

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 687**

51 Int. Cl.:

**G01R 27/20** (2006.01)

**G01R 19/25** (2006.01)

**G01R 21/133** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2015 PCT/FR2015/050792**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.10.2015 WO15150670**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2015 E 15719788 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.06.2017 EP 3126854**

54 Título: **Procedimiento de medición del consumo energético de las ramas de una red eléctrica y equipo de medición que utiliza dicho procedimiento**

30 Prioridad:

**01.04.2014 FR 1452851**

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

**03.11.2017**

73 Titular/es:

**SOCOMEK S.A. (100.0%)  
1, Rue de Westhouse  
67230 Benfeld, FR**

72 Inventor/es:

**CAPOT, MARC y  
KERN, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 640 687 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 de medición del consumo energético de las ramas de una red eléctrica y equipo de medición que utiliza dicho procedimiento.

5

**Campo técnico**

La presente invención se refiere a un procedimiento de medición del consumo energético de las ramas de una red eléctrica, procedimiento en el que se miden las tensiones de dicha red de manera centralizada mediante un dispositivo de medición de las tensiones único unido aguas arriba de las ramas de la red, se mide la corriente en por lo menos una de las ramas de la red mediante un dispositivo de medición de corriente dedicado, se comunican a través de un enlace de comunicación dichas mediciones de tensión a dicho dispositivo de medición de la corriente, y se calcula en dicho dispositivo de medición de corriente por lo menos dicho consumo energético de dicha rama de la red analizada.

15

La presente invención se refiere asimismo a un equipo de medición que utiliza el procedimiento de medición anterior, y que comprende un dispositivo de medición de las tensiones único unido aguas arriba de las ramas de la red a analizar para medir las tensiones de dicha red de manera centralizada, por lo menos un dispositivo de medición de corriente dedicado unido a una de las ramas de la red para medir las corrientes en dicha rama de red, estando dichos dispositivos de medición conectados entre sí por lo menos por un enlace de comunicación que permite la comunicación de dichas mediciones de tensión a dicho dispositivo de medición de la corriente, el cual comprende por lo menos una unidad de tratamiento para calcular dicho consumo energético de dicha rama de la red analizada.

20

**Técnica anterior**

La demanda creciente de reducciones de los consumos eléctricos unida a los problemas de eficacia energética conlleva la colocación casi obligatoria de una instrumentación muy detallada de redes eléctricas con el fin de poder identificar los orígenes de los consumos eléctricos, seguir la evolución de estos consumos, tomar medidas para reducir estos consumos y evaluar el impacto de las acciones de reducción de los consumos. La medición de un consumo de energía eléctrica en una rama de una red eléctrica impone la medición simultánea de las tensiones y de las corrientes que circulan en esta rama. La multiplicación de las tomas de tensión adolece de dos inconvenientes principales:

30

- el volumen y el precio de las protecciones necesarias para las tomas de medición de tensión, y
- el volumen y el precio de los circuitos de medición de tensión en los dispositivos de medición.

35

Estos dos inconvenientes representan un freno importante a la multiplicación de los equipos de análisis de energía.

40

Ahora bien, cuando se limita a un cuadro de distribución eléctrico, se constata que la tensión es más o menos la misma en todos los puntos de este cuadro. En consecuencia, parece interesante compartir o centralizar la toma de tensión aguas arriba para analizar los consumos de todas las ramas de la red distribuidas por este cuadro eléctrico.

45

Incluso aunque la precisión de las mediciones de potencia en una óptica de análisis de distribución de los consumos no necesita ser muy buena, es sin embargo importante que las variaciones de potencia consumida estén correctamente evaluadas, lo cual implica un bajo desfase entre las mediciones de corriente y las mediciones de tensión. Por ejemplo, si se constata que un motor eléctrico está sobredimensionado y funciona con un factor de potencia muy bajo generando un fuerte consumo energético, y que se sustituye por un motor de más baja potencia que funciona con un factor de potencia mucho más elevado, un error de fase demasiado importante sobre las mediciones puede conducir a constatar una disminución de los consumos mucho más baja que la prevista. A título de ejemplo, un error de fase de  $0,3^\circ$  representa un error de medición de potencia del orden del 1% para un factor de potencia de 0,50.

50

La multiplicación de las cargas electrónicas no lineales induce también a la presencia de potencias unidas a los armónicos de la corriente y de la tensión. De este modo, el análisis preciso de estas potencias armónicas impone una calidad de sincronización todavía superior a la exigida para la medición de potencia sobre la red. Un sistema de análisis de los consumos de energía debe por lo tanto presentar un error de fase entre corrientes y tensiones lo más bajo posible, típicamente del orden de  $0,1^\circ$  a 50 Hz, lo cual representa aproximadamente  $5 \mu\text{s}$  a 50 Hz.

55

60

Finalmente, la realización de tal equipo de medición debe ser la más simple posible, en particular a nivel del cableado, así como la asociación correcta entre los circuitos de medición de las tensiones y los circuitos de medición de las corrientes en el ámbito de una red trifásica y de la integración de estas mediciones en unidades de supervisión existentes.

65

La solución utilizada más habitualmente para analizar los consumos de múltiples ramas de una red eléctrica consiste en instalar unos dispositivos de medición que comprenden al mismo tiempo unos circuitos de medición de las tensiones y unos circuitos de medición de corrientes. Estos dispositivos de medición están generalmente unidos entre sí por un enlace de comunicación, unido a su vez a una unidad de supervisión. El inconveniente principal de esta solución es la necesidad de realizar múltiples conexiones destinadas a la medición de las tensiones sobre todas las ramas de la red, debiendo estas conexiones además estar protegidas por unos fusibles por razones de seguridad. Estos fusibles son frecuentemente casi tan voluminosos como el dispositivo de medición en sí. Por otro lado, estos circuitos de medición de las tensiones ocupan un sitio relativamente importante en el dispositivo de medición debido a las distancias de aislamiento a respetar entre las partes conductoras bajo tensión peligrosas, al mismo tiempo entre las polaridades diferentes y con respecto a las partes conductoras accesibles a un usuario.

La publicación US nº 6.330.516 B1 describe una solución que propone una toma de tensión única y un número relativamente importante de sensores de corriente. Este enfoque responde parcialmente a los problemas planteados anteriormente, ya que se realiza sólo una conexión de tensión. Sin embargo, el dispositivo de medición se vuelve relativamente voluminoso debido al gran número de entradas para los sensores de corriente y para la electrónica asociada. Por otro lado, la electrónica de acondicionamiento y de tratamiento debe estar dimensionada para poder tratar el número máximo de sensores de corrientes previstos para ser conectados, lo cual reduce el interés económico de esta solución si no se utilizan todas las vías de medición. Por otro lado, la concentración de los múltiples cables de conexión de los sensores de corriente como único punto hace que el cableado, así como su verificación, resulten muy complicados.

La publicación EP 0 853 364 A2 describe un equipo provisto de un dispositivo de medición de tensión y de múltiples dispositivos de medición de corriente unidos entre sí por un enlace de comunicación. En este equipo, el dispositivo de medición de tensión transmite regularmente las amplitudes y la fase de las tensiones medidas, y los dispositivos de medición de corriente calculan la potencia a partir de la relación  $P=U \times I \times \cos \Phi$ . El inconveniente de este método es que no se toman en cuenta los armónicos.

La publicación EP 1 010 015 B1 describe un equipo del mismo tipo, sin precisar de manera clara qué tipo de información, además de la tensión, se transmite a los dispositivos de medición de corriente.

Estas soluciones existentes no son por lo tanto satisfactorias.

### Descripción de la invención

La presente invención tiene como objetivo paliar estos inconvenientes proponiendo una solución económica, adaptada a las necesidades reales de la red eléctrica a analizar, particularmente simple de realizar gracias a un cableado muy simplificado, que permite una sincronización de las muestras de tensión y de corriente medidas del orden de 1  $\mu$ s, es decir que garantizan una excelente calidad metrológica a pesar de la presencia eventual de armónicos.

Con este objetivo, la invención se refiere a un procedimiento del tipo indicado en el preámbulo, caracterizado por que se procede a las mediciones de las tensiones de dicha red mediante muestreo de las tensiones a una primera frecuencia de muestreo, se procede a las mediciones de la corriente de la rama de la red por muestreo de las corrientes a una segunda frecuencia de muestreo, se compara la diferencia existente entre los instantes de muestreo de las tensiones y de las corrientes y se ajusta por lo menos una frecuencia de muestreo con respecto a la otra para llevar la diferencia existente entre los instantes de muestreo de las tensiones y de las corrientes hacia cero.

En una forma preferida, el dispositivo de medición de las tensiones transmite las muestras de tensión sobre el enlace de comunicación en un instante de muestreo  $T_{v,n}$  utilizando una trama de informaciones de duración D, el dispositivo de medición de la corriente recibe estas muestras de tensión y detecta el instante del final de recepción de dicha trama de informaciones  $T_{rec,c}$ , y después calcula el instante de muestreo  $T_{v,n}$  de las muestras de tensión y la diferencia  $\Delta T_n$  entre el instante de muestreo de las corrientes  $T_{i,n}$  y el instante de muestreo de las tensiones  $T_{v,n}$  para ajustar su propia frecuencia de muestreo con el fin de llevar esta diferencia hacia 0 aumentando la frecuencia de muestreo si la diferencia  $\Delta T_n$  es positiva y disminuyéndola si la diferencia  $\Delta T_n$  es negativa.

Ventajosamente, el dispositivo de medición de las tensiones transmite las muestras de tensión sobre el enlace de comunicación con un retraso fijo R con respecto al instante de muestreo de las tensiones  $T_{v,n}$  utilizando una trama de informaciones de duración conocida D. En este caso, el dispositivo de medición de corriente calcula el instante de muestreo de las tensiones  $T_{v,n}$  a partir de los datos conocidos D y R según la fórmula:  $T_{v,n} = T_{rec,n} - D - R$ , y calcula la diferencia  $\Delta T_n$  entre el instante de muestreo de las corrientes  $T_{i,n}$  y el instante de muestreo de las tensiones  $T_{v,n}$  según la fórmula  $\Delta T_n = T_{i,n} - T_{v,n} = T_{rec,n} - D - R$ .

Se puede utilizar el enlace de comunicación para transmitir de dicho dispositivo de medición de las tensiones a

dicho dispositivo de medición de corriente unas informaciones adicionales seleccionadas de entre el grupo que comprende el tipo de red monofásica o trifásica, con o sin neutro, la tensión nominal de la red, la frecuencia nominal de la red, la fecha y la hora, unos topes de sincronización de las mediciones de valores eficaces y de potencia, unos topes de captura de eventos.

5 Según el caso, se pueden transmitir las muestras de las mediciones de tensión por paquete de N muestras. Se puede también seleccionar una frecuencia de muestreo, unas mediciones de tensión fija o dependiente de la frecuencia de la red eléctrica analizada.

10 Preferentemente, se transmiten las muestras de las mediciones de tensión en forma digital en un cable conectado al dispositivo de medición de la corriente, comprendiendo este cable de red por lo menos un primer par de hilos conductores denominados par de comunicación unidireccional.

15 Se puede utilizar ventajosamente el mismo cable de red para llevar una alimentación eléctrica a dichos dispositivos de medición en un segundo par de hilos conductores dedicado denominado par de alimentación.

Se puede utilizar también el mismo cable de red para conectar los dispositivos de medición a una unidad de vigilancia mediante un tercer par de hilos conductores dedicado denominado par de comunicación bidireccional.

20 En una primera aplicación, se pueden medir las tensiones de la red eléctrica con respecto a un potencial de referencia constituido por la tierra de dicha red. En este caso, se puede inyectar una corriente de falla a tierra en la red analizada, se puede medir dicha corriente de falla inyectada y se puede así determinar la impedancia de fuga a tierra de por lo menos unas ramas de dicha red analizada.

25 En una segunda aplicación, el dispositivo de medición de la corriente puede proporcionar una señal auxiliar representativa de la tensión del conductor sobre el cual se mide la corriente, siendo dicha señal de tensión auxiliar en este caso utilizada para poner en correspondencia la medición de tensión con la medición de corriente efectuada en un mismo conductor de dicha red eléctrica y paliar automáticamente los errores de conexión.

30 En una tercera aplicación, el dispositivo de medición de la corriente puede también medir la tensión local en dicha rama de la red para calcular localmente por lo menos dicho consumo de energía y compararlo con dicho consumo de energía calculada a partir de las mediciones de tensión centralizadas que permiten evaluar así las pérdidas energéticas en dicha red.

35 En una cuarta aplicación, se puede utilizar por lo menos otro dispositivo de medición de las tensiones conectado a otra red eléctrica a analizar. En este caso, se transmite a uno de los dispositivos de medición de las tensiones, las muestras de medición de tensión obtenidas por el otro dispositivo de medición de las tensiones sobre dicho enlace de comunicación, y se compara en amplitud y en fase las dos redes eléctricas analizadas para conectarlas juntas cuando dichas diferencias son suficientemente bajas.

40 Cuando las dos redes eléctricas se conectan juntas, cualquiera de los dispositivos de medición de las tensiones toma el control del enlace de comunicación y se utiliza para medir las tensiones de dicha red correspondiente.

45 También con este objetivo, la invención se refiere a un equipo del tipo indicado en el preámbulo, caracterizado por que el dispositivo de medición de las tensiones comprende unos medios para efectuar las mediciones de tensión por muestreo de las tensiones a una primera frecuencia de muestreo, por que el dispositivo de medición de la corriente comprende unos medios para efectuar las mediciones de la corriente por muestreo de corrientes a una segunda frecuencia de muestreo, unos medios para comparar la diferencia existente entre los instantes de muestreo de las tensiones y de las corrientes, y por que dichos dispositivos de medición de las tensiones y de la corriente comprenden unos medios para ajustar por lo menos una frecuencia de muestreo con respecto al otro para llevar la diferencia existente entre los instantes de muestreo de las tensiones y de las corrientes hacia cero.

50 En una forma preferida de la invención, el dispositivo de medición de las tensiones comprende por lo menos un oscilador ajustable dispuesto para definir la frecuencia de muestreo de las mediciones de tensión y por lo menos una unidad de tratamiento dispuesta para tratar por lo menos dichas muestras de tensión.

55 El dispositivo de medición de las tensiones puede comprender además un módulo de frecuencia dispuesto para medir la frecuencia de la red analizada, estando la unidad de tratamiento dispuesta para tratar también las mediciones de frecuencia de la red. En este caso, el oscilador ajustable puede depender de la unidad de tratamiento en función de la frecuencia de la red.

60 En la forma de realización preferida, el dispositivo de medición de la corriente comprende por lo menos un oscilador ajustable dispuesto para definir dicha frecuencia de muestreo de las mediciones de corriente y por lo menos una unidad de tratamiento dispuesta para calcular por lo menos la energía consumida por dicha rama de la red a partir de las muestras de tensión recibidas por el enlace de comunicación y de las muestras de corriente medidas en dicha rama.

65

5 El dispositivo de medición de la corriente puede comprender además un módulo de desfasado dispuesto para medir la diferencia existente entre los instantes de muestreo de las tensiones y los instantes de muestreo de las corrientes y para el servo-control del oscilador ajustable con el fin de ajustar la frecuencia de muestreo de las mediciones de corriente para sincronizarla sobre la frecuencia de muestreo de las mediciones de tensión.

10 El enlace de comunicación puede estar constituido por lo menos por un par de hilos conductores, denominados par de comunicación unidireccional, previstos en un cable de red para transmitir las muestras de tensión en forma digital, estando este cable de red dispuesto para conectar dicho dispositivo de medición de las tensiones centralizado a dicho dispositivo de medición de la corriente dedicado por medio de conectores adaptados.

15 Como complemento, el cable de red puede comprender un segundo par de hilos conductores dedicado, denominado par de alimentación, dispuesto para proporcionar una alimentación eléctrica a dichos dispositivos de medición.

El cable de red puede también comprender un tercer par de hilos conductores dedicado, denominado par de comunicación bidireccional dispuesto para conectar dichos dispositivos de medición a una unidad de vigilancia.

20 En una primera variante de realización, el equipo de medición puede comprender unos medios para inyectar una corriente de falla a tierra en la red analizada. En este caso, el dispositivo de medición de la corriente comprende un sensor dispuesto para medir dicha corriente de falla a tierra y la unidad de tratamiento está dispuesta para determinar la impedancia de fuga a tierra de dicha rama de dicha red analizada a partir de las muestras de tensión recibidas por el par de comunicación unidireccional y de las muestras de corriente de fuga a tierra medidas localmente.

25 En una segunda variante de realización, el dispositivo de medición de la corriente puede comprender un sensor de tensión auxiliar dispuesto para medir una señal auxiliar representativa de la tensión del conductor sobre el cual dicho dispositivo mide la corriente, comprendiendo la unidad de tratamiento entonces un módulo de correlación dispuesto para poner en correspondencia la medición de tensión con la medición de corriente efectuada en un mismo conductor de dicha red eléctrica.

30 En una tercera variante de realización, el dispositivo de medición de la corriente puede comprender además un sensor de tensión para medir la tensión local en dicha rama de la red analizada, estando la unidad de tratamiento en este caso dispuesta para calcular localmente por lo menos dicho consumo de energía y compararlo con dicho consumo de energía calculado a partir de las mediciones de tensión centralizadas para evaluar las pérdidas energéticas en los cables de dicha red.

35 En una cuarta variante de realización, el equipo de medición puede comprender por lo menos otro dispositivo de medición de las tensiones conectado a otra red eléctrica a analizar, siendo este otro dispositivo de medición de las tensiones conectado a dicho dispositivo de medición de las tensiones de la red principal por dicho enlace de comunicación.

40 De manera ventajosa, el equipo de medición comprende un número N de dispositivos de medición de corriente dedicados que corresponde al número N de ramas de la red eléctrica a analizar, estando todos los dispositivos de corriente conectados a dicho dispositivo de medición centralizado de las tensiones.

45 Este equipo de medición comprende ventajosamente por lo menos un dispositivo de terminación de línea dispuesto al final de dicho par de comunicación unidireccional, y por lo menos un dispositivo de conexión dispuesto aguas arriba de las ramas de la red eléctrica a analizar y dispuesto para hacer la interfaz eléctrica entre dichos dispositivos de medición por un lado y por lo menos una alimentación eléctrica y una unidad de vigilancia por otro lado.

**Breve descripción de los dibujos**

55 La presente invención y sus ventajas aparecerán mejor en la descripción siguiente de un modo de realización dado a título de ejemplo no limitativo, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 60 - la figura 1 representa esquemáticamente una vista de conjunto de un equipo de medición según la invención para una red eléctrica que comprende varias ramas,
- la figura 2 es un diagrama que muestra la sincronización del muestreo de las mediciones de tensión y de corriente en una escala de tiempo,
- 65 - la figura 3 es una vista esquemática que muestra los diferentes enlaces de alimentación y de comunicación entre un dispositivo de medición de las tensiones y un dispositivo de medición de la corriente que entra en el equipo de medición de la figura 1,

- la figura 4 es un esquema de principio del dispositivo de medición de las tensiones y de dos dispositivos de medición de la corriente que entran en el equipo de medición de la figura 1,
- la figura 5 es un esquema de principio de un dispositivo de conexión que entra en el equipo de medición de la figura 1,
- las figuras 6A y 6B ilustran dos ejemplos de realización del equipo de medición de la figura 1 respectivamente en una red trifásica y en una red monofásica, y
- la figura 7 es un diagrama de las señales de tensión de la red trifásica de la figura 6A y de la señal de tensión auxiliar medida por un dispositivo de medición de la corriente provisto de un módulo de correlación que busca automáticamente la vía de tensión que corresponde lo mejor posible a la tensión auxiliar medida.

### Ilustraciones de la invención y mejor manera de realizarla

En referencia a las figuras y más particularmente a la figura 1, el equipo de medición 1 según la invención comprende cuatro componentes principales:

- un dispositivo de medición de las tensiones 2 de una red eléctrica 10,
- uno o varios dispositivos de medición de la corriente 3 de las ramas 11-N de esta red 10, alimentando cada rama por lo menos una carga (no representada),
- un dispositivo de conexión 4 que asegura la conexión del equipo de medición 1 con su entorno exterior, tal como, por ejemplo, una alimentación eléctrica 8, un bus de comunicación 7, etc., y
- un dispositivo de terminación de línea 5 que permite garantizar la calidad de la transmisión de las señales asegurando la terminación de las líneas de comunicación.

Este equipo de medición 1 puede pertenecer o no a un sistema más completo que comprende en particular una unidad de vigilancia S y uno o varios aparatos A conectados al bus de comunicación 7. Este bus de comunicación 7 permite transportar unas informaciones en forma de señales digitales según un protocolo de comunicación definido y normalizado. Así, puede estar constituido por un bus de comunicación estándar de tipo RS485 y por un protocolo de comunicación de tipo JBUS/MODBUS o similar, y puede estar unido directamente a la unidad de vigilancia S o a través de una red de comunicación RC de tipo Internet o similar. Los demás aparatos A conectados deben ser compatibles con el protocolo de comunicación utilizado. Pueden estar constituidos, a título de ejemplo no limitativo, por un contador de energía, por una central de medición de los parámetros de la red eléctrica, por módulos de entrada y de salida analógicas y/o digitales que aseguran la interfaz con unos sensores, unos dispositivos mecánicos, unos aparatos de corte o similares, por sensores de temperatura, por sensores de presión, así como cualquier otro aparato comúnmente conectado a un bus de terreno, etc.

Ventajosamente, pero no exclusivamente, los diferentes dispositivos 2-5 están conectados entre sí, en serie, por una cadena de cables de red 6. Estos cables de red 6 pueden estar constituidos por un cable de red estándar, normalizado, típicamente un cable de red UTP categoría 3, compuesto por cuatro pares trenzados, formados cada uno por dos hilos conductores enrollados en hélice, uno alrededor del otro. Por supuesto, puede convenir cualquier otro tipo de cable de red. Cada dispositivo 2-5 dispone, en consecuencia, de dos conectores de ocho posiciones y ocho contactos, un conector de entrada 60 y un conector de salida 61, de acuerdo con las figuras 3 y 5. Estos conectores pueden ser unos conectores estándares, normalizados, denominados comúnmente conectores RJ45, que permiten una conexión simple, rápida, en serie de los diferentes dispositivos entre sí, siendo este tipo de conexión denominada comúnmente "daisy chain". Por supuesto, puede convenir cualquier otro tipo de conectores compatibles con el cable de red.

Como se ha evocado anteriormente, puede convenir cualquier otro tipo de cables de red 6 en la hipótesis en la que el número de pares trenzados es por lo menos igual a dos. En efecto, el interés de estos cables de red 6 es poder transportar varios tipos de señales en un mismo cable para simplificar al máximo el cableado. El equipo de medición 1 necesita, en consecuencia, por lo menos:

- un primer par trenzado para asegurar la alimentación eléctrica de los dispositivos 2-5 a partir de la red, en baja tensión, por ejemplo 24V, denominada a continuación "par de alimentación 62", y
- un segundo par trenzado para asegurar la comunicación unidireccional de las señales de tensión del dispositivo de medición de las tensiones 2 hacia los dispositivos de medición de la corriente 3, denominado a continuación "par de comunicación unidireccional 63".

Se puede completar, como se representa en las figuras, por un tercer par trenzado para asegurar la comunicación bidireccional entre los dispositivos 2-5 del equipo de medición 1 y la unidad de vigilancia S denominado a continuación "par de comunicación bidireccional 64".

5

En el caso ventajoso descrito anteriormente de la utilización de un cable de red 6 de cuatro pares trenzados, el cuarto par trenzado (no representado en las figuras) puede ser utilizado en paralelo al par de alimentación 62 para duplicar la potencia de la alimentación eléctrica.

10

Para permitir que los diferentes dispositivos 2-5 se comuniquen entre sí a través de esta conexión de red, cada uno está equipado con conectores 60, 61 de tipo RJ45 adaptados a los mismos conectores previstos en los extremos de los cables de red 6. Comprenden además unos medios de transmisión de datos en forma de emisores 65 y de receptores 66 asociados al par de comunicación unidireccional 63, y de emisores/receptores 71 asociados con el par de comunicación bidireccional 64. La figura 3 representa un dispositivo de medición de las tensiones 2 y un dispositivo de medición de corriente 3 conectados el uno al otro por un cable de red 6 a través de los conectores 60, 61. Los cables de red 6 representados en las figuras se ilustran con tres pares trenzados 62, 63, 64. El dispositivo de medición de las tensiones 2 comprende una alimentación eléctrica 8 desde el par de alimentación 62, un emisor 65 conectado al par de comunicación unidireccional 63 para transmitir las señales de tensiones medidas a los dispositivos de medición de la corriente 3, y un emisor/receptor 71 conectado al par de comunicación bidireccional 64. Y el dispositivo de medición de la corriente 3 comprende una alimentación eléctrica 8 desde el par de alimentación 62, un receptor 66 conectado al par de comunicación unidireccional 63 para recibir las señales de tensiones medidas del dispositivo de medición de las tensiones 2, y un emisor/receptor 71 conectado al par de comunicación bidireccional 64. La figura 5 representa el dispositivo de conexión 4 provisto de un conector 80 conectado a una alimentación eléctrica 8 de la red para alimentar el par de alimentación 62, de un conector 70 conectado al bus de comunicación 7 para unir el par de comunicación bidireccional 64 por medio de dos emisores/receptores 71 separados por un aislamiento galvánico 72. El dispositivo de terminación de línea 5 no está representado como tal ya que está constituido por un elemento conocido y estándar formado por una combinación de resistencias conectadas permanentemente a los pares de comunicación 63 y 64. Este dispositivo de terminación de línea 5 tiene como función adaptar la impedancia de cada uno de los dos pares de comunicación 63 y 64 con el fin de evitar las reflexiones sobre los cables de red 6 y asegurar así una buena calidad de transmisión de la señal.

15

20

25

30

La figura 4 representa el principio de funcionamiento de los dispositivos de medición 2 y 3 en forma de esquemas de bloques.

35

El dispositivo de medición de las tensiones 2 comprende en particular:

40

- un convertidor analógico/digital 21 que transforma los valores analógicos de las tensiones medidas por unos sensores de tensión, representados por unos puntos en las figuras 6A y 6B, en señales digitales para comunicarlas a una unidad de tratamiento 23,

45

- un módulo de medición de frecuencia 22 que mide la frecuencia de las tensiones medidas para comunicarlas a la unidad de tratamiento 23,

50

- la unidad de tratamiento 23 que trata las señales de las tensiones medidas y de la frecuencia medida para comunicar unas señales tratadas sobre el par de comunicación unidireccional 63 de un cable de red 6 por un emisor 20, y

- un oscilador ajustable 24 que proporciona la frecuencia de muestreo al convertidor analógico/digital 21 y cuya frecuencia de muestreo es ajustada por la unidad de tratamiento 23 en función de la medición de la frecuencia de red proporcionada por el módulo de medición de frecuencia 22.

Los dispositivos de medición de la corriente 3 comprenden cada uno, en particular:

55

- un convertidor analógico/digital 31 que transforma los valores analógicos de las corrientes medidas por unos sensores de corriente, representados por unos círculos en las figuras 6A y 6B, en señales digitales para comunicarlas a una unidad de tratamiento 33.

60

- la unidad de tratamiento 33 que trata las señales de las corrientes medidas con las señales de tensiones y de frecuencia recibidas a través del par de comunicación unidireccional 63 del cable de red 6 por un receptor 30, para calcular unos valores de medición explotables por un operario y/o una unidad de vigilancia S, tales como unos valores de potencia, de energía consumida, de factor de potencia, un análisis armónico de las corrientes, etc.

65

- un oscilador ajustable 34 que proporciona la frecuencia de muestreo al convertidor analógico/digital 31 y cuya frecuencia de muestreo se ajusta mediante la unidad de tratamiento 33 en función de la medición de

desfasado proporcionada por una unidad de medición de desfasado 35, y

- la unidad de medición del desfasado 35 que recibe unos datos del oscilador 34 y del receptor 30 para comunicar con la unidad de tratamiento 33 y modificar, llegado el caso, la frecuencia de muestreo de las mediciones de la corriente.

En referencia más particularmente a las figuras 1, 6A y 6B, el dispositivo de medición de las tensiones 2 está instalado aguas arriba de las ramas 11, 12, 13, N de la red eléctrica 10 que puede ser polifásica (figura 6A) o monofásica (figura 6B). Efectúa la medición de las tensiones V1, V2, V3, VN sobre los conductores de fase P1, P2, P3, y sobre el conductor neutro N si existe, de la red eléctrica 10, mediante cualquier sensor de tensión existente que permite proporcionar una señal representativa de la tensión medida, pudiendo este sensor de tensión ser con o sin contacto, tal como unas tomas de tensión directas, de sensores capacitivos, unos sensores de campo eléctrico, o similar.

Los dispositivos de medición de corriente 3 están instalados cada uno en una de las ramas 11, 12, 13, N de la red eléctrica 10 y efectúan la medición de la corriente I sobre cada conductor de fase P1, P2, P3 de la red eléctrica 10. La medición de las corrientes se puede efectuar mediante cualquier sensor de corriente existente que permita suministrar una señal representativa de la corriente medida, tal como por ejemplo unos transformadores de corriente como se ilustran en las figuras 6A y 6B, unos bucles de Rogowski, unos sensores a base de medición de campo magnético tal como el efecto Hall o unos magnetómetros de tipo fluxgate o similar.

Las mediciones de las tensiones y de las corrientes se efectúan periódicamente por muestreo para transmitir unas tramas de informaciones explotables digitalmente sobre el par de comunicación unidireccional 63 de los cables de red 6. La figura 2 permite ilustrar este procedimiento de medición que tiene como objetivo alcanzar un grado de sincronización entre las muestras de tensión y las muestras de corriente muy elevado con respecto a los sistemas conocidos. La línea superior del diagrama representa la actividad del dispositivo de medición de las tensiones 2, la línea inferior del diagrama representa la actividad de los dispositivos de medición de la corriente 3 y la línea mediana del diagrama representa las muestras de tensión transportadas sobre el par de comunicación unidireccional 63.

La frecuencia de muestreo de las mediciones de tensión se determina mediante el oscilador 24 y es ventajosamente, pero no necesariamente, dependiente de la frecuencia de la red eléctrica 10 a analizar, por ejemplo igual a 50 Hz. Esta dependencia es particularmente ventajosa si se necesita efectuar simultáneamente un análisis armónico de las tensiones y de las corrientes medidas, de ahí el interés del módulo de frecuencia 22 que comunica la medición de la frecuencia de la red a la unidad de tratamiento 23, que le permite ajustar la frecuencia de muestreo actuando sobre el oscilador 24.

El dispositivo de medición de las tensiones 2 muestrea las tensiones en el instante  $T_{v,n}$ , y emite, con un retraso de emisión fijo R con respecto al instante de muestreo de las tensiones  $T_{v,n}$ , una trama de informaciones de una duración D sobre el par de comunicación unidireccional 63 de los cables de red 6 que unen el dispositivo de medición de las tensiones 2 a los dispositivos de medición de corriente 3 a través del emisor 20 y los receptores 30.

Simultáneamente, los dispositivos de medición de corriente 3 muestrean las corrientes en el instante  $T_{i,n}$ , y reciben todos al mismo tiempo, en retraso después de la propagación en los cables de red 6, la trama de informaciones del dispositivo de medición de las tensiones 2. Disponen también de medios para determinar el instante de recepción  $T_{rec,n}$  de la trama de informaciones de las muestras de tensión en la unidad de tratamiento 33.

Preferentemente, pero no exclusivamente, el instante de recepción  $T_{rec,n}$  de la trama de datos de las muestras de tensión corresponde al último cambio de estado de la trama de informaciones, es decir el final de su transmisión. Conociendo la duración D de la trama de informaciones que es generalmente un dato conocido por los dispositivos de medición de corriente 3, los dispositivos de medición de corriente 3 calculan la diferencia  $\Delta T_n$  entre el instante de muestreo de las tensiones  $T_{v,n}$  y el instante de muestreo  $T_{i,n}$  correspondiente para las corrientes. Esta diferencia  $\Delta T_n$  se evalúa mediante:

$$\Delta T_n = T_{i,n} - T_{v,n} = T_{i,n} - T_{rec,n} + R + D$$

Si la diferencia  $\Delta T_n$  es positiva, como se ilustra en la figura 2, esto significa que el muestreo de las corrientes está retardado con respecto al muestreo de tensiones y que se necesita por lo tanto acelerar la frecuencia de muestreo de las corrientes para disminuir este retardo. A la inversa, si la diferencia  $\Delta T_n$  es negativa, se necesita disminuir la frecuencia de muestreo de las corrientes. De manera preferida, el ajuste de la frecuencia de muestreo se calcula mediante un corrector de tipo proporcional/integral integrado a la unidad de tratamiento 33 en función de los datos proporcionados por el módulo de cambio de fase 35. La unidad de tratamiento 33 controla, en consecuencia, el oscilador ajustable 34 que oscilará a la frecuencia de muestreo impuesta por la unidad de tratamiento 33.

Para asegurar que la duración  $D$  entre el principio y el final de la trama de informaciones de las muestras de tensión es fija, la trama de informaciones puede terminarse siempre por un bit de fin de mensaje. Este método está particularmente adaptado a la utilización de microcontroladores modernos que incluyen unos receptores en serie asíncronos rápidos, denominados generalmente UART, unos sistemas de transferencias directas de datos hacia la memoria, denominados generalmente DMA, y unas unidades de medición de duración. Se puede conocer la duración  $D$  de la trama de informaciones incluyendo esta información en la trama en sí, permitiendo así unas tramas de duración variable. Sin embargo, en este caso, los tratamientos de las informaciones en las unidades de tratamiento 33 son entonces más complejos y pueden conducir a la utilización de microcontroladores más potentes de lo necesario.

Cada dispositivo de medición de corriente 3 efectúa entonces, a partir de las muestras de tensiones recibidas del dispositivo de medición de las tensiones 2 por el par de comunicación unidireccional 63 y de las muestras de corriente obtenidas localmente en unos instantes casi idénticos, los mismos cálculos de potencia, de energía, etc. que si las muestras de corriente y de tensión fuesen todas obtenidas de manera sincrónica localmente por un dispositivo de medición combinado clásico. Así, desde el punto de vista de una unidad de supervisión, nada distingue el equipo de medición 1 de un dispositivo de medición combinado clásico que mide directamente las tensiones y las corrientes sobre cada fase de la red.

Los intereses de una estructura de este tipo son múltiples:

- la potencia de cálculo necesaria se reparte en función del número real de circuitos de corriente a tratar,
- los dispositivos de medición de corriente 3 pueden estar posicionados lo más cerca posible de la carga a analizar, reduciendo así las longitudes de cableado entre el sensor y el dispositivo de medición, lo cual asegura una mejor inmunidad contra las perturbaciones electromagnéticas, y
- la realización y el control del cableado se simplifican en gran medida.

La frecuencia de muestreo está por supuesto adaptada a la banda pasante del análisis armónico, siendo ésta generalmente del orden de 2 a 3 kHz. A título indicativo, el intervalo de frecuencia de muestreo puede estar comprendido entre 1 kHz y 20 kHz, con una precisión de regulación  $\Delta T_n$  del orden de 1  $\mu$ s. Una frecuencia de muestreo del orden de 5 kHz a 10 kHz es razonable. En aplicaciones más básicas, se puede considerar una frecuencia de muestreo del orden de 2 kHz, que permite incluir los armónicos hasta aproximadamente 750 Hz.

Para conservar una buena precisión de medición, se necesita transmitir las muestras de tensión con una resolución suficiente. Con el fin de simplificar los tratamientos, se selecciona en general un número entero de octetos para la representación de los datos, lo cual lleva a representar de manera preferida las tensiones sobre 8 o 16 bits. Pero se pueden también considerar unos tamaños de representación intermedios para optimizar la utilización de la banda pasante de los pares de comunicación unidireccional 63.

En función de las necesidades de la aplicación considerada, se puede también seleccionar transmitir los valores de tensiones en fase y neutro, ya sea este neutro medido o virtual, o las tensiones de las fases y del neutro con respecto a un potencial de referencia de la red eléctrica, siendo este potencial en general, pero no necesariamente, la tierra de la instalación.

A continuación, se centrará el interés en una aplicación que permite un análisis armónico de hasta aproximadamente 3 kHz y una representación de los datos de tensión sobre 16 bits, con una transmisión de las tensiones con respecto a un potencial de referencia. Sin embargo, se pueden efectuar otras elecciones en función de la aplicación considerada.

La banda pasante necesaria para la transmisión de las muestra de tensión de una red 10 trifásica con neutro (figura 6A) con respecto al potencial de referencia, es decir cuatro valores de tensión por instante de muestreo, con una representación sobre 16 bits, y una frecuencia de muestreo de 10 kHz, compatible con una banda pasante de 3 kHz, representa un volumen bruto de datos del orden de 640 kbit/s. Para asegurar una cierta fiabilidad en la transmisión, es costumbre añadir unas informaciones de control, por ejemplo un número de secuencia sobre un octeto y una suma de control sobre un octeto también, lo cual conduce a un caudal bruto del orden de 800 kbit/s. Al ser asíncrono el funcionamiento de los diferentes dispositivos 2-5, se recomienda la utilización de un enlace de tipo asíncrono, caracterizado por la presencia de por lo menos un bit de puesta en marcha y un bit de detención sobre cada octeto, lo cual lleva el caudal de la unión a aproximadamente 1 Mbit/s. Este caudal es, en la actualidad, fácilmente accesible a coste reducido utilizando unos circuitos integrados especializados de acuerdo con la norma RS485 y unos microcontroladores potentes de bajo coste capaces de tratar de manera eficaz unos caudales de esta naturaleza, permitiendo al mismo tiempo una longitud total del par de comunicación unidireccional 63 de los cables de red 6 superior a 100 m. En función de las aplicaciones, se puede, no obstante, considerar reducir este caudal para aumentar la distancia permitida para el par de comunicación unidireccional 63, reduciendo el tamaño de las muestras de tensión, por ejemplo de 16 bits a 8

bits, o reduciendo la frecuencia de muestreo, o también combinando estas dos soluciones. Para limitar un poco la banda pasante o reducir la carga en tiempo real relacionada con la recepción de las muestras de tensión, se puede también transmitir las muestras por paquetes de N instantes de muestreo, teniendo N el valor de 1 hasta algunas decenas. Sin embargo, cuanto más elevado sea el valor de N, más lento será el sistema para reaccionar a los cambios de frecuencia de muestreo.

En un equipo de medición 1 de este tipo, se necesita conocer un cierto número de informaciones adicionales relacionadas con la configuración de la red y del equipo de todos los dispositivos 2-5 conectados, por ejemplo y de manera no exhaustiva, la tensión nominal de la red 10, la frecuencia nominal de la red 10, el tipo de unión de la red: con o sin neutro, el tipo de red: monofásica o trifásica, etc. Estas informaciones adicionales se transmiten ventajosamente en el mismo par de comunicación unidireccional 63 que las muestras de tensión. Por otro lado, es interesante poder sincronizar las muestras de las mediciones de tensión y de corriente para facilitar su análisis. Estas informaciones de sincronización, denominadas topes de sincronización, se transmiten también ventajosamente en este mismo par de comunicación unidireccional 63. Puede tratarse de topes de sincronización de las mediciones de valores eficaces y de potencia, unos topes de captura de eventos. Por evento, se entienden unas formas de onda que pueden ser o bien una sucesión de muestras de los valores de corriente o una sucesión de valores eficaces de corriente, de manera que los dispositivos de medición de la corriente 3 efectúen todas las mediciones de valores eficaces y de potencia sobre los mismos intervalos de tiempo y capturan todas las formas de ondas sobre el mismo intervalo de tiempo. Finalmente, si el dispositivo de medición de las tensiones 2 dispone de un reloj, la fecha y la hora son también ventajosamente transmitidas sobre este mismo par de comunicación unidireccional 63.

Teniendo en cuenta el caudal relativamente elevado para la transmisión de las muestras de tensión sobre el par de comunicación unidireccional 63 y de las longitudes de cableado consideradas (algunas decenas de metros), es indispensable controlar la topología de este cableado, que debe presentar una forma de tipo bus, con vías de acceso de longitud lo más reducida posible. Es la razón por la que la invención recomienda una cadena simple de los dispositivos 2-5 entre sí por unos cables de red 6 y unos conectores 60, 61 adaptados como se ha explicado anteriormente.

Sin embargo, en una primera variante de realización, se puede agrupar sólo la alimentación eléctrica y la comunicación unidireccional rápida prevista para la transmisión de las muestras de tensión en un mismo cable de red 6. La unión de comunicación bidireccional estandarizada utiliza en este caso un cableado separado. Este enfoque es interesante si las características eléctricas exigidas por la unión de comunicación bidireccional difieren demasiado de las requeridas para la unión de comunicación unidireccional prevista para las muestras de tensión. En este caso, la unión de comunicación bidireccional se aísla galvánicamente de la alimentación eléctrica y del enlace de comunicación unidireccional de las muestras de tensión en cada dispositivo de medición de la corriente 3. La tensión de alimentación se seleccionará suficientemente baja para permitir la realización de alimentaciones no aisladas, compactas y suficientemente elevadas para permitir transportar una potencia razonable en unos cables de red 6, permitiendo al mismo tiempo una distancia entre el punto de conexión de la alimentación y los dispositivos 2-5 del orden de 100 m. Una tensión nominal de alimentación de 24V constituye un buen compromiso, pero se puede considerar cualquier tensión compatible con los criterios anteriores.

En una segunda variante de realización, se simplifica al máximo el cableado combinando en un mismo cable de red 6 todas las funciones que unen los dispositivos 2-5 entre sí, a saber la alimentación eléctrica en baja tensión, la unión de comunicación bidireccional estandarizada y la unión de comunicación unidireccional prevista para la transmisión de las muestras de tensión. Son entonces necesarios tres pares de hilos conductores 62, 63, 64. Pero como los cables de red 6 más extendidos de tipo UTP comprenden cuatro pares de hilos conductores, esta última configuración se elige como preferida, como se ha expuesto anteriormente. En este caso, la alimentación eléctrica puede ser transportada sobre dos pares de hilos conductores, lo cual permite duplicar la potencia transportable. Ya no es necesario entonces el aislamiento galvánico entre la alimentación eléctrica y el enlace de comunicación bidireccional en cada dispositivo 2-5 del equipo 1. Este aislamiento galvánico 72 es únicamente necesario en un solo punto, a saber en el dispositivo de conexión 4 que asegura la interconexión eléctrica entre el equipo de medición 1 y la unidad de supervisión S. De esta manera, el equipo de medición 1 se inserta sin problema en un sistema de supervisión existente.

### Posibilidades de aplicación industrial

La elección de la transmisión de las mediciones de tensión entre las fases P1, P2, P3 y neutro N o entre fases P1, P2, P3, sirviendo el neutro de potencial de referencia, depende de la aplicación considerada. La transmisión de las mediciones de tensión con respecto a un potencial de referencia permite siempre por diferencia encontrar todas las tensiones útiles, pero ocupa ligeramente más banda pasante. Una aplicación en particular obtiene una ventaja de la transmisión de las mediciones de tensión con respecto a un potencial de referencia, en este caso la tierra de la red eléctrica. Se trata de la búsqueda de un defecto de aislamiento en régimen neutro aislado. En este tipo de aplicación, un dispositivo adicional (no representado) permite inyectar en la red 10 una corriente de falla a tierra a una frecuencia muy inferior a la frecuencia de la red denominada corriente de localización. Este dispositivo adicional puede ser a título de ejemplo un generador de tensión con limitación de corriente. Se puede

también crear voluntariamente un defecto entre la red y la tierra para forzar la circulación de una corriente de defecto. Existen así diferentes técnicas para inyectar o crear una corriente de fallo a tierra que tendrá tendencia a repartirse entre todas las ramas de la red en función de las impedancias de defecto respectivas de cada rama.

5 Aunque los dispositivos de medición de corriente 3 están diseñados para recibir las señales que provienen de un sensor de corriente diferencial a tierra, denominado en general localización toroidal, dichos dispositivos de medición de corriente 3 pueden, en este caso, determinar la impedancia de fuga a tierra a partir de la medición de la tensión en cualquiera de los conductores de fase P1, P2, P3 activos, con respecto a tierra, y de la corriente de fuga a tierra. En esta aplicación particular, es particularmente interesante hacer depender la frecuencia de muestreo a la frecuencia de la red medida. En efecto, la utilización de simples filtros de media móvil permite eliminar totalmente las señales a la frecuencia de la red y de los múltiplos de esta frecuencia que son en general de gran amplitud con respecto a las señales de muy baja frecuencia utilizadas para la determinación de la impedancia de fuga a tierra.

15 Otra ventaja de la transmisión de las mediciones de tensión con respecto a un potencial de referencia reside en la posibilidad de detectar automáticamente sobre qué fase P1, P2, P3 de la red 10 está unido el sensor de corriente de un dispositivo de medición de la corriente 3, y eso incluso en ausencia de cualquier corriente de carga. Esto es posible con la condición de que el dispositivo de medición de la corriente 3 proporcione una señal de tensión auxiliar que reproduce fielmente la forma de la tensión del conductor de fase controlada. Para esta función de detección automática, la señal de tensión auxiliar Vaux no debe superar un desfase máximo del orden de algunos grados con respecto a la frecuencia de la red, mientras que su amplitud no tiene importancia. Esta señal de tensión auxiliar Vaux se puede obtener por un sensor de tensión sin contacto (no representado), particularmente impreciso en amplitud, como un acoplamiento capacitivo o una medición de campo eléctrico. En esta condiciones, el dispositivo de medición de corriente 3, equipado con un sensor de tensión de este tipo, comprende un módulo de correlación (no representado) que permite detectar automáticamente cuál es la vía de tensión que corresponde al sensor de corriente buscando cuál de las tensiones nominales V1, V2, V3 conectadas a la unidad de tratamiento presenta el máximo de correlación con la señal de tensión auxiliar Vaux. El diagrama de la figura 7 muestra, a título de ejemplo, la correlación que existe entre la señal de tensión auxiliar Vaux obtenida por un sensor de tensión integrado en el dispositivo de medición de corriente 3 y la vía de tensión V1 que corresponde a la fase P1 de la red eléctrica 10 sobre la cual está instalado el sensor de corriente. De la misma manera, este método de correlación se efectúa sobre las otras fases P2 y P3.

El equipo de medición 1 según la invención puede también tener por función evaluar las pérdidas energéticas de los cables de la red. En este caso, los dispositivos de medición de la corriente 3 comprenden un sensor de tensión (no representado) adicional para medir la tensión local efectiva sobre las ramas de la red analizada, tal como una toma de tensión directa. La unidad de tratamiento 33 puede calcular localmente el consumo de energía y compararlo con el consumo de energía calculado a partir de las mediciones de tensión centralizadas, y esto con el fin de evaluar las pérdidas energéticas en los cables de dicha red.

40 Otra aplicación más del equipo de medición 1 según la invención, se refiere al caso de una red eléctrica de emergencia, tal como, por ejemplo, un grupo electrógeno, previsto para sustituir la red eléctrica principal en caso de avería. En este caso, el equipo de medición 1 se complementa por otro dispositivo de medición de las tensiones 2 que está unido a la red de emergencia (no representada) y conectado por el cable de red 6 al dispositivo de medición de las tensiones 2 de la red principal para transmitir a este otro dispositivo de medición de las tensiones 2, las muestras de mediciones de tensión obtenidas por el primer dispositivo de medición de las tensiones 2 o a la inversa. Las unidades de tratamiento 23 permiten comparar en amplitud y en fase las dos redes con el objetivo de unir las dos redes juntas cuando las diferencias son suficientemente reducidas, permitiendo pasar de una a la otra sin interrupción. En esta configuración, el dispositivo de medición de las tensiones dedicado en la red de emergencia puede volverse principal y proporcionar a los dispositivos de medición de la corriente 3 las muestras de tensión necesarias.

Se desprende claramente de esta descripción que la invención permite alcanzar los objetivos fijados, a saber un equipo de medición 1 del consumo de las ramas de una red eléctrica 10 particularmente simple de realizar, capaz de integrarse en un sistema de supervisión existente, configurado para alcanzar unas precisiones de medición muy elevadas y para ofrecer una flexibilidad de utilización en función de las aplicaciones consideradas.

La presente invención no está limitada al ejemplo de realización descrito, sino que se extiende a cualquier modificación y variante evidentes para un experto en la materia, permaneciendo al mismo tiempo en el alcance de la protección definida en las reivindicaciones adjuntas.

60

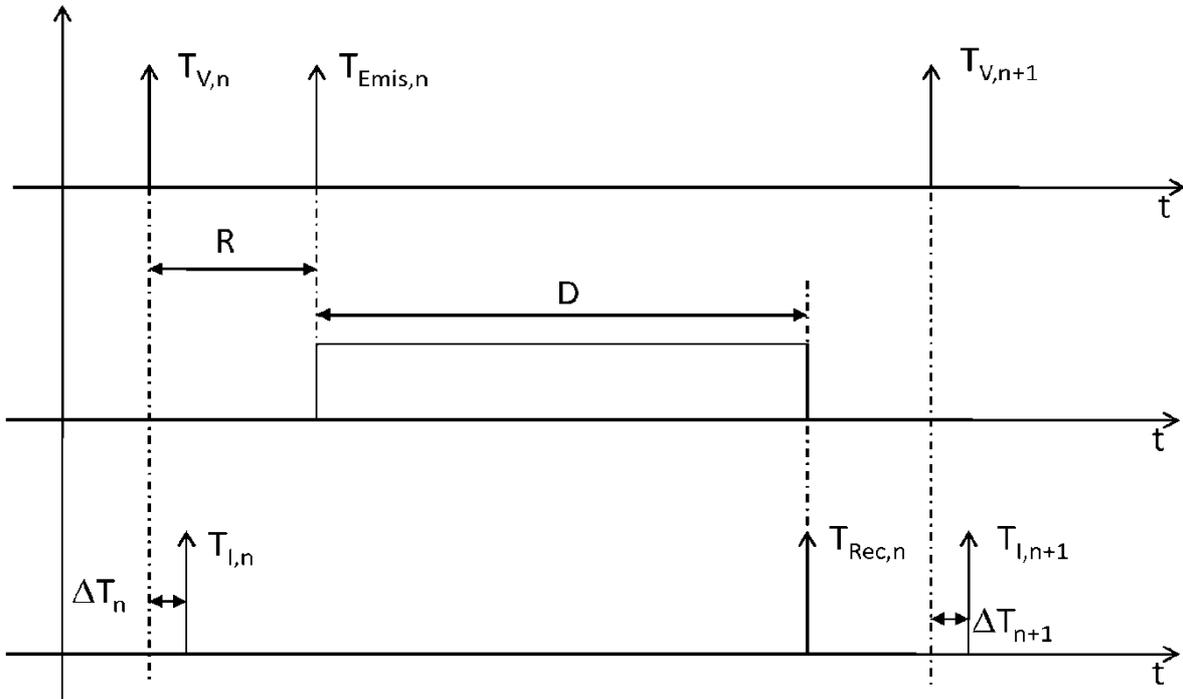
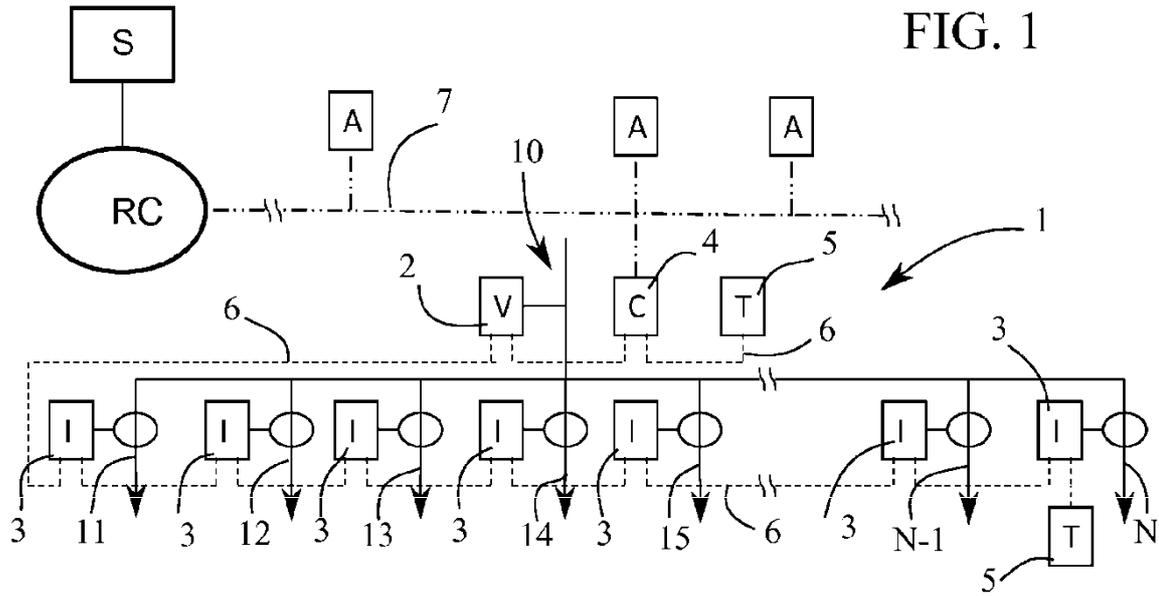
## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medición del consumo energético de las ramas (11, 12, 13, N) de una red eléctrica (10), procedimiento en el que se miden las tensiones de dicha red de manera centralizada mediante un dispositivo de medición de las tensiones (2) único unido aguas arriba de las ramas de la red, se mide la corriente en por lo menos una de las ramas de la red mediante un dispositivo de medición de la corriente (3) dedicado, se comunican a través de un enlace de comunicación dichas mediciones de tensión a dicho dispositivo de medición de la corriente (3), y se calcula en dicho dispositivo de medición de corriente (3) por lo menos dicho consumo energético de dicha rama de la red analizada, caracterizado por que se procede a las mediciones de las tensiones de dicha red mediante dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) único por muestreo de las tensiones en un instante ( $T_{v,n}$ ) a una primera frecuencia de muestreo, se transmiten las muestras de tensión a dicho dispositivo de medición de la corriente (3) a través del enlace de comunicación en el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ), se procede a las mediciones de la corriente de la rama de la red mediante dicho dispositivo de medición de la corriente (3) dedicado por muestreo de las corrientes en un instante ( $T_{i,n}$ ) a una segunda frecuencia de muestreo, se compara la diferencia existente entre el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) y el instante de muestreo de las corrientes ( $T_{i,n}$ ) dado que dichos dispositivos de medición de las tensiones (2) y de la corriente (3) funcionan de manera asíncrona, y se ajusta por lo menos una frecuencia de muestreo con respecto a la otra para llevar la diferencia existente entre el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) y el instante de muestreo de las corrientes ( $T_{i,n}$ ) hacia cero.
2. Procedimiento de medición según la reivindicación 1, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) transmite las muestras de tensión sobre el enlace de comunicación en el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) utilizando un tramo de informaciones de duración (D), por que el dispositivo de medición de la corriente (3) recibe estas muestras de tensión y detecta el instante de fin de recepción de dicha trama de informaciones ( $T_{rec,n}$ ), por que el dispositivo de medición de la corriente (3) calcula el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ), por que el dispositivo de medición de corriente (3) calcula la diferencia ( $\Delta T_n$ ) entre el instante de muestreo de las corrientes ( $T_{i,n}$ ) y el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ), y por que el dispositivo de medición de corriente (3) ajusta su propia frecuencia de muestreo de manera que esta diferencia vaya hacia cero aumentando la frecuencia de muestreo si la diferencia ( $\Delta T_n$ ) es positiva y disminuyéndola si la diferencia ( $\Delta T_n$ ) es negativa.
3. Procedimiento de medición según la reivindicación 2, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) transmite las muestras de tensión sobre el enlace de comunicación con un retraso fijo (R) con respecto al instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) utilizando una trama de informaciones de duración conocida (D), por que el dispositivo de medición de corriente (3) calcula el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) a partir de los datos conocidos (D) y (R) según la fórmula:  $T_{v,n} = T_{rec,n} - D - R$ , y por que el dispositivo de medición de corriente (3) calcula la diferencia ( $\Delta T_n$ ) entre el instante de muestreo de las corrientes ( $T_{i,n}$ ) y el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) según la fórmula  $\Delta T_n = T_{i,n} - T_{v,n} = T_{i,n} - (T_{rec,n} + D + R)$ .
4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se utiliza dicho enlace de comunicación para transmitir de dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) a dicho dispositivo de medición de la corriente (3) unas informaciones adicionales seleccionadas de entre el grupo que comprende el tipo de red monofásica o trifásica, con o sin neutro, la tensión nominal de la red, la frecuencia nominal de la red, la fecha y la hora, uno topes de sincronización de las mediciones de valores eficaces y de potencia, unos topes de captura de eventos.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se transmiten dichas muestras de las mediciones de tensión por paquete de N muestras.
6. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se selecciona una frecuencia de muestreo de las mediciones de tensión fija.
7. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se condiciona la frecuencia de muestreo de las mediciones de tensión a la frecuencia de la red eléctrica (10) analizada.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se transmiten las muestras de las mediciones de tensión en forma digital en un cable de red (6) conectado a dicho dispositivo de la corriente (3), comprendiendo este cable de red (6) por lo menos un primer par de hilos conductores denominado par de comunicación unidireccional (63).
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que se utiliza el mismo cable de red (6) para llevar una alimentación eléctrica a dichos dispositivos de medición (2, 3) en un segundo par de hilos conductores dedicado denominado par de alimentación (62).
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 o 9, caracterizado por que se utiliza el mismo cable de red (6) para conectar dichos dispositivos de medición (2, 3) a una unidad de vigilancia (S) por un tercer par de hilos conductores dedicado denominado par de comunicación bidireccional (64).

- 5 11. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se miden las tensiones de dicha red eléctrica (10) con respecto a un potencial de referencia constituido por la tierra de dicha red, por que se inyecta una corriente de falla a tierra en la red analizada, por que se mide dicha corriente de falla inyectada, y por que se determina la impedancia de fuga a tierra de por lo menos unas ramas de dicha red analizada.
- 10 12. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de la corriente (3) proporciona una señal auxiliar representativa de la tensión del conductor sobre el cual se mide la corriente, siendo dicha señal de tensión auxiliar utilizada para poner en correspondencia la medición de tensión con la medición de corriente efectuada en un mismo conductor de dicha red eléctrica (10) y paliar automáticamente los errores de la conexión.
- 15 13. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de la corriente (3) mide también la tensión local en dicha rama de la red para calcular localmente por lo menos dicho consumo de energía y compararlo con dicho consumo de energía calculado a partir de las mediciones de tensión centralizadas para evaluar las pérdidas energéticas en dicha red.
- 20 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se utiliza por lo menos otro dispositivo de medición de las tensiones (2) conectado a otra red eléctrica a analizar, por que se transmite a uno de los dispositivos de medición de las tensiones (2), las muestras de las mediciones de tensión obtenidas por el otro dispositivo de medición de las tensiones (2), sobre dicho enlace de comunicación, y por que se compara en amplitud y en fase las dos redes eléctricas analizadas para conectarlas juntas cuando dichas diferencias son suficientemente débiles.
- 25 15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado por que, cuando las dos redes eléctricas (10) se conectan juntas, cualquiera de los dispositivos de medición de las tensiones (2) toma el control del enlace de comunicación y se utiliza para medir las tensiones de dicha red correspondiente.
- 30 16. Equipo de medición del consumo energético de las ramas (11, 12, 13, N) de una red eléctrica (10), que utiliza el procedimiento de medición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo dicho equipo un dispositivo de medición de las tensiones (2) único unido aguas arriba de las ramas de la red a analizar para medir las tensiones de dicha red de manera centralizada, por lo menos un dispositivo de medición de la corriente (3) dedicado unido en una de las ramas de la red para medir las corrientes en dicha rama de la red, estando dichos dispositivos de medición (2, 3) conectados entre sí por lo menos por un enlace de comunicación que permite la comunicación de dichas mediciones de tensión a dicho dispositivo de medición de la corriente (3) el cual comprende por lo menos una unidad de tratamiento (33) para calcular dicho consumo energético de dicha rama de la red analizada, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) único comprende unos medios (21, 24) para efectuar dichas mediciones de tensión de la red por muestreo de las tensiones en un instante ( $T_{v,n}$ ) a una primera frecuencia de muestreo, por que dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) comprende unos medios para transmitir las muestras de tensión a dicho dispositivo de medición de la corriente (3) a través del enlace de comunicación en el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ), por que dicho dispositivo de medición de la corriente (3) dedicado comprende unos medios (31, 34) para efectuar dichas mediciones de la corriente de la rama de la red por muestreo de las corrientes en un instante ( $T_{i,n}$ ) a una segunda frecuencia de muestreo, por que dicho equipo de medición comprende unos medios (35) para comparar la diferencia existente entre el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) y el instante de muestreo de las corrientes ( $T_{i,n}$ ), dado que dichos dispositivos de medición de las tensiones (2) y de la corriente (3) funcionan de manera asíncrona, y por que dichos dispositivos de medición de las tensiones (2) y de la corriente (3) comprenden unos medios (23, 33) para ajustar por lo menos una frecuencia de muestreo con respecto al otro para llevar la diferencia existente entre el instante de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) y el instante de muestreo de las corrientes ( $T_{i,n}$ ) hacia cero.
- 40 17. Equipo de medición según la reivindicación 16, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) comprende por lo menos un oscilador ajustable (24) dispuesto para definir dicha frecuencia de muestreo de las mediciones de tensión, un módulo de frecuencia (22) dispuesto para medir dicha frecuencia de la red analizada, y por lo menos una unidad de tratamiento (23) dispuesta para tratar por lo menos dichas muestras de tensión y las mediciones de frecuencia de dicha red, estando dicho oscilador ajustable (24) condicionado por la unidad de tratamiento (23).
- 55 18. Equipo de medición según la reivindicación 16, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de la corriente (3) comprende por lo menos un oscilador ajustable (34) dispuesto para definir dicha frecuencia de muestreo de las mediciones de corriente, por lo menos una unidad de tratamiento (33) dispuesta para calcular por lo menos la energía consumida por dicha rama de la red a partir de las muestras de tensión recibidas por el enlace de comunicación y de las muestras de corriente medidas en dicha rama, y un módulo de desfase (35) dispuesto para medir la diferencia existente entre los instantes de muestreo de las tensiones ( $T_{v,n}$ ) y los instantes de muestreo de las corrientes ( $T_{i,n}$ ) y para condicionar dicho oscilador ajustable (34) con el fin de ajustar la frecuencia de muestreo de las mediciones de corriente para sincronizarla sobre la frecuencia de muestreo de las

mediciones de tensión.

- 5 19. Equipo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, caracterizado por que dicho enlace de comunicación está constituido por lo menos por un par de hilos conductores, denominado par de comunicación unidireccional (63), previsto en un cable de red (6) para transmitir las muestras de tensión en forma digital, y por que dicho cable de red (6) está dispuesto para conectar dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) centralizado a dicho dispositivo de medición de la corriente (3) dedicado por medio de conectores adaptados (60, 61).
- 10 20. Equipo de medición según la reivindicación 19, caracterizado por que dicho cable de red (6) comprende un segundo par de hilos conductores dedicado denominado par de alimentación (62) dispuesto para llevar una alimentación eléctrica a dichos dispositivos de medición (2, 3).
- 15 21. Equipo de medición según una de las reivindicaciones 19 o 20, caracterizado por que dicho cable de red (6) comprende un tercer par de hilos conductores dedicado denominado par de comunicación bidireccional (64) dispuesto para conectar dichos dispositivos de medición (2, 3) a una unidad de vigilancia (S).
- 20 22. Equipo de medición según la reivindicación 19, caracterizado por que comprende unos medios para inyectar una corriente de falla a tierra en la red analizada, por que dicho dispositivo de medición de la corriente (3) comprende un sensor dispuesto para medir dicha corriente de falla a tierra, y por que dicha unidad de tratamiento (33) está dispuesta para determinar la impedancia de fuga a tierra de dicha rama de dicha red analizada a partir de las muestras de tensión recibidas por el par de comunicación unidireccional (63) y de las muestras de corriente de fuga a tierra medidas localmente.
- 25 23. Equipo de medición según la reivindicación 18, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de la corriente (3) comprende un sensor de tensión auxiliar dispuesto para medir una señal auxiliar representativa de la tensión del conductor sobre el cual dicho dispositivo (3) mide la corriente, y por que dicha unidad de tratamiento (33) comprende un módulo de correlación dispuesto para poner en correspondencia la medición de tensión con la medición de corriente efectuada en un mismo conductor de dicha red eléctrica (10).
- 30 24. Equipo de medición según la reivindicación 18, caracterizado por que dicho dispositivo de medición de la corriente (3) comprende además un sensor de tensión para medir la tensión local en dicha rama de la red analizada, y por que dicha unidad de tratamiento (33) está dispuesta para calcular localmente por lo menos dicho consumo de energía y compararlo con dicho consumo de energía calculado a partir de las mediciones de tensión centralizadas para evaluar las pérdidas energéticas en los cables de dicha red.
- 35 25. Equipo de medición según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 24, caracterizado por que comprende por lo menos otro dispositivo de medición de las tensiones (2) conectado a otra red eléctrica (10) a analizar, y por que este otro dispositivo de medición de las tensiones (2) está conectado a dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) de la red principal por dicho enlace de comunicación.
- 40 26. Equipo de medición según la reivindicación 16, caracterizado por que comprende un número N de dispositivos de medición de corriente (3) dedicados que corresponden al número N de ramas de la red eléctrica (10) a analizar, estando todos los dispositivos de medición de la corriente (3) conectados a dicho dispositivo de medición de las tensiones (2) centralizado.
- 45 27. Equipo de medición según la reivindicación 19, caracterizado por que comprende por lo menos un dispositivo de terminación de línea (5) dispuesto al final de dicho par de comunicación unidireccional (63).
- 50 28. Equipo de medición según la reivindicación 16, caracterizado por que comprende por lo menos un dispositivo de conexión (4) dispuesto aguas arriba de las ramas de la red eléctrica a analizar y dispuesto para hacer la interfaz eléctrica entre dichos dispositivos de medición (2, 3) por un lado y por lo menos una alimentación eléctrica (8) y una unidad de supervisión (S) por otro lado.



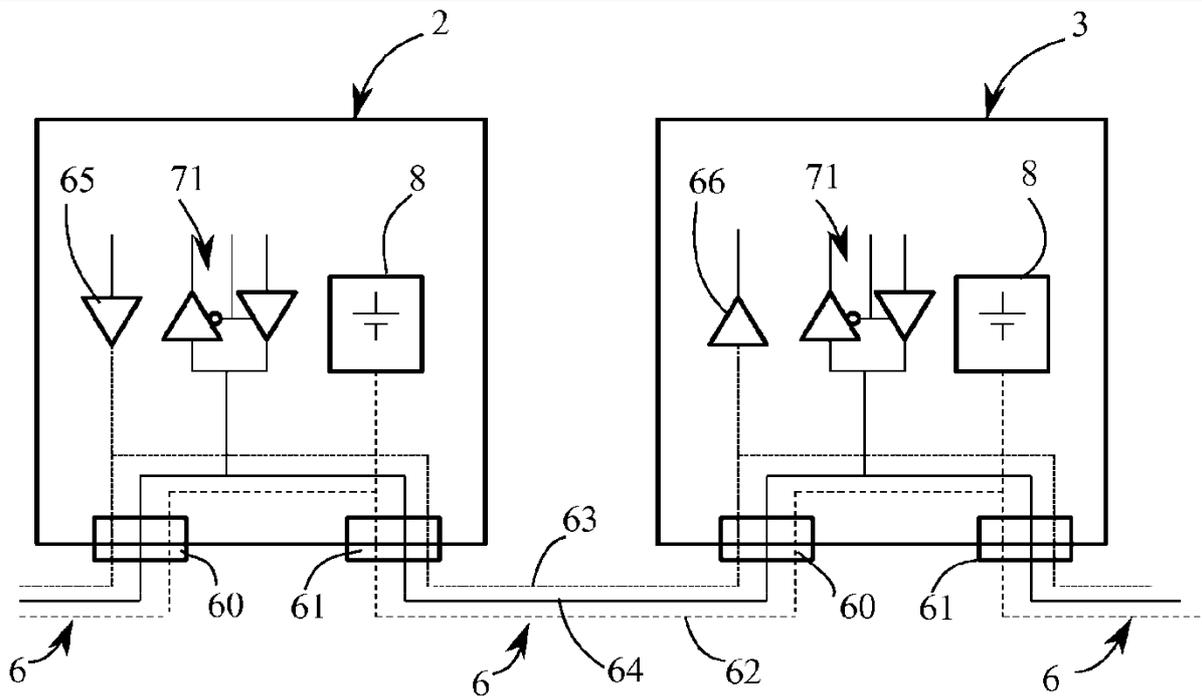


FIG. 3

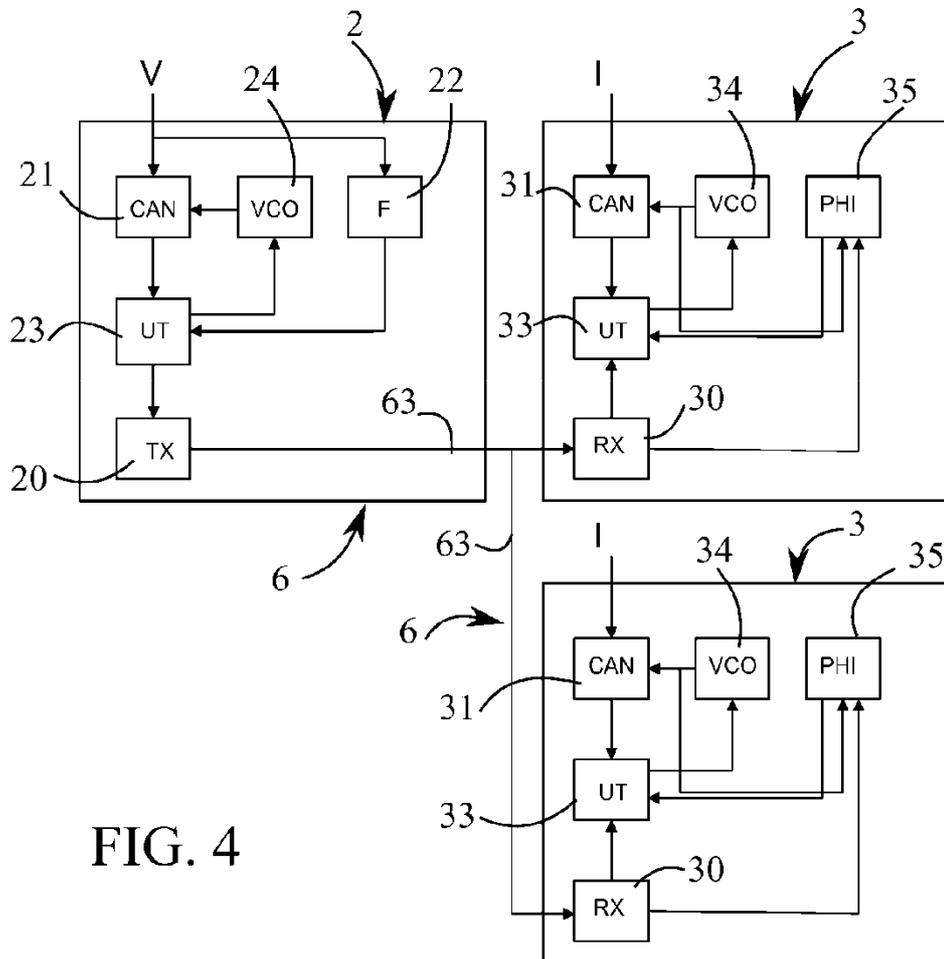


FIG. 4

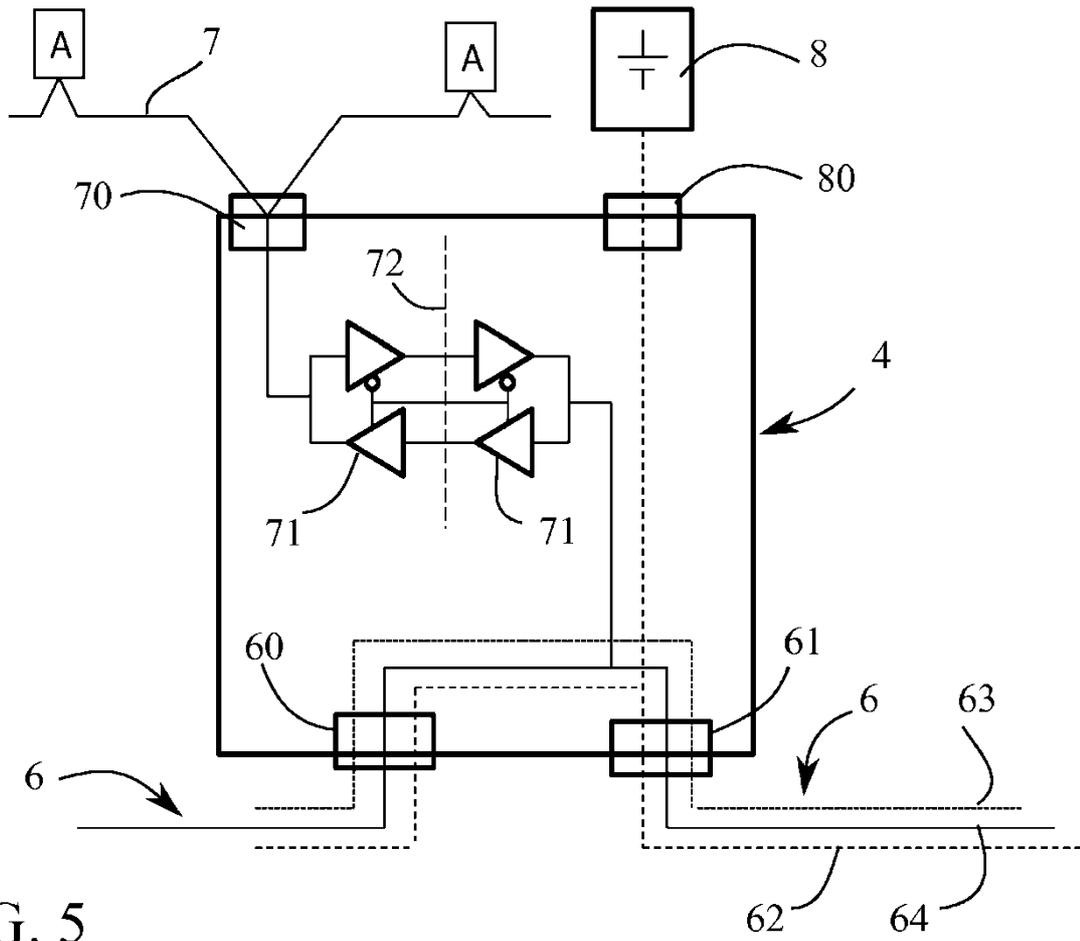


FIG. 5

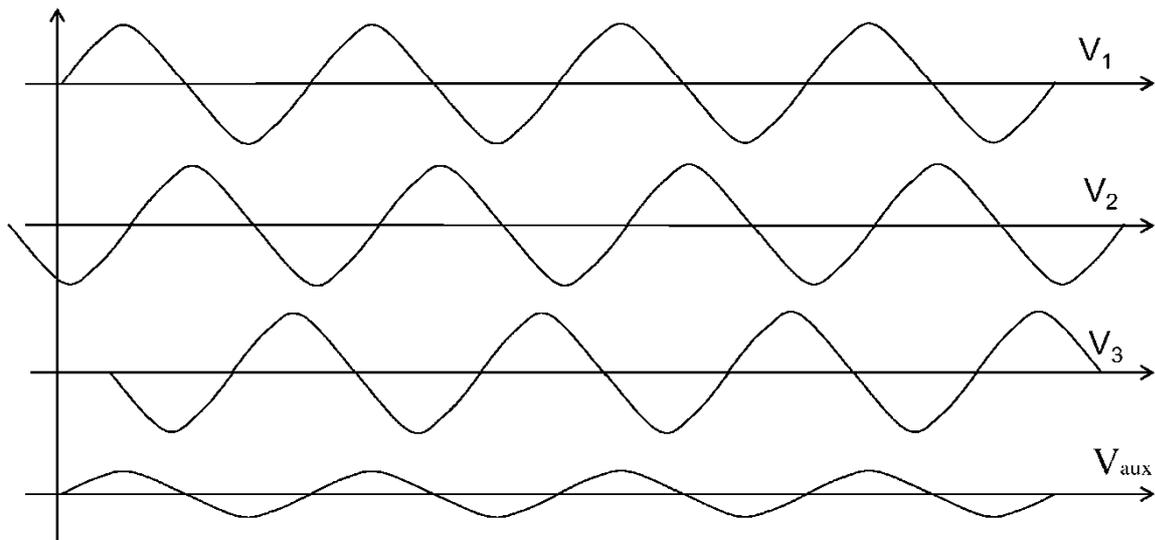
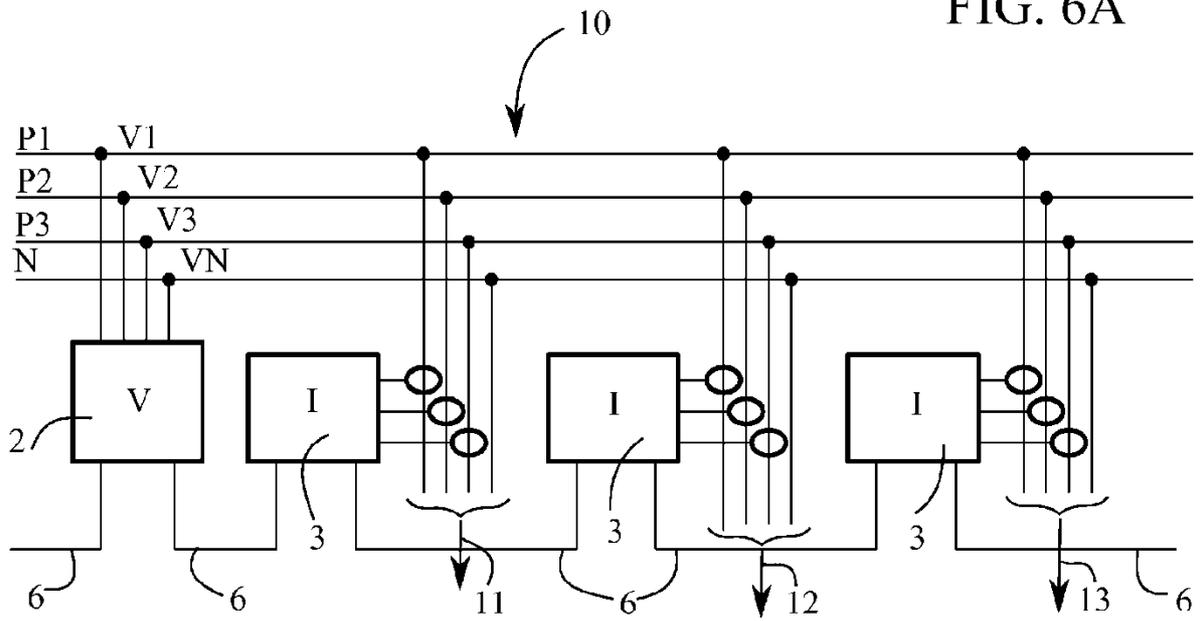


FIG. 7

FIG. 6A



10'

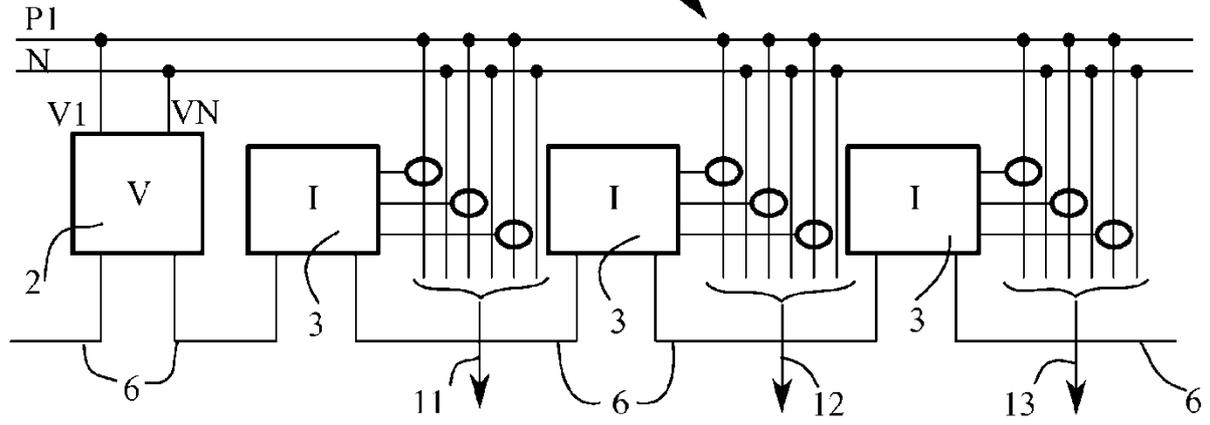


FIG. 6B