

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 414**

51 Int. Cl.:

G01R 31/00 (2006.01)
G01R 35/02 (2006.01)
H01C 13/02 (2006.01)
H01C 1/08 (2006.01)
G01R 1/20 (2006.01)
G01R 29/20 (2006.01)
G01R 31/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2008 PCT/US2008/072873**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.02.2009 WO09026038**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2008 E 08797677 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 2179296**

54 Título: **Equipo y procedimiento de prueba de transformador de instrumentos**

30 Prioridad:

16.08.2007 US 956322 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.03.2020

73 Titular/es:

RADIAN RESEARCH, INC. (33.3%)
3852 Fortune Drive
Lafayette, IN 47905, US;
KRAUS, MATTHEW ERIC (33.3%) y
BOBICK, DAVID ANDREW (33.3%)

72 Inventor/es:

KRAUS, MATTHEW, ERIC;
BOBICK, DAVID, ANDREW y
MAYFIELD, GLENN, A.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 745 414 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

Equipo y procedimiento de prueba de transformador de instrumentos

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a equipos de prueba de transformadores de instrumentos. Se desvela en el contexto de equipos y procedimientos para pruebas de carga de transformadores de instrumentos, pero se cree que tiene utilidad también en otras aplicaciones.

Antecedentes de la invención

US 2002/109507 A1:

10 Se proporciona un sistema y procedimiento para probar un transformador de corriente en línea. El transformador de corriente incluye un devanado primario y un devanado secundario. Una corriente de operación continúa fluyendo a través del devanado primario durante la prueba del transformador de corriente. Se aplica una carga controlable al devanado secundario del transformador de corriente. La carga controlable varía en un rango de configuraciones de carga que incluye una configuración de corriente máxima y una configuración de tensión máxima. En una pluralidad de configuraciones de carga dentro del rango de configuraciones de carga, se mide una corriente que fluye a través del devanado secundario del transformador de corriente. También, se mide una tensión a través del devanado secundario del transformador de corriente. Se genera una curva de excitación real a partir de las corrientes y tensiones medidas correspondientes a la pluralidad de configuraciones de carga.

US 6.160.697 A:

20 Un procedimiento y aparato para establecer y mantener un nivel de inducción preferido en un cuerpo magnético. Se aplica una tensión variable a un devanado conductivo que interactúa magnéticamente con un cuerpo magnético. La tensión se controla durante una primera fase de tal manera que el nivel de inducción magnética del cuerpo magnético cambia de un nivel de inducción desconocido a un nivel de inducción conocido. Durante una segunda fase, la tensión inducida a través del devanado se controla para que el nivel de inducción cambie del nivel de inducción conocido al nivel de inducción preferido. Se puede utilizar una tercera fase opcional, durante la cual el valor promedio de la tensión inducida se mantiene cerca de cero para mantener el nivel de inducción cerca del nivel de inducción preferido.

DE 27 00 081 A1:

30 El dispositivo de resistencia de prueba que consiste en una multiplicidad de resistencias fijas que se pueden conectar y desconectar en paralelo. La conexión y desconexión de las resistencias fijas se efectúa en cada caso en el cruce por cero de la tensión del sistema de potencia mediante conmutadores semiconductores controlables. Los conmutadores semiconductores se controlan a través de un contador binario, sincronizado por una secuencia de pulsos de frecuencia del sistema de potencia, con una serie de etapas de conteo correspondientes al número de resistencias fijas. Esto hace posible generar una corriente de fallo sinusoidal, que varía continuamente con un número correspondiente de resistencias fijas, para probar circuitos de protección de corriente de fallo y tensión de fallo.

EP 0 982 596 A1:

35 Una resistencia de carga de tipo seco para probar un generador o similar comprende un circuito de conmutación compuesto por un elemento semiconductor, un circuito de resistencia de carga de prueba conectado en serie con el mismo, un controlador para controlar un suministro de corriente a dicho circuito de conmutación (31), y un controlador lógico programable para enviar una instrucción de control a dicho controlador.

GB 1 161 789 A:

40 En un circuito semiconductor que comprende una pluralidad de dispositivos semiconductores conectados con sus rutas de corriente de carga en paralelo e incluye en cada ruta de corriente de carga una resistencia de circuito impreso para evitar la distribución desigual de la carga, los dispositivos semiconductores y las resistencias están montados en un cuerpo de refrigeración. Los transistores de potencia P 2 - P 5 forman una sola etapa de una unidad de regulación y tienen sus rutas de colector de emisor en paralelo, los transistores son controlados al unísono por transistores controlados al unísono por el transistor P 1.

JP63055501U:

El presente documento desvela un dispositivo similar.

50 La técnica anterior incluye patentes de EE. UU.: 7.0303.602; 6.680.616; 6.160.697; Serway, Física para científicos e ingenieros, Saunders College Pub. 1996; e IEEE Standard C57.13-1993 Requisitos estándar para transformadores de instrumentos. Las divulgaciones de estas referencias se incorporan en el presente documento por referencia. El listado anterior no pretende ser una representación de que se ha realizado una búsqueda completa de toda la técnica relevante, o que no existe más técnica pertinente que el listado, o que la técnica listada es material para patentabilidad. Tampoco debe inferirse tal representación.

Sumario de la invención

55 Según un aspecto de la invención, un procedimiento para probar un transformador comprende operar un controlador

para generar una señal de conmutación, suministrar la señal de conmutación a un conmutador de estado sólido en circuito con una carga de prueba de magnitud conocida, cambiar el conmutador de estado sólido para colocar la carga de prueba en el circuito con el transformador, y medir una señal a través o a través del transformador.

A modo de ilustración, el procedimiento incluye además la conversión analógica a digital de la señal medida.

5 A modo de ilustración, el procedimiento incluye además bloquear la fase de la señal de conmutación a la fase de la señal medida.

A modo de ilustración de acuerdo con el procedimiento, suministrar la señal de conmutación al conmutador de estado sólido en circuito con la carga de prueba comprende suministrar la señal de conmutación al conmutador de estado sólido en paralelo con la carga de prueba.

10 A modo de ilustración de acuerdo con el procedimiento, suministrar la señal de conmutación al conmutador de estado sólido en circuito con la carga de prueba comprende suministrar la señal de conmutación al conmutador de estado sólido en serie con la carga de prueba.

A modo de ilustración de acuerdo con el procedimiento, suministrar la señal de conmutación al conmutador de estado sólido en circuito con la carga de prueba comprende suministrar la señal de conmutación al conmutador de estado sólido en serie-paralelo con la carga de prueba.

15

El procedimiento incluye además monitorear cruces por cero de la señal medida.

El procedimiento incluye además operar el controlador para generar la señal de conmutación sustancialmente en los cruces por cero de la señal medida.

A modo de ilustración, el procedimiento incluye además la conversión analógica a digital de la señal medida.

20 A modo de ilustración de acuerdo con el procedimiento, suministrar la señal de conmutación a un conmutador de estado sólido comprende suministrar la señal de conmutación a un transistor de efecto de campo.

Según otro aspecto de la invención, el aparato para probar un transformador comprende un controlador para generar una señal de conmutación, una carga de prueba de magnitud conocida y un conmutador de estado sólido en circuito con la carga de prueba. El conmutador de estado sólido tiene un puerto de control acoplado al controlador para suministrar la señal de conmutación al conmutador de estado sólido para colocar la carga de prueba en el circuito con el transformador. El aparato comprende además un dispositivo de medición acoplado a la carga de prueba para medir una señal a través o a través del transformador.

25

A modo de ilustración, el aparato incluye además un convertidor analógico a digital acoplado al transformador y al dispositivo de medición para convertir la señal medida de analógica a digital.

30 A modo de ilustración de acuerdo con este aspecto, el controlador está acoplado a la carga de prueba para bloquear la fase de la señal de conmutación a la fase de la señal medida.

A modo de ilustración de acuerdo con este aspecto, el conmutador de estado sólido está acoplado en un circuito en serie con la carga de prueba.

35 A modo de ilustración de acuerdo con este aspecto, el conmutador de estado sólido está acoplado en circuito paralelo con la carga de prueba.

A modo de ilustración, el aparato incluye además múltiples conmutadores de estado sólido. Los conmutadores de estado sólido se acoplan en circuito paralelo en serie con la carga de prueba.

El controlador está acoplado a la carga de prueba para monitorear los cruces por cero de la señal medida.

40 El controlador suministra la señal de conmutación al conmutador de estado sólido sustancialmente en los cruces por cero de la señal medida.

A modo de ilustración, el aparato incluye además un convertidor analógico a digital acoplado al transformador y al dispositivo de medición para convertir la señal medida de analógica a digital.

A modo de ilustración de acuerdo con este aspecto, El conmutador de estado sólido comprende un transistor de efecto de campo.

45 **Breves descripciones de los dibujos**

La invención puede entenderse mejor haciendo referencia a las siguientes descripciones detalladas y dibujos adjuntos que ilustran la invención. En los dibujos:

La figura 1 ilustra esquemáticamente una instalación en una subestación transformadora;

La figura 2 ilustra esquemáticamente circuitos para realizar pruebas de carga de corriente y tensión;

- Las figuras 3a-e ilustran esquemáticamente un circuito de alta precisión, de medición de alta velocidad;
 La figura 4 ilustra el ciclo de conmutación de carga requerido para mediciones de ciclo único que reducen la probabilidad de ciertos problemas relacionados con el flujo residual en el núcleo de un transformador bajo prueba;
 Las figuras 5a-b ilustran elementos de conmutación paralelos con una carga conectada en serie;
 5 Las figuras 6a-b ilustran elementos de conmutación en serie con una carga conectada en paralelo;
 La figura 7 ilustra una vista en perspectiva de un conjunto de resistencias de potencia integrado en un disipador de calor común;
 La figura 8 ilustra una vista en perspectiva de una resistencia de potencia de la técnica anterior alojada en un disipador de calor;
 10 Las figuras 9a-d ilustran esquemáticamente un transformador bajo prueba, un probador de carga y circuitos de protección y control asociados;
 La figura 10a ilustra un esquema de la ruta de energía, de baja corriente e interfaz de comunicación y paso a través;
 La figura 10b ilustra un esquema del circuito de accionamiento para un conmutador de estado sólido;
 15 La figura 10c ilustra un esquema de un sensor de temperatura;
 La figura 10d ilustra un esquema de un circuito de accionamiento de LED; y,
 Las figuras 11a-d ilustran un diagrama de flujo de un programa para controlar el aparato ilustrado en las figuras 9a-d y 10a-d.

Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

- 20 En la descripción a continuación, se identifican varios circuitos integrados y otros componentes, con tipos de circuitos y fuentes particulares. En muchos casos, se mencionan valores de componentes, nombres de terminales y los números de pin para estos circuitos y componentes y fuentes específicamente identificados. Esto no debe interpretarse en el sentido de que los circuitos y componentes identificados son los únicos circuitos y componentes disponibles de las mismas fuentes o de cualquier otra, que realizarán las funciones descritas. Otros circuitos y componentes suelen estar disponibles de las mismas fuentes, y de otras, que realizarán las funciones descritas. Los nombres de terminal y los números de pin de dichos otros circuitos y componentes pueden ser o no los mismos que los indicados para los circuitos y componentes específicos identificados en esta aplicación.

- La distribución de energía desde la planta generadora a la carga se realiza por líneas de alta tensión, de transmisión de alta corriente. Las altas tensiones (por ejemplo, 345 KV o 765 KV) y corrientes (por ejemplo, en los miles de amperios) necesarios para transmitir energía de manera eficiente desde la planta no son prácticos para el uso ordinario en la mayoría de las cargas. Generalmente, las subestaciones convierten los niveles de tensión de entrada en niveles de tensión de salida (14,4 KV, 440 V, etc.) que son más adecuados para su uso en las cargas de los suscriptores. Una subestación también puede interconectar múltiples redes de generadores de energía en una red. El o cada generador de energía típicamente monitorea su contribución a la energía en la subestación o interconexión para, por ejemplo, fines de facturación. Las tensiones y corrientes en las subestaciones son típicamente demasiado grandes para ser medidas directamente por un medidor de energía. En su lugar, generalmente se usa un transformador de instrumento. Un transformador de potencial o tensión (de aquí en adelante a veces VT) y un transformador de corriente (de aquí en adelante a veces CT) se emplean para generar tensiones y corrientes de precisión, y por lo tanto relaciones de precisión a la energía que pasa a través de la subestación a niveles que son compatibles con los medidores de energía instalados en la subestación; (típicamente 69 a 600 V CA y 0 - 20 A CA). La figura 1 es una ilustración esquemática de dicha instalación. Por razones económicas, es importante medir con precisión la energía que pasa a través de una subestación. Una de las formas en que se clasifican los transformadores de instrumentos es de acuerdo con la denominada "Clase de precisión en la carga estándar", tal como se define en la Norma IEEE C57.13-1993. Es posible que se requieran pruebas periódicas para verificar que un transformador de instrumento mantenga la precisión nominal con la carga nominal mientras está en servicio. Desde la década de 1960, se han diseñado varios equipos de prueba para probar los transformadores de instrumentos en servicio. La figura 2 ilustra esquemáticamente una configuración básica para la prueba de carga. Tal secuencia de prueba puede proceder generalmente de la siguiente manera: se mide una lectura de tensión o corriente M1. La carga nominal se inserta en el circuito (generalmente en paralelo para tensión y generalmente en serie para corriente) y se toma una segunda medición M2. La carga se elimina del circuito. 50 Las dos lecturas se comparan como se muestra en la ecuación 1 para determinar la precisión del transformador.

$$(M1 - M2) / M1 \times 100 \% \leq \text{Clase de precisión} \times 100 \% \quad \text{Ec. 1}$$

- Existen varios problemas asociados con las pruebas en servicio de transformadores de instrumentos. En primer lugar, la prueba de carga, por su naturaleza, supone que la corriente primaria es constante durante el intervalo de prueba. Pequeños cambios de carga durante una prueba arrojan resultados inexactos. Además, el calentamiento interno de la carga puede contribuir a imprecisiones. A modo de ejemplo, una carga de 8 Ω que conduce 5 A rms debe ser capaz de disipar 200 W. Sin embargo, los coeficientes de temperatura están asociados con todas las resistencias. La corriente más larga pasa a través de la carga, cuanto más se calienta la carga. Cuanto más se calienta la carga, cuanto mayor es su deriva de su resistencia nominal.

- Asimismo, en probadores de carga actualmente disponibles, el operador no puede controlar los puntos del ciclo de CA en los que se inserta y retira la carga. Agregar o quitar una carga cuando la corriente está en o cerca de su pico puede resultar en la magnetización del transformador. La magnetización del transformador puede provocar un

desplazamiento del flujo en el núcleo del transformador bajo prueba (en adelante, a veces TUT). Este flujo de compensación remanente puede reducir el rango del transformador y generar una señal de salida imprecisa.

Aún además, el tiempo que la carga debe estar en el circuito depende del tiempo de estabilización del dispositivo de medición y de la rapidez con que el operador puede registrar la medición antes de eliminar la carga. Además, las resistencias tienen una vida útil definida que se ve afectada por el ciclo de temperatura. Esto requiere que las resistencias de carga tengan la capacidad de potencia nominal para disipar el calor generado durante las pruebas de carga. De este modo, las resistencias de carga son dispositivos típicamente pesados, difíciles de manejar. Muchos probadores de carga tempranos fueron diseñados para la operación de disipación de "pulso", y fueron sujetos a sobrecarga accidental por operadores descuidados que dejaron cargas en el circuito durante demasiado tiempo. Si bien la quema de una resistencia de carga utilizada para las pruebas de PT solo conduce a resultados de prueba inexactos, quemar una resistencia de carga utilizada para las pruebas de CT puede dañar el CT y / o el equipo de prueba, y potencialmente dañar al operador.

Para compensar las variaciones en la corriente primaria durante un intervalo de prueba, el operador puede tomar múltiples medidas y promediar los resultados en un esfuerzo por reducir el efecto de una carga primaria variable. Sin embargo, esto agrava los problemas asociados con el calentamiento interno de la carga y el tiempo que la carga necesita estar en el circuito.

Para acortar el tiempo que la carga debe estar en el circuito, el operador puede insertar la carga el tiempo suficiente para leer el dispositivo de medición. Esto puede acortar el tiempo que la carga está en el circuito. Sin embargo, esta técnica se basa en, por ejemplo, la memoria del operador y, como resultado, está sujeto a error. Esta técnica también conlleva el riesgo de que el operador no permita un tiempo de sedimentación suficiente para el dispositivo de medición.

En un esfuerzo por minimizar estas fuentes de error y mejorar la seguridad, los probadores de carga automatizados se crearon en las décadas de 1980 y 1990. El control de carga se traslada a un microprocesador integrado que regula automáticamente tanto la magnitud de la carga como el tiempo que la carga permanece en el circuito. Las mediciones antes y después de la inserción de la carga en el circuito se registran automáticamente y el cambio porcentual se calcula automáticamente. El porcentaje de cambio se puede comparar con la clase de precisión del transformador bajo prueba. Características adicionales como la recopilación de datos y la capacidad de descarga del ordenador también aparecen en muchos de estos probadores de carga automatizados.

La generación de probadores de carga de los años 1980-1990, aunque una mejora sobre los equipos de prueba de carga "manual", normalmente requiere una serie de relés costosos, de alta corriente y una serie de resistencias discretas de carga de potencia montadas en un disipador de calor relativamente masivo. El tiempo que una carga particular está en el circuito depende de las velocidades de conmutación de los relés asociados (que pueden ser mayores de 10 ms) y del tiempo de estabilización del circuito de medición. También, la generación de probadores de transformadores de los años 1980-1990, utilizando relés, no aborda el control de los puntos en la forma de onda en la que la carga se inserta en y se elimina de, el circuito de medición. Esto puede ocasionar que se agregue y / o elimine una carga a mitad del ciclo. Debido al retraso de propagación en la acción de los relés y las posibilidades de entrar y salir del circuito a mitad del ciclo, dos ciclos completos ($1/30^{\text{ésima}}$ de un segundo, o 33,33 msec a 60 Hz) tienen que ser asumido por error, estableciendo un intervalo de medición mínimo para compensar la variación de inserción. Hablando prácticamente, la técnica anterior contiene ejemplos que requieren un mínimo de un segundo completo para tomar una medición de carga. Asimismo, un cambio de carga durante ese período de un segundo aún puede no evitar imprecisiones en la medición, y el núcleo del TUT puede experimentar una importante magnetización remanente como resultado de la prueba.

En una instalación típica ilustrada en la figura 1, se proporciona un conmutador 20 de prueba en las rutas 22-1, 22-2, 22-3 de las tres fases $\phi 1$, $\phi 2$, $\phi 3$, respectivamente, de los transformadores 24-1, 24-2, 24-3 de corriente, respectivamente, para que una paleta 25 de prueba o "pico de pato" (ver figura 9d), tales como, por ejemplo, un enchufe de prueba Tesco modelo 1077 de fabricación antes de la rotura, puede insertarse en los respectivos bucles de corriente sin romper las rutas de corriente respectivas.

Las cargas 26 de corriente (ver figura 2) se agregan en serie con el transformador de 24-m, $1 \leq m \leq 3$, secundarias 24-m-s por, por ejemplo, abriendo los conmutadores 28-m de derivación respectivos que de lo contrario desvían la corriente. Los valores de resistencia de las cargas 26 de corriente están dictados por la norma IEEE C57.13-1993, pero los valores en el rango de $0,2 \Omega$ son típicos. Un dispositivo de medición de corriente, en la realización ilustrada, un amperímetro A, se inserta en serie con la combinación de carga 26-m del conmutador 28-m en paralelo para medir el efecto de insertar la carga 26-m en el transformador 24-m-s secundario de corriente 24-m bajo prueba. Un transformador 30-m de tensión, $1 \leq m \leq 3$, puede ser probado de manera similar por, por ejemplo, colocando una carga 32 en paralelo con los secundarios 30-m-s del transformador 30-m y cerrando el conmutador 36-m de serie respectivo, figura 2. De nuevo, los valores de resistencia de las cargas 32 de tensión están dictados por la norma IEEE C57.13-1993, pero los valores en el rango de 288Ω son típicos. Un dispositivo de medición de tensión, en la realización ilustrada un voltímetro V, se inserta en paralelo con la combinación de la serie 36-m del conmutador de carga 32-m para medir el efecto de insertar la carga 32-m en los secundarios 30-m-s del transformador 30-m de tensión de bajo prueba.

Con referencia ahora a las figuras 3a-e, una alta precisión, el circuito 40 de medición de alta velocidad se usa para medir la tensión o la corriente de un TUT 24, 30. La precisión y la velocidad del circuito 40 son tales que es posible bloquearlo en fase con los cruces 42 por cero, figura 4, de la forma de onda de tensión o corriente y realizar una medición rms en un solo ciclo. Como se señaló anteriormente, los relés de alta corriente de la técnica anterior pueden tener del orden de 10 mseg de tiempo de retraso mientras se activan o desactivan, que distorsiona la medida. Luego se debe integrar un número apropiado de ciclos en un esfuerzo por reducir esta distorsión. En esta divulgación, los relés y conmutadores de la técnica anterior han sido reemplazados por conmutadores MOSFET 28, 36 de alta velocidad que son capaces de conmutar una carga 26, 32 en menos de 100 nseg. Bajo el control de un ordenador 44 (en adelante, a veces, microprocesador o μP), figura 3a, trabajando en conjunto con un procesador 46 de señal digital (en adelante, a veces DSP), figura 3b, la inserción y extracción de una carga 26, 32 puede sincronizarse con los cruces 42 por cero, figura 4, de la señal. Una más medición precisa, libre de distorsión de la respuesta del transformador del instrumento 24 o 30 a la carga 26, 32 se puede completar en un tiempo tan corto como un ciclo (16,66 ms a 60 Hz). μP a modo de ilustración es un procesador NXP LPC2141 ARM7 de 32 bits. DSP 46 a modo de ilustración es un DSP TMS320 de Texas Instruments.

El circuito de medición incluye μP 44, el DSP 46, un conjunto 50 integrado de resistencias de potencia (en adelante, a veces IPRA), figura 3c, proporcionando la carga 26 o 32, un convertidor 53 analógico a digital (en adelante, a veces ADC) y el transformador 59 compensado, figura 3d, y una fuente 55 de alimentación e interfaz 57 de usuario, figura 3e, todo acoplado en circuito como se ilustra en las figuras 3a-e con el transformador CT o VT bajo prueba. A modo de ilustración, ADC 53 es del tipo general descrito en la Patente de Estados Unidos 6.833.803, la divulgación de la cual queda incorporada en el presente documento como referencia. A modo de ilustración, el transformador 59 compensado es del tipo general descrito en la patente de los Estados Unidos 5.276.394.

La fuente 55 de alimentación (figura 3e) recibe en una energía de puerto de entrada LÍNEA AC ENTRADA[0:1] de la subestación o similar a nivel de subestación, por ejemplo, 60 a 600 VCA, y proporciona en un puerto de salida POTENCIA [0: 1] los tensiones y corrientes necesarios para alimentar todos los μP 44 (figura 3a), DSP 46 (figura 3b), IPRA 50 (figura 3c), transformador 59 compensado y ADC 53 (figura 3d) a todos los cuales está acoplado directamente o, en el caso de IPRA 50, Del puerto μP 44 ENERGÍA2[0:1] al puerto IPRA 50 ENERGÍA[0:1].

La interfaz de usuario 57, figura 3e, que puede ser una PC independiente conectada o acoplada de forma inalámbrica (por ejemplo, mediante protocolo WiFi o Bluetooth) o puede incorporarse al dispositivo 62 de medición, incluye puerto de usuario ENTRADA DE USUARIO [0:2], que puede incluir TECLADO / PANTALLA TÁCTIL, RATÓN / ALMOHADILLA TÁCTIL Y MONITOR / GUI I / O, y el puerto SERIAL_PC [0:1] que está acoplado al puerto SERIAL_PC [0:1] del DSP 46. El puerto SERIAL [0:1] del DSP 46 está acoplado al puerto SERIAL [0:1] de μP 44. puerto de CONTROL DE CARGA de μP 44 [0:19], puerto CONTROL RELÉ DERIVACIÓN TRANSFORMADOR, puerto CONTROL RELÉ DERIVACIÓN CARGA, puerto MONITOR DE TEMPERATURA, puerto MONITOR SOBRECARGADO y puerto CONTROL DE VENTILADOR están acoplados, respectivamente, al puerto CONTROL CARGA [0:19] de IPRA 50, puerto CONTROL RELÉ DERIVACIÓN TRANSFORMADOR, puerto CONTROL RELÉ DERIVACIÓN CARGA, puerto MONITOR DE TEMPERATURA, puerto MONITOR SOBRECARGADO y puerto CONTROL VENTILADOR. El puerto TRANSFORMADOR ENTRADA[0:1] del IPRA 50 está acoplado al transformador CT o VT bajo prueba. El puerto TRANSFORMADOR SALIDA[0:1] de IPRA 50 está acoplado al puerto TRANSFORMADOR ENTRADA[0:1] del transformador compensado por medición 59. El puerto de SEÑAL ANALÓGICA del transformador 59 con compensación de medición [0:1] está acoplado al puerto de SEÑAL ANALÓGICA [0:1] del ADC 53.

Con referencia a las figuras 5a-b y 6a-b, los conmutadores 28, 36 MOSFET se pueden colocar en paralelo con los elementos 26, 32 de carga (figuras 5a-b, particularmente en la figura 5b), en serie con los elementos 26, 32 de carga (figuras 6a-b, particularmente figura 6b) o en cualquier combinación de series y paralelas requeridas para lograr valor(es) de carga 26, 32 compuesta deseada. El número n de etapas de conmutación que es deseable depende del rango deseado y los incrementos de las cargas que se agregarán al bucle de prueba. En un ejemplo, n podría ser igual a 10, con una resistencia $26n$ de $0,2 \Omega$, uno de $1/3 \Omega$, siete resistencias de 1Ω de resistencia cada una, y una resistencia de 2Ω . Esto permite un rango de valores de resistencia, incluidas las combinaciones en serie deseadas de los diversos valores de resistencia $26-n$ que se insertarán en el circuito de corriente del secundario del transformador de corriente bajo prueba. La presencia o ausencia de cualquier resistencia $26-n$ en el circuito de corriente está determinada por el estado de su respectivo conmutador $28-n$. De forma similar, se puede insertar un rango de valores $32-n$ de resistencia que incluye combinaciones paralelas deseadas de los diversos valores $32-n$ de resistencia en el circuito de tensión del secundario del transformador de tensión bajo prueba. Los conmutadores $26-n$ comprenden cada uno a modo de ilustración dos FET IRF6618 de International Rectifier. Se requieren FET de mayor tensión para los conmutadores $36-n$. Las relaciones de espiras típicas para transformadores 24-m de corriente son 400:5, proporcionando una corriente secundaria de 5 A para una corriente primaria de 400 A, 200:5, proporcionando una corriente secundaria de 5 A para una corriente primaria de 200 A, 100:5, proporcionando una corriente secundaria de 5 A para una corriente primaria de 100 A, y así sucesivamente. En un circuito ilustrativo construido de acuerdo con las figuras 5a-b, diez resistencias $26-1, 26-2, \dots, 26-10$ de carga con valores de $0,2 \Omega, 1/3 \Omega, 1 \Omega$ y 2Ω . Estos valores permiten poner en circuito una serie de cargas de corriente deseables con los secundarios $24-m-s$ del transformador $24-m$ de corriente.

Con la disponibilidad de mediciones de ciclo único y conmutación flexible de alta velocidad, un ciclo de prueba puede,

por ejemplo, proceder según se ilustra en la figura 4, con la señal que se aplica secuencialmente a una serie de cargas 26, 32 que se incrementan desde el valor más alto al más bajo. Un ciclo de prueba ilustrativo podría continuar desde el valor más bajo hasta el más alto. Tal ciclo de prueba puede medir la respuesta de un transformador 24, 30 de instrumento en, por ejemplo, siete cargas 26-n, valores 32-n en menos de 0,5 segundos a 60 Hz. La duración de dicho ciclo de prueba puede calcularse a partir de:

$$\text{Tiempo} = (\text{Ncargas} \times \text{Ciclos} / \text{Carga}) / \text{Frec Ec.} \quad 2$$

en el que Ncargas es el número de cargas 26-n o 32-n que se deben cambiar, Ciclos / Carga es el número de ciclos durante los cuales cada carga está en circuito durante cada etapa de la prueba, Frec es la frecuencia fuente (60 Hz en el ejemplo ilustrado), y Tiempo es la duración del ciclo de medición.

Además, dicho ciclo de prueba puede desmagnetizar efectivamente un núcleo que de otro modo podría estar operando con un flujo residual al someterlo a un campo magnético inducido progresivamente más bajo, descenso efectivo a través de la curva de histéresis.

La energía que debe ser disipada por la carga 26-n, 32-n es directamente proporcional a la potencia aplicada y al tiempo de la carga 26-n, 32-n está en circuito. Como ejemplos, considere las cantidades de calor que deben ser disipadas por una carga de 8 ohmios 26, 32 con una señal aplicada de 20 A rms durante 0,8 segundos y durante 16,66 ms.

$$8\Omega \times (20 \text{ A})^2 \times 0,8 \text{ segundos} = 2560 \text{ julios Ec.} \quad 3$$

$$8\Omega \times (20 \text{ A})^2 \times 0,01666 \text{ segundos} = 53 \text{ julios Ec} \quad 4$$

El cambio de temperatura, ΔT , es directamente proporcional a la energía térmica, Q.

$$\Delta T = Q / mc \text{ Ec.} \quad 5$$

en el que m es la masa del material que se calienta y c es el calor específico del material. De este modo, para dos dispositivos de igual masa m y calor específico c, El procedimiento descrito de pruebas de carga da como resultado un cambio de temperatura alrededor de una quincuagésima (53 julios / 2560 julios = 0,0207) que se experimentó con los procedimientos de la técnica anterior. Una caída de un orden y medio de magnitud en el tiempo de prueba equivale a una caída de un orden y medio de magnitud en la energía que necesita ser disipada.

Con referencia ahora a las figuras 7 y 8, se utilizó una característica de las resistencias de potencia discretas de la técnica anterior como ventaja. Típicamente, solo uno o un pequeño subconjunto del número total de resistencias 26-n, 32-n de carga disponibles, se utilizan a la vez. Según este aspecto, entonces, los disipadores de calor que alojan todas las resistencias 26-n, 32-n se puede usar para ayudar a disipar el calor cuando solo se pueden usar una o dos resistencias durante una prueba, aumentando efectivamente m en la ecuación 5 anterior. Las resistencias 26-n, 32-n de carga múltiple están montadas juntas en IPRA 50. Resistencias 26-1, 26-2,... 26-n, 32-1, 32-2,... 32-n discretas de alta capacidad de manejo de potencia están encapsuladas en un disipador de calor común 52 construido a partir de un material, tales como, por ejemplo, aluminio, cobre o similar, teniendo una alta capacidad calorífica, utilizando un conductor térmico alto, pero material 51 de encapsulado eléctricamente aislante, formando así un elemento de carga agregado o compuesto. Las resistencias 26-1, 26-2,... 26-n, 32-1, 32-2,... 32-n ilustrativas son diez en número (n = 10), y son generalmente circulares en sección transversal y transversal a sus extensiones longitudinales. Un material 51 para encapsulado ilustrativo es Aremco Products Inc., CERAMACAST 675 mezclado con carburo de silicio verde en una proporción de 5:3. Generalmente, se proporcionan canales circulares de sección transversal en el disipador de calor 52 para recibir de forma deslizante dos resistencias 26-1, 26-2,... 26-n, 32-1, 32-2,... 32-n cada uno. Las resistencias 26-1, 26-2,... 26-n, 32-1, 32-2,... 32-n se recubren con el material 51 de relleno antes o cuando se insertan en los canales, y se agrega material de relleno adicional para llenar los canales después de que las resistencias se insertan en los canales. El material para encapsulado luego se deja endurecer, fijando las resistencias 26-1, 26-2,... 26-n, 32-1, 32-2,... 32-n en contacto térmico con el disipador 52 de calor mientras los aísla eléctricamente del disipador 52 de calor. En comparación con, por ejemplo, diez partes discretas como, por ejemplo, Resistencias Vishay RH-50, figura 8, El IPRA 50 tiene un 30 % menos de peso, y cualquier combinación de valores en serie y / o en paralelo es capaz de disipar 105 W de forma continua a 25 °C. Una sola resistencia Vishay RH-50 sin montar, figura 8, es capaz de disipar 12 W cuando se opera en aire libre.

Con referencia ahora a las figuras 9a-d, un comprobador 54 de carga (figuras 3a y 3c) configurado para probar un transformador 56 de corriente de instrumento, En la figura 9a, comprende una paleta 25 de prueba o pico de pato que tiene cables 25-1, 25-2 para acoplar los cables 56-s-1 y 56-s-2 laterales alto y bajo, respectivamente, del secundario 56-s del transformador 56. El lado 25-1 alto del pico 25 de pato está acoplado a un pin 50-1 de conector de alta corriente, figuras 9a-b, eso está acoplado al lado alto de un IPRA 50 en el probador 54 de carga. El lado 25-2 bajo del pico 25 de pato está acoplado a través de un pin 50-2 conector de alta corriente a un terminal 70-p-1 del devanado 70-p primario de un transformador 70 de continuidad en el probador 54 de carga. La primera 60-1 y segunda 60-2 ruta de alta corriente acoplan el probador 54 de carga a un dispositivo 62 de medición de corriente controlado por DSP 46 de alta precisión (figuras 3b, d y e). La primera y segunda ruta 60-1, 60-2 de alta corriente, respectivamente, están unidos por alta corriente, diodos 64-1, 64-2 de sujeción de baja polarización, en la figura 9c, para proporcionar una

alta corriente, ruta de carga baja si el dispositivo 62 de medición de corriente no está en circuito. Los diodos 64-1, 64-2 a modo de ilustración son diodos ST Microelectronics STPS30H60CG. La primera ruta 60-1 de alta corriente acopla el lado bajo del IPRA 50 a un cable 66 de prueba de alta corriente terminado con un enchufe 68 de alta corriente.

5 La segunda ruta 60-2 de alta corriente acopla un terminal del lado 70-p-2 bajo de un transformador 70-p de continuidad primario 70 a un cable 72 de prueba de alta corriente terminado con un enchufe 74 de alta corriente. Las n resistencias 26-1, 26-2,... 26-n, figuras 9b y d, en el IPRA 50 están acoplados en serie. Un relevo 76, cuando se activa, deriva los secundarios 56-s del transformador 56 de corriente derivando el pin 50-1 del conector de alta corriente, figura 9a, al pin 50-2 del conector de alta corriente cuando el relé 76 está cerrado. Un relé 76 ilustrativo es el relé Tyco RTD14012F.

10 Se coloca un circuito 78 de fallo de alta corriente a través del pin 50-1 del conector de alta corriente y el pin 50-2 del conector de alta corriente. El circuito 78 monitorea la tensión a través de secundarios 56-s del transformador 56 de corriente bajo prueba y sujeta los secundarios 56-s en caso de una condición de sobrecarga, tales como, por ejemplo, cuando la tensión en los secundarios 56-s supera el pico de 60 voltios. El circuito 78 también pone en corto el secundario hasta que se cierra el relé 76. Un relé 76 típico tiene un tiempo de conmutación de 20 ms.

15 Un segundo relé 80 desvía el lado alto IPRA 50 50-h a su lado bajo 50- < cuando está cerrado. Un relé 80 ilustrativo es el relé Tyco RTD14012F.

Un terminal 70-s-1 de lado alto, en la figura 9c, de los secundarios 70-s del transformador 70 de continuidad está acoplado a un terminal de salida de un amplificador 84 que tiene un terminal de entrada inversora (-) y un terminal de entrada no inversora (+). Un terminal 70-s-2 de lado bajo del transformador 70 de continuidad está acoplado a tierra. El terminal de salida del amplificador 84 está acoplado a través de una resistencia de 1 K Ω al terminal de entrada del amplificador 84. El terminal de entrada del amplificador 84 se acopla adicionalmente a través de una resistencia de 1 K Ω a tierra. El microprocesador 44 está acoplado por un filtro 86 de paso alto que incluye una resistencia que tiene una resistencia de, tal y como se ilustra, 1 K Ω , y un condensador que tiene una capacidad de, tal y como se ilustra, 10 μ F, al terminal de entrada + del amplificador 84. El microprocesador 44 puede generar una señal y acoplarla a la ruta 60-1, 60-2 de alta corriente y medirla mediante el dispositivo de medición 62 de corriente para asegurar que existe una buena ruta antes de aplicar una carga 26-1, 26-2,... 26-n al transformador 56 de corriente secundario 56-s. Un transformador 70 de continuidad ilustrativo tiene una relación de espiras de 125:2. El terminal 70-s-1 del lado alto del secundario 70-s también está acoplado a través de una resistencia de carga de bajo valor, tal y como se ilustra, una resistencia de 5 Ω y un relé 100 a tierra. El relé 100 a modo de ilustración es un relé Omron G5V. El fin del relé 100 es derivar los secundarios 70-s cuando el amplificador 84 no está inyectando una señal. De otra manera, una impedancia se reflejará nuevamente en la carga de los secundarios 56-s del transformador de corriente 56. A modo de ilustración, el amplificador 84 es un tipo OPA227 de Burr-Brown (ahora Texas Instruments), V_{CC} es 6V y V_{EE} es -6V.

Un conmutador MOSFET 28-1, 28-2,... 28-n acopla el lado alto de cada una de las resistencias 26-1, 26-2,... 26-n, respectivamente, en el IPRA 50 al lado bajo de la resistencia respectiva. Cada resistencia 26-1, 26-2,... 26-n, por lo tanto, se puede poner o sacar individualmente del circuito girando su conmutador MOSFET 28-1, 28-2,... 28-n respectivo apagado o encendido.

Volviendo ahora a la figura 10a, se proporciona un enchufe 90 de baja potencia para obtener potencia auxiliar, para comunicación en serie e interfaz entre el probador 54 de carga, Las figuras 3a y c, y el dispositivo 62 de medición, figuras 3b, d y e. Se proporciona un conector 96 de baja potencia para "conectar en cadena" dispositivos adicionales a la alimentación auxiliar, a las líneas 98 de comunicación en serie, y para interconectar el circuito 62 de medición de corriente de bajo nivel, figuras 3b, d y e. El relé 100, figuras 9d y 10a, permite la selección entre acoplar el circuito de continuidad local, figura 9d, o un dispositivo conectado en cadena acoplado al conector 96 al circuito 62 de medición de corriente, figuras 3b, d y e. El relé 100 se acciona desde μ P 44 a través de un transistor bipolar, a modo de ilustración un tipo 2N2222.

45 Una sonda de corriente con pinza, tales como, por ejemplo, una sonda de corriente con abrazadera modelo AEMC JM845A, se puede conectar al conector 96 de paso para que la corriente primaria en la instalación se pueda comparar con la corriente secundaria que se mide directamente en la ruta 60-1, 60-2 de alta corriente.

El microprocesador 44 controla los relés 76, 80, 100 y los conmutadores MOSFET 28-1, 28-2,... 28-n o 36-1, 36-2,... 36-n, controla un sensor 110 de temperatura, en la figura 10b, adherido a la IPRA 50, supervisa el circuito 78 de disparo de sobrecarga, obtiene la tensión en el puerto de salida del amplificador 84 para la prueba de continuidad, modula el ventilador 114, figura 7, asociado con IPRA 50, y se comunica con el DSP 46 a través de las líneas 98 de comunicación en serie. El sensor 110 de temperatura está acoplado al microprocesador 44 a través de la línea 98 serie de dos hilos. El sensor 110 de temperatura a modo de ilustración es un NXP SA56004 con V_{DD} de 3,3 V.

55 Cada conmutador MOSFET 28-n, 36-n es conducido desde el microprocesador 44 a través de una memoria 116-n intermedia, accionando un transformador 118-n de pulso. Ver figuras 5a, 6a y 10c. Una memoria 116-n intermedia ilustrativa es el controlador FET UCC27324D de Texas Instruments con V_{CC} de 6V, accionando un transformador 118-n de pulso que tiene una relación de espiras de 1:2, y un transistor controlador como un ON Semiconductor o Motorola BSS138 FET que acopla el transformador de pulso a los puertos de entrada de los conmutadores 28-n, 36-n.

Diodos emisores de luz (LED) 122, figura 10d, están acoplados al microprocesador 44 para proporcionar una indicación visual del estado del probador 54 de carga. A modo de ilustración, los LED 122 son un Dialight 521-9450. Debido a que la fuente de alimentación en el ejemplo ilustrado tenía una potencia limitada, se proporcionó el circuito de la figura 10d para cambiar el nivel de suministro de tensión del suministro de +3,3 V al μ P 44 al suministro de -6 V del sistema. En el circuito ilustrado en la figura 10d, R53 y R54 son resistencias de 3,16 K Ω , Q42 y Q45 son transistores bipolares tipo 2N2907, Q43 y Q44 son FET tipo BSS138, R55 y R56 son resistencias de 46,4 K Ω , y R58 y R59 son resistencias de 316 Ω .

Volviendo ahora a las figuras 11a-d, y particularmente a la figura 11a, una solicitud del usuario para iniciar una prueba de carga señala el inicio de una prueba. La lógica de medición de carga está activada, figuras 11a y c, el disparador de "inicio de prueba" se detecta mediante la rutina de "cuenta regresiva para iniciar la medición de carga", figura 11b, que desencadena "inicio de control". Se proporciona un vector de cargas seleccionadas para medir al controlador de hardware de carga, figuras 11b y d. Se incrementa un contador de carga, figura 11b, y se proporcionan entradas de medición de corriente, figura 11c, a una rutina de "detección de cruce por cero", una rutina de "detección de frecuencia" y una rutina de "integración y volcado". La rutina de "cruce por cero" también proporciona salida de medición de fase a un bloque de decisión de "cruce por cero", figura 11c, al controlador de hardware de carga (figuras 9a-d, 10a-d), figuras 11b y d, y para la rutina de "cuenta regresiva para comenzar la medición de carga", figura 11b. Si el cruce por cero no es par, figuras 11c y b, el contador de carga se incrementa, figura 11b. Si el cruce por cero es par, figura 11c, indicando que ha pasado un ciclo completo de la corriente o tensión de entrada, la rutina "integrar y volcar" vuelca el valor integrado al almacenamiento y borra el integrador, y se almacena la i-ésima medición de carga, figuras 11 c-d. Si se incrementa el contador de carga, figura 11b, la rutina pregunta, figuras 11a-b, si el contador ha excedido el número máximo de cargas 26, 32 con el que el transformador, 24, 30, 56 del instrumento debe ser probado. En caso negativo, la rutina continúa corriendo. Si el contador de carga ha excedido el número máximo de cargas, figura 11a, el programa ha llegado al "final de la prueba", y la rutina se apaga.

El dispositivo 62 de medición de corriente de alta precisión ilustrado incluye una carga baja, relación de precisión, etapa 59 de medición actual, en la figura 3d, acoplado a un ADC 53 de 24 bits acoplado a DSP 46, figura 3b. Si bien se ilustra como incrustado o incorporado en el dispositivo 40, μ P 44 también puede ser externo al aparato 40 de medición de corriente y comunicarse con él, por ejemplo, a través de la comunicación en serie.

El software del microprocesador 44 y DSP 46 configura el microprocesador 44 y el DSP 46 para que funcionen juntos en un bucle de fase bloqueada (en adelante, a veces PLL), sincronización de mediciones y comandos de carga con los cruces por cero (ver figura 4) de la corriente o tensión que se está midiendo. El software analiza el espectro de la corriente o tensión medido, suministrando información armónica e interarmónica, mide la corriente / tensión sin carga y la corriente / tensión con carga y proporciona la medición de diferencia de porcentaje (%). El software también se multiplexa entre la ruta de alta corriente y la ruta de baja corriente. Con una pinza de corriente primaria calibrada (no se muestra) unida al conector de paso, el software calcula la relación de la corriente primaria a la corriente secundaria a través de, por ejemplo, 56-s. El software se comunica además con la interfaz 57 de usuario incorporada del dispositivo 62 de medición actual o con una interfaz externa (no mostrada) mediante comunicación en serie. Este sistema permite así al usuario interactuar con el aparato 40 de prueba de transformador. Esto incluye, pero no se limita a, crear, editar y ejecutar secuencias de prueba, recopilar y mostrar los resultados de las pruebas y generar informes de los resultados recopilados.

Para los expertos en la materia, se entiende que este es solo un ejemplo y que existen análogos de tensión y potencia de los procedimientos y aparatos desvelados. Por ejemplo, un IPRA conectado en paralelo con valores apropiados puede ser sustituido y utilizado para probar transformadores de tensión y proteger el circuito secundario del transformador del instrumento contra cortocircuitos en lugar de circuito abierto.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento para probar un transformador (24, 30, 56), comprendiendo el procedimiento operar un controlador (44) para generar una señal de conmutación, suministrar la señal de conmutación a un conmutador (28, 36) de estado sólido en circuito con una carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida, cambiar el conmutador (28, 36) de estado sólido para colocar la carga (26, 32) de prueba en el circuito con el transformador (24, 30, 56), medir una señal por medio o a través del transformador (24, 30, 56), monitorizando los cruces (42) por cero de la señal medida, y operando el controlador (44) para generar la señal de conmutación sustancialmente en los cruces (42) por cero de la señal medida.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, que incluye además la conversión (53) analógica a digital de la señal medida.
- 10 3. El procedimiento de la reivindicación 2, que incluye además bloquear una fase de la señal de conmutación a una fase de la señal medida.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que suministrar la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido en circuito con la carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida comprende suministrar la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido en paralelo a la carga (26, 32) de prueba.
- 15 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que suministrar la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido en circuito con la carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida comprende suministrar la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido en serie con la carga (26, 32) de prueba.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que suministrar la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido en circuito con la carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida comprende suministrar la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido en serie-paralelo con la carga (26, 32) de prueba.
- 20 7. El procedimiento de la reivindicación 1, que incluye además la conversión (53) analógica a digital de la señal medida.
8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que suministrar la señal de conmutación a un conmutador (28, 36) de estado sólido comprende suministrar la señal de conmutación a un transistor (28, 36) de efecto de campo.
- 25 9. Aparato para probar un transformador (24, 30, 56), comprendiendo el aparato un controlador (44) para generar una señal de conmutación, una carga de prueba de magnitud conocida, un conmutador (28, 36) de estado sólido en circuito con la carga (26, 32) de prueba, teniendo el conmutador (28, 36) de estado sólido un puerto de control acoplado al controlador (44) para suministrar la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido para colocar la carga (26, 32) de prueba en circuito con el transformador (24, 30, 56) y un dispositivo (62) de medición acoplado a la carga (26, 32) de prueba para medir una señal por medio o a través del transformador (24, 30, 56), en el que el controlador (44) está acoplado a la carga de prueba para monitorear los cruces (42) por cero de la señal medida, y el controlador (44) suministra la señal de conmutación al conmutador (28, 36) de estado sólido sustancialmente en los cruces (42) por cero de la señal medida.
- 30 10. El aparato de la reivindicación 11 que incluye además un convertidor (53) analógico a digital acoplado al transformador (24, 30, 56) y al dispositivo (62) de medición para la conversión de analógico a digital de la señal medida.
- 35 11. El aparato de la reivindicación 12 en el que el controlador (44) está acoplado a la carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida para bloquear una fase de la señal de conmutación en una fase de la señal medida.
12. El aparato de la reivindicación 11 en el que el conmutador (28, 36) de estado sólido está acoplado en un circuito (26-n, 28-notn, 32-n, 36-n) en serie con la carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida.
- 40 13. El aparato de la reivindicación 11 en el que el conmutador (28, 36) de estado sólido está acoplado en un circuito (26-n, 28-n, 32-n, 36-notn) en paralelo con la carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida.
14. El aparato de la reivindicación 11 que comprende múltiples conmutadores (28, 36) de estado sólido, los conmutadores (28, 36) de estado sólido acoplados en circuito (26-n, 28-notn, 32-n, 36n, 36-notn) en serie-paralelo con la carga (26, 32) de prueba de magnitud conocida.
- 45 15. El aparato de la reivindicación 11 en el que el conmutador (28, 36) de estado sólido comprende un transistor (28, 36) de efecto de campo.

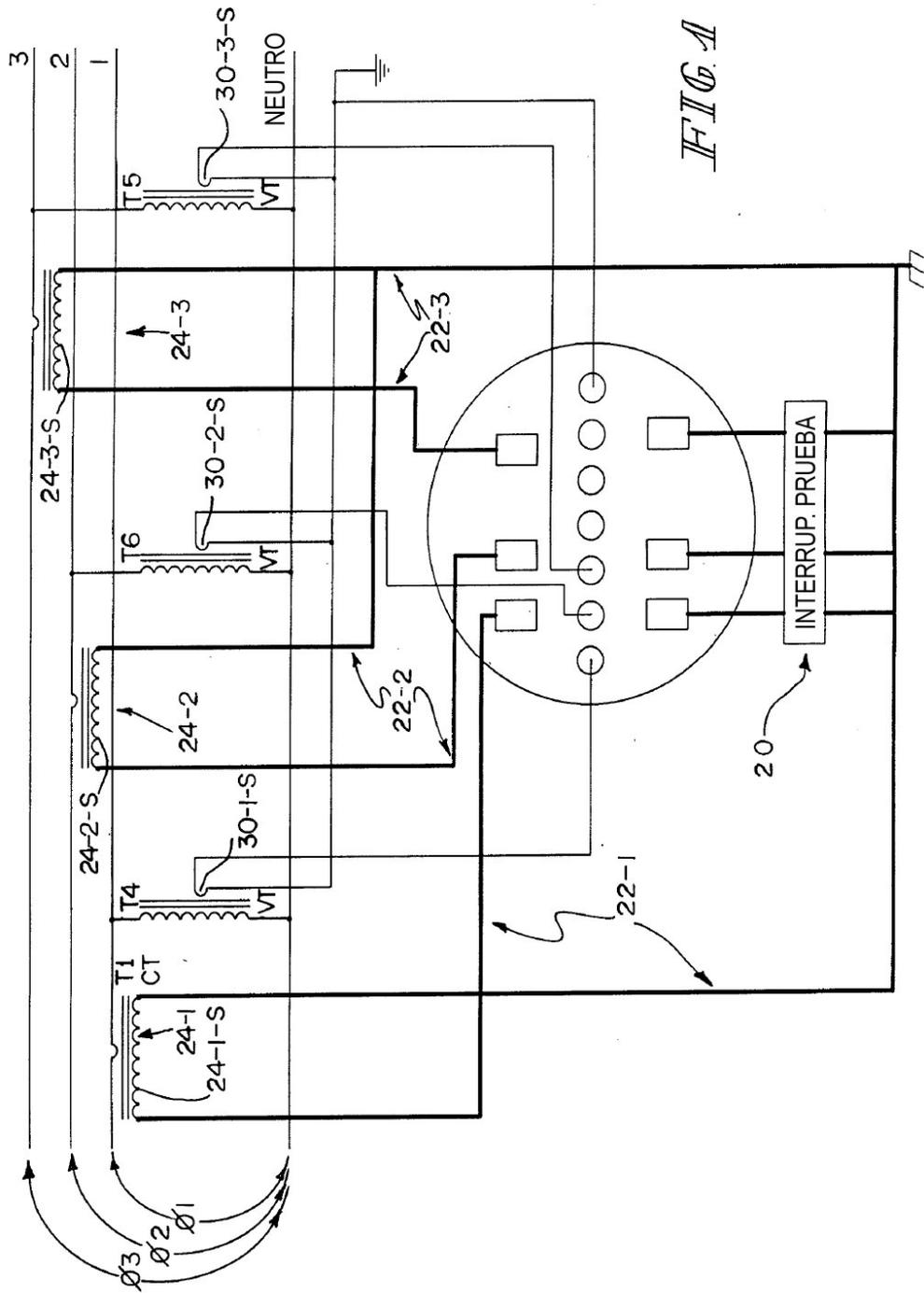


FIG. A

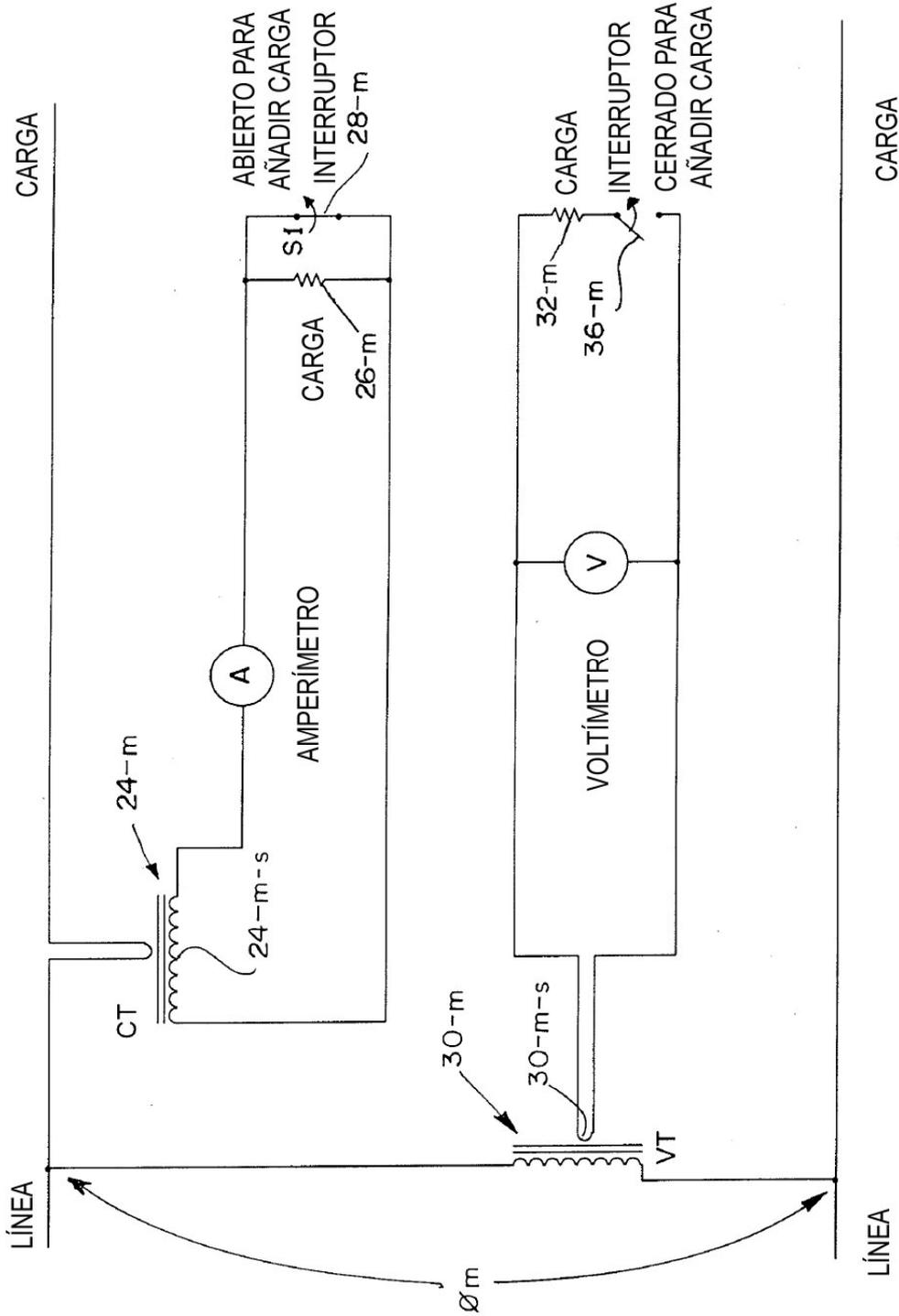


FIG. 2

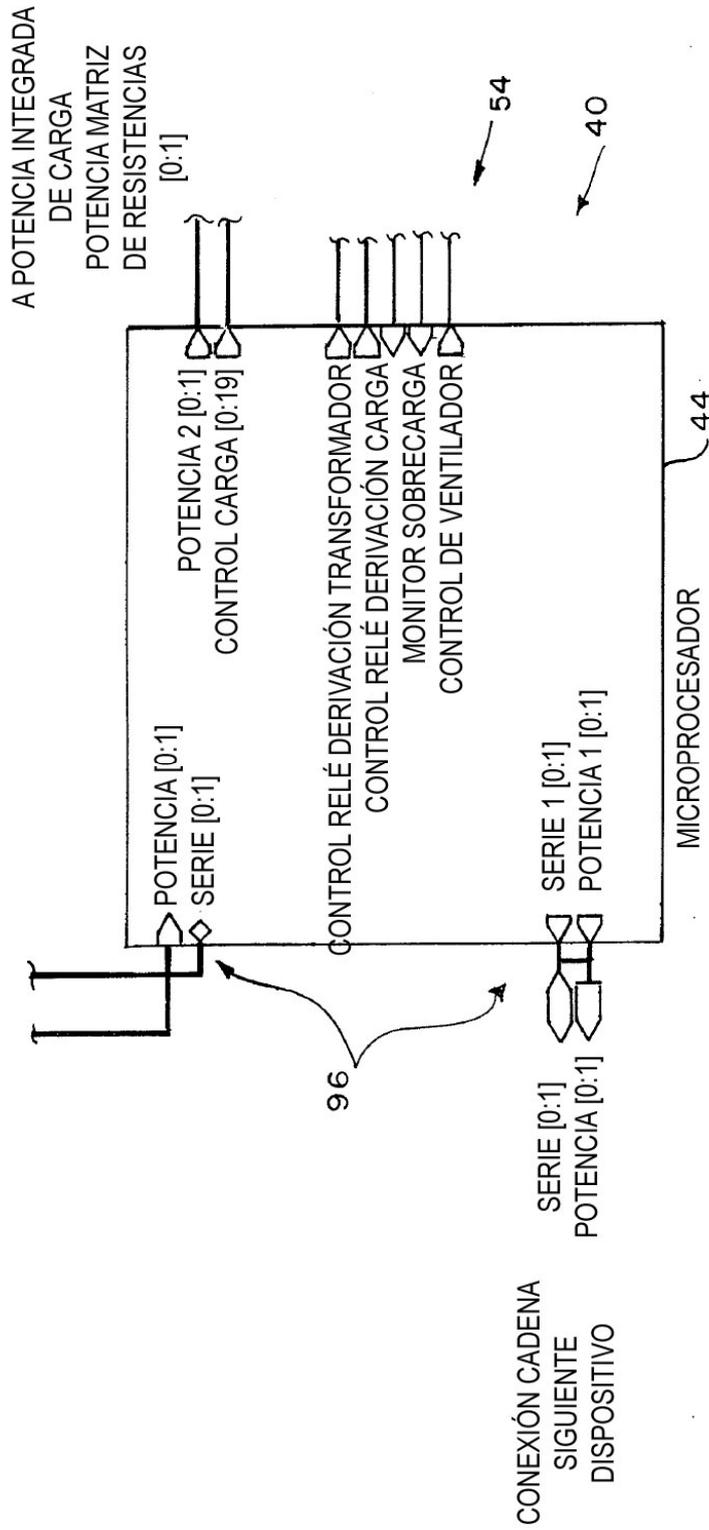


FIG. 3a

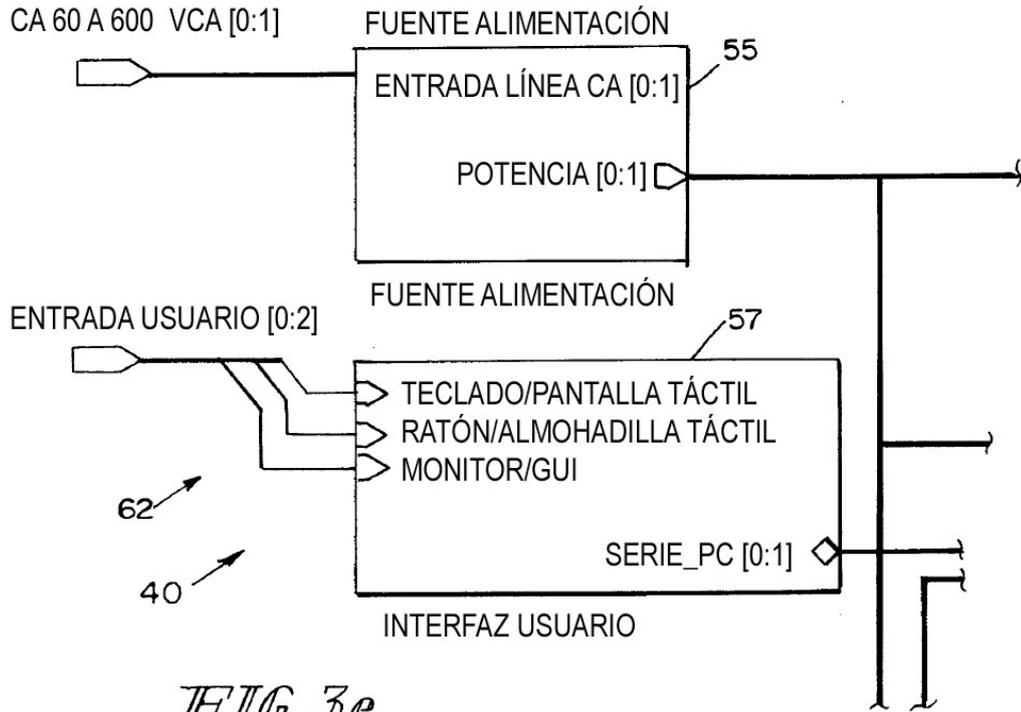


FIG 3e

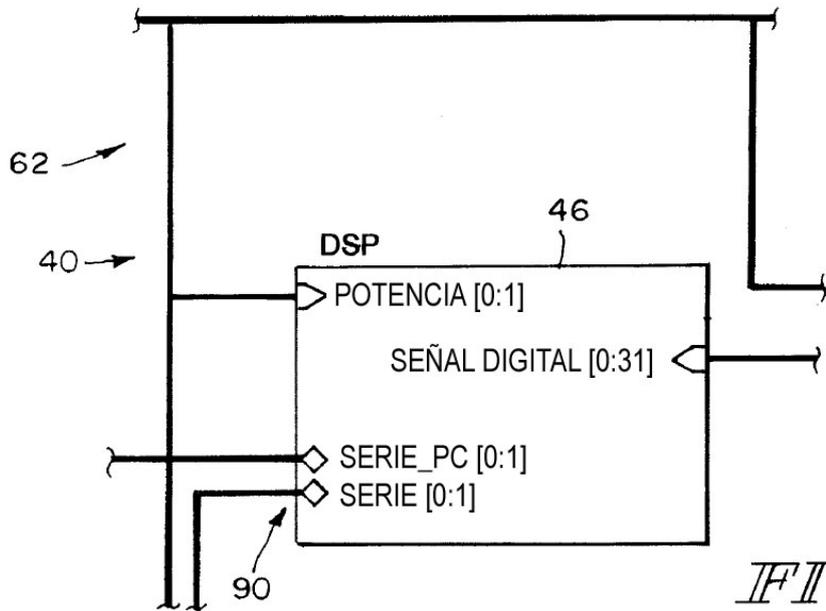
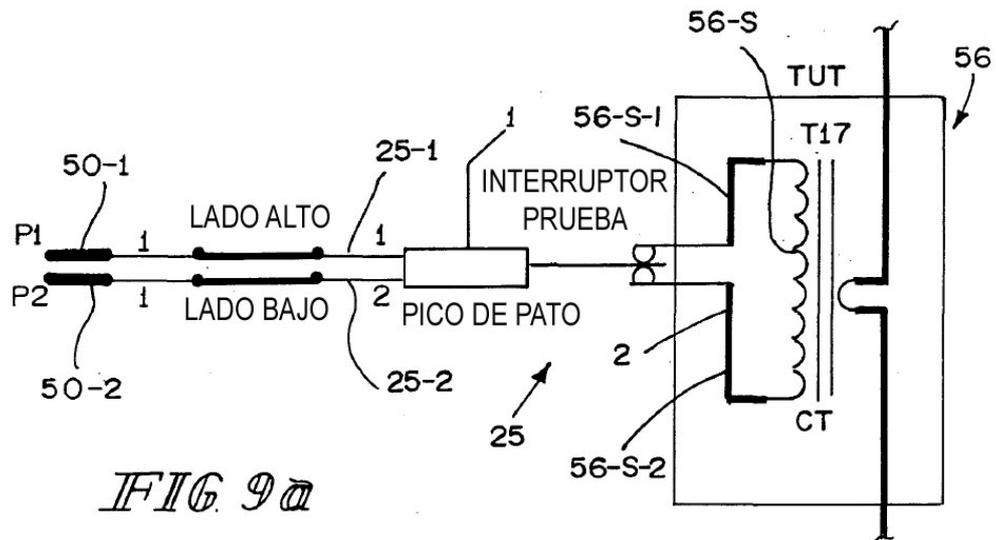
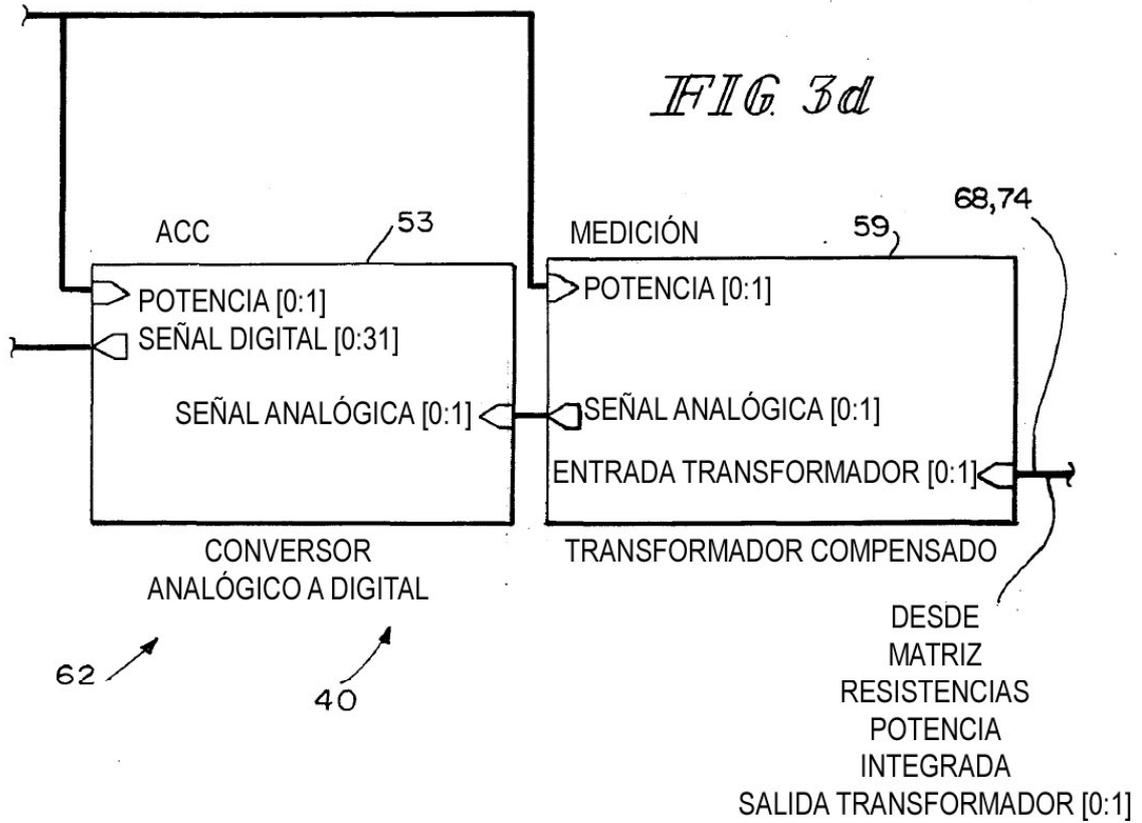


FIG 3b



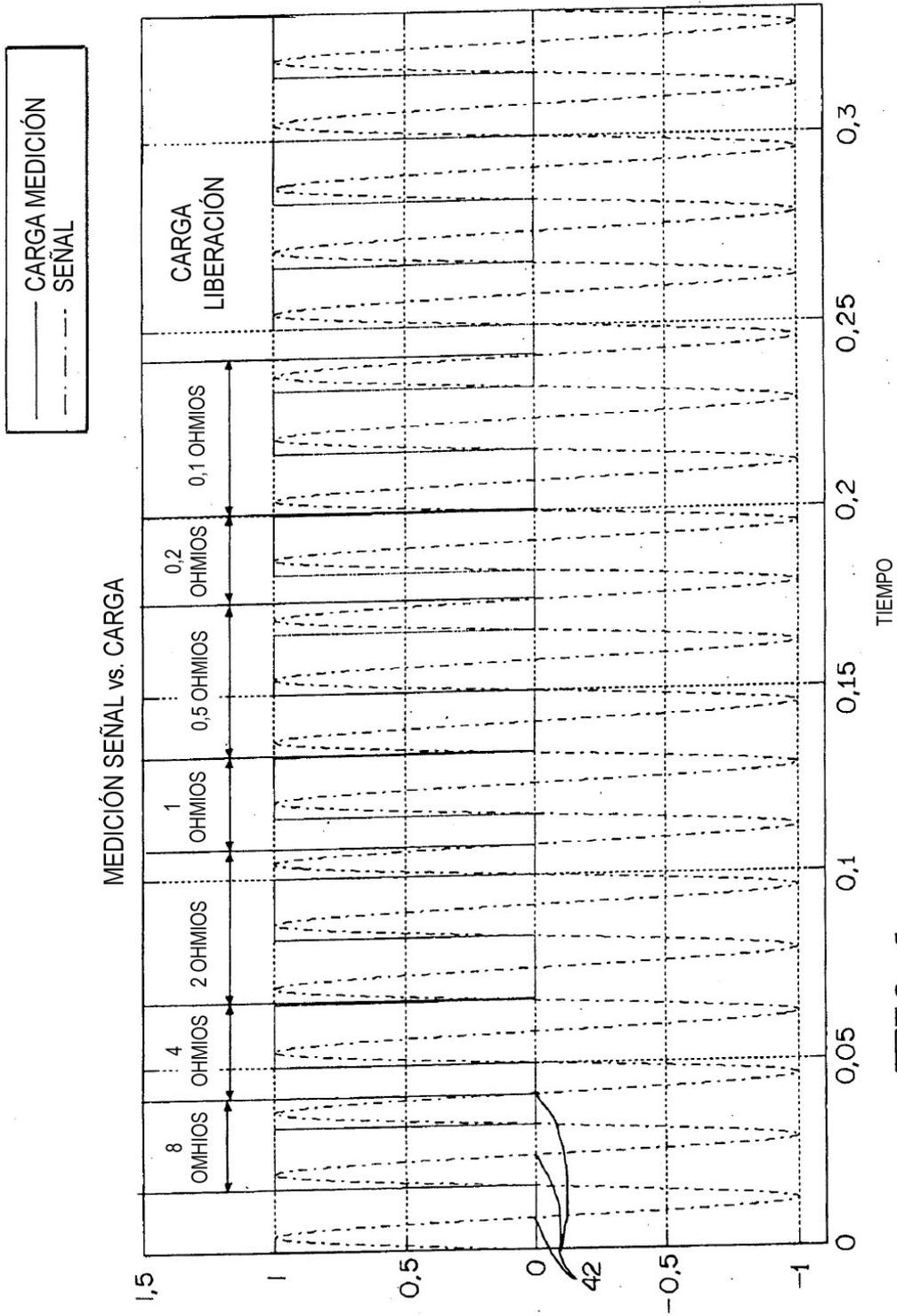
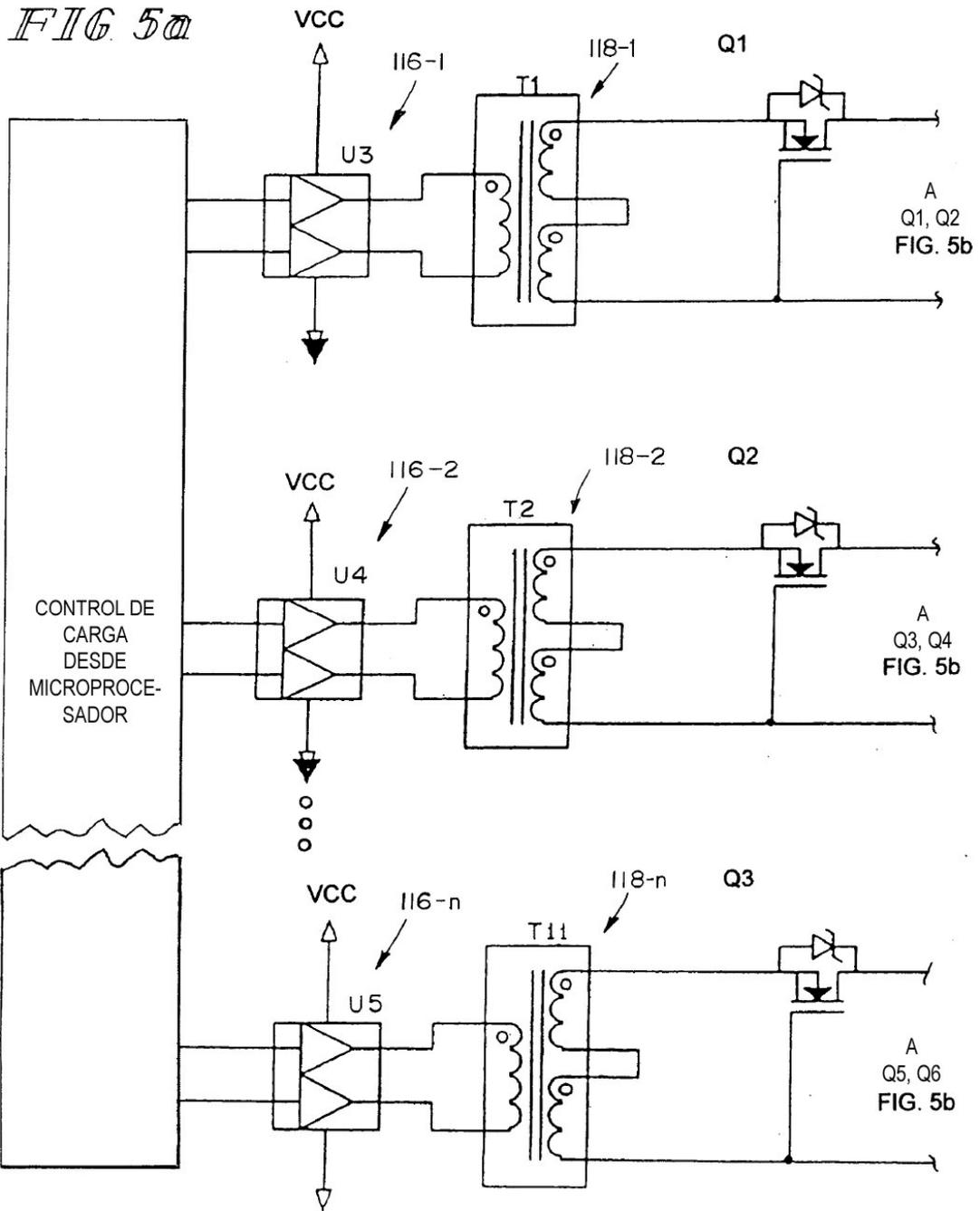


FIG 4



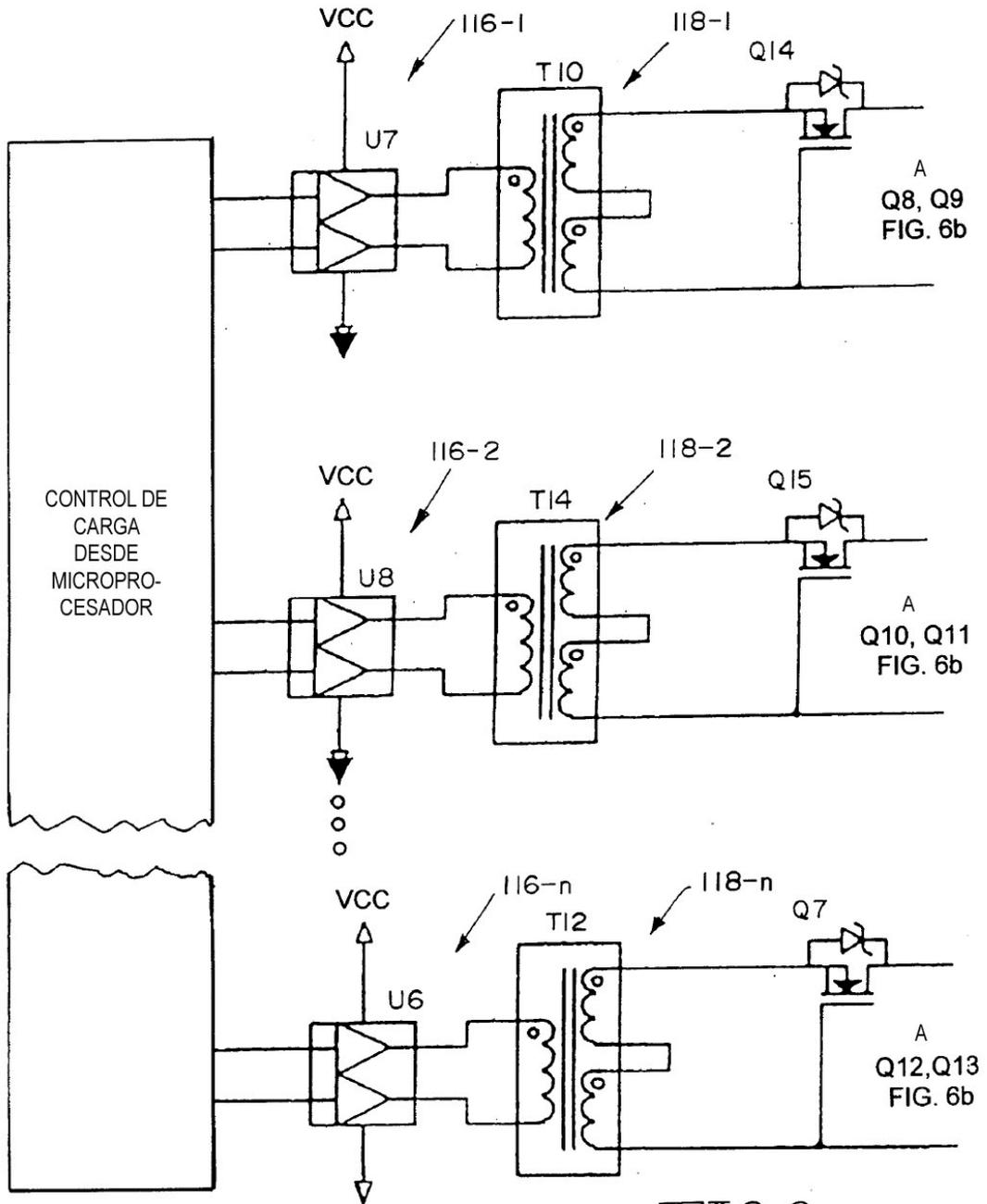
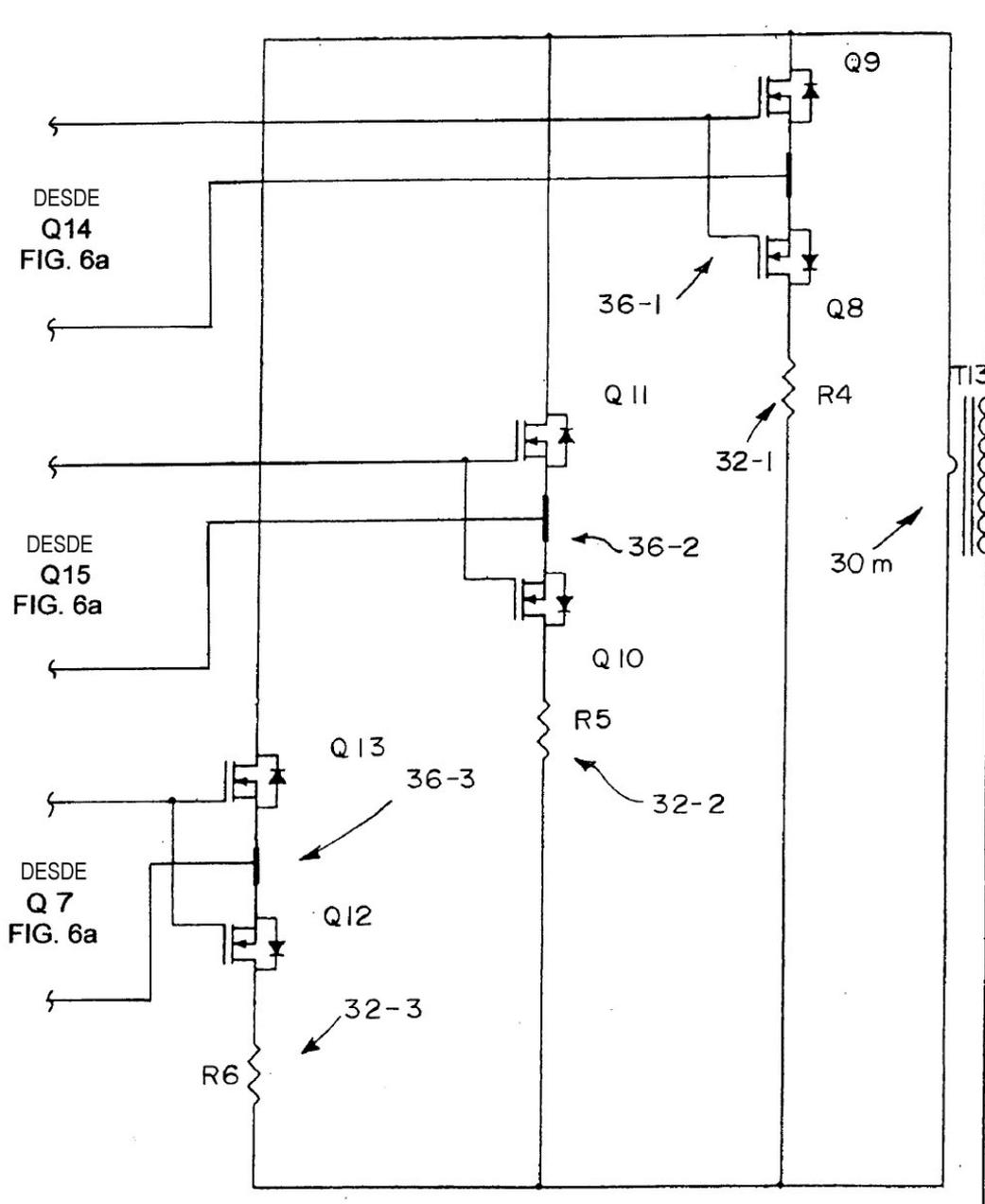


FIG. 6a

FIG. 6b



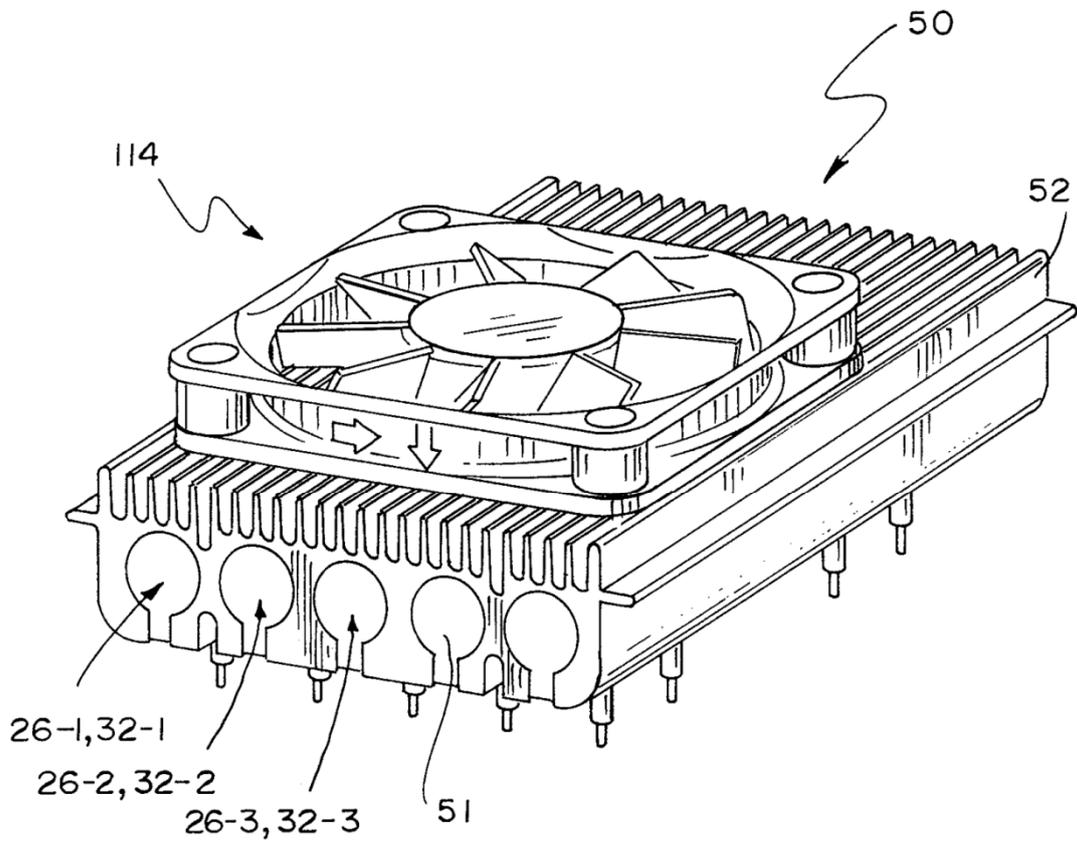


FIG 7

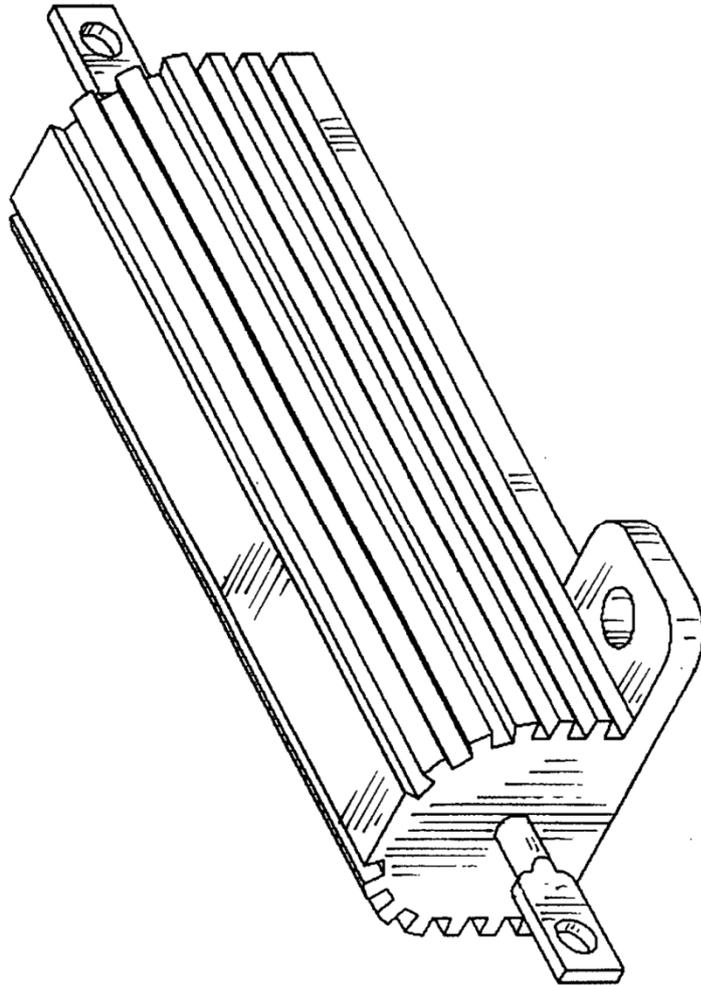


FIG. 8

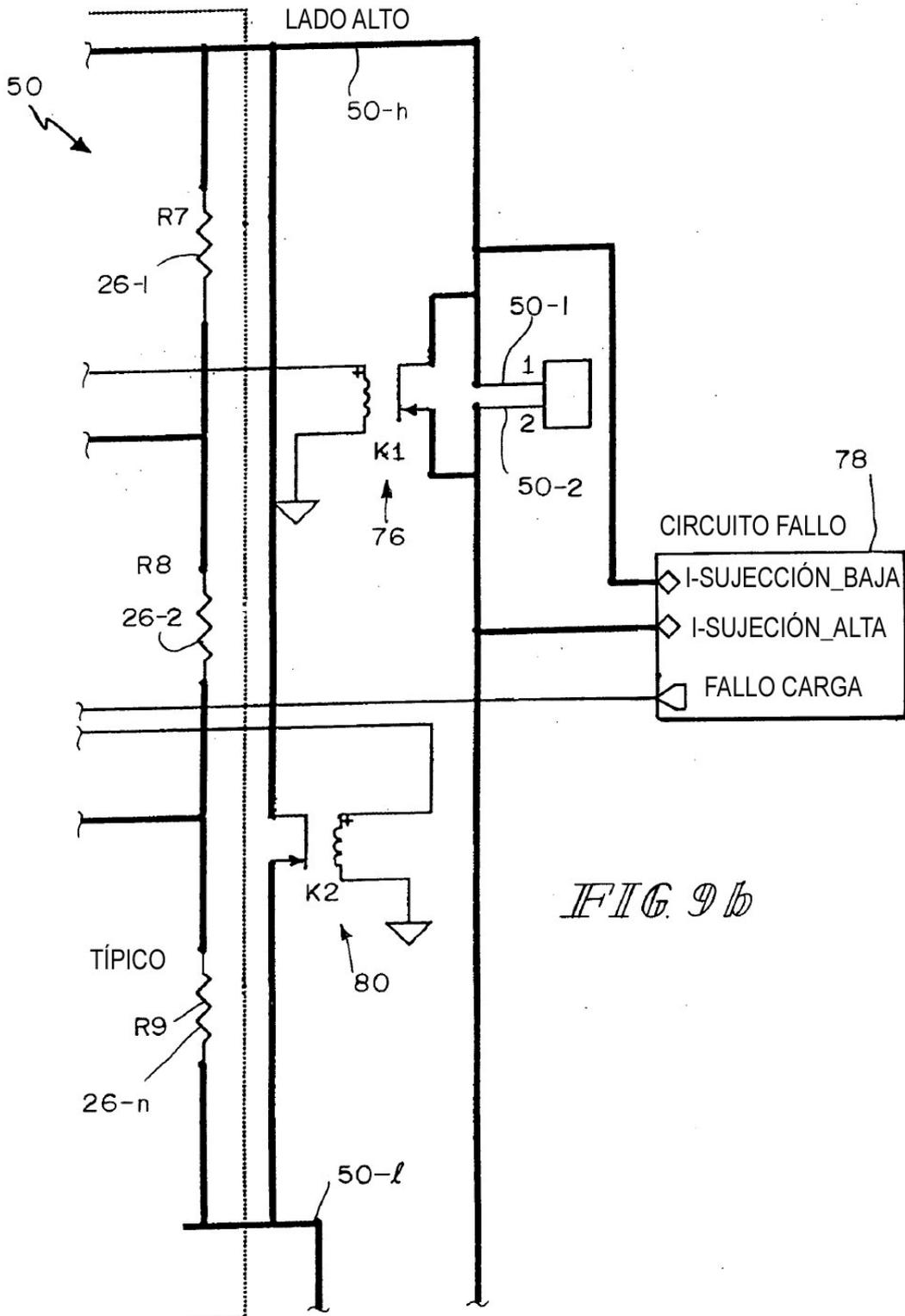


FIG. 9b

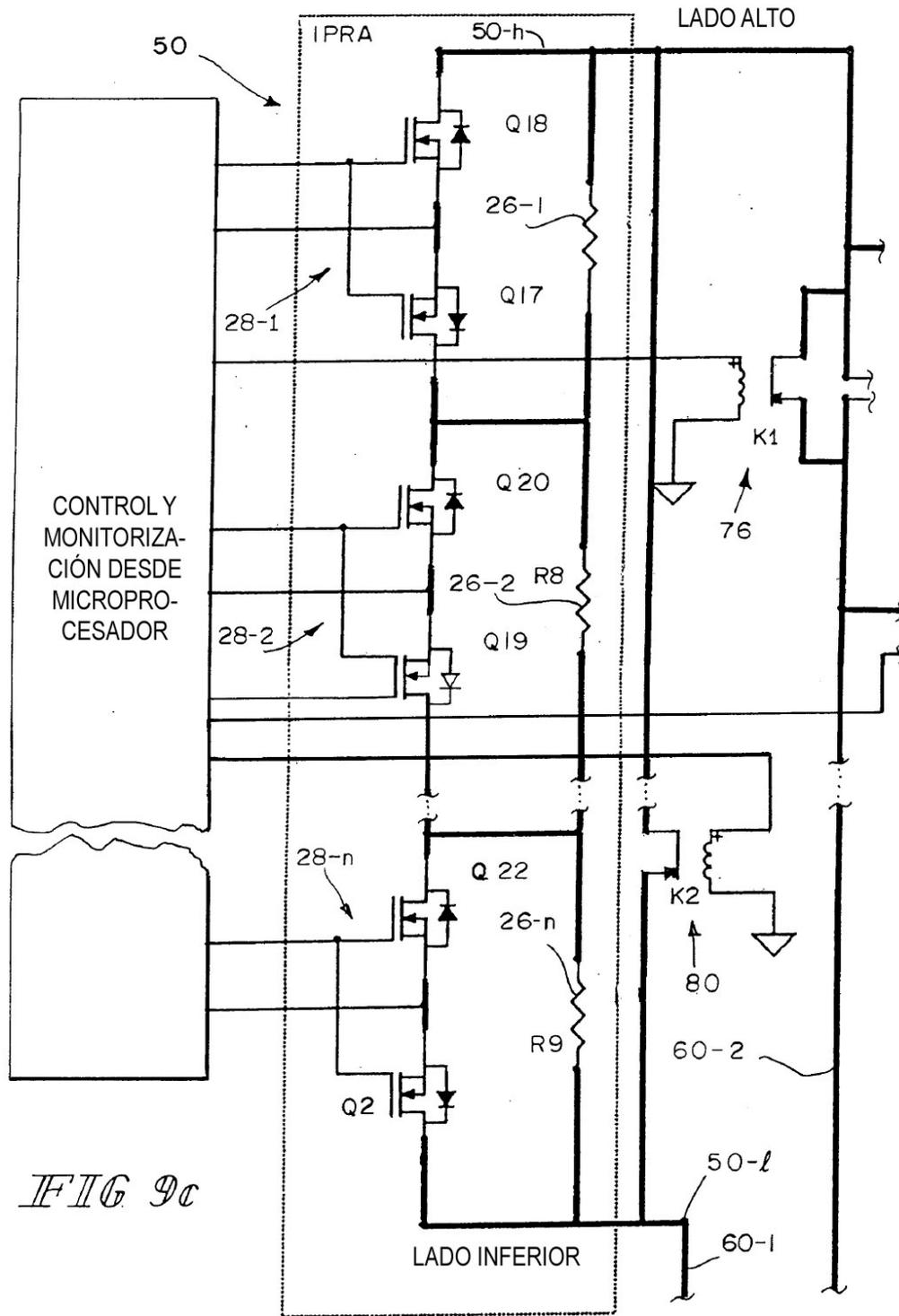


FIG 9c

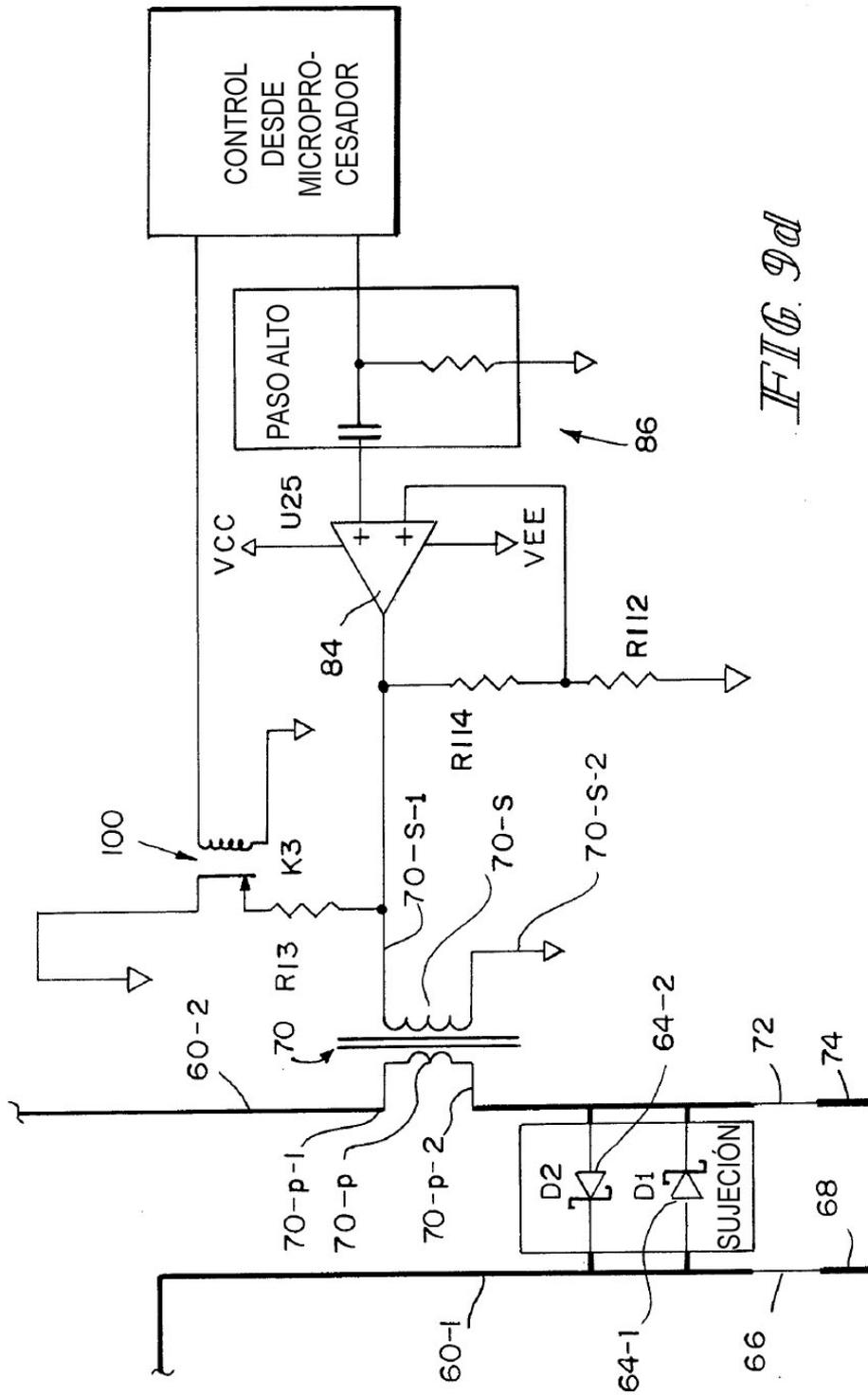
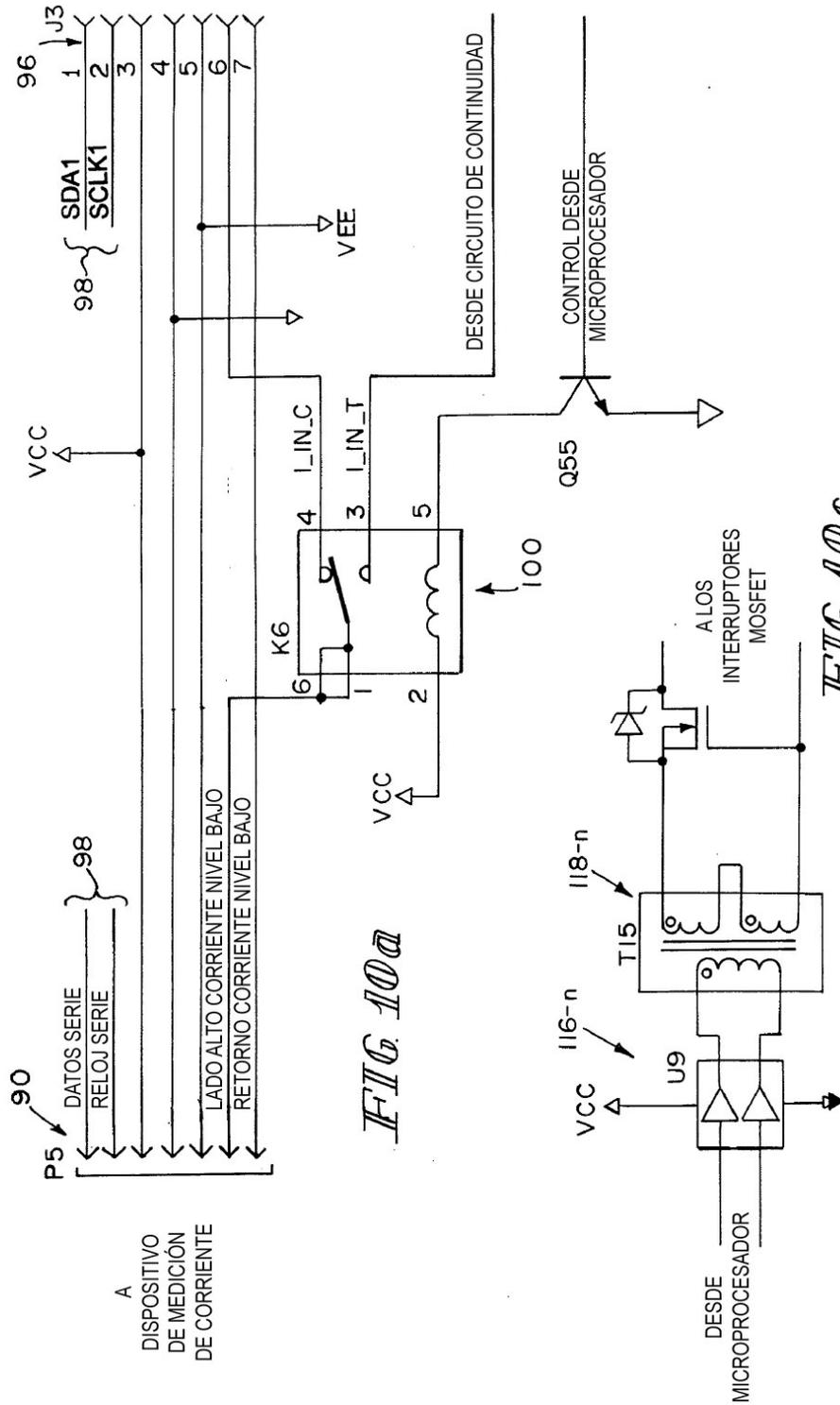


FIG. 9d



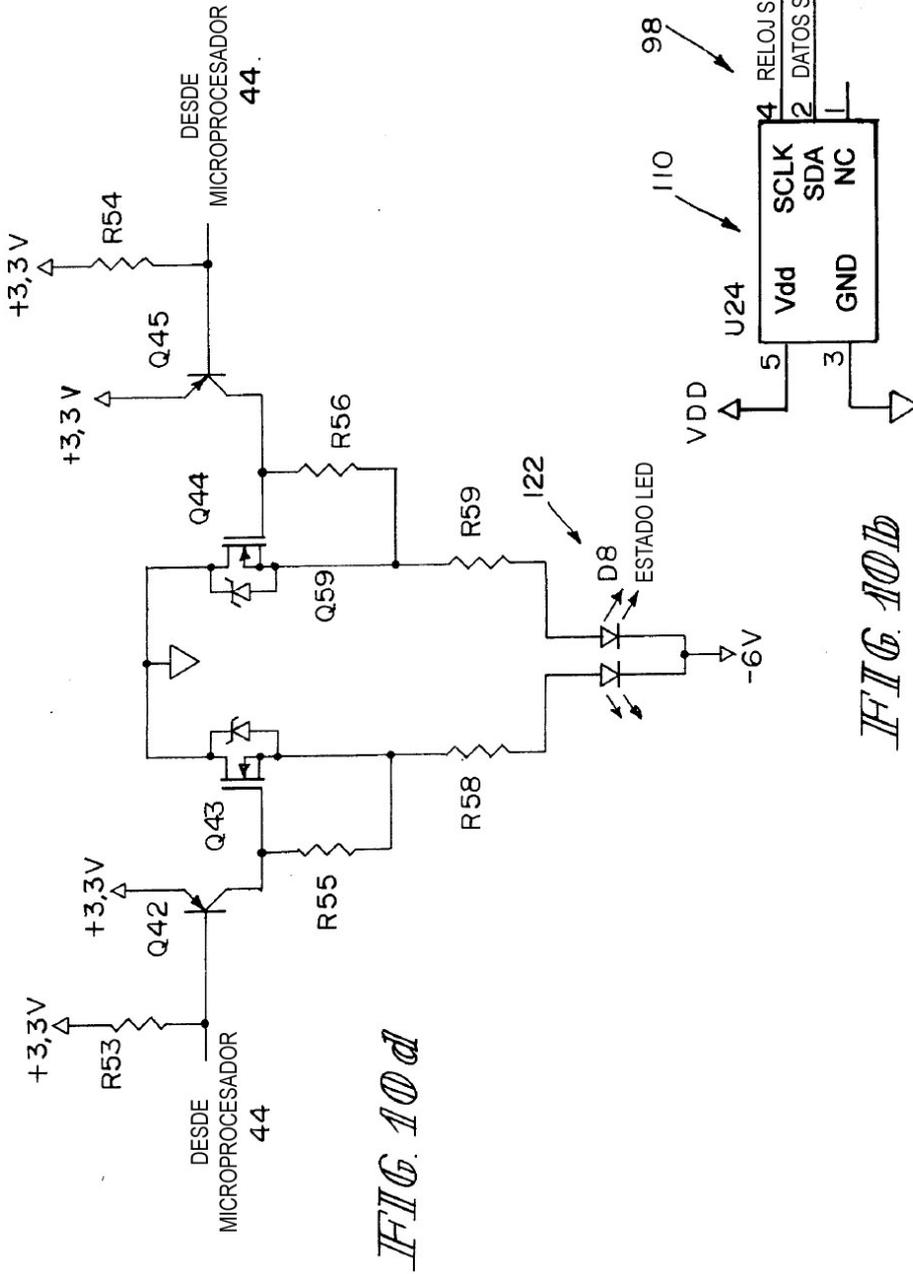
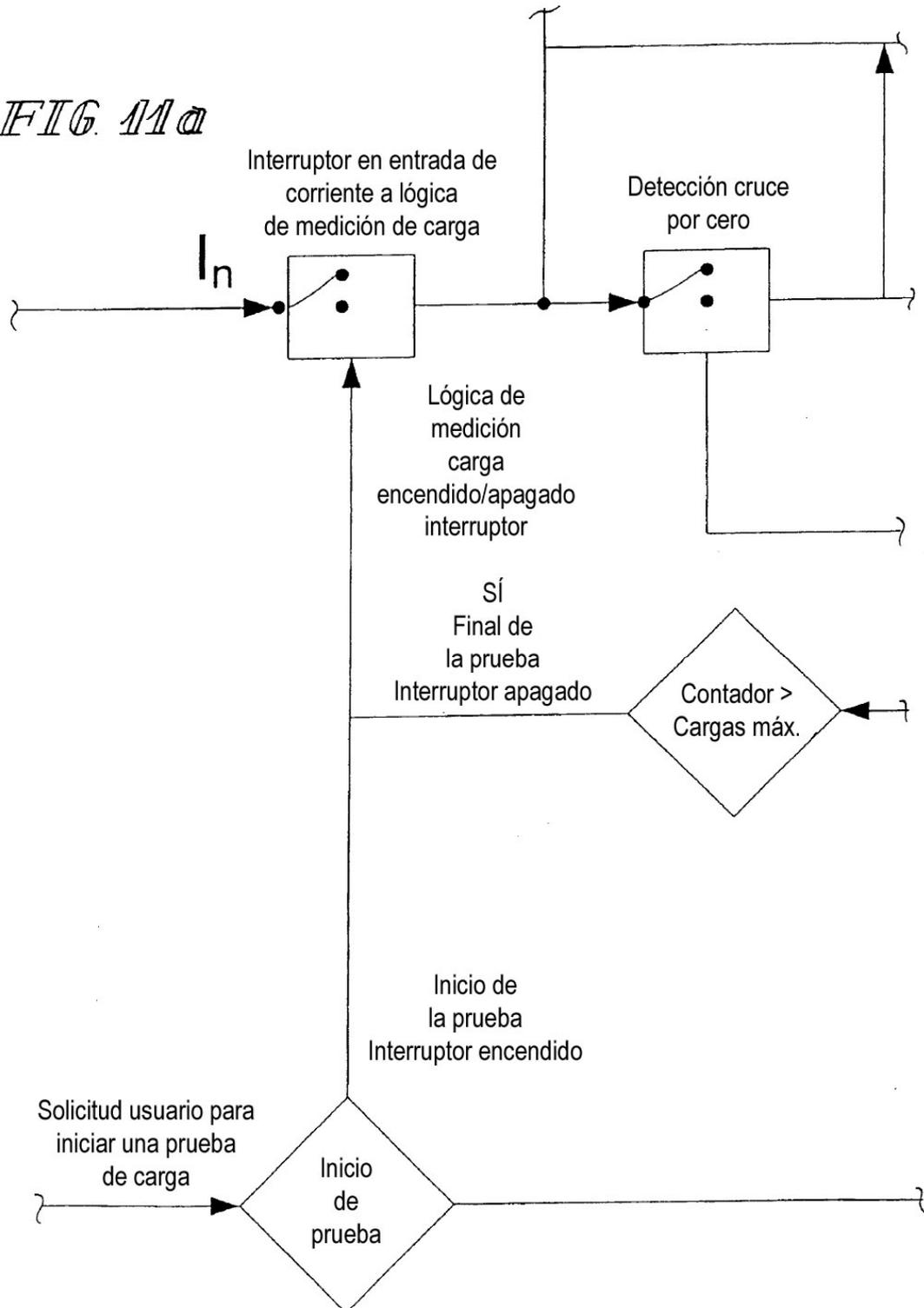


FIG. 11a



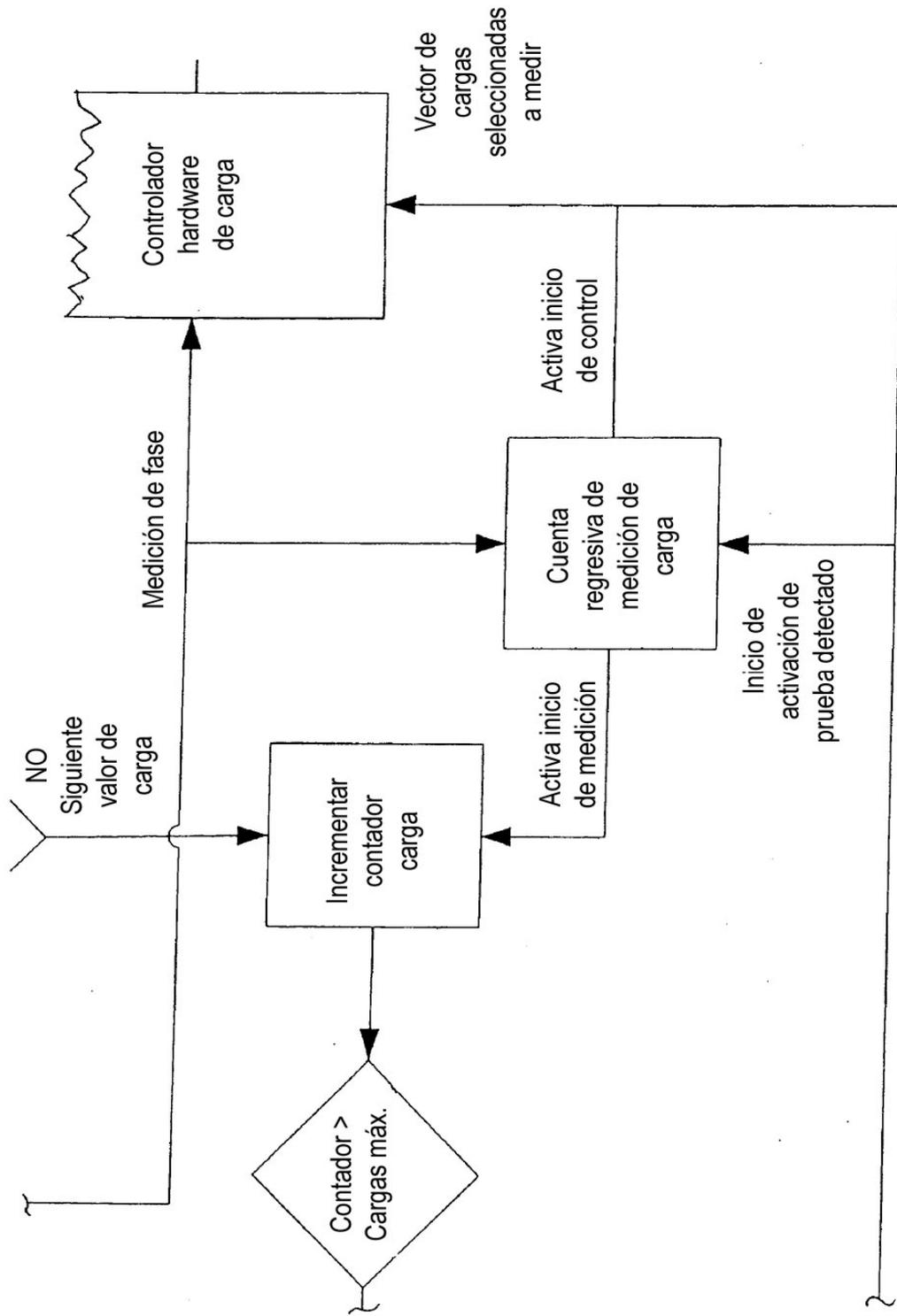


FIG. 11b

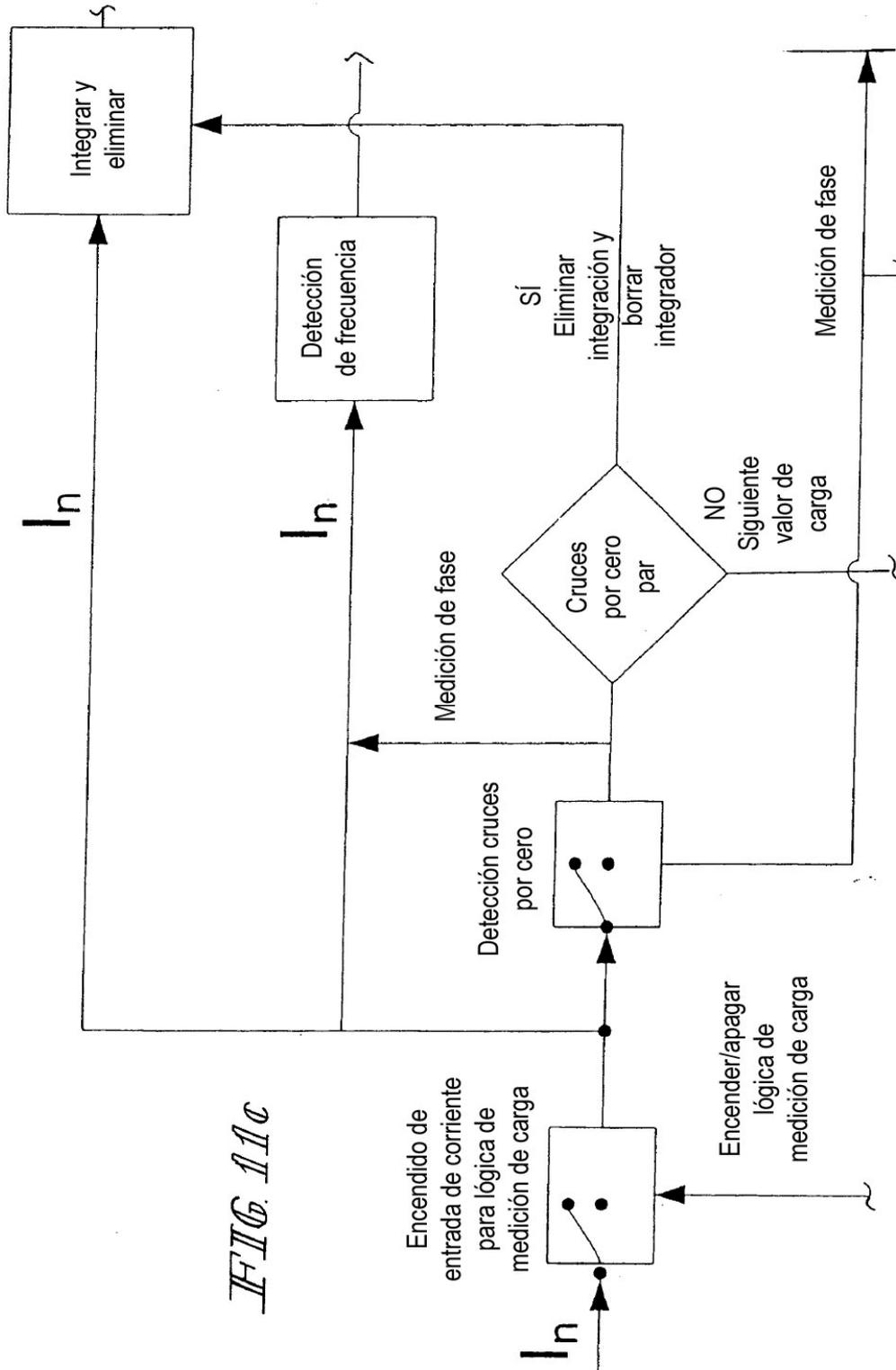


FIG. 11c

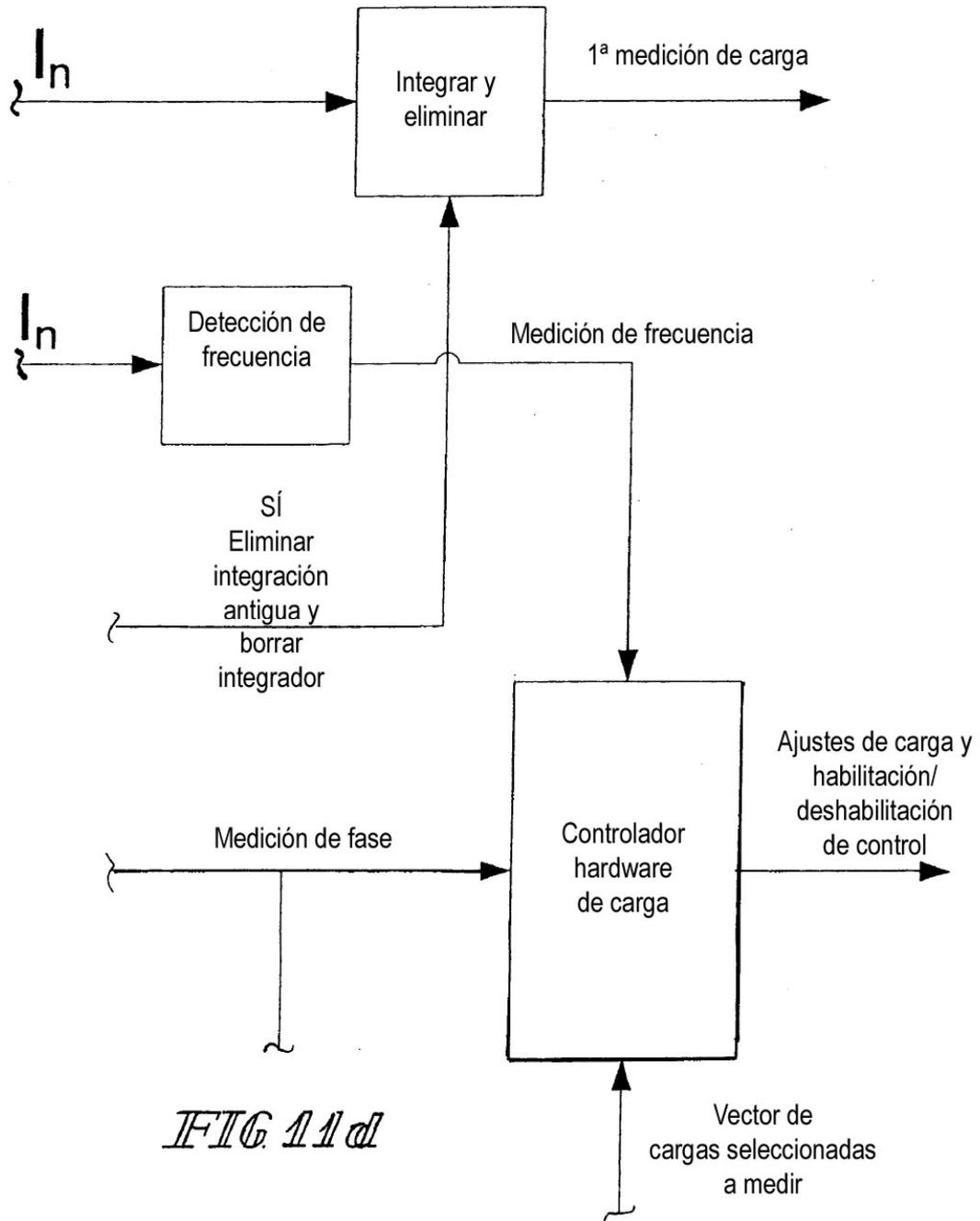


FIG 11d