

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

10	ES	11	NUMERO	10	A1
		21	478.869		
		22	FECHA DE PRESENTACION		
			22-3-79		

PATENTE DE INVENCION

Concedida el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

50 PRIORIDADES:		
51 NUMERO	52 FECHA	53 PAIS
905.889	15-5-78	EE.UU.
47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	B22D 24/02, 28/00	Nº 475.434
54 TITULO DE LA INVENCION		
"UN PROCESO MEJORADO PARA VACIAR METALES"		
71 SOLICITANTE (S)		
OLIN CORPORATION		(Case 905.889-B Div.)
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
427 North Shamrock Street, East Alton, Illinois 62024, Estados Unidos de América.		
72 INVENTOR (ES)		
John C. Yarwood, Ik Y. Yun, Derek E. Tyler y Peter J. Kindlmann		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		
DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ		(P.- 71.311)

lfg

POOR  
QUALITY

## ANTECEDENTES DEL INVENTO

Este invento se refiere a un proceso mejorado para vaciado electromagnético de metales y aleaciones, particularmente cobre y aleaciones de cobre. El proceso electromagnético se ha conocido y utilizado durante muchos años para vaciar metales y aleaciones continua y semi-continuamente. El proceso se ha utilizado comercialmente para vaciado de aluminio y aleaciones de aluminio.

Quando se trata de utilizar el proceso de vaciado electromagnético para vaciar metales más pesados que el aluminio, tales como, cobre; aleaciones de cobre; acero; aleaciones de acero; níquel; aleaciones de níquel; etc., surgen varios problemas para controlar el proceso de vaciado. En el proceso de vaciado electromagnético la cabeza del metal derretido es contenida y sostenida desde las paredes del molde por una presión electromagnética que contrabalancea la presión hidrostática de la cabeza de metal derretido. La presión hidrostática de la cabeza del metal derretido es una función de la altura de la cabeza del metal derretido y de la gravedad específica del metal derretido.

Quando se vacía aluminio y aleaciones de aluminio utilizando el método de vaciado electromagnético, la cabeza del metal derretido tiene una densidad comparativamente baja con una alta tensión de superficie debido a la película de óxido que se forma. La tensión de la superficie es agregada a la presión electromagnética y ambas actúan contra la presión hidrostática de la cabeza del metal derretido. Por lo tanto una fluctuación pequeña en la cabeza del metal derretido da lugar a una pequeña diferencia en la presión magnética que

rida para la contención. Para metales y aleaciones más pesados, tales como, cobre y aleaciones de cobre, cambios comparables en la cabeza del metal derretido causan un cambio mayor en la presión hidrostática y en la presión magnética equivalente requerida. Se ha descubierto que para cobre y aleaciones de cobre el cambio en presión magnética requerido para la contención es aproximadamente tres veces mayor que para aluminio y aleaciones de aluminio con cambios comparables en la cabeza del metal derretido.

Para obtener un lingote de corte transversal uniforme a todo lo largo, la periferie del lingote y la cabeza del metal derretido dentro del inductor deberá permanecer vertical especialmente cerca de la interfaz líquida-sólida del casco del lingote en proceso de solidificación. El emplazamiento actual de la periferie del lingote es afectado por el plano sobre el cual las presiones magnéticas e hidrostáticas se equilibran. Por lo tanto cualquier variación en la altura absoluta de la cabeza del metal derretido causa variaciones comparables en la presión hidrostática que a su vez producen ondulaciones superficiales a todo lo largo del lingote. Estas ondulaciones superficiales no son nada deseables y pueden causar recuperación reducida de metal durante procesamientos ulteriores.

A partir de lo que antecede, se hace aparente que cuando se trata de vaciar electromagnéticamente dichos metales y aleaciones pesados, un grado mayor de control se requiere para obtener la forma de superficie y la condición deseadas del vaciado resultante. En la Patente Norteamericana No. 4,014, 379 Getselev se describe un sistema de control para controlar la corriente que fluye a través del inductor que responde a

las desviaciones en las dimensiones de la zona líquida (cabeza del metal derretido) del lingote, a partir de un valor prescrito. En la Getsselev '379 el voltaje del inductor es controlado para regular la corriente del inductor en respuesta a variaciones medidas en el nivel de la superficie de la zona líquida del lingote. Se logra el control del voltaje del inductor mediante una señal de error amplificada que se aplica al arrollamiento inductor de un cambiador de frecuencia.

Un inconveniente del sistema de control descrito en la Getsselev '379 es que solamente se consideran cambios en la cabeza del metal derretido, debidos a la fluctuación del nivel de la superficie de la zona líquida. Parece que la Getsselev '379 ha asumido que el emplazamiento del frente de solidificación, entre el metal derretido y el casco del lingote en proceso de solidificación, permanece fijo con respecto al inductor. En la práctica no se considera que sea éste el caso. Los factores que tienden a causar la fluctuación en el emplazamiento vertical del frente de solidificación incluyen variaciones en la velocidad del vaciado, sobrecalentamiento del metal, velocidad del flujo de agua para enfriamiento, posición de la aplicación del agua para enfriamiento, calidad (contenido de impurezas) y temperatura del agua para enfriamiento y frecuencia y amplitud de la corriente del inductor.

El aluminio y aleaciones de aluminio poseen límites reducidos de resistencia específica. De manera que en el proceso de vaciado electromagnético la profundidad, en la cual corrientes parásitas se generan en la cabeza del metal derretido y del lingote en proceso de solidificación, es comparativamente uniforme en una amplia gama de aleaciones de aluminio. La profundidad de penetración de la corriente electromagnéticamente

inducida es una función de la resistencia específica de la carga y de la frecuencia.

Para cobre y aleaciones de cobre, así como para otros metales y aleaciones pesados, hay límites amplios de resistencia específica en una gama de aleaciones diferentes. Por lo tanto los límites de penetración de la corriente inducida a una frecuencia constante para tales aleaciones son también comparativamente amplios comparados a los del aluminio. Esto es una desventaja porque el grado de agitación magnética del metal derretido es una función de la profundidad de penetración de la corriente inducida.

Para tales metales y aleaciones pesados, al cambiar de una aleación a otra, la frecuencia de operación debe cambiarse para obtener la profundidad de penetración deseada para la corriente inducida. Por ejemplo, para la aleación C 510 00 la profundidad de penetración inducida se espera que sea alrededor de 10 mm a 1 kHz, 5 mm a 4 kHz y 3 mm a 10 kHz. La profundidad de penetración comúnmente usada en vaciado electromagnético de aleaciones de aluminio es aproximadamente alrededor de 5 mm. El cobre puro comparado con la aleación C 510 00 logra una profundidad de penetración de 5 mm a 2 kHz, a mitad de la frecuencia en la cual la aleación C 510 00 logra esa profundidad de penetración. Por lo tanto, el sistema de control para el vaciado electromagnético de metales tales como cobre y aleaciones de cobre debe ser capaz de operar en una variedad de frecuencias para obtener la profundidad apropiada de penetración inducida por corriente.

En este arte es conocido el utilizar equipo de suministro de energía de alta frecuencia que utiliza inversores estáticos de estado sólido en lugar de equipos de generador

de motor. Una ventaja particular de tales inversores de estado sólido es que el equipo es operable en una amplia gama de frecuencias.

El presente invento supera las deficiencias descritas anteriormente y proporciona un instrumento preciso para controlar el aparato de vaciado electromagnético, permitiéndole el vaciado de lingotes de cobre y aleaciones con base de cobre y similares, con dimensiones transversas uniformes a todo lo largo.

## RESUMEN DEL INVENTO

Este invento se refiere a un proceso para vaciar metales en dónde el metal derretido es contenido y formado dentro de una forma deseada mediante la aplicación de un campo electromagnético. Particularmente se usa un inductor para aplicar un campo magnético al metal derretido. El campo mismo es creado mediante la aplicación de una corriente alternante al inductor. En funcionamiento el inductor es espaciado desde el metal derretido por un intervalo que se extiende desde la superficie del metal derretido hasta la superficie opuesta del inductor.

Conforme a este invento se proporciona un proceso mejorado en el que se utiliza un sistema de control para reducir al mínimo las variaciones en el intervalo, durante el funcionamiento del aparato de vaciado. El sistema de control incluye un circuito de control que es conectado al suministro de energía que aplica la corriente alternante al inductor. El circuito de control incluye instrumentos de circuito para captar las variaciones en el intervalo e instrumentos sensibles a eso para controlar la magnitud de la corriente aplicada al inductor de modo que disminuya la variación del intervalo.

Conforme a la incorporación preferida se mide un parámetro eléctrico del inductor. El parámetro eléctrico específico que se selecciona para medición puede ser la reactancia o la inductancia que varía con la magnitud del intervalo. Se proveen instrumentos sensibles a los instrumentos de medición para generar una señal de error cuya magnitud es una función de la diferencia entre el valor del parámetro eléctrico medido y el valor predeterminado de eso. En respuesta a la señal de

error, se proveen instrumentos para controlar la corriente aplicada al inductor de modo que conduzcan la señal de error hacia cero.

En otra incorporación preferida el aparato incluye instrumentos para captar la magnitud del intervalo e instrumentos sensibles a eso, para generar una señal de error cuya magnitud es una función de la diferencia entre la magnitud del intervalo captado y una magnitud de intervalo predeterminada. En respuesta a la señal de error, se proveen instrumentos para controlar la corriente aplicada al inductor de modo que retorne el intervalo a su magnitud predeterminada.

El proceso de este invento puede realizarse utilizando ya sea un sistema de circuitos analógico o digital o una combinación de ambos.

Por consiguiente, un objeto de este invento es proporcionar un proceso mejorado para vaciar electromagnéticamente metales y aleaciones.

Otro objeto de este invento es proporcionar un proceso como el anterior en donde las perturbaciones de la forma en la superficie del vaciado resultante son reducidas al mínimo.

Un último objeto de este invento es proporcionar un proceso como el anterior, en donde el intervalo entre el metal derretido y el inductor es captado eléctricamente y la corriente aplicada al inductor es controlada en respuesta a eso.

Estos y otros objetos del invento serán más aparentes a partir de la descripción y dibujos que siguen.

#### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una representación esquemática de un aparato de vaciado electromagnético.

La Figura 2 es un diagrama en bloque del sistema de control conforme a una incorporación de este invento;

La Figura 3 es un diagrama en bloque de un sistema de control conforme a otra incorporación de este invento; y

La Figura 4 es un diagrama en bloque de un sistema de control conforme a una incorporación diferente de este invento.

#### DESCRIPCION DETALLADA DE INCORPORACIONES PREFERIDAS

En referencia a la Figura 1, allí se muestra, mediante un ejemplo, un aparato de vaciado electromagnético para realizar el procedimiento de este invento.

El molde de vaciado electromagnético 10 está comprendido por un inductor 11 que es enfriado con agua; un distribuidor de enfriamiento 12 para aplicar agua para enfriamiento a la superficie periférica 13 del metal en proceso de ser moldeado; y una pantalla no-magnética 14. El metal derretido es introducido continuamente dentro del molde 10 durante una serie de vaciado, en la manera normal que utiliza un canal 15 y un pitón hacia abajo 16 y un control convencional de la cabeza del metal derretido. El inductor 11 es excitado mediante una corriente alternante desde un suministro de energía 17 y un sistema de control 18 conforme a este invento.

La corriente alternante en el inductor 11 produce

un campo magnético que interactúa con la cabeza del metal derretido 19 para producir allí corrientes parásitas. Estas corrientes parásitas a su vez interactúan con el campo magnético y producen fuerzas que aplican una presión magnética a la cabeza del metal derretido 19 para contenerla de modo que se solidifique en un lingote representativo deseado.

Un intervalo de aire d existe durante el vaciado, entre la cabeza del metal derretido 19 y el inductor 11. La cabeza del metal derretido 19 es formada o moldeada dentro de la misma forma general del inductor 11 de modo que se obtiene el lingote representativo deseado. El inductor puede tener cualquier forma deseada incluyendo la circular o rectangular, cómo se requiera para obtener el lingote c representativo deseado.

El propósito de la pantalla no-magnética 14 es afinar y balancear la presión magnética con la presión hidrostática de la cabeza del metal derretido 19. La pantalla no-magnética 14 puede comprender un elemento separado cómo se muestra o puede, si se desea, ser incorporado como una parte unitaria del distribuidor para aplicar el enfriador.

Inicialmente, un émbolo convencional 21 y el bloque inferior 22 son mantenidos en la zona de contención del molde 10 para permitir que el metal derretido sea vaciado dentro del molde al inicio de la serie de vaciado. El émbolo 21 y el bloque inferior 22 son luego retirados uniformemente a una velocidad de vaciado deseada.

La solidificación del metal derretido, que es magnéticamente contenido en el molde 10, es lograda mediante aplicación directa de agua del distribuidor de enfriamiento 12 a

la superficie del lingote 13. En la incorporación que se muestra en la Figura 1, el agua es aplicada a la superficie del lingote 13 dentro de los límites del inductor 11. El agua puede aplicarse a la superficie del lingote 13 ya mencionado, dentro o debajo del inductor 11 según se desee.

Si se desea, cualesquiera de las técnicas ya conocidas de construcciones de molde o cualesquiera otra disposición del aparato de vaciado electromagnético, descritas en los Antecedentes del Invento, podrán emplearse.

El presente invento se refiere al control del proceso para proporcionar lingotes vaciados, que tienen un corte transversal substancialmente uniforme a todo lo largo del lingote y que están formados de metales y aleaciones tales como cobre y aleaciones con base de cobre. Esto se logra conforme al invento presente captando las propiedades eléctricas del inductor 11 que son una función del intervalo "d" entre el inductor y la carga, que es el lingote C y la cabeza del metal derretido 19.

Conforme a este invento se sabe que la inductancia del inductor 11 durante el funcionamiento es una función del intervalo "d". La ecuación siguiente es una expresión de la relación que se considera que existe entre la inductancia del inductor y el espacio del intervalo:

$$L_i = kd(2D_c - d) \quad (1)$$

en donde:

$L_i$  = la inductancia del inductor;

$D_c$  = el diámetro del inductor;

d = la separación entre el lingote y el inductor (intervalo de aire);

$k$  = un factor que toma en cuenta los parámetros del sistema que incluye el nivel de la superficie 23 de la cabeza 19 del metal derretido; el nivel del frente 24 de solidificación con respecto al inductor 11; la conductividad del metal durante el proceso de vaciado; y la frecuencia de la corriente.

" $k$ " se determina empíricamente por medio de la medición de la inductancia para un diámetro inductor conocido y la separación del lingote inductor, y, resolviendo " $k$ " en la ecuación (1). El factor " $k$ " no varía con el espacio del intervalo " $d$ ". " $k$ " varía sólo ligeramente con la altura " $h$ " de la cabeza del metal derretido mientras la superficie del metal 23 se mantiene en la vecindad de la parte superior del inductor 11.

Por lo tanto, es aparente que la inductancia del sistema lingote-inductor es una función del espacio del intervalo " $d$ ". La inductancia está relacionada a la reactancia del sistema lingote-inductor por la ecuación:

$$X_1 = 2\pi f L_1 \quad (2)$$

en dónde:

$X_1$  = reactancia inductiva (ohms);

$L_1$  = inductancia (henrys);

$f$  = frecuencia (hertz).

El intervalo de aire " $d$ " entre el inductor 11 y la carga de metal 19 impone la carga reactiva  $X_1$  sobre el suministro de energía eléctrica que alimenta al inductor. La magnitud

de esta reactancia inductiva " $X_1$ " es una función de la frecuencia " $f$ " de corriente, el tamaño del intervalo " $d$ " de aire, las vueltas del inductor y la elevación del inductor. Tanto la reactancia " $X_1$ " como la inductancia " $L_1$ " son relativamente independientes de la aleación en proceso de vaciado comparadas con la resistencia.

La combinación del inductor 11 y de la carga de metal 19, que lo rodea, impone una carga resistiva también sobre el suministro de energía eléctrica que alimenta al inductor. La magnitud de la carga resistiva es una función de la geometría (tamaño) del inductor 11 y la carga de metal 19 y de las resistividades de ambos. La combinación de las cargas reactiva y resistiva ya descritas resulta en una total impedancia " $Z_1$ " a través de la cual la corriente " $I$ " de contención debe pasar. Esta impedancia total se define en ohms como sigue:

$$Z_1 \approx \sqrt{R_1^2 + (2\pi f L_1)^2} \quad (3)$$

en dónde:  $Z_1$  = impedancia (ohms);  $R_1$  = resistencia (ohms);  $f$  = frecuencia (hertz) y  $L_1$  = inductancia (henrys).

La variación en el corte transversal, esto es, el corte transversal de la cabeza 19 del metal derretido resulta en cambios de la carga eléctrica del inductor 11. Si un voltaje se aplica a través del inductor 11, cómo en la Getselev '379, el proceso de contención balancea la presión hidrostática de la cabeza 19 del metal derretido y la presión magnética de las fuerzas electromagnéticas para proporcionar características de control inherentes. De esta manera, un aumento en la cabeza del metal derretido tenderá a superar la presión magné-

tica y resultará en una sección mayor del lingote. Esto a su vez reducirá el intervalo "d" o separación entre el inductor y el lingote y de esta manera disminuirá la impedancia " $Z_1$ " y la inductancia " $L_1$ " del sistema. La Getselev '379 sugiere que este efecto está basado en un cambio de la resistencia asociado con el aumento de tamaño del lingote. Sin embargo, se cree que la impedancia en vez de la resistencia es la propiedad controladora. La amplitud de la corriente del inductor " $I_1$ " y, por lo tanto, la amplitud de la corriente inducida es aumentada de esta manera conforme a la ecuación:

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_1} \quad (4)$$

en dónde:

$I_1$  = la corriente;

$V_1$  = el voltaje; y

$Z_1$  = la impedancia;

de modo que el lingote revierte a su tamaño original.

En vista de que éste es un proceso dinámico, perturbaciones u ondulaciones de la forma se formarán en la superficie 13 del lingote. Se anticipa que tales perturbaciones ocurrirán en períodos de tiempo característicos no mayores de un segundo. Para contrarrestar estos efectos mediante instrumentos de control eléctrico la velocidad de respuesta del suministro 17 de energía y sistema 18 de control deberá ser considerablemente más rápida. De esta manera, un tiempo de respuesta de 100 milisegundos o menos es deseable.

Cómo se ha descrito anteriormente, la inductancia o la reactancia son funciones del tamaño del intervalo "d". En la técnica anterior de la Patente Getselev '379 un voltaje

constante es mantenido a través del inductor y un voltaje correctivo sensible a la altura de la superficie de la cabeza del metal derretido es empleado para controlar la corriente del inductor. En contraste a esto, conforme al invento presente, una propiedad eléctrica del aparato de vaciado 10, que es una función del intervalo "d" entre la cabeza del metal derretido 19 y la superficie interior y el inductor 11, es captada y una señal que la representa es generada. Sensible a la señal del intervalo, la salida del suministro de energía es controlado para proporcionar una frecuencia, voltaje y corriente apropiadas de modo que mantengan el intervalo "d" substancialmente constantes.

La corriente aplicada al inductor 11 es el principal factor en generar la presión electromagnética. La corriente es una función del voltaje aplicado y de la impedancia del inductor cargado que, a su vez, es una función de la frecuencia y de la inductancia. Conforme al invento presente es posible controlar la corriente aplicada mediante la adaptación de la salida del voltaje al suministro de energía 17 a una frecuencia constante o mediante la adaptación de la frecuencia del suministro de energía 17 a un voltaje constante o mediante adaptación de la frecuencia y el voltaje en combinación.

En referencia a las Figuras 1 y 2, se muestra allí, por medio de un ejemplo, un circuito de control 18 para controlar el suministro de energía 17 del aparato de vaciado electromagnético 10. El propósito del circuito de control es asegurar que el intervalo "d" sea mantenido substancialmente constante, de modo que de haber variaciones, solamente ocurrieran allí variaciones menores. Mediante la reducción al mínimo de cualquier

ra variación en el intervalo "d", las perturbaciones de la forma en la superficie 13 del vaciado G serán reducidas al mínimo.

El inductor 11 se conecta a un suministro 17 de energía eléctrica que proporciona la corriente necesaria a una frecuencia y voltaje. Un circuito típico de suministro de energía puede ser considerado como dos sub-circuitos 25 y 26. Un circuito externo 25 consiste esencialmente de un generador de estado sólido que proporciona un potencial eléctrico a través del circuito 26 de la carga o del tanque que incluye el inductor 11. Este último circuito 26, excepto el inductor 11, es a veces referido como una estación de calor e incluye elementos tales como capacitadores y transformadores.

Conforme a este invento el circuito generador 25 es preferiblemente un inversor de estado sólido. Se prefiere un inversor de estado sólido porque es posible proporcionar una salida de frecuencia selectiva a lo largo de una gama de frecuencias. Esto a su vez hace posible controlar la profundidad de penetración de la corriente en la carga ya descrita anteriormente. Tanto el inversor 25 de estado sólido como el circuito tanque 26 o la estación de calor pueden ser de un diseño convencional. El suministro 17 de energía está provisto de un control de voltaje de extremo frontal DC para separar las funciones de voltaje y frecuencia del suministro.

Conforme al invento presente, cambios en los parámetros eléctricos del sistema lingote-inductor son captados para captar cambios en el intervalo "d". Cualesquiera parámetros o señales deseados, que son una función del intervalo "d", pueden ser captados. Preferiblemente, de acuerdo a este inven-

to, la reactancia del inductor 11 y su carga es utilizada como un parámetro controlador y muy preferiblemente se utiliza la inductancia del inductor y su carga. Ambos parámetros son una función del intervalo entre el inductor 11 y la carga 19. Sin embargo, si se desea, otros parámetros que son afectados por el intervalo podrían ser utilizados, tales como impedancia y energía. La impedancia es un parámetro menos deseable porque es también una función de la carga resistiva que cambia con el diámetro de la carga (lingote) de una manera generalmente compleja.

La reactancia del inductor 11 y de la carga 19 puede ser captada como en la Figura 2 midiendo el voltaje a través del inductor 11  $90^\circ$  fuera de fase hacia la corriente y dividiendo esa señal mediante la corriente medida en el inductor. Para una modalidad de operación de frecuencia fija, la reactancia será directamente proporcional a la inductancia, como en la ecuación (2) anteriormente mencionada. Por lo tanto, para una modalidad de frecuencia fija la reactancia medida es una función del intervalo "d" conforme a la ecuación (1) anteriormente mencionada. Si la frecuencia no se ha fijado durante la operación, entonces es preferible determinar la inductancia del inductor 11 y su carga 19, lo que puede hacerse dividiendo la reactancia por un factor que comprende  $2\pi f$ .

Nuevamente en referencia a la Figura 2, el circuito de control 18, allí descrito, es aplicable principalmente a un arreglo en donde la frecuencia del suministro 17 de energía durante la operación, es mantenido fijo a una frecuencia pre-seleccionada. Por lo tanto, con este circuito 18 de control

sólo es necesario medir un cambio en la reactancia del inductor 11 y de la carga 19 para obtener una señal indicativa de un cambio en el intervalo "d". La forma de onda de la energía de salida de las fuentes 17 de energía de estado sólido contiene armónicos. La amplitud de estos armónicos relativos a la frecuencia fundamental dependerá de un gran número de factores, tales como, el tipo y diámetro del lingote, y de las características de los componentes encargados de producir energía en la fuente de energía (por ejemplo, el transformador machihembrador de impedancia). La medida del parámetro del proceso eléctrico propuesto debería, de preferencia, ser hecho en la frecuencia fundamental de modo que elimine errores debidos a armónicos adicionales.

Un transformador de corriente 27 capta la corriente en el inductor 11. Una red 29 de resistencias que gradúa de corriente a voltaje genera un voltaje correspondiente. Este voltaje es alimentado al circuito cerrado 30 de la fase de circuito cerrado que se enlaza a lo fundamental de la forma de onda de la corriente y genera dos ~~salidas~~ salidas de referencia de ~~±~~ fase sinusoidal, con ángulos de fase de  $0^\circ$  y  $90^\circ$  con respecto a la corriente fundamental. Utilizando la referencia de ~~±~~ fase de  $0^\circ$ ; el rectificador 31 de la fase sensible deriva la amplitud de la corriente de frecuencia fundamental. La referencia de ~~±~~ fase de  $90^\circ$  es aplicada al rectificador 28 de la fase sensible, el cual deriva su amplitud de voltaje fundamental debido a la reactancia inductiva. Las señales de voltaje del 28 y 31 que están debidamente graduadas son entonces alimentadas a un ~~divisor~~ divisor 32 analógico de voltaje en donde el voltaje del rectificador 28 es separado por -----

el voltaje del rectificador 31 para obtener una señal de ~~salida~~ salida que es proporcional a la reactancia del inductor 11 y de la carga 19. La señal ~~de salida~~ de salida del separador 32 es aplicada a la entrada invertidora de un amplificador 33 diferencial que opera de una manera lineal. La entrada no-invertidora del amplificador 33 está conectada a una fuente 34 de voltaje ajustable. La energía de salida del amplificador 33 es alimentada a un amplificador 35 de la señal de error para proporcionar una señal de error de voltaje que es aplicada al circuito 25 externo del suministro de energía para proporcionar un control de realimentación de esto. El amplificador 35, preferiblemente, también contiene circuitos de compensación de frecuencia para ajustar la conducta dinámica del circuito cerrado de realimentación total.

La señal de error del amplificador 33 diferencial es proporcional a la variación en la reactancia del inductor 11 y de la carga 19 y también corresponde en sentido o polaridad a la dirección de la variación en la reactancia. La fuente de voltaje ajustable proporciona un instrumento para ajustar el intervalo "d" a un punto específico deseado. El sistema de control de realimentación 18 proporciona un instrumento para conducir la variación en el intervalo "d" a un valor mínimo o cero. El sistema de control 18 descrito por referencia a la Figura 2 es principalmente aplicable a una modalidad de operación en la cual la frecuencia una vez establecida es mantenida constante aunque no es necesariamente limitada a esa modalidad de operación, particularmente para pequeños cambios en frecuencia.

Otros circuitos de filtrado que no sean circuitos cerrados 30 de la fase cerrada pueden ser utilizados para extraer el componente de frecuencia fundamental. Por ejemplo, ambas formas de onda de la corriente y del voltaje pueden ser examinadas a  $0^\circ$  y a  $90^\circ$  con respecto a una referencia de fase arbitraria, tal como puede ser extraída del sistema de circuitos impulsores del inversor del suministro 17 de energía. Estas fases (0) y componentes ( $90^\circ$ ) de caída de tensión de la reactancia pueden ser combinados vectorialmente para arrojar voltajes proporcionales a la frecuencia y corriente fundamentales a través del inductor 11.

El circuito de la figura 2 podría modificarse como en la Figura 3, donde elementos de circuito similares tienen los mismos numerales de referencia como en la figura 2 y operan de la misma manera. En el circuito 18' de la figura 3, la frecuencia de la corriente aplicada al inductor 11 es captada y una señal de voltaje proporcionada a eso es generada por una frecuencia hacia el convertidor 36 de voltaje, conectado a la salida de la corriente hacia el circuito 29 de graduación de voltaje. La salida del convertidor 36 es debidamente graduada a la salida del divisor 32 de voltaje por el circuito 37 de graduación. Un segundo divisor 38 de voltaje analógico es provisto para separar la salida del primer divisor 32 de voltaje por el voltaje proporcionado, desde el convertidor 36 de frecuencia a voltaje. La señal de salida del segundo divisor 38 se aproxima a la inductancia del inductor 11 y de la carga 19 y debido a eso permite al sistema de control 18' funcionar aun en una operación de modalidad de frecuencia variable.

Los enfoques a los sistemas de control 18 y 18' de este invento que han sido descritos hasta ahora han empleado sistemas de circuito del tipo analógico. Sin embargo, si se desea, conforme a este invento, una flexibilidad de control aun mayor puede ser lograda mediante la utilización de un sistema 18'' de control digital como se ejemplifica por medio del diagrama en bloque de la Figura 4. El suministro 17 de energía que incluye el circuito externo 25 y el circuito 26 del tanque son esencialmente los mismos descritos con referencia a las Figuras 2 y 3.

En esta incorporación, un amplificador 39 diferencial es utilizado para captar el voltaje a través del inductor 11. Un transformador 27 de corriente es utilizado para captar la corriente en el inductor 11. La salida del amplificador diferencial es alimentada a un circuito de filtro F para extraer la frecuencia fundamental. La salida del filtro F es alimentada a un convertidor 40 de frecuencia/voltaje. La señal de salida del convertidor 40 de frecuencia/voltaje comprende una señal "f" proporcionada a la frecuencia de la corriente aplicada. La salida del amplificador diferencial 39 también es aplicada como una entrada a un medidor 41 de energía AC. La otra entrada de esto comprende la señal de corriente captada por el transformador 27 de corriente y filtrada por el circuito F' de filtro que extrae la frecuencia fundamental. El medidor 41 de energía AC proporciona señales de salida proporcionales al voltaje RMS "v", la corriente RMS "I" y la energía real "kw" aplicada al inductor 11.

La señal de frecuencia "f" de la ~~salida~~ salida del convertidor 40 y las señales del voltaje "v" de la corriente "I" y de la energía "kW" del medidor 41 de energía AC son alimentadas a un convertidor 42 analógico digital que las convierte en una forma digital apropiada. La ~~salida~~ salida del convertidor analógico-digital es alimentada a una computadora 43 tal como una mini-computadora o micro-procesador, como por ejemplo, un PDP-8 con Dec Pack manufacturado por Digital Equipment, Inc. La computadora 43 está programada para usar los valores de la frecuencia "f", del voltaje "v", de la corriente "I" y de la energía "kW" que le son alimentados para computar los valores respectivos de la energía aparente "KVA", del ángulo de la fase " $\theta$ ", de la impedancia "Z", de la reactancia "X", y de la inductancia "L". La computadora puede ser programada para calcular estos parámetros utilizando las relaciones siguientes:  $kVA = V \cdot I$ ,  $\theta = \cos^{-1} \left( \frac{kW}{KVA} \right)$ ,  $Z = V/I$ ,  $X = Z \sin \theta$  y  $L = X / (2\pi f)$ . Cada una de las relaciones mencionadas es muy conocida y permite la computación de la inductancia de la carga del inductor en funcionamiento. Después de calcular la inductancia, el computador 43 luego calcula el intervalo " $d_0$ " utilizando la fórmula (1) ya mencionada. La computadora 43 entonces compara el intervalo " $d_0$ " calculado a un intervalo predeterminado colocando a "d" en su memoria y genera una señal de error preprogramada que corresponde a la diferencia entre "d" y " $d_0$ ". La señal de error es entonces alimentada a un convertidor 44 analógico-digital para convertir la señal de error en una forma analógica. Una señal de energía de salida del convertidor 44 analógico-digital es aplicada a un controla-

dor 45 de voltaje y otra señal de energía de salida de éste es aplicada a un controlador 46 de frecuencia. Las salidas de energía de los controladores de voltaje 45 y de frecuencia 46 están ambos respectivamente sujetos al suministro 17 de energía para realimentar al suministro de energía las señales de error que ajustan la corriente en el inductor para compensar por la variación del intervalo de modo que conduzcan la variación hacia cero.

El sistema de control 18" que acaba de ser descrito puede ser operado en cualquiera de tres modalidades de funcionamiento. Puede funcionar en la modalidad de frecuencia fija donde sólo el voltaje es cambiado para ajustar la corriente aplicada al inductor 11. En esta modalidad de funcionamiento el controlador 46 de frecuencia se convertiría en inoperante y es posible computar una corrección o señal de error del valor computado de la reactancia "X" en vez de tener que computar la inductancia "L" ya que serían directamente proporcionales.

El sistema de control 18" de la Figura 4 también puede ser operado en la modalidad de voltaje fijo donde solamente la frecuencia es variada para controlar la corriente del inductor 11. En este modo de operación el controlador de voltaje 45 se convertiría en inoperante y solamente el controlador de frecuencia aplicaría una señal de error al suministro de energía. Finalmente, la operación digital como se ejemplifica en la Figura 4 es receptiva a variar ambos, frecuencia y voltaje, para controlar la corriente del inductor 11. De esta manera, ambos controladores de voltaje 45 y de frecuencia 46, serían operantes.

Mientras el funcionamiento del sistema 18<sup>n</sup> de control de la Figura 4 ha sido descrito por referencia a la comparación de una magnitud de intervalo captada, con la magnitud de intervalo predeterminada para generar una señal de error, también podría ser operado de un modo similar a aquel descrito en referencia a las Figuras 2 y 3. Por ejemplo, en lugar de computar la magnitud del intervalo captado podría simplemente computar la reactancia e inductancia captadas conforme a las ecuaciones anteriormente mencionadas y comparar el valor computado de reactancia o inductancia a algún valor prefijado y preprogramado de esto y generar una señal de error preprogramada en respuesta a la variación del valor prefijado. Este planteamiento podría requerir ventajosamente menos computación que el planteamiento donde la magnitud del intervalo captada es calculada.

El circuito 18<sup>n</sup> de control descrito en referencia a la Figura 4 es deseable debido a la muy alta velocidad con la cual las computaciones y señales de corrección pueden ser generadas por el computador 43 y el alto grado de sensibilidad y flexibilidad asociados con el uso de sistemas de circuito digital y programación por computadora.

Mientras un circuito cerrado de la fase cerrada es preferido para ser utilizado como un filtro 30, F y F', para extraer la frecuencia fundamental de la señal captada, cualquier circuito de filtro deseado podría ser utilizado para ese propósito.

El aparato 10 de este invento puede ser utilizado sin la necesidad de captar la superficie superior 23 de la cabeza 19 del metal líquido. Este es el caso porque los pará-

metros que son utilizados son funciones del intervalo espaciado "d" y no son afectados mayormente por la altura "h" de la cabeza 19 de metal derretido. Si se desea, sin embargo, con la finalidad de afinar el aparato 10, la superficie superior 23 de la cabeza 19 de metal derretido puede ser captada de la misma manera que en la Patente Getslev '379 para que genere una señal sensible a la altura de ésta mediante el uso de un transductor lineal 47, tal como el Modelo 350 manufacturado por Trans-Tek, Inc. La energía de salida del transductor 47 es entonces aplicada al convertidor analógico-digital 42 que convierte la señal analógica en una digital. La señal digital de la altura de la cabeza de metal derretido es entonces comparada por la computadora 43 con un valor fijo deseado preprogramado en ese respecto y una señal de error, que corresponde a cualquier diferencia entre ambos, es generada por la computadora. La computadora 43 entonces combina su señal de error debido a la variación de intervalo y su señal de error debido a la variación de la altura de la cabeza y genera una señal de error combinado apropiada que es aplicada para controlar el suministro 17 de energía de la misma manera descrita anteriormente.

Mientras la carga ha sido anteriormente descrita como un lingote, podría comprender cualquier tipo deseado de forma vaciada continua o semi-continuamente, tales como varillas, barras, etc,

Cuando el término diámetro inductor ha sido empleado en este invento un diámetro inductor efectivo puede ser sustituido para eso por inductores no-circulares 11. El diá-

metro inductor efectivo es computado midiendo el área definida por el inductor 11 y luego computando su diámetro efectivo desde esa área medida como si fuera para un inductor circular.

Mientras el invento ha sido descrito en referencia al cobre y aleaciones a base de cobre se cree que el aparato y proceso descritos anteriormente pueden ser aplicados a una amplia gama de metales y aleaciones que incluyen níquel y aleaciones de níquel, acero y aleaciones de acero, aluminio y aleaciones de aluminio, etc.

La programación de la computadora 43 y de su memoria puede ser llevada a cabo de una manera convencional y, por lo tanto, tal programación no forma parte de este invento.

Mientras el sistema de controles 18, 18', 18'' ha sido descrito con referencia específica a su aplicación en un aparato electromagnético, se considera que tiene aplicación en parte o completamente a otras clases de aparatos de tratamiento de metal en donde se utilizan inductores para aplicar un campo magnético a una carga de metal. En particular, el sistema de circuitos para captar la inductancia en el inductor tendría aplicación, por ejemplo, en hornos de inducción.

Las patentes norteamericanas expuestas en este invento son para ser incorporadas a éste por referencia.

Es aparente que se ha provisto conforme a este invento un aparato y un proceso de vaciado electromagnético que satisface plenamente los objetos, medios y ventajas hasta ahora expuestos. Mientras que el invento ha sido descrito en combinación con incorporaciones específicas, es evidente que muchas alternativas, modificaciones y variaciones serán aparentes a aquéllos

expertos en este arte a la luz de la descripción precedente. En conformidad, se tiene el propósito de abarcar todas esas alternativas, modificaciones y variaciones mientras se mantengan en el espíritu y amplio campo de acción de las reivindicaciones anexas.

Descripción de los dibujos.

En las figuras 2 y 3, RFN significa "referencia de fase de 90°", RFO significa "referencia de fase de 0°" y SE "señal de error".

13.- Un proceso mejorado para vaciar metales, que comprende: contener electromagnéticamente y formar metal derretido en una forma deseada, dicho contener electromagnéticamente y formar incluye los pasos de proporcionar un inductor para aplicar un campo magnético a dicho metal derretido y aplicar una corriente alternante a dicho inductor para generar dicho campo magnético; dicho inductor, en funcionamiento, es espaciado desde dicho metal derretido mediante un intervalo que se extiende desde la superficie del metal derretido hasta la superficie opuesta del inductor; y reducir al mínimo las variaciones en dicho intervalo durante el proceso de vaciado mediante variaciones eléctricamente captadas en dicho intervalo y sensibles a eso, que controlan la magnitud de dicha corriente aplicada a dicho inductor de modo que disminuyan dichas variaciones de intervalo; caracterizado porque: dicho paso de las variaciones eléctricamente captadas en dicho intervalo consiste en determinar un parámetro eléctrico reactivo de dicho inductor que varía con la magnitud de dicho intervalo y es sensible a la determinación de dicho parámetro eléctrico reactivo, que genera una señal de error cuya magnitud es una función de la diferencia entre el valor de dicho parámetro eléctrico reactivo determinado y el valor predeterminado de eso; y donde dicho paso de controlar la magnitud de dicha corriente comprende: controlar la corriente aplicada a dicho inductor en respuesta a dicha señal de error de modo que conduzca dicha señal de error hacia cero.

2a.- Un proceso conforme a la reivindicación 1a, donde dicho paso de determinar dicho valor del parámetro eléctrico comprende captar el voltaje y la corriente en dicho inductor y proporcionar señales que corresponden a eso.

3a.- Un proceso conforme a la reivindicación 1a, donde dicho parámetro eléctrico reactivo comprende la reactancia de dicho inductor.

4a.- Un proceso conforme a la reivindicación 1a, donde dicho parámetro eléctrico reactivo comprende la inductancia de dicho inductor.

5a.- Un proceso conforme a la reivindicación 2a, donde dicho parámetro eléctrico reactivo comprende la reactancia y donde dicho paso de determinar dicho parámetro eléctrico comprende funcionar sobre dicha señal de voltaje, para generar una señal de voltaje sensible de fase que corresponde a la magnitud de dicho voltaje  $90^{\circ}$  fuera de fase hacia dicha señal de corriente, para generar una señal de salida que corresponde aproximadamente a dicha reactancia.

6a.- Un proceso conforme a la reivindicación 2a, donde dicho parámetro eléctrico reactivo comprende la inductancia y donde dicho paso de determinar dicho parámetro eléctrico comprende funcionar sobre dicha señal de voltaje y generar una señal de voltaje sensible de fase, que corresponde a la magnitud de dicha señal de voltaje  $90^{\circ}$  fuera de fase hacia la señal de la corriente; y que divide dicha señal de voltaje sensible de fase mediante dicha señal de corriente para generar una señal de sa-

lida, que corresponde aproximadamente a la reactancia de dicho inductor; captar la frecuencia de la corriente en dicho inductor y generar una señal que corresponde a eso y dividir dicha señal de frecuencia para que genere una señal que corresponde aproximadamente a dicha inductancia de dicho inductor.

7a.- Un proceso conforme a la reivindicación 5a, que incluye además la extracción de la frecuencia fundamental de dichas señales de voltaje y corriente anteriores a dicho paso divisor.

8a.- Un proceso conforme a la reivindicación 6a, que incluye además extraer la frecuencia fundamental de dichas señales de voltaje y corriente anteriores a dicho primer paso divisor.

9a.- Un proceso conforme a la reivindicación 1a, donde dichos pasos de determinar un parámetro eléctrico reactivo de dicho inductor y generar una señal de error comprenden captar la magnitud de dicho intervalo y, sensible a dicho paso captador, generar una señal de error cuya magnitud es una función de la diferencia entre dicha magnitud de intervalo captada y una magnitud de intervalo predeterminada.

10a.- Un proceso conforme a la reivindicación 9a, donde dicho paso captador de intervalo comprende captar el voltaje y la corriente en dicho inductor y proporcionar señales que corresponden a eso.

11a.- Un proceso conforme a la reivindicación 10a,

donde dicho paso captador de intervalo además incluye convertir dichas señales de corriente y voltaje en señales que corresponden a la frecuencia de dicha corriente en dicho inductor, el voltaje RMS, la corriente RMS y la energía real aplicada a dicho inductor y calcular desde dichas señales de frecuencia, voltaje RMS, corriente RMS y energía real un parámetro eléctrico de dicho inductor que varía con la magnitud de dicho intervalo.

123.- Un proceso conforme a la reivindicación 113, donde dicho paso calculador comprende la inductancia de dicho inductor y luego calcular la magnitud de dicho intervalo, y donde dicho paso de generar dicha señal de error comprende comparar dicha magnitud de intervalo calculada con una magnitud de intervalo preprogramada y generar una señal de error preprogramada en respuesta a la diferencia entre la magnitud de intervalo calculada y la magnitud de intervalo preprogramada.

#### 134.- UN PROCESO MEJORADO PARA VACIAR METALES.

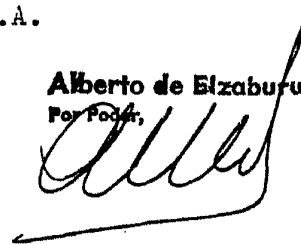
Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de treinta hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 22. MAR 1979

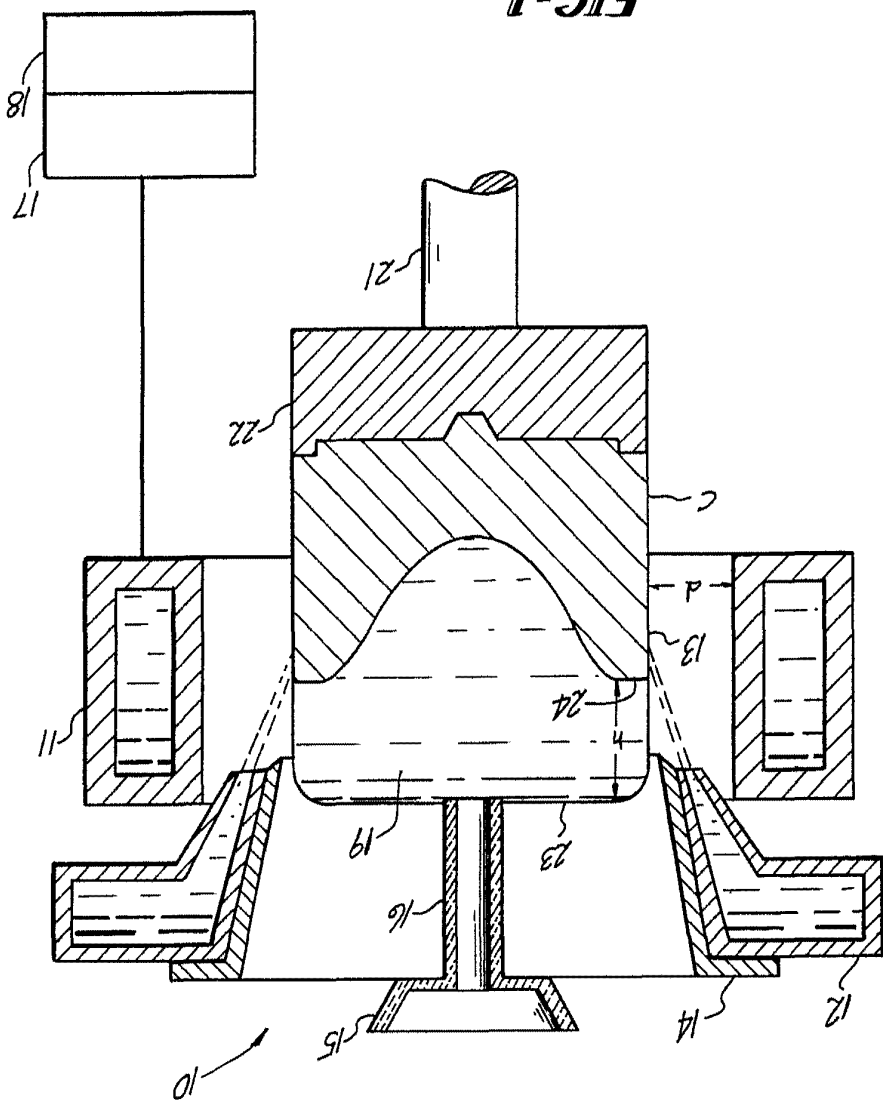
P.A.

**Alberto de Elizaburu**  
For Forán,



*[Handwritten signature]*

FIG-1



074593

NO. 10000000

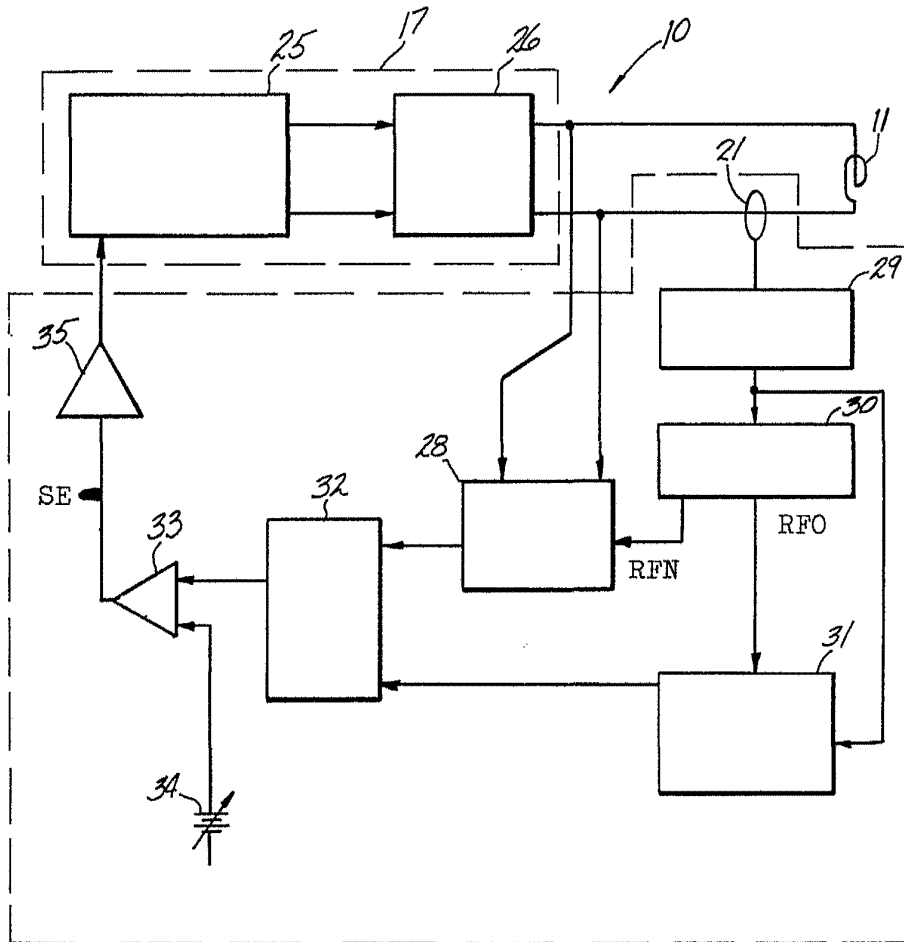


FIG-2



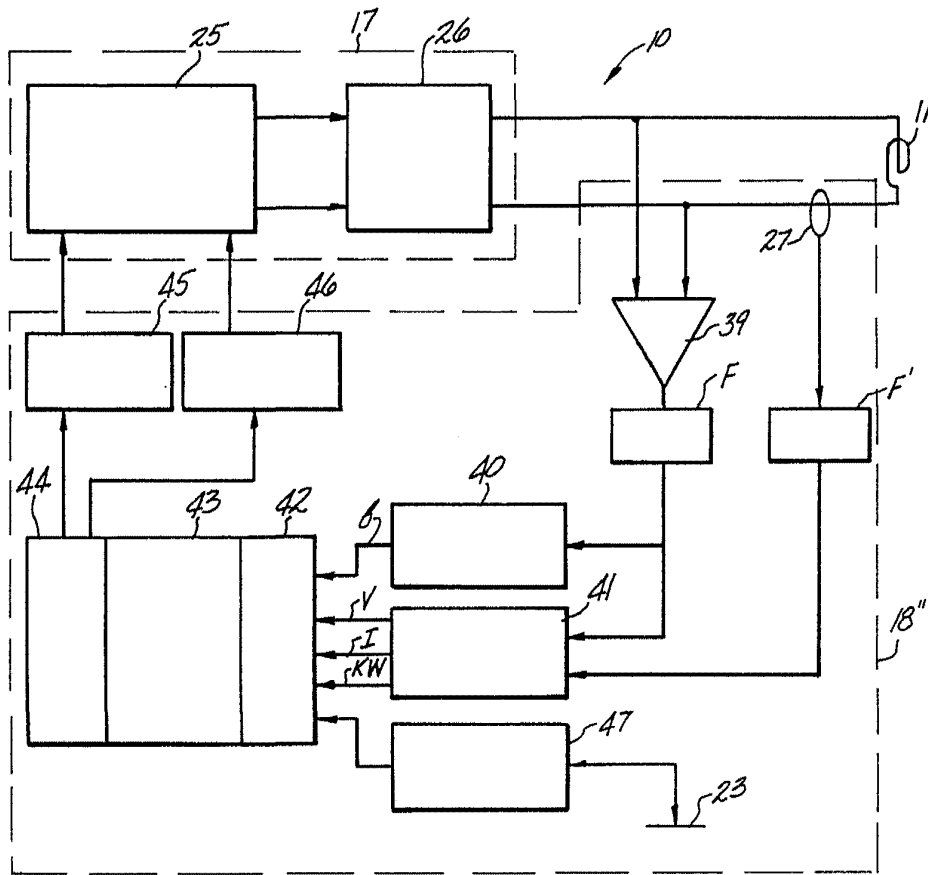


FIG-4

A handwritten signature is present at the bottom right of the page, accompanied by a dark, rectangular stamp or mark.