

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 815**

51 Int. Cl.:

H02H 3/16 (2006.01)

G01R 31/08 (2006.01)

H02H 3/38 (2006.01)

H02H 3/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.01.2015 E 15000088 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 3046197**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para detectar la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.04.2018

73 Titular/es:

**NSE AG (100.0%)
Bremgarterstrasse 54
5610 Wohlen, CH**

72 Inventor/es:

AEBERSOLD, ANDREAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 665 815 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para detectar la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica eléctrica

5 Antecedentes de la invención

La invención se refiere a un procedimiento para detectar la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica eléctrica que se hace funcionar de manera compensada o que se hace funcionar de manera aislada. Además la invención se refiere para cada uno de los procedimientos en cada caso a un dispositivo para detectar la dirección de contacto a tierra en la red de corriente trifásica eléctrica.

Estado de la técnica

15 Una parte considerable de las interferencias en el funcionamiento de redes de suministro eléctricas de los proveedores de energía se produce por fallos de un solo polo y en particular contactos a tierra. Éstas pueden producirse por ejemplo por el crecimiento o la caída de un árbol en una línea aérea o por un aislamiento defectuoso. En principio, los denominados relés de dirección de contacto a tierra comunican también en redes malladas selectivamente las líneas afectadas por los contactos a tierra. En este caso, sirven de criterio de medición la corriente nula sumada y la tensión residual, a partir de las cuales se determina la dirección de contacto a tierra. En esta detección mediante vatímetro de la dirección de contacto a tierra ésta se produce en una red que se hace funcionar de manera aislada de manera diferente (con relé $\text{sen}\varphi$) que en el caso de redes que se hacen funcionar de manera compensada (con relé $\text{cos}\varphi$). Sin embargo, en el caso de contactos a tierra intermitentes fallan los relés de dirección de contacto a tierra sencillos porque con un reinicio la dirección no se detecta de manera segura.

25 Para el tratamiento del punto neutro en general puede realizarse lo siguiente: en caso de que se produzca una unión eléctricamente conductora entre un conductor externo y la tierra, el tipo de tratamiento del punto neutro determina el comportamiento de la red. En este caso, es irrelevante si en el caso del punto neutro se trata de un transformador o generador. En principio se distingue entre cinco tipos de puesta a tierra de punto neutro (SPE), que establece requisitos muy diferentes con respecto a la concepción de la red.

30 (1) Puesta a tierra de punto neutro rígida. El punto neutro se une mediante una unión con la menor impedancia posible mediante una instalación de puesta a tierra ampliada con el potencial de tierra. De manera ventajosa no se producen excesos de tensión en los conductores no afectados y se produce una localización sencilla del fallo con protección dirigida frente a sobrecorriente. De manera desventajosa ocurre que el contacto a tierra se convierte en un cortocircuito a tierra, que se produce una carga térmica elevada de los conductores por corrientes de cortocircuito a tierra y que es posible una tensión de contacto elevada en el lugar del fallo. Otras desventajas son una gran inversión para la instalación de puesta a tierra y la interrupción del suministro por desconexión.

40 (2) Puesta a tierra de punto neutro aislada. En este caso el punto neutro de origen no se une con la tierra. De manera ventajosa se produce una inversión menor y la carga menor de las líneas por la corriente de contacto a tierra capacitiva así como tensiones de contacto menores en el lugar del fallo. En caso de contacto a tierra es posible que la red siga funcionando y los fallos por arco voltaico pueden desaparecer por sí mismos. De manera desventajosa se producen excesos de tensión en los conductores no afectados por el fallo por el factor $\sqrt{3}$ y en el caso de redes de cables grandes la corriente de contacto a tierra puede seguir siendo muy grande. La detección de dirección requiere además de relés de dirección de contacto a tierra especiales.

50 (3) Puesta a tierra de punto neutro de baja impedancia. En este caso el punto neutro de origen se une mediante una impedancia óhmica definida con el potencial de tierra. Se utiliza esta variante cuando una puesta a tierra de punto neutro rígida lleva a corrientes de cortocircuito a tierra no permitidas, pero el exceso de tensión de redes que se hacen funcionar de manera aislada no es aceptable. De manera ventajosa se produce la limitación de la corriente de cortocircuito a tierra y de los excesos de tensión producidos. Además se produce una localización sencilla del fallo con protección dirigida frente a sobrecorriente. De manera desventajosa se producen los excesos de tensión en los conductores no afectados por el fallo y el contacto a tierra se convierte en cortocircuito a tierra y así también la carga térmica de los conductores por corrientes de cortocircuito a tierra. Además es posible una tensión de contacto aumentada en el lugar del fallo. Además se produce una gran inversión para la instalación de puesta a tierra y la interrupción del suministro por desconexión.

60 (4) La puesta a tierra de punto neutro de baja impedancia temporal. En este caso el punto neutro de origen está aislado en el funcionamiento normal. Para la detección de dirección se conecta temporalmente una resistencia óhmica en el punto neutro y se transforma el contacto a tierra en un cortocircuito a tierra. Tras la detección de dirección y la desconexión de las zonas afectadas la red se hace funcionar de nuevo de manera aislada. De manera ventajosa se limita la corriente de cortocircuito a tierra y es posible una localización sencilla del fallo con protección dirigida frente a sobrecorriente. De manera desventajosa se produce un exceso de tensión en conductores no afectados por el fallo por el factor $\sqrt{3}$ y el contacto a tierra se convierte en cortocircuito a tierra. Así se produce una carga térmica de los conductores por corrientes de cortocircuito a tierra, y también es posible una tensión de

contacto aumentada en el lugar del fallo. Además se produce una gran inversión para la instalación de puesta a tierra así como una interrupción del suministro por desconexión.

5 (5) La puesta a tierra de punto neutro resonante con compensación/supresión. En este caso el punto neutro de origen se une mediante una inductancia ajustable con el potencial de tierra. El tamaño de la inductancia o bobina de supresión de arcos (denominada también bobina de Petersen por su inventor) determina la corriente de compensación. De manera ventajosa se producen corrientes de contacto a tierra muy pequeñas y una tensión de contacto muy pequeña en el lugar del fallo. Además, en caso de contacto a tierra la red puede seguir funcionando y los fallos por arco voltaico pueden desaparecer por sí mismos. De manera desventajosa se producen: un aumento
10 en los costes iniciales y el esfuerzo de mantenimiento para la bobina de supresión de arcos, una gran inversión para la instalación de puesta a tierra y un exceso de tensión en conductores no afectados por el fallo por el factor $\sqrt{3}$. Además una gran inversión para la detección de la dirección del fallo de contacto a tierra por las corrientes reducidas así como en particular un problema con fallos a tierra intermitentes.

15 A continuación se explicará en más detalle el contacto a tierra en la red compensada. En caso de que un sistema trifásico que funciona correctamente (figura 1) en la red compensada se vea afectado por un contacto a tierra en el conductor 1, como se representa esquemáticamente en la figura 2, entonces se produce un desplazamiento del triángulo de tensión (figura 3). En este caso la tensión residual (tensión de punto neutro a tierra) \vec{U}_{NE} apunta del centro del triángulo de tensión en la dirección del contacto a tierra (en la figura 3 el vector se ha dibujado desde el
20 origen para una mejor visibilidad). Se aplica:

$$\vec{U}_{NE} = -\frac{1}{3} \cdot \sum \vec{U}_X = -\frac{1}{3} \cdot (\vec{U}_1 + \vec{U}_2 + \vec{U}_3) \quad (1)$$

25 En este caso las tensiones de conductor a tierra de los conductores que funcionan correctamente aumentan hasta el valor de las tensiones compuestas, que corresponden exactamente a un valor de $\sqrt{3}$. La tensión de conductor a tierra aumentada en exceso conduce por las resistencias y capacitancias de derivación de la línea una corriente a tierra, cuya suma en el lugar del fallo fluye de vuelta como corriente de fallo I_F al conductor defectuoso (figura 4). Las corrientes de conductor se muestran en la figura 5 y la corriente de fallo se muestra en la figura 6. En este caso, en la figura 6, la corriente de suma sigue siendo cero. Sólo mediante la adición de una línea adicional puede medirse
30 una corriente de suma, compuesta por las corrientes que fluyen de vuelta de las demás líneas y que se denomina I_E . Por tanto, cabe observar que la magnitud de la corriente de suma medida no corresponde a la corriente de fallo, sino que sólo se define por las ramas adyacentes. En este caso se prescinde de la representación correspondiente.

35 Ahora, en la red compensada también se añade la corriente de la bobina de Petersen o bobina de supresión de arcos en el lugar del fallo. Funciona por la tensión y tiene un retardo con respecto a la misma del 90%; las figuras 7, 8 y 9 muestran esta situación. En función de la magnitud de la corriente de compensación se compensa en mayor o menor medida la corriente de carga que fluye en el lugar del fallo. Con una compensación ideal ya sólo queda la corriente residual activa I_{WR} como corriente en el lugar del fallo. De manera conocida en caso de contacto a tierra la detección de dirección mediante los dispositivos de detección o protección (relé de contacto a tierra) se produce de
40 la siguiente manera:

Las características de dirección representadas para ello en las figuras 10 y 11 se describen mediante ecuaciones sencillas. Para el circuito sinusoidal:

$$I_E \cdot \text{sen}\varphi > |I_{CE,min}| \quad \Rightarrow \text{hacia delante} \quad (2)$$

$$I_E \cdot \text{sen}\varphi < -|I_{CE,min}| \quad \Rightarrow \text{hacia atrás} \quad (3)$$

45 Para el circuito cosenoidal:

$$I_E \cdot \text{cos}\varphi > |I_{WE,min}| \quad \Rightarrow \text{hacia delante} \quad (4)$$

$$I_E \cdot \text{cos}\varphi < -|I_{WE,min}| \quad \Rightarrow \text{hacia atrás} \quad (5)$$

50 El ángulo φ es el ángulo entre tensión residual U_{NE} y la corriente de tierra I_E y es decisivo para la detección de dirección. Sin embargo, con este modo de proceder según el estado de la técnica no es posible una detección de dirección en caso de fallo a tierra intermitente; por tanto, este tipo de fallos a tierra intermitentes suponen un problema. Las redes aisladas y compensadas en determinadas situaciones en caso de contacto a tierra pueden seguir funcionando durante bastante tiempo. Para poder limitar rápidamente el fallo, se utilizan relés de dirección de

contacto a tierra habituales en el mercado, como por ejemplo DIGISAVE RD, de la empresa NSE GmbH, Suiza. Los relés de contacto a tierra detectan la dirección del fallo, como se explicó anteriormente, en el ángulo entre la tensión residual U_{NE} y la corriente de contacto a tierra I_E y, como se explicó anteriormente, se implementa en una red compensada mediante el denominado circuito cosenoidal, en una red aislada mediante el circuito sinusoidal. Sin embargo, en una red compensada la corriente de contacto a tierra puede hacerse tan pequeña que el arco voltaico de fallo vuelva a desaparecer momentáneamente. De este modo vuelve la tensión de conductor del conductor defectuoso y una vez que supera un valor crítico, se produce un reinicio. Esta operación se denomina fallo a tierra intermitente. El problema para la detección de la dirección de contacto a tierra según el estado de la técnica consiste en que en el momento del reinicio fluye una corriente de cambio de carga I_U a los dos conductores que funcionan correctamente. Esta corriente pulsada tiene una dirección opuesta a la tensión residual U_{NE} .

$$I_U \sim \frac{dU}{dt} \quad (6)$$

En este sentido se trata de una corriente activa, porque la energía almacenada en el condensador tiene que proporcionarla primero la red. La figura 12 muestra el diagrama vectorial de la operación de inicio. Para ilustrar la situación en caso de fallo a tierra intermitente se representan los desarrollos de potencia en el sistema de secuencia cero utilizando U_{NE} e I_E en la figura 13. Se reconoce que la potencia activa P_{NE} cambia temporalmente de signo con cada pulso de inicio. En este caso la potencia reactiva Q_{NE} muestra un desarrollo en forma de diente de sierra. Como la corriente activa cambia continuamente de signo, una protección para la dirección de contacto a tierra también cambia continuamente la dirección sin suprimir los fallos a tierra intermitentes.

A continuación se explicará el cálculo de la energía activa o energía reactiva para determinar la dirección de un fallo de contacto a tierra, en particular de un fallo de contacto a tierra intermitente, porque la presente invención se basa en este procedimiento.

En este caso se procede de tal modo que se determina la dirección mediante el signo de la energía activa utilizada del sistema de secuencia cero. En concreto, aunque en la operación de inicio del fallo intermitente la dirección de flujo de corriente apunte a la dirección de fallo de contacto a tierra errónea, se obtiene una potencia media en la dirección hacia delante, de modo que con un signo positivo de la energía activa utilizada del sistema de secuencia cero puede indicarse la dirección hacia delante del contacto a tierra, con un signo negativo la dirección hacia atrás del contacto a tierra.

La energía activa del sistema de secuencia cero se calcula de la siguiente manera

$$E_0 = \sum_{n=0}^{n_x} n_x - n_{FE} u_0(n) \cdot i_0(n) \quad (7)$$

En este caso, los símbolos utilizados significan lo siguiente:

E_0 energía activa del sistema de secuencia cero

$u_0(n)$ tensión cero

$i_0(n)$ corriente cero

n_{FE} ventana de tiempo de integración establecida en puntos de muestreo

n_x instante actual

Ahora, según la invención, para la determinación de la dirección de contacto a tierra en la red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera aislada se procede de tal modo que la dirección se determina mediante el signo de la energía reactiva intercambiada del sistema de secuencia cero. En concreto, aunque en la operación de inicio del fallo intermitente la dirección de flujo de corriente indique la dirección de fallo de contacto a tierra errónea, se produce un cambio en la dirección hacia delante, de modo que con un signo positivo de la energía reactiva intercambiada del sistema de secuencia cero puede indicarse la dirección hacia delante del contacto a tierra, con un signo negativo la dirección hacia atrás del contacto a tierra.

La energía reactiva del sistema de secuencia cero se determina de la siguiente manera:

$$E_{b0} = \sum_{n=0}^{n_x} n_x - n_{FE} u_0(n) \cdot i_0(n - N/4) \quad (8)$$

En este caso se aplican los símbolos anteriores y adicionalmente los símbolos siguientes:

E_{b0} energía reactiva del sistema de secuencia cero

N número de puntos de muestreo por periodo de red ($f=50$ Hz \Rightarrow $N=20$)

5 El documento DE 199 01 789 da a conocer un procedimiento para la determinación de la dirección de contacto a tierra en redes de suministro de energía. En este caso, cuando se produce un contacto a tierra, a partir de la corriente cero y la tensión cero se determina la potencia reactiva capacitiva y a partir de sus signos se concluye la dirección del contacto a tierra.

10 El documento CH 703 900 describe un procedimiento y un dispositivo para detectar la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica eléctrica, en el que en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera compensada se tienen en cuenta el signo de la energía del sistema de secuencia cero y en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera aislada el signo de la energía reactiva del sistema de secuencia cero.

15 El documento DE 103 02 451 se refiere a un procedimiento para detectar la dirección de un contacto a tierra a partir de la oscilación de carga de los contactos a tierra.

Exposición de la invención

20 Por consiguiente, la invención se basa en el objetivo de mejorar adicionalmente la determinación de la dirección de contacto a tierra con fallos de contacto a tierra intermitentes con respecto a su fiabilidad.

25 Este objetivo se alcanza con el procedimiento mencionado al principio con las características de las reivindicaciones de procedimiento independientes en cada caso para redes de corriente trifásica que se hacen funcionar de manera compensada o de manera aislada. En el caso de los dispositivos mencionados al principio el objetivo se alcanza con las características de las reivindicaciones de dispositivo independientes de manera correspondiente para redes de corriente trifásica que se hacen funcionar de manera compensada o de manera aislada.

30 Se ha demostrado que la presente invención permite una mejora de la fiabilidad de la detección de contactos a tierra y su dirección. Además es posible identificar y localizar un contacto a tierra sin conocer el instante preciso de la aparición del fallo.

35 En las reivindicaciones dependientes se definen configuraciones preferidas del procedimiento y del dispositivo y mediante la siguiente descripción se explicarán estas configuraciones y otras.

Breve descripción de los dibujos

40 A continuación se explicará en más detalle el estado de la técnica y formas de realización de la invención mediante las figuras. En este caso muestra

la figura 1, un diagrama vectorial de la red que funciona correctamente;

la figura 2, un modelo de red con contacto a tierra;

45 la figura 3, un diagrama vectorial de la red con fallo a tierra;

la figura 4, el modelo de red con distribución de corriente sin corriente de compensación;

50 la figura 5, las corrientes de conductor de la figura 4 en el diagrama vectorial;

la figura 6, la corriente de fallo en el diagrama vectorial;

la figura 7, el modelo de red con corriente de compensación;

55 la figura 8, las corrientes de conductor de la figura 7 en el diagrama vectorial;

la figura 9, la corriente de fallo en el diagrama vectorial;

60 la figura 10, un diagrama vectorial del circuito sinusoidal;

la figura 11, un diagrama vectorial del circuito cosenoidal;

la figura 12, el diagrama vectorial de la operación de inicio en el contacto a tierra intermitente;

65 la figura 13, las potencias del sistema de secuencia cero,

la figura 14, un diagrama con un desarrollo en el tiempo de las variables relevantes en una simulación de un fallo a tierra,

5 la figura 15, un diagrama con un desarrollo de las variables relevantes con la simulación de la figura 14 sin aplicación de la invención, y

la figura 16, un diagrama con un desarrollo de las variables relevantes con la simulación de la figura 14 con aplicación de la invención.

10 Maneras de llevar a cabo las invenciones

A continuación se hará referencia en más detalle a las figuras 14 a 16. Las figuras 1 a 13 explican el estado de la técnica y se han tratado en el párrafo correspondiente.

15 La figura 14 muestra un diagrama con un desarrollo en el tiempo de variables relevantes en una simulación de un fallo a tierra en la dirección hacia delante en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera compensada. En los diagramas algunos puntos de las curvas, de importancia particular, se han marcado con flechas o círculos. Con el número de referencia a1 se designa la ventana de tiempo desde el inicio de un fallo a tierra en una línea (fallo a tierra de un solo polo) hasta su fin, lo que también es aplicable para las figuras siguientes. En este caso, en las figuras se representa la amplitud de la señal correspondiente a lo largo del tiempo (en segundos).

20 En las dos partes superiores del diagrama de la figura 14 se muestran los desarrollos de la tensión cero $U_0(n)$ y de la corriente cero $I_0(n)$, designando n instantes discretos. En el caso de la corriente cero también se tiene en cuenta una parte de corriente continua decreciente de I_0 procedente de la bobina de Petersen.

25 La tercera parte del diagrama muestra el desarrollo de la potencia $P_0(n)$ o de la carga $Q_0(n)$. La flecha b1 muestra que la potencia P_0 al inicio del fallo a tierra aumenta correctamente de manera positiva, aunque más adelante lleva a cabo una oscilación decreciente (flecha c1), volviéndose a menudo negativo el signo de la potencia P_0 durante este fenómeno transitorio como máximo durante aproximadamente 10 ms. A continuación se estabiliza la potencia hasta un valor positivo pequeño. Tras finalizar el contacto a tierra se reduce el valor de la potencia P_0 , aunque cambia de signo continuamente (flecha d1).

30 La parte inferior del diagrama muestra el desarrollo de la energía activa E_0 . El desarrollo de la energía E_0 sigue el desarrollo de la potencia P_0 y por tanto también presenta el cambio de signo temporal (flecha e1). La energía E_0 también se vuelve negativa, aunque como en el caso de la potencia P_0 sólo durante como máximo aproximadamente 10 ms en este ejemplo. Tras aproximadamente 100 ms (flecha f1) se estabiliza la energía hasta un valor positivo correcto. Aproximadamente 100 ms tras finalizar el contacto a tierra disminuye la energía E_0 hasta un valor muy pequeño (flecha g1).

35 Cabe indicar que los desarrollos representados en la figura 14 de la potencia reactiva Q_0 y la energía reactiva E_{b0c} sólo son relevantes para la puesta a tierra de punto neutro aislada.

40 La figura 15 muestra un diagrama con un desarrollo de variables relevantes con la simulación de la figura 14 sin aplicación de la invención. En este caso todos los valores se representan como valores binarios.

45 Las dos partes superiores del diagrama muestran indicadores (etiquetas) para la tensión cero U_0 y la corriente cero I_0 ($U_{0\text{Inicio}}$, $I_{0\text{Inicio}}$). De manera correspondiente a la figura 14 la tensión cero U_0 todavía está presente durante aproximadamente 100 ms tras finalizar el contacto a tierra (círculo A). La medición de la corriente cero se muestra inestable (compárese con el círculo B) de manera correspondiente a la potencia P_0 (círculo D), lo que resulta visible mediante los cambios de la etiqueta de corriente cero.

50 De manera correspondiente a la figura 14 la potencia P_0 asume durante el fenómeno transitorio también valores negativos (círculo C). Tras finalizar el contacto a tierra cambia el signo de la potencia P_0 inicialmente con 100 Hz, porque la duración del periodo de la potencia asciende a 100 Hz (visible en el diagrama por ejemplo con 0,7 segundos), y posteriormente con 50 Hz por el periodo de 50 Hz de la tensión cero con corriente continua.

55 En la cuarta parte del diagrama se representa el desarrollo de la energía E_0 . De manera correspondiente a la figura 14 la energía asume tras aproximadamente 100 ms un valor negativo (círculo E) y sigue el desarrollo de la potencia P_0 tras finalizar el contacto a tierra (círculo F).

60 La quinta parte del diagrama muestra la decisión de dirección hacia delante (vw). En este caso queda claro que es inestable en la sección inicial del contacto a tierra (círculo G). Un motivo de ello es el cambio de signo de la potencia P_0 , mostrándose la inestabilidad de la decisión en el intervalo de 0,2 segundos en el diagrama. Un segundo motivo es el cambio de signo de la energía E_0 a aproximadamente 0,26 segundos. Además la decisión hacia delante tras

finalizar el contacto a tierra también es inestable por la recaída de la corriente cero I_0 (compárese con la etiqueta $I_{0\text{Inicio}}$) (círculo H).

5 La sexta parte del diagrama muestra la decisión de dirección hacia atrás (rw). En la sección tras finalizar el contacto a tierra por el cambio de signo de la potencia P_0 o de la energía E_0 y como todavía está presente la etiqueta U_0 en estos instantes, es temporalmente falsa (círculo I). El motivo es la desaparición lenta de tensión cero y corriente cero tras finalizar el contacto a tierra, produciéndose una potencia P_0 o energía E_0 no relevante para la determinación de la dirección.

10 La presente invención elimina las incertidumbres mencionadas anteriormente de la evaluación del fallo, lo que se representa en la figura 16.

La figura 16 muestra un diagrama con un desarrollo de las variables relevantes con la simulación de la figura 14 con aplicación de la invención.

15 Las tres partes superiores del diagrama corresponden a los estados ya explicados de las etiquetas de corriente o tensión y de la potencia P_0 . Las dos partes inferiores del diagrama muestran las decisiones de dirección en cada caso para la dirección hacia delante (vw) y para la dirección hacia atrás (rw). Como puede deducirse, en el presente ejemplo de un fallo de contacto a tierra hacia delante también en el periodo de tiempo transitorio al inicio del fallo y en el tiempo directamente tras finalizar el fallo tiene lugar una decisión correcta de la dirección de contacto a tierra.

A continuación se explicará en más detalle el procedimiento de la invención. En este caso se recurre como ejemplo de nuevo sólo a la red de corriente trifásica compensada, porque se aplican del mismo modo las consideraciones relacionadas para redes aisladas, en las que se considera la potencia reactiva.

25 El procedimiento para determinar un contacto a tierra y la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera compensada comprende las etapas descritas a continuación.

30 En una primera etapa a) se miden de manera continua pares de valores de una tensión cero U_0 y de una corriente cero I_0 , estando asociados los pares de valores en cada caso a un instante de medición. La medición se produce con una tasa de muestreo predeterminada. La tasa de muestreo se establece preferiblemente antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero y asciende preferiblemente a un milisegundo. Según el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon antes del muestreo se aplicará un filtro paso bajo para evitar artefactos por partes de frecuencia de señal superiores, a lo que no se hará referencia aquí en más detalle.

35 En la etapa a) también se juntó el almacenamiento de los pares de valores determinados y del instante de medición asociado.

40 En una etapa b) la energía activa se forma porque en primer lugar se calcula de manera continua un producto de la tensión cero medida y de la corriente cero medida en cada caso para cada instante de medición y a continuación se produce una suma de los productos. En este caso la suma se produce a partir de un producto, que está asociado al instante de medición más actual, y una cantidad de productos anteriores. A este respecto cabe indicar que al formar la suma en el presente contexto las variables asociadas al instante de medición más actual siempre se supondrán como incluidas.

45 Para la formación de la suma se determina la suma de la etapa b) porque con cada cálculo se suma el producto, asociado al instante de medición más actual, a la suma y se calcula un producto anterior de la suma. La suma se forma a partir de un número constante de pares de valores que puede establecerse. Dicho de otro modo una ventana de integración constante de anchura nFE se desplaza hacia la derecha sobre la abscisa (compárese con la figura 16). Por consiguiente el instante de medición considerado más anterior para la suma corresponde a $n_x - nFE$, siendo n_x el instante de medición más actual. Por consiguiente la suma se forma por el periodo del instante $n_x - nFE$ a n_x (compárese con la ecuación 7).

50 En una etapa c), para el instante de medición más actual la etiqueta de tensión $U_{0\text{Inicio}}$ se pone en 1, cuando la tensión cero asociada U_0 es mayor que un primer valor umbral y por lo demás en 0 y una etiqueta de corriente $I_{0\text{Inicio}}$ en 1 cuando la corriente cero asociada I_0 es mayor que un segundo valor umbral y por lo demás en 0. Los valores umbral primero y/o segundo se establecen preferiblemente antes de una primera medición de la corriente cero I_0 y de la tensión cero U_0 .

60 En una etapa d) se forma una operación Y booleana a partir de la etiqueta de tensión $U_{0\text{Inicio}}$ y la etiqueta de corriente $I_{0\text{Inicio}}$, en cada caso para el instante de medición más actual. En este momento se decide si existe un contacto a tierra; con un resultado igual a 0 no existe contacto a tierra y con un resultado igual a 1 existe un contacto a tierra. Sin embargo, esta condición inicial para la evaluación del criterio de energía contiene una incertidumbre por los motivos siguientes. Al inicio del contacto a tierra la condición inicial, debido a la potencia utilizada, puede caer repetidamente durante aproximadamente 5 a 10 ms (compárese con la figura 15, círculo C junto con el círculo G). Hacia el final del contacto a tierra desaparece después de transcurrir la ventana de integración completamente y

mientras dura la ventana tiende a una respuesta periódica con frecuencias de 50 o 100 Hz (compárese con la figura 15, círculo D junto con el círculo H).

5 Para solucionar el problema al inicio del contacto a tierra se produce un retardo de conexión en un resultado de la operación Y booleana por un primer intervalo de tiempo. El primer intervalo de tiempo se establece antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero. Preferiblemente asciende a 15 ms. De este modo es posible superar las incertidumbres de decisión por el cambio de signo durante el fenómeno transitorio, explicado en relación con la figura 15, porque sólo se acepta un resultado de 1 (existe contacto a tierra) cuando ha pasado el primer intervalo de tiempo, sin que vuelva a caer el resultado durante este tiempo hasta 0. En este último caso el primer intervalo de tiempo vuelve a empezar de nuevo y se supone que no existe contacto a tierra, como en el caso normal de un resultado igual a 0.

15 Para solucionar el problema hacia el final del contacto a tierra se produce un retardo de desconexión del resultado por un segundo intervalo de tiempo. El segundo intervalo de tiempo se establece antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero. Preferiblemente asciende a 15 ms. De manera análoga al retardo de conexión, de este modo es posible superar las incertidumbres de decisión por el cambio de signo al final del contacto a tierra, explicado en relación con la figura 15, porque sólo se acepta un resultado de 0 (ya no existe contacto a tierra) cuando ha pasado el segundo intervalo de tiempo, sin que vuelva a caer el resultado durante este tiempo hasta 1. En este último caso el segundo intervalo de tiempo vuelve a empezar de nuevo y se supone que sigue existiendo un contacto a tierra, como en el caso normal de un resultado igual a 1.

25 Si ahora se decide con seguridad que existe un contacto a tierra, en una etapa e) se siguen realizando las etapas a) a d) y se comprueba el signo de la energía activa calculada hasta el instante de medición más actual. En este contexto cabe indicar que las etapas a) a d) siempre se realizan independientemente de si existe o no un contacto a tierra e independientemente de si se ha determinado un final de contacto a tierra. Se produce un retardo de conexión de un resultado de la comprobación por un tercer intervalo de tiempo y se produce un retardo de desconexión por un cuarto intervalo de tiempo. El tercer intervalo de tiempo y/o el cuarto intervalo de tiempo se establecen antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero. Preferiblemente los dos intervalos de tiempo se seleccionan de un intervalo entre 30 ms y 2000 ms, prefiriéndose un valor de 300 ms para una red de corriente trifásica compensada y un valor de 50 ms para una red de corriente trifásica aislada. La duración de los intervalos de tiempo se debe a la posibilidad de que aparezca un fallo intermitente.

35 En el caso de fallos intermitentes en la red compensada aparecen pausas más largas entre los contactos a tierra sucesivos (por ejemplo en el orden de magnitud de 100 ms), según la tensión que vuelve a aparecer tras desaparecer el arco voltaico. Cuanto menor sea la desintonización, más tardará la vuelta de la tensión.

40 En el caso de fallos intermitentes en la red aislada las pausas entre los contactos a tierra sucesivos son generalmente cortas (por ejemplo en el orden de magnitud de 10 ms), porque la tensión vuelve de inmediato y con ello también se produce un reinicio inmediato del arco voltaico.

Por tanto, las decisiones de dirección se proporcionan con retardo de desconexión, como se mencionó en función de la red por ejemplo en el intervalo de 30 a 2000 ms.

45 Por tanto, los intervalos de tiempo tercero y cuarto de la decisión de dirección se seleccionan para fallos intermitentes preferiblemente con posibilidad de parametrización. Alternativamente se seleccionan según el ajuste de manera aislada/compensada. Los intervalos de tiempo tercero y cuarto se seleccionan en este caso según la duración de la pausa sin contacto a tierra.

50 Como última etapa f) se decide al menos por el signo de la energía activa, si la dirección de contacto a tierra se indica como "hacia delante", en el caso de un signo positivo, o como "hacia atrás", en el caso de un signo negativo. Cabe indicar que una indicación de la dirección de contacto a tierra como "hacia delante" en el caso de un signo negativo y como "hacia atrás" en el caso de un signo positivo son equivalentes cuando el signo diferente sólo viene dado por el modo de observar la dirección del vector de tensión.

55 Se prefiere realizar, además de la decisión por el signo de la energía activa o de la energía reactiva, una comprobación de un signo de la potencia P_0 mediante integración de los productos de la tensión cero y de la corriente cero por un periodo de la frecuencia de red, que incluye el instante de medición más actual, confirmándose la dirección de contacto a tierra en caso de coincidir los signos de la energía activa o energía reactiva y la potencia P_0 . Esto se debe a que la potencia en muchos casos varía la dirección con una frecuencia de aproximadamente 100 Hz. Por tanto, puede utilizarse la dirección de potencia para proporcionar el criterio de energía, por ejemplo cuando entretanto la potencia ha variado su dirección pero la integral de la energía todavía no ha disminuido.

65 La indicación de la dirección de contacto a tierra se realiza preferiblemente mediante la colocación o no colocación de etiquetas hacia delante o etiquetas hacia atrás en una memoria. Basándose en estas etiquetas por ejemplo como reacción a la determinación de un contacto a tierra, en el presente ejemplo de un contacto a tierra hacia delante,

puede separarse el segmento de red en cuestión del resto de la red por ejemplo mediante una indicación correspondiente a un disyuntor.

5 Para la realización resulta ventajoso que la indicación sólo se produzca en caso de superar un valor mínimo de la corriente residual activa I_{WE} (segundo valor umbral) en la red compensada o en caso de superar un valor mínimo de la corriente de contacto a tierra capacitiva I_{CE} (segundo valor umbral) en la red aislada. Los valores mínimos podrán establecerse de manera elegible. Preferiblemente los valores I_{WE} o I_{CE} se determinan de la siguiente manera a partir de E_0 o E_{b0} :

$$10 \quad U_{NE,\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{nFE} \sum_{nx} n_x - nFE u_{NE}^2(n)} \quad (9)$$

$$I_{WE} = \frac{E_0}{U_{NE,\Sigma}} \quad (10)$$

$$I_{CE} = \frac{E_{b0}}{U_{NE,\Sigma}} \quad (11)$$

15 La operación lógica de las variables puede representarse de la siguiente manera, siendo siempre aplicable que existe un contacto a tierra y que la tensión cero es mayor que el valor establecido. Preferiblemente las indicaciones se disponen como etiquetas hacia delante o hacia atrás en una memoria.

Entonces, para la red compensada se aplica que:

20 $I_{WE} >$ valor establecido, $E_0 > 0 \Rightarrow$ poner etiqueta hacia delante.

$I_{WE} >$ valor establecido, $E_0 < 0 \Rightarrow$ poner etiqueta hacia atrás.

25 $I_{WE} <$ valor establecido \Rightarrow no poner ninguna etiqueta de dirección.

Para la red aislada se aplica de manera correspondiente que:

$I_{CE} >$ valor establecido, $E_{b0} > 0 \Rightarrow$ poner etiqueta hacia delante.

30 $I_{CE} >$ valor establecido, $E_{b0} < 0 \Rightarrow$ poner etiqueta hacia atrás.

$I_{CE} <$ valor establecido \Rightarrow no poner ninguna etiqueta de dirección.

35 Así, preferiblemente, como indicadores de dirección para “hacia delante”, “hacia atrás” o “ninguna dirección” se ponen etiquetas lo que se produce en una memoria, en particular en una memoria de anillo, que presenta una longitud $t_{etiqueta}$. Para cada instante de muestreo n_x se determina el indicador de dirección y se deposita la etiqueta correspondiente en la memoria de anillo. La dirección de fallo de contacto a tierra determinada entonces para la protección de la red se guarda preferiblemente en una segunda memoria. Para cada instante se actualiza esta memoria por medio del procedimiento comprobando si todas las indicaciones de dirección o todos los indicadores de

40 dirección en la primera memoria o en la memoria de anillo indican la misma dirección. En este caso se transfiere esta dirección a la segunda memoria o la memoria de indicación, por lo demás no cambia la segunda memoria y se conserva el valor anterior. Según el estándar la segunda memoria se inicializa con “ninguna dirección”.

45 La ventana de tiempo de integración nFE se adapta a la red que va a protegerse actualmente, lo que puede producirse mediante ensayos o partiendo de un valor base como optimización en funcionamiento. Preferiblemente la estimación de las ventanas de tiempo de integración adecuadas se produce debido a un análisis de la red y en particular debido a registros de contacto a tierra existentes.

50 Los procedimientos y los dispositivos permiten detectar correctamente fallos a tierra intermitentes en redes que se hacen funcionar de manera aislada y en redes que se hacen funcionar de manera compensada, en los que no funcionan relés de dirección de contacto a tierra sencillos, porque con un reinicio la dirección se indica erróneamente. Por el contrario, observando la energía activa y reactiva en el sistema de secuencia cero es posible suprimir este efecto.

55 Como se mencionó al principio el comportamiento en el tiempo de la función de fallo depende en gran medida de los algoritmos de filtro o integración de modo que en determinadas circunstancias se proporcionan decisiones de dirección erróneas. A continuación se describirá la invención basándose en el procedimiento anterior.

60 Aunque en este documento se hayan descrito formas de realización preferidas de la invención se indica que la invención no está limitada a las mismas y que más bien puede llevarse a cabo de otras múltiples maneras en el

marco de las reivindicaciones siguientes. Por consiguiente los términos como “preferiblemente”, “en particular”, “ventajosamente” sólo se interpretarán en relación a opciones y ejemplos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar un contacto a tierra y la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera compensada, caracterizado por las etapas de:
 - a) medir de manera continua pares de valores de una tensión cero y de una corriente cero, pares de valores que están asociados en cada caso a un instante de medición, con una tasa de muestreo predeterminada, y almacenar los pares de valores determinados y el instante de medición asociado,
 - b) calcular de manera continua la energía activa mediante la formación de un producto de la tensión cero medida y de la corriente cero medida en cada caso para cada instante de medición y la formación de una suma de un producto, asociado al instante de medición más actual, y un número de productos anteriores,
 - c) poner para el instante de medición más actual una etiqueta de tensión en 1 cuando la tensión cero asociada es mayor que un primer valor umbral y por lo demás en 0 y una etiqueta de corriente en 1 cuando la corriente cero asociada es mayor que un segundo valor umbral y por lo demás en 0,
 - d) formar una operación Y booleana a partir de la etiqueta de tensión y la etiqueta de corriente, en cada caso para el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la operación Y booleana un retardo de conexión por un primer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un segundo intervalo de tiempo, no existiendo con un resultado igual a 0 ningún contacto a tierra y existiendo con un resultado igual a 1 un contacto a tierra, y
cuando existe un contacto a tierra
 - e) seguir realizando las etapas a) a d) y comprobar el signo de la energía activa calculada hasta el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la comprobación un retardo de conexión por un tercer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un cuarto intervalo de tiempo, y
 - f) decidir al menos por el signo de la energía activa si la dirección de contacto a tierra se indica como “hacia delante”, en el caso de un signo positivo, o como “hacia atrás”, en el caso de un signo negativo.

2. Procedimiento para determinar un contacto a tierra y la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera aislada, caracterizado por las etapas de:
 - a) medir de manera continua pares de valores de una tensión cero y de una corriente cero, pares de valores que están asociados en cada caso a un instante de medición, con una tasa de muestreo predeterminada, y almacenar los pares de valores determinados y el instante de medición asociado,
 - b) calcular de manera continua la energía reactiva mediante la formación de un producto de la tensión cero medida y de la corriente cero medida en cada caso para cada instante de medición y la formación de una suma de un producto, asociado al instante de medición más actual, y un número de productos anteriores,
 - c) poner para el instante de medición más actual una etiqueta de tensión en 1 cuando la tensión cero asociada es mayor que un primer valor umbral y por lo demás en 0 y una etiqueta de corriente en 1 cuando la corriente cero asociada es mayor que un segundo valor umbral y por lo demás en 0,
 - d) formar una operación Y booleana a partir de la etiqueta de tensión y la etiqueta de corriente, en cada caso para el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la operación Y booleana un retardo de conexión por un primer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un segundo intervalo de tiempo, no existiendo con un resultado igual a 0 ningún contacto a tierra y existiendo con un resultado igual a 1 un contacto a tierra, y
cuando existe un contacto a tierra
 - e) seguir realizando las etapas a) a d) y comprobar el signo de la energía reactiva calculada hasta el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la comprobación un retardo de conexión por un tercer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un cuarto intervalo de tiempo, y
 - f) decidir al menos por el signo de la energía reactiva si la dirección de contacto a tierra se indica como “hacia delante”, en el caso de un signo positivo, o como “hacia atrás”, en el caso de un signo negativo.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que además de la decisión por el signo de la energía activa o de la energía reactiva se realiza una comprobación de un signo de la potencia activa o reactiva mediante integración de los productos de la tensión cero y de la corriente cero por un periodo de red, que

incluye el instante de medición más actual, confirmándose la dirección de contacto a tierra en caso de coincidir el signo de la energía activa o energía reactiva y de la potencia.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la suma de la etapa b) se determina porque con cada cálculo se suma el producto, asociado al instante de medición más actual, a la suma y se calcula un producto anterior de la suma.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la suma se forma a partir de un número constante de pares de valores que puede establecerse.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la tasa de muestreo se establece antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero, en particular seleccionándose un milisegundo como tasa de muestreo.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer intervalo de tiempo y/o el segundo intervalo de tiempo se establece/n antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero, en particular ascendiendo ambos intervalos de tiempo a 15 ms.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tercer intervalo de tiempo y/o el cuarto intervalo de tiempo se establece/n antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero, en particular seleccionándose ambos intervalos de tiempo del intervalo entre 30 ms y 2000 ms, en particular 300 ms para una red de corriente trifásica compensada o 50 ms para una red de corriente trifásica aislada.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que los valores umbral primero y/o segundo se establece/n antes de una primera medición de la corriente cero y de la tensión cero.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la indicación se realiza mediante la colocación o no colocación de etiquetas hacia delante o etiquetas hacia atrás en una memoria.
11. Dispositivo para determinar un contacto a tierra y la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera compensada, caracterizado por que el dispositivo comprende al menos un módulo de medición, que para la medición continua de pares de valores de una tensión cero y de una corriente cero, pares de valores que están asociados en cada caso a un instante de medición, está dotado de una tasa de muestreo predeterminada, además comprende una memoria para almacenar los pares de valores determinados y el instante de medición asociado, y una unidad de cálculo, en el que la unidad de cálculo está configurada
- para calcular de manera continua la energía activa mediante la formación de un producto de la tensión cero medida y de la corriente cero medida en cada caso para cada instante de medición y la formación de una suma de un producto, asociado al instante de medición más actual, y un número de productos anteriores,
 - para poner para el instante de medición más actual una etiqueta de tensión en 1 cuando la tensión cero asociada es mayor que un primer valor umbral y por lo demás en 0 y una etiqueta de corriente en 1 cuando la corriente cero asociada es mayor que un segundo valor umbral y por lo demás en 0,
 - para formar una operación Y booleana a partir de la etiqueta de tensión y la etiqueta de corriente, en cada caso para el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la operación Y booleana un retardo de conexión por un primer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un segundo intervalo de tiempo, no existiendo con un resultado igual a 0 ningún contacto a tierra y existiendo con un resultado igual a 1 un contacto a tierra, y cuando existe un contacto a tierra
 - para comprobar el signo de la energía activa calculada hasta el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la comprobación un retardo de conexión por un tercer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un cuarto intervalo de tiempo, y
 - para decidir al menos por el signo de la energía activa si la dirección de contacto a tierra puede indicarse como "hacia delante", en el caso de un signo positivo, o como "hacia atrás", en el caso de un signo negativo.

12. Dispositivo para determinar un contacto a tierra y la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera aislada, caracterizado por que el dispositivo
- 5 comprende al menos un módulo de medición, que para la medición continua de pares de valores de una tensión cero y de una corriente cero, pares de valores que están asociados en cada caso a un instante de medición, está dotado de una tasa de muestreo predeterminada, además
- 10 comprende una memoria para almacenar los pares de valores determinados y el instante de medición asociado, y
- una unidad de cálculo, en el que la unidad de cálculo está configurada
- 15 - para calcular de manera continua la energía reactiva mediante la formación de un producto de la tensión cero medida y de la corriente cero medida en cada caso para cada instante de medición y la formación de una suma de un producto, asociado al instante de medición más actual, y un número de productos anteriores,
- 20 - para poner para el instante de medición más actual una etiqueta de tensión en 1 cuando la tensión cero asociada es mayor que un primer valor umbral y por lo demás en 0 y una etiqueta de corriente en 1 cuando la corriente cero asociada es mayor que un segundo valor umbral y por lo demás en 0,
- 25 - para formar una operación Y booleana a partir de la etiqueta de tensión y la etiqueta de corriente, en cada caso para el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la operación Y booleana un retardo de conexión por un primer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un segundo intervalo de tiempo, no existiendo con un resultado igual a 0 ningún contacto a tierra y existiendo con un resultado igual a 1 un contacto a tierra, y
- 30 cuando existe un contacto a tierra
- para comprobar el signo de la energía reactiva calculada hasta el instante de medición más actual, teniendo un resultado de la comprobación un retardo de conexión por un tercer intervalo de tiempo y un retardo de desconexión por un cuarto intervalo de tiempo, y
- 35 - para decidir al menos por el signo de la energía reactiva si la dirección de contacto a tierra puede indicarse como "hacia delante", en el caso de un signo positivo, o como "hacia atrás", en el caso de un signo negativo.
13. Uso del dispositivo según la reivindicación 11 o 12 para determinar un contacto a tierra intermitente o de
- 40 alta impedancia y la dirección de contacto a tierra en una red de corriente trifásica que se hace funcionar de manera compensada o aislada.

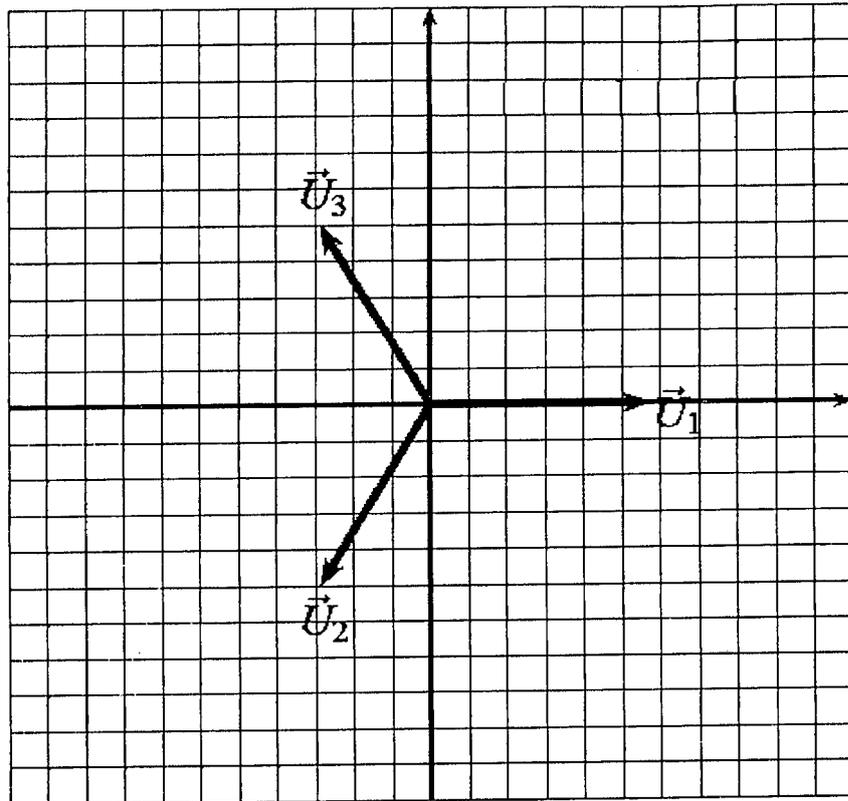


Fig. 1

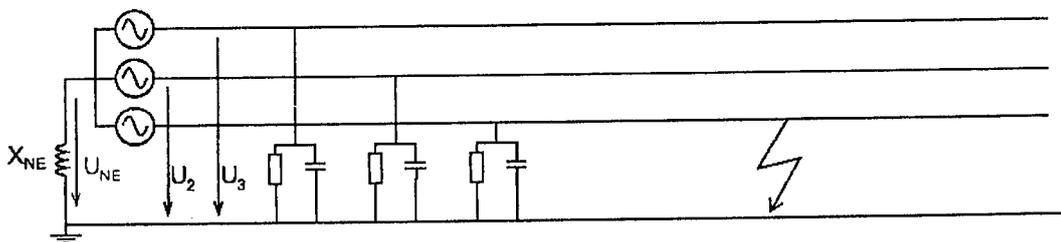


Fig. 2

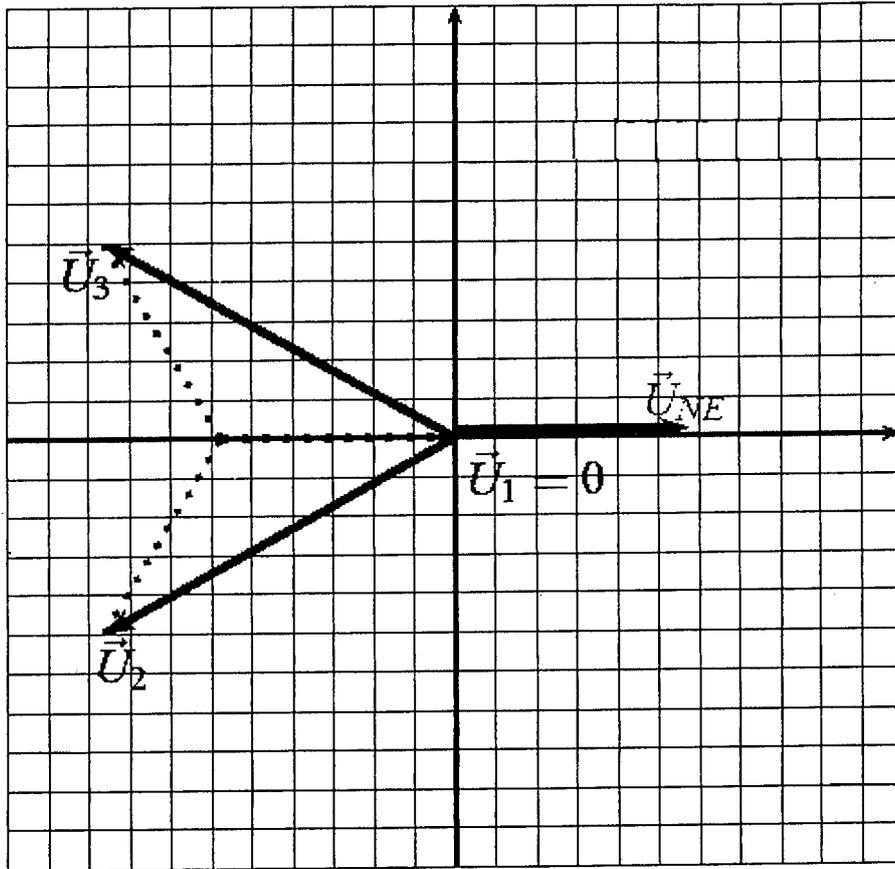


Fig. 3

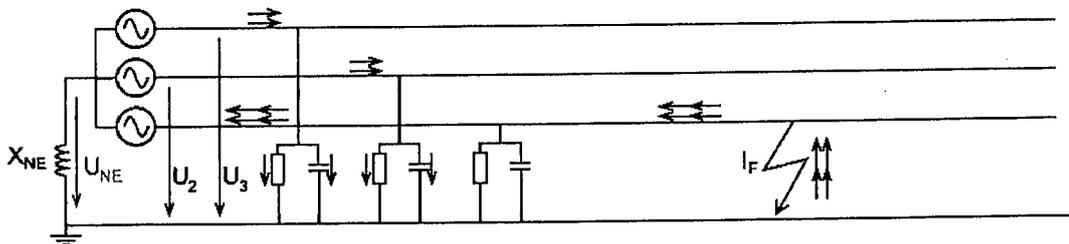


Fig. 4

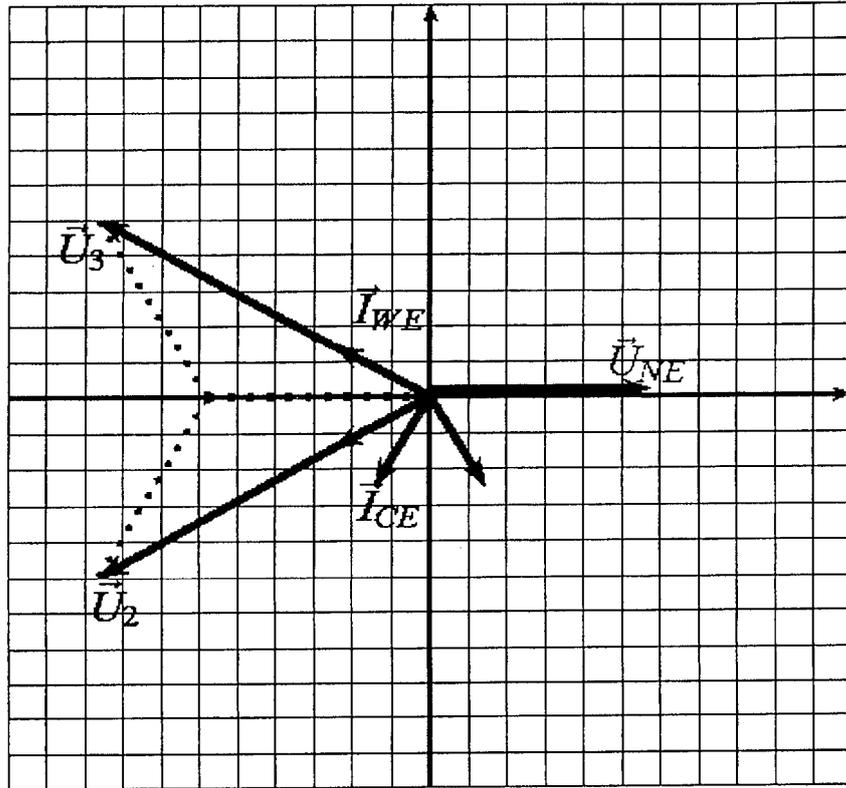


Fig. 5

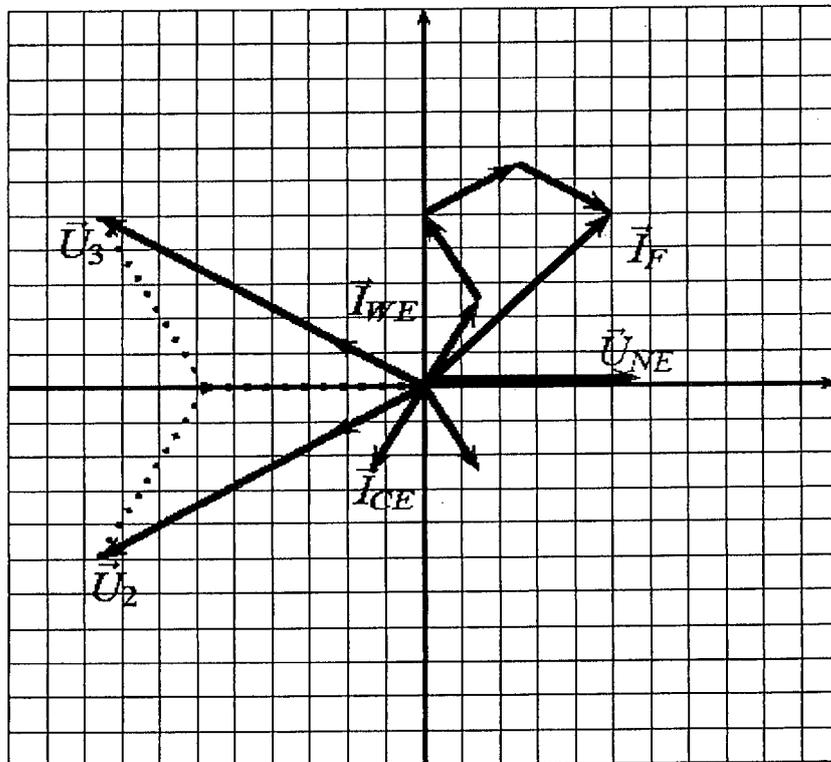


Fig. 6

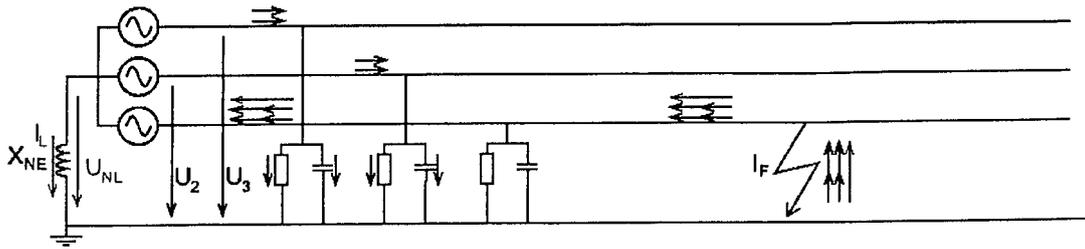


Fig. 7

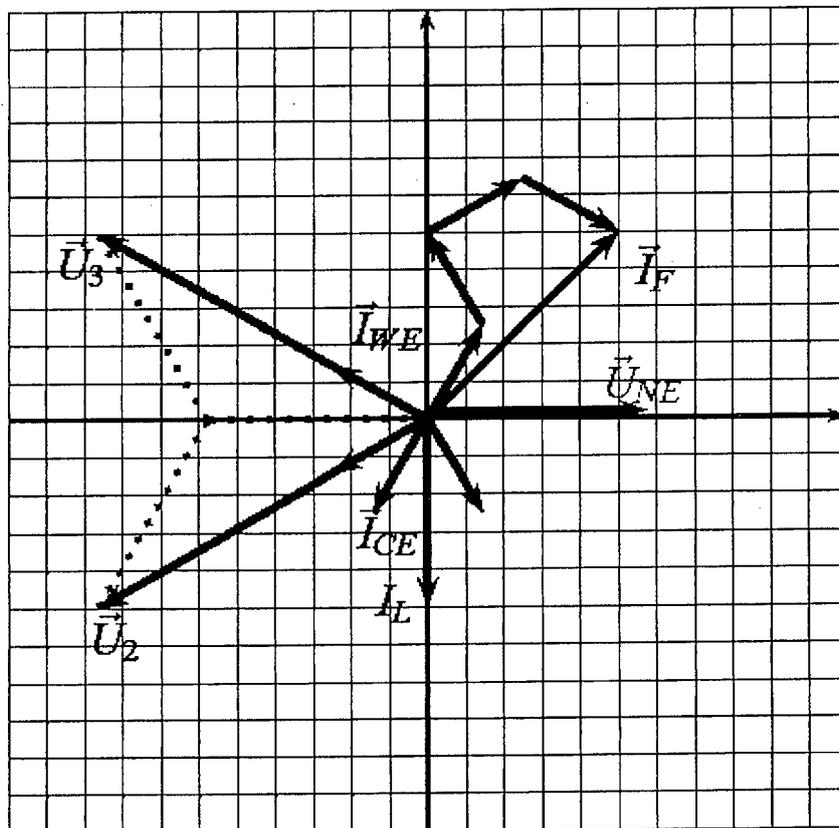


Fig. 8

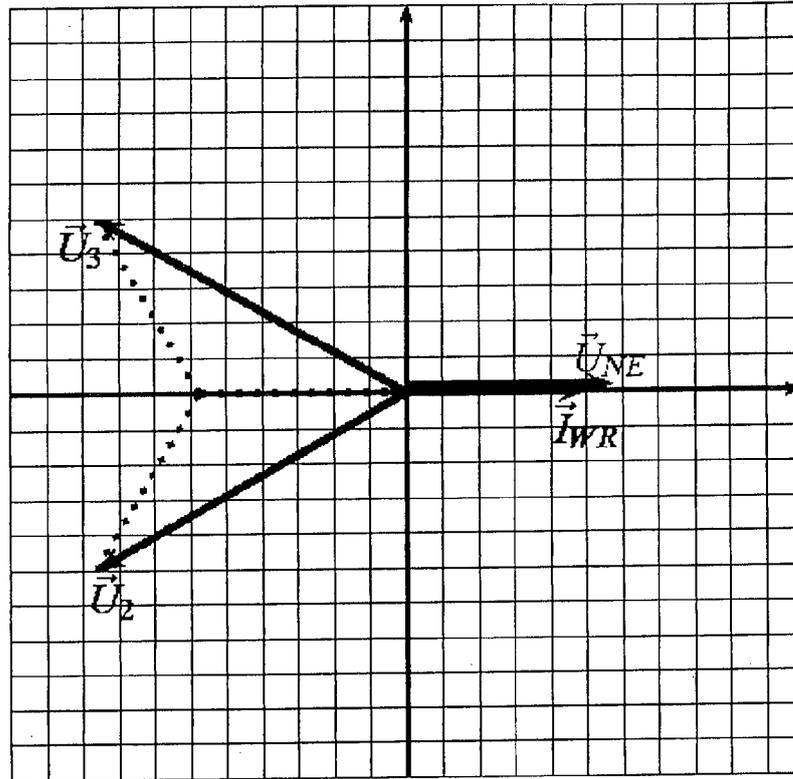


Fig. 9

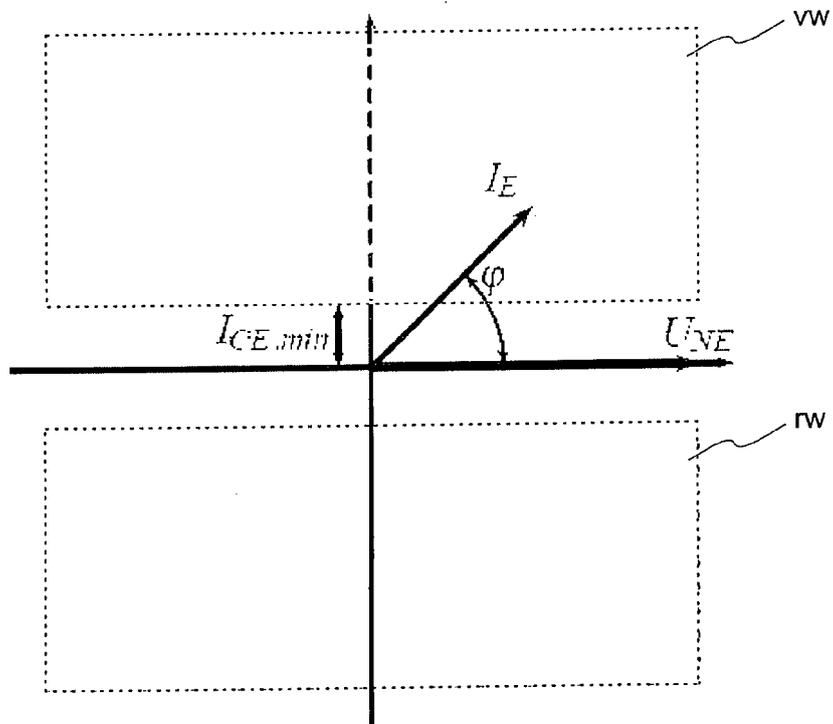


Fig. 10

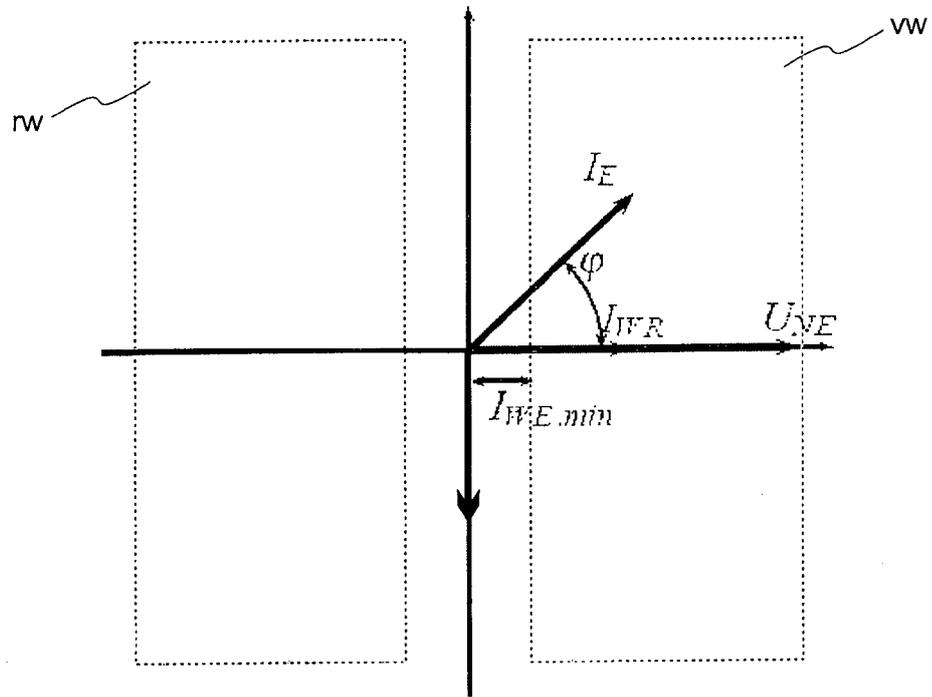


Fig. 11

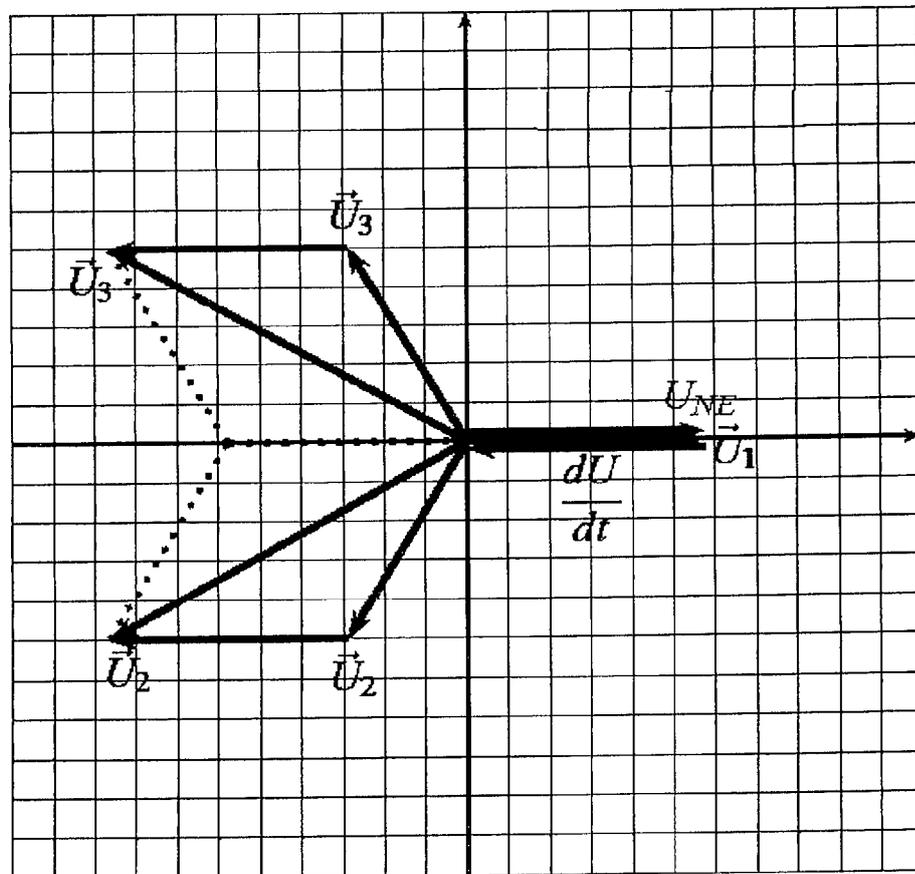


Fig. 12

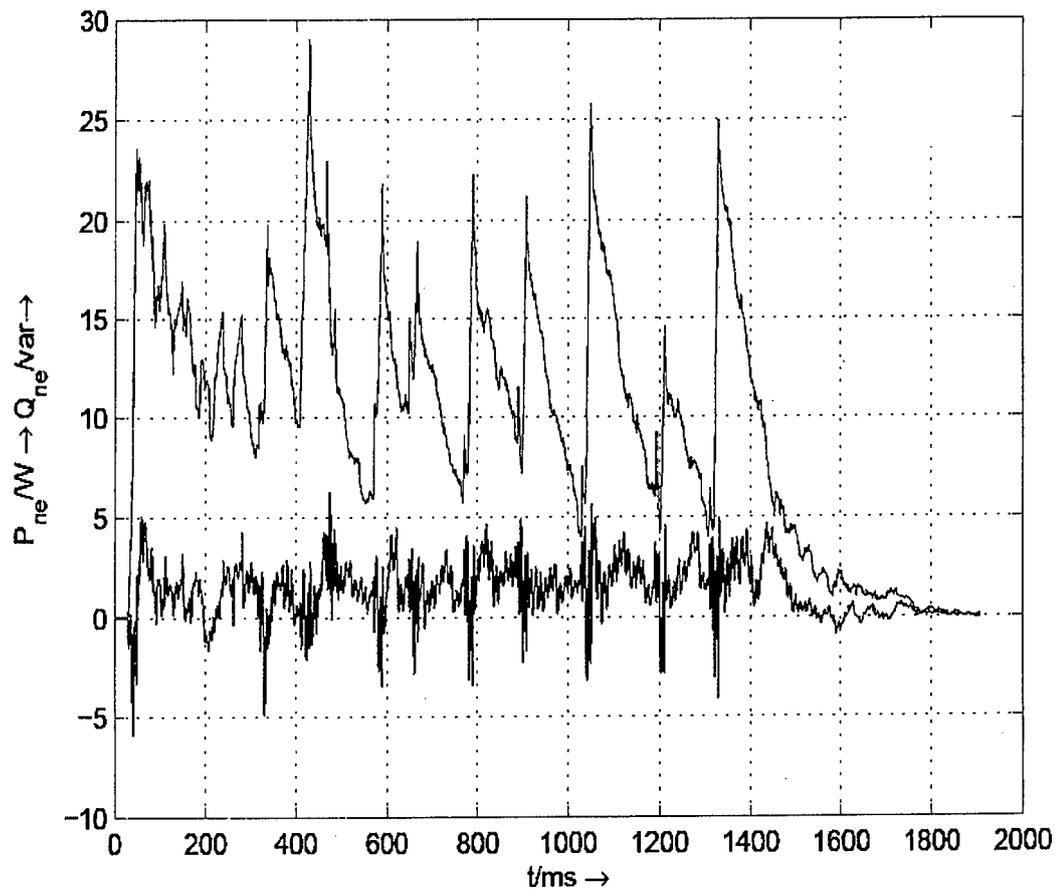


Fig. 13

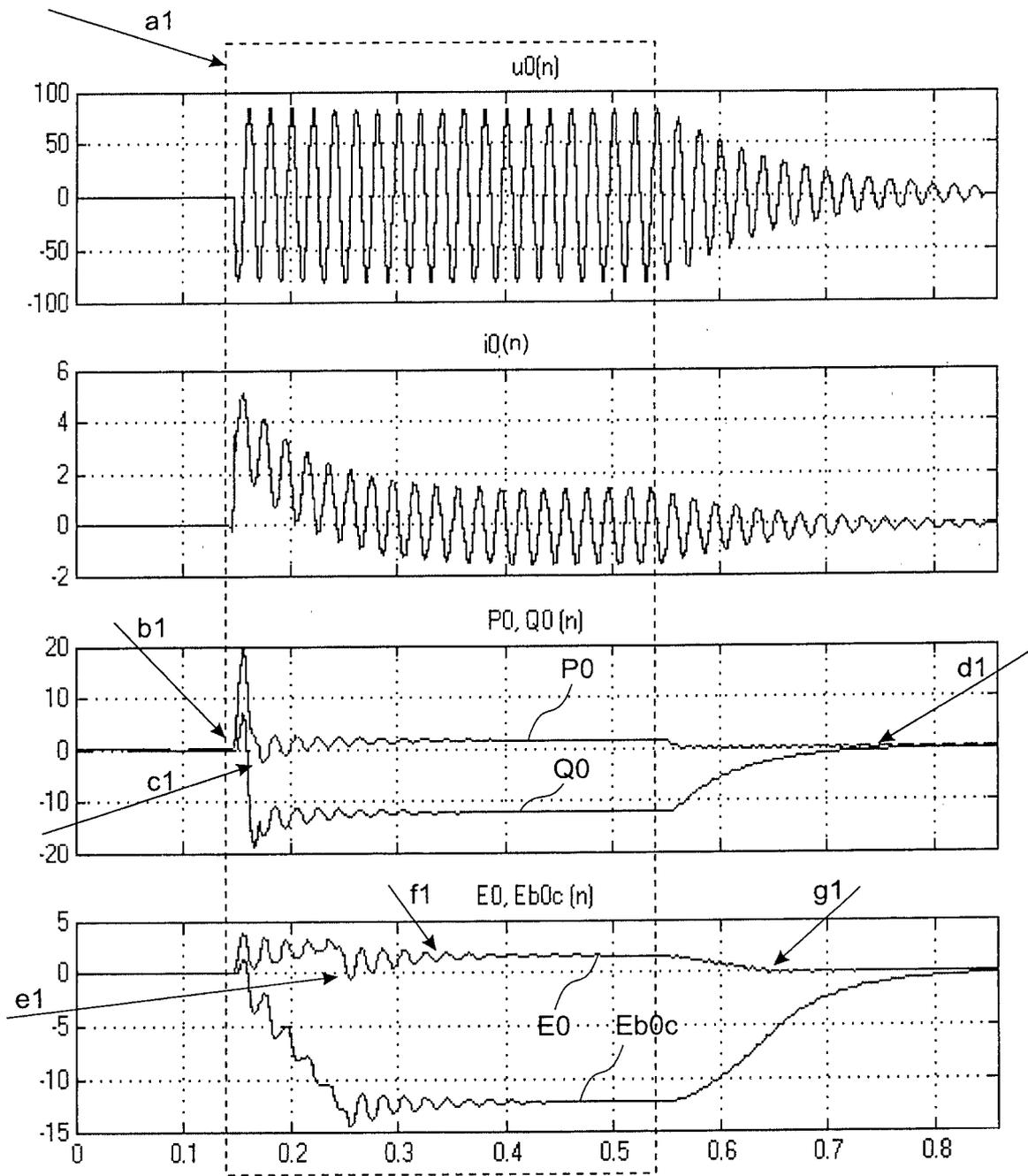


Fig. 14

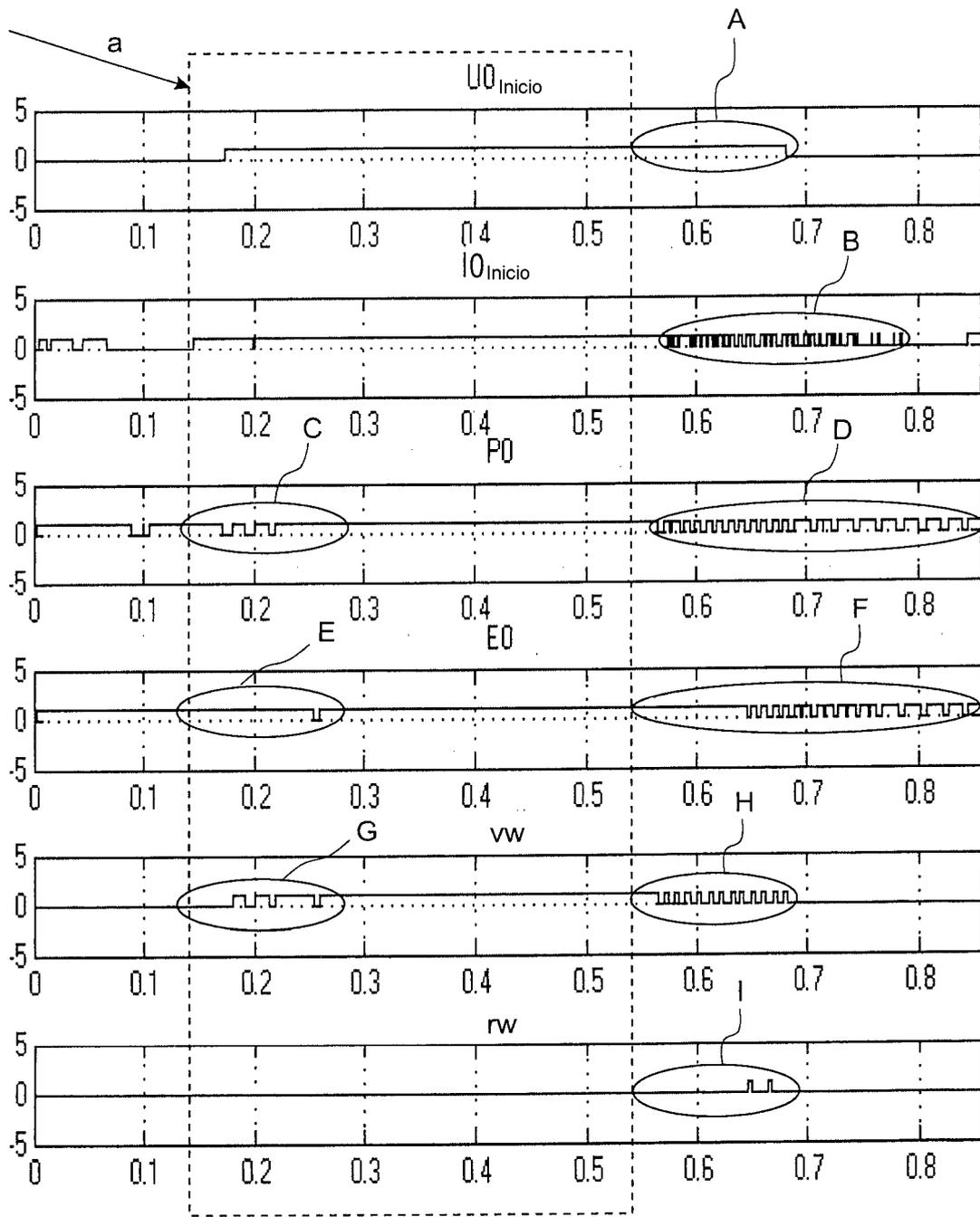


Fig. 15

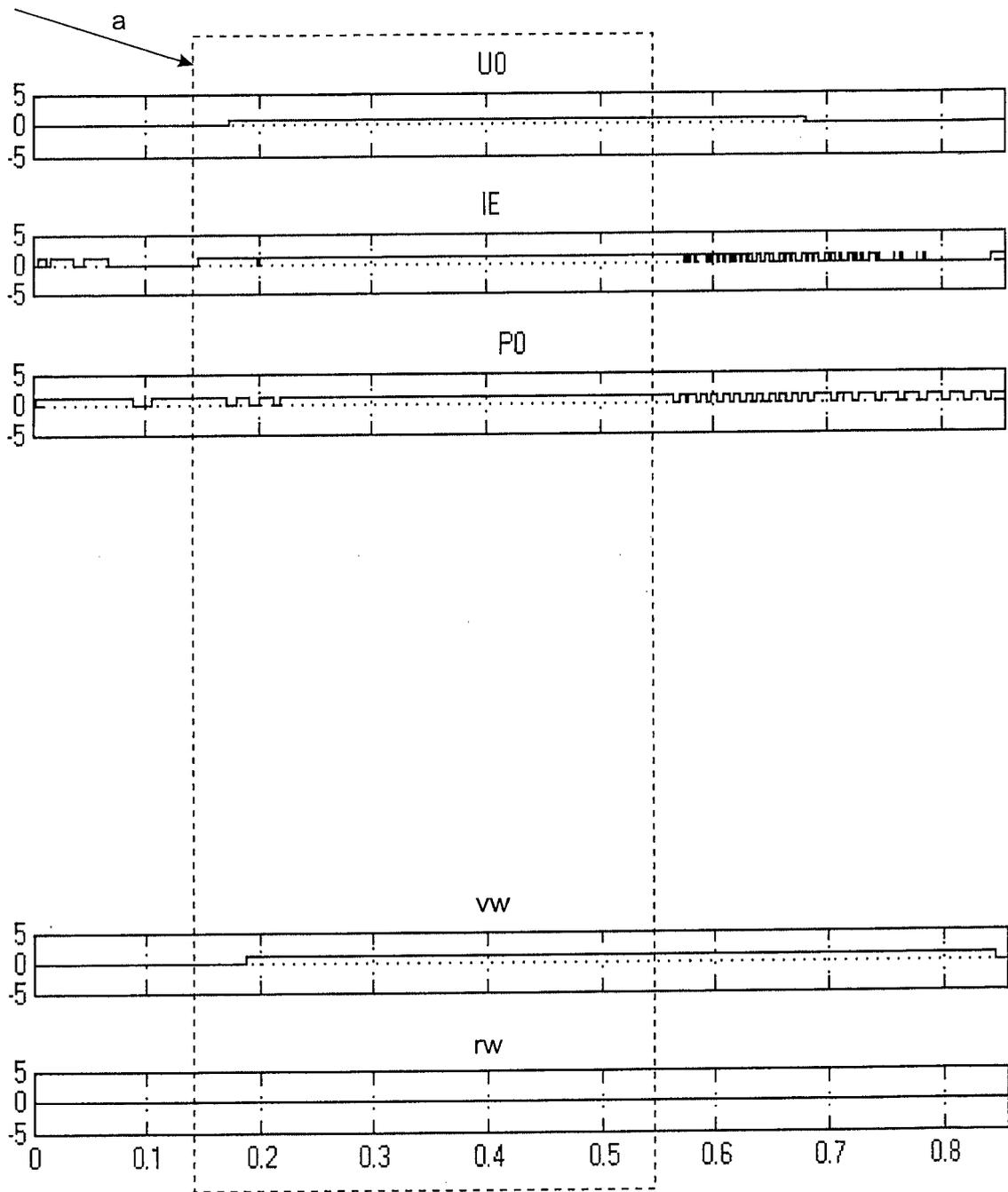


Fig. 16