes en múltiples fases de alimentación sobre múltiples frecuencias centrales. La frecuencia central es específica del contexto, y depende del esquema de modulación subyacente. En una modalidad, un modulador/demodulador (módem) usa una única portadora y la frecuencia central corresponde a esta frecuencia portadora.

En otra modalidad, el módem utiliza múltiples portadoras. En una modalidad, los datos solicitados desde la corriente de datos incluyen solamente la porción de mensaje del paquete, no el preámbulo de GLA. En una modalidad, la demodulación se realiza en todas las fases de alimentación a través de todas las frecuencias centrales. En otra modalidad, la demodulación se realiza solamente en aquellas señales de fase de alimentación en las que se detectó una señal de GLA.

Existen varias maneras de desmodular sobre las múltiples frecuencias centrales para cada fase de alimentación relevante. En una modalidad, la demodulación se realiza sobre todas las frecuencias centrales hasta que se sobrepasa un umbral definido sobre una métrica de rendimiento centrada en el demodulador, en cuyo caso la tarea de demodulación asociada con el canal se termina. Si no se excede el umbral definido, entonces se conservan los resultados para la frecuencia central que producen la métrica centrada en el demodulador más grande para procesamiento posterior.

En otra modalidad, la demodulación se realiza sobre todas las frecuencias centrales y la frecuencia central correcta u óptima se obtiene después del hecho. Al igual que en la modalidad anterior, la frecuencia central óptima proviene de la especificación de una métrica centrada en el demodulador.

Para una transmisión descendente dada, la señal GLA se puede ver en cualquier número de fases de alimentación, o puede no verse en ninguna. Una

causa potencial de este efecto es la diafonía entre alimentadores y fases.

Los datos de carga útil desmodulados pueden contener cualquiera de varios tipos de información, incluyendo mediciones de red. Por ejemplo, el transmisor aguas abajo puede configurarse para medir el voltaje y la potencia consumida localmente.

El propósito del proceso de desambigüedad es agrupar y preparar los resultados de los procesos de Alineación de GLA, Medición de Red, medición de ángulo de tensión y Demodulación, como se hace a través de todas las fases de alimentación, en preparación para la presentación de informes. En una modalidad, la preparación implica clasificar todas las fases de alimentación basadas en una o más métricas derivadas de los resultados agregados para las fases de alimentación. En otra modalidad, la preparación implica clasificar los alimentadores y luego clasificar las fases, separadamente.

Al finalizar el proceso de desambigüedad, el proceso continúa con el proceso de generación de informes S1032. El proceso Generación de informes toma la estructura de salida agregada y ordenada generada del proceso de desambigüedad, formatea los datos en un formato de datos serializables y conserva el contenido resultante. En una modalidad, el contenido se escribe en un disco y se conserva posteriormente en una base de datos administrada. En otra modalidad, el contenido se escribe directamente en una base de datos administrada.

Al final del proceso de generación de informes, el proceso continúa al estado S1020 de detección de GLA con un ajuste de tiempo mayor adecuado para pasar más allá de la transmisión actual.

Aunque la invención se ha descrito e ilustrado con referencia a modalidades ejemplares específicas, debe entenderse que pueden realizarse muchas modificaciones, combinaciones y sustituciones sin apartarse del espíritu y alcance de la invención. Por ejemplo, la discusión anterior describe principalmente las aplicaciones de la invención con respecto a un sistema de comunicación TDMA, sin embargo, la invención no está limitada, y se pueden emplear otros sistemas de comunicaciones, por ejemplo, FDMA, que requerirían modificar la operación de comunicación y procesamiento para reflejar el sistema de comunicación elegido. Además, aunque la invención se describe con respecto a la utilización de una señal de GLA, la invención no está limitada y pueden emplearse otros datos de encabezado de ráfaga de datos apropiados con un cambio correspondiente en el sistema para reconocer y procesar los datos de cabecera elegidos. Por consiguiente, la invención no debe considerarse limitada por la descripción anterior, sino que está limitada únicamente por el alcance de las reivindicaciones.

E. S. D.

RESPUESTA A EXAMEN DE FORMA

En respuesta a las observaciones realizadas como resultado del examen de forma, es pertinente mencionar que las reivindicaciones definen de forma clara y razonablemente general la invención, razón por la que respetuosamente disiento de los comentarios del señor Examinador a este respecto. A continuación, sin embargo, se incluyen los argumentos y se mencionan las modificaciones realizadas para atender a cada uno de los requerimientos del Señor Examinador:

Respecto a la objeción sobre el resumen de la invención, me permito presentar la modificación al error de redacción evidenciado por el examinador. De esta forma el presente resumen cumple con los requerimientos del artículo 31 de la Decisión 486.

“Un sistema informático en una subestación de una red eléctrica que examina canales de comunicación en red y, para el mismo canal, el sistema compara y correlaciona una señal GLA proporcionada por un transmisor descendente en ese canal a una señal GLA de referencia. El canal que proporcionó la señal con la mejor correlación es probablemente el canal con el transmisor. De este modo, el alimentador y la fase de la señal pueden determinarse a partir de la correlación de señales.”

Adjunto a este memorial se presenta una nueva descripción con la corrección del solapamiento de la ecuación 2 con el párrafo posterior a este, de manera que todos y cada uno de los párrafos y ecuaciones pueden ser visualizados correctamente.

Unidad de Invención

De acuerdo a la sugerencia del examinador, me permito indicar que el pliego reivindicatorio ha sido modificado y reducido a 14 reivindicaciones, de manera que se restringió la materia a un único concepto inventivo relacionado con la determinación de una línea de fase en la cual el transmisor está transmitiendo, concepto que incluye un método y un aparato para llevarlo a cabo. Cabe resaltar que esta modificación al pliego reivindicatorio se encuentra totalmente soportada en la descripción de la solicitud y que no ha sido incluida materia adicional a la inicialmente presentada.

Reivindicaciones

De manera respetuosa me permito expresar nuestro desacuerdo respecto a la objeción del examinador sobre el pliego reivindicatorio anterior indicando que los términos “*al menos*” y “*sustancialmente*” son imprecisos, pues una persona del oficio normalmente versada en la materia, podría entender el alcance de éstos basado en su conocimiento y en la divulgación de la presente solicitud.

No obstante lo anterior, en el pliego reivindicatorio aquí presentado, el término “*sustancialmente*” ha sido eliminado, mientras que el término “*al menos*” es utilizado para indicar que se pueden producir de diez señales en adelante, rango que puede ser entendido por un versado en la materia, quien basado en el conocimiento actual del arte puede ser capaz de interpretar el número de señales que pueden ser producidas por un sistema procesador.

Como resultado de las consideraciones aquí abordadas, se concluye que la totalidad de la materia que conforma la presente divulgación cumple a cabalidad con lo establecido por la legislación vigente, razón por la que solicito sean retiradas las respectivas objeciones y, consecuentemente, se proceda a continuar con el trámite de la presente solicitud.

Anexos

- Nuevo pliego reivindicatorio.
- Descripción corregida.

Atentamente,

JUAN PABLO CADENA SARMIENTO

T.P. No. 57.492 del C.S.J.
C.C. 80.410.337 de Usaquén
Calle 70 A No. 4 – 41

Reivindicaciones

1. Un método para determinar una línea de fase sobre la que un transmisor está transmitiendo, que comprende:

generar, mediante un sistema de procesamiento que comprende un dispositivo de procesamiento, una señal de referencia;

monitorear, mediante el sistema de procesamiento, una pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia para señales transmitidas que se transmiten por transmisores respectivos de una pluralidad de transmisores acoplados a la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, subconjuntos de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia que componen una pluralidad de líneas de alimentación de manera que cada línea de alimentación de la pluralidad de líneas de alimentación correspondientes comprende un subconjunto correspondiente de líneas de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia;

detectar, en una primera línea de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, una señal transmitida que se transmite por un transmisor de la pluralidad de transmisores;

detectar, en una segunda línea de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, la señal transmitida que se transmite por el transmisor;

correlacionar la señal transmitida detectada en la primera línea de fase de distribución de potencia y la señal transmitida detectada en la segunda línea de fase de distribución de potencia con la señal de referencia; y

determinar que el transmisor transmitió la señal transmitida en la primera línea de fase de distribución de potencia y no en la segunda línea de fase de distribución de potencia.

2. El método de la reivindicación 1, en el que la generación, por el sistema de procesamiento, de la señal de referencia comprende adicionalmente generar la señal de referencia generando una pluralidad de pitidos, comprendiendo cada pitido una señal que abarca un intervalo de frecuencia predeterminado.
3. El método de la reivindicación 2 en el que generar la señal de referencia generando la pluralidad de pitidos, comprendiendo cada pitido una señal que abarca el intervalo de frecuencias predeterminado, comprende adicionalmente generar la señal de referencia generando al menos diez pitidos, abarcando cada

pitido de los al menos diez pitidos un intervalo de frecuencia diferente, predeterminado y sin superposición.

4. El método de la reivindicación 3, en el que cada pitido de los al menos diez pitidos abarca un intervalo de frecuencia predeterminado sin superposición de 50 Hertz.
5. El método de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente detectar, en la primera línea de fase de distribución de potencia, un paquete de datos transmitido que se transmite por el transmisor que sigue a la señal transmitida, comprendiendo el paquete de datos transmitidos datos que cuantifican una medición realizada por el transmisor.
6. El método de la reivindicación 1, en el que la detección, en la primera línea de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, de la señal transmitida que se transmite por el transmisor de la pluralidad de transmisores comprende además la detección, en la primera línea de fase de distribución de potencia en un lado de alta tensión de un transformador de servicio que baja la tensión en la primera línea de fase de distribución de potencia, de la señal transmitida que se transmite por el transmisor en la primera línea de fase de distribución de potencia en un lado de baja tensión del transformador de servicio.
7. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente almacenar, en un mapa de cuadrícula, datos que identifican el transmisor como acoplado a la primera línea de fase de distribución de potencia.
8. Un receptor para determinar una línea de fase en la que está transmitiendo un transmisor, que comprende:

una memoria; y

un dispositivo procesador acoplado a la memoria y configurado para:

generar una señal de referencia;

supervisar una pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia para señales transmitidas que se transmiten por transmisores respectivos de una pluralidad de transmisores acoplados a la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, subconjuntos de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia que componen una pluralidad de líneas de alimentación correspondientes de manera que cada línea de alimentación de la pluralidad de líneas de alimentación correspondientes comprende un subconjunto correspondiente de líneas

de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia;

detectar, en una primera línea de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, una señal transmitida que se transmite por un transmisor de la pluralidad de transmisores;

detectar, en una segunda línea de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, la señal transmitida que se transmite por el transmisor;

correlacionar la señal transmitida detectada en la primera línea de fase de distribución de potencia y la señal transmitida detectada en la segunda línea de fase de distribución de potencia con la señal de referencia; y

determinar que el transmisor transmitió la señal transmitida en la primera línea de fase de distribución de potencia y no en la segunda línea de fase de distribución de potencia.

9. El receptor de la reivindicación 8, en el que para generar la señal de referencia, el dispositivo procesador está configurado adicionalmente para generar una pluralidad de pitidos, comprendiendo cada pitido una señal que abarca un intervalo de frecuencias predeterminado.
10. El receptor de la reivindicación 9 en el que, para generar la pluralidad de pitidos, comprendiendo cada pitido una señal que abarca el intervalo de frecuencia predeterminado, el dispositivo procesador está configurado además para generar la señal de referencia generando al menos diez pitidos, abarcando cada pitido de los al menos diez pitidos un intervalo de frecuencia diferente predeterminado que no se superpone.
11. El receptor de la reivindicación 10, en el que cada pitido de los al menos diez pitidos atraviesa un intervalo de frecuencia predeterminado que no se superpone de 50 Hertz.
12. El receptor de la reivindicación 8, en el que el dispositivo procesador está configurado además para detectar, en la primera línea de fase de distribución de potencia, un paquete de datos transmitido que se transmite por el transmisor que sigue a la señal transmitida, comprendiendo el paquete de datos transmitidos datos que cuantifican una medición realizada por el transmisor.
13. El receptor de la reivindicación 8 en el que para detectar, en la primera línea de fase de distribución de potencia de la pluralidad de líneas de fase de distribución de potencia, la señal transmitida que se transmite por el transmisor de la

pluralidad de transmisores, el dispositivo procesador está configurado además para detectar, en la primera línea de fase de distribución de potencia en un lado de alta tensión de un transformador de servicio que baja la tensión en la primera línea de fase de distribución de potencia, la señal transmitida que se transmite por el transmisor en la primera línea de fase de distribución de potencia en un lado de baja tensión del transformador de servicio.

14. El receptor de la reivindicación 8 en el que el dispositivo procesador está configurado además para almacenar, en un mapa de cuadrícula, datos que identifican el transmisor como acoplado a la primera línea de fase de distribución de potencia.