

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 179**

51 Int. Cl.:

G01R 15/06 (2006.01)

H03H 7/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2012 E 12761552 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2015 EP 2745121**

54 Título: **Divisor de tensión adaptativa con característica de frecuencia corregida para la medición de altas tensiones**

30 Prioridad:

19.08.2011 PL 39603111

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

26.06.2015

73 Titular/es:

**AKADEMIA GORNICZO-HUTNICZA IM.
STANISLAWA STASZICA W KRAKOWIE (100.0%)
Al. Mickiewicza 30
30-059 Krakow, PL**

72 Inventor/es:

NABIELEC, JERZY

74 Agente/Representante:

ZEA CHECA, Bernabé

ES 2 539 179 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

Divisor de tensión adaptativa con característica de frecuencia corregida para la medición de altas tensiones

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un divisor de tensión adaptativa con característica de frecuencia corregida para la medición de altas tensiones.

10 ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

Divisores de tensión clásicos: resistivos, inductivos o capacitivos, presentan una serie de inconvenientes que se describirán más adelante.

- 15 En primer lugar, la relación del divisor de tensión varía en el tiempo debido al envejecimiento de los componentes o a las condiciones ambientales tales como la temperatura, la humedad o la contaminación del medio ambiente. Por ejemplo, las variaciones de la humedad del aire provocan variaciones en las resistencias de fuga derivando las impedancias del divisor y con ello dando lugar a cambios incontrolados en la relación del divisor. Del mismo modo, los contaminantes externos (polvo, grasa) que derivan los elementos divisores producen cambios incontrolados en la
20 relación del divisor. Además, cargar un divisor con una impedancia finita también varía la relación del divisor.

- Las propiedades dinámicas de un divisor de tensión también están sujetas a cambios. Además de los componentes de resistencia, cada divisor de tensión comprende elementos de reactancia parasitarios. Los divisores inductivos comprenden inherentemente elementos de reactancia. Las capacidades de las capacitancias parásitas varían de
25 manera incontrolada debido a la presencia o la reubicación de conductores extraños en las proximidades del divisor de tensión. Los cambios en la geometría del divisor de tensión debidos a la expansión térmica de sus elementos resultan en cambios de las capacidades presentes en el divisor. Los cambios incontrolados en la capacidad pueden ser causadas por la temperatura y la humedad o incluso por influencia de la presión del aire en la constante dieléctrica del aire. Además, el envejecimiento del material dieléctrico también provoca cambios incontrolados en la
30 capacitancia. Dado que cada elemento conductor tiene una inductancia, siempre se produce un acoplamiento magnético parasitario indeterminado entre el circuito principal y los elementos conductores en sus proximidades. Las capacitancias o inductancias parásitas forman circuitos resonantes que cambian sustancialmente las propiedades metrológicas del divisor de tensión, especialmente para señales que contienen altos armónicos. Hay casos conocidos en los que se produce una ferorresonancia en divisores de tensión inductivos que distorsionan
35 sustancialmente las características de amplitud y frecuencia de un divisor de tensión.

Era por lo tanto un objetivo desarrollar un divisor de tensión adaptativa en el que se evitasen por lo menos parte de estos inconvenientes.

- 40 De la memoria de patente de americana nº US 3.256.484 se conoce una sonda de prueba de osciloscopio de altas tensión de la cual de proporciona una la alta calidad de aislamiento mediante un fluido dieléctrico que llena parcialmente un recipiente en el cual se encuentra un divisor de tensión. Dado que el punto de ebullición del fluido dieléctrico freón empleado es +4,1 grados Celsius la parte restante del recipiente se llena con el vapor de fluido dieléctrico bajo presión. Por lo tanto, la capacidad de aislamiento en el divisor de tensión de los alrededores
45 aumenta varias veces respecto a la del aire. La sonda permite medir altas tensiones de hasta 30 kV dentro de un rango de frecuencias DC-70MHz y un tiempo de subida de aproximadamente 3,3 nanosegundos.

- De la solicitud de patente rusa RU Nº 2399920 es conocido un procedimiento para la medición sin contacto de la tensión y el factor de distorsión de la corriente en líneas de tracción eléctrica en las cuales se fijan unos sensores de
50 campo eléctrico y de campo magnético en el extremo de una barra de dos metros y se colocan por debajo de un cable. Las señales de ambos sensores se aplican a entradas de un osciloscopio de doble canal conectado a un ordenador mediante el cual se realiza una grabación sincrónica y un análisis espectral de señales.

- Un inconveniente de la sonda según la patente americana nº US 3.256.484 es la necesidad de mantener una
55 cantidad especificada de freón en la sonda. Por otra parte, los materiales aislantes de polímero, debido a corrientes superficiales inevitables, no aseguran unos parámetros de capacitancia y conductancia estables bajo condiciones variables ambientales (humedad, polvo). Esto produce una variación incontrolada de las propiedades metrológicas tanto estáticas como de frecuencia de la sonda.

- 60 La patente americana US6100750 describe un divisor de tensión independiente de la frecuencia, que incluye una disposición en serie de resistencias conectadas entre un terminal de entrada y un terminal de referencia para recibir una señal de entrada. Un terminal de salida para enviar una señal de salida está conectado a una toma de la

disposición en serie. La influencia de la capacitancia parasitaria se elimina mediante unos condensadores de compensación.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

5

El objetivo de la invención es un divisor de tensión adaptativa de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas 1-7.

La determinación de la relación de derivación conmutable para cada realización del divisor de tensión de acuerdo con la invención permite la determinación simultánea de la relación de derivación (no conmutable) clásica del divisor
10 y el empleo de las relaciones dadas en la descripción de la primera realización.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

El divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención en las realizaciones de ejemplo se muestra en
15 el dibujo en el cual:

La figura 1 muestra el primer ejemplo de realización del divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención,

20 La figura 2 muestra el segundo ejemplo de realización del divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención,

La figura 3 muestra la tercera realización de ejemplo del divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención,

La figura 4 muestra el cuarto ejemplo de realización del divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención.

25 La figura 5 muestra el concepto de eliminación del impacto negativo de CMRR en la cuarta realización.

MODOS DE LLEVAR A CABO LA INVENCIÓN

PRIMERA REALIZACIÓN DE LA INVENCIÓN

30

En la figura 1 se muestra el divisor de tensión adaptativa con característica de frecuencia corregida para la medición de altas tensiones de acuerdo con la primera realización de ejemplo. Comprende dos ramas - en la primera rama una impedancia $Q(j\omega)$ y una impedancia $P(j\omega)$, que están conectadas al primer seguidor de tensión cuya salida está conectada, además, al primer convertidor analógico a digital, mientras que en su segunda rama tiene una
35 impedancia $Z(j\omega)$ y una impedancia $R(j\omega)$ conectadas en serie, conectadas al segundo seguidor de tensión cuya salida está conectada a un segundo convertidor analógico a digital. El divisor de tensión adaptativa está provisto, además, de un conmutador Sw que permite desconectar la impedancia $P(j\omega)$ desde el terminal de potencial cero y la conecta a la salida del amplificador cuya salida está conectada al tercer convertidor analógico a digital.

40 El divisor de tensión adaptativa comprende: la impedancia $Q(j\omega)$ un extremo de la cual está conectado a la entrada sin inversión del primer seguidor de tensión W1 que emplea un amplificador operacional con alta resistencia de entrada, además, la impedancia $Q(j\omega)$ está conectada al primer extremo de la impedancia $P(j\omega)$. La salida del primer seguidor de tensión W1 está conectada al primer medidor de tensión, es decir, un convertidor analógico a digital AD1. La impedancia $P(j\omega)$ puede conectarse, por medio del conmutador Sw, en la segunda posición del conmutador
45 SW, al terminal de potencial cero o, en la primera posición del conmutador Sw, a la salida del amplificador W3. Dado que la entrada sin inversión del amplificador W3 también está conectada al terminal de potencial cero, mientras que la entrada con inversión de dicho amplificador W3 está conectada a la salida del amplificador W1, en la primera posición del conmutador Sw, cuya salida del amplificador W3 está conectada a la impedancia $P(j\omega)$, funciona como amplificador inversor cuya salida está conectada al tercer convertidor analógico a digital AD3. En la segunda rama la
50 impedancia $Z(j\omega)$ también está conectada a un conductor del cual se mide la tensión, la impedancia $R(j\omega)$ y a la entrada del segundo seguidor de tensión W2 cuya salida está conectada al segundo convertidor AD2 analógico a digital.

Las tensiones alternas se miden por medio del divisor de tensión de impedancia con impedancias $Z(j\omega)$, $R(j\omega)$ en el
55 que la relación de las impedancias empleadas se calcula a partir de mediciones adicionales de la tensión de salida del amplificador inversor W3. Por lo tanto, no es necesario conocer los valores de ambas impedancias empleadas en el circuito divisor de tensión.

Como consecuencia de la ejecución de la secuencia de mediciones que consiste en cuatro fases se determinan las
60 funciones de transferencia reales del divisor de tensión que comprenden una configuración de impedancias $Z(j\omega)$, $R(j\omega)$ de valores desconocidos.

El proceso de medición contiene las siguientes fases:

Fase 1.

El conmutador Sw se dispone en la posición 2.

El conversor analógico a digital AD1 adquiere el número especificado N de muestras de tensión a partir de las cuales se determina el espectro de frecuencias de la tensión indicado $V(j\omega)$.

El conversor analógico a digital AD2 adquiere el número especificado N de muestras de tensión a partir de las cuales se determina el espectro de frecuencias de la tensión indicada $W(j\omega)$.

Las mediciones anteriores se llevan a cabo de manera simultánea, es decir, se adquieren muestras de tensión en ambos caminos de medición en los mismos instantes de tiempo. Ambos convertidores analógico a digital AD1 y AD2 operan sincrónicamente.

Las tensiones restantes $X(j\omega)$, $Y(j\omega)$, $W0(j\omega)$ y $Y(j\omega)$ son insignificantes en esta fase. N es un parámetro determinado por software por el Sistema de Control Digital y Sincronización.

El número N de muestras adquiridas debe permitir un análisis de Fourier para todos los armónicos presentes en por lo menos 1 ciclo de la señal muestreada. Por ejemplo, la frecuencia de muestreo de señal de 50 kHz permite adquirir 1000 muestras durante un solo ciclo de la señal de 50Hz.

Fase 2

El conmutador Sw se conmuta a la posición 1.

En esta fase solamente es significativo el registro de N muestras de tensión mediante AD2 y la determinación del espectro de frecuencias de tensión indicado $W0(j\omega)$.

Fase 3.

El conmutador Sw se conmuta a la posición 1.

El conversor analógico a digital AD3 adquiere el número especificado N de muestras de tensión a partir del cual se determina el espectro de frecuencias de la tensión indicada $X(j\omega)$.

El conversor analógico a digital AD2 adquiere el número especificado N de muestras de tensión a partir del cual se determina el espectro de frecuencias de tensión $Y(j\omega)$.

Las mediciones se llevan a cabo de manera simultánea, es decir, se adquieren muestras de tensión en ambos caminos de medición en los mismos instantes de tiempo.

Las tensiones restantes $V(j\omega)$, $W(j\omega)$, $W0(j\omega)$, y $Y(j\omega)$ son insignificantes en esta fase.

Fase 4.

El conmutador Sw se conmuta a la posición 2.

En esta fase solamente es significativo el registro de muestras de tensión N mediante AD2 y la determinación del espectro de frecuencias de tensión indicado $Y(j\omega)$.

El resultado de las operaciones numéricas en las muestras de tensiones registradas $X(j\omega)$, $Y(j\omega)$, $V(j\omega)$ y $W(j\omega)$ es la determinación de la constante del divisor como un cociente de la impedancia total de la rama derecha del divisor por su parte de baja tensión $R(j\omega)$, expresado como un número complejo.

Las relaciones finales en el dominio de variable compleja $j\omega$ son:

$$G(j\omega) = \frac{Z(j\omega) + R(j\omega)}{R(j\omega)} = \frac{V(j\omega)}{W(j\omega) + V(j\omega) \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}}$$

La determinación de la transmitancia divisor de tensión se lleva a cabo después del primer ciclo de operación del divisor de tensión.

De este modo, en los ciclos de operación posteriores las propiedades metrológicas del divisor ya están determinadas aunque para su construcción se utilizaron componentes con parámetros indeterminados.

En otros ciclos el sistema sigue, sin interrumpir la continuidad de medición, lentas fluctuaciones de los parámetros de sus componentes que pueden variar debido a las diferentes condiciones climáticas (ambientales) o envejecimiento. La transmitancia se determina, por lo tanto, en el lugar y no en un laboratorio. La única señal de activación necesaria para la identificación es la tensión desconocida medida.

Las transmitancias del divisor de tensión se determinan como números complejos. Esto permite determinar la atenuación y el desfase de cada armónico detectado en la tensión medida $U(j\omega)$.

Utilizando estas transmitancias, la forma de onda de la tensión $U(j\omega)$ se determina a partir de las muestras de tensiones registradas $X(j\omega)$, $Y(j\omega)$, $V(j\omega)$, $V0(j\omega)$, $W(j\omega)$, $W0(j\omega)$.

El valor de la tensión medida se determina en función de la fase de operación del divisor a partir de los resultados de la medición obtenidos a partir del convertidor analógico a digital AD2.

- 5
- | | |
|--------------------------------------|----------------|
| $U(j\omega) = G(j\omega)W(j\omega)$ | para la fase 1 |
| $U(j\omega) = G(j\omega)W0(j\omega)$ | para la fase 2 |
| $U(j\omega) = G(j\omega)Y(j\omega)$ | para la fase 3 |
| $U(j\omega) = G(j\omega)Y0(j\omega)$ | para la fase 4 |

10 El proceso de medición es supervisado por el Sistema de Control Digital y Sincronización que establece la secuencia de mediciones por medio de convertidores analógico a digital AD1, AD2, AD3, altera la configuración del divisor de tensión mediante un posicionamiento adecuado del conmutador Sw, ejecuta mediante software la corrección de la característica de frecuencia del divisor de tensión y realiza cálculos.

15 Durante ciclos sucesivos de operación del divisor de tensión, puede regularse la impedancia conectada en paralelo al convertidor analógico a digital AD2 de modo que la relación de esta rama es un número real para la frecuencia elegida y no un complejo.

SEGUNDA REALIZACIÓN DE LA INVENCION

20 En la figura 2 se muestra la configuración de la segunda realización de ejemplo del divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención.

Por motivos de claridad en la descripción y las figuras, las impedancias se indican en lo sucesivo, respectivamente, por medio de las letras P, Q, etc. en lugar de $P(j\omega)$, $Q(j\omega)$, etc.

25 La impedancia Q está conectada en serie, a través de un conmutador Sq, con una conexión en paralelo de la impedancia T y un convertidor analógico a digital AD1 o con una conexión en paralelo de la impedancia P y el convertidor analógico a digital AD2 mientras que el nodo común de impedancias Q y T está conectado al conmutador Sw. El conmutador Stp proporciona conexión de la impedancia Q al potencial de tierra.

30 En el divisor de tensión adaptativa la señal de medición no pasa por elementos activos, tales como amplificadores operacionales, cuyas propiedades de medición influirían en la calidad de la medición. La señal de medición pasa solamente por elementos pasivos cuyas propiedades dinámicas son identificadas por el sistema de medición. Todas las operaciones en los elementos del divisor se realizan exclusivamente en circuitos de baja tensión con tensiones
35 comprendidas en el rango entre -10 V y +10 V.

Los valores de impedancias P, Q, Z, R y T deben estimarse para garantizar que las señales medidas estén comprendidas dentro del rango permisible de la tensión de entrada de los convertidores analógico a digital.

40 Los convertidores analógico a digital AD1 y AD3 operan en un modo diferencial. Las impedancias de entrada de los convertidores analógico a digital se contabilizan cuando se determinan las impedancias R, P y T, respectivamente.

Las impedancias R y T difieren sustancialmente entre sí.

45 Las fases de operación del divisor de tensión adaptativa:

Fase 1.

50 El conmutador Sq se dispone en la posición 2, el conmutador Stp se encuentra abierto, el conmutador Sw se encuentra en la posición cerrada. Las mediciones de tensión se realizan por medio de unos convertidores analógico a digital AD2 y AD3. En esta fase se determinan las relaciones entre impedancias Q y P, y Z y R.

Fase 2.

55 El conmutador Sq se dispone en la posición 1, el conmutador Stp se encuentra abierto, el conmutador SW se encuentra en la posición cerrada. Las mediciones de tensión se realizan por medio de convertidores analógico a digital AD1 y AD2. En esta fase se determinan las relaciones entre impedancias Q y T, y Z y R.

Fase 3.

60 El conmutador Sq se dispone en la posición 2, el conmutador Stp se encuentra cerrado, el conmutador SW se encuentra en posición abierta. Las mediciones de tensión se realizan por medio de convertidores de analógico a digital AD1, AD2 y AD3. En esta fase puede determinarse la relación

entre impedancias T y P. Teniendo en cuenta las relaciones determinadas en las fases anteriores puede determinarse la relación entre las impedancias P y Q

El valor de la tensión medida puede determinarse a partir de las relaciones proporcionadas en el modo de post-
5 procesamiento durante fases de funcionamiento sucesivas, de manera similar a como se ha descrito en la descripción de la primera realización.

Esta realización es particularmente adecuada para las siguientes aplicaciones:

- 10 - Instrumentos de medida utilizados en sistemas de energía, medidores de electricidad, analizadores de espectro, analizadores de calidad de energía, etc.;
- Sistemas electrónicos de potencia, control de accionamiento eléctrico, control de cojinetes magnéticos centrífugos de alta velocidad;
- 15 - Circuitos de entrada en instrumentos de medición utilizados para la verificación de propiedades dinámicas de equipos eléctricos.

TERCERA REALIZACIÓN DE LA INVENCION

En la figura 3 se muestra la configuración de la tercera realización de ejemplo del divisor de tensión adaptativa de
20 acuerdo con la presente invención.

Esta realización de ejemplo es una extensión de la realización de ejemplo mostrada en la figura 2 con las siguientes modificaciones.

25 El valor de la impedancia T1 debe aproximarse al valor de la impedancia T con una tolerancia de varios tantos por ciento, de manera similar el valor de la impedancia P1 debe aproximarse al valor de la impedancia P con una tolerancia de varios tantos por ciento.

Las fases de operación del divisor de tensión adaptativa:

30 Fase 1.
El conmutador Sq se dispone en la posición 1, el conmutador Sq se encuentra en la posición 2, el conmutador Spt se encuentra abierto, el conmutador Sw se encuentra en posición cerrada. Las mediciones de la tensión se llevan a cabo por medio de convertidores analógico a digital AD2 y AD3.
35 En esta fase se determinan las relaciones entre impedancias Q y P, y Z y R.

 Fase 2.
El conmutador Sa se encuentra en la posición 1, el conmutador Sq se encuentra en la posición 1, el conmutador Spt se encuentra abierto, el conmutador Sw se encuentra en posición cerrado. Las mediciones de la tensión se llevan a cabo por medio de convertidores analógico a digital AD1 y AD2.
40 En esta fase se determinan las relaciones entre impedancias Q y T, y Z y R.

 Fase 3.
El conmutador Sa se encuentra en la posición 2, el conmutador Sq se encuentra en la posición 1, el conmutador Stp se encuentra cerrado, el conmutador Sw se encuentra en posición abierta. Las mediciones de la tensión se realizan por medio de convertidores analógico a digital AD1, AD2 y AD3.
45 En esta fase unos amplificadores Ww y Wi polarizan las impedancias T y P de manera que pueden determinarse las relaciones entre las impedancias T y P. El potencial del punto común entre las impedancias T y P en esta fase se encuentra cerca del potencial de tierra con lo cual se minimizan de este modo los efectos adversos de la CMRR (Relación de Rechazo del Modo Común). Teniendo en cuenta las relaciones determinadas en fases anteriores puede determinarse la relación entre las impedancias P y Q.
50

El valor de la tensión medida puede determinarse a partir de las relaciones proporcionadas en el modo de post-
55 procesamiento durante fases de funcionamiento sucesivas, de manera similar a como se ha descrito en la descripción de la primera realización.

CUARTA REALIZACIÓN DE LA INVENCION

60 En la figura 4 se muestra la configuración de la cuarta realización de ejemplo del divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención.

Esta realización de ejemplo emplea una cadena de divisores de tensión mutuamente cargados con el fin de reducir la tensión aplicada a entradas de instrumentos medición.

El principio de funcionamiento y los cálculos se basan en el teorema de Thevenin.

5

Se supone que la impedancia de entrada de los convertidores analógico a digital AD1, AD2, AD3 se contabilizan en las impedancias $T(j\omega)$, $R(j\omega)$, $P(j\omega)$ respectivamente.

10 Antes de alterar la configuración del divisor de tensión se cierra el conmutador auxiliar S_p para acortar el nodo común de impedancias $Q(j\omega)$, $T(j\omega)$ y $P(j\omega)$ con tierra analógica GND, y se abre tras finalizar el proceso de alteración. La finalidad del conmutador auxiliar S_p es proteger los convertidores analógico a digital contra tensiones demasiado altas que puedan producirse durante el estado indeterminado del conmutador mientras se conmuta entre las posiciones 1 y 2.

15 Los convertidores analógico a digital funcionan sincrónicamente, es decir, las muestras se adquieren en los mismos instantes de tiempo. Los convertidores analógico a digital AD2 siempre realizan una medición, independientemente de la configuración del divisor, también durante alteraciones de la configuración. De este modo, el resultado de una medición de la tensión del conductor de la línea aérea está siempre disponible.

20 Las fases de operación del divisor de tensión adaptativa:

Fase 1.

25 Se mide la tensión desconocida $U_{x1}(j\omega)$ de una línea aérea respecto a tierra analógica GND, y el conmutador S_w se dispone en la posición 1. Se registran tensiones indicadas por $U_{11}(j\omega)$ y $U_{12}(j\omega)$ medidas por los convertidores analógico a digital AD1 y AD2, respectivamente.

$$U_{11}(j\omega) = \frac{X(j\omega)}{X(j\omega) + V(j\omega)} U_{x1}(j\omega) \frac{T(j\omega)}{T(j\omega) + Q(j\omega) + \frac{X(j\omega)V(j\omega)}{X(j\omega) + V(j\omega)}}$$

$$U_{12}(j\omega) = \frac{S(j\omega)}{S(j\omega) + W(j\omega)} U_{x1}(j\omega) \frac{R(j\omega)}{R(j\omega) + Z(j\omega) + \frac{S(j\omega)W(j\omega)}{S(j\omega) + W(j\omega)}}$$

30 Dividiendo cada lado de la primera ecuación por los lados correspondientes de la segunda ecuación y reordenando sus elementos se obtiene:

$$\frac{U_{11}(j\omega)}{U_{12}(j\omega)} = \frac{\frac{T(j\omega)X(j\omega)}{[T(j\omega) + Q(j\omega)][X(j\omega) + V(j\omega)] + X(j\omega)V(j\omega)}}{\frac{R(j\omega)S(j\omega)}{[R(j\omega) + Z(j\omega)][S(j\omega) + W(j\omega)] + S(j\omega)W(j\omega)}}$$

Fase 2.

35 El conmutador S_w se dispone en la posición 2. Se mide otra tensión $U_{x2}(j\omega)$ de una línea aérea. Se registran las tensiones indicadas por $U_{22}(j\omega)$ y $U_{23}(j\omega)$ por medido por los convertidores analógico a digital AD2 y AD3, respectivamente. La ecuación que describe esta configuración del divisor de tensión tiene una estructura idéntica, se toma la impedancia $P(j\omega)$ en lugar de la impedancia $T(j\omega)$.

$$\frac{U_{23}(j\omega)}{U_{22}(j\omega)} = \frac{\frac{P(j\omega)X(j\omega)}{[P(j\omega) + Q(j\omega)][X(j\omega) + V(j\omega)] + X(j\omega)V(j\omega)}}{\frac{R(j\omega)S(j\omega)}{[R(j\omega) + Z(j\omega)][S(j\omega) + W(j\omega)] + S(j\omega)W(j\omega)}}$$

40

Fase 3.

45 El conmutador S_w se dispone en la posición 2. En la línea aérea medida puede producirse una tensión diferente $U_{x3}(j\omega)$. La impedancia $T(j\omega)$ está conectada en serie entre las impedancias $Q(j\omega)$ y $P(j\omega)$. La configuración de estas impedancias es idéntica que para la fase 3 de la segunda realización. Las

tensiones designadas por $U_{31}(j\omega)$, $U_{32}(j\omega)$ y $U_{33}(j\omega)$ se miden mediante convertidores analógico a digital AD1, AD2 y AD3, respectivamente.

Alternativamente, con el fin de eliminar el impacto negativo de la CMRR en la tercera fase, las impedancias conectadas en serie $P(j\omega)$ $T(j\omega)$ se conectan a un devanado secundario de un transformador T_r de poca potencia, que tiene un devanado primario conectado entre el potencial GND y el punto común de las impedancias $Q(j\omega)$, $X(j\omega)$, $V(j\omega)$, tal como se muestra en la figura 5.

$$\frac{U_{33}(j\omega)}{U_{31}(j\omega)} = \frac{P(j\omega)}{T(j\omega)}$$

10

Después de las transformaciones la relación del divisor de tensión se determina de manera única como un número complejo $a(j\omega)$ mediante la ecuación para cada armónico de la tensión registrada.

$$a(j\omega) = \frac{T(j\omega)}{T(j\omega) + Q(j\omega) + \frac{X(j\omega)V(j\omega)}{X(j\omega) + V(j\omega)}} = \frac{\frac{U_{22}(j\omega)U_{11}(j\omega)U_{33}(j\omega)}{U_{23}(j\omega)U_{12}(j\omega)U_{31}(j\omega)} - 1}{\frac{U_{33}(j\omega)}{U_{31}(j\omega)} - 1}}$$

15

A partir de entonces, se determinan las propiedades metrológicas del divisor de tensión para el sitio y las condiciones de funcionamiento dadas.

Tras la terminación del primer ciclo de las fases 1, 2 y 3, estas fases deben repetirse cíclicamente con el fin de detectar posibles cambios en las propiedades de los componentes del divisor de tensión.

RESUMEN

También son posibles otras realizaciones de ejemplo en las que uno de los convertidores analógico a digital mida una tensión en la configuración clásica del divisor de tensión, mientras que otros dos convertidores analógico a digital midan la misma tensión alterna con el fin de determinar correcciones mutuas de sus propias características. Uno de estos convertidores analógico a digital es considerado como un convertidor de referencia.

En la fase posterior, el convertidor de referencia está conectado en paralelo a ese convertidor que se empleó anteriormente como de medición, mientras que el convertidor que se comprobó anteriormente realiza la función de configuración del divisor de tensión clásico.

También es posible implementar una fase de poner automáticamente a cero del par de convertidores analógico a digital que se comparan mientras el otro convertidor opera en la configuración clásica.

35

La característica básica, común para todas las realizaciones de la presente invención, es el hecho de alterar una configuración de las ramas del divisor de tensión por medio de conmutadores (por ejemplo, conmutadores de láminas) controlados por una unidad de control central de supervisión. Esta alteración de la configuración del divisor se lleva a cabo en el lado de baja tensión y debe realizarse cuando el punto de conexión de las impedancias del divisor de tensión se ha cortocircuitado de manera segura a través de un contacto al potencial de tierra analógico GND.

El divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención permite la determinación in situ de sus coeficientes de modelos matemáticos en condiciones de funcionamiento específicas del sitio y durante el funcionamiento del divisor empleando exclusivamente la señal medida como señal de activación para procedimientos de identificación. La determinación de los coeficientes de modelos se lleva a cabo para un componente de corriente continua de la señal medida y para cada componente de corriente alterna con una frecuencia que es detectable mediante un análisis de Fourier de la señal registrada. El procedimiento de identificación se realiza cíclicamente con un período que es un múltiplo entero del período de la señal medida. La incertidumbre del resultado de una medición del valor instantáneo de la tensión depende principalmente de la incertidumbre de la medición del convertidor de analógico a digital. La incertidumbre de la medición de la tensión es totalmente independiente de valores de los componentes del divisor de tensión.

Si los parámetros de los componentes del divisor de tensión varían, por ejemplo, debido a envejecimiento o factores ambientales, sus nuevos valores serán determinados inmediatamente. Estos valores pueden introducirse inmediatamente en un procedimiento numérico, que calcule el resultado de una medición del valor instantáneo de la

tensión. Los errores del divisor de tensión, tanto estáticos como dinámicos (módulo y ángulo) se corrigen computacionalmente de manera inmediata. Todas las operaciones asociadas al procedimiento de medición (alteraciones de la estructura del divisor) se llevan a cabo exclusivamente en circuitos de baja tensión. Esta solución facilita trabajos de mantenimiento periódicos.

5 La verificación periódica de las propiedades metrológicas del divisor de tensión puede reducirse a la comprobación de la calidad de una operación del convertidor analógico a digital. Este procedimiento puede realizarse incluso sin desmontar el sistema de medición desde su lugar de operación. El procedimiento puede realizarse por separado para cada rama del divisor de tensión sin necesidad de desconectar la otra rama.

10 Si lo permiten los reglamentos de salud y seguridad, el mantenimiento del divisor de tensión puede llevarse a cabo sin desconectarlo del circuito en el cual se mide la tensión.

15 La puesta a tierra del punto común entre las impedancias de una rama es suficiente para una ejecución segura de los trabajos de mantenimiento. Durante el trabajo de mantenimiento que se lleva a cabo en una de las ramas del divisor de tensión, la otra rama puede operar. Es evidente que, en esta situación, los procedimientos adaptativos se desactivan y para la corrección de la rama operativa se utilizan sus parámetros determinados anteriormente. La corrección de los resultados registrados también es posible en el modo de post-procesamiento, después de actualizar los coeficientes modelo del divisor.

20 La parte de medición analógica de baja tensión (aproximadamente 10V) del divisor puede alejarse de la parte de alta tensión.

25 Los elementos de impedancia parasitarios de un cable que conecta estos elementos (por ejemplo, un cable coaxial o par trenzado) no afectan al resultado de la medición, ya que estos elementos se determinan en el proceso de auto-identificación y se tienen en cuenta en las relaciones finales.

30 Para divisores de tensión estándar se especifica la longitud máxima admisible de un cable que transmite señales a instrumentos de medida. Para el divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la invención, la longitud de dicha conexión no es crítica.

35 Las propiedades metrológicas del divisor de tensión adaptativa pueden verificarse con precisión por medio de instrumentos de corriente continua muy precisos. Las propiedades metrológicas para señales alternas se determinan computacionalmente. Para la verificación de vatímetros electrodinámicos se emplea un procedimiento similar.

40 Para la construcción del divisor de tensión de acuerdo con la presente invención son suficientes componentes resistivos económicos, capacitivos o inductivos sin necesidad de una determinación precisa de sus parámetros. Sólo se requiere una estimación gruesa de la impedancia del divisor para asegurarse de que su tensión de salida cubra aproximadamente un 80% del rango de tensión de entrada de los convertidores analógico a digital empleados. Cada vez se producen dispositivos de semiconductores integrados, por ejemplo convertidores analógico a digital de 24 bits, más baratos y ofrecen mejores propiedades de medición. Las propiedades metrológicas del divisor de tensión dependen principalmente de la precisión de los convertidores analógico a digital y la similitud de sus características. Por lo tanto, la operación del divisor de tensión incorpora etapas durante las cuales las propiedades metrológicas de los convertidores analógico a digital se verifican cíclicamente respecto al convertidor elegido.

45 El algoritmo del divisor de tensión puede ejecutar simultáneamente un procedimiento de autodiagnóstico. Unos parámetros del divisor de tensión que varíen rápidamente pueden indicar un fallo del sistema. La información sobre dicho evento puede transferirse rápidamente a unos servicios de mantenimiento.

50 Una característica ventajosa adicional del divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención es la fácil conexión de un enlace de comunicación de fibra óptica que permite integrar el divisor con un equipo de control de un sistema de potencia.

55 El divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la presente invención puede emplearse en las siguientes áreas de aplicación:

- Circuitos de tensión de instrumentos utilizados para medir el consumo de energía eléctrica, medir la calidad de la energía y registrar la propagación de perturbaciones en líneas eléctricas;
- Circuitos de tensión de unidades de medición fasorial (PMU) que principalmente requieren la medición de valores de tensión instantánea con error de fase mínima posible;
- Sistema de estabilización de potencia, cuyo propósito es la amortiguación de oscilaciones del sistema de potencia que requiere una medición precisa de valores de tensión instantánea en líneas de transmisión;

5

- Control en tiempo real de cojinetes magnéticos de alta velocidad;
- Sistemas electrónicos de potencia;
- Instrumentos que generan señales de prueba con la relación de cambio de señal definida. El divisor de tensión adaptativa permite la medición de propiedades dinámicas de señales sin necesidad de utilizar costosas e incómodas referencias de medición de resistencia, inductancia o capacitancia.
- El divisor de tensión adaptativa puede utilizarse como alternativa para el puente Schering, empleando sólo un elemento de referencia en el circuito de baja tensión.

REIVINDICACIONES

1. Divisor de tensión adaptativa para la medición de una alta tensión entre un terminal de tierra (GND) y un terminal de medición (U), caracterizado por el hecho de que comprende:

- 5
- una primera rama que comprende un primer conjunto de elementos de impedancia (Q, P) conectados entre el terminal de tierra (GND) y el terminal de medición (U) y conmutable entre una pluralidad de configuraciones, en el que en por lo menos una configuración el primer conjunto de elementos de impedancia (Q, P) forma un circuito divisor de tensión, y unos medidores de tensión (AD1, AD3) configurados para medir la tensión en por lo menos uno de los elementos de impedancia (Q, P) de la primera rama,
 - 10 - una segunda rama que comprende un segundo conjunto de elementos de impedancia (Z, R) que forma un circuito divisor de tensión conectado entre los terminales de tierra (GND) y el terminal de medición (U) y un medidor de tensión (AD2) configurado para medir tensión en uno de los elementos de impedancia (Z, R) de la segunda rama,
 - 15 - un circuito de control (DCSS) configurado para variar consecutivamente la configuración de la primera rama entre la pluralidad de configuraciones de la misma por medio de por lo menos un conmutador (Sw) y para determinar la transmitancia de dicho divisor de tensión adaptativa en base a relaciones entre los valores de los elementos de impedancia (Z, R) de la segunda rama calculados como función de las salidas de los medidores de tensión (AD1, AD2, AD3) medidas para configuraciones consecutivas de la primera rama.
- 20

2. Divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que:

- 25
- la segunda rama comprende un primer elemento de impedancia (Z) conectado en serie a un segundo elemento de impedancia (R) al cual está conectado un seguidor de tensión (W2), estando conectado, además, el seguidor de tensión (W2) a un medidor de tensión (AD2)
 - la primera rama comprende un primer elemento de impedancia (Q) conectado en serie a un segundo elemento de impedancia (P) al cual está conectado un seguidor de tensión (W1), estando conectado, además, el seguidor de tensión (W1) a un medidor de tensión (AD1), y comprendiendo, además, un conmutador (Sw) para conectar de manera conmutable el segundo terminal del elemento de impedancia (P) al terminal de tierra (GND) o a la salida de un amplificador (W3), estando conectada la salida del amplificador (W3) a un medidor de tensión (AD3).
- 30

35 3. Divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que la segunda rama es conmutable entre:

- una primera configuración, en la que el conmutador (Sw) conecta el elemento de impedancia (P) a tierra,
- 40 - una segunda configuración, en la que el conmutador (Sw) conecta el elemento de impedancia (P) a la salida del amplificador (W3).

4. Divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que:

- 45
- la segunda rama comprende un primer elemento de impedancia (Z) conectado en serie a un segundo elemento de impedancia (R) al cual está conectado un medidor de tensión (AD2),
 - la primera rama comprende por lo menos tres impedancias (Q, T, P) que pueden conectarse a través de unos conmutadores (Sq, Stp, Sw) a por lo menos tres configuraciones, en el que la primera configuración comprende una conexión en serie de la primera impedancia (Q) y la segunda impedancia (T), la segunda configuración comprende una conexión en serie de la primera impedancia (Q) y la tercera impedancia (P) y la tercera configuración comprende una conexión en serie de las tres impedancias (Q, T, P).
- 50

5. Divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que la primera rama comprende una primera impedancia (Q) conectada en serie a un primer conmutador selector (Sq) que tiene un terminal selector conmutable entre una segunda impedancia (T) y una tercera impedancia (P) que tiene un terminal común conectado a través de un segundo conmutador (Sw) al terminal de tierra (GND), y que comprende, además, un tercer conmutador (Stp) entre el terminal selector del primer conmutador selector (Sq) y el terminal de tierra (GND).

60 6. Divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que comprende, además, un circuito (Ww, Wi, T1, P1) que puede conectarse en la tercera configuración en paralelo con la conexión en serie de la segunda y la tercera impedancia (T, P) para minimizar los efectos de CMRR.

7. Divisor de tensión adaptativa de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la primera rama y la segunda rama comprenden, cada una, una cadena de divisores de tensión cargados mutuamente.

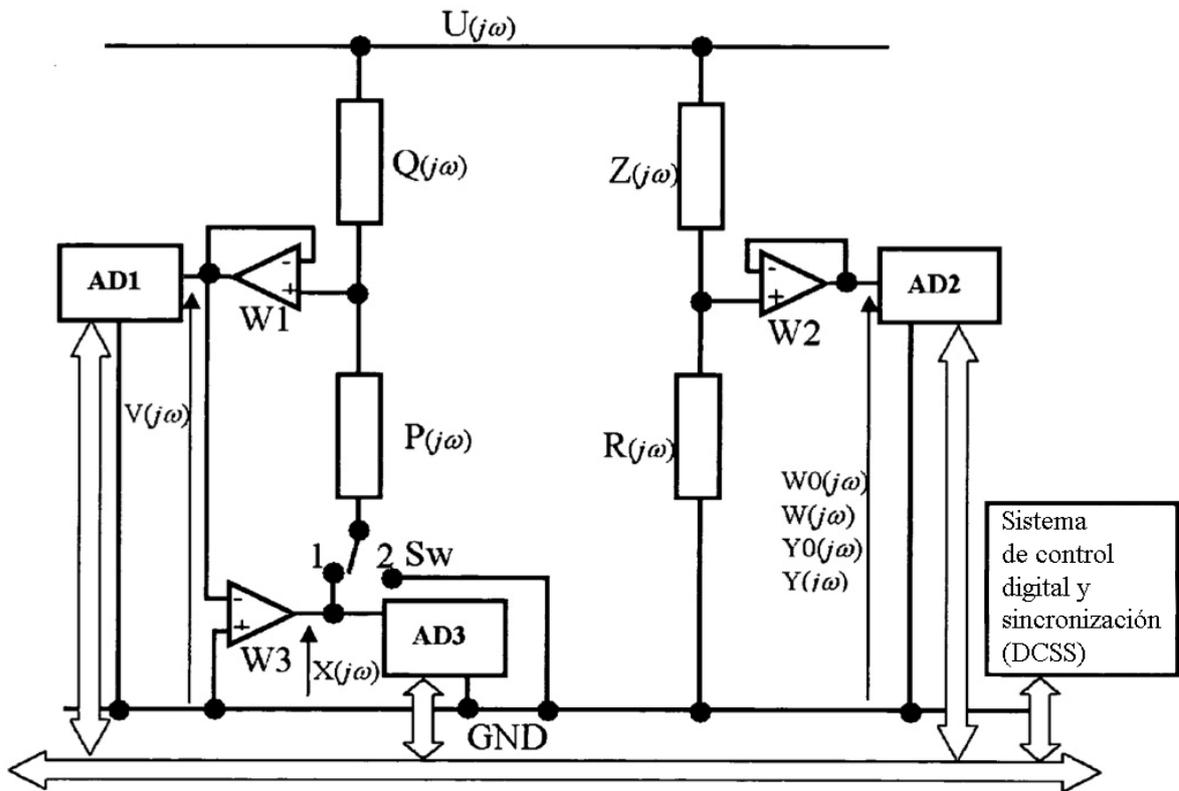


Fig. 1

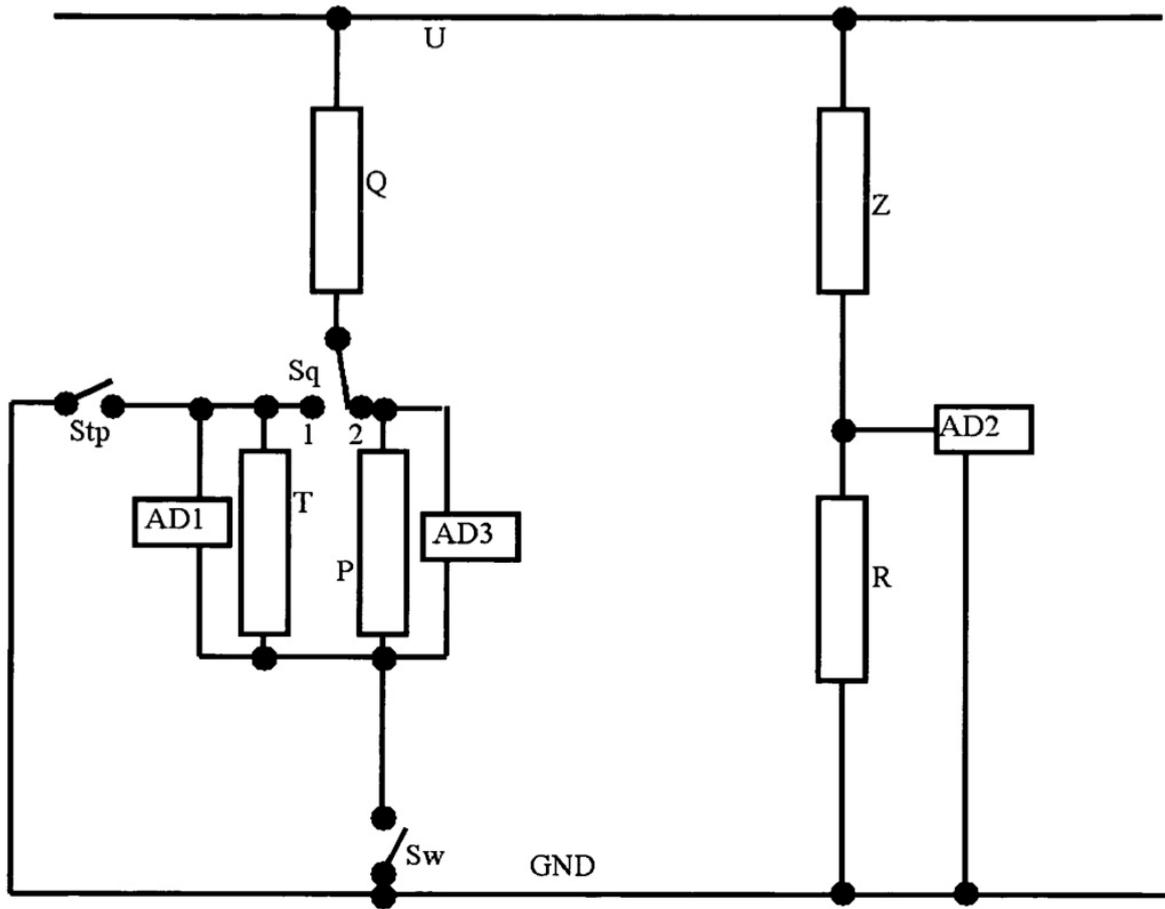


Fig. 2

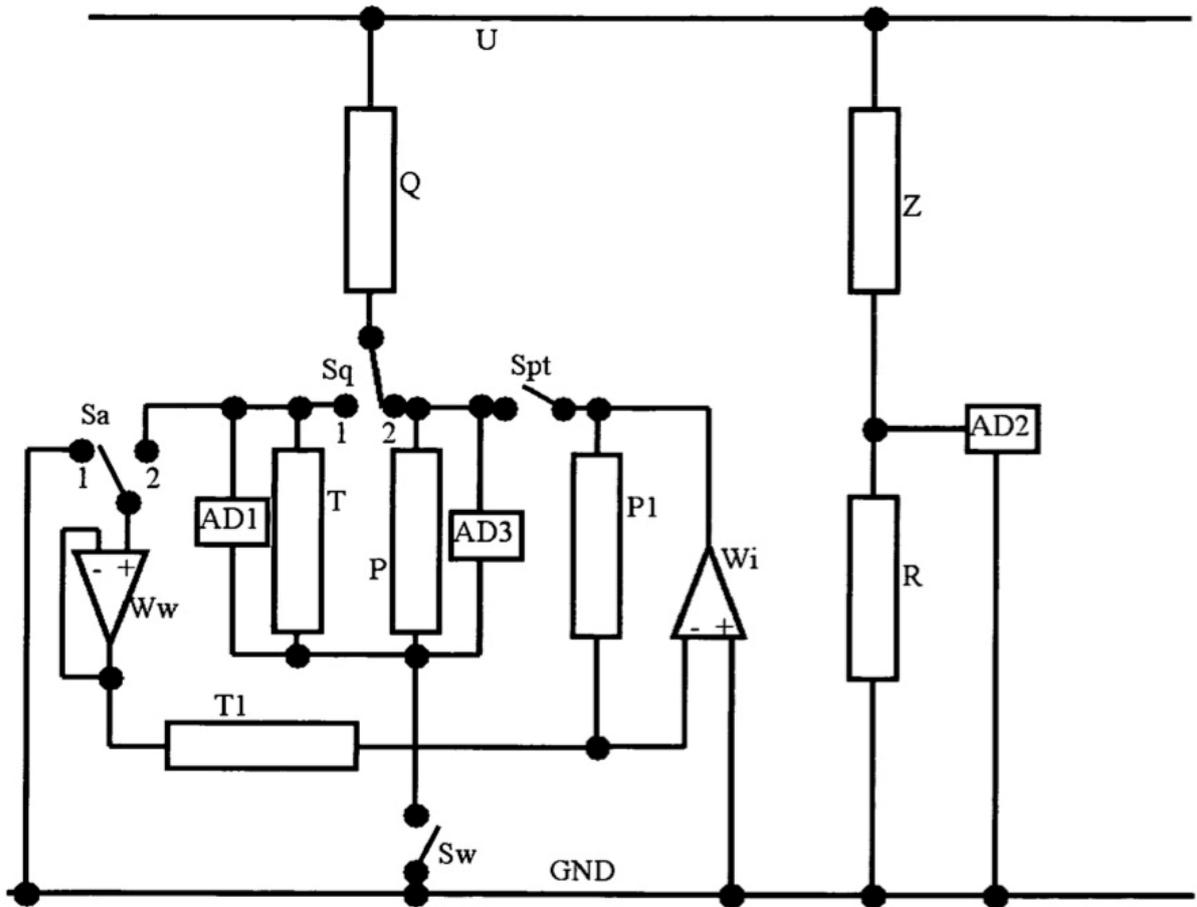


Fig. 3

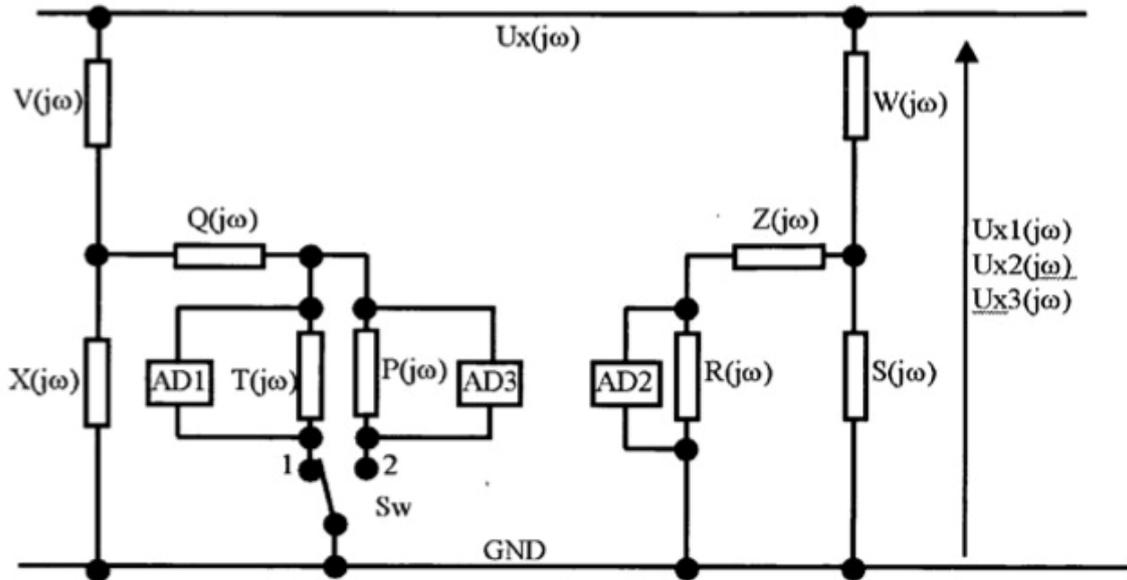


Fig. 4

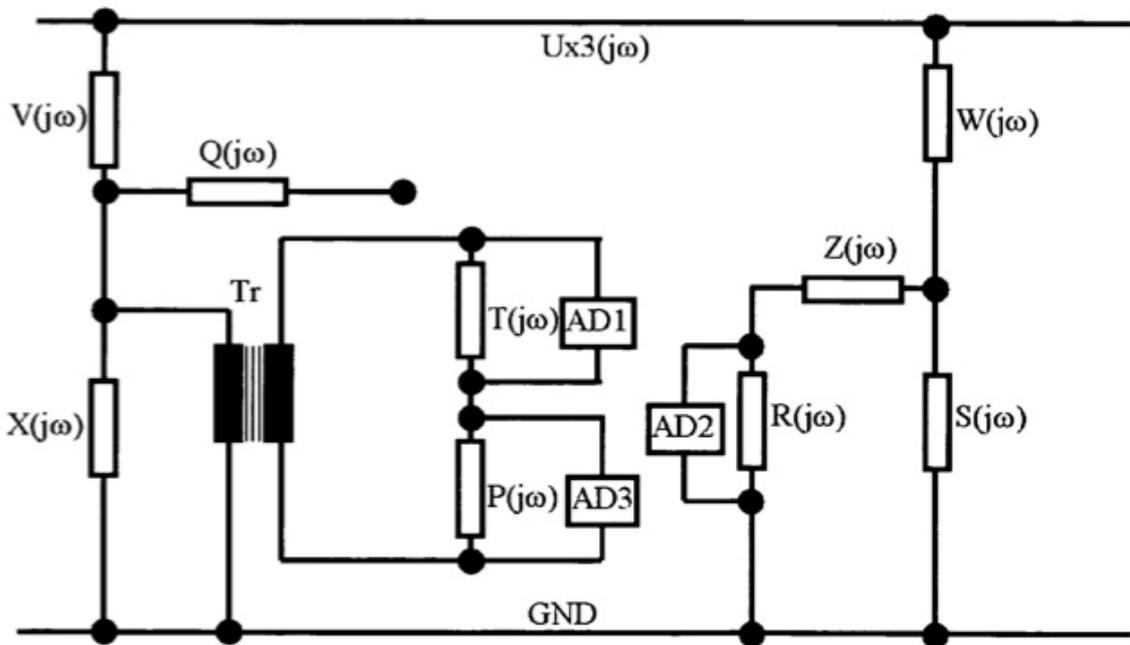


Fig. 5

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 3256484 A
- US 6100750 A
- RU 2399920