

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 108**

51 Int. Cl.:

**H02P 1/04**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.04.2015** **E 15164482 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018** **EP 2937987**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de control para sistema de arranque progresivo de motor usando una medición de la derivada de la corriente**

30 Prioridad:

**23.04.2014 FR 1453644**

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

**19.06.2019**

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS  
(100.0%)  
35, rue Joseph Monier  
92500 Rueil-Malmaison , FR**

72 Inventor/es:

**PENKOV, DELCHO;  
DENTELLA, ALAIN y  
HERRIOT, YANN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 717 108 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento y dispositivo de control para sistema de arranque progresivo de motor usando una medición de la derivada de la corriente

**Campo técnico**

5 El campo de la invención es el de los motores eléctricos, y más particularmente el del control del arranque de tales motores por medio de un sistema de arranque progresivo interpuesto entre el motor y la fuente de alimentación eléctrica.

**Estado de la técnica anterior**

10 Al inicio de un motor eléctrico, éste realiza un consumo de corriente en la red eléctrica que lo alimenta. Esto provoca una caída de la tensión de la red que puede provocar un mal funcionamiento de ciertas cargas sensibles y, si es necesario, eliminaciones de carga en la red.

15 Para evitar este problema, se conoce, por ejemplo, a partir de la solicitud de patente WO 01/89073 A2, o FR 2980058 conectar indirectamente el motor a la red a través de un sistema de arranque progresivo conocido como "soft starter" y que, mediante interruptores controlados permite aumentar progresivamente el valor de la tensión eficaz aplicada al motor.

En tales sistemas, los interruptores controlados están realizados por componentes semiconductores, en particular, tiristores. Debido a esto, los interruptores controlados son frágiles y sensibles a las tensiones y corrientes transitorias a los que están sujetos durante las conmutaciones.

20 Es común usar un mismo sistema de arranque progresivo para arrancar varios motores de manera secuencial. Por consiguiente, se entiende que una avería en el sistema de arranque puede provocar pérdidas sustanciales de producción en ciertas aplicaciones.

25 También, parece importante hacer que el funcionamiento de estos sistemas de arranque sea más confiable, en particular hacer confiable el funcionamiento de los sistemas de arranque de motores cuyas tensiones nominales son superiores a 500 V, incluso superiores a 1000 V, incluso iguales o superiores a 5,5 kV, debido a los valores de las tensiones y corrientes transitorias a las que están sujetos los interruptores controlados en estos casos.

30 En particular, se observa una corriente transitoria oscilatoria que pasa a través de un tiristor durante la conmutación de cierre. Esta corriente transitoria, que puede ser abordado por una senoide de alta frecuencia amortiguada, siendo proporcional a la tensión presente en los terminales del tiristor justo antes de esta conmutación, la solicitud de patente WO 2013/038094 A2 del Solicitante recomienda accionar el cierre de un tiristor en un instante seleccionado en intervalos temporales durante los cuales la tensión transitoria que se desarrolla en los terminales del tiristor después de la interrupción de la corriente es mínima. Este cierre se controla según un modo llamado de control gamma, donde el cierre se controla en un cierto ángulo gamma después del paso a cero de la corriente que fluye a través del tiristor, a diferencia del llamado modo de control alfa donde el cierre se controla en un cierto ángulo alfa después del paso a cero de la tensión alterna de la fuente.

35 Las mediciones de la tensión en los terminales del tiristor requieren un procesamiento de la señal bastante sofisticado, en particular, un muestreo de alta frecuencia, para detectar las tensiones mínimas. Por otra parte, tales mediciones complican el diseño del armario del sistema de arranque progresivo y, por lo tanto, aumentan el coste. Se debe encontrar una ubicación para alojar el sensor de tensión, lo que también genera restricciones en términos de aislamiento. Además, la realización de mediciones de tensión en los terminales de un tiristor parece bastante impráctica, en particular, en aplicaciones con tensiones nominales del orden de unos pocos kilovoltios donde hay varios tiristores conectados en serie.

45 En las aplicaciones actuales que realizan un control gamma, transformadores de corriente convencionales, del tipo de núcleo magnético, se usan para detectar el paso a cero de la corriente. Estos transformadores introducen una desviación de fase que depende de la frecuencia de la corriente. Una compensación precisa de esta desviación es difícil de realizar, y la detección de los instantes de paso a cero es en realidad bastante impreciso (precisión del orden de 100 µs). Asimismo, estos sensores generalmente introducen un desfase ("offset") que también hace que la medición sea muy imprecisa.

**Descripción de la invención**

50 El principal objetivo de la invención es mejorar la precisión de un control de arranque de un motor eléctrico, en particular, siendo el objeto de la solicitud de patente antes mencionada del Solicitante. La invención puede usarse ventajosamente cuando se desee conocer con precisión el momento de bloqueo de un semiconductor.

A este respecto, la invención propone un procedimiento según la reivindicación 1.

Ciertos aspectos preferentes, pero no limitantes, de este procedimiento se definen en las reivindicaciones dependientes 2 a 9.

La invención se extiende a un sistema de arranque de un motor eléctrico según la reivindicación 10.

**Breve descripción de los dibujos**

- 5 Otros aspectos, objetos, ventajas y características de la invención se harán más evidentes al leer la siguiente descripción detallada de las formas de realización preferentes de la misma, aportada a modo de ejemplo no limitativo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos en los que:
- la figura 1 es un esquema de una instalación que comprende un dispositivo de control de un motor eléctrico según un posible modo de realización de la invención;
  - 10 - la figura 2 es un gráfico temporal centrado en una fase de apertura del interruptor controlado que ilustra las evoluciones de la corriente que fluye a través del interruptor y del potencial eléctrico corriente abajo del interruptor;
  - la figura 3 es un gráfico temporal centrado en una fase de apertura del interruptor controlado que ilustra las evoluciones de la corriente que fluye a través del interruptor y de la derivada de la corriente que recorre el interruptor;
  - 15 - la figura 4 es un gráfico temporal centrado en una fase de apertura del interruptor controlado que ilustra las evoluciones del potencial eléctrico corriente abajo del interruptor y de la derivada de la corriente que recorre el interruptor;
  - la figura 5 es un gráfico temporal centrado en una fase de apertura del interruptor controlado que ilustra las evoluciones del potencial eléctrico corriente abajo del interruptor y de la señal rectangular cuyas partes frontales corresponden a los instantes de paso a cero de la derivada de la corriente que recorre el interruptor;
  - 20 - la figura 6 es un gráfico temporal que muestra la evolución de la tensión en los terminales del interruptor controlado después de la conmutación de la apertura del mismo.

**Descripción detallada de modos de realización particulares**

25 Un modo de realización de una instalación según la invención se describe a continuación con referencia a la figura 1. La instalación comprende un motor 7 eléctrico alimentado por una fuente de tensión 1. La fuente de tensión 1 está conectada a través de un transformador 2 a un compartimiento 3 que permite suministrar varias células en paralelo, de las cuales solo una se representa en la figura 1 y en la que hay un contactor o disyuntor 4 de circuito conectado al motor 7 a través de un sistema 5 de arranque del motor.

30 Un dispositivo 9 contactor está dispuesto en paralelo con el sistema 5 de arranque. Permite cortocircuitar el sistema 5 de arranque una vez que el motor 7 ha alcanzado una velocidad suficiente.

El motor es del tipo de corriente alterna, en particular, del tipo asíncrono. Es trifásico. Su tensión nominal es superior a 380 V, incluso superior a 1000 V, incluso superior o igual a 5,5 kV.

35 Por lo tanto, el motor está conectado a la red eléctrica, en particular, a la fuente 1 de tensión, a través de un sistema 5 de arranque del motor. El sistema de arranque del motor 5 comprende principalmente un interruptor controlado en cada línea de alimentación del motor, por ejemplo, un interruptor controlado en cada una de las tres fases de alimentación de un motor trifásico. El interruptor controlado puede ser un transistor de potencia. Ventajosamente, el interruptor controlado comprende un tiristor, en particular, dos tiristores T1, T2 montados de cabeza a cola en paralelo.

40 El sistema de arranque del motor 5 también comprende un circuito de amortiguación ("snubber") instalado en paralelo con el interruptor controlado y que consiste en el montaje en serie de una resistencia R y un condensador C.

El sistema de arranque del motor 5 también comprende un dispositivo 6 de control del interruptor controlado. En el caso representado, el dispositivo de control comprende dos salidas, cada una de las cuales activa un gatillo de uno de los tiristores T1, T2. De este modo, el dispositivo de control 6 hace posible generar un pulso que controla la activación de la conmutación de cada uno de los tiristores T1, T2.

45 El dispositivo 6 de control comprende elementos de hardware y/o software configurados, para cada alternancia de la tensión alterna de la fuente 1 de tensión, para determinar un instante de cierre a partir de una medida de la derivada de la corriente que fluye en una línea de alimentación del motor, por ejemplo, la corriente que fluye a través del interruptor o el circuito de amortiguación RC, y para accionar el cierre del interruptor controlado en este instante de cierre determinado. La medición se realiza mediante un sensor de medición de la derivada 8 de la corriente conectada entre el sistema 6 de control y el motor 7, más precisamente, en una de las líneas de alimentación del motor trifásico. El sensor de medición de la derivada 8 de la corriente es típicamente un sensor de Rogowski.

50 Se ha representado en la figura 2 las evoluciones de la corriente que recorre el interruptor  $I_{tiristor}$  (eje de la izquierda; en línea fina) y del potencial eléctrico corriente abajo  $V_{corriente\ abajo}$  del interruptor (eje de la derecha; en línea negrita). La figura 2 está centrada en una fase de apertura del interruptor iniciada por la cancelación de la corriente  $I_{tiristor}$ . Este

potencial  $V_{\text{corriente abajo}}$  presenta, en el transcurso de la fase de apertura del interruptor, un componente a la frecuencia nominal de la red asimilable con un componente de continuo para la durante la interrupción de la corriente, y un componente transitorio y oscilatorio de frecuencia varias veces superior a la frecuencia nominal de la red.

5 Se ha representado en la figura 3 las evoluciones de la corriente que recorre el interruptor  $I_{\text{tiristor}}$  (eje de la izquierda; en línea fina) y de la derivada  $di/dt$  de esta corriente (eje de la derecha; en línea negra), siempre centrada en una fase de apertura del interruptor controlado.

10 La figura 4, también centrada en una fase de apertura del interruptor, representa en sí misma las evoluciones de la derivada  $di/dt$  de la corriente  $I_{\text{tiristor}}$  que pasa a través del interruptor (eje de la derecha; en línea fina) y del potencial eléctrico corriente abajo  $V_{\text{corriente abajo}}$  del interruptor (eje de la izquierda; en línea negra). Estas dos señales están casi en total oposición de fase (desfase de  $180^\circ$ ). El desfase exacto es una función de la frecuencia de estas señales y de los parámetros del circuito de amortiguación RC. Estos dos factores pueden ser conocidos con suficiente precisión, siendo la frecuencia medida a partir de la duración que separa dos pasos a cero consecutivos de la derivada de la corriente como se detalla a continuación. El desfase se expresa, entonces, según  $\Delta = 180^\circ - \varphi_{\text{transient}}$ , con  $\varphi_{\text{transient}} = \arctan\left(\frac{1}{w.RC}\right)$  y donde R y C son los valores de la resistencia y del condensador del circuito de amortiguación y w el pulso eléctrico proporcional a la frecuencia de oscilación de la tensión transitoria  $V_{\text{corriente abajo}}$ .

15 La derivada de la corriente  $I_{\text{tiristor}}$  es, de este modo, una réplica opuesta de la tensión transitoria  $V_{\text{corriente abajo}}$  en la que puede realizarse la sincronización de la conmutación del interruptor controlado como se detalla en la solicitud de patente WO 2013/038094 A2.

20 El dispositivo de medición de la derivada de la corriente, típicamente un sensor de Rogowski, presenta la ventaja de entregar una señal con un retraso insignificante, inferior al microsegundo, y no se ve afectado por la frecuencia de la corriente en el espectro de frecuencias transitorias que se encuentra en la práctica (1-5 kHz).

25 La medición de la derivada de la corriente presenta la ventaja adicional de proporcionar una señal centrada en cero (siendo la componente de frecuencia nominal muy pequeña e insignificante en los primeros ciclos de oscilación, por oposición a la tensión transitoria  $V_{\text{corriente abajo}}$ ) y amplificar las oscilaciones rápidas ligadas al bloqueo del tiristor. La derivada de la corriente correspondiente, de hecho, a la amplitud de la corriente multiplicada por el pulso eléctrico del transitorio, es una señal amplificada naturalmente a alta frecuencia, incluso si su amplitud puede ser cercana a cero.

30 La determinación de un instante de bloqueo del interruptor a partir de una medición de la derivada de la corriente de fase comprende la detección de los instantes de paso por cero de la derivada de la corriente y el cálculo, por un microprocesador, a partir de dichos instantes de paso por cero, de la frecuencia de una tensión transitoria en los terminales del interruptor que aparece después de un paso por cero de la corriente que fluye a través del interruptor, es decir, después de la apertura del interruptor. La detección se realiza mediante una cadena de adquisición analógica, que comprende, entre otros, amplificadores de señal cuya función es aumentar la precisión de la detección de los instantes de paso por cero de la derivada, y los componentes convencionales de detección de paso por cero.

35 Por ejemplo, la duración que separa los dos primeros instantes de paso a cero de la derivada de la corriente después de la apertura del interruptor puede calcularse, lo que permite deducir el medio período de las oscilaciones de la tensión transitoria en los terminales del interruptor. El período completo T puede entonces calcularse, así como la frecuencia asociada.

40 Esta frecuencia de oscilación de la tensión transitoria corresponde, por lo tanto, a la frecuencia de una señal que la cadena de adquisición hace rectangular, con el recorte por dicha cadena, cuyas partes frontales coinciden con los instantes de paso por cero de la derivada de la corriente. Se ha representado, de este modo, en la figura 5, aun centrada en una fase de apertura del interruptor, las evoluciones de tal señal rectangular representativa de pasos por cero de la derivada  $di/dt$  de la corriente  $I_{\text{tiristor}}$  que pasa a través del interruptor (eje de la derecha; en línea fina) y del potencial eléctrico corriente abajo  $V_{\text{corriente abajo}}$  del interruptor (eje de la izquierda; en línea negra).

45 El uso de una medición de la derivada de la corriente permite superar, además, los procesamientos complejos que se requieren cuando se usan mediciones de tensión o de corriente. Esta simplicidad se traduce en ahorro de costes.

50 El sensor Rogowski no introduce una variación de fase significativa en la señal derivada de la corriente medida, de modo que no es necesaria una calibración con respecto a la frecuencia de oscilación de la tensión transitoria, ya que estas señales están en la misma frecuencia. Por otro lado, se puede implementar una corrección de los instantes de paso a cero de la derivada para volver a los instantes correspondientes a los picos negativos de la tensión en la que se busca llevar a cabo el estado cerrado de los tiristores, según la fórmula  $\varphi_{\text{transient}} = \arctan\left(\frac{1}{w.RC}\right)$

55 El sensor de Rogowski también permite realizar un cierre del interruptor de manera muy precisa (con una desviación máxima del orden de 10  $\mu$ s), lo que es interesante en ciertas aplicaciones, por ejemplo, la reducción de la corriente transitoria al cerrar el interruptor.

En un modo de realización posible, el dispositivo 6 de conmutación se configura, para cada alternancia de la tensión alterna de la fuente de tensión, de modo que el instante de cierre determinado corresponde a una duración de apertura del interruptor. En otras palabras, el dispositivo 6 de control implementa un control "delta-gamma" para arrancar el motor, es decir, un control de tipo gamma realizado en una señal diferente que la corriente, en la ocurrencia de la derivada "delta" de la corriente.

Como se explica en la solicitud de patente WO 2013/038094 A2, y como se representa en la figura 6, la determinación del instante de cierre  $t_f$  puede comprender, para cada alternancia de la tensión alterna de la fuente, la determinación de un primer intervalo P1 temporal a partir de la frecuencia de los pasos a cero de la derivada de la corriente, perteneciendo el instante de cierre al primer intervalo temporal.

Este primer intervalo P1 temporal puede definirse como que comprende el conjunto de los instantes  $t$  que cumple la siguiente fórmula:  $T \cdot (k-x) < t - t_{10} < T \cdot (k+y)$ , donde  $t_{10}$  es el instante de apertura del interruptor, por ejemplo, detectado como la primera parte frontal ascendente según un período en el que el valor de  $di/dt$  es más bien constante,  $T$  el período correspondiente a la frecuencia de los pasos a cero de la derivada de la corriente,  $k$  es un número entero natural comprendido entre 1 y un número entero natural  $n$ ,  $x$  e  $y$  números estrictamente comprendidos entre 0 y 1. Los números  $x$  e  $y$  están preferentemente comprendidos entre 0 y 0,3, preferentemente entre 0 y 0,25, aun más preferentemente entre 0 y 0,2. Son ventajosamente idénticos.

Este primer intervalo temporal P1 es discontinuo y, por lo tanto, cubre los instantes durante los cuales se minimiza el valor de la tensión en los terminales del interruptor controlado. Al controlar el cierre del interruptor mientras que se minimiza esta tensión, la corriente transitoria que pasa a través del interruptor se minimiza después del cierre. Por ejemplo, con  $x=y=0,25$ , el primer intervalo de tiempo comprende las alternancias negativas de la componente alterna de la tensión a través del interruptor.

Como también se explica en la solicitud de patente WO 2013/038094 A2, la determinación del instante de cierre puede comprender, además, para cada alternancia de la tensión alterna de la fuente, la determinación de un segundo intervalo P2 temporal a partir de un valor temporal de activación  $\alpha$  después de un paso por cero de la tensión alterna de la fuente, teniendo el instante de cierre  $t_f$  lugar desde el instante común al primer y al segundo intervalo temporal.

El segundo intervalo temporal puede comprender el conjunto de los instantes  $t$  que cumplen  $|t - t_{v0} - \alpha| < \frac{T}{2}$ , donde  $t_{v0}$  es el instante donde la tensión alterna de la fuente se anula,  $T$  el período que corresponde a la frecuencia de los pasos a cero de la derivada de la corriente y al valor temporal de activación después de un paso por cero de la tensión alterna de la fuente, siendo  $\alpha$  inferior al medio período de la tensión alterna de la fuente.

El valor temporal de activación  $\alpha$  traduce en modo de control alfa la duración que separa el instante  $t_{v0}$  de cancelación de la tensión de la fuente alterna y el instante de cierre  $t_f$ . Este valor  $\alpha$  se define en función a diferentes parámetros, en particular, el par mecánico deseado en el arranque, traduciéndose por una tensión eficaz para alcanzar sus terminales. En la fase de arranque, cuanto más aumenta sea la velocidad, más disminuye el tiempo de apertura del interruptor controlado. De ello se deduce que el valor efectivo de la tensión eléctrica aplicada al motor aumenta progresivamente.

En el ámbito del control según la invención, el interruptor controlado se conmuta en cierre desde el primer instante  $t_f$  común a los intervalos temporales primero y segundo, como se representa en la figura 6. Por lo tanto, hay un ligero desfase en relación con el valor  $\alpha$ , pero este desfase es pequeño teniendo en cuenta la frecuencia de las oscilaciones de la tensión. La influencia de este desfase en el valor eficaz de la tensión aplicada al motor es, por lo tanto, bastante insignificante o no consta de los inconvenientes en el funcionamiento general del arrancador progresivo.

El procedimiento tal como se describió anteriormente se itera en cada alternancia de la tensión alterna de la fuente de tensión. De este modo, se definen dos intervalos temporales por alternancia de la tensión alterna de la fuente. Y cuando se usa un interruptor controlado que comprende un primer tiristor y un segundo tiristor, se usa el primer tiristor durante alternancias positivas y el segundo tiristor durante alternancias negativas.

La invención no está limitada al procedimiento de control y a un sistema de arranque tales como los anteriormente descritos, pero también se extiende a un producto de programa de ordenador que consta de instrucciones de código de programa para la determinación de un instante de cierre del interruptor según el procedimiento de control.

50

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de un interruptor (T1, T2) que conduce una línea de alimentación de un motor (7) eléctrico desde una fuente de tensión (1) alterna, que comprende la determinación de un instante de cierre ( $t_r$ ) del interruptor a partir de una medición de la derivada de la corriente que circula en la línea de alimentación, **caracterizado porque** dicha determinación del instante de cierre comprende la detección de los instantes de paso por cero de la derivada de la corriente y el cálculo, a partir de dichos instantes de paso por cero, de la frecuencia de una tensión transitoria en los terminales del interruptor que aparece después de un paso por cero de la corriente que fluye a través del interruptor en el momento de la apertura del interruptor.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la frecuencia de la tensión transitoria corresponde a la frecuencia de una señal rectangular cuyas partes frontales coinciden con los instantes de paso por cero de la derivada de la corriente.
3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la determinación del instante de cierre consiste en determinar una duración de apertura del interruptor.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la determinación del instante de cierre comprende la determinación de un primer intervalo (P1) temporal a partir de la frecuencia de los pasos a cero de la derivada de la corriente, perteneciendo el instante de cierre ( $t_r$ ) al primer intervalo temporal.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que el primer intervalo (P1) temporal se define como que comprende el conjunto de los instantes  $t$  que cumple la siguiente fórmula:  $T.(k-x) < t-t_{i0} < T.(k+y)$ , donde  $t_{i0}$  es el instante de apertura del interruptor,  $T$  el período correspondiente a la frecuencia de los pasos por cero de la derivada de la corriente,  $k$  un número entero natural comprendido entre 1 y un número entero natural  $n$ ,  $x$  e  $y$  números estrictamente comprendidos entre 0 y 1.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que  $x$  e  $y$  están comprendidos entre 0 y 0,3, preferentemente entre 0 y 0,25, aun más preferentemente entre 0 y 0,2.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la determinación del instante de cierre comprende la determinación de un segundo intervalo (P2) temporal a partir de un valor temporal de activación ( $\alpha$ ) después de un paso por cero de la tensión alterna de la fuente, teniendo el instante de cierre ( $t_r$ ) lugar desde el instante común al primer y al segundo intervalo temporal.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el segundo intervalo temporal comprende el conjunto de los instantes  $t$  que cumplen  $|t - t_{v0} - \alpha| < \frac{T}{2}$ , donde  $t_{v0}$  es el instante donde la tensión alterna de la fuente se anula,  $T$  la inversa de la frecuencia de los pasos por cero de la derivada de la corriente y  $\alpha$  el valor temporal de activación después de un paso por cero de la tensión alterna de la fuente, siendo  $\alpha$  inferior al medio período de la tensión alterna de la fuente.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la medición de la derivada de la corriente que fluye en la línea de alimentación se realiza mediante un sensor de Rogowski.
10. Sistema (5) de arranque de un motor (7) eléctrico, que comprende un interruptor (T1, T2) que conduce la alimentación del motor desde una fuente (1) de tensión alterna mediante una línea de alimentación del motor y medios de determinación de un instante de cierre ( $t_r$ ) del interruptor a partir de una medición de la derivada de la corriente que circula en la línea de alimentación, **caracterizado porque** dichos medios de determinación del instante de cierre comprenden elementos (6) de hardware y/o de software de detección de los instantes de paso por cero de la derivada de la corriente y de cálculo, a partir de dichos instantes de paso por cero, de la frecuencia de una tensión transitoria en los terminales del interruptor que aparece después de un paso por cero de la corriente que fluye a través del interruptor en el momento de la apertura del interruptor.
11. Producto de programa de ordenador que consta de instrucciones de código de programa para la determinación de un instante de cierre del interruptor según el procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

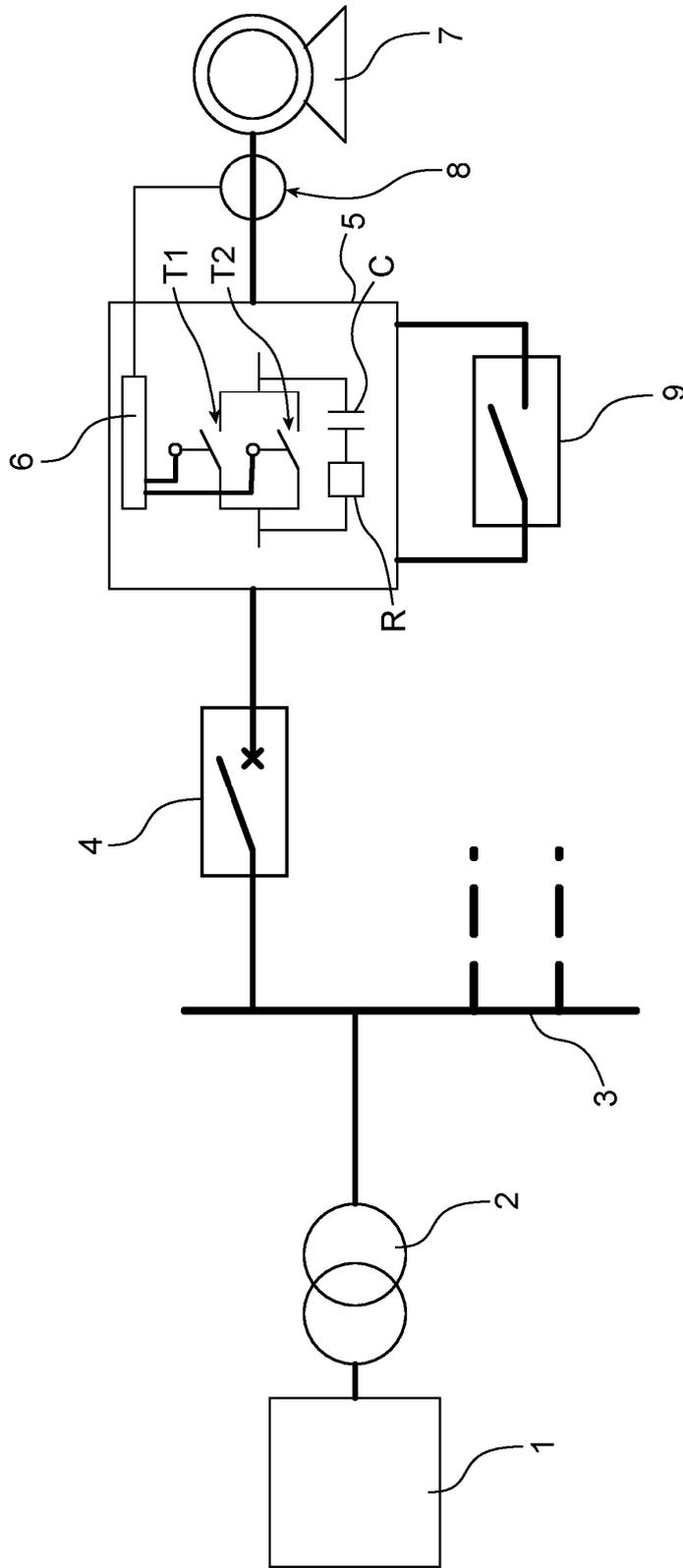


FIG. 1

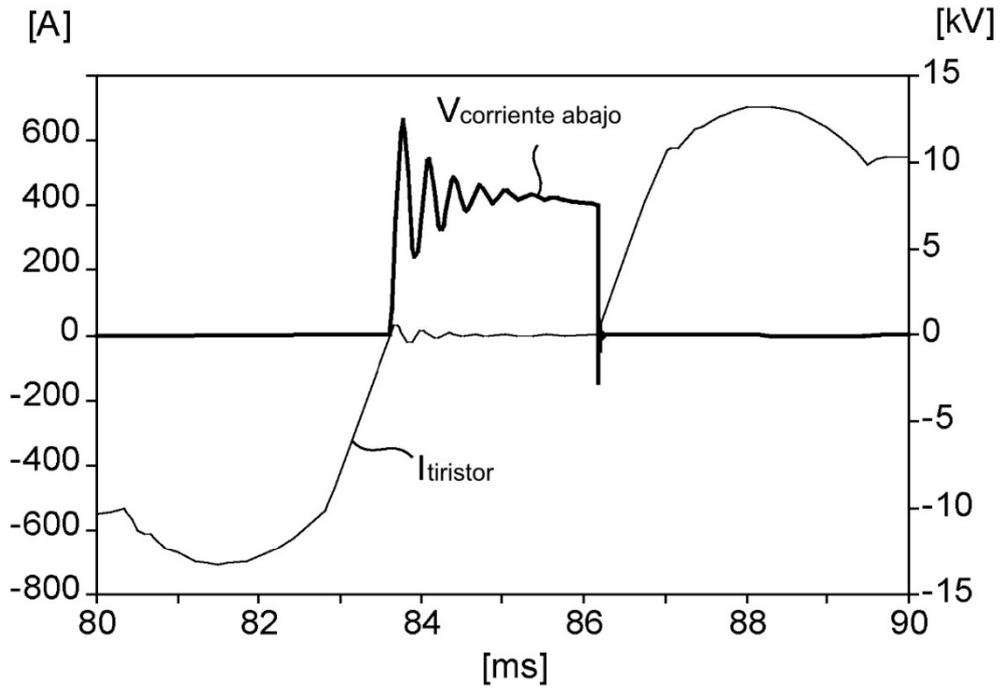


FIG. 2

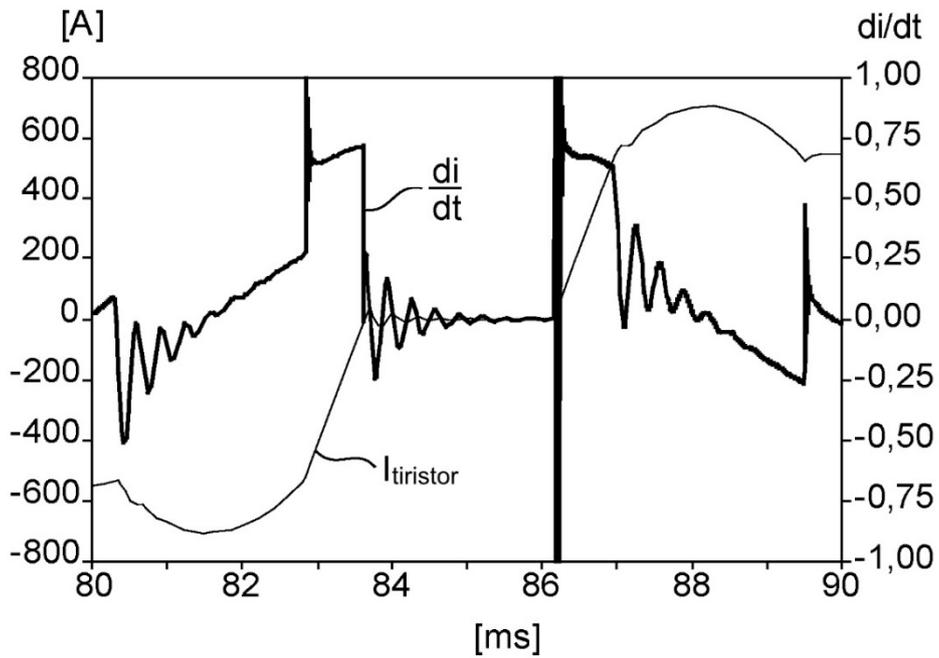


FIG. 3

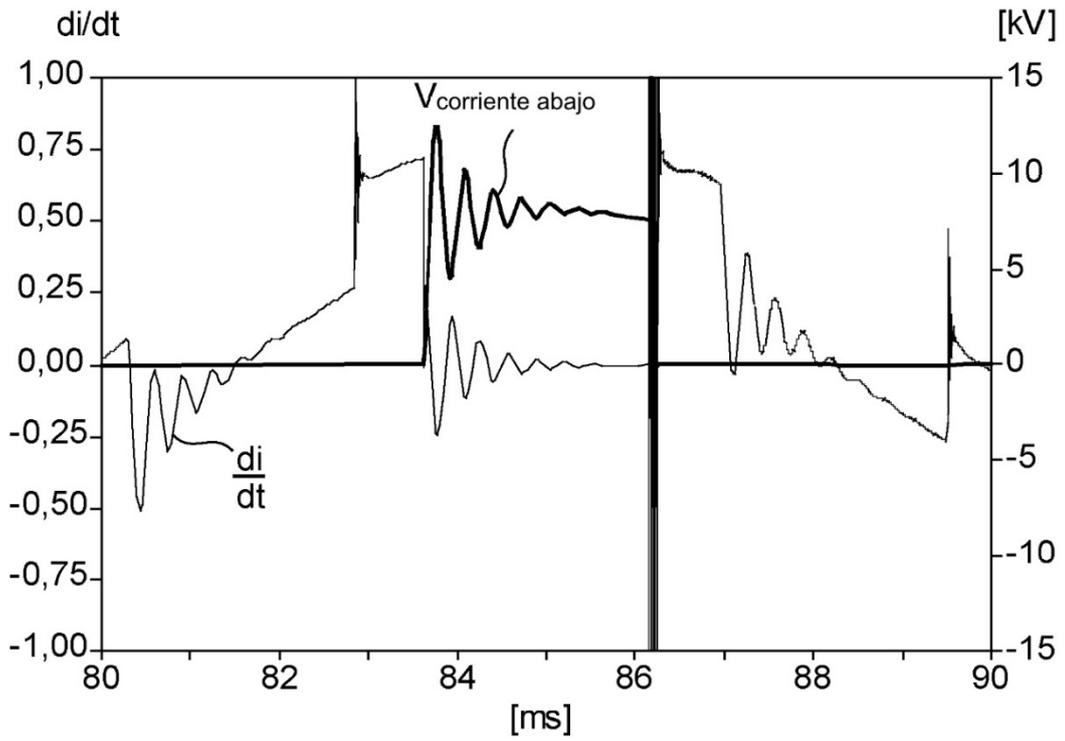


FIG. 4

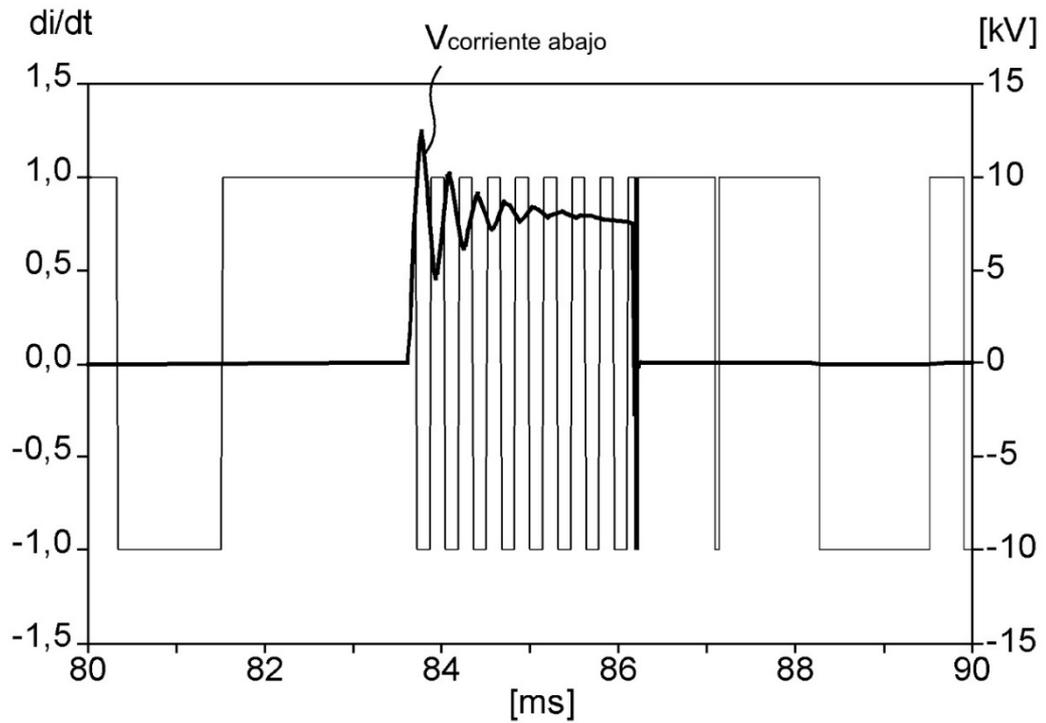


FIG. 5

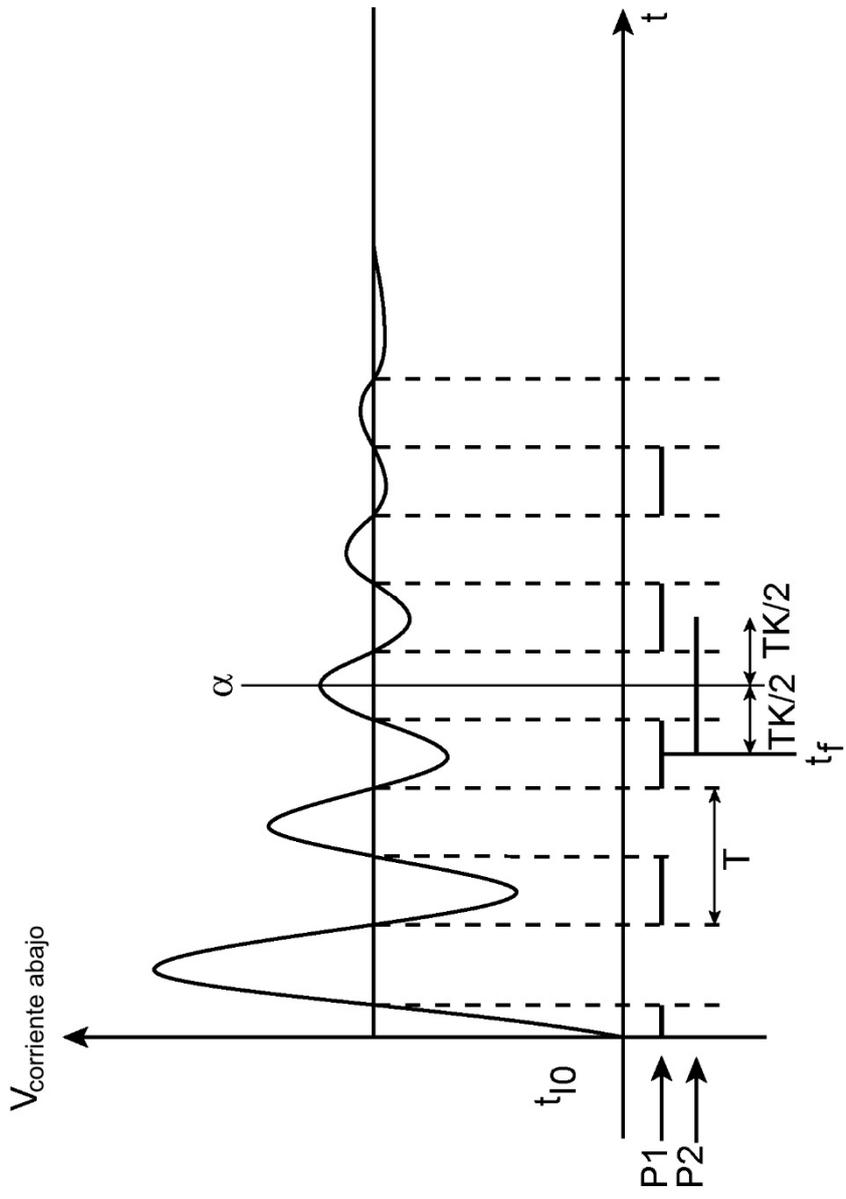


FIG. 6