



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 291 469**

51 Int. Cl.:
H02J 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02730500 .2**

86 Fecha de presentación : **14.06.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1400000**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **24.03.2004**

54 Título: **Método de vigilancia de un sistema de potencia de una red eléctrica de alta tensión.**

30 Prioridad: **22.06.2001 GB 0115283**
09.08.2001 GB 0119398
09.08.2001 GB 0119400

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2008

73 Titular/es: **Psymetrix Limited**
Sanderson House, 35 Water Street
Edinburgh EH6 6SU, GB

72 Inventor/es: **Golder, Alexander y**
Wilson, Douglas Harman

74 Agente: **González Palmero, Fe**

ES 2 291 469 T3

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

ES 2 291 469 T3

DESCRIPCIÓN

Método de vigilancia de un sistema de potencia de una red eléctrica de alta tensión.

5 Esta invención se refiere a sistemas de transmisión de energía eléctrica y particularmente a sistemas de redes eléctricas de alta potencia y de alta tensión.

10 Suponiendo que no hay limitaciones térmicas, frecuentemente surgen límites de transferencia de potencia para un sistema de potencia debido a las preocupaciones sobre la inestabilidad transitoria o la inestabilidad de la tensión en el caso de una contingencia. También existen preocupaciones con respecto a la inestabilidad en estado estacionario. Con el fin de cuantificar estas posibles inestabilidades, es necesario un conocimiento de las características dinámicas de los sistemas de potencia. Las técnicas existentes usadas para proporcionar estimaciones de las características dinámicas de un sistema de potencia, y por tanto, los límites de transferencia de potencia, se basan en estudios de modelización dinámica matemática que son objeto de importantes incertidumbres. Hasta la fecha, los ingenieros de sistemas han tenido que incorporar grandes factores de seguridad, reduciendo realmente la capacidad de transferencia de potencia segura en un margen considerable, y limitando así excesivamente la potencia que puede transferirse, o requiriéndose una excesiva inversión en capacidad.

15 Se ha propuesto previamente usar un enfoque de “energía de señal” para el ajuste de los límites de transferencia de potencia, basado en la observación de que la “energía de señal” aumenta (y se deteriora el amortiguamiento) asintóticamente a medida que aumenta el flujo de potencia.

Sin embargo, estas propuestas se ven afectadas por los hechos de que:

25 (a) se basan únicamente en modelización dinámica matemática, con los problemas que conlleva tratados anteriormente

(b) el uso de la “energía de señal” sin dividir esta cantidad en sus componentes de frecuencia oculta la naturaleza del problema

30 (c) la relación entre energía de señal y/o amortiguamiento y el flujo de potencia MW no es, en la práctica, uniforme en absoluto.

35 El documento US 5.566.085 da a conocer un método para calcular un límite de transferencia de estabilidad de tensión transitoria para una red de potencia, mediante lo cual se determinan los valores en estado estacionario para parámetros eléctricos característicos variables de elementos variables de la red basándose en valores particulares para la potencia transferida por las líneas de transmisión. Usando dos valores de energía de este tipo a partir de dos valores de potencia, se obtiene una estimación del límite de transferencia para la línea de transmisión, que es una asíntota de los valores de energía, siendo los valores de energía una función inversa del límite de estabilidad menos el valor de potencia.

40 Según la presente invención, se proporciona un método de determinación de límites de transferencia de potencia en un sistema de transmisión de energía eléctrica que incluye una pluralidad de líneas de potencia, que comprende:

45 (a) derivar características dinámicas modales con una selección de las líneas a partir de la medición de pequeñas perturbaciones en los parámetros operativos del sistema de potencia en dichas líneas durante un periodo de tiempo;

50 (b) medir los parámetros operativos del sistema de potencia en algunas o todas de dichas líneas durante dicho periodo de tiempo;

(c) usar los datos recogidos en (a) y (b) para establecer relaciones fijas entre las características dinámicas y los parámetros operativos en cada una de dichas líneas, usando análisis multivariante formando una matriz de observaciones, a partir de la cual pueden derivarse los parámetros para las relaciones multivariantes; y

55 (d) calcular a partir de cada una de dichas relaciones el límite de transferencia de potencia para cada línea.

Son obvias realizaciones alternativas y preferibles de la invención a partir de las reivindicaciones adjuntas.

60 Ahora se describirán realizaciones de la invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Las figuras 1, 2 y 3 son gráficas que ilustran la relación entre el flujo de potencia y la razón de amortiguamiento modal;

65 La figura 4 es una gráfica que ilustra la relación entre flujo de potencia y tiempo de extinción modal; y

Las figuras 5 a 7 son gráficas referidas a una realización adicional.

ES 2 291 469 T3

El método de la invención implica medir las características dinámicas en estado estacionario o de pequeña señal del sistema de potencia. Las mediciones se obtienen de manera continua y en línea y se realizan y asocian con las condiciones predominantes reales del sistema.

5 Específicamente, las características dinámicas que se miden son el amortiguamiento modal, la frecuencia modal y la amplitud modal del sistema basándose en el flujo de potencia real o reactiva, tensión, frecuencia del sistema, etc.

Estos valores modales están asociados, a su vez, con los parámetros predominantes reales del sistema tales como la potencia real y reactiva, tensión, frecuencia del sistema, etc.

10 Además, siempre se toma el tiempo en el que se realizan las mediciones. Entonces, estas mediciones se usan para determinar los límites de transferencia de potencia de pequeña señal del sistema y garantizar así las condiciones operativas de transferencia de potencia más eficaces.

15 Preferiblemente, las mediciones se modifican mediante un factor que se determina tal como sigue:

Como primera fase, se obtienen una serie de valores característicos dinámicos de pequeña señal, preferiblemente las características de amortiguamiento modal, y los correspondientes parámetros operativos del sistema de potencia, a partir de un modelo matemático del sistema antes de una condición de tensión o transitoria limitante que resulta de un caso de contingencia identificado.

25 A partir de esta serie de valores, se deriva una relación entre el límite transitorio y la característica dinámica de pequeña señal en las condiciones particulares del sistema. Entonces se usa esta relación junto con las mediciones de pequeña señal en línea reales para determinar los límites de transferencia de potencia del sistema.

La técnica puede proporcionar información en línea referente a cómo de cerca está un sistema de potencia de su límite de transferencia.

30 Pueden medirse las características de amortiguamiento en cuanto a la razón de amortiguamiento, tiempo de extinción modal o cualquier otra forma adecuada.

La invención incluye además derivar los límites seguros calculados mediante el procedimiento anterior para una o más condiciones de contingencia.

35 La invención se basa en hacer uso de datos pasados reales de los parámetros operativos del sistema de potencia y el amortiguamiento modal en el sistema de interés. Tales datos pueden derivarse de datos históricos de manera manual o mediante otros medios conocidos.

40 (a) Es preferible utilizar un modelo dinámico de sistema de potencia que se haya verificado mediante mediciones dinámicas directas continuas en condiciones operativas observables, de modo que el nivel de confianza requerido puede situarse en las predicciones del modelo.

45 Las estimaciones en línea de la dinámica del sistema de potencia se derivan en cuanto a la frecuencia, amplitud y amortiguamiento modales adquiriendo los parámetros operativos del sistema de potencia en uno o más puntos en una red y analizando las pequeñas perturbaciones que están siempre presentes.

50 Pueden observarse varios rasgos a partir de estos datos. Por ejemplo, cuando aumenta el flujo de potencia real en una línea, se deteriora el amortiguamiento modal en la línea. Además, en muchos casos, la razón de amortiguamiento modal es aproximadamente lineal en relación al flujo de potencia MW en la línea que se está vigilando. Por ejemplo, en la figura 3, la relación entre el flujo de potencia y las razones de amortiguamiento modal es

$$\text{Razón de amortiguamiento} = 0,105 - 0,0005 \times \text{flujo de potencia}$$

55 El límite de transferencia de potencia de pequeña señal se establece como el punto en el que la razón de amortiguamiento es cero, es decir, el flujo de potencia es $0,105/0,0005 = 210$ MW.

60 Sin embargo, esta situación no siempre es apropiada. Supongamos que están vigilándose dos líneas en una red (línea 1 y línea 2) y que existen dos modos presentes en estas líneas (modo A y modo B). En la línea 1, el amortiguamiento para el modo A está relacionado con el flujo de potencia real en la línea 1 tal como se muestra en la figura 1. Sin embargo, en la línea 2, puede ser que la razón de amortiguamiento para el modo A no esté relacionada de ninguna manera con el flujo de potencia real en la línea 2, tal como se muestra en la figura 2. Al mismo tiempo, la razón de amortiguamiento para el modo B puede ser aproximadamente lineal en relación al flujo de potencia real en la línea 1 y en la línea 2.

65 A primera vista, podría parecer que no existe una relación clara entre el amortiguamiento y el flujo de potencia real.

ES 2 291 469 T3

Para resolver este problema, es necesario reconocer que la aparente falta de relación surge porque la situación se está considerando como un problema univariante, mientras que es de hecho un problema multivariante. Al establecer la relación entre el amortiguamiento para un modo y el flujo de potencia MW en una línea, debe tenerse en cuenta el flujo de potencia simultáneo y posiblemente el amortiguamiento en otras líneas asociadas.

Mediante el uso de un análisis multivariante (o una red neuronal según sea apropiado), puede establecerse para cada línea en el sistema qué modos tienen una relación fija entre los parámetros operativos del sistema de potencia y la razón de amortiguamiento modal. Esto puede realizarse, por ejemplo, formando una matriz de observaciones, a partir de la cual pueden derivarse los parámetros para las relaciones multivariantes. Entonces pueden usarse las relaciones multivariantes fijas, tal como se trató anteriormente, para calcular los límites de transferencia de potencia para cada línea.

Se reconoció que otra fuente de variación “inexplicada” en la relación entre amortiguamiento y potencia de flujo MW en una línea surge debido al mal funcionamiento o funcionamiento ineficaz de los sistemas de control asociados con una planta y generadores individuales.

Como beneficio adicional, es posible identificar qué planta/generadores están contribuyendo al amortiguamiento del sistema, incluyendo observaciones sobre los parámetros operativos del sistema de potencia asociados con los generadores individuales y otra planta asociada, cuando se establece la relación multivariante.

Debe observarse que los límites de transferencia derivados de esta manera se aplican tanto a inestabilidad transitoria como de tensión; de esta manera, puede estimarse la posibilidad de si el sistema puede soportar cualquier contingencia específica.

Es importante darse cuenta de que esta evaluación se basa en gran medida en datos de observación, y de que se requiere la modelización de la única red implicada con el fin de derivar las relaciones entre límites transitorios y características dinámicas de pequeña señal de precontingencia.

Otro rasgo importante de la técnica es que basando los límites de transferencia en las condiciones dinámicas predominantes del sistema de potencia, se están usando probabilidades “condicionales” en lugar de “marginales” y este hecho conduce a una flexibilidad y precisión adicionales en la evaluación de los límites de transferencia.

En otro aspecto, hay frecuentes incidentes en los sistemas de transmisión de alta tensión en los que aparece “espontáneamente” una oscilación escasamente amortiguada en el flujo de potencia en una línea de transmisión. Estas oscilaciones pueden sostenerse durante algunos minutos o extenderse hasta varias horas. Durante el tiempo en el que están presentes estas oscilaciones escasamente amortiguadas, se está exponiendo al sistema de potencia a un riesgo de seguridad de suministro del sistema de potencia, que normalmente adopta la forma de un riesgo de inestabilidad transitoria o de tensión. La fuente de las oscilaciones se relaciona frecuentemente con el mal funcionamiento de los sistemas de control asociados con generadores eléctricos u otra planta conectada al sistema de transmisión.

Existen muchos generadores y otros elementos de planta conectados a un sistema de transmisión y actualmente es muy difícil identificar entre estos muchos elementos, qué elemento de planta individual es el culpable. Cuando se el elemento de planta individual, puede tomarse una acción correctora y reducir así el riesgo de pérdida de suministro.

La presente invención también proporciona un medio de identificación del elemento de planta individual basado en el análisis modal de mediciones de tensión, corriente, flujo de potencia real, flujo de potencia reactiva y frecuencia del sistema tomadas del sistema de potencia.

Se miden las características dinámicas para el sistema de potencia, en cuanto a la frecuencia modal, el amortiguamiento modal y la amplitud modal. Comparando algunas o todas estas mediciones modales entre las diversas ubicaciones de medición en la red, se hace posible la identificación de la ubicación de la fuente del escaso amortiguamiento. Hasta la fecha, tradicionalmente se ha supuesto que la frecuencia y el amortiguamiento para un modo es constante a través de la red de transmisión, variando únicamente la amplitud modal de una ubicación a otra (es decir, que el sistema de potencia se comporta de manera lineal a este respecto).

Cuando se realiza el análisis modal en señales adquiridas cerca de la planta individual, puede utilizarse este comportamiento no lineal del sistema de potencia para identificar la planta individual con mal funcionamiento.

Se hace posible la detección de la fuente de una oscilación por medio del examen de la relación de fase para modos asociados con la potencia real (o reactiva) y la frecuencia del sistema de potencia. Cuando la fuente de una oscilación está muy cerca del punto de medición, puede esperarse una mayor diferencia de fase entre los modos que en el caso en el que el punto de medición está alejado de la fuente de oscilación.

La figura 5 ilustra una oscilación “espontánea” típica de lo que puede observarse frecuentemente en los sistemas de transmisión. La figura 6 ilustra los resultados obtenidos cuando las señales de potencia real, potencia reactiva y tensión para este caso se analizan en el punto A en la red de transmisión que está alejada eléctricamente de la fuente de oscilación. La figura 7 ilustra los resultados obtenidos cuando las señales de potencia real, potencia reactiva y

ES 2 291 469 T3

tensión para este caso se analizan en el punto B en la red de transmisión que está cerca eléctricamente de la fuente de oscilación.

5 Puede observarse en esta ilustración que el tiempo de extinción modal constante para la señal de potencia reactiva en el punto B:

(a) tiene un nivel superior en cuanto al valor promedio y máximo durante el periodo de la oscilación

10 (b) consigue un valor elevado en un punto en el tiempo que está adelantado con respecto a la señal correspondiente en el punto A

También puede observarse que los valores promedio y máximo conseguidos para las señales de potencia real y tensión durante el periodo de la oscilación son generalmente superiores en el punto B que en el punto A.

15 Estas y otras indicaciones similares en los resultados del análisis modal para las diversas señales, identifican que la fuente de la oscilación se encuentra más cerca del punto B en la red que del punto A. Tomando mediciones similares en otros puntos de la red que están más alejados eléctricamente del punto B, se confirma que la fuente de la oscilación se encuentra más cerca del punto B.

20 Mediante estos medios, se ha localizado/identificado ahora la fuente de la oscilación y puede dirigirse ahora una acción correctora en la planta individual, eliminando así este riesgo de pérdida de suministro.

La forma exacta de la manifestación de un fallo en las diversas señales, depende del tipo de fallo o mal funcionamiento de la planta. Puede usarse de manera adecuada la naturaleza precisa de la manifestación para clasificar el fallo y proporcionar una orientación sobre la forma de acción correctora que debe tomarse.

Pueden realizarse modificaciones y mejoras dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de determinación de límites de transferencia de potencia en un sistema de transmisión de energía eléctrica que incluye una pluralidad de líneas de potencia, que comprende las etapas de:
- 10 (a) derivar características dinámicas modales sobre una selección de las líneas a partir de la medición de pequeñas perturbaciones en los parámetros operativos del sistema de potencia en dichas líneas durante un periodo de tiempo;
 - 15 (b) medir los parámetros operativos del sistema de potencia en algunas o todas de las dichas líneas durante dicho periodo de tiempo; y **caracterizado** por las etapas de:
 - (c) usar los datos recogidos en (a) y (b) para establecer relaciones fijas entre las características dinámicas y los parámetros operativos en cada una de dichas líneas, usando un análisis multivariante formando una matriz de observaciones, a partir de la cual pueden derivarse los parámetros para las relaciones multivariantes; y
 - (d) calcular a partir de cada una de dichas relaciones el límite de transferencia de potencia para cada línea.
- 20 2. Método según la reivindicación 1, en el que las características dinámicas incluyen el amortiguamiento modal, la frecuencia modal o la amplitud modal del sistema.
3. Método según la reivindicación 1, en el que las características dinámicas derivadas y los correspondientes parámetros operativos se obtienen a partir de un modelo matemático que representa el sistema de transmisión de energía eléctrica antes de una condición de tensión o transitoria limitante.
- 25 4. Método según la reivindicación 2, en el que el modelo matemático también representa el sistema de transmisión de energía eléctrica después de una condición de tensión o transitoria limitante.
- 30 5. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa (c) comprende además establecer relaciones fijas usando redes neuronales.
- 35 6. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que el método incluye medir las pequeñas perturbaciones en uno o más puntos en el sistema en uno o más de los siguientes: fasores de tensión, fasores de corriente, diferencia de ángulo de fasor de tensión, diferencia de ángulo de fasor de corriente, valores de potencia real, valores de potencia reactiva, valores de potencia, valores de corriente, frecuencia del sistema, tiempo de aparición de los valores.
- 40 7. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que las características dinámicas medidas se asocian con condiciones predominantes del sistema.
8. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que las mediciones se llevan a cabo en intervalos predefinidos.
- 45 9. Método según las reivindicaciones 1 a 7, en el que las mediciones se llevan a cabo sustancialmente de manera continua.
- 50 10. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que los parámetros operativos incluyen el flujo de potencia en dichas líneas.
- 55
- 60
- 65

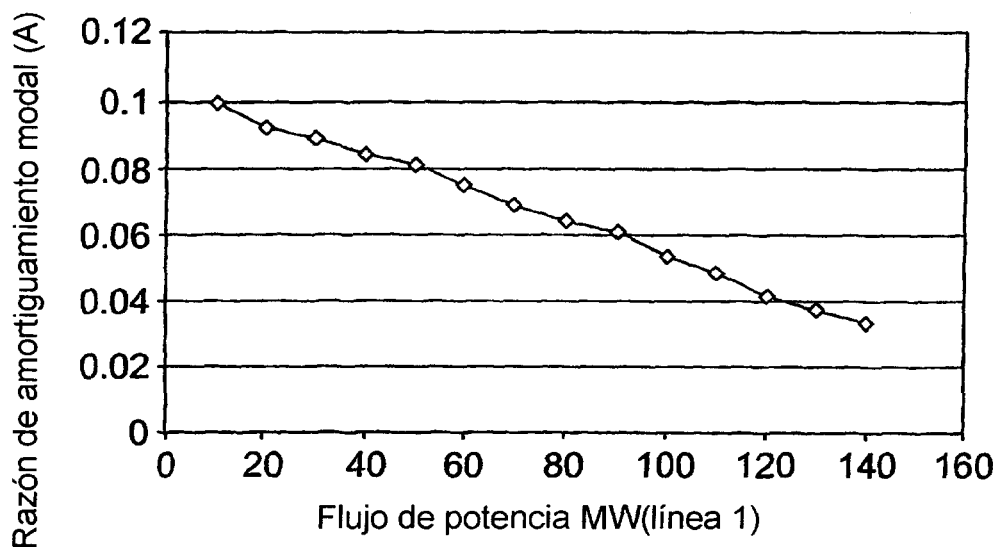


Fig. 1

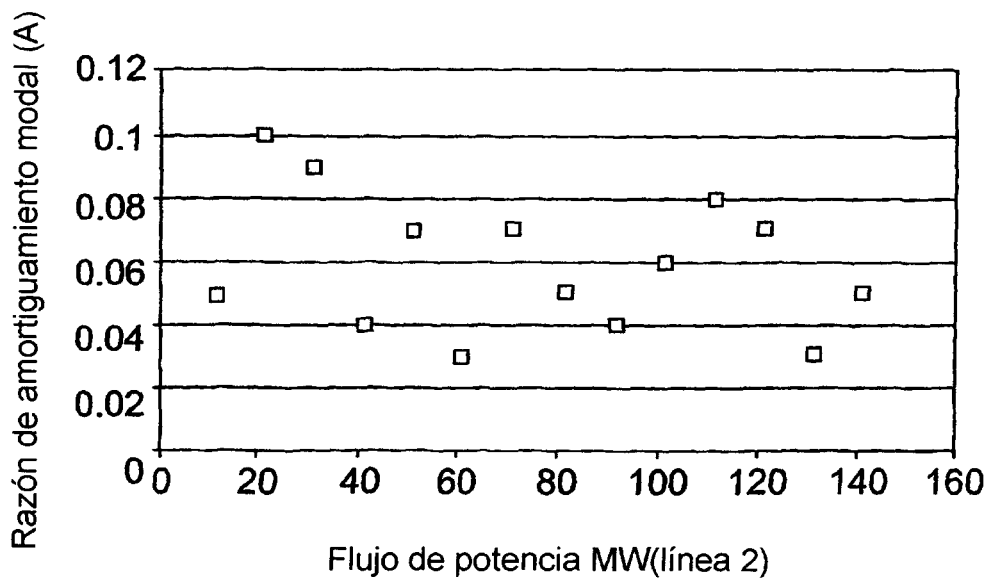


Fig. 2

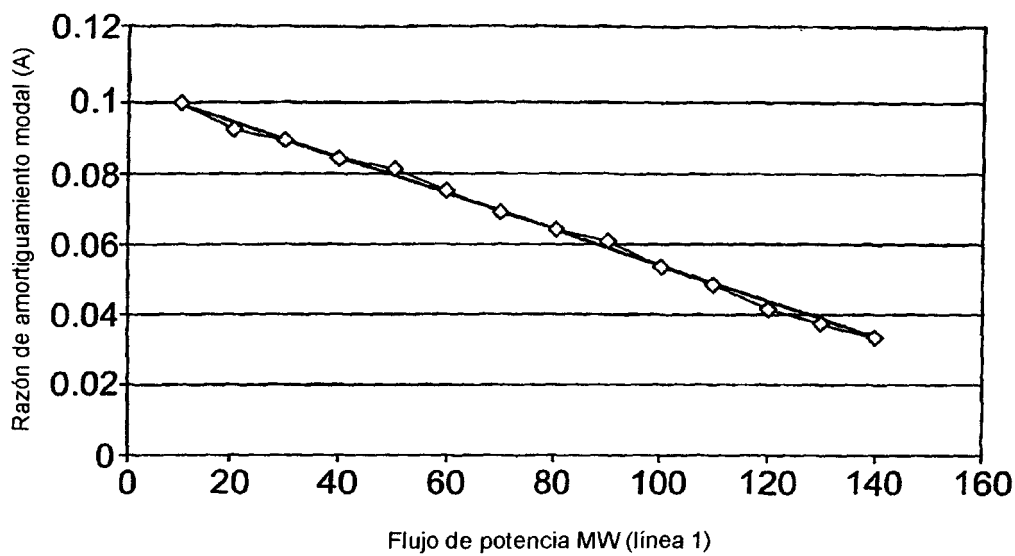


Fig. 3

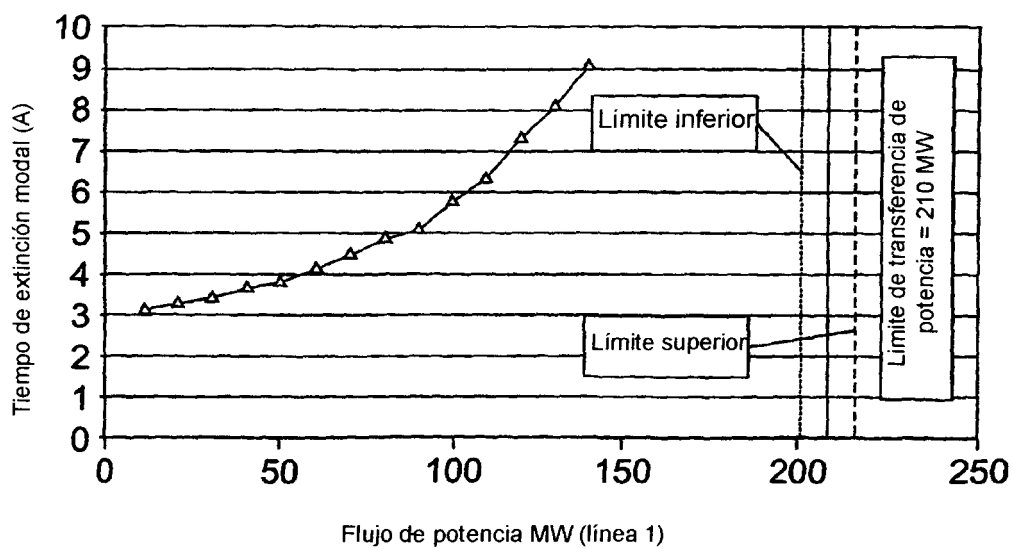


Fig. 4

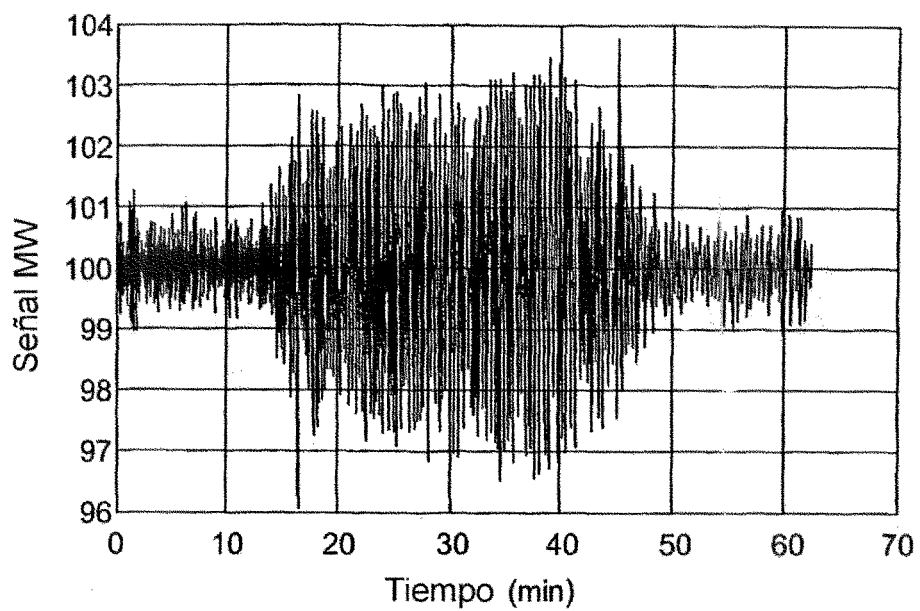


Fig. 5

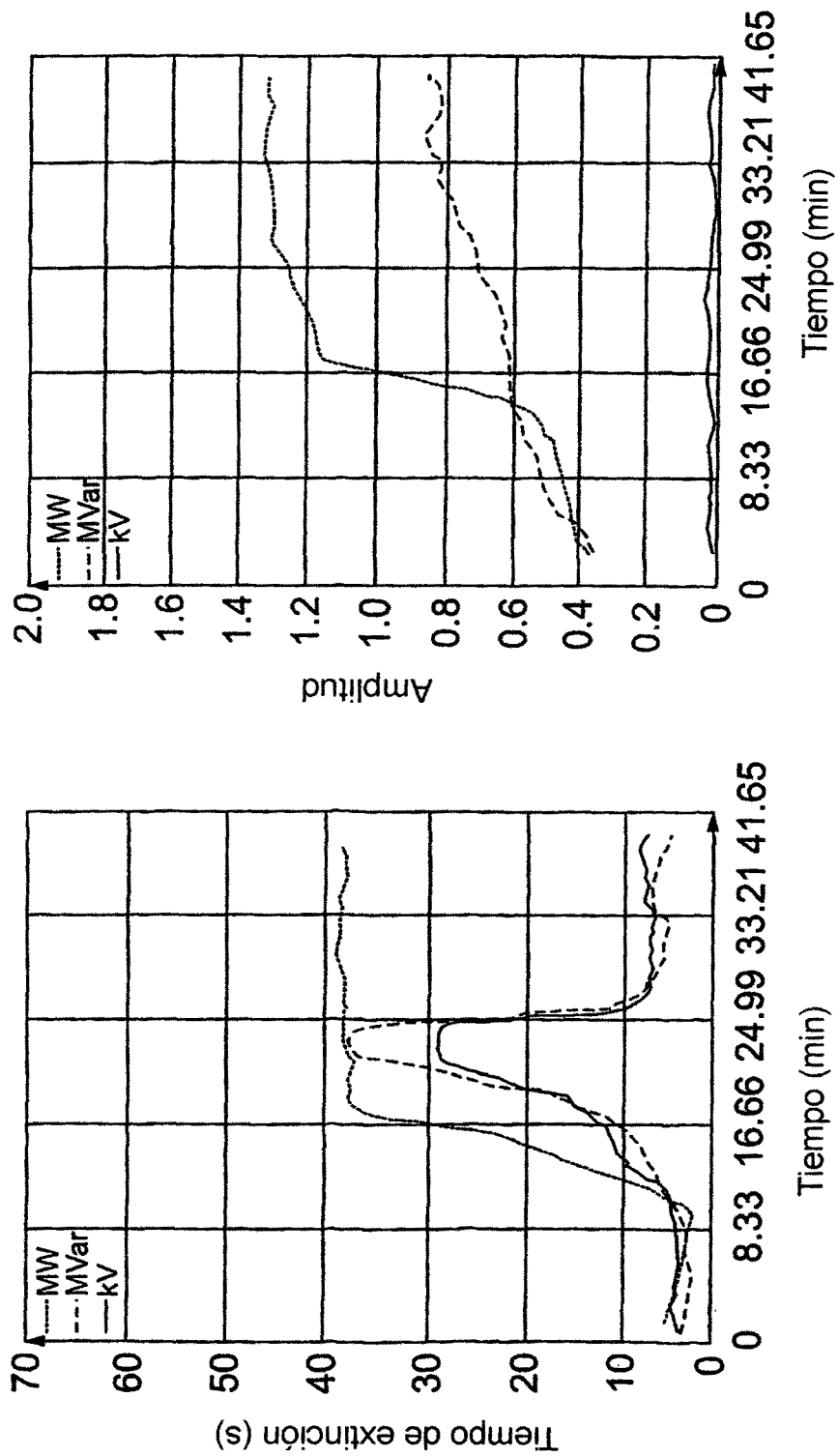


Fig. 6

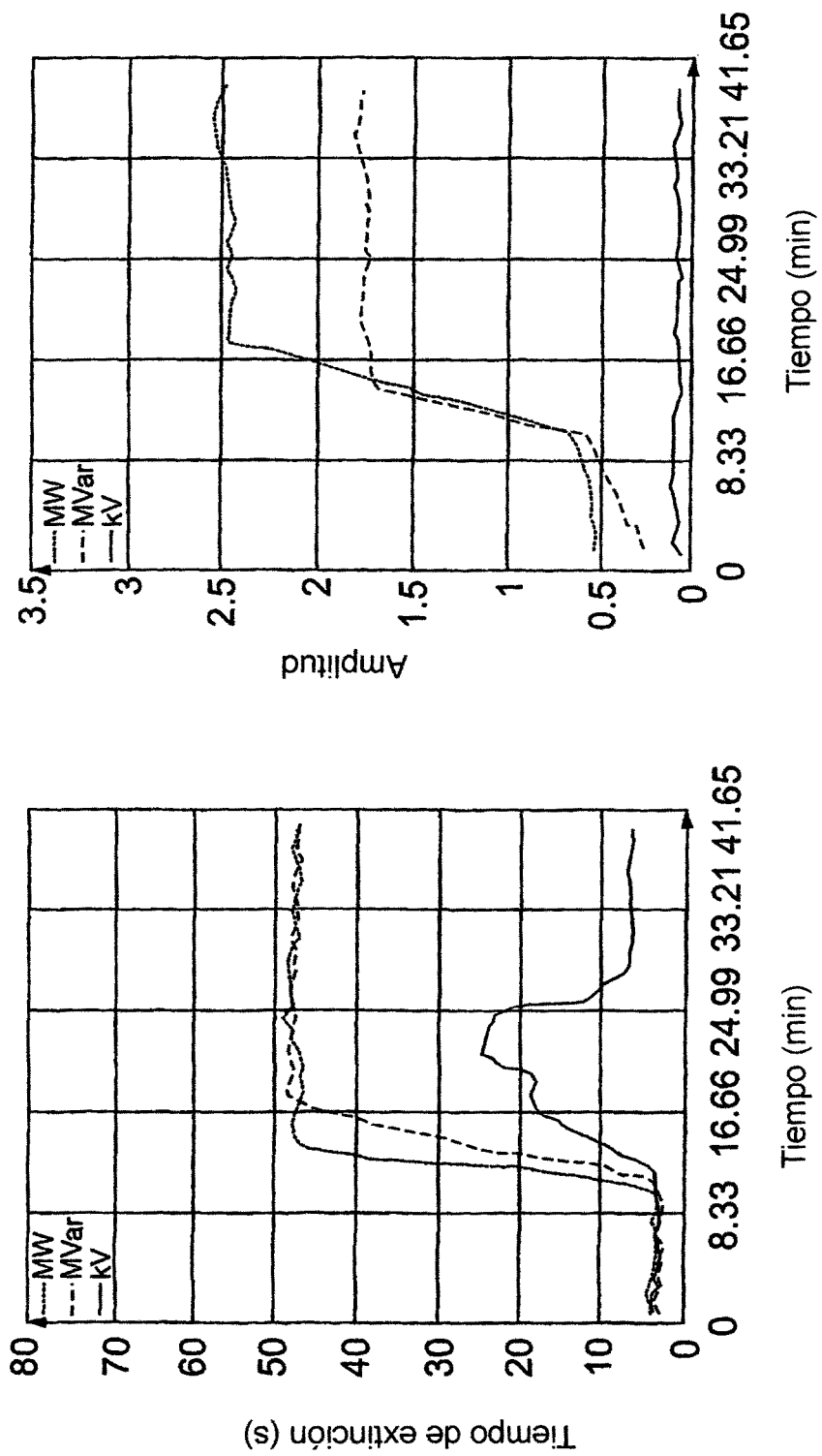


Fig. 7