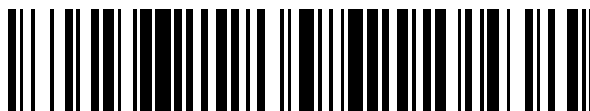


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 866**

51 Int. Cl.:

H02J 3/01 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2000 E 10182942 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 2273646**

54 Título: **Procedimiento para la regulación de la potencia reactiva, así como dispositivo para la generación de energía eléctrica en una red eléctrica**

30 Prioridad:

13.09.1999 DE 19943847

27.04.2000 DE 10020635

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

12.08.2020

73 Titular/es:

WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)

Borsigstrasse 26

26607 Aurich, DE

72 Inventor/es:

WOBEN, ALOYS

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 778 866 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 para la regulación de la potencia reactiva, así como dispositivo para la generación de energía eléctrica en una red eléctrica

5

La invención se refiere a un procedimiento para la regulación de la potencia reactiva en una red eléctrica, en la que se genera potencia eléctrica por parte de un generador eléctrico accionado preferentemente por el rotor de una instalación de energía eólica, y se modula de modo correspondiente con la ayuda de un dispositivo de compensación previsto entre el generador y la red para la compensación de la potencia reactiva. La invención se refiere adicionalmente a un dispositivo para la generación de energía eléctrica en una red eléctrica con un generador eléctrico, preferentemente accionado por el rotor de una instalación de energía eólica, y un dispositivo de compensación previsto entre el generador y la red para la compensación de la potencia reactiva.

10

Muchos consumidores conectados a la red eléctrica requieren potencia reactiva. Para la compensación de una proporción de potencia reactiva de este tipo se pueden usar condensadores, que también se designan como condensadores de desplazamiento de fase, cuya reactancia capacitiva es aproximadamente tan grande como la reactancia inductiva. Sin embargo, precisamente en el caso de elevadas oscilaciones de potencia, en la práctica no es posible una compensación completa de la potencia inductiva con la ayuda de condensadores de desplazamiento de fase. Adicionalmente, es desventajoso que los condensadores de desplazamiento de fase requeridos, que habitualmente están unidos para formar las denominadas baterías de condensadores, que, por lo demás, requieren mucho espacio, tienen un efecto negativo sobre la estabilidad de la red eléctrica.

15

20

Del documento US 5.225.712 se conoce un convertidor de potencia para una instalación de energía eólica. En este caso están previstos medios para ajustar un factor de potencia deseado de la potencia entregada. Como Estado de la Técnica adicional, se hace referencia a los documentos WO 96/19025, US-A-5.754.035, y "Transmission power flow control: electronic vs. electromagnetic alternatives for steady-state Operation", RJ Nelson, IEEE Transactions on Power Delivery, 9 de julio (1994), no. 3, Nueva York, EE. UU.

25

El objetivo de la presente invención consiste en evitar las desventajas mencionadas anteriormente del estado de la técnica, y compensar la potencia reactiva armónica en una red eléctrica de un modo sencillo.

30

Este objetivo se consigue con un procedimiento con la característica según la reivindicación 1 y un dispositivo con la característica según la reivindicación 8.

35

Según la invención, con la ayuda del dispositivo de compensación se "genera" una potencia reactiva que es capaz de compensar la potencia reactiva armónica en el consumidor. Por ejemplo, con la ayuda del dispositivo de compensación conforme a la invención se puede generar una componente de potencia reactiva capacitiva que esté adaptada a la componente de potencia reactiva inductiva requerida por el consumidor de tal manera que compense la componente de potencia reactiva inductiva en el consumidor fundamentalmente de modo completo. Con ello, la ventaja de la invención consiste fundamentalmente en que se proporcione una regulación que reaccione de un modo rápido especialmente a oscilaciones de potencia que se produzcan frecuentemente, de manera que fundamentalmente se conserve toda la compensación de la potencia reactiva. Según esto, se puede alimentar, opcionalmente, potencia reactiva armónica inductiva o capacitiva en la red eléctrica, lo que se realiza según la invención por medio de la regulación del dispositivo de compensación.

40

45

Con la ayuda de la regulación conforme a la invención, en este caso también es posible, preferentemente, que la potencia eléctrica entregada presente una frecuencia que se corresponda con la frecuencia del consumidor, o que también represente un múltiplo de la frecuencia del consumidor. En el primer caso, según ello, se puede entregar potencia reactiva con la frecuencia del consumidor o de la frecuencia de red de la red eléctrica. En el último caso, por ejemplo, se puede alimentar a la red eléctrica si se desea potencia reactiva armónica. Por ejemplo, se puede alimentar a la red eléctrica el quinto armónico con una frecuencia de 250 Hz como oscilación armónica capacitiva. Ésta compensa entonces la potencia reactiva armónica de los consumidores eléctricos que están conectados a la red eléctrica, como por ejemplo la televisión, las lámparas de ahorro de energía, etc.

50

55

De un modo adecuado, el dispositivo de compensación presenta un ondulator con el que se pueden ajustar o regular de un modo especialmente sencillo la fase, la amplitud y/o la frecuencia de las evoluciones de la tensión y/o de la corriente, para generar una componente de potencia reactiva que es adecuada para compensar de modo correspondiente la potencia reactiva en el consumidor.

60

Preferentemente, el dispositivo de compensación presenta un dispositivo de medición para el registro de las evoluciones de la tensión y/o de la corriente en la red eléctrica, especialmente en el punto de alimentación. En una variante de la realización en la que el dispositivo de compensación comprende un ondulator, el dispositivo de

compensación controla el ondulator dependiendo de los resultados de medición del dispositivo de medición.

La tensión generada por el generador eléctrico se regula preferentemente bajo el ajuste correspondiente de la componente de potencia reactiva en la potencia eléctrica entregada al consumidor fundamentalmente a un valor teórico prefijado. En este caso, el ajuste de la componente de potencia reactiva puede tener lugar por medio del control correspondiente del factor de potencia ($\cos \phi$) o de la fase de la corriente entregada por el generador eléctrico. Cuando el generador eléctrico está conectado por medio de una línea y/o un transformador a una red eléctrica, la tensión generada por el generador eléctrico se regula ventajosamente de tal manera que su valor está en el orden de magnitud del valor de la tensión de red, o bien se corresponde con éste. Gracias a ello se evitan tensiones indeseadas altas o bajas en la parte del generador. Habitualmente, la tensión de la red es fundamentalmente constante cuando se trata de una red fundamentalmente rígida.

A continuación, se explican con más detalle ejemplos de realización preferidos de la invención a partir de los dibujos anexos. Se muestra:

Figuras 1 a 4 diferentes evoluciones de tensión y de corriente;

Figura 5 la componente armónica de la evolución de corriente de la Figura 4;

Figura 6 esquemáticamente, un ramal de red al que está conectada una instalación de energía eólica y consumidores;

Figura 7 un esquema equivalente de una línea eléctrica;

Figura 8 un esquema equivalente de una red eléctrica con un transformador y una línea aérea (a) eléctrica a la que está conectado un generador eléctrico de una instalación de energía eólica, así como diferentes diagramas vectoriales que representan diferentes estados de funcionamiento (b a e);

Figura 9 un esquema de conexiones esquemático de una disposición para la compensación de corrientes armónicas en un cable de derivación; y

Figura 10 un esquema de conexiones esquemático de una disposición para la compensación de corrientes armónicas en una corriente eléctrica.

La aparición de potencias reactivas fundamentales en una red eléctrica se conoce desde hace mucho tiempo. Las Figuras 1 a 3 muestran diferentes evoluciones de tensión y de corriente.

En la Figura 1 se representa un caso en el que no aparece ninguna potencia reactiva, es decir, la tensión U y la corriente I no están desplazadas en fase. La corriente no está retrasada ni adelantada respecto a la tensión. Así pues, no existe ninguna potencia reactiva fundamental.

La Figura 2 muestra el caso en el que la corriente I va por detrás temporalmente respecto a la tensión U . En este caso se requiere una potencia reactiva inductiva, lo que suele ser el caso en la mayoría de los consumidores eléctricos, ya que éstos –por ejemplo, motores eléctricos– presentan inductividades.

La Figura 3 muestra el caso en el que la corriente I se adelanta en fase temporalmente a la tensión U . En este caso se requiere una potencia reactiva capacitiva.

En la Figura 6 está representada una disposición en la que una instalación de energía eólica 2 está conectada a un ramal de red. Desde el inicio (punto A) hasta el final (punto E) del ramal de red o de la línea 4 eléctrica están conectados consumidores 6. Cuando la instalación de energía eólica 2 no alimenta la red, la tensión va cayendo cada vez más desde el inicio (punto A) hasta el final (punto E) de la línea 4; la tensión en el punto E, y en el último consumidor 6 situado el más cercano a éste, es menor que en el punto A y que en el primer consumidor 6 situado el más cercano a este punto A en esta línea 4 eléctrica. Cuando se conecta ahora la instalación de energía eólica 2 o un parque eólico mayor al final de la línea 4 eléctrica en el punto E de la Figura 6, y se alimenta corriente en la línea 4 eléctrica, se incrementa extremadamente la tensión de conexión en el punto E de la línea 4 eléctrica. Ahora se representa la situación contraria al caso sin una instalación de energía eólica 2 conectada en el extremo de la línea 4 eléctrica.

Para el caso en el que la línea eléctrica esté prevista como línea aérea (no un cable bajo tierra), una línea de este tipo representa fundamentalmente en realidad una inductividad. En contraposición a esto, los cables bajo tierra representan generalmente una capacidad moderada. Con respecto a esto, se refiere al esquema equivalente de una línea representado en la Figura 7.

Con la ayuda de una regulación de potencia reactiva en la instalación de energía eólica, se puede regular la tensión en el punto de alimentación (punto E según la Figura 6). Para ello se propone usar un ondulator.

- 5 En la Figura 8a se muestra un esquema equivalente según el cual el generador 3 eléctrico de la instalación de energía eólica 2 está conectado por medio de una línea y un transformador a una red eléctrica (no representada con más detalle), tratándose normalmente de una red rígida. En las Figuras 8b a e se representan diagramas vectoriales relativos a diferentes estados de funcionamiento. En el caso A según la Figura 8b, el generador 3 de la instalación de energía eólica 2 alimenta únicamente potencia activa a la red 10 eléctrica; se reconoce inmediatamente que la tensión
- 10 $U_{línea}$ en el punto de alimentación / punto E es mayor que la tensión U_{red} . En el caso B según la Figura 8c se alimenta una componente de potencia reactiva inductiva adicionalmente a la potencia activa, y se reconoce que las tensiones $U_{línea}$ y U_{red} son igual de elevadas en el extremo según el punto E y en el comienzo según el punto A. El caso C según la Figura 8d muestra, por el contrario, que se alimenta demasiada potencia reactiva inductiva; esto tiene como consecuencia que la tensión $U_{línea}$ en el punto E se hace demasiado reducida. El caso D según la Figura 8e muestra
- 15 la situación en la que se alimenta potencia reactiva capacitiva excesiva; como consecuencia, aumenta la tensión $U_{línea}$ en el punto de alimentación / punto E respecto a la tensión U_{red} de un modo muy considerable. Esto último ha de ser evitado en cualquier caso.

- Para la compensación de la potencia reactiva se conecta un ondulator (no representado) entre el generador 3 y el
- 20 punto E según la Figura 8a. La función de un ondulator de este tipo consiste en seguir de un modo exacto un valor de tensión prefijado, regulando para ello el $\cos \varphi$ de la corriente de salida de un modo correspondientemente rápido y dinámico.

- Adicionalmente, en la red eléctrica se producen potencias reactivas armónicas. En concreto, cada vez más
- 25 consumidores eléctricos requieren una corriente que contenga armónicos, o bien generan armónicos en la red eléctrica, como por ejemplo aparatos de televisión que poseen en la entrada un rectificador, o instalaciones industriales que operan accionamientos regulados de convertidores de corriente. La Figura 4 muestra el caso en el que se requiere potencia reactiva armónica. La evolución de tensión U es prácticamente sinusoidal, mientras que la corriente I , aparte de la oscilación fundamental, también contiene armónicos. En este caso se puede reconocer claramente el quinto
- 30 armónico. La Figura 5 muestra el quinto armónico requerido como componente separado en la corriente I .

- Este tipo de armónicos en la evolución de la corriente (armónicos de la corriente) causan en la red eléctrica armónicos de tensión, que afectan de un modo negativo a la calidad de la tensión en la red eléctrica. Debido a ello, es necesario compensar también este tipo de potencias reactivas armónicas.

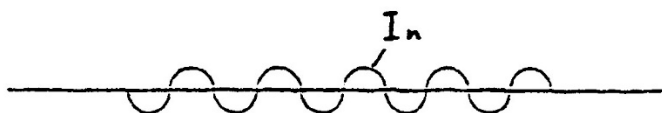
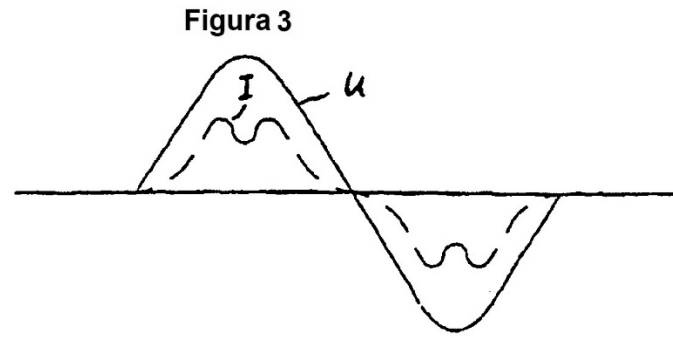
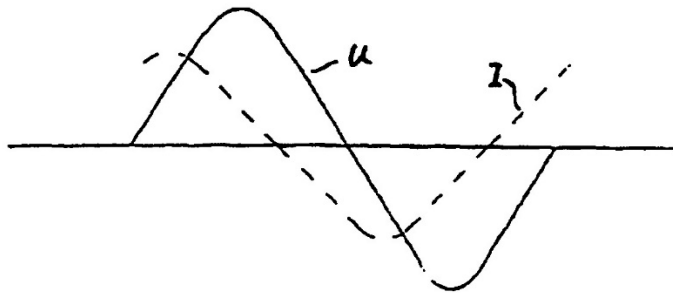
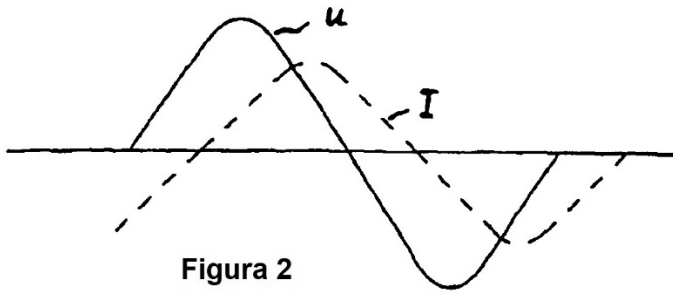
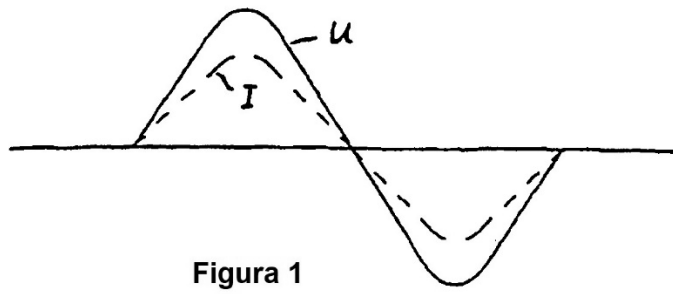
- 35 En la Figura 9 está representado de modo esquemático un cable de derivación 11, que está conectado con uno de sus extremos (el izquierdo según la Figura 9) a una red eléctrica (no representada), y en cuyo otro extremo (el derecho en la Figura 9) están conectados consumidores 6. Un cable de derivación 11 de este tipo puede proveer de corriente eléctrica, por ejemplo, a un terreno industrial o a uno o varios pueblos. La corriente que fluye a los consumidores 6 se mide con la ayuda de un transformador de corriente 12. La señal de medición del transformador de corriente 12 se transmite a un circuito de evaluación 12, que analiza continuamente de modo "on-line", que armónicos de corriente están contenidos en la corriente en el cable de derivación 11. Este resultado de medición sirve como valor teórico que se proporcióna como señal de salida a un ondulator 16, que a continuación genera fundamentalmente al mismo tiempo los armónicos requeridos, y los alimenta antes del transformador de corriente en el cable de derivación 11 eléctrico.
- 45 Con ello se garantiza que la potencia reactiva armónica se genera para la compensación de la potencia reactiva armónica existente en la red eléctrica por parte del ondulator 16, y no se toma de la red eléctrica.

- En la Figura 10 se muestra de modo esquemático la red 10 eléctrica, cuya tensión se mide con la ayuda de un transformador de tensión 18. La señal de medición del transformador de tensión 18 se suministra a un dispositivo de evaluación 20. Adicionalmente está previsto un dispositivo de valor teórico 22, que fija la evolución deseada de la tensión. La señal de salida del dispositivo de evaluación 20 se resta por parte de un dispositivo de resta 24 de la señal de salida del dispositivo de valor teórico 22, y la señal de salida diferencia resultante de esto del dispositivo de resta 24 se suministra al ondulator 16, que a continuación genera, fundamentalmente al mismo tiempo, los armónicos requeridos, para compensar la potencia reactiva armónica en la red eléctrica. En esta disposición, así pues, se mide
- 55 la tensión de red con la ayuda del transformador de tensión 18, y en el dispositivo de evaluación 20 se constata que armónicos están contenidos en la evolución de la tensión. Las corrientes armónicas en la red 10 eléctrica generan en la impedancia de red caídas de tensión correspondientes a su frecuencia y amplitud. Los valores medidos y calculados de esta manera se prefijan al ondulator 16 como valores teóricos de corriente. El ondulator 16 genera entonces de modo correspondiente a los valores teóricos los armónicos de corriente con las frecuencias, amplitudes y posiciones
- 60 de fase requeridas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la regulación de la potencia reactiva en una red eléctrica (10), en el que se genera potencia eléctrica por parte de un generador (3) eléctrico accionado preferentemente por parte del rotor de una instalación de energía eólica (2), y se modula de modo correspondiente con la ayuda de un dispositivo de compensación (16) previsto entre el generador (3) y la red (10) para la compensación de la potencia reactiva, en el que el dispositivo de compensación (16) es un ondulator que se regula de tal manera que la potencia eléctrica entregada a un consumidor (6) presenta una componente de potencia reactiva, que está ajustada al consumidor (6) respecto a su fase, amplitud y/o frecuencia, para compensar la potencia reactiva en el consumidor (6), caracterizado porque el ondulator regula la tensión en el punto de alimentación (E) de la red, en el que la tensión de la red (10) se mide con la ayuda de un transformador de tensión (18), la señal de medición del transformador de tensión (18) se suministra a un dispositivo de evaluación (20), porque también se presenta un dispositivo de valor teórico (22), que fija la evolución deseada de la tensión, y la señal de salida del dispositivo de evaluación (20) se resta de la señal de salida del dispositivo de valor teórico (22) por medio de un dispositivo de resta (24) y la señal de salida diferencia resultante de esto del dispositivo de resta (24) se suministra al ondulator (16), que a continuación genera los armónicos requeridos, para compensar la potencia reactiva armónica en la red eléctrica.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el dispositivo de compensación (16) se regula de tal manera que el generador (3) eléctrico genera potencia reactiva capacitiva para compensar la potencia reactiva inductiva en el consumidor (6).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la potencia eléctrica entregada presenta una frecuencia que se corresponde con la frecuencia del consumidor (6), o bien representa un múltiplo de la frecuencia del consumidor.
4. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el dispositivo de compensación (16) mide las evoluciones de la tensión y/o de la corriente en la red (10) eléctrica, preferentemente en el punto de alimentación (E), y dependiendo de los resultados de la medición regula la componente de potencia reactiva en la potencia eléctrica generada por el generador (3) eléctrico.
5. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la tensión generada por el generador (3) eléctrico se regula bajo el ajuste correspondiente de la componente de potencia reactiva en la potencia eléctrica entregada al consumidor (6) fundamentalmente a un valor teórico prefijado.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque el ajuste de la componente de potencia reactiva tiene lugar por medio del control correspondiente del factor de potencia ($\cos \phi$) o de la fase de la corriente entregada por el generador (3) eléctrico.
7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, en el que el generador (3) eléctrico está conectado por medio de una línea y/o un transformador a una red eléctrica, caracterizado porque la tensión generada por el generador (3) eléctrico se regula de tal manera que su valor está en el orden de magnitud del valor de la tensión de red, o bien se corresponde con ésta.
8. Dispositivo para la generación de energía eléctrica en una red eléctrica (10), con un generador (3) eléctrico, preferentemente accionado por un rotor de una instalación de energía eólica (2), un dispositivo de compensación (16) presentado entre el generador (3) y la red (10) para la compensación de la potencia reactiva, comprendiendo el dispositivo un dispositivo de regulación (14; 20, 22, 24), que regula el dispositivo de compensación (16), que está diseñado como un ondulator, de tal manera que la potencia eléctrica entregada a un consumidor (6) presenta una componente de potencia reactiva, que por lo que se refiere a su fase, amplitud y/o frecuencia está ajustada al consumidor (6), para compensar la potencia reactiva en el consumidor (6), caracterizado porque el ondulator puede regular la tensión en el punto de alimentación (E) de la red, en el que la tensión de la red (10) se puede medir con la ayuda de un transformador de tensión (18), la señal de medición del transformador de tensión (18) se puede suministrar a un dispositivo de evaluación (20), porque también se presenta un dispositivo de valor teórico (22), que fija la evolución deseada de la tensión, y la señal de salida del dispositivo de evaluación (20) se resta de la señal de salida del dispositivo de valor teórico (22) por medio de un dispositivo de resta (24) y la señal de salida diferencia resultante de esto del dispositivo de resta (24) se suministra al ondulator (16), que a continuación genera los armónicos requeridos, para compensar la potencia reactiva armónica en la red eléctrica.
9. Dispositivo según la reivindicación 8, caracterizado porque el dispositivo de regulación (14; 20, 22, 24) regula el dispositivo de compensación (16) de tal manera que el generador (3) eléctrico genera potencia reactiva capacitiva de tal manera que compensa la potencia reactiva inductiva en el consumidor (6).

10. Dispositivo según la reivindicación 8 o 9, caracterizado porque la potencia eléctrica entregada presenta una frecuencia que se corresponde con la frecuencia del consumidor (6), y representa un múltiplo de la frecuencia del consumidor.
- 5 11. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado porque el dispositivo de regulación (14; 20, 22, 24) presenta un dispositivo de medición (12; 18) para el registro de las evoluciones de tensión y/o de corriente en la red (10) eléctrica, preferentemente en el punto de alimentación.
12. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado porque el dispositivo de regulación (14; 20, 22, 24),
10 dependiendo de los resultados de medición del dispositivo de medición (12; 18) controla el ondulator (16).
13. Dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado porque el dispositivo de regulación (14; 20, 22, 24) regula la tensión generada por el generador (3) eléctrico por medio del control de la componente de potencia reactiva en la potencia eléctrica entregada al consumidor (6) fundamentalmente a un control
15 teórico prefijado.
14. Dispositivo según la reivindicación 13, caracterizado porque el dispositivo de regulación (14; 20, 22, 24) lleva a cabo el ajuste de la componente de potencia reactiva por medio del control correspondiente del factor de potencia ($\cos\phi$) o de la fase de la corriente entregada por el generador (3) eléctrico.
20
15. Dispositivo según la reivindicación 13 o 14, en el que el generador (3) eléctrico está conectado por medio de una línea y/o un transformador a una red eléctrica, caracterizado porque el dispositivo de regulación regula la tensión generada por el generador (3) eléctrico de tal manera que su valor está en el orden de magnitud del valor de la última tensión, o bien se corresponde con ésta.



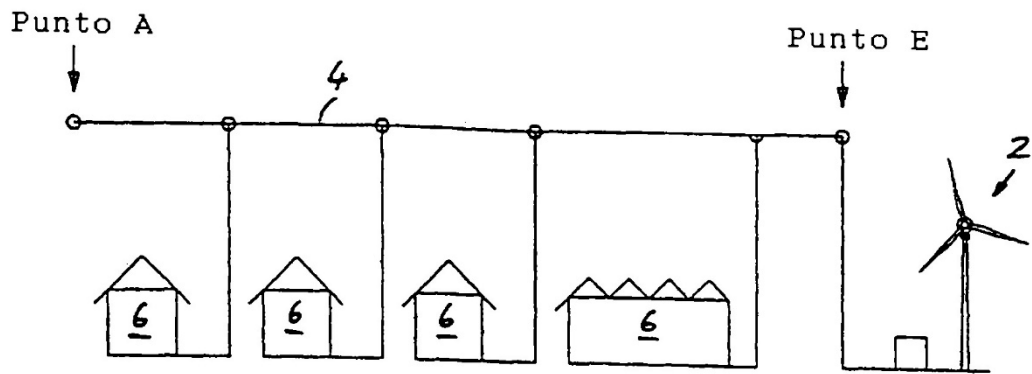


Figura 6

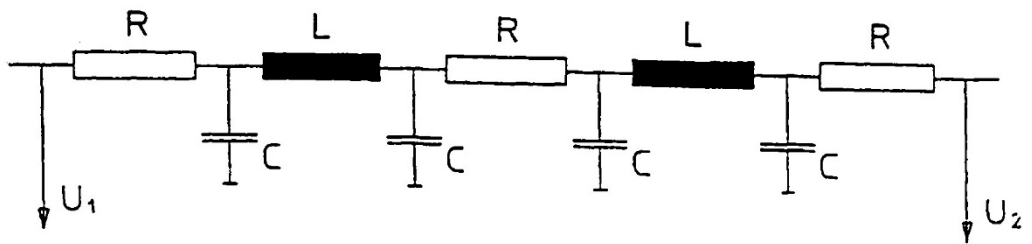


Figura 7

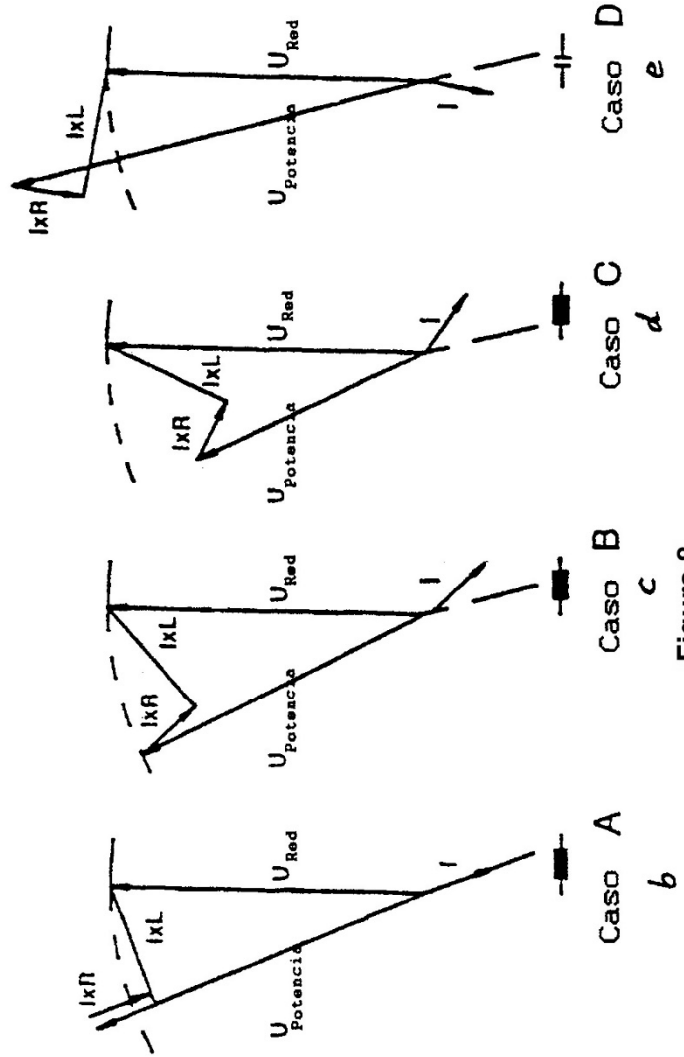
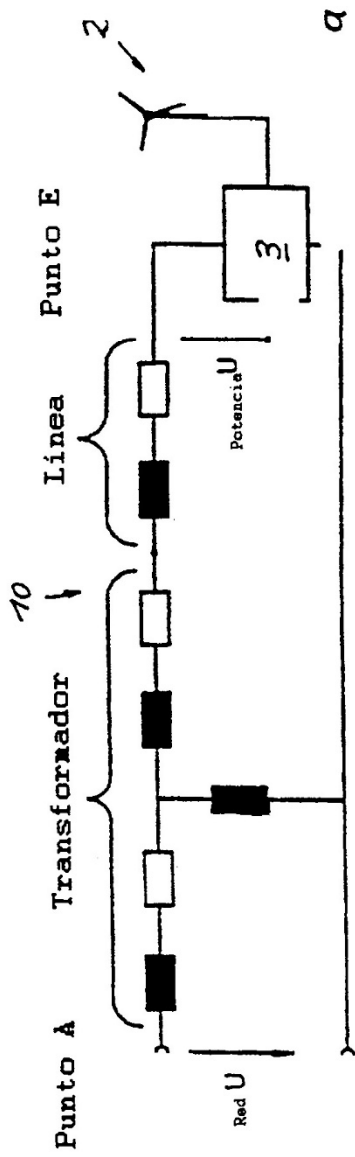


Figura 8

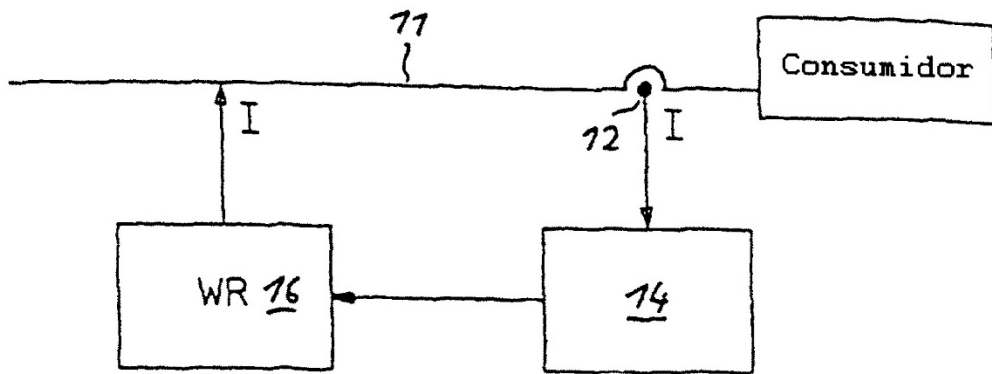


Figura 9

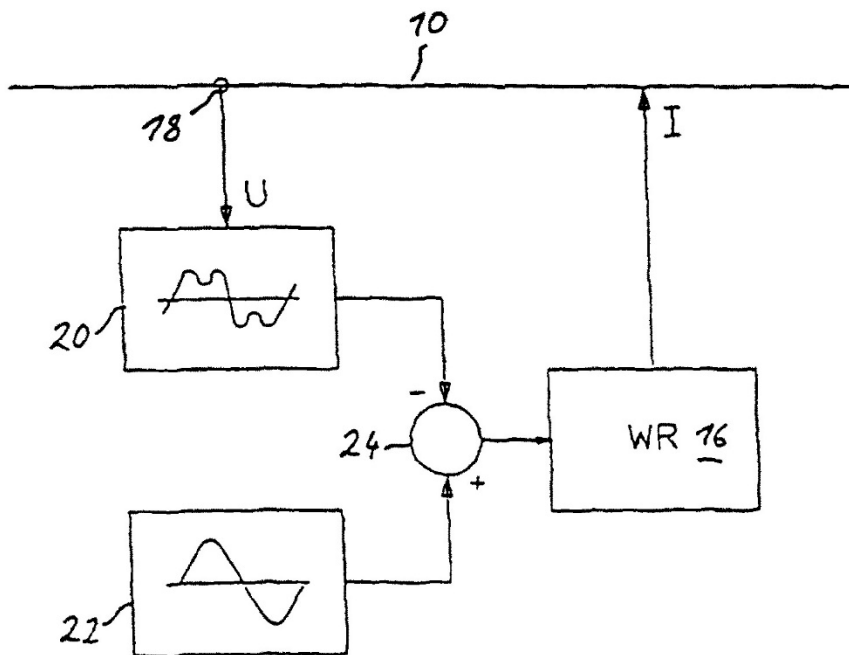


Figura 10