

Santa Fe de Bogotá, 11 de abril del 2000.

SUPERINDUSTRIA Y COMERCIO

Radicación : 00009997 00000001

Folios: 11

Fecha (H/D): 2000-04-11 15:47:11

Trámite : 002 PATENTES D 1 REGISTRO/ 444 RESPUESTA

Dependencia: 2020 DIVISION DE NUEVAS CREACIONES

Doctora

ALIX CARMENZA CÉSPEDES DE VERGEL

Jefe de la División de Nuevas Creaciones

Superintendencia de Industria y Comercio

Asunto: Auto 0412. Expediente 00-09997

De acuerdo con el resultado del primer examen de forma a la Solicitud de Patente de Invención correspondiente al expediente No. 2000-9.997, comedidamente adjunto para su evaluación, las respuestas al concepto técnico No. 312, IPC G01R27 / 08, del cual fui notificado el día 2 de marzo del 2000.

Para tal efecto se incluye la siguiente documentación solicitada en el concepto mencionado:

1. Nueva versión de la descripción y las reivindicaciones.
2. Extracto para publicación.

Con el fin de conservar la coherencia de los documentos originalmente entregados, también se adjunta una nueva versión de las siguientes partes:

Solicitud de patente de invención.

Tarjeta de archivo temático.

Cordialmente,

VÍCTOR E RUDAS LLERAS
cc No. 19.138.485 de Bogotá



**SOLICITUD DE
PATENTE DE
INVENCION**

DATOS DEL SOLICITANTE

(71) Nombres y Apellidos o Razón Social VICTOR E RUJAS LLERAS

No. de Identificación CC No. 19.138-485 DE BOGOTA

Representante Legal (Persona Jurídica) _____

País de Domicilio COLOMBIA

Departamento o Estado _____

Dirección CALLE 138 N. 18-60 INT 5 APT 502

Ciudad SANTA FE DE BOGOTA Teléfono 6176402

(74) DATOS DEL APODERADO

Nombre _____

Dirección y Domicilio _____

Ciudad _____ Teléfono _____

DATOS DEL INVENTOR

(72) Nombre del Inventor (es) VICTOR E RUJAS LLERAS

Identificación CC No. 19.138-485 DE BOGOTA

Dirección CALLE 138 N. 18-60 INT 5 APT 502

Ciudad SANTA FE DE BOGOTA Teléfono 6176402

DATOS DE LA PATENTE DE INVENCION

(54) Título de la Invención PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA INDIVIDUAL EN INSTALACIONES ELECTRICAS INTERCONECTADAS

PRIORIDAD REIVINDICADA SI ☐ NO ☐ TIPO DE PRIORIDAD ANDINA ☐ UNIONISTA ☐

(33) País _____ (32) Fecha _____ (31) No. Solicitud _____

Para Publicar a los ☒ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 18 meses a partir de la fecha de la presente solicitud

(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL _____

RESUMEN CON EL OBJETO Y LA FINALIDAD DE LA INVENCION

Procedimiento para medir la resistencia de puesta a tierra individual de las estructuras de soporte en líneas de transmisión de alta tensión con cables de guarda interconectados, basado en la medición de la corriente de 60 Hz que fluye desde la estructura hasta la tierra, y la diferencia de tensión, o voltaje, que esta corriente produce entre la estructura y un punto lejano en el terreno que puede considerarse como de voltaje cero, caracterizado porque comprende las etapas de:

Verificar que la línea de transmisión se encuentra en servicio normal. Enterrar un electrodo en un punto del terreno con voltaje cero. Medir el voltaje V_i entre cada pata de la estructura y el electrodo. Medir, simultáneamente con el voltaje V_i , la corriente I_{ai} que fluye por cada pata hacia el terreno. Calcular la resistencia de puesta a tierra, R , según la ecuación: $1/R = \sum I_{ai} / V_i$ con $i = 1$ hasta $i = 4$.

ANEXOS DE LA SOLICITUD

Certificado de Existencia y Representación Legal cuando el solicitante sea Persona Jurídica	☐
Los poderes debidamente otorgados, o mención de su protocolización ante la SIC	☐
Recibo de la tasa respectiva	☒
Recibo de la tasa por concepto de excedente de palabras en la publicación	☐
Si se reivindica prioridad Andina:	
Copia de la primera solicitud	☐
Traducción oficial	☐
Si se reivindica prioridad Unionista:	
Copia certificada de la primera solicitud:	☐
Nota: Debe presentarse dentro de los tres (3) meses, contados a partir de la fecha de radicación de la solicitud posterior	
Traducción simple	☐
Capítulo descriptivo	☒
Dibujos, planos necesarios	☒
Capítulo reivindicatorio	☒
Tarjeta archivo propietarios según formato	☒
Tarjeta archivo temático según formato	☒
Extracto para publicación según formato	☒
Arte final 12 x 12 cms Y 6x6 cms	☒
Otros Documentos	☐

SOLICITO LA CONCESION DE LA PATENTE DE INVENCION Y DECLARO QUE LA INVENCION ES NUEVA Y DE MI PROPIEDAD

FIRMA

U E R L L

NOMBRE VICTOR E RUDAS LLEBAS

CC. 19.138.485

T.P.No.

TÍTULO

"PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA INDIVIDUAL EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INTERCONECTADAS Y ENERGIZADAS."

DESCRIPCIÓN

En la explotación de líneas de alta tensión para transmisión de energía eléctrica, es conocida la necesidad de medir la resistencia del sistema de puesta a tierra de las estructuras de soporte de los conductores (torres o postes); estas medidas se utilizan para analizar el grado de protección contra las descargas atmosféricas, la coordinación de aislamiento y la seguridad de los seres vivos en las cercanías de las líneas de transmisión.

Cuando estas estructuras están interconectadas con otras mediante los cables de guarda, la medición se hace difícil porque generalmente existen restricciones para desconectar los cables de guarda, de tal manera que sea posible realizar la medida de resistencia del sistema de puesta a tierra de la estructura individual, sin desenergizar la línea de alta tensión.

Estas restricciones están asociadas al riesgo de que se produzca un accidente cuando el personal especializado escala la estructura o procede a desconectar los cables de guarda; aunque en líneas de alta tensión (de 66 kV o superiores), las distancias entre los conductores energizados con alta tensión y su estructura de soporte son suficientes para permitir el acceso de una persona hasta el cable de guarda, cualquier error puede ocasionar una descarga eléctrica fatal. La alternativa de desenergizar la línea durante las mediciones es restringida por los elevados costos que implica la suspensión del servicio de transmisión de la energía eléctrica.

Para evitar la desconexión de los cables de guarda de las líneas de transmisión, se utilizan instrumentos especialmente diseñados que obtienen el valor de la resistencia individual, tratando de minimizar el efecto de su conexión a las torres o postes (estructuras) adyacentes. En la figura 1 se ilustra el principio de funcionamiento de uno de los instrumentos más utilizados, el cual es el siguiente:

Mediante una fuente de corriente alterna externa 2, se hace fluir una corriente eléctrica I , entre el sistema de puesta a tierra 10 y un electrodo auxiliar de corriente 3, colocado a una distancia aproximada de 100m a 200m de la estructura de soporte 1. La frecuencia de la corriente I debe ser diferente a la frecuencia de operación del sistema eléctrico (60 Hz), con el fin de evitar interferencias; la norma IEEE 81 recomienda utilizar 25 kHz con el objetivo de que los cables de guarda 6, se comporten como una impedancia inductiva muy alta, de modo que la mayor parte de la corriente I fluya al terreno 9 desde la estructura que se está midiendo y no desde las estructuras adyacentes.

Se mide la corriente I que circula en el circuito eléctrico constituido por la fuente externa 2, la estructura 1, el sistema de puesta a tierra 10, el terreno 9 y el electrodo auxiliar 3.

Con un voltímetro 5 se mide la diferencia de potencial V , entre la estructura 1 y un segundo electrodo auxiliar 4, colocado entre la estructura y el electrodo 3.

Se mide el ángulo ϕ de desfase entre V e I .

Se calcula la relación $V / I \cos \phi$ la cual corresponde al valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra de la estructura de soporte individual.

Aunque se pueden utilizar aparatos independientes para generar la corriente de alta frecuencia y medir las magnitudes eléctricas V , I y ϕ , se acostumbra a usar un instrumento único que realiza todas las funciones y entrega directamente el valor de resistencia $V / I \cos \phi$.

Es de anotar que el sistema de puesta a tierra 10 está conformado por la parte de la estructura enterrada, un conjunto de varillas metálicas verticales de aproximadamente 3m de longitud y los conductores de conexión, o contrapesos, entre las varillas y la estructura; la corriente I se dispersa en el terreno circundante con más o menos dificultad, según sea el área de contacto, la



resistividad del terreno y la geometría del sistema. Los conductores de alta tensión 8 no afectan al sistema de puesta a tierra debido a que están aislados de la estructura mediante los aisladores 7. Para realizar la medida de resistencia es necesario que los electrodos auxiliares 3 y 4 estén alejados del sistema de puesta a tierra a una distancia tal que la corriente I se disperse en el terreno antes de afectar el campo eléctrico propio de estos electrodos auxiliares; las normas del IEEE recomiendan que el electrodo 3 esté separado de la estructura una distancia no menor de 6 veces la máxima dimensión del sistema de puesta a tierra y que el electrodo 4 se coloque aproximadamente al 62% de esta distancia.

El problema principal de este procedimiento de medida es que solo una fracción de la corriente I fluye hacia el sistema de puesta a tierra de la estructura de soporte; la otra fracción fluye por el ramal del circuito eléctrico constituido por los cables de guarda, las estructuras adyacentes y los sistemas de puesta a tierra de estas estructuras. Como la impedancia inductiva de los cables de guarda es directamente proporcional a la frecuencia, es de esperar que para 25 kHz la impedancia de los cables de guarda sea varias veces superior a la resistencia del sistema de puesta a tierra que se pretende medir, de manera que el error introducido sea despreciable; sin embargo la impedancia de los cables de guarda también es proporcional a su longitud y por esta razón, en líneas con separación entre estructuras muy corta, el error se incrementa notablemente.

Otros inconvenientes del procedimiento son:

- La magnitud de la corriente I queda limitada por la resistencia eléctrica del electrodo auxiliar 3. En terrenos de alta resistividad la corriente es tan pequeña que puede resultar fuera del rango de medición del instrumento.
- La alta frecuencia de la fuente (25 kHz) facilita la formación de campos electromagnéticos y corrientes de tipo capacitivo que se dispersan por las diferentes partes del circuito de medida; estas magnitudes dispersas distorsionan la medida de la corriente I .
- Los instrumentos requieren un diseño especial, que aseguren la precisión en las medidas; los instrumentos convencionales para medición de resistencia de puesta a tierra son de baja frecuencia ($f < 2$ kHz), de modo que no son adecuados para utilizar en líneas de transmisión de alta tensión cuando sus estructuras están interconectadas por los cables de guarda.

Procedimiento de la presente invención

El objetivo general de la presente invención es obviar los inconvenientes antes mencionados proporcionando un procedimiento confiable y seguro para medir la resistencia de puesta a tierra de las estructuras de soporte en líneas de transmisión de alta tensión, con cables de guarda interconectados, cuando éstas prestan el servicio normal; este procedimiento no requiere usar instrumentos o aparatos especiales como fuentes de corriente, puentes de medida o medidores de ángulo eléctrico.

El procedimiento se basa en la medida de la corriente de desbalance que normalmente fluye hacia el terreno y la medida de la caída de tensión, o voltaje, que esta corriente ocasiona en el terreno; lo anterior sin necesidad de desconectar ninguna parte del sistema de puesta a tierra ni los cables de guarda.

Los aparatos necesarios son dos multímetros digitales y un transformador de corriente convencional, todos de muy fácil consecución.

En vista de dicho objetivo se ha buscado proporcionar un procedimiento según la reivindicación 1.

Para aclarar más la invención y sus ventajas comparadas con las técnicas conocidas se describen a continuación, con la ayuda de los dibujos anexos, los fundamentos de la medición así como la forma de aplicación de dichos fundamentos.

Fundamento teórico

La figura 2 muestra esquemáticamente una línea de transmisión de alta tensión la cual transporta energía eléctrica desde un extremo de emisión en el cual están las plantas de generación simbolizadas con la fuente trifásica V_a, V_b, V_c , hasta un extremo de recepción en el cual están las cargas simbolizadas con la impedancia trifásica Z_a, Z_b, Z_c . Los puntos neutros de las plantas de generación y de las cargas están conectados a tierra mediante las impedancias Z_E y Z_R respectivamente. Este modelo simplificado puede representar cualquier línea de transmisión en un sistema eléctrico trifásico; en el caso general las plantas o las cargas pueden no estar ubicadas en alguno de los extremos pero siempre es posible representarlas con su modelo equivalente según se indica en la figura 2.

La línea de transmisión está representada por tres conductores de fase y un cable de guarda los cuales simbolizan los circuitos equivalentes de ellos cuando la línea posee más de un circuito de fases o más de un cable de guarda.

Conectadas entre el cable de guarda y la tierra, se representan también N resistencias ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_N$) las cuales simbolizan la resistencias de puesta a tierra de cada una de las N estructuras de soporte de la línea de transmisión.

Los parámetros eléctricos representados en la figura 2 son los siguientes:

I_a, I_b, I_c son las corrientes en cada fase de la línea de transmisión. En las líneas reales estas corrientes están desfasadas aproximadamente 120° eléctricos, y sus magnitudes no son exactamente iguales; es decir siempre se presenta un desbalance, según se indica en el diagrama de fasores de la figura 2.

($I_T + I_G$) es la resultante de la suma fasorial ($I_a + I_b + I_c$), la cual corresponde a la corriente en el neutro del circuito en el extremo de recepción. Esta corriente resultante generalmente es un pequeño porcentaje de las corrientes de fase. Por teoría de circuitos eléctricos se puede demostrar que la corriente ($I_a + I_b + I_c$) retorna al punto neutro del extremo de emisión, de modo que en ese punto la suma total de corrientes sea cero, según establece la ley de Kirchhoff.

I_T es la fracción de la corriente ($I_a + I_b + I_c$) que retorna al extremo de emisión por la tierra física a través del circuito constituido por Z_R , la corteza terrestre y Z_E .

I_G es la fracción de la corriente ($I_a + I_b + I_c$) que retorna al extremo de emisión por los cables de guarda. Como en cada estructura de soporte el cable de guarda tiene una conexión a tierra, en cada estructura existe una corriente I_d que fluye desde el cable de guarda hasta la tierra. La suma de todas estas corrientes $\sum I_d$, también retorna al extremo de emisión por los circuitos R , corteza terrestre, Z_E . R representa cualquiera de las N resistencias de puesta a tierra de las estructuras de soporte de la línea de transmisión, es decir $R_1, R_2, R_3, \dots, R_N$.

($I'_T + I'_G$) es la resultante de la suma fasorial ($I_a + I_b + I_c$), la cual corresponde a la corriente en el neutro del circuito en el extremo de emisión; obviamente su magnitud es igual a ($I_T + I_G$).

Para el procedimiento de la invención, el interés se centra en las corrientes $I_{d1}, I_{d2}, I_{d3}, \dots, I_{dN}$ las cuales se pueden denominar en forma genérica como I_d . Cada una de estas corrientes produce una caída de tensión, o voltaje, V , en la correspondiente resistencia de puesta a tierra R . Según la ley de Ohm, la resistencia de puesta a tierra de cualquier estructura de soporte está dada por la ecuación:

$$R = V / I_d$$

Lo anterior significa que la resistencia de puesta a tierra puede obtenerse a partir del voltaje V , entre la estructura de soporte y el terreno, y la corriente I_d que fluye al terreno desde el cable de guarda a través de la estructura.

Como es conocido para estos casos, el voltaje V corresponde a la diferencia de tensión entre la estructura y la tierra; la tierra real debe ser una zona del terreno circundante a la estructura que pueda tomarse como referencia de tensión, es decir a una distancia, en teoría, infinita desde la estructura; para efectos prácticos basta que la referencia esté ubicada a una distancia de la estructura tal que la densidad de la corriente I_d en el terreno sea despreciable. La distancia mínima es aquella para la cual V permanece constante cuando la distancia S se incrementa. En la figura 3, que ilustra estos conceptos, puede observarse la variación de V con la distancia S . Cerca de la estructura V es casi cero, mientras la corriente I_d fluye por las partes metálicas conductoras; cuando la corriente comienza a dispersarse en el terreno, V tiene un fuerte incremento; lejos de la estructura, cuando la corriente se ha dispersado completamente, V permanece constante. En esta figura la identificación de componentes es la misma de la figura 1.

Las principales diferencias con el método convencional para obtener la resistencia son las siguientes:

1. En vez de utilizar una fuente externa para hacer fluir una corriente conocida a través de la estructura, se utiliza la corriente que el mismo sistema eléctrico produce.
2. En el método convencional, la corriente I_d debe eliminarse de la medición mediante la utilización de una frecuencia diferente a las propias del sistema (fundamental y armónicos), mientras que en el método de la invención se utiliza justamente esta corriente, la cual tiene las mismas frecuencias del sistema eléctrico.
3. El procedimiento de la invención es más preciso debido a que utiliza toda la corriente medida para realizar el cálculo de la resistencia, mientras que en el método convencional se usa una fracción de la corriente medida y en el cálculo de la resistencia se asume que el error debido a esta aproximación es despreciable.
4. Con el procedimiento de la invención las medidas se pueden realizar con un multímetro digital convencional, mientras que con el método convencional se requieren instrumentos especializados, sintonizados a la frecuencia propia de la fuente externa.

Detalles prácticos

Dado que todas las líneas de transmisión de alta tensión tienen algún grado de desbalance en los voltajes y las corrientes de las fases, siempre se presentan corrientes que fluyen desde los cables de guarda, a través de las estructuras de soporte, hacia la tierra según se muestra en las figuras 2 y 3. Por lo general la magnitud de esta corriente está en el rango de 0 a 100 mA, de acuerdo con las medidas realizadas en diversos casos específicos; la frecuencia es igual a la frecuencia de operación de la instalación (60 Hz) y contiene, casi siempre, algunas frecuencias armónicas de muy baja magnitud.

En la figura 4 se muestran los detalles de la medida de la resistencia de puesta a tierra de una estructura de soporte, o torre, de cuatro patas. Mediante un transformador de corriente seccionable 1 y un amperímetro digital 2, se mide la corriente en cada pata de la estructura 3, y en forma simultánea se mide la diferencia de tensión (o voltaje) entre la misma pata y un electrodo lejano 4 mediante un voltímetro digital 5.

Como el comportamiento del sistema de tierra es lineal, las corrientes de cada pata pueden referirse a la misma diferencia de tensión V , es decir que cuando todas las patas están a la misma tensión puede calcularse la corriente total esperada, I_d , así:

$$I_d = I_{d1} \cdot V / V_1 + I_{d2} \cdot V / V_2 + I_{d3} \cdot V / V_3 + I_{d4} \cdot V / V_4$$

Donde:

- V_1 : Diferencia de tensión medida en la pata 1.
 I_{d1} : Corriente medida en la pata 1.
 V_2 : Diferencia de tensión medida en la pata 2.

I_{a2} : Corriente medida en la pata 2.
 V_3 : Diferencia de tensión medida en la pata 3.
 I_{a3} : Corriente medida en la pata 3.
 V_4 : Diferencia de tensión medida en la pata 4.
 I_{a4} : Corriente medida en la pata 4.

$$V = (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) / 4.$$

Siendo por tanto la relación V / I_a el valor de la resistencia de puesta a tierra de la torre. O en forma equivalente:

$$I_a / V = 1 / R = I_{a1} / V_1 + I_{a2} / V_2 + I_{a3} / V_3 + I_{a4} / V_4$$

Si se cambian los subíndices numéricos por el subíndice genérico i , las corrientes y voltajes medidos en cada pata i , se pueden representar como I_{ai} y V_i de modo que la ecuación anterior puede escribirse en forma abreviada como:

$$I_a / V = 1 / R = \sum I_{ai} / V_i, \text{ con } i=1 \text{ hasta } i=4.$$

Los voltajes V_i deben medirse en una dirección aproximadamente perpendicular al eje de la línea a una distancia tal que cuando se incrementa un paso de diez metros, el voltaje medido permanezca substancialmente constante, con el fin de garantizar que en ese sitio se haya dispersado por completo la corriente I_a y por lo tanto sea despreciable la influencia de la torre. La primera medida se puede tomar a una distancia de 50 metros. Para una mayor exactitud es recomendable medir el voltaje a cada costado del eje de la línea, y tomar como V_i el valor promedio de las dos medidas; en caso de existir alguna diferencia notoria entre las dos medidas de voltaje, se deben revisar las conexiones o desplazar los electrodos a otro lugar con el fin de obtener un mejor contacto con el terreno.

En líneas de transmisión de alta tensión con contrapesos, la distancia al electrodo puede ser del orden de 100 a 200 metros. Para esta medida se debe utilizar un multímetro digital en la escala de voltaje alterno, conectado entre la estructura de soporte y un electrodo metálico, de cobre o acero galvanizado, en forma de varilla de aproximadamente 50 cm de longitud y 1 cm de diámetro, el cual se clava en el terreno a una profundidad de 30 a 40 cm. Los cables de conexión deben ser aislados y las conexiones a la estructura y al electrodo se deben realizar garantizando que no haya pintura o suciedades en las superficies que impidan un buen contacto eléctrico. La resolución de la escala de voltaje del multímetro debe ser 1 mV.

El transformador de corriente debe tener de 2000 a 5000 espiras en el devanado secundario, y su calidad debe ser tal que conserve la precisión cuando la corriente a medir sea aproximadamente 5 mA; si la respuesta del transformador de corriente no es lineal en todo el rango de medición (0 a 100 mA), es conveniente disponer de la curva que relaciona la corriente secundaria con la corriente primaria.

El amperímetro debe tener una resolución de 0,1 μ A, y puede ser una escala de un multímetro digital; es recomendable utilizar instrumentos diferentes para las medidas de voltaje y corriente con el fin de realizarlas simultáneamente. Obviamente la lectura del amperímetro debe multiplicarse por la relación del transformador de corriente para obtener el valor real de I_a .

El transformador de corriente debe ser insensible a la influencia del campo magnético producido por las corrientes de los conductores de fase de la línea de transmisión; esto se logra con núcleo de alta permeabilidad, baja histéresis, dispersión magnética despreciable, secundario uniformemente distribuido y simetría en la construcción física. El núcleo debe ser tipo toroidal con un diámetro suficiente para que pueda abrazar la pata de la torre; además debe ser seccionable de modo que se pueda separar en dos seminúcleos para colocarlo alrededor del conductor de la corriente que se desea medir.

Antes de realizar la medida de corriente en cada pata es recomendable hacer una medida junto a la pata, es decir sin corriente en el primario del transformador de corriente, para comprobar que en el secundario la medida es cero o de solo unas décimas de microamperio; si esto no sucede

se debe orientar el transformador de corriente en la dirección de mínima influencia y conservar esta orientación al medir la corriente en la pata. Estas medidas previas se deben realizar colocando el transformador de corriente sobre el plano horizontal.

Con instrumentos de las características descritas se obtienen resultados aceptables en líneas de transmisión de alta tensión cuando transportan corrientes de 100A o más por sus conductores de fase; estas corrientes de fase se requieren para que la corriente de desbalance en los cables de guarda sea suficiente para derivar a tierra corrientes detectables en cada torre. Una forma práctica de comprobar que la corriente de desbalance es suficiente para derivar a tierra corrientes detectables, es realizar medidas preliminares de estas corrientes para asegurarse que existe una diferencia apreciable entre las medidas junto a las patas y alrededor de las patas.

Si las patas de la torre de alta tensión están unidas entre sí bajo la superficie del terreno, pueden presentarse corrientes circulantes entre ellas. En este caso la medida debe realizarse simultáneamente en todas las patas utilizando un transformador de corriente en cada una y conectando en paralelo todos los secundarios; de esta forma se logra que el amperímetro mida la suma vectorial de las corrientes de todas las patas, la cual es la resultante que se deriva a tierra. En este caso es esencial que los transformadores de corriente tengan respuesta lineal a partir de corrientes en el primario de 5 mA.

En la figura 5 puede verse el procedimiento de la invención utilizado en un poste de una línea de transmisión de alta tensión. La única diferencia con la figura 4 es que en este caso se ejecuta una sola medida de I_d y V debido a que la base del poste constituye un único camino para la corriente derivada de los cables de guarda. Los elementos de la figura 5 son: transformador de corriente seccionable 1, amperímetro 2, poste metálico 3, electrodo lejano 4 y voltímetro 5. La resistencia de puesta a tierra obviamente es: $R = V / I_d$

En las figuras 4 y 5 se muestra que las medidas de I_d y V se realizan con instrumentos independientes. Sin embargo es posible utilizar un instrumento electrónico que reciba y procese estas señales para obtener el valor de la resistencia de puesta a tierra, utilizando el mismo procedimiento.

También es posible utilizar el procedimiento de la invención para instalaciones eléctricas diferentes a estructuras de soporte de líneas de transmisión. Por ejemplo una aplicación puede ser para la medida de la resistencia de puesta a tierra del terminal neutro de un transformador de distribución; en este caso se mide la corriente de desbalance I_d que fluye desde el neutro hasta el polo de tierra y el voltaje V entre el neutro y un electrodo enterrado a una distancia de 50 m o mayor del polo de tierra. Nuevamente la resistencia de puesta a tierra es: $R = V / I_d$

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para medir la resistencia de puesta a tierra individual de las estructuras de soporte en líneas de transmisión de alta tensión con cables de guarda interconectados, basado en la medición de la corriente de 60 Hz que fluye desde la estructura hasta la tierra, y la diferencia de tensión, o voltaje, que esta corriente produce entre la estructura y un punto lejano en el terreno que puede considerarse como de voltaje cero, caracterizado porque comprende las etapas de:

1.1 Verificar que la línea de transmisión se encuentra en servicio normal.

1.2 Enterrar un electrodo en un punto del terreno con voltaje cero.

1.3 Medir el voltaje V_i entre cada pata de la estructura y el electrodo.

1.4 Medir, simultáneamente con el voltaje V_i , la corriente I_{di} que fluye por cada pata hacia el terreno.

1.5 Calcular la resistencia de puesta a tierra, R , según la ecuación:

$$1/R = \sum I_{di} / V_i \quad \text{con } i = 1 \text{ hasta } i = 4.$$

2. Procedimiento según la reivindicación 1 caracterizado porque la etapa de verificar que la línea se encuentra en servicio normal además incluye comprobar que la corriente en cada fase de la línea es mayor de 100 A con el fin de que la corriente de desbalance en los cables de guarda sea suficiente para derivar a tierra corrientes detectables en la torre.

Una forma de ejecutar esta comprobación es medir preliminarmente la corriente en todas las patas según la etapa 1.4. Si la medida es apreciable en al menos una pata, significa que la corriente de desbalance es suficiente para utilizar este procedimiento.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 caracterizado porque la etapa de enterrar el electrodo incluye los siguientes pasos:

3.1 Enterrar el electrodo separado de la estructura de soporte una distancia de 50 m y a una profundidad de 30 a 40 cm, en dirección perpendicular al eje de la línea.

3.2 Medir la diferencia de tensión, o voltaje, entre la estructura y el electrodo.

3.3 Aumentar diez metros la separación entre la estructura y el electrodo; medir nuevamente la diferencia de tensión entre los dos.

3.4 Comparar las dos últimas medidas de voltaje: si son iguales, desechar las medidas previas. Si no son iguales, aumentar otros diez metros la separación y repetir la medida de voltaje, hasta que las dos últimas sean iguales. En este punto se considera que el voltaje es cero y no existe influencia eléctrica de la estructura.

4. Procedimiento según la reivindicación 1 caracterizado porque la etapa de medir la corriente I_{di} incluye los siguientes pasos:

4.1 Colocar al lado de una de las patas de la estructura de soporte, denominada pata 1, un transformador de corriente toroidal y seccionable; medir la corriente en el secundario; orientar el transformador de corriente hasta encontrar la menor medida de corriente; esta posición corresponde a la de menor influencia del campo magnético de la línea.

4.2 Colocar el transformador de corriente alrededor de la pata 1 y medir la corriente en el secundario. Se debe conservar la orientación encontrada en el paso 4.1. La corriente en el primario es I_{di} .

4.3 Repetir las etapas 1.3, 1.4 , 4.1 y 4.2 para las otras patas. Así se obtiene I_{a1} , V_1 , I_{a2} , V_2 , I_{a3} , V_3 , I_{a4} , V_4 .

5. Procedimiento según la reivindicación 1 caracterizado porque los equipos necesarios para su ejecución son los siguientes:

5.1 Un multímetro digital con escala de voltaje alterno y resolución de 1mV, para medir voltaje.

5.2 Un multímetro digital con escala de corriente alterna y resolución de 0,1 μ A , para medir corriente.

5.3 Un transformador de corriente de 2000 a 5000 espiras en el secundario, con núcleo toroidal de alta permeabilidad, baja histéresis, dispersión magnética despreciable, secundario uniformemente distribuido. El núcleo debe tener un diámetro suficiente para que pueda abrazar las patas de las torres y además debe ser seccionable de modo que se pueda separar en dos seminúcleos para colocarlo alrededor del conductor de la corriente que se desea medir.

5.4 Un electrodo metálico, de cobre o acero galvanizado, en forma de varilla de aproximadamente 50 cm de longitud y 1cm de diámetro.

5.5 Un juego de cables aislados para realizar las conexiones.

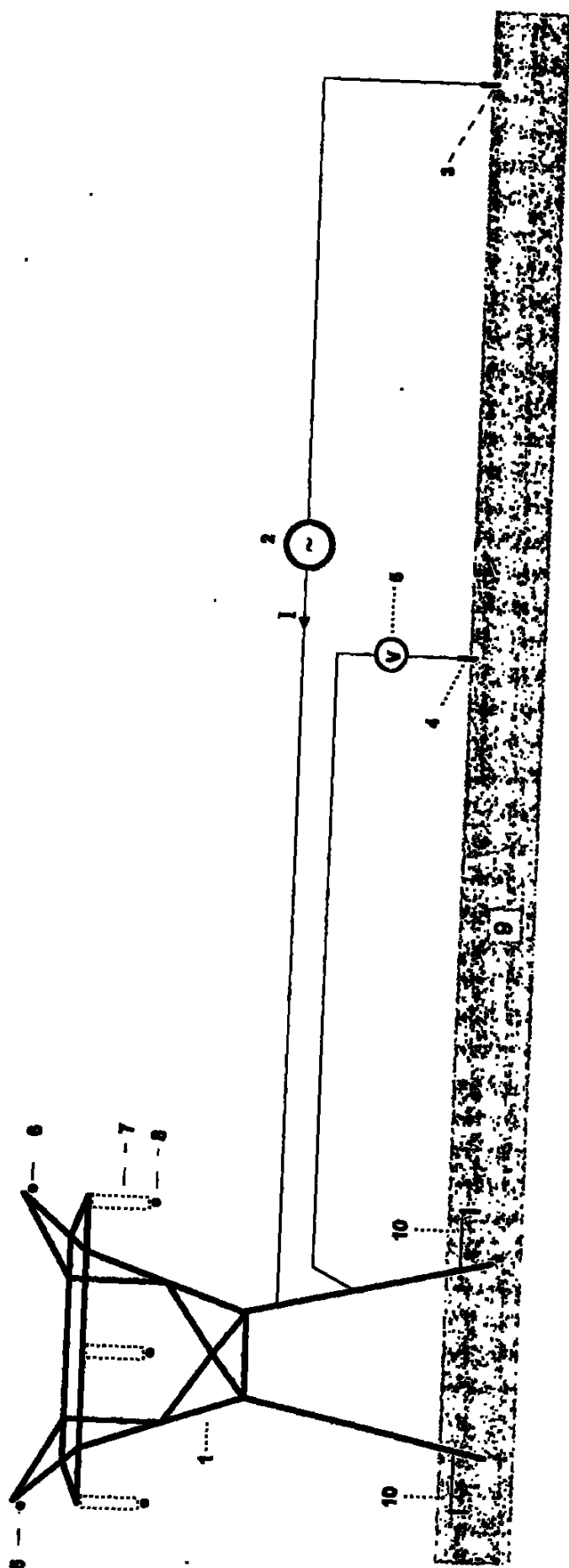


FIGURA 1

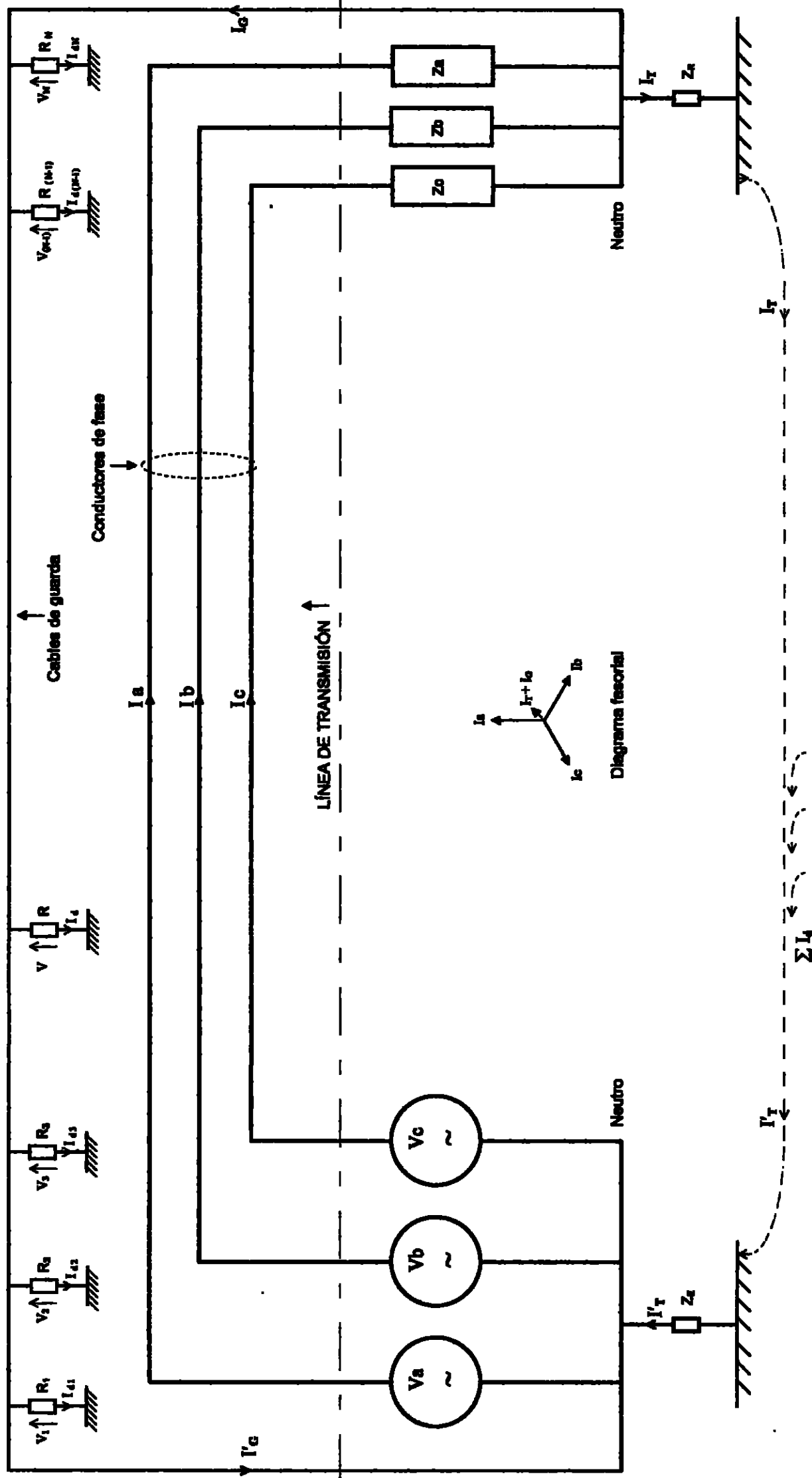
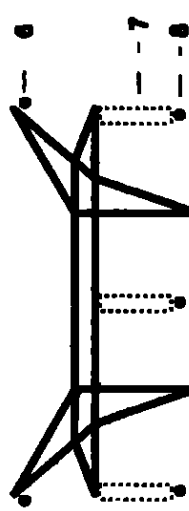


FIGURA 2



10

10

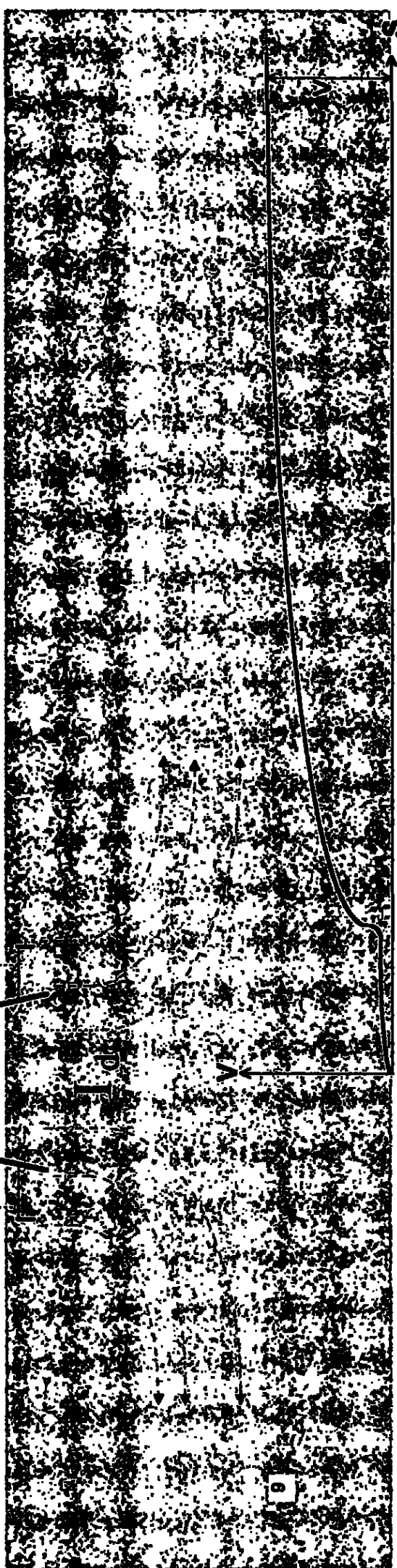


FIGURA 3

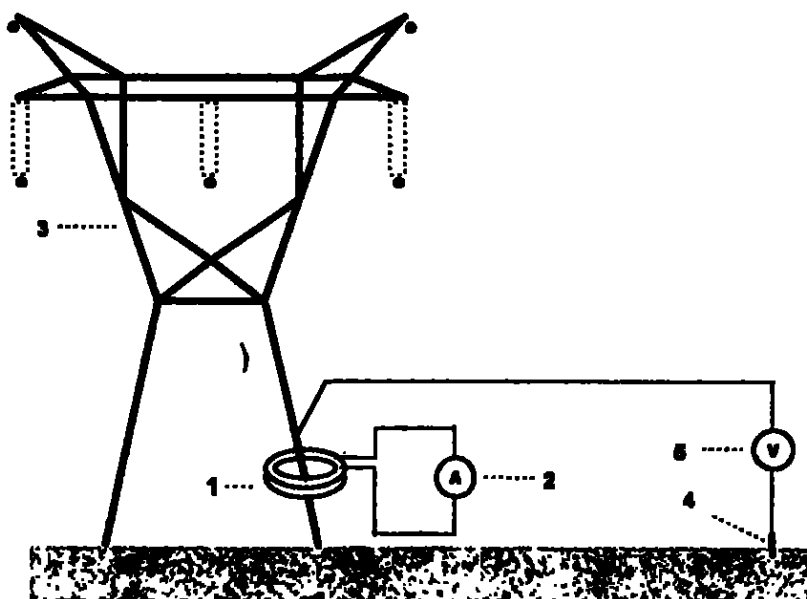


FIGURA 4

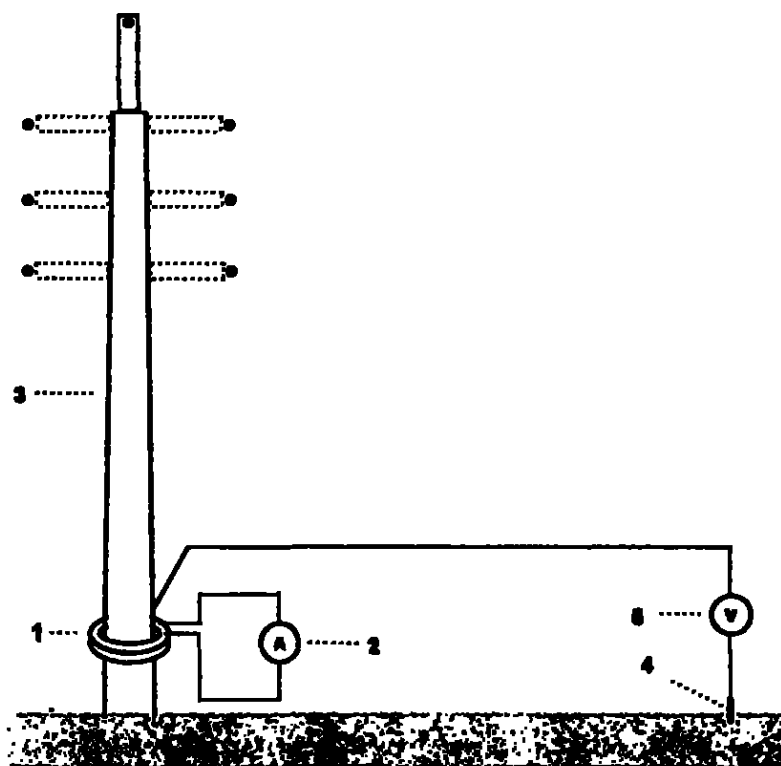


FIGURA 5