



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 112 171**

⑫ Número de solicitud: 9501522

⑬ Int. Cl.⁶: H02M 1/14

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **27.07.95**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.03.98**

Fecha de concesión: **06.10.98**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **16.11.98**

⑱ Fecha de publicación del folleto de patente:
16.11.98

⑲ Titular/es: **Universidad de Málaga**
Plza. de El Ejido, s/n
29071 Málaga, ES

⑳ Inventor/es: **Perez Hidalgo, Francisco M.**

㉑ Agente: **Aracil Meroño, Ignacio**

㉒ Título: **Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado.**

㉓ Resumen:

Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, consiste en un condensador y un transformador cuya topología permite la reinyección del rizado en el lado de continua de los convertidores de potencia, efectuándose la conexión del condensador en serie con el primario del transformador, y el condensador y el primario del transformador en paralelo con la salida del convertidor, estando el secundario conectado en serie entre el convertidor y la carga.

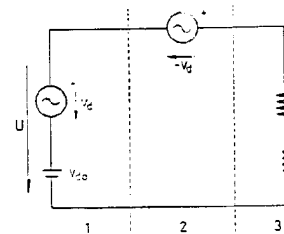


FIG.-1

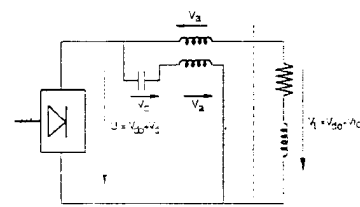


FIG.-2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el artº 37.3.8 LP.

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. C/Panamá, 1 - 28036 Madrid

ES 2 112 171 B1

DESCRIPCION

Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado.

Objeto de la invención

La presente memoria descriptiva se refiere a una solicitud de patente de invención, relativa a un filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, cuya evidente finalidad es la de reducir los armónicos en el lado DC de los convertidores de potencia tanto de alta tensión como de baja tensión, estando orientada ésta reducción no solamente a los armónicos de frecuencias concretas, sino a todos los armónicos que aparecen, con independencia de que los armónicos sean característicos o no característicos

Campo de la invención

Esta invención tiene su aplicación dentro del campo de la eliminación del rizado y mejora de la tensión continua de los convertidores estáticos de energía, aplicables en los sistemas de telecomunicación.

Antecedentes de la invención

Los armónicos aparecen tanto en el lado de continua (DC) como en el lado de alterna (AC) de los convertidores (AC), produciendo interferencias electromagnéticas en los sistemas de telecomunicación y al mismo tiempo, pudiendo ocasionar problemas de inestabilidades en el lado de alterna, debido a la posibilidad de que puedan aparecer fenómenos de resonancia a las frecuencias de algunos de estos armónicos.

La forma habitual de eliminar los armónicos consiste en la instalación de filtros pasivos, los cuales elevan considerablemente el coste de los sistemas de conversión, al margen de ser poco versátiles por su falta de adaptabilidad y controlabilidad y su poca controlabilidad frente a las variaciones de frecuencia de los armónicos que componen el rizado.

La solución idónea para resolver este problema de la generación de armónicos, consiste en la construcción de filtros económicos y que cuenten con un cierto margen de adaptabilidad, es decir, que no solo sirvan para filtrar un armónico concreto a una determinada frecuencia, como es el caso de los filtros pasivos.

Desde hace unos años se ha intensificado la investigación, desarrollo y puesta en funcionamiento de filtros activos, tanto para el lado de continua como para el lado de alterna de los convertidores.

Un filtro activo, es un sistema que inyecta armónicos en la línea, ya sea de alterna o de continua de igual amplitud pero de polaridad opuesta a los que se generan en la conversión alterna-continua o continua-alterna, con el fin de que la suma total de armónicos en la línea sea nula, o por lo menos tan baja que se puedan despreciar los fenómenos que originan los armónicos.

Para sintetizar tales armónicos, ha sido necesario que se hayan desarrollado previamente dispositivos de potencia tales como los GTO's o los IGBT's, que pueden conmutar a alta frecuencia soportando a la vez grandes tensiones.

Para el desarrollo de los filtros activos, además

de los dispositivos mencionados en el párrafo anterior, también han contribuido los avances en microelectrónica, con la proliferación de los procesadores de señal como partes integrantes de los sistemas de control, los cuales son capaces de procesar la señal atenuada de la red, para detectar los armónicos más importantes y generar las señales que gobiernan a los sistemas de potencia con el fin de sintetizarlos.

Por otro lado, debe indicarse que en la actualidad no existe ninguna metodología concreta (como en el caso de los filtros pasivos), sino que son técnicas con diferente filosofías de reducción, tanto para el lado AC como para el lado DC.

El método para la eliminación por compensación del flujo magnético, fue desarrollado por Sasaki, H. y Machida, T. en el año 1971, para la reducción de armónicos en el lado AC.

Aunque fue diseñado para el lado AC, ha sido básico para el desarrollo de posteriores sistemas de filtrado, tanto para el lado de alterna como para el lado de continua. Este sistema ha dado la idea general a los llamados filtros activos.

Un transformador de intensidad y un filtro detecta los armónicos procedentes de la carga no lineal (rectificador). Estos son amplificados por un amplificador de potencia e introducidos en oposición de fases mediante un devanado terciario en el transformador que alimenta al rectificador.

Una de las ventajas de esta técnica, es que puede eliminar ciertos armónicos característicos como el tercero y el noveno y por otra parte, tiene como inconveniente la necesidad de contar con un gran amplificador de potencia en la retroalimentación, para reducir los armónicos característicos de bajo orden.

Sobre la inyección de armónicos creados por fuentes externas, debe indicarse que originalmente esta técnica fue propuesta por B. M. Bird, y posteriormente desarrollada por A. Ametani, en el año 1972.

El método de reducción consiste en modificar la forma rectangular de la corriente, y esta modificación se consigue añadiendo a la corriente de fase, una corriente cuya forma de onda coincide con el tercer armónico de la corriente de fase.

Una fuente externa sintetiza la corriente que se va añadir y se inyecta en el neutro del transformador y cuando conduce una fase, la corriente que circula por ella es la suma de la corriente rectangular más el tercer armónico inyectado por la fuente externa.

El método cuenta con importantes inconvenientes, tal y como puede ser la generación del triple armónico en sincronismo con la fundamental de la corriente, así como con dificultad en ajustar la amplitud a cada caso de funcionamiento y la imposibilidad de eliminar más de un armónico.

Respecto a los filtros activos, debe indicarse que éstos constituyen un campo de investigación bastante atractivo para los sistemas eléctricos en general, y la razón principal es que cada vez son más numerosas las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica.

Las cargas no lineales que por su consumo en continua necesitan la utilización de un rectificador, siendo generadoras de armónicos hacia el lado de alterna, y se estima, por ejemplo, que al

final de esta década pueden ser el 50 % de la cara total conectada a la red en U.S.A..

De lo expuesto en el párrafo anterior, se puede deducir que la corriente de línea contendrá un número de armónicos de considerable importancia, lo que da lugar a que el estudio de los filtros activos ocupen un espacio relevante en la investigación dentro del campo de la ingeniería eléctrica.

Los filtros activos tienen frente a los pasivos la ventaja de que el filtro activo tiene un cierto margen de adaptabilidad y controlabilidad, y el hecho de que el coste de los filtros activos es constante dentro de un margen para distintos valores de eliminación de corriente de distorsión o rizado, mientras que el del filtro pasivo aumenta conforme se desea conseguir una corriente con menos distorsión o menos rizado, es decir según sea el caso a tratar AC o DC.

Conceptualmente un filtro activo es un sistema capaz de sintetizar una señal igualo similar a la del rizado (en el lado DC), o la corriente de distorsión (en el lado AC), de polaridad opuesta o en contrafase que, inyectándola en la línea, anule el rizado o la corriente de distorsión de los lados DC o AC, respectivamente.

Un filtro activo esta formado, básicamente por un amplificador de potencia y elementos de detección de los armónicos, así como por un transformador de inyección de armónicos y filtros pasivos.

Con relación al amplificador de potencia, debe indicarse que previamente a la amplificación, se necesita un sistema de detección del módulo y fase de los armónicos que se pretenden reducir.

El amplificador de potencia, está basado en un inversor de potencia de doble onda monofásico, alimentado por un rectificador.

El control de dicho inversor de potencia de doble onda monofásico, se realiza con modulación en ancho de pulso (P W M), donde la frecuencia de la portadora viene impuesta por la máxima frecuencia de conmutación de los interruptores de potencia utilizados en la construcción del amplificador.

La señal formada por el armónico o armónicos más importantes, detectados en la línea y que se quieren reducir, es la moduladora de control en ancho de pulso, que junto a la portadora se procesan para generar las cuatro funciones existentes, que gobiernan los cuatro interruptores que forman el inversor.

A la salida del inversor se obtiene la señal modulada, cuyo armónico fundamental, o los primeros armónicos de su desarrollo en serie de Fourier, coincidirán con los de la línea que se pretende reducir.

Sobre el transformador de inyección, debe indicarse que éste debe ser diseñado para que pueda pasar la señal sin ser filtrada, por lo que se requiere un dimensionamiento apropiado, con pocas pérdidas y con garantías de que no entre en ningún momento en saturación.

A alta frecuencia, o por lo menos a más alta frecuencia que la de la red, en un transformador muy elevador o reductor no se puede asegurar un comportamiento lineal para todas las frecuencias, por ello su relación de transformación debe ser pequeña.

Los máximos armónicos que se pueden reducir van a depender en parte del transformador, es decir no se podrá eliminar ningún armónico de frecuencia superior que aquellos para los que el transformador sea un elemento de muy alta impedancia.

Sobre los componentes pasivos, debe indicarse que la conexión del transformador con el sistema de potencia, se realiza mediante uno o varios componentes pasivos que, en la amplia mayoría de las veces, forman un filtro pasivo sintonizado, el cual tiene como objeto el aislar el filtro activo de la línea, va sea DC o AC para aquellas frecuencias distintas de las de los armónicos que se vayan a reducir.

En consecuencia, si se desea instalar un filtro para eliminar un armónico de una frecuencia determinada, el filtro pasivo debe presentar una baja impedancia a esa frecuencia, y para el resto de las frecuencias debe presentar una elevada impedancia.

Esta función es más representativa para los filtros activos del lado de alterna, tal y como puede ser al pretender eliminar un armónico concreto, operación en la cual el filtro activo debe quedar aislado por el filtro pasivo para la frecuencia de la red, ya que de lo contrario se produciría un cortocircuito.

En el caso de continua el aislamiento es más fácil, ya que con un simple condensador, la línea y el filtro activo quedan totalmente aislados, aunque el enlace entre el filtro pasivo y la línea se realice de igual forma, es decir, mediante filtros sintonizados para la reducción de armónicos determinados, concretamente para aquellos armónicos característicos de mayor importancia.

Otro tipo de filtro pasivo utilizado frecuentemente, es el filtro paso alto, el cual se utiliza para filtrar los armónicos de alta frecuencia y tiene como función la de formar parte de un filtro activo de forma similar a la de los filtros "tuned", pero no para armónicos determinados, sino para un amplio margen de ellos de altas frecuencias.

A tenor de lo anteriormente escrito, se considera necesario el contar con un filtro reductor de armónicos en el cual el circuito eléctrico que se utilice para el filtrado del rizado, esté construido con un solo condensador y un solo transformador, con ausencia real de elementos activos y sistemas de control, lo que implica consecuentemente una reducción sustancial en el coste, tanto en su implementación como en su mantenimiento.

Sin embargo hasta el momento, no se tiene conocimiento de la existencia de una invención que esté dotada de las características señaladas como idóneas, y que no contemple las características y desventajas de las invenciones de aplicación similar, o dentro del mismo campo utilizadas hasta el momento.

Descripción de la invención

El filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, que la invención propone, constituye por sí sólo una evidente novedad dentro del campo de actuación en el cual se incorpora.

De forma más concreta, el filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, objeto de la in-

vención, esta formado solo por un condensador y un transformador de relación de transformación, estando la conexión del condensador en serie con el primario del transformador y el condensador el primario del transformador están en paralelo con la salida del convertidor, mientras que el secundario está conectado en serie entre el convertidor y la carga.

La conexión del condensador está en serie con el primario del transformador y el condensador y el primario están en paralelo con el lado DC de los convertidores, es decir del rectificador (AC/DC) y del rectificador que trabaja como inversor no autónomo (DC/AC), estando el secundario en serie en la línea de transporte.

Cuando el filtro reductor del rizado se emplea en convertidores conmutados continua-continua, está compuesto por un condensador y un transformador con la conexión descrita anteriormente, pero si el filtro para la reducción del rizado se aplica en fuentes de alimentación, estará formado por un condensador y un transformador con la conexión entre la salida de la fuente y la carga según se ha citado anteriormente.

Por último debe indicarse que si el filtro objeto de la invención, se aplica en los cambiadores de potencia compuestos por un rectificador y un inversor de potencia, el filtro estará compuesto por un condensador y un transformador y la conexión se realiza entre el rectificador y el inversor de potencia.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, se acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, un juego de planos, en el cual con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura número 1.- Muestra una vista de circuito equivalente del convertidor filtro y carga.

La figura número 2.- Corresponde al convertidor filtro y carga.

La figura número 3.- Muestra un análisis de mallas del circuito con fuente senoidal.

La figura número 4.- Muestra un análisis de lazos del circuito con fuente senoidal.

La figura número 5.- Muestra una gráfica de la respuesta en frecuencia del filtro con componentes reales.

La figura número 6.- Muestra gráficamente la respuesta en frecuencia del filtro con componentes ideales.

La figura número 7.- Corresponde a una gráfica de respuestas en frecuencia del filtro con diferentes capacidades del condensador de desacople.

La figura número 8.- Muestra una realización de laboratorio con un convertidor de doce pulsos.

La figura número 9.- Muestra de forma gráfica la forma de onda y espectro de la tensión a la salida del convertidor.

La figura número 10.- Muestra por último, la forma de onda y espectro de la tensión en la carga.

Realización preferente de la invención

Previamente a la descripción del filtro de reinyección desarrollado, se analizarán las expresiones de la tensión de rizado que aparece en la salida de un convertidor de índice de pulsación P.

Sea un rectificador de P pulsos, donde la tensión U de salida la podemos descomponer en dos tensiones, una continua V_{do} (Valor medio de U) y otra tensión V_d de rizado, formada por la suma infinita de todos los armónicos que aparecen. Las tensiones anteriores serán todas ellas función de las siguientes variables:

- Valor máximo de la tensión alterna U_{max} .
- Índice de pulsación de la conversión P.
- Valor del ángulo del retraso del disparo α .

De esta forma podemos escribir que:

$$U = V_{do} + V_d$$

donde:

$$V_{do} = U_{max} \frac{P}{\pi} \operatorname{sen} \frac{\pi}{P} \cos \alpha$$

y V_d viene expresado por:

$$V_d = \sum_{k=1}^{\infty} (A_{kp} \operatorname{sen} kP\omega t + B_{kp} \cos kP\omega t)$$

donde

$$A_{kp} = \frac{P}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{P} + \alpha}^{\frac{\pi}{P} + \alpha} U_{max} \cos \omega t \operatorname{sen} kP\omega t d\omega t$$

$$B_{kp} = \frac{P}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{P} + \alpha}^{\frac{\pi}{P} + \alpha} U_{max} \cos \omega t \cos kP\omega t d\omega t$$

Si se supone que se utiliza un convertidor de índice de pulsación doce (P=12) y la frecuencia de la red es de 50 Hz, la tensión de rizado V_d estará formada por una suma infinita de armónicos múltiples de 50 x 12, donde los más importantes, por su valor eficaz, son los primeros (600 Hz, 1200 Hz, 1800 Hz...). Los de más alta frecuencia son de menor importancia y más fáciles de eliminar. Los filtros DC de mayor coste, tanto pasivos como activos, están diseñados para la reducción de los armónicos de baja frecuencia.

La misión del filtro de reinyección es reducir la tensión de rizado, si la tensión de salida del rectificador U, está formada por la suma de la tensión

continua U_{do} (Valor medio de U) y la de rizado V_d , e introducimos una fuente de tensión de valor " $-V_d$ " en serie entre el rectificador y la cara (Tal como indica la figura 1), la tensión en la cara será V_{do} , es decir, en la carga sólo aparecerá la tensión continua. Cuanto más perfecta sea la fuente generadora de " $-V_d$ " introducida, más eficaz será el sistema de filtrado. Este filtro es de tipo serie.

El sistema de reinyección del rizado propuesto está compuesto por un transformador de inyección y por un condensador en serie con el primario del transformador. Este condensador tiene como objeto el desacoplo de la tensión continua. La figura 2 muestra el conexionado eléctrico de los componentes pasivos que forman el sistema.

Por el secundario del transformador circulará una corriente que puede descomponerse al igual que la tensión U , en una componente continua y otra de rizado. Debido a la componente continua, el núcleo del transformador puede saturarse. Por ello significamos que el dimensionamiento del núcleo debe ser el adecuado para que esto no ocurra.

El método desarrollado por Sasaki, H. y Machida, T., para la eliminación de armónicos en el lado AC y los métodos de filtros activos anteriormente mencionados, tanto para el lado DC como para el AC, utilizan un amplificador de potencia que genera los armónicos que se inyectarán en la línea, ya sea de continua o alterna.

El sistema que proponemos tiene la misma filosofía, es decir inyectar armónicos en el lado DC de polos opuestos a los que existen. Pero tratándose del lado DC, con un condensador se consigue desacoplar el rizado respecto de la tensión continua, obteniéndose así una señal que cambiada de polaridad es precisamente la señal que se necesita para reducir el nivel de armónicos, sin necesidad de generarla mediante sistemas externos, como los amplificadores de potencia.

Según el circuito de la figura 2, en el primario del transformador caerá una tensión V_a . Si admitimos a priori que la tensión en el condensador V_c es casi despreciable, V_a será prácticamente igual a la tensión de rizado V_d . El secundario del transformador está en serie con la línea. En el secundario se tendrá una tensión con el módulo de V_a y con un desfase de 180 grados con respecto a V_a .

En la cara existirá por tanto una tensión V_1 formada por la suma de V_{do} (Valor medio del rizado) y la diferencia de V_d y V_a . Esta diferencia de tensiones que llamamos V_{1d} , será el rizado no eliminado que aparece en la carga.

Realizando sólo el análisis de tensiones en alterna, puesto que la componente continua de la tensión U (Tensión de salida del convertidor) no influye en el sistema de filtrado, obtenemos que:

$$V_{1d} = V_d - V_a$$

$$V_d = V_c + V_a$$

Esto implica que:

$$V_{1d} = V_c + V_a - V_a = V_c$$

Mientras mayor sea la capacidad del condensador, menor será el valor de V_c (calda en el condensador), lo que implica que menor será la tensión de rizado en la carga y como consecuencia más eficaz será el filtro.

Valor de la capacidad del condensador de desacoplo, según el análisis efectuado en el apartado anterior, lo ideal sería que la capacidad del condensador fuese infinita y como consecuencia el contenido de armónicos en la carga sería nulo. Es necesario elegir un valor del condensador y en cierta medida concretar un criterio de diseño del sistema de reducción de armónicos.

Por otro lado el circuito eléctrico, formado por el condensador y transformador, origina a cierta frecuencia una amplificación de armónicos en la carga (que analizaremos a continuación) dependiente de los valores de los elementos del filtro. Por lo tanto deberemos obtener un valor de la capacidad que evite que este efecto se produzca.

Sea el circuito de figura 3, analizando por mallas podemos escribir las siguientes ecuaciones:

$$U_e = I_1(X_l + X_c) - I_2(X_l - X_m + X_c)$$

$$0 = -I_1(X_l + X_c - X_m) + I_2(2X_l + 2X_m + X_{lc} + X_c + R)$$

donde:

$$X_l = j\omega L; \quad X_m = j\omega M; \quad X_{lc} = j\omega L_c; \quad X_c = -\frac{j}{\omega C}$$

Despejando la expresión de I_2 de la segunda ecuación y sustituyéndola en la primera, obtenemos que:

$$U_e = I_1(X_l + X_c) - I_1 \frac{(X_l - X_m + X_c)^2}{2X_l - 2X_m + X_{lc} + X_c + R}$$

dividiendo ambos términos de la ecuación por I_1 nos dará la expresión de la impedancia de entrada del circuito Z_{ab} :

$$Z_{ab} = X_l + X_c - \frac{(X_l - X_m + X_c)^2}{2X_l - 2X_m + X_{lc} + X_c + R}$$

Expresión que nos muestra que el circuito no es resonante ante ninguna frecuencia, puesto que cuando la suma compleja de $X_l + X_c$ sea nula nunca los será el tercer sumando de dicha expresión.

Aunque el circuito no sea resonante, es decir la parte imaginaria de la impedancia sea nula, existe una frecuencia donde la corriente I_2 (corriente que va a la carga), alcanza un valor de pico considerable. Este pico de corriente se produce cuando resuena la impedancia propia de la malla 1 (fig.3), es decir cuando se anule el sumando $X_l + X_c$, y puede ser superior a la corriente de distorsión sin filtro. El o los armónicos que estén próximos a esta frecuencia no sólo no serán reducidos sino que además son amplificados. Si hacemos cero el término $X_l + X_c$ de la ecuación 9 la corriente en la carga será:

$$I_2 = \frac{U_c}{X_m}$$

Estamos inyectando en la carga una corriente a la que solo se opone la impedancia originada por

el acoplamiento mutuo del transformador. Impedancia que en módulo es menor que la que se encontraría la fuente de tensión sin filtro, formada por el complejo $X1c+R$.

De todo lo expuesto se puede deducir que aunque el circuito no sea resonante, el condensador y el primario del transformador no deben resonar ante ningún armónico que pueda aparecer. Para que esto ocurra los valores de C y L deben ser tales que los armónicos del rizado no estén cerca de la pulsación.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Los armónicos característicos que componen el rizado aparecen a frecuencias múltiplos del producto $P \cdot f$ siendo P la pulsación del convertidor, y f la frecuencia de la red. No obstante hay que tener en cuenta la posible aparición de los armónicos no característicos de los cuales, a priori, no se conoce ni su frecuencia ni su módulo.

Como última consideración a tener en cuenta es que el lado DC de un convertidor alimentado por un sistema monofásico o trifásico de frecuencia f , no aparecerá ningún armónico (característico o no) por debajo de esa frecuencia. Por tanto se puede expresar como condición, que la capacidad del condensador sea tal, que el circuito no amplifique ningún armónico de frecuencia mayor que la de la red, es decir, se puede escribir que:

$$C > \frac{1}{\omega_r^2 L}$$

Se ha expresado una condición para la elección del condensador de desacoplo. La reducción de los armónicos vendrá dada por la función de transferencia de la tensión de salida en función de la entrada. Para su cálculo se supondrá que la corriente continua no afecta al circuito de reinyección. Se va a partir del circuito correspondiente a la figura 4, donde en el análisis por mallas, según aparece en tal circuito, podemos escribir las dos siguientes ecuaciones en la forma compleja de Laplace:

$$U_e(s) = \left(\frac{1}{C_s} + Ls\right)I_1(s) + Ms I_2(s)$$

$$U_e(s) = -MsI_1(s) + (Ls + L_d s + R)I_2(s)$$

despejando I_2 del sistema de ecuaciones, obtenemos que:

$$I_2(s) = U_2(s) \frac{\frac{1}{C_s} + Ls + Ms}{\left(\frac{1}{C_s} + Ls\right)(Ls + L_d s + R) - (Ms)^2}$$

Operando queda:

$$\frac{I_2}{U_e}(s) = \frac{C(L-M)s^2+1}{((L^2+L*L_d-C*M^2)s+RL)s}$$

Como la tensión en la carga es:

$$U_L(s) = I_2(s) (L_d s + R)$$

Se puede escribir que la Función de Transferencia es:

$$\frac{U_L}{U_e}(s) = \frac{(C(L-M)s^2+1)(L_d s+R)}{(L^2+L*L_d-C*M^2)s^2+RLs}$$

Sustituyendo el valor de s de la variable de Laplace por su forma compleja $j\omega$ nos queda:

$$\frac{U_L}{U_e} = \frac{(1-C(L-M)\omega^2)(L_d j\omega+R)}{(-L^2-L*L_d+C*M^2)\omega^2+RLj\omega}$$

Como ejemplo utilizaremos un convertidor de doce pulsos formado por dos puentes de seis pulsos en serie conectados a un transformador con el primario en estrella y dos secundarios, uno en estrella y el otro en triángulo. El primario está conectado a un sistema trifásico de 380 Voltios de tensión de línea y 50 Hz de frecuencia y, la tensión en los devanados secundarios es de 66 Voltios.

El sistema de reinyección del rizado está formado por el condensador de desacoplo y el transformador de reinyección, como ya se ha comentado. El transformador está formado por dos devanados iguales, es decir la relación de transformación es 1:1. La inductancia y la resistencia de cada uno de ellos es de 0,09 H y 40 Ω respectivamente. El transformador ha sido diseñado para trabajar con una tensión de pico de 240 Voltios en la zona lineal, sin saturarse. Aunque no existe ningún armónico que tenga una tensión tan alta, la razón de esta dimensión del transformador es la de tener la seguridad de que no se va a saturar, debido a que por el devanado secundario va a pasar la corriente que va a la carga.

El condensador se elige según lo comentado en la desigualdad 16 para evitar una amplificación de armónicos de frecuencia superior a la de la red. Con lo que:

$$C > \frac{1}{\omega_r^2 L} = 112,5 \mu F$$

Se ha tomado un valor de 141 μF , para utilizar condensadores con valores comerciales. ($C=141\mu F=3 \times 47\mu F$).

Previamente se ha simulado, en un programa de simulación de circuitos electrónicos (PS-PICE,V 5.1), con los valores correspondientes a los elementos pasivos del modelo, el circuito de la figura 3 para observar el módulo de la función de transferencia en función de la frecuencia. A la fuente de tensión se le ha dado un valor de 100 Voltios de pico.

En la gráfica 5 correspondiente a esta simulación se aprecia que existe una amplificación de armónicos con un valor de la tensión en la carga V_{ld} por encima de los 100 Voltios para una señal de frecuencia a menor de 50 Hz (frecuencia de la red). También se observa en que a medida que aumenta la frecuencia, la tensión en la carga disminuye.

La simulación del circuito se ha realizado, como es natural, incluyendo el valor de la resistencia de los devanados del transformador. En el caso que el transformador tuviese un comportamiento totalmente ideal y no tuviese resis-

tencia en los devanados, el efecto de reducción de los armónicos y el de amplificación sería más acusado. Esto se aprecia en la figura 6, para la obtención de dicha respuesta se ha simulado, el mismo circuito pero dando un valor prácticamente despreciable a la resistencia de los devanados.

En la figura 7 se incluyen diferentes respuestas de la función de transferencia para distintos valores de $C=100\mu\text{F}$, $C=200\mu\text{F}$, $C=300\mu\text{F}$, $C=400\mu\text{F}$ y $C=500\mu\text{F}$, donde se aprecia como la reducción de cada armónico se hace mayor a medida que aumenta el valor de la capacidad. Es interesante

observar que la reducción de los armónicos de frecuencias superiores a 300 Hz no aumenta demasiado, aunque se aumente la capacidad del condensador.

Con el ejemplo de laboratorio (fig.8) se han realizado las medidas representadas en la figura. En ella se encuentra la forma de onda de la señal del rizado V_d (Tensión de rizado a la salida del rectificador) y la forma de onda del rizado en la carga V_{1d} (fig.10) junto con sus espectros para un valor del retardo del disparo de $\alpha=15$.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, **caracterizado** por estar constituido el filtro cuando se utiliza en rectificadores de potencia, por un condensador y un transformador formado por dos devanados iguales, presentando los devanados una inductancia y una resistencia de 0,09 H y 40 omega respectivamente, siendo la conexión del condensador en serie con el primario del transformador, mientras que el condensador y el primario del transformador están posicionados en paralelo con la salida del convertidor, mientras que el secundario está conectada en serie entre el convertidor y la carga.

2. Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, según la primera reivindicación, **caracterizado** porque si el filtro reductor es utilizado para el transporte en corriente continua, es decir, en sistema HVDC, formado por un condensador y un transformador, el condensador estará conectada en serie con el primario del transformador, y a la vez el condensador y el primario, estarán posicionados en paralelo con el lado DC de los convertidores, en concreto del rectificador (AC/DC) y del rectificador que trabaja como inversor no autónomo (DC/AC), estando el secundario conectado en serie en la línea de transporte.

3. Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, según la primera reivindicación, **caracterizado** porque si el filtro reductor de armónicos es utilizado en convertidores conmutados continua-continua, estará compuesto por un condensador

y un transformador, estando conectado el condensador en serie con el primario del transformador, mientras que el condensador y el primario del transformador se situarán en paralelo con la salida del convertidor, conectándose el secundario en serie entre el convertidor y la carga.

4. Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, según la primera reivindicación, **caracterizado** porque si el filtro reductor de armónicos se aplica en fuentes de alimentación, estará formado por un condensador y un transformador, presentando la conexión entre la salida de la fuente de alimentación y la carga, estando el condensador en serie en su conexión con el primario del transformador, y el condensador, mientras que el primario del transformador estará en paralelo con la salida del convertidor y el secundario estará conectado en serie entre el convertidor y la carga.

5. Filtro reductor de armónicos en el lado DC de convertidores de potencia por reinyección del rizado, según la segunda reivindicación, **caracterizado** porque si el filtro reductor de armónicos es utilizado en los cambiadores de potencia, los cambiadores de potencia estarán compuestos por un rectificador y un inversor de potencia, y el filtro reductor de armónicos a su vez estará formado por un condensador y un transformador, realizándose la conexión entre el rectificador y el inversor de potencia mediante una conexión del condensador en serie con el primario del transformador, encontrándose el condensador y el primario en paralelo con el lado DC de los convertidores, y el secundario conectado en serie en la línea de transporte.

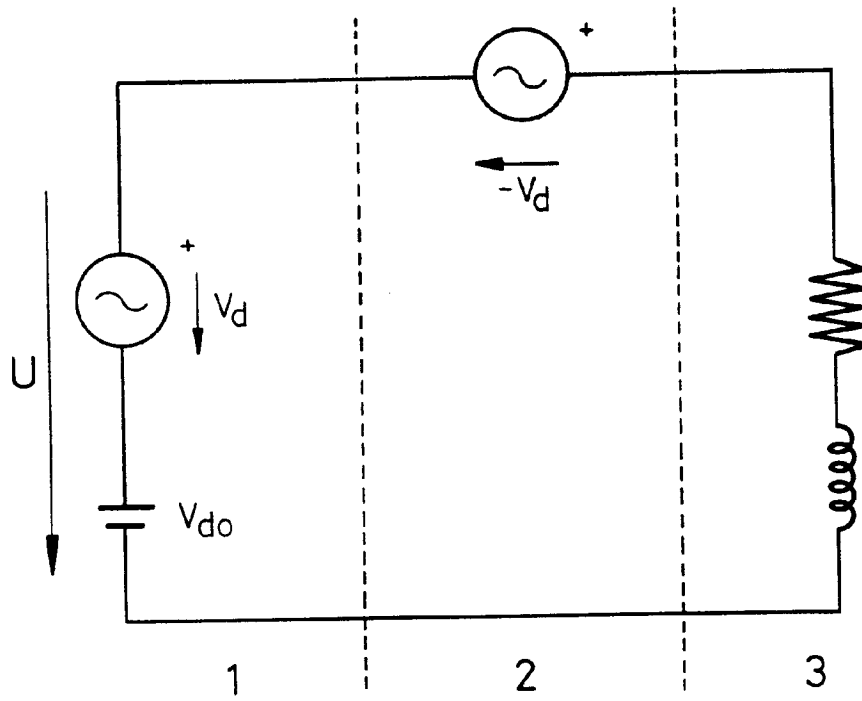


FIG.-1

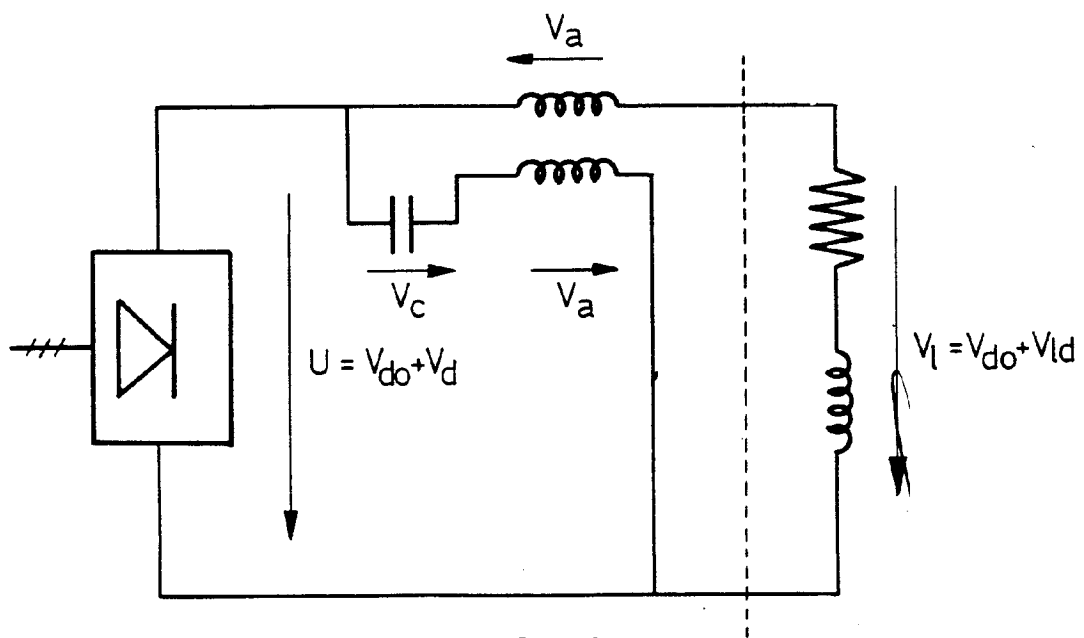


FIG.-2

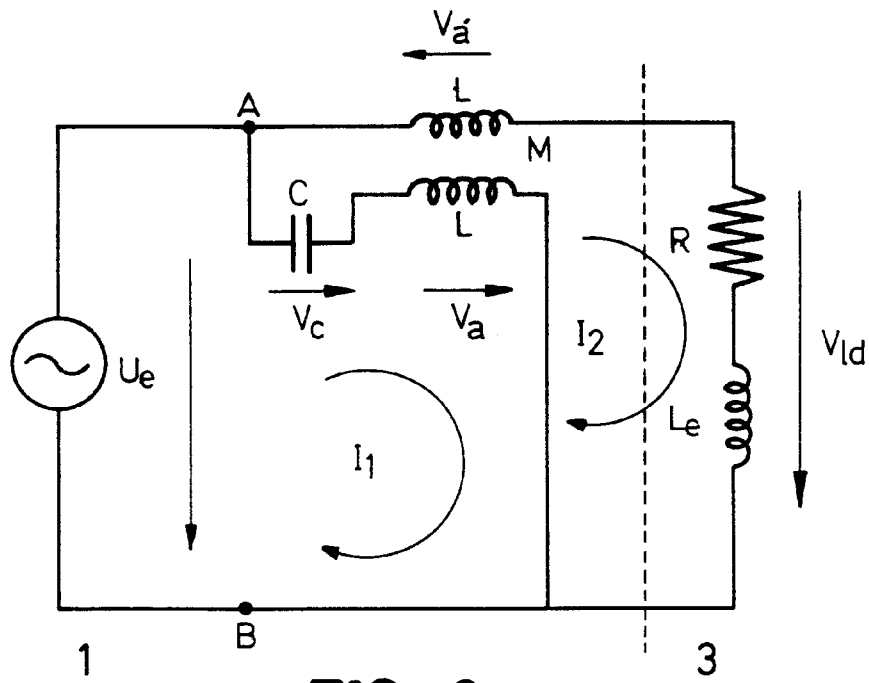


FIG.-3

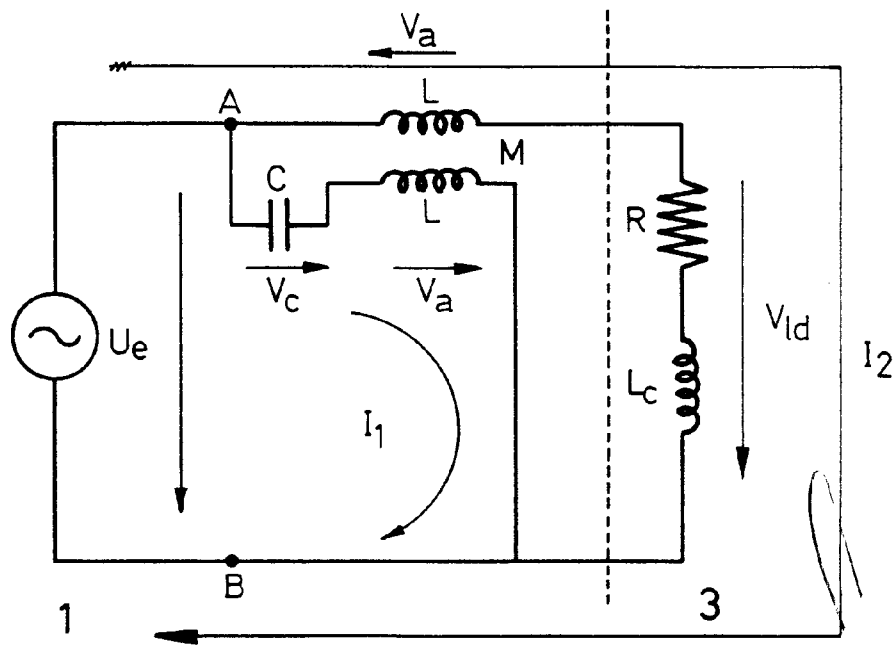


FIG.-4

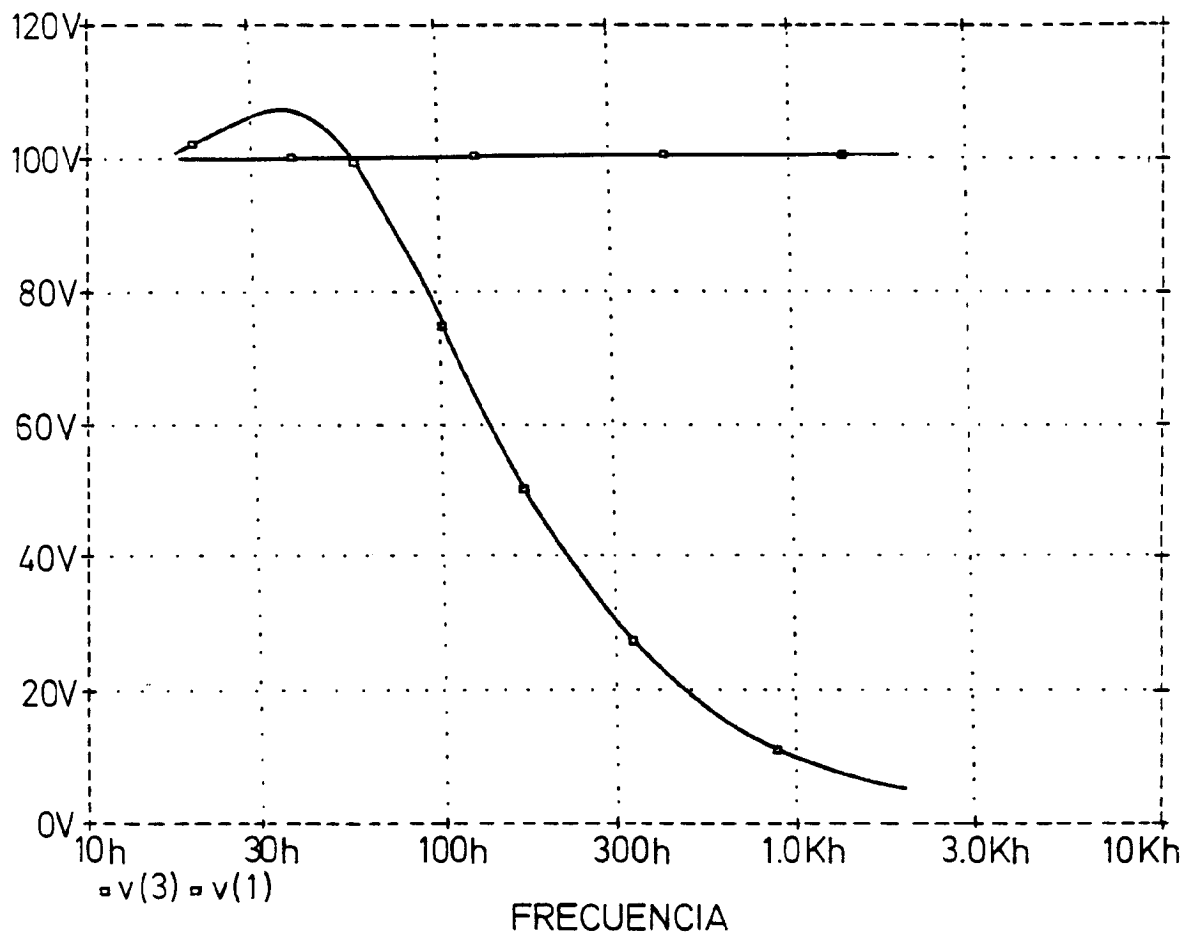


FIG.-5'

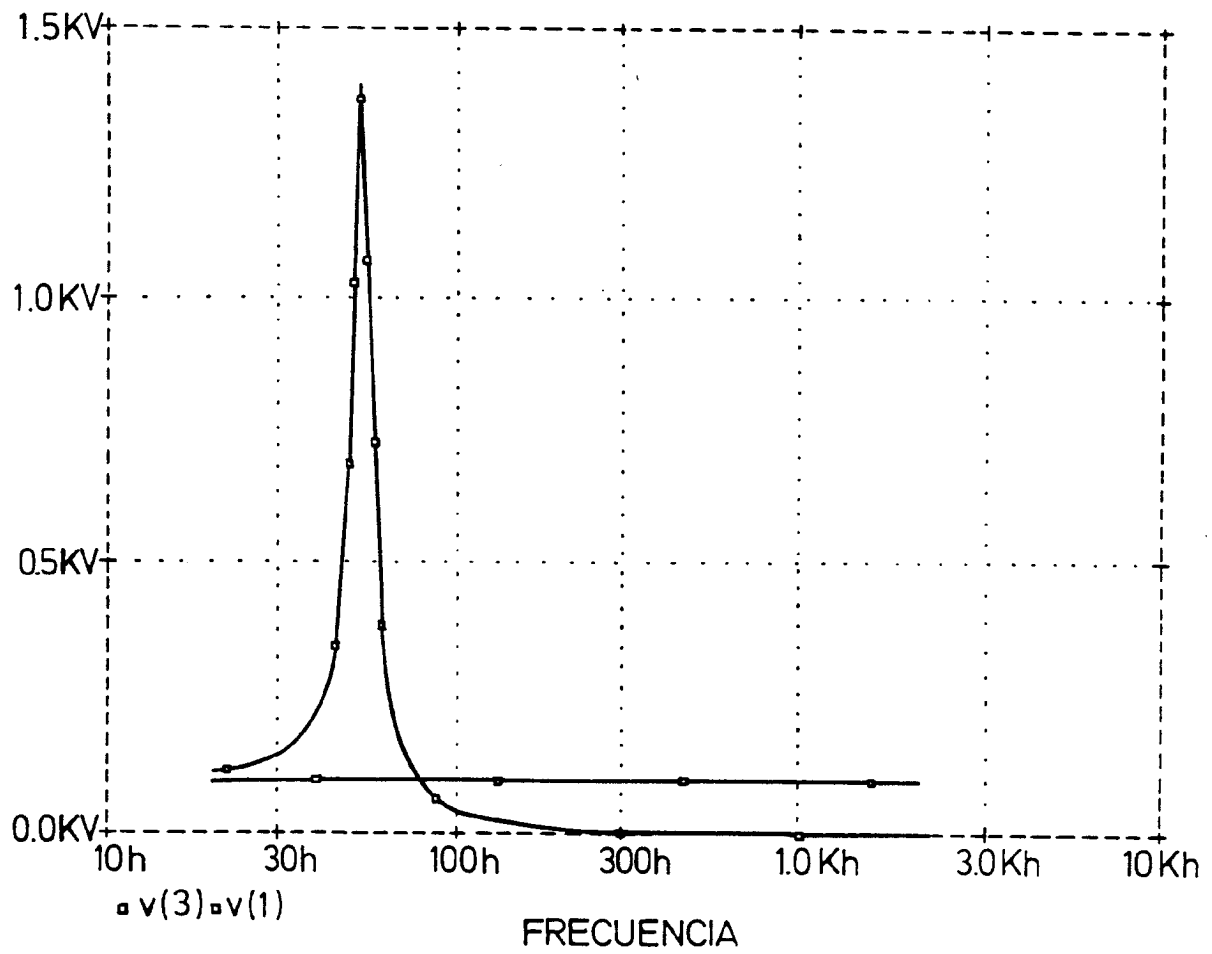


FIG.-6

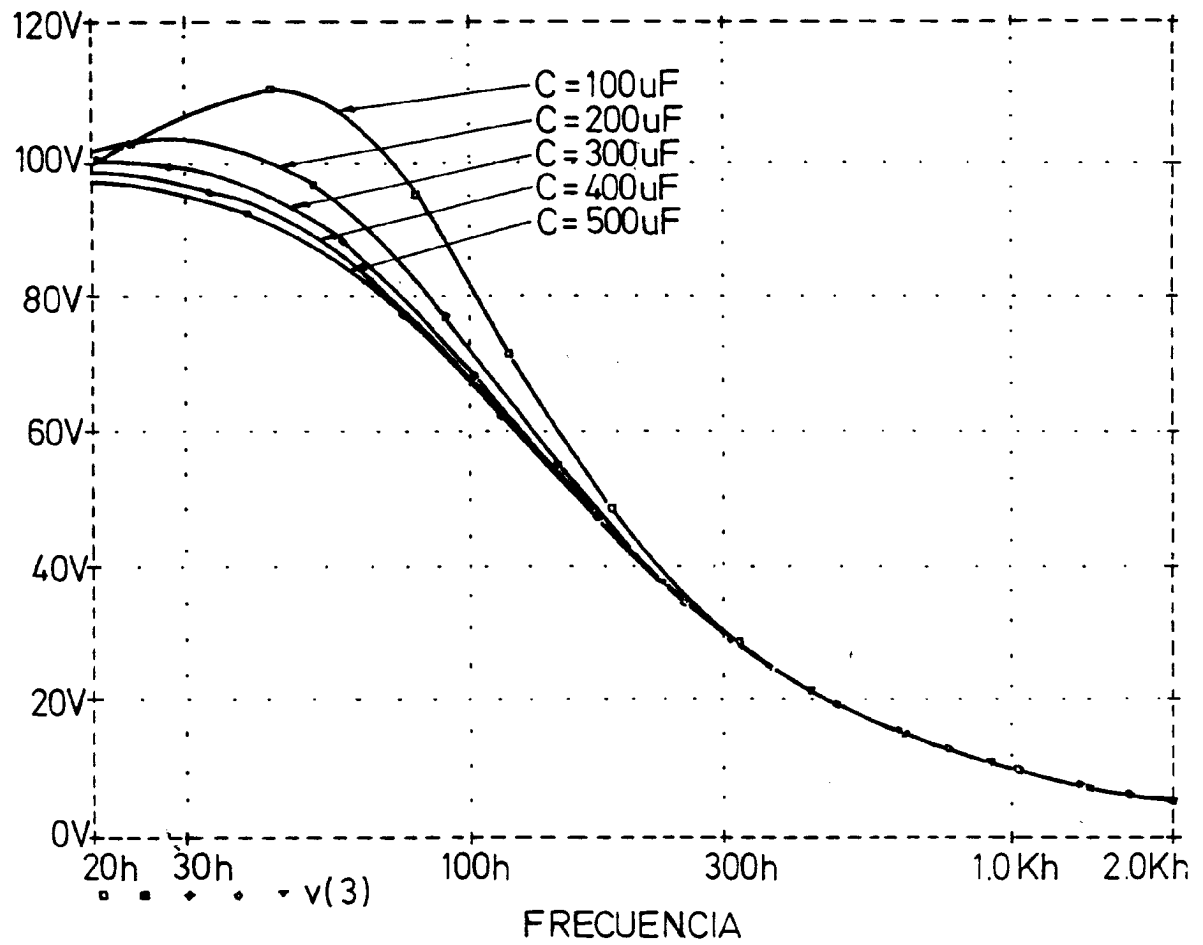


FIG.-7

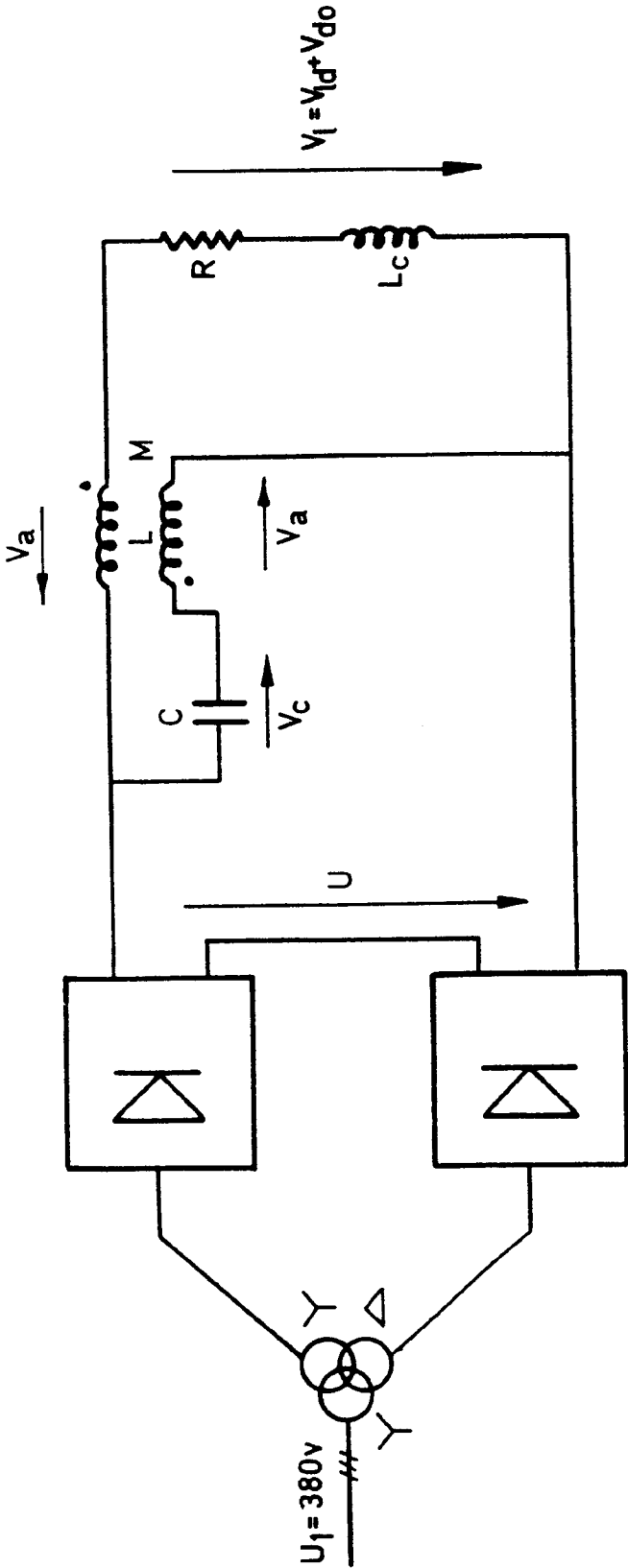


FIG.-8

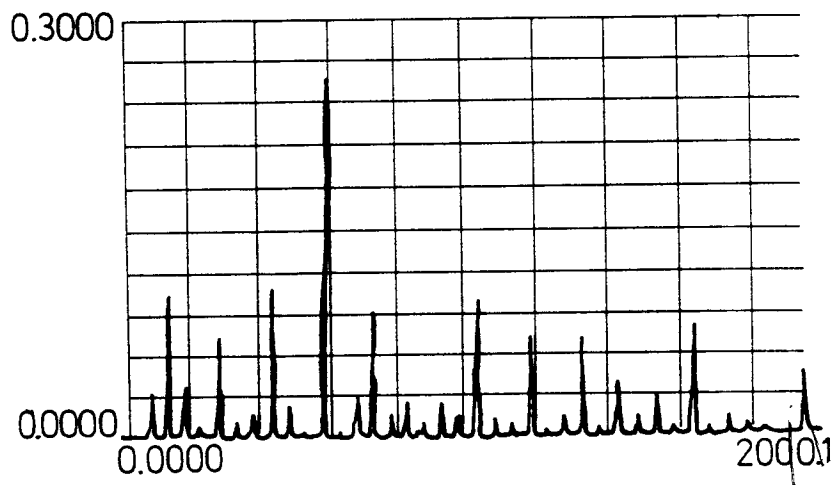
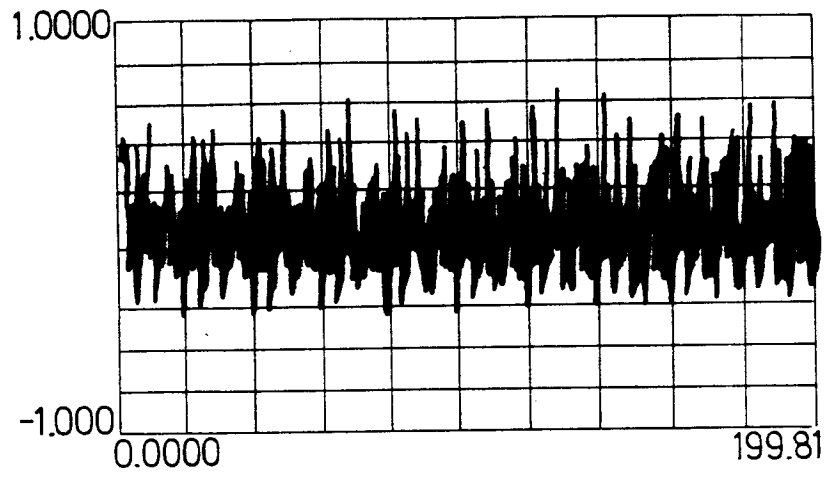


FIG.-9

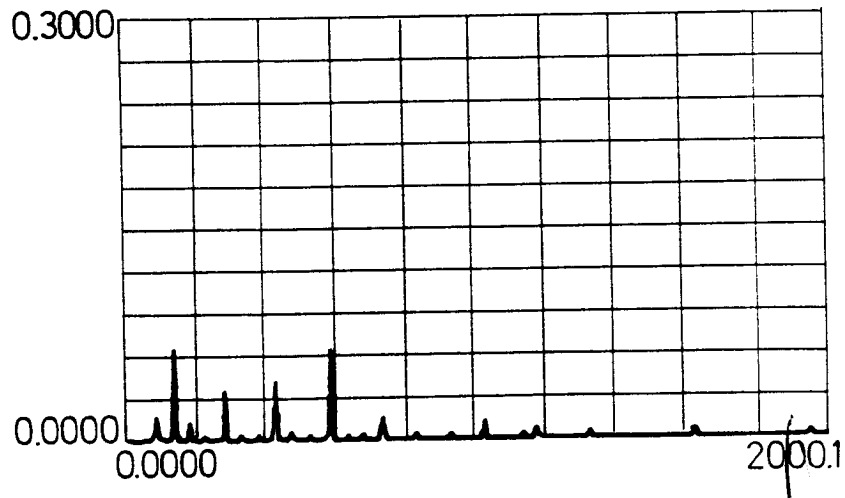
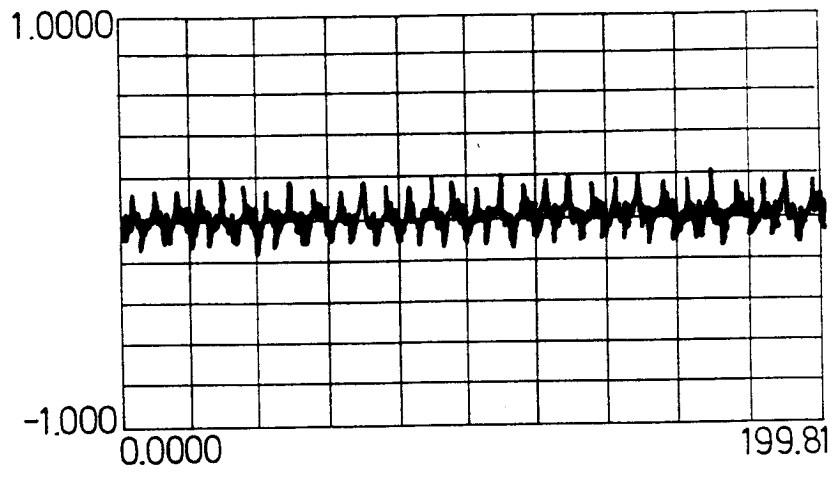


FIG.-10



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 112 171
⑫ N.º solicitud: 9501522
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 27.07.95
⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.⁶: H02M 1/14

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US-3761797-A (SPOONER) 25.09.73 * Página 2, líneas 29-54; figura 1 *	1
A	US-4519022-A (GLENNON) 21.05.85 * Columna 2, línea 49 - columna 3, línea 66; figuras 1,2 *	1
A	US-3987356-A (STEIGERWALD) 19.10.76 * Columna 3, líneas 23-56; figura 2 *	1
A	GB-2233523-A (TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON) 09.01.91	
Categoría de los documentos citados X: de particular relevancia Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría A: refleja el estado de la técnica O: referido a divulgación no escrita P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud		
El presente informe ha sido realizado ☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones n.º:		
Fecha de realización del informe 04.02.98	Examinador B. Novales Colado	Página 1/1