

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 060 984**

51 Int. Cl.:

H03K 17/12 (2006.01)

H03K 17/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2022** **PCT/EP2022/056524**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2022** **WO22200101**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2022** **E 22714199 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.11.2025** **EP 4295488**

54 Título: **Método de control de un conmutador híbrido de potencia**

30 Prioridad:

24.03.2021 EP 21382238

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

30.03.2026

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY
INNOVATION & TECHNOLOGY S.L. (100,00%)
Avenida de la Innovación 9-11
31621 Sarriena (Navarra), ES**

72 Inventor/es:

**ALISAR, IBRAHIM;
DEMIROK, ERHAN y
RODRIGUEZ IZAL, JOSÉ LUIS**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 3 060 984 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

Método de control de un conmutador híbrido de potencia

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método de control de un conmutador híbrido de potencia.

10 **Antecedentes**

Los dispositivos de conmutación de semiconductores son los principales elementos relacionados con la eficiencia y el diseño térmico de un convertidor de potencia. El tipo de semiconductores es el parámetro más importante para las características de pérdida del convertidor.

15 Los convertidores de potencia se construyen comúnmente utilizando dispositivos de conmutación de baja frecuencia, tales como dispositivos de conmutación basados en silicio Si, p. ej., los IGBT de Si. La eficiencia de los convertidores de potencia con dispositivos de conmutación basados en Si tiene un límite debido a las características de conducción y pérdida de conmutación. Los dispositivos de conmutación de alta frecuencia, tales como los dispositivos de conmutación basados en carburo de silicio (SiC) u otros dispositivos de conmutación de banda ancha (WBG, por sus siglas en inglés), tienen potencial para utilizarse en convertidores de potencia porque proporcionan características de rendimiento superiores en comparación con los dispositivos de conmutación basados en Si. Estos dispositivos de conmutación basados en SiC tienen bajas pérdidas de conmutación a altas velocidades de conmutación, p. ej., en el rango de kilohercios (kHz), y pueden funcionar a altas temperaturas en comparación con los dispositivos de conmutación basados en Si. Sin embargo, la utilización de dispositivos de conmutación basados en SiC aumenta significativamente el coste.

25 Para solucionar este problema de coste y eficiencia, se han propuesto conmutadores híbridos de potencia que tienen un dispositivo de conmutación de alta frecuencia conectado en paralelo con un dispositivo de conmutación de baja frecuencia como una de las soluciones para los convertidores de potencia, por ejemplo, un conmutador híbrido de potencia que tiene un dispositivo de conmutación basado en SiC conectado en paralelo con un dispositivo de conmutación basado en Si.

30 El método de control de cada conmutador híbrido de potencia de un convertidor comprende proporcionar señales de control a los dispositivos de conmutación del conmutador híbrido de potencia para encender y apagar los dispositivos de conmutación. Dichas señales de control pueden ser proporcionadas por un controlador según una estrategia de conmutación predefinida del convertidor. Esto significa que las señales de control estáticas predefinidas se utilizan para encender y apagar los dispositivos de conmutación de los conmutadores híbridos de potencia según un modo de operación predefinido del convertidor.

35 Además, para reducir las pérdidas de conmutación de los dispositivos de conmutación de baja frecuencia de cada conmutador híbrido de potencia, el método también comprende una conmutación a tensión nula (ZVS, por sus siglas en inglés) del dispositivo de conmutación de baja frecuencia. Según esto, se establece un primer tiempo Δt_{on} de retardo entre el encendido $t1_{on}$ del dispositivo de conmutación de alta frecuencia y el encendido $t2_{on}$ del dispositivo de conmutación de baja frecuencia para encender el dispositivo de conmutación de alta frecuencia antes que el dispositivo de conmutación de baja frecuencia. Además, se establece un segundo tiempo Δt_{off} de retardo entre el apagado $t1_{off}$ del dispositivo de conmutación de alta frecuencia y el apagado $t2_{off}$ del dispositivo de conmutación de baja frecuencia, para apagar el dispositivo de conmutación de alta frecuencia después del dispositivo de conmutación de baja frecuencia.

40 A pesar de que un convertidor de potencia que tiene conmutadores híbridos que utiliza el método de control mencionado anteriormente permite un buen rendimiento a un coste menor, sigue existiendo la necesidad de métodos más eficientes para operar los conmutadores híbridos de potencia.

45 La patente US-2013/257177 A1 describe un método para controlar un conmutador híbrido que comprende un primer y un segundo conmutadores semiconductores controlables acoplados individualmente en paralelo. El primer conmutador semiconductor tiene una velocidad de conmutación más rápida y una capacidad de procesamiento de energía más baja que el segundo conmutador semiconductor. Se accede a un primer valor $V1_{REF}$ de referencia para un primer intervalo Δt_{T1} de tiempo de transición de encendido predeterminado y a un segundo valor $V2_{REF}$ de referencia para un segundo intervalo Δt_{T2} de tiempo de transición de apagado predeterminado para el conmutador híbrido controlable, que está habilitado y controlado de modo que funciona según $V1_{REF}$ y $V2_{REF}$. La duración del Δt_{T1} y Δt_{T2} predeterminados utilizados para controlar la operación del conmutador híbrido controlable se ajusta dinámicamente para compensar al menos una de las variaciones en la corriente de una carga acoplada operativamente al conmutador híbrido controlable y las condiciones ambientales en el conmutador híbrido controlable.

50 **Resumen de la invención**

El objeto de la invención es dar a conocer un método de control de un conmutador híbrido de potencia, como se define en las reivindicaciones.

En un primer aspecto, se proporciona un método de control de un conmutador híbrido de potencia que tiene al menos un primer dispositivo de conmutación conectado en paralelo con un segundo dispositivo de conmutación. Las pérdidas de conmutación del primer dispositivo son menores que las pérdidas de conmutación del segundo dispositivo para las mismas condiciones de corriente y voltaje. En primer lugar, se proporciona una primera señal de control al primer dispositivo de conmutación del conmutador híbrido de potencia para encender y apagar el primer dispositivo de conmutación. Se proporciona una segunda señal de control al segundo dispositivo de conmutación del conmutador híbrido de potencia para encender y apagar el segundo dispositivo de conmutación. Además, se establece un primer tiempo de retardo entre el encendido del primer dispositivo de conmutación de frecuencia y el encendido del segundo dispositivo de conmutación y se establece un segundo tiempo de retardo entre el apagado del primer dispositivo de conmutación y el apagado del segundo dispositivo de conmutación. A continuación, se determina la temperatura del primer dispositivo de conmutación del conmutador híbrido de potencia y al menos uno del primer y segundo tiempos de retardo se modifica dependiendo de la temperatura del primer dispositivo de conmutación. Tal temperatura determinada se compara con una curva de referencia que define una relación entre las temperaturas del primer dispositivo de conmutación y los valores porcentuales $\Delta t/\Delta t_{max}$ [%] para modificar el tiempo de retardo. Se obtiene un valor porcentual $\Delta t/\Delta t_{max}$ [%] según la temperatura determinada utilizando la curva de referencia y tal valor porcentual se aplica al tiempo de retardo para modificar el tiempo de retardo. La curva de referencia se establece entre tres temperaturas de unión del primer dispositivo de conmutación y, en donde por debajo de la primera temperatura de unión, la curva de referencia es lineal y toma un valor constante, desde la primera temperatura de unión hasta la segunda temperatura de unión, la curva de referencia disminuye de forma lineal, y desde la segunda temperatura de unión hasta la tercera temperatura de unión, la curva de referencia disminuye además de forma lineal.

Al utilizar este método, no se utilizan señales de control estáticas predefinidas para encender y apagar los dispositivos de conmutación de alta frecuencia de los conmutadores híbridos de potencia. En cambio, la temperatura del primer dispositivo de conmutación del conmutador híbrido de potencia se tiene en cuenta para proporcionar las señales de control, por lo que en el caso de que el primer dispositivo de conmutación, p. ej., un dispositivo de conmutación de alta frecuencia, tenga una temperatura alta que pueda afectar su rendimiento, el tiempo durante el cual dicho dispositivo de conmutación está encendido puede modificarse para reducir su temperatura.

Estas y otras ventajas y características de la invención serán aparentes a la vista de las figuras y de la descripción detallada de la invención.

Descripción de los dibujos

La figura 1 muestra esquemáticamente un conmutador híbrido de potencia que comprende un primer dispositivo de conmutación conectado en paralelo con un segundo dispositivo de conmutación, según un ejemplo.

La figura 2 muestra un diagrama de las señales de control para encender/apagar los dispositivos de conmutación del conmutador híbrido de potencia de la figura 1, según un ejemplo.

Las figuras 3 a 6 muestran ejemplos de modos de funcionamiento del conmutador híbrido de potencia de la figura 1.

La figura 7 muestra una curva de referencia utilizada para modificar los tiempos de retardo para encender/apagar el primer dispositivo de conmutación según la temperatura del primer dispositivo de conmutación, según un ejemplo.

La figura 8 muestra esquemáticamente un conmutador híbrido de potencia que comprende más de un primer dispositivo de conmutación conectado en paralelo con un segundo dispositivo de conmutación, según un ejemplo.

La figura 9 muestra un diagrama de las señales de control para encender/apagar los dispositivos de conmutación del conmutador híbrido de potencia de la figura 8, según un ejemplo.

La figura 9A muestra un ejemplo de un modo de funcionamiento del conmutador híbrido de potencia de la figura 8.

La figura 10 muestra un diagrama de un proceso para determinar los tiempos de retardo para cada dispositivo de conmutación del conmutador híbrido de potencia.

La figura 11 muestra un diagrama de flujo de un método de control del conmutador híbrido de potencia, según un ejemplo.

Descripción detallada

La figura 1 muestra esquemáticamente un ejemplo de un conmutador híbrido HyS de potencia que puede utilizarse para construir un dispositivo electrónico de potencia, p. ej., un convertidor de energía eólica. El conmutador híbrido HyS de potencia puede comprender un primer dispositivo T1 de conmutación y un segundo dispositivo T2 de conmutación. El primer dispositivo T1 de conmutación puede conectarse en paralelo con el segundo dispositivo T2 de conmutación. Como se muestra en la figura 1, cada dispositivo T1 y T2 de conmutación puede comprender un diodo conectado eléctricamente en paralelo en dirección directa opuesta.

El primer dispositivo de conmutación puede ser un dispositivo de conmutación de alta frecuencia y el segundo dispositivo de conmutación puede ser un dispositivo de conmutación de baja frecuencia, es decir, en las mismas condiciones, es decir, las mismas condiciones de corriente y voltaje, el primer dispositivo de conmutación puede tener menores pérdidas de conmutación que el segundo dispositivo de conmutación.

El primer dispositivo T1 de conmutación puede ser un dispositivo de conmutación de banda ancha, p. ej., un MOSFET de carburo de silicio, un FET de carburo de silicio, un FET de nitrato de galio o un semiconductor de diamante. El segundo dispositivo T2 de conmutación puede ser un dispositivo de conmutación basado en silicio, p. ej., un IGBT, un MOSFET Si, un IGCT, un tiristor o cualquier otro dispositivo adecuado.

En el ejemplo de la figura 1, el primer dispositivo T1 de conmutación es un MOSFET de SiC y el segundo dispositivo T2 de conmutación es un IGBT de Si.

Como se muestra en la figura 2, el método de control del conmutador híbrido HyS de potencia puede comprender proporcionar una primera señal G1 de control al primer dispositivo T1 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia para encender y apagar el primer dispositivo T1 de conmutación. El método de control también puede comprender proporcionar una segunda señal G2 de control al segundo dispositivo T2 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia para encender y apagar el segundo dispositivo T2 de conmutación.

Las señales G1 y G2 de control pueden configurarse para encender/apagar selectivamente los dispositivos de conmutación respectivos. Dichas señales G1 y G2 de control pueden ser proporcionadas por un controlador del conmutador híbrido HyS de potencia y/o un controlador 50 del convertidor de potencia según una estrategia de conmutación. Dichas señales de control pueden proporcionarse utilizando una modulación 60 por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) del convertidor (véase la figura 10).

El método de control también puede comprender establecer un primer tiempo Δt_{on} de retardo entre el encendido $t1_{on}$ del primer dispositivo T1 de conmutación y el encendido $t2_{on}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación. El método de control también puede comprender establecer un segundo tiempo Δt_{off} de retardo entre el apagado $t1_{off}$ del primer dispositivo T1 de conmutación y el apagado $t2_{off}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación.

El primer tiempo Δt_{on} de retardo puede establecerse para encender el primer dispositivo T1 de conmutación antes que el segundo dispositivo T2 de conmutación. El segundo tiempo Δt_{off} de retardo puede establecerse para apagar el primer dispositivo T1 de conmutación después del segundo dispositivo T2 de conmutación.

El primer tiempo Δt_{on} de retardo puede estar limitado por un primer tiempo Δt_{max_on} de retardo máximo predefinido y el segundo tiempo Δt_{off} de retardo puede estar limitado por un segundo tiempo Δt_{max_off} de retardo máximo predefinido. Los tiempos Δt_{max_on} y Δt_{max_off} de retardo máximos predefinidos pueden ser valores predeterminados proporcionados por el controlador para garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado del conmutador híbrido HyS de potencia. Dichos tiempos Δt_{max_on} y Δt_{max_off} de retardo máximos predefinidos pueden depender de las características de los dispositivos de conmutación, p. ej., de la carga térmica.

Dicho método de control con tiempos Δt_{on} y Δt_{off} de retardo permite un mejor rendimiento del conmutador híbrido HyS de potencia. El primer dispositivo T1 de conmutación, p. ej., un MOSFET de SiC, puede tener pérdidas de conmutación mucho más bajas que el segundo dispositivo T2 de conmutación, p. ej., un IGBT de Si, debido a la rápida velocidad de conmutación y a la propiedad del material relacionada. Por lo tanto, las pérdidas de conmutación del conmutador híbrido HyS pueden estar dominadas por las pérdidas de conmutación del IGBT de Si, es decir, el segundo dispositivo de conmutación, que pueden reducirse significativamente si la mayoría de las acciones de encendido y apagado las realiza el MOSFET de SiC del conmutador híbrido HyS, es decir, el primer dispositivo T1 de conmutación. Al encender antes y apagar más tarde el primer dispositivo T1 de conmutación, p. ej., un MOSFET de SiC en comparación con el segundo dispositivo T2 de conmutación, p. ej., un IGBT, puede lograrse casi una conmutación a tensión nula (ZVS) en el IGBT en los instantes de encendido y apagado debido a la muy baja tensión en estado de encendido en todo el IGBT. Es decir, el primer dispositivo T1 de conmutación puede encenderse antes (encender) del segundo dispositivo T2 de conmutación y puede apagarse después (apagar) del segundo dispositivo T2 de conmutación.

Sin embargo, el método de control puede requerir que el primer dispositivo T1 de conmutación se encienda más tiempo que el segundo dispositivo T2 de conmutación. Adicional o alternativamente, el primer dispositivo T1 de conmutación puede soportar toda o la mayor parte de la carga de la corriente durante el proceso de encendido y apagado. Por lo tanto, puede esperarse un aumento de la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación. El tiempo en que se enciende el primer dispositivo T1 de conmutación puede depender de la temperatura de dicho primer dispositivo T1 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia. Por lo tanto, la carga de corriente en el primer dispositivo de conmutación puede reducirse.

Para ello, el método de control puede comprender además determinar la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia y modificar al menos uno de los tiempos de retardo primero y segundo Δt_{on} y Δt_{off} dependiendo de la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación.

Al menos uno de los tiempos Δt_{on} , Δt_{off} de retardo puede reducirse cuando la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación es superior a una temperatura predeterminada T_{j1} . Dicha temperatura predeterminada T_{j1} para el rendimiento de seguridad puede depender de las características del primer dispositivo T1 de conmutación.

La primera señal G1 de control para encender $t1_{on}$ y apagar $t1_{off}$ el primer dispositivo T1 de conmutación puede establecerse a partir de la segunda señal G2 de control. En vista de esto, el primer tiempo Δt_{on} de retardo para encender $t1_{on}$ el primer dispositivo T1 de conmutación puede establecerse a partir del encendido $t2_{on}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación y el segundo tiempo Δt_{off} de retardo para apagar $t1_{off}$ el primer dispositivo T1 de conmutación puede establecerse a partir del apagado $t2_{off}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación. Esto significa que los tiempos Δt_{on} y Δt_{off} de retardo pueden calcularse a partir del encendido/apagado del segundo dispositivo T2 de conmutación.

Puede haber diferentes alternativas para reducir el período de tiempo en el que se enciende el primer dispositivo T1 de conmutación. Las figuras 3 a 6 muestran cuatro ejemplos de modos de funcionamiento del conmutador híbrido HyS para reducir el tiempo de encendido del primer dispositivo T1 de conmutación.

Según dichas figuras 3 a 6, el método de control puede comprender determinar la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia y reducir al menos uno de los tiempos Δt_{on} , Δt_{off} de retardo dependiendo de la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación. Las figuras 3 a 5 muestran ejemplos en los que un tiempo de retardo puede reducirse desde un valor positivo hasta un valor cero, mientras que la figura 6 muestra un ejemplo en el que un tiempo de retardo puede reducirse desde un valor positivo hasta un valor negativo.

En el ejemplo de la figura 3, el primer tiempo Δt_{on} de retardo puede reducirse retrasando el encendido $t1_{on}$ del primer dispositivo T1 de conmutación, mientras que el segundo tiempo Δt_{off} de retardo no puede modificarse. Por lo tanto, el período de tiempo en el que se enciende el primer dispositivo T1 de conmutación puede reducirse, p. ej., si se compara con el ejemplo de la figura 2.

En el ejemplo de la figura 4, el segundo tiempo Δt_{off} de retardo puede reducirse adelantando el apagado $t1_{off}$ del primer dispositivo T1 de conmutación, mientras que el primer tiempo Δt_{on} de retardo puede no modificarse. Por lo tanto, el período de tiempo en el que se enciende el primer dispositivo T1 de conmutación puede reducirse, p. ej., si se compara con el ejemplo de la figura 2.

En el ejemplo de la figura 5, el primer tiempo Δt_{on} de retardo puede reducirse retrasando el encendido $t1_{on}$ del primer dispositivo T1 de conmutación. El segundo tiempo Δt_{off} de retardo puede reducirse adelantando el apagado $t1_{off}$ del primer dispositivo T1 de conmutación. Por lo tanto, el período de tiempo en el que se enciende el primer dispositivo T1 de conmutación puede reducirse aún más y puede ser de menor duración, p. ej., si se compara con los ejemplos de la figura 3 o 4.

El primer y segundo tiempos Δt_{on} , Δt_{off} de retardo pueden ser iguales o diferentes y pueden seleccionarse según la estrategia de conmutación establecida por el controlador.

La figura 6 muestra un posible modo de funcionamiento en el que la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación es mayor que una temperatura determinada T_{j2} . En el ejemplo de la figura 6, el encendido $t1_{on}$ del primer dispositivo T1 de conmutación puede retrasarse para reducir el primer tiempo Δt_{on} de retardo hasta un tiempo $-\Delta t_{on}$ ($|\Delta t_{on}| < 0$) de retardo negativo. Puede establecerse un tiempo $-\Delta t_{on}$ de retardo negativo entre el encendido $t1_{on}$ del primer dispositivo T1 de conmutación y el encendido $t2_{on}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación, en donde el primer dispositivo T1 de conmutación puede encenderse después del segundo dispositivo T2 de conmutación. En este modo de funcionamiento del conmutador híbrido HyS, la carga térmica puede transferirse al segundo dispositivo T2 de conmutación. En cualquier caso, dicho tiempo de $-\Delta t_{on}$ retardo negativo puede estar limitado por el proceso de encendido del segundo dispositivo T2 de conmutación.

El tiempo máximo $-\Delta t_{on}$ de retardo negativo puede estar limitado por un tiempo de encendido máximo predefinido en el que el segundo dispositivo T2 de conmutación puede mantenerse encendido. Según el ejemplo de la figura 6, el tiempo $-\Delta t_{on}$ de retardo negativo puede establecerse según la duración del proceso de encendido del segundo dispositivo T2 de conmutación. Inicialmente, el controlador puede proporcionar, p. ej. enviar, la segunda señal G2 de control para encender $t2_{on}$ el segundo dispositivo T2 de conmutación. Inmediatamente después de que el dispositivo T2 de conmutación haya completado su proceso de encendido, el controlador puede proporcionar la primera señal G1 de control para encender $t1_{on}$ el primer dispositivo T1 de conmutación. Dado que la frecuencia de conmutación de T1 es mayor que la frecuencia de conmutación del segundo dispositivo T2 de conmutación, el primer dispositivo T1 de conmutación puede encenderse inmediatamente después de que finalice el proceso de encendido del segundo dispositivo T2 de conmutación, evitando así un sobrecalentamiento del segundo dispositivo T2 de conmutación.

También puede aplicarse solo un tiempo $-\Delta t$ de retardo negativo al apagar el primer dispositivo T1 de conmutación, del mismo modo que se representa en el ejemplo de la figura 4. El apagado $t1_{off}$ del primer dispositivo T1 de conmutación puede adelantarse para reducir el segundo tiempo Δt_{off} de retardo hasta un tiempo $-\Delta t_{off}$ de retardo negativo. Por lo tanto, puede establecerse un tiempo $-\Delta t_{off}$ de retardo negativo entre el apagado $t1_{off}$ del primer dispositivo T1 de conmutación y el apagado $t2_{off}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación, en donde el segundo

dispositivo T2 de conmutación puede apagarse después de apagar el primer dispositivo T1 de conmutación. En dicho caso, el tiempo de retardo negativo $-\Delta t_{off}$ también puede estar limitado como se ha explicado anteriormente.

También puede aplicarse un tiempo $-\Delta t$ de retardo negativo al encender y apagar el primer dispositivo T1 de conmutación, del mismo modo que se representa en el ejemplo de la figura 5. El encendido $t1_on$ del primer dispositivo T1 de conmutación puede retrasarse para reducir el primer tiempo Δt_{on} de retardo hasta un primer tiempo $-\Delta t_{on}$ de retardo negativo. Por lo tanto, puede establecerse un primer tiempo $-\Delta t_{on}$ de retardo negativo entre el encendido $t1_on$ del primer dispositivo T1 y el encendido $t2_on$ del segundo dispositivo T2 de conmutación, en donde el primer dispositivo T1 de conmutación puede encenderse después del segundo dispositivo T2 de conmutación. Además, el apagado $t1_off$ del primer dispositivo T1 de conmutación puede adelantarse para reducir el segundo tiempo Δt_{off} de retardo hasta un segundo tiempo $-\Delta t_{off}$ de retardo negativo. Por lo tanto, puede establecerse un segundo tiempo $-\Delta t_{off}$ de retardo negativo entre el apagado $t1_off$ del primer dispositivo T1 de conmutación y el apagado $t2_off$ del segundo dispositivo T2 de conmutación, en donde el segundo dispositivo T2 de conmutación puede apagarse después de apagar el primer dispositivo T1 de conmutación.

La modificación del primer tiempo Δt_{on} de retardo o del segundo tiempo Δt_{off} de retardo puede comprender:

- determinar la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia,
- comparar dicha temperatura determinada con una curva c de referencia que define una relación entre las temperaturas del primer dispositivo T1 de conmutación y los valores porcentuales $\frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} [\%]$ para modificar el tiempo Δt_{on} , Δt_{off} de retardo,
- obtener un valor porcentual $\frac{\Delta t}{\Delta t_{max}} [\%]$ según la temperatura determinada utilizando la curva c de referencia,
- aplicar el valor porcentual al tiempo Δt_{on} , Δt_{off} de retardo para modificar el tiempo (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo.

La figura 7 muestra un gráfico con la curva c de referencia que puede utilizarse para modificar los tiempos Δt_{on} y Δt_{off} de retardo para encender/apagar el primer dispositivo T1 de conmutación según la temperatura del dispositivo T1 de conmutación. El eje de abscisas del gráfico representa los valores de temperatura y el eje de ordenadas representa los valores porcentuales utilizados para modificar los tiempos Δt_{on} y Δt_{off} de retardo.

La curva c de referencia puede establecerse entre tres temperaturas de unión: una primera temperatura $Tj1$ de unión, una segunda temperatura $Tj2$ de unión y una tercera temperatura $Tj3$ de unión del primer dispositivo T1 de conmutación. Por debajo de la primera temperatura $Tj1$ de unión, la curva de referencia puede ser lineal y puede tener un valor constante. Desde la primera temperatura $Tj1$ de unión hasta la segunda temperatura $Tj2$ de unión, la curva de referencia puede disminuir de forma lineal. Y desde la segunda temperatura $Tj2$ de unión hasta la tercera temperatura $Tj3$ de unión, la curva de referencia puede disminuir aún más de forma lineal.

La curva c de referencia ilustrada en la figura 7 es una curva continua, pero en otros ejemplos puede ser una curva discontinua con secciones establecidas entre tres temperaturas $Tj1$, $Tj2$, $Tj3$ de unión. La pendiente de la curva entre la primera y segunda temperaturas $Tj1$, $Tj2$ de unión puede ser diferente a la pendiente entre la segunda y tercera temperaturas $Tj2$, $Tj3$ de unión.

Por debajo de la primera temperatura $Tj1$ de unión, la curva de referencia puede tener un valor porcentual constante del 100 %. En la segunda temperatura $Tj2$ de unión, la curva de referencia puede tener un valor de cero y en la tercera temperatura $Tj3$ de unión, la curva de referencia puede tener un valor porcentual negativo.

Por debajo de la primera temperatura $Tj1$ de unión, el tiempo Δt de retardo puede ser el tiempo Δt_{max} de retardo máximo predefinido. A la segunda temperatura $Tj2$ de unión, el tiempo Δt de retardo puede ser cero. A la tercera temperatura $Tj3$ de unión, la curva de referencia puede tener un valor porcentual negativo según el tiempo $-\Delta t$ de retardo negativo máximo, como se muestra en el ejemplo de la figura 6.

Según el método de control propuesto, puede suponerse que la temperatura del segundo dispositivo T2 de conmutación está por debajo de su valor umbral; en cualquier caso, dicha temperatura puede comprobarse mediante un controlador diferente del convertidor para tomar las acciones/decisiones apropiadas si se sobrepasa el valor umbral.

En los ejemplos en donde se modifican tanto los tiempos Δt_{on} y Δt_{off} de retardo, el valor porcentual para modificar el primer tiempo Δt_{on} de retardo puede multiplicarse por un factor W_{on} de ponderación de encendido y el valor porcentual para modificar el segundo tiempo Δt_{off} de retardo puede multiplicarse por un factor W_{off} de ponderación de apagado. Tales factores W_{on} y W_{off} de ponderación pueden tener un valor predefinido entre 0 y 1. Según esto, los tiempos de retardo aplicados entre el encendido y el apagado de los conmutadores del conmutador híbrido HyS de potencia pueden tener una duración diferente. Si no se requiere diferenciación, el encendido/apagado de los factores W_{on} , W_{off} de ponderación puede ser 0. En un ejemplo, los factores W_{on} , W_{off} de ponderación pueden aplicarse según la relación de reparto de corriente dentro del conmutador híbrido HyS de potencia.

En un ejemplo, el conmutador híbrido HyS puede comprender un MOSFET de SiC, es decir, un primer dispositivo T1 de conmutación, que tiene una primera temperatura Tj1 de unión de 132 °C, una segunda temperatura Tj2 de unión de 170 °C y una tercera temperatura Tj3 de unión de 175 °C. Por lo tanto, en el caso de que la temperatura determinada del MOSFET de SiC sea de 140 °C, y utilizando la curva c de referencia de la figura 7, se obtiene un valor porcentual de aproximadamente el 80 % (véase la línea discontinua de la figura 7). Dicho valor porcentual puede aplicarse al primer tiempo Δt_{on} de retardo, al segundo tiempo Δt_{off} de retardo o a ambos tiempos Δt_{on} , Δt_{off} de retardo.

Si dicho valor porcentual se aplica a ambos tiempos Δt_{on} , Δt_{off} de retardo, también pueden aplicarse los factores W_on, W_off de ponderación. Por ejemplo, el factor W_on de ponderación de encendido y el factor W_off de ponderación de apagado pueden ser 0,75 y 1, respectivamente. Por lo tanto, el valor porcentual que se aplicará al primer tiempo Δt_{on} de retardo puede ser $0,75 \times 80 \% = 60 \%$ y el valor porcentual que se aplicará al segundo tiempo Δt_{off} de retardo puede ser $1 \times 80 \% = 80 \%$.

La temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación puede medirse, p. ej., mediante un sensor o puede estimarse. Preferiblemente, la temperatura puede medirse directamente desde el primer dispositivo T1 de conmutación; para ello, el conmutador híbrido HyS de potencia puede comprender salidas que proporcionan datos de temperatura de los dispositivos T1 y T2 de conmutación. Alternativamente, la temperatura puede medirse indirectamente a partir de la cubierta, es decir, la temperatura Tc de la cubierta; o el disipador de calor, es decir, la temperatura T_{hs} del disipador del calor; de los dispositivos T1 de conmutación, para ello, la temperatura medida indirectamente puede convertirse en la temperatura de unión real del dispositivo T1 de conmutación. Alternativamente, puede estimarse la temperatura. Dicha estimación puede realizarse utilizando métodos ópticos y físicos, p. ej., cámara IR, termopares, sensores de temperatura, etc., o métodos eléctricos, p. ej., elementos de detección adicionales, utilizando parámetros eléctricos, circuito RC térmico, etc. En estos ejemplos, también puede ser necesaria una conversión a la temperatura de unión real.

Como se muestra en la figura 8, el conmutador híbrido HyS de potencia puede comprender más de un primer dispositivo T1 de conmutación conectado en serie entre los mismos y conectado en paralelo con un segundo dispositivo T2 de conmutación. En tales ejemplos, el conmutador híbrido HyS de potencia puede comprender dos o más primeros dispositivos T1 de conmutación del mismo tipo, p. ej., MOSFET de SiC, FET de SiC, FET de GaN, semiconductores de diamante, etc.; conectados en paralelo con un segundo dispositivo T2 de conmutación, p. ej., un SI IGBT, un SI MOSFET, un IGCT, un tiristor o cualquier otro dispositivo adecuado. Cada tipo de primer dispositivo T1 de conmutación puede tener una curva de referencia. Cada primer dispositivo T1 de conmutación puede tener señales G1, G1' de control para encender y apagar los primeros dispositivos de conmutación; y el segundo dispositivo T2 de conmutación puede tener una señal G2 de control para encender y apagar el segundo dispositivo de conmutación.

Según el ejemplo de la figura 8, el conmutador híbrido HyS de potencia puede comprender dos MOSFET de SiC conectados en paralelo con un IGBT de Si. Como se ha indicado anteriormente, los dos MOSFET de SiC pueden tener la misma curva de referencia y, por lo tanto, los tiempos de retardo para ambos MOSFET de SiC pueden ser los mismos.

La figura 9 muestra un diagrama de las señales G1, G1' y G2 de control para encender/apagar dos primeros dispositivos T1 de conmutación y un segundo dispositivo T2 de conmutación. Como se muestra en la figura, las señales G1, G1' de control pueden ser idénticas para los dos primeros dispositivos de conmutación.

La figura 9A muestra el método de control de la figura 3 con un primer dispositivo de conmutación adicional añadido, es decir, para un conmutador híbrido HyS de potencia que comprende dos primeros dispositivos T1 de conmutación conectados en paralelo con un segundo dispositivo T2 de conmutación, p. ej., como se muestra en la figura 8.

La figura 10 muestra un diagrama con un proceso para determinar los tiempos de retardo de cada dispositivo de conmutación del conmutador híbrido de potencia.

Inicialmente, puede utilizarse un selector 10 para elegir la fuente de datos de temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación. Como se ha indicado anteriormente, puede ser una temperatura Tj de unión medida directamente desde la unión o puede ser la temperatura Tc de la cubierta o la temperatura T_{hs} del disipador de calor. Alternativamente, la temperatura T1 del primer dispositivo de conmutación puede ser una temperatura estimada.

Si la temperatura se obtiene de la cubierta o del disipador de calor, puede utilizarse un circuito RC o una tabla 20 de consulta para convertir la temperatura Tc de la cubierta o la temperatura T_{hs} del disipador de calor en una temperatura Tj de unión. Después del selector 10, puede utilizarse un filtro 30 de paso bajo para eliminar o amortiguar sustancialmente los cambios repentinos o los ruidos no deseados en las mediciones o estimaciones de temperatura.

Puede utilizarse otra tabla 40 de consulta con la curva c de referencia para determinar los tiempos Δt_{on} y Δt_{off} de retardo. El sistema de control del convertidor 50 puede determinar las señales G1 y G2 de control del primer y segundo conmutadores T1, T2 según los tiempos Δt_{on} y Δt_{off} de retardo. A continuación, las señales G1 y G2 de control pueden aplicarse a los dispositivos T1 y T2 de conmutación a través de los accionadores 70 de control, p. ej., utilizando un modulador 60 por ancho de pulso (PWM).

Un convertidor de potencia puede comprender varios conmutadores híbridos HyS de potencia, cada uno de los cuales tiene varios tipos de conmutadores en su interior. Por ejemplo, un convertidor puede comprender un primer tipo de conmutadores híbridos HyS1 de potencia con una pluralidad de MOSFET de SiC en serie entre los mismos conectados en paralelo con un IGBT y un segundo tipo de conmutadores híbridos HyS2 de potencia con una pluralidad de FET de GaN en serie entre los mismos conectados en paralelo con un IGBT. En tales ejemplos, la tabla 40 de consulta puede tener varias curvas de referencia, es decir, una curva para cada tipo de primer dispositivo T1 de conmutación.

La figura 11 muestra un diagrama de flujo de un método 100 de control del conmutador híbrido HyS de potencia que tiene al menos un primer dispositivo T1 de conmutación conectado en paralelo con un segundo dispositivo T2 de conmutación. En primer lugar, puede proporcionarse una primera señal G1 de control, en el bloque 101, al primer dispositivo T1 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia para encender y apagar el primer dispositivo T1 de conmutación. En el bloque 102, puede proporcionarse una segunda señal G2 de control al segundo dispositivo T2 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia para encender y apagar el segundo dispositivo T2 de conmutación. A continuación, puede establecerse un primer tiempo Δt_{on} de retardo, en el bloque 103, entre el encendido $t1_{on}$ del primer dispositivo T1 de conmutación y el encendido $t2_{on}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación. Puede establecerse un segundo tiempo Δt_{off} de retardo, en el bloque 104, entre el apagado $t1_{off}$ del primer dispositivo T1 de conmutación y el apagado $t2_{off}$ del segundo dispositivo T2 de conmutación. Además, la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación del conmutador híbrido HyS de potencia puede determinarse, en el bloque 105, y al menos uno del primer y segundo tiempos Δt_{on} , Δt_{off} de retardo puede modificarse, en el bloque 106, dependiendo de la temperatura del primer dispositivo T1 de conmutación.

REIVINDICACIONES

1. Un método de control de un conmutador híbrido (HyS) de potencia que tiene al menos un primer dispositivo (T1) de conmutación conectado en paralelo con un segundo dispositivo (T2) de conmutación, en donde las pérdidas de conmutación del primer dispositivo de conmutación son inferiores a las pérdidas de conmutación del segundo dispositivo de conmutación para las mismas condiciones de corriente y voltaje, comprendiendo el método:
proporcionar una primera señal (G1) de control al primer dispositivo (T1) de conmutación del conmutador híbrido (HyS) de potencia para encender y apagar el primer dispositivo (T1) de conmutación,
proporcionar una segunda señal (G2) de control al segundo dispositivo (T2) de conmutación del conmutador híbrido (HyS) de potencia para encender y apagar el segundo dispositivo (T2) de conmutación, establecer un primer tiempo (Δt_{on}) de retardo entre el encendido ($t1_{on}$) del primer dispositivo (T1) de conmutación y el encendido ($t2_{on}$) del segundo dispositivo (T2) de conmutación, y
establecer un segundo tiempo (Δt_{off}) de retardo entre el apagado ($t1_{off}$) del primer dispositivo (T1) de conmutación y el apagado ($t2_{off}$) del segundo dispositivo (T2) de conmutación,
determinar la temperatura del primer dispositivo (T1) de conmutación del conmutador híbrido (HyS) de potencia, y
modificar al menos uno del primer y segundo tiempos (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo basándose en la temperatura del primer dispositivo (T1) de conmutación,
caracterizado por que, el método comprende, además:
comparar dicha temperatura determinada con una curva (c) de referencia que define una relación entre las temperaturas ($Tj1$, $Tj2$, $Tj3$) del primer dispositivo (T1) de conmutación y los valores porcentuales $\Delta t/\Delta t_{max}$ [%] para modificar el tiempo (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo,
obtener un valor porcentual $\Delta t/\Delta t_{max}$ [%] según la temperatura determinada utilizando la curva (c) de referencia,
aplicar el valor porcentual al tiempo (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo para modificar el tiempo (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo y en donde
la curva (c) de referencia se establece entre tres temperaturas ($Tj1$, $Tj2$, $Tj3$) de unión del primer dispositivo (T1) de conmutación, y en donde por debajo de la primera temperatura ($Tj1$) de unión, la curva (c) de referencia es lineal y toma un valor constante, desde la primera temperatura ($Tj1$) de unión hasta la segunda temperatura ($Tj2$) de unión la curva (c) de referencia disminuye de forma lineal, y desde la segunda temperatura ($Tj2$) de unión hasta la tercera temperatura ($Tj3$) de unión la curva (c) de referencia disminuye aún más de forma lineal.
2. El método según la reivindicación 1, en donde modificar al menos uno de los tiempos (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo comprende:
retrasar el encendido ($t1_{on}$) del primer dispositivo (T1) de conmutación reduciendo de este modo el primer tiempo (Δt_{on}) de retardo.
3. El método según la reivindicación 1, en donde modificar al menos uno de los tiempos (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo comprende:
adelantar el apagado ($t1_{off}$) del primer dispositivo (T1) de conmutación reduciendo de este modo el segundo tiempo (Δt_{off}) de retardo.
4. El método según la reivindicación 1, en donde modificar al menos uno de los tiempos (Δt_{on} , Δt_{off}) de retardo comprende:
retrasar el encendido ($t1_{on}$) del primer dispositivo (T1) de conmutación reduciendo de este modo el primer tiempo (Δt_{on}) de retardo; y
adelantar el apagado ($t1_{off}$) del primer dispositivo (T1) de conmutación reduciendo de este modo el segundo tiempo (Δt_{off}) de retardo.
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en donde por debajo de la primera temperatura ($Tj1$) de unión la curva (c) de referencia tiene un valor porcentual constante del 100 %, a la segunda temperatura ($Tj2$) de unión la curva (c) de referencia tiene un valor porcentual de cero, y a la tercera temperatura ($Tj3$) de unión la curva (c) de referencia tiene un valor porcentual negativo.

6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5, que comprende, además:
- 5 multiplicar el valor porcentual para modificar el primer tiempo (Δt_{on}) de retardo por un factor (W_{on}) de ponderación de encendido, y
- multiplicar el valor porcentual para modificar el segundo tiempo (Δt_{off}) de retardo por un factor (W_{off}) de ponderación de apagado,
- 10 en donde los factores (W_{on} , W_{off}) de ponderación de encendido y apagado tienen un valor predefinido entre 0 y 1.
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en donde el primer dispositivo (T1) de conmutación se enciende antes que el segundo dispositivo (T2) de conmutación.
- 15 8. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en donde el primer dispositivo (T1) de conmutación se enciende después del segundo dispositivo (T2) de conmutación.
9. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8, en donde el primer dispositivo (T1) de conmutación se apaga después del segundo dispositivo (T2) de conmutación.
- 20 10. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, en donde el primer dispositivo de conmutación es un conmutador de banda ancha.

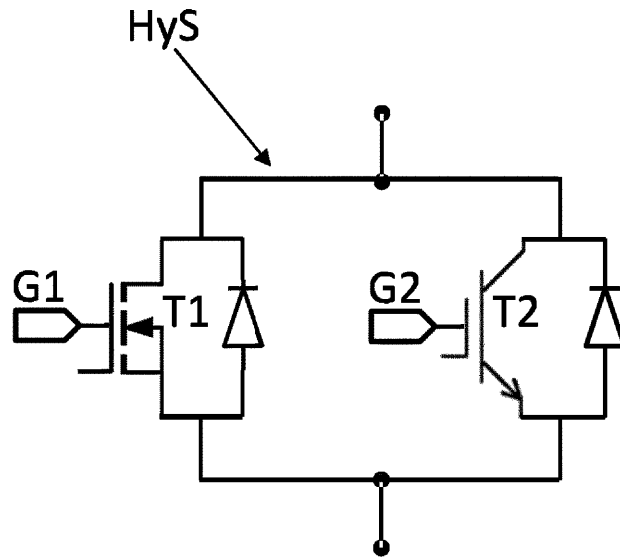


Figura 1

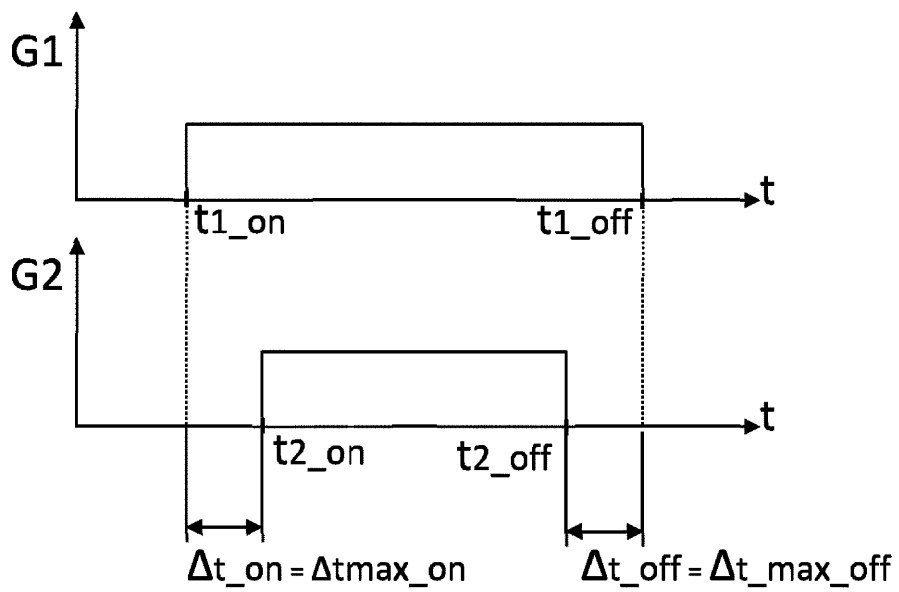


Figura 2

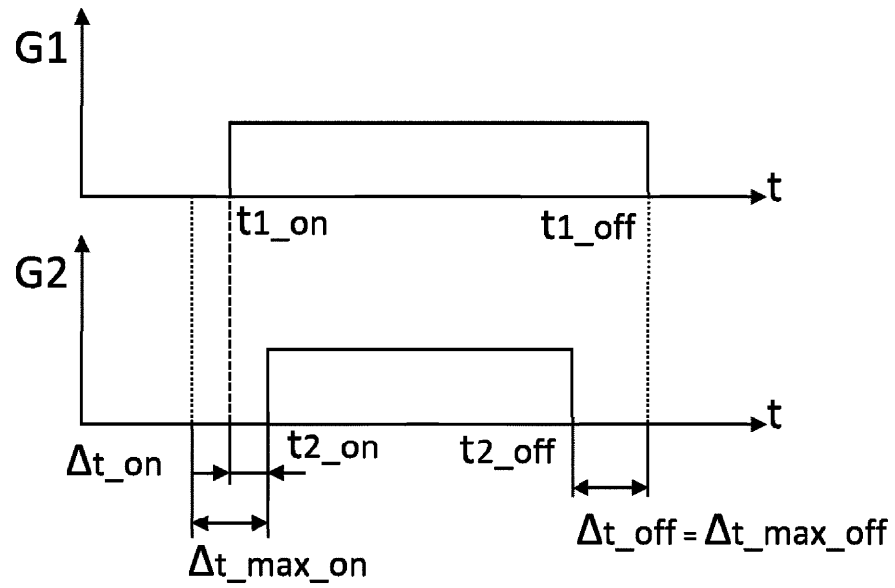


Figura 3

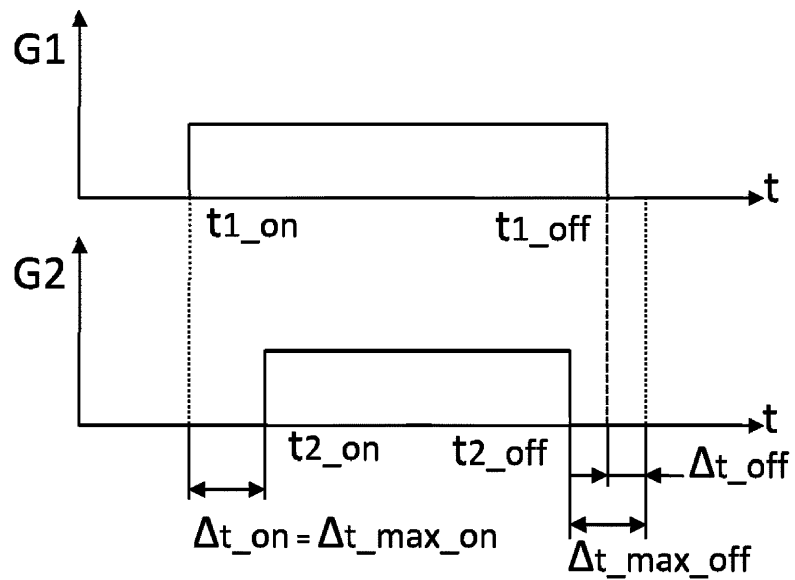


Figura 4

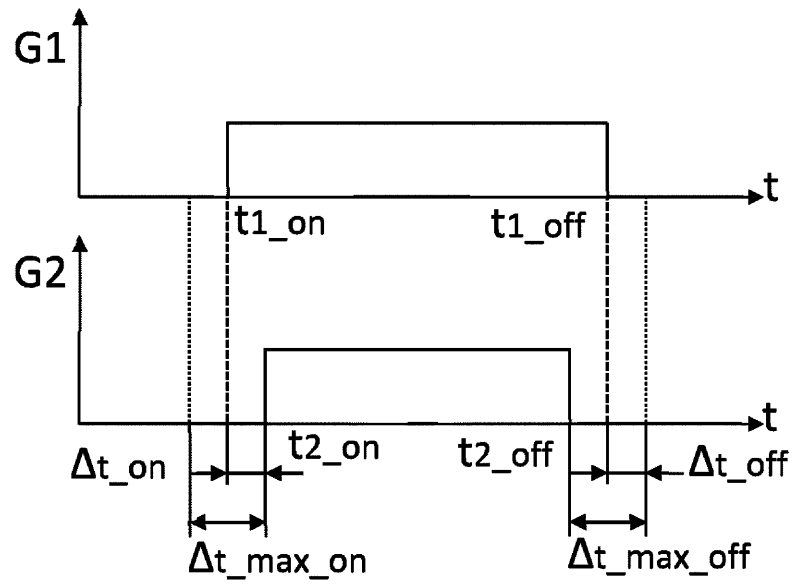


Figura 5

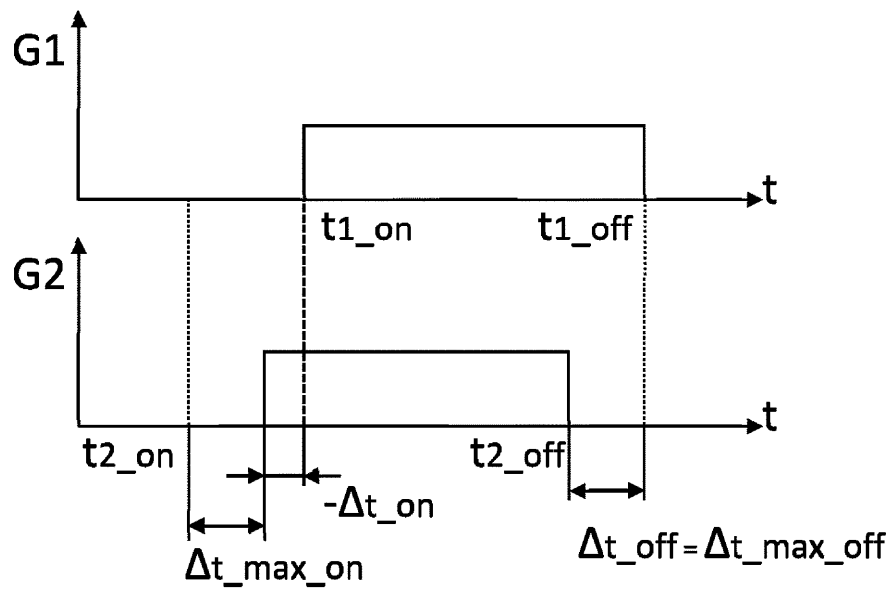


Figura 6

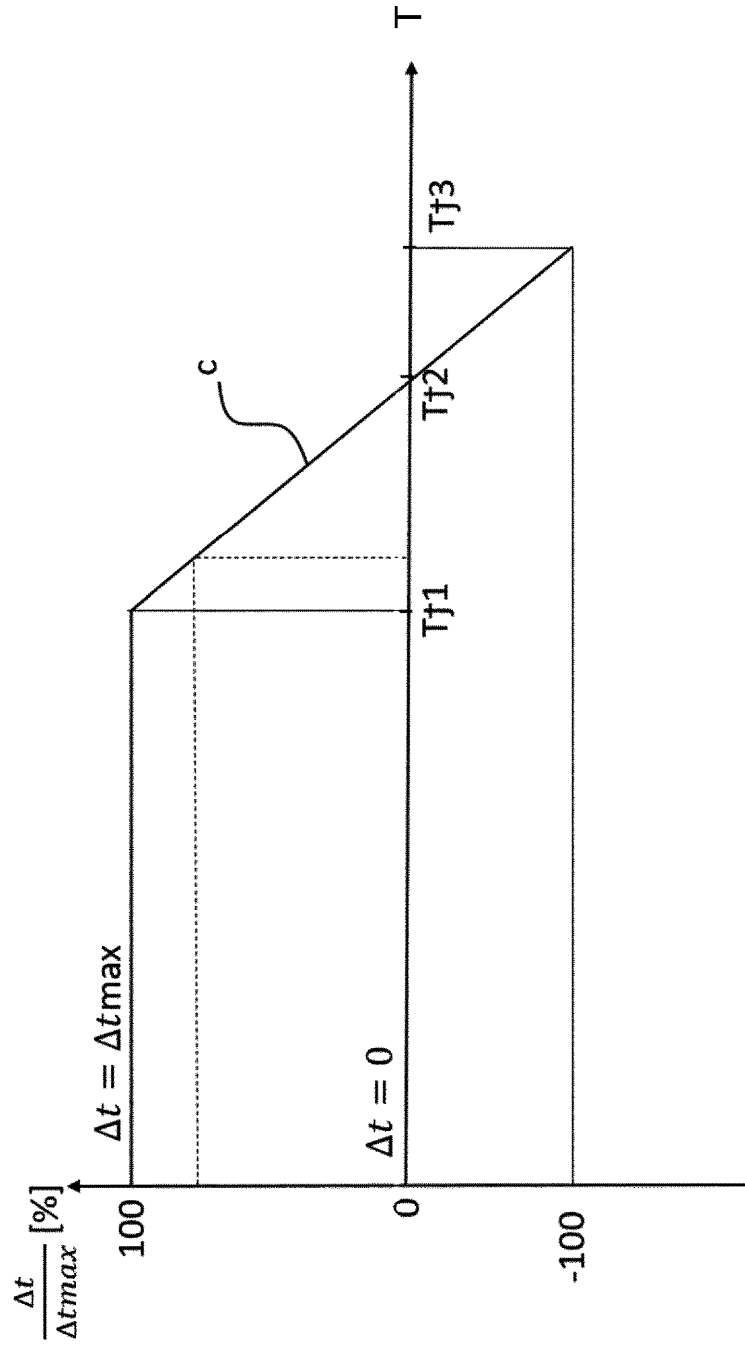


Figura 7

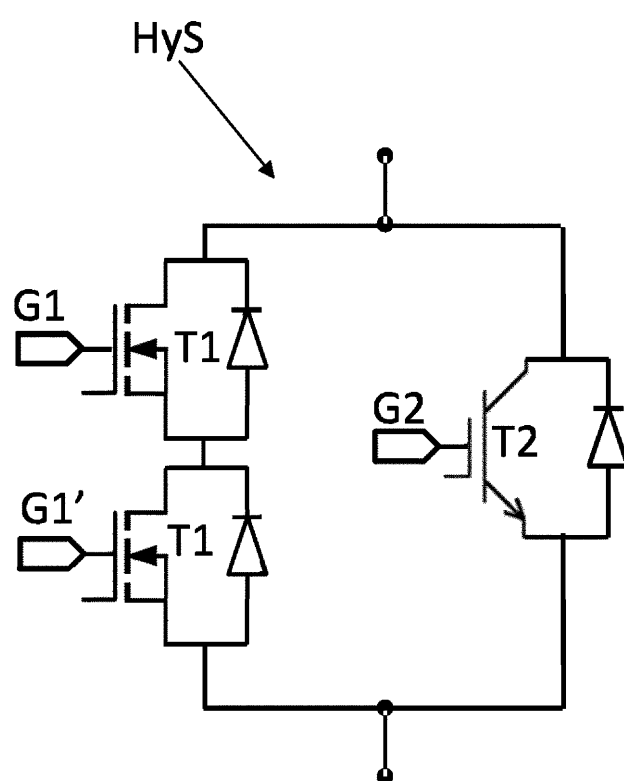


Figura 8

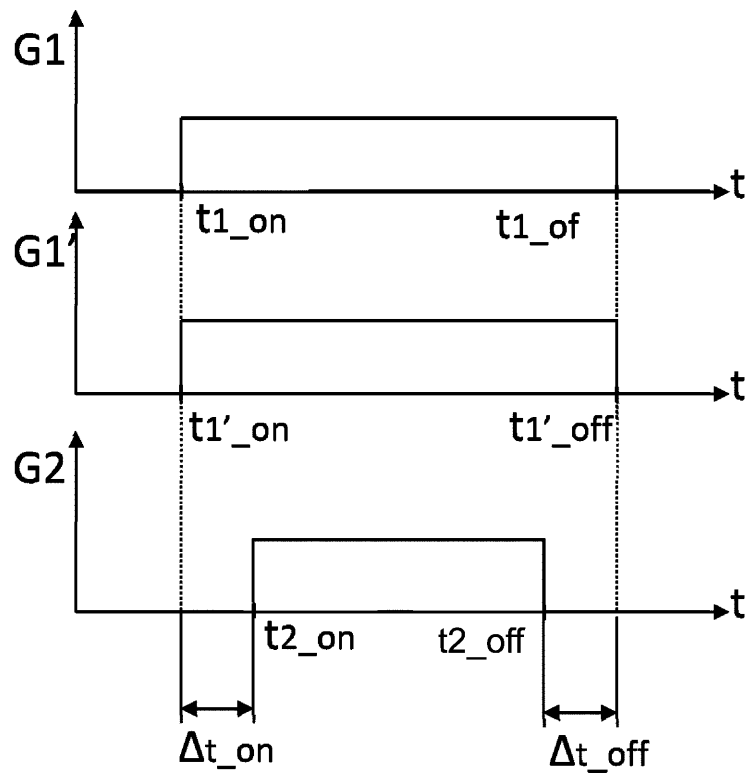


Figura 9

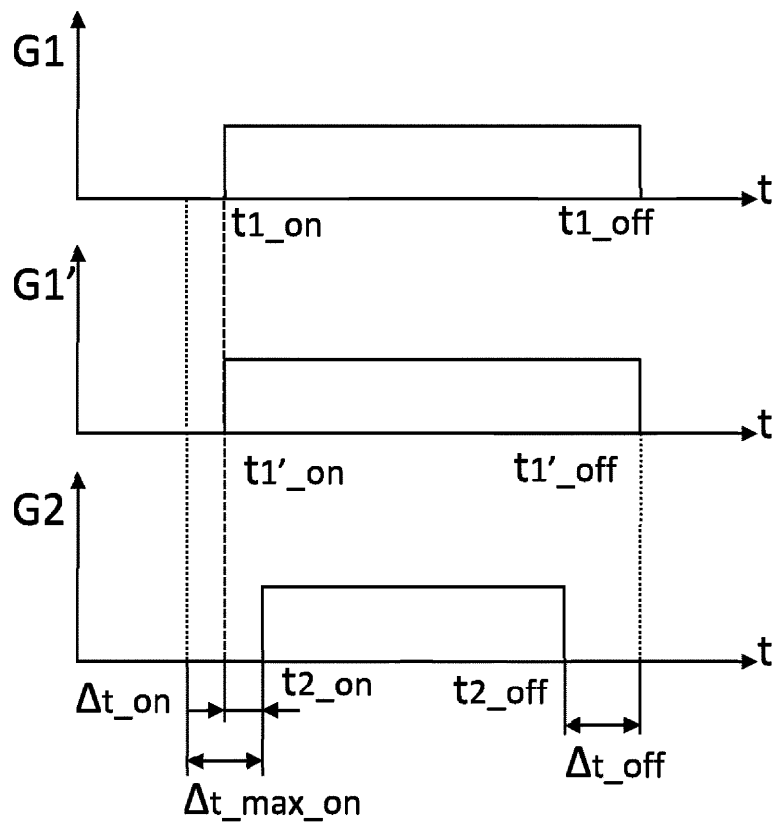


Figura 9A

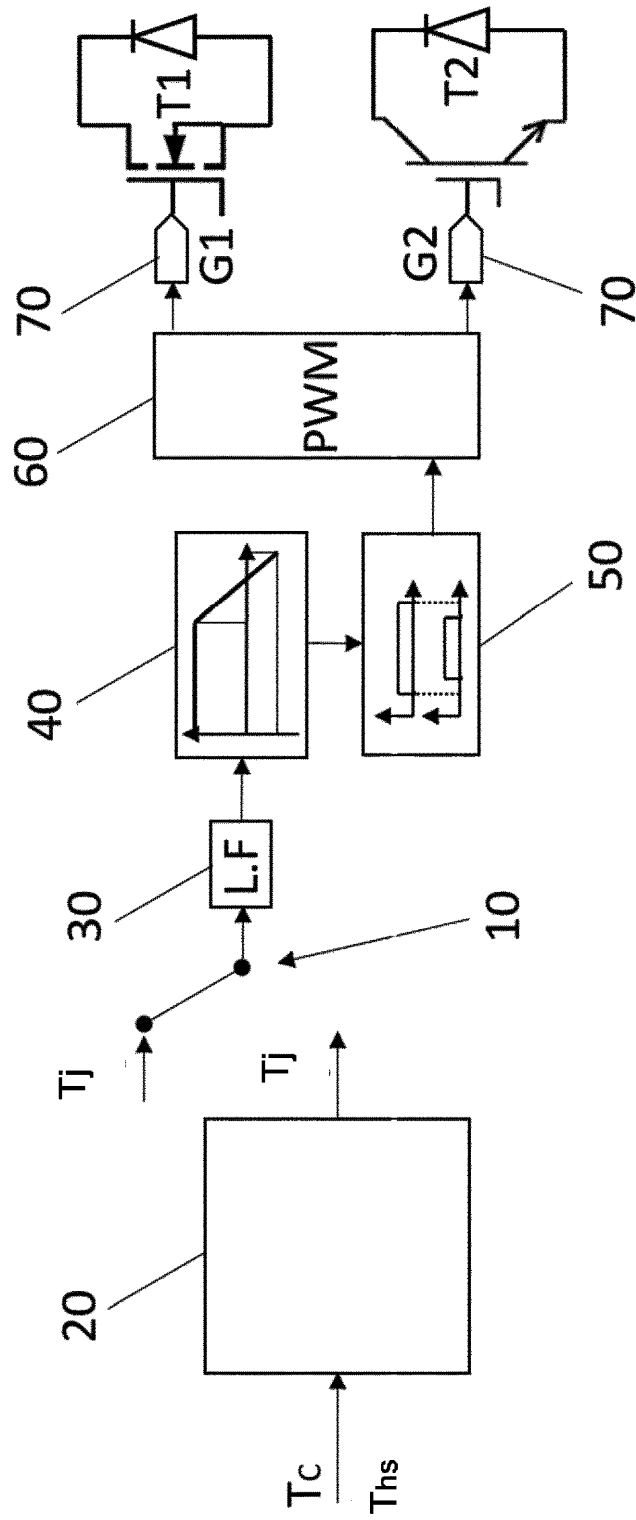


Figura 10

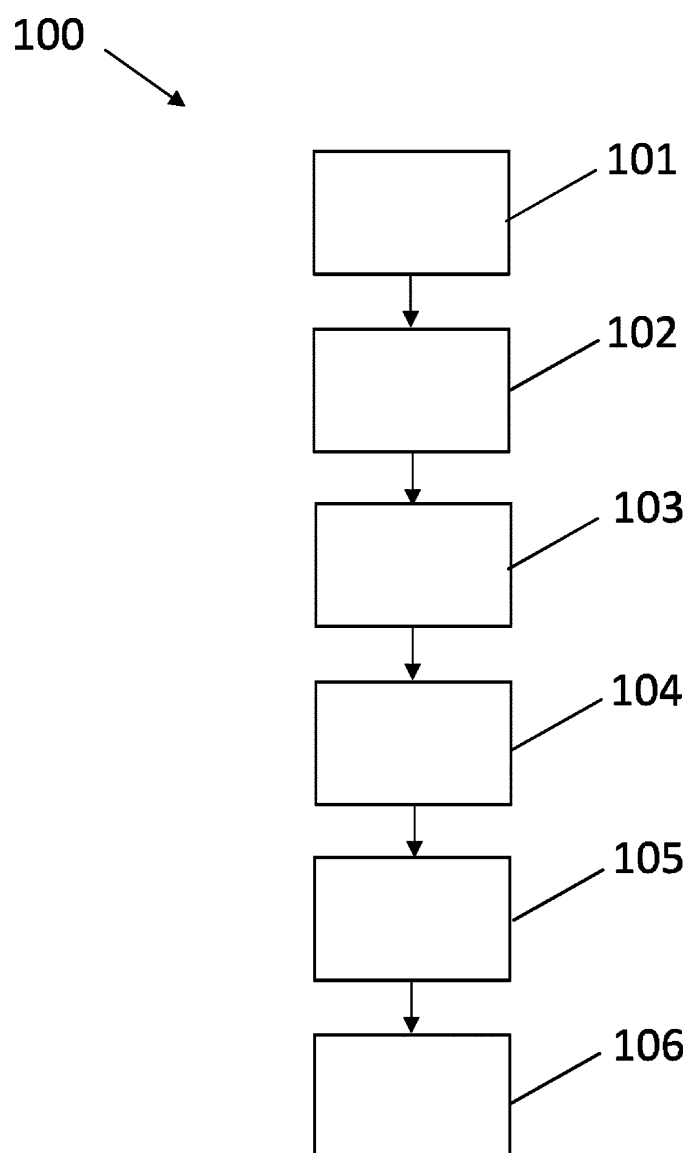


Figura 11