



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



①① Número de publicación: **2 153 327**

②① Número de solicitud: 009901560

⑤① Int. Cl.⁷: H02M 3/156

①②

PATENTE DE INVENCION

B1

②② Fecha de presentación: **08.07.1999**

④③ Fecha de publicación de la solicitud: **16.02.2001**

Fecha de concesión: **26.07.2001**

④⑤ Fecha de anuncio de la concesión: **01.09.2001**

④⑤ Fecha de publicación del folleto de patente:
01.09.2001

⑦③ Titular/es:
**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
CTT Camino de Vera s/n
46071 Valencia, ES**

⑦② Inventor/es: **Garcera Sanfeliu, Gabriel y
Figueres Amorós, Emilio**

⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados.**

⑤⑦ Resumen:

Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados.

La invención consiste en añadir al lazo de control modo corriente media convencional (con dos reguladores, el de tensión y el de corriente) un tercer regulador auxiliar, fácilmente implementable mediante amplificadores operacionales, que provee de gran robustez a la dinámica de convertidores DC-DC y AC-DC conmutados controlados por modulación en ancho de pulso (PWM) derivados de la topología Buck, de otros con características dinámicas de fase mínima y de sistemas de potencia distribuidos resultantes de combinar los anteriores.

ES 2 153 327 B1

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

DESCRIPCION

Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados.

5 **Sector de la técnica**

Electrónica de potencia.

10 Teoría de control y regulación aplicada a conversión de potencia.

Fuentes de alimentación conmutadas.

Estado de la técnica

15 Un método de control modo corriente de convertidores DC-DC conmutados bien conocido es el control modo corriente media (“*Average Current Mode Control of Switching Power Supplies*”. Unitrode IC Product and Applications Handbook 1993-1994, Unitrode Corporation, U-140), que se ha extendido a fuentes de alimentación conmutadas de media a alta potencia y de buenas prestaciones dinámicas. De hecho, en aplicaciones aeroespaciales, por ejemplo en fuentes de alimentación para satélites, se utiliza el control modo corriente media en la mayoría de aplicaciones (D. O’Sullivan, H. Spruijt, A. Crausaz, “*Pulse Width Modulation (PWM) Conductance Control*”, ESA Journal, vol. 13, 1989, pág. 33-46).

20 Como ocurre con todos los métodos de control de fuentes conmutadas conocidos, las prestaciones dinámicas (ancho de banda, márgenes de estabilidad, audiosusceptibilidad e impedancia de salida en lazo cerrado) del lazo de control modo corriente media convencional son sensibles a magnitudes variables como: la tensión de entrada, la carga y los valores de los componentes pasivos de la etapa de potencia, como inductores, condensadores, etc.. Tanto la tensión de entrada como la carga pueden variar en márgenes muy amplios, mientras que los componentes de la etapa de potencia también varían debido a tolerancias, envejecimiento, temperatura, etc.

30 La experiencia de los inventores ha demostrado que es posible mejorar el control modo corriente media convencional para mantener unas especificaciones dinámicas dadas ante todas las variaciones descritas. Este nuevo método de control es el objeto de la presente invención.

35 **Descripción de la invención**

La invención consiste en añadir al lazo de control modo corriente media convencional (con dos reguladores, el de tensión y el de corriente) un tercer regulador auxiliar, fácilmente implementable mediante amplificadores operacionales, que provee de gran robustez a la dinámica de convertidores DC-DC y AC-DC conmutados controlados por modulación en ancho de pulso (PWM) derivados de la topología Buck, de otros con características dinámicas de fase mínima y de sistemas de potencia distribuidos resultantes de combinar los anteriores.

45 El control modo corriente media convencional (figuras 1 y 2) se basa en un lazo interno de corriente controlado por un regulador de corriente, $G_s(s)$, que transforma en un sistema de primer orden la etapa de potencia, $VOC(s)=v_o(s)/v_c(s)$ (figura 2), vista por el regulador del lazo de tensión externo, $G_v(s)$. Ambos reguladores se suelen implementar mediante amplificadores operacionales y redes de impedancias basadas en resistencias y condensadores.

50 El diseño de los reguladores de los lazos de corriente y de tensión ($G_s(s)$ y $G_v(s)$, respectivamente) en la presente invención (figuras 3 y 4) se realiza según procedimientos idénticos a los bien conocidos del control modo corriente media convencional para una etapa de potencia igual a la nominal deseada, determinada por el regulador auxiliar, $G_{aux}(s)$, que se debe diseñar para presentar una función de transferencia inversa de la etapa de potencia nominal deseada paso bajo de primer orden, $VOC_{nom}(s)$, añadiendo un polo de alta frecuencia para evitar la amplificación excesiva del rizado de conmutación presente en la tensión de salida.

60 La tensión de salida del regulador auxiliar (figura 3), que es una estimación (v_{cest} de la tensión de control (v_c) que se tendría con etapa de potencia nominal y en ausencia de perturbaciones de línea (v_i) y carga (i_o), se resta de la tensión de control real para obtener el error de estimación (ε), que se multiplica por el “factor de ponderación de robustez de prestaciones” W , una ganancia ajustable entre 0 y 1. Esta señal se suma a la salida (u) del regulador de tensión, $G_v(s)$, reforzando su acción, y provocando que la

ES 2 153 327 B1

etapa de potencia $VOU(s,W)=v_o(s)/u(s)$ vista por este regulador, sea muy parecida a la nominal deseada $VOC_{nom}(s)=(v_o(s)/v_c(s))_{nom}$, a pesar de los cambios en la carga R , tensión de entrada V_i y valores de los componentes pasivos de la etapa de potencia $(L,C,R_c,..)$. A medida que W se acerca a la unidad, el lazo posee unas prestaciones dinámicas más robustas, existiendo un compromiso entre prestaciones y estabilidad.

La figura 3 muestra el esquema de bloques del método de control propuesto. Dicho esquema se basa en circuitos equivalentes lineales de pequeña señal de un convertidor DC-DC conmutado Buck genérico en conducción continua, sin pérdida de generalidad para funcionamiento en conducción discontinua, para otros conversores derivados de éste o para otros de fase mínima.

En las figuras 1 a 4 se utiliza la siguiente nomenclatura:

- V_i , tensión de entrada del convertor DC-DC en el punto de trabajo a partir del cual se calcula el circuito equivalente de pequeña señal.
- V_o , tensión de salida del convertor DC-DC en el punto de trabajo.
- I_o , corriente de salida del convertor en el punto de trabajo.
- D , ciclo de trabajo en el punto de trabajo.
- R , resistencia de carga.
- V_{ref} , tensión de referencia del regulador de tensión, $G_v(s)$.
- L , inductor de filtrado.
- C , condensador de filtrado.
- R_c , resistencia serie del condensador de filtrado.
- R_i , ganancia del sensor de la corriente en el inductor de filtrado.
- $v_i(s)$, perturbación de línea en pequeña señal.
- $i_o(s)$, perturbación de carga en pequeña señal.
- d , ciclo de trabajo en pequeña señal.
- i_l , corriente en el inductor L en pequeña señal.
- $v_o(s)$, tensión de salida en pequeña señal.
- F_m , ganancia del modulador en ancho de pulso.
- β , ganancia o atenuación de la red de muestreo de la tensión de salida.
- $H_e(s)$, ganancia de muestreo (W. Tang, R. Ridley, F.C. Lee, "Small-signal modeling of average current mode control" IEEE APEC 1992 Conference Record, pp. 747-755).
- $T_i(s)$, ganancia de lazo del lazo de corriente interno.
- $G_c(s)=1+G_s(s)$, ganancia no inversora del regulador de corriente $G_s(s)$.
- v_c , tensión de control del lazo de corriente.
- u , salida del regulador de tensión, $G_v(s)$.
- $T_v(s)$, ganancia de lazo del lazo de tensión externo con control modo corriente media convencional.
- $v_{ref}(s)$, tensión de referencia en pequeña señal del regulador de tensión, $G_v(s)$.

ES 2 153 327 B1

El regulador auxiliar proporciona robustez a la etapa de potencia con control robusto, $VOU(s,W)$, y a la ganancia de lazo del convertidor, $T_v(s,W)$, mejorando además el rechazo de las perturbaciones externas, es decir, la impedancia de salida en lazo cerrado $Z_{ocl}(s,W)=v_o(s)/i_o(s)$ ($v_c \neq 1$) y la audiosusceptibilidad en lazo cerrado $A_{cl}(s,W)=v_o(s)/v_i(s)$ ($v_c \neq 0$).

5

Al utilizar el método de control modo corriente media robusto, objeto de la presente invención, con factor de robustez W , las funciones de transferencia características del lazo de control son determinadas por las ecuaciones [1] a [4]. Para $W=0$ dichas expresiones coinciden con las del control modo corriente media convencional. En dichas ecuaciones se utilizan las siguientes funciones de transferencia:

10

- $VOC(s)=v_o(s)/v_c(s)$, la función de transferencia de la etapa de potencia con control modo corriente media convencional (una vez cerrado el lazo de corriente interno y sin perturbaciones de línea y carga, $v_i=i_o=0$).

15

- $Z_o(s)$, impedancia de salida en lazo abierto ($v_c=0$) del convertidor con control modo corriente media convencional.

- $A(s)$, la audiosusceptibilidad en lazo abierto ($v_c=0$) del convertidor con control modo corriente media convencional.

20

$$VOU(s,W) = \left. \frac{v_o(s)}{u(s)} \right|_{i_o=v_i=0} = \frac{VOC(s)}{1+W \cdot (VOC(s) \cdot G_{aux}(s) - 1)} \quad [1]$$

25

$$T_v(s,W) = \beta \cdot G_v(s) \cdot VOU(s,W) \quad [2]$$

$$Z_{ocl}(s,W) = \left. \frac{v_o(s)}{i_o(s)} \right|_{v_i=0, v_c \neq 0} = \frac{Z_o(s)}{1 + VOC(s) \cdot \frac{G_v(s) \cdot \beta + G_{aux}(s) \cdot W}{1 - W}} \quad [3]$$

30

$$A_{cl}(s,W) = \left. \frac{v_o(s)}{v_i(s)} \right|_{i_o=0, v_c \neq 0} = \frac{A(s)}{1 + VOC(s) \cdot \frac{G_v(s) \cdot \beta + G_{aux}(s) \cdot W}{1 - W}} \quad [4]$$

35

El lazo de control modo corriente media robusto se puede implementar fácilmente añadiendo unos pocos amplificadores operacionales al circuito control modo corriente media básico. La figura 4 muestra, sin pérdida de generalidad, un posible circuito práctico.

40

El método de control modo corriente media robusto, objeto de esta invención, está caracterizado por ser aplicable a convertidores de potencia DC-DC y AC-DC controlados por modulación en ancho de pulso derivados de la topología Buck, a otros con característica dinámica de fase mínima y a sistemas de potencia distribuidos resultantes de combinar los anteriores.

Las ventajas, que son mayores cuanto más se acerca W a la unidad, del lazo de control modo corriente media robusto sobre el control modo corriente media convencional son las siguientes:

45

- Mantener la función de transferencia de la etapa de potencia, $VOU(s,W)$, vista por el regulador de tensión, muy cercana a la nominal deseada determinada por el regulador auxiliar, $G_{aux}(s)$, a pesar de variaciones muy importantes de la tensión de entrada, la carga incluyendo conducción discontinua y los valores de los componentes pasivos de la etapa de potencia (inductores y condensadores). Dicha mejora se cuantifica en función de W mediante la ecuación [1].

50

- Mantener el ancho de banda y márgenes de estabilidad (margen de ganancia y margen de fase) del convertidor cercanos a unos nominales deseados determinados por el regulador auxiliar, a pesar de variaciones muy importantes de la tensión de entrada, la carga incluyendo conducción discontinua y los valores de los componentes pasivos de la etapa de potencia. Dicha mejora se cuantifica en función de W mediante la ecuación [2].

55

- Disminuir la impedancia de salida en lazo cerrado respecto a la del control modo corriente media convencional en función del factor de ponderación de la robustez W , permitiendo reducciones de dicha impedancia de salida superiores a 20dB. Dicha disminución se cuantifica mediante la ecuación [3].

60

- Disminuir la audiosusceptibilidad en lazo cerrado respecto a la del control modo corriente media convencional en función del factor de ponderación de la robustez W , permitiendo reducciones de dicha

audiosusceptibilidad superiores a 20dB. Dicha disminución se cuantifica mediante la ecuación [4].

La única limitación de la robustez del lazo, o del máximo valor de W , es el rizado de conmutación en la tensión de salida del convertidor, que es amplificado por el regulador auxiliar, de carácter derivativo. En
5 conversores con un contenido de rizado de conmutación del 1% del valor medio de la tensión de salida se puede alcanzar factores de robustez de $W=0.9$ y superiores.

Breve descripción de los dibujos

10 Para la mejor comprensión de todo cuanto queda descrito en la presente memoria, se acompañan unos dibujos, en los que sólo a título de ejemplo y sin pérdida de generalidad, se representa una posible implementación práctica del método de control modo corriente media robusto. La figura 1 muestra la implementación de un lazo de control modo corriente media convencional para el control de un convertidor DC-DC conmutado Buck. La figura 2 presenta el diagrama de bloques de dicho esquema de control,
15 tras linealizar la etapa de potencia con el ampliamente aceptado "Modelo del conmutador PWM" (V. Voperian, "Simplified analysis of PWM converters using the model of the PWM switch: parts I and II", IEEE transactions on AES, vol. 26, no. 3, 1990, pág. 490-505). En esta figura se aprecian dos reguladores: el del lazo de corriente, $G_s(s)$, y el del lazo de tensión, $G_v(s)$. La figura 3 muestra la adición del regulador auxiliar al esquema de bloques del control modo corriente media convencional, dando lugar
20 al método de control modo corriente media robusto objeto de esta invención. La figura 4 muestra una posible implementación física del circuito electrónico de control modo corriente media robusto.

Descripción de un modo de realización de la invención

25 La figura 4 muestra un posible circuito electrónico de implementación del método de control modo corriente media robusto en un convertidor DC-DC Buck. Dicho convertidor debe dar una tensión fija v_o a una carga R variable, a pesar de variaciones de la tensión de entrada V_i y posibles cambios o tolerancias en los valores de los componentes pasivos de filtrado L , C , R_c .

30 El lazo interno de corriente se basa en el sensado de la corriente en el inductor de potencia L , mediante un sensor de ganancia R_i . Al realimentar negativamente la señal procedente del sensado de corriente hacia el regulador de corriente $G_s(s)$ (1) basado en amplificador operacional y diseñado mediante las redes de resistencias y condensadores (1a) y (1b), e inyectar la salida de (1) en el comparador PWM (6), la tensión de transferencia de la tensión de salida, v_o , a la tensión de control, v_c , es básicamente un sistema
35 de primer orden, como es bien sabido de la teoría del control modo corriente media convencional.

La tensión de salida, v_o , es introducida en el lazo de control a través de un red de muestreo de ganancia o atenuación β . En la figura 4 se ha representado dicha red como atenuadora mediante divisor resistivo, pero podría ser perfectamente un circuito amplificador, dependiendo de la aplicación. Se ha añadido un
40 seguidor de tensión (7) para evitar la carga de dicha red por parte del resto del circuito, pero no siempre es necesario. El circuito basado en amplificador operacional (2) es el regulador de tensión, $G_v(s)$, cuya función de transferencia se determina mediante las redes de resistencias y condensadores (2a) y (2b). La tensión de referencia (2c), que puede ser variable, sirve para ajustar el valor de la tensión de salida del convertidor. La salida, u , de (2) es utilizada para la implementación del lazo robusto.

45 La señal de muestreo de la tensión de salida, $\beta*v_o$, es introducida en el regulador auxiliar basado en amplificador operacional, $G_{aux}(s)/\beta$ (3), cuya función de transferencia se conforma mediante las redes de resistencias y condensadores (3a) y (3b). La salida de (3) es la señal de estimación de la tensión de control con signo negativo, $-v_{cest}$. Dicha señal y la señal de control real, v_c , son introducidas en un
50 circuito sumador inversor (4) de ganancia ajustable mediante potenciómetro (4a) o por cualquier otro método electrónico. Dicha ganancia ajustable determina el valor del factor de robustez W . La salida de (4) da la señal de error de estimación multiplicado por W y con signo negativo, $-W*err$. Dicha señal y la salida, u , del regulador de tensión (2) se restan en la red basada en amplificador operacional (5) para obtener la tensión de control, v_c , que excita al regulador de corriente (1).

55 Los valores de resistencias y condensadores de las redes (1a), (1b), (2a) y (2b) se diseñan según los métodos habituales en control modo corriente media convencional, para una etapa de potencia (V_i , L , C , R_c , R , etc.) igual a la nominal deseada, $VOC_{nom}(s)$.

60 Las redes (3a) y (3b) del regulador auxiliar (3) se implementan para que el regulador auxiliar, $G_{aux}(s)$, presente la función de transferencia inversa de la etapa de potencia paso bajo de primer orden nominal deseada, $VOC_{nom}(s)$. Es conveniente añadir un polo de alta frecuencia a $G_{aux}(s)$, de frecuencia inferior

a la de conmutación del convertor, para limitar la ganancia a alta frecuencia de $G_{aux}(s)$, de carácter derivativo.

El ajuste de W puede ser empírico o determinado por software de simulación. Lo óptimo es que esté cercano a la unidad, pero está limitado por el contenido de rizado de conmutación en la tensión de salida. Con un valor pico a pico del 1 % en dicho rizado, se pueden conseguir factores de robustez de $W=0.9$, e incluso $W=0.95$.

Cabe destacar la sencillez circuital del método de control robusto, pues ha bastado en esta implementación particular con añadir unos pocos circuitos basados en amplificador operacional como (3) (4) (5) y (7) a la circuitería control modo corriente media convencional.

Es independiente del objeto de la invención el convertor PWM DC-DC o AC-DC concreto al que se aplica el control modo corriente media robusto y su topología: Push-pull, semipunto, puente completo, etc. Las topologías de potencia válidas son todas aquellas derivadas del Buck, y también aquellas que presenten característica dinámica de fase mínima. Asimismo, las propiedades del control modo corriente media robusto son independientes de si en la implementación se usa un circuito integrado específico para control PWM, de si toda la circuitería de control es discreta, o de las diferentes soluciones tecnológicas de implementación electrónica del lazo de control.

20 **Aplicaciones industriales**

El lazo de control modo corriente media robusto puede sustituir a cualquier lazo de control modo corriente media convencional existente en convertidores DC-DC conmutados Buck, sus derivados, que son los más utilizados en media y alta potencia, y otros convertidores con características dinámicas de fase mínima. Tiene aplicaciones directas en:

- Fuentes de alimentación conmutadas de altas prestaciones dinámicas, como las de aplicaciones aeronáuticas y aeroespaciales (aviones, satélites, naves espaciales, etc).
- Sistemas DC-DC o AC-DC de potencia distribuidos basados en paralelización de convertidores. Para altas corrientes se está utilizando este tipo de soluciones modulares basadas en colocar tantos módulos estándar en paralelo como corriente demande la carga. En este caso la inductancia y capacidad total de filtrado que "ve" el regulador depende del número de convertidores, N , en paralelo, con lo que el lazo robusto es potencialmente muy adecuado para mantener unas prestaciones dinámicas dadas, independientemente de N .
- Sistemas DC-DC o AC-DC de potencia para equipos de telecomunicaciones y sistemas informáticos.
- Cualquier fuente de alimentación conmutada en la que la tensión de entrada, la carga o los componentes pasivos de la etapa de potencia puedan variar en grandes márgenes.

45

50

55

60

REIVINDICACIONES

1. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados **caracterizado** por basarse en tres reguladores, uno interno del lazo de corriente, otro externo del lazo de tensión y un tercer regulador auxiliar.

2. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicación 1, **caracterizado** por ser aplicable a convertidores de potencia DC-DC y AC-DC controlados por modulación en ancho de pulso derivados de la topología Buck, a otros con característica dinámica de fase mínima y a sistemas de potencia distribuidos resultantes de combinar los anteriores.

3. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque el regulador auxiliar presenta la función de transferencia inversa de una etapa de potencia nominal deseada paso bajo de primer orden, más un polo de alta frecuencia para filtrado del ruido de conmutación.

4. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicaciones 1 a 3, consistente en restar la salida del regulador auxiliar de la tensión de control del lazo interno de corriente, entrada positiva del regulador del lazo de corriente, para obtener una señal de error de estimación de la señal de control, que multiplicada por un factor de ponderación de la robustez, W , variable entre 0 y 1, se suma a la salida del regulador del lazo de tensión, reforzando su acción.

5. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el diseño de los reguladores de los lazos de corriente y de tensión se realiza según procedimientos idénticos a los bien conocidos del control modo corriente media convencional para una etapa de potencia igual a la nominal deseada, determinada por el regulador auxiliar.

6. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** por mantener la etapa de potencia vista por el regulador de tensión muy cercana a la nominal deseada determinada por el regulador auxiliar, a pesar de variaciones muy importantes de la tensión de entrada, la carga incluyendo conducción discontinua y los valores de los componentes pasivos de la etapa de potencia.

7. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** por mantener el ancho de banda y márgenes de estabilidad, de fase y de ganancia, del lazo de control cercanos a unos nominales deseados determinados por el regulador auxiliar, a pesar de variaciones muy importantes de la tensión de entrada, la carga incluyendo conducción discontinua y los valores de los componentes pasivos de la etapa de potencia.

8. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** por disminuir la impedancia de salida en lazo cerrado respecto a la del control modo corriente media convencional en función del factor de ponderación de la robustez, W , permitiendo reducciones de dicha impedancia de salida superiores a 20dB.

9. Método y circuito electrónico de control modo corriente media robusto de convertidores DC-DC conmutados, según reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** por disminuir la audiosusceptibilidad en lazo cerrado respecto a la del control modo corriente media convencional en función del factor de ponderación de la robustez, W , permitiendo reducciones de dicha audiosusceptibilidad superiores a 20dB.

55

60

FIG. 1

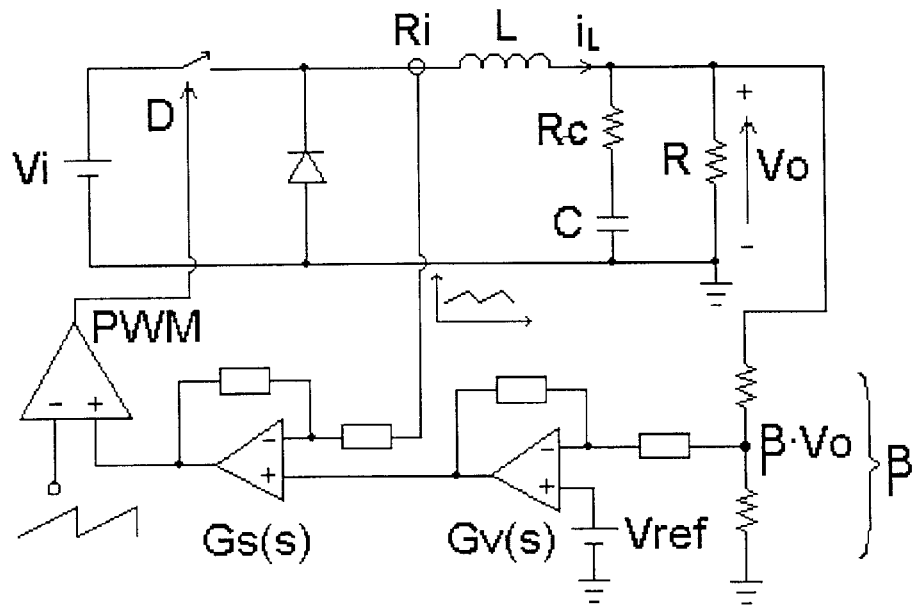


FIG. 2

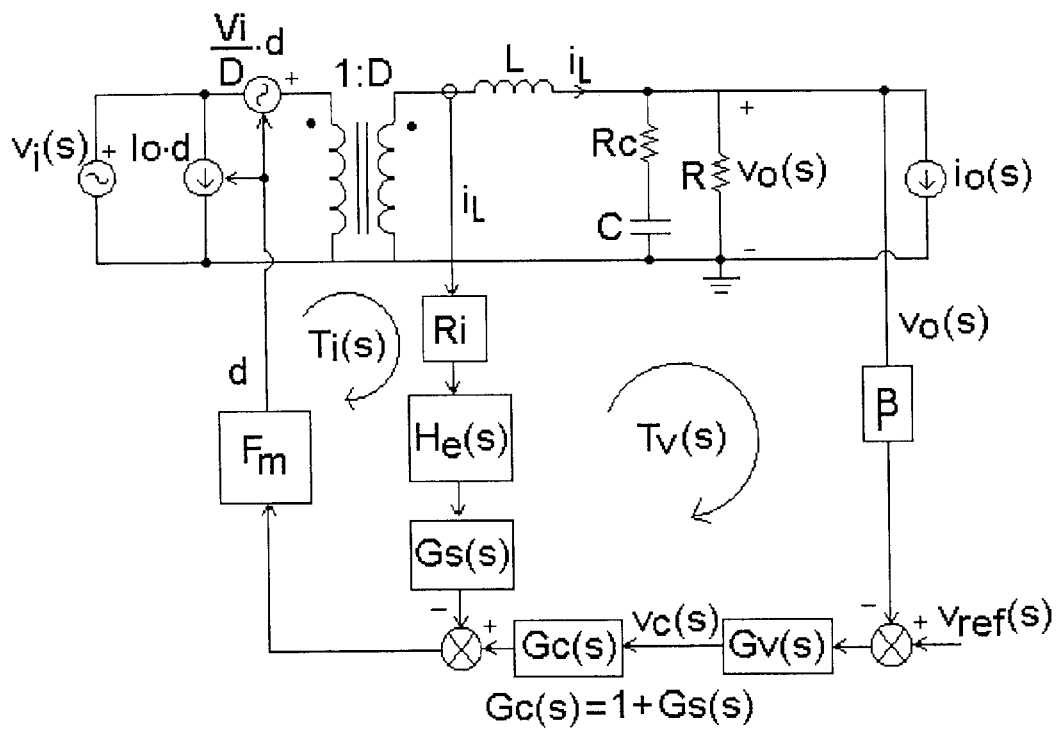


FIG. 3

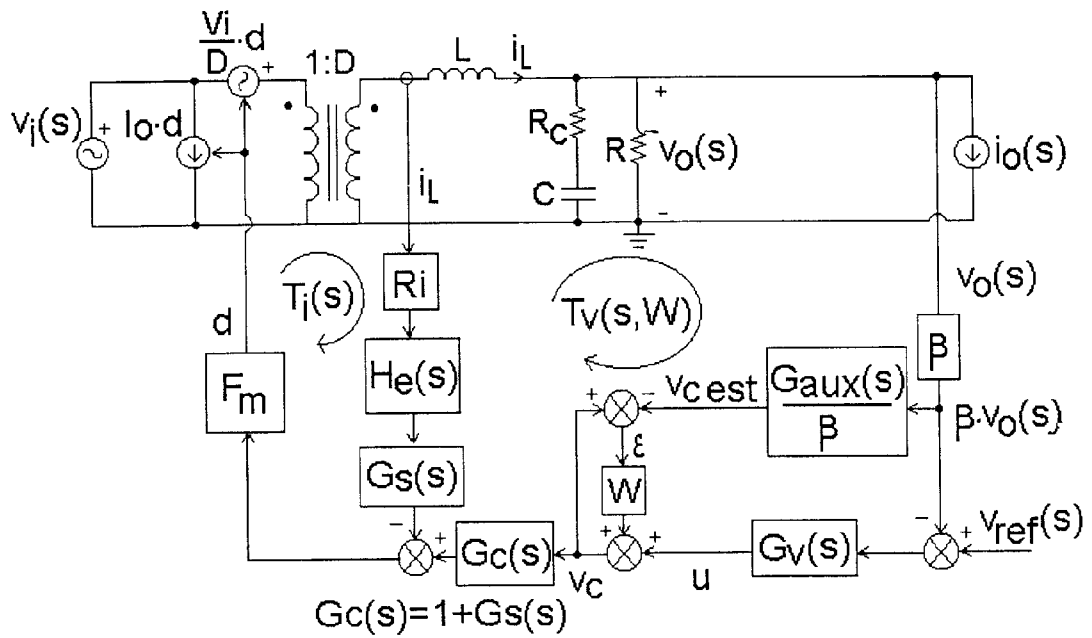
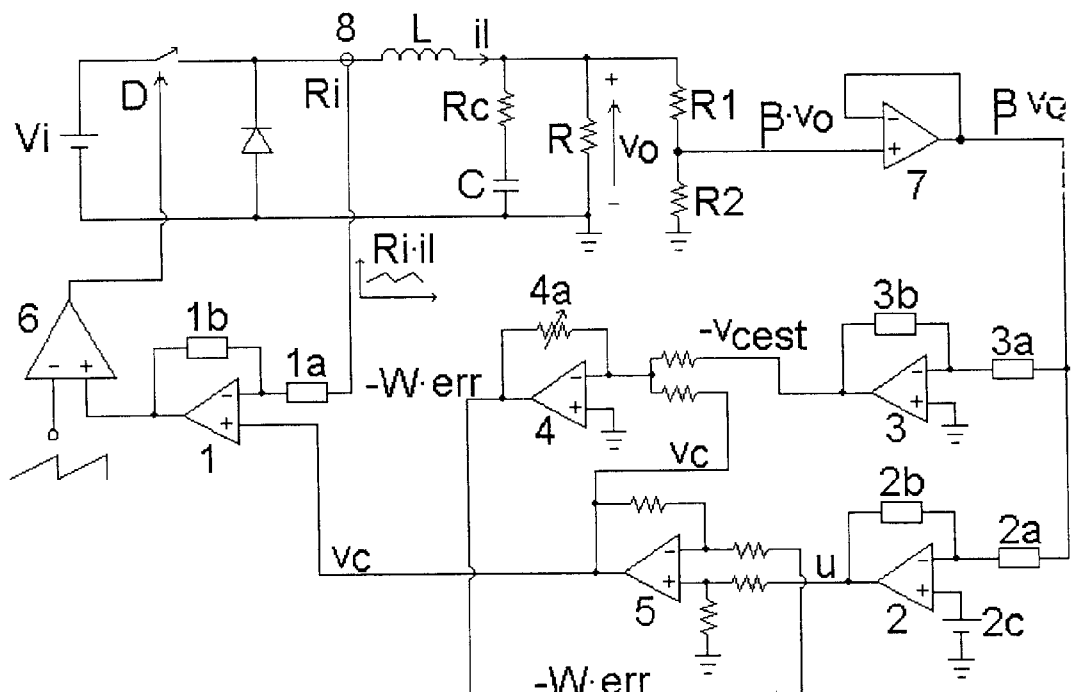


FIG. 4





OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ① ES 2 153 327
② N.º solicitud: 009901560
③ Fecha de presentación de la solicitud: 08.07.1999
④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.⁷: H02M 3/156

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 4885674 A (VARGA et al.) 05.12.1989	
A	EP 0759653 A2 (HARRIS CORPORATION) 26.02.1997	
A	WO 9809368 A1 (SGS-THOMSON MICROELECTRONICS) 05.03.1998	

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

29.01.2001

Examinador

J. Botella Maldonado

Página

1/1