

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 577**

51 Int. Cl.:

**F02P 3/08** (2006.01)

**F02D 35/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2007** **E 07735790 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015** **EP 2018473**

54 Título: **Sistema de encendido**

30 Prioridad:

**18.05.2006 ZA 200604017**

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

**13.04.2015**

73 Titular/es:

**NORTH-WEST UNIVERSITY (100.0%)  
1 HOFFMAN STREET, JOON VAN ROOY  
BUILDING  
2531 POTCHEFSTROOM, ZA**

72 Inventor/es:

**VISSER, BAREND y  
KRUGER, PETRUS PAULUS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 533 577 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

Sistema de encendido

**Introducción y antecedentes**

5 La presente invención se refiere a un sistema de encendido y más en particular a un sistema de encendido para un motor de combustión interna. La invención se refiere también a una bujía alternativa, un circuito de excitación para una bujía y procedimientos asociados.

10 Es conocido que un sistema de encendido para un vehículo comprende una pluralidad de bujías distribuidas conectadas por los respectivos cables de alimentación de alta tensión a un medio de generación remoto y central de alta tensión. En un sistema de encendido de descarga de condensador conocido, el medio de generación de alta  
 15 bobinado secundario-primario. Una vez que la tensión en el secundario alcanza la tensión de ruptura de una distancia disruptiva entre electrodos de chispa de la bujía, se crea una descarga de plasma entre los electrodos de chispa.

20 En los sistemas conocidos, el circuito de conmutación restringe la inductancia mínima del transformador que se puede utilizar. Los factores de restricción son la corriente nominal máxima del interruptor,  $I_m$ , la velocidad de conmutación del conmutador  $t_s$ , la tensión de conmutación del conmutador,  $V_s$ , y el coste del conmutador. Estas limitaciones dan como resultado una inductancia de bobinado secundario muy elevada, la cual tiene varios inconvenientes incluyendo el coste. La gran inductancia normalmente requiere kilómetros (decenas de miles de bobinados) de alambre de cobre fino, que es caro. Los sistemas son ineficientes porque los kilómetros de alambre de cobre fino tienen una resistencia de unos pocos kilohmios. Para transferir suficiente energía para una chispa  
 25 fiable, se requiere una gran cantidad de energía adicional para cada chispa. Debido a la gran cantidad de energía que debe ser manejada, así como la gran cantidad de cobre necesaria, los sistemas son voluminosos. La pérdida de energía debida a la resistencia del cobre, calienta el transformador. Esto pone un límite severo en la cantidad máxima de energía que puede ser transferida a la chispa y también afecta a la colocación del transformador para enfriamiento. La eficiencia del combustible, integridad de combustión, tiempo de combustión, limpieza de escape y variabilidad en la combustión de ciclo a ciclo son limitados. Debido a que el transformador es grande y se calienta, normalmente se coloca lejos del motor. Esto requiere cables de alta tensión entre bujías y el transformador. Estos cables de alta tensión generan una gran cantidad de radiación electromagnética, que puede influir en otro equipo electrónico. Con el fin de eliminar los cables de alta tensión, se usan sistemas de bobina en bujía que comprenden una bobina de encendido en cada bujía. Debido a que estas bobinas están muy cerca del motor, normalmente con  
 30 muy poco flujo de aire alrededor de las mismas, se recalientan con facilidad, lo cual las hace poco fiables.

35 Se han sugerido algunas bobinas de encendido que tienen una resistencia secundaria muy baja. Esto se logra mediante el uso de una trayectoria magnética que tiene una alta permeabilidad, para reducir el número de bobinados al tiempo que se mantiene la inductancia suficientemente alta para el circuito de conmutación. La desventaja de este enfoque es que el material magnético de alta permeabilidad se satura fácilmente y por lo tanto se requiere un gran núcleo.

40 Algunos otros sistemas de encendido tienen una segunda trayectoria de transferencia de energía en el lado secundario. Todos ellos tienen la desventaja de que la energía debe ir a través de ya sea el bobinado secundario o a través de un dispositivo semiconductor. Si la energía pasa a través del bobinado secundario, la transferencia es muy ineficiente debido a la alta resistencia de bobinado. Por otra parte, el dispositivo semiconductor debe ser un dispositivo de alta tensión (normalmente por encima de 30 kV), de corriente elevada (normalmente por encima de 1A). Estos dispositivos son costosos y también dan lugar a pérdida de energía.

45 Otra desventaja de todos estos sistemas es que la frecuencia de auto-resonancia del bobinado secundario es baja (típicamente menos de 20 kHz). La baja frecuencia de auto-resonancia es debida a la gran longitud del cable secundario y la gran inductancia de bobinado secundario. Cuando el bobinado secundario está conectado a un  
 50 circuito de lado secundario, la frecuencia de resonancia del circuito de lado secundario es incluso más baja que la frecuencia de auto-resonancia del bobinado secundario, debido a la capacitancia de la bujía y del cable. Debido a la baja frecuencia de resonancia secundaria, se necesitan algunas decenas de microsegundos para cargar la capacitancia de la bujía o el electrodo para una tensión de ruptura y también algunas decenas de microsegundos para disipar la energía secundaria restante. Esto limita el número de impulsos sucesivos que pueden ser generados en múltiples sistemas de encendido por chispa, lo cual limita la cantidad de energía que puede ser proporcionada durante el encendido. La eficiencia y la cantidad de energía transferida en algunos sistemas de encendido se incrementan mediante la colocación de un condensador en paralelo con la bujía. En estos sistemas, la frecuencia de resonancia secundaria será aún más baja. Incluso en sistemas en los que se calcula un tiempo de chispa óptimo

(como se menciona a continuación), la chispa no puede ser controlada con una precisión de unas pocas decenas de microsegundos. A 6000 rpm, esta imprecisión es superior a un grado de giro de motor.

5 Una técnica conocida es utilizar la bujía para medir la corriente en o la resistencia del gas ionizado después del inflamado para obtener información acerca de la temperatura, presión o la composición del gas después de la combustión. Esta información se utiliza entonces como una de las entradas a un sistema de gestión de motor para calcular un tiempo de chispa medio óptimo. Debido a la pérdida elevada del transformador de encendido, la medición debe realizarse en el lado secundario del transformador, lo cual hace que el circuito de lado secundario sea complejo.

10 Debido a las variaciones de ciclo a ciclo, el tiempo de chispa medio óptimo puede ser bastante diferente del tiempo de chispa óptimo para un solo ciclo. Aunque hay una serie de técnicas disponibles para medir las condiciones dentro de la cámara de combustión antes del inflamado, ninguna de ellas se utiliza de manera generalizada ya que todas requieren puntos de acceso adicionales para la cámara de combustión, son caras, y la mayoría tiene baja fiabilidad y son complejas.

15 Cuando se usa la bujía para mediciones, la baja frecuencia de resonancia secundaria limita por lo tanto la frecuencia de medición después del inflamado y también hace que sea muy difícil, si no imposible, medir las propiedades del gas antes del inflamado.

### Objeto de la invención

20 En consecuencia, un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de encendido alternativo, una bujía, un circuito de excitación para una bujía y procedimientos asociados con los que el solicitante cree que las desventajas antes mencionadas pueden al menos ser mitigadas.

### Sumario de la invención

Según la invención, un sistema de Encendido comprende:

- 25 - una bujía que tiene un primer extremo que define una distancia disruptiva entre un primer electrodo y un segundo electrodo;
- un transformador que comprende un bobinado primario y un bobinado secundario, el acoplamiento electromagnético entre el bobinado primario y el bobinado secundario que es inferior al 80%, el bobinado secundario que tiene una resistencia inferior a 1 k $\Omega$  y una inductancia inferior a 0,25 H y que está conectado con el primer electrodo en un circuito secundario que tiene una frecuencia de resonancia, y
- 30 - un circuito de excitación conectado al bobinado primario y dicho circuito de excitación comprende un oscilador de potencia configurado para oscilar a la frecuencia de resonancia del circuito secundario y para transferir energía al circuito secundario durante ciclos sucesivos de oscilación, hasta que se alcanza una tensión de ruptura de la distancia disruptiva

El primer dispositivo de almacenamiento de carga comprende un condensador.

35 El oscilador puede tener una frecuencia superior a 10kHz, superior a 100 kHz o incluso superior a 500 kHz o incluso superior a 1 MHz.

40 El circuito de excitación, el transformador y la bujía pueden estar todos colocados en un solo alojamiento con la distancia disruptiva entre electrodos expuesta en un extremo del alojamiento. El alojamiento está preferiblemente realizado en un material conductor de electricidad, tal como un metal apropiado, para actuar como una caja de Faraday. Cabe apreciar que con la caja de Faraday, la interferencia electromagnética transmitida, en uso, queda protegida o suprimida.

La corriente constante y/o la fuente de tensión pueden estar colocadas en el exterior del alojamiento y pueden conectarse al alojamiento por cables que se extienden desde el alojamiento hacia un segundo extremo del alojamiento.

45 El acoplamiento entre el bobinado primario y el bobinado secundario del transformador pueden ser inferiores a  $k < 0,6$ , alternativamente  $k < 0,4$ , alternativamente  $k < 0,2$ .

El transformador puede comprender un núcleo que tiene histéresis cuadrada.

La resistencia del bobinado secundario puede ser inferior a 100  $\Omega$ , alternativamente inferior a 50  $\Omega$ , alternativamente inferior a 20  $\Omega$ , alternativamente inferior a 10  $\Omega$ .

50 La inductancia del bobinado secundario puede ser inferior a 100 mH, alternativamente inferior a 50 mH, alternativamente inferior a 20 mH, alternativamente inferior a 3 mH, alternativamente inferior a 1 mH.

La inductancia del bobinado primario puede ser inferior a 5  $\mu$ H.

La frecuencia de auto-resonancia del bobinado secundario puede ser superior a 10 kHz, alternativamente superior a 100 kHz, alternativamente superior a 500 kHz y alternativamente superior a 1 MHz.

Según otro aspecto de la invención se proporciona un circuito de excitación de descarga de condensador para una bujía, comprendiendo el circuito un condensador y un bobinado primario de un transformador conectado en un circuito de fuente de drenaje de un dispositivo semiconductor de compuerta aislada, un bobinado secundario del transformado, estando un bobinado secundario del transformador conectado a la bujía. El dispositivo semiconductor de compuerta aislada puede ser accionado por un circuito de compuerta que comprende un condensador y un dispositivo de conmutación rápida para descargar en una compuerta del dispositivo, antes de que se encienda el dispositivo, suficiente carga para un estado de conducción preseleccionado en el circuito de fuente de drenaje del dispositivo.

Según otro aspecto de la invención se proporciona una bujía que comprende un primer electrodo y un segundo electrodo que definen una distancia disruptiva entre electrodos, que forman un condensador de electrodos y configurados de manera que la bujía pueda, en uso, ser accionada para generar un efecto corona solo en alguno de los electrodos, o para generar un efecto corona en alguno de los electrodos antes de que se cree una chispa en la distancia disruptiva.

Los electrodos pueden configurarse de manera que la energía almacenada en el condensador de electrodos en un umbral de generación de efecto corona en alguno de los electrodos es sustancialmente inferior a la energía requerida para crear una chispa en la distancia disruptiva entre electrodos.

El primer electrodo puede extenderse axialmente como un núcleo para un cuerpo cilíndrico generalmente alargado de un material aislante que comprende un primer extremo y un segundo extremo; terminándose el primer electrodo en un primer extremo del electrodo espaciado hacia dentro desde el primer extremo del cuerpo; definiendo el cuerpo un orificio ciego que se extiende desde el primer extremo del cuerpo y que se termina en el primer extremo del primer electrodo; y estando el segundo electrodo situado hacia el primer extremo del cuerpo, para de este modo proporcionar el condensador de electrodos entre el primer electrodo y el segundo electrodo, y en uso, un segundo condensador entre una región de efecto corona en el orificio y el segundo electrodo.

Otro procedimiento adicional incluido en el ámbito de la presente invención es un procedimiento de vigilancia de al menos un parámetro asociado a una sustancia gaseosa en una cámara, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- utilizar un primer electrodo y un segundo electrodo, al menos uno de los cuales está expuesto a la sustancia y que configuran colectivamente una distancia disruptiva y forman un condensador de electrodos, para generar un efecto corona en el al menos un electrodo;
- hacer que el efecto corona cambie un parámetro eléctrico en una región del al menos un electrodo que es indicativo del al menos un parámetro del gas;
- hacer que una señal que se refiere al parámetro eléctrico en una región eléctrica sea detectada por circuitos electrónicos conectados a los electrodos; y
- medir la señal detectada por los circuitos, para vigilar el al menos un parámetro del gas.

Los electrodos pueden formar parte de una bujía de encendido configurada de manera que la energía almacenada en el condensador de electrodos en un umbral de descarga por efecto corona en alguno de los electrodos es sustancialmente inferior a la energía requerida para crear una chispa en la distancia disruptiva; y el procedimiento puede comprender la etapa de accionar los electrodos con una señal para generar dicho efecto corona, o para generar dicho efecto corona antes de formar una chispa en la distancia disruptiva.

La señal de tensión puede ser una señal de tensión de tiempo de subida rápida, que es uno de un borde de un único impulso de tensión y un borde de una onda continua. El tiempo de subida de la tensión de tiempo de subida rápida puede ser suficientemente elevado para generar un efecto corona positivo o negativo en uno o ambos electrodos. El tiempo de subida puede ser superior a 100 kV/μs.

En otra realización del procedimiento, una amplitud de la señal de tensión puede ser una inferior, igual o superior a una tensión de umbral de efecto corona positivo o negativo de la sustancia en una región de la distancia disruptiva entre electrodos. La amplitud de la señal de tensión puede ser una inferior, igual o superior a una tensión de ruptura para la distancia disruptiva entre electrodos.

La señal puede ser reintroducida en un lado primario de un transformador, del que un bobinado secundario está conectado a al menos uno de los electrodos y en el que la medición se hace en el lado primario.

El parámetro del gas puede ser vigilado antes y/o durante y/o después del inflamado de la sustancia.

El parámetro del gas puede usarse para determinar al menos uno de la temporización de y una energía en una chispa en la distancia disruptiva.

El parámetro del gas puede ser una cualquiera o varias de la presión en la cámara, composición de la sustancia y posición de un pistón que se desplaza en la cámara.

- 5 El procedimiento puede comprender la etapa de variar un nivel de potencia de salida de un circuito de excitación para los electrodos entre un primer nivel inferior apropiado para crear dicha descarga por efecto corona para las mediciones, y un segundo nivel superior para formar una chispa y transferir la energía para el encendido. El segundo nivel de potencia puede ser dependiente de los resultados de las mediciones.

**Breve descripción de los diagramas adjuntos**

- 10 La invención se describirá adicionalmente a continuación, a modo de ejemplo, con referencia a los diagramas adjuntos en los que:

La figura 1 es una representación esquemática de un sistema de encendido según la invención;

La figura 2 es un diagrama de circuito de una primera realización de un circuito de excitación de descarga de condensador que forma parte del sistema según la invención;

- 15 Las figuras 3(a) a 3(c) son formas de onda de tensión en los puntos 3a, 3b y 3c en figuras 6 y 2;

La figura 4 es un diagrama de circuito de una segunda realización del circuito de excitación;

La figura 5 es un diagrama de circuito de una tercera realización del circuito de excitación;

La figura 6 es un diagrama de circuito de una cuarta realización del circuito de excitación;

- 20 La figura 7 es una sección axial a través del sistema de encendido según la invención que muestra un transformador más en detalle;

La figura 8 es una vista similar a la figura 7 de otra realización del transformador;

La figura 9 es un diagrama de bloques del sistema con otra realización del circuito de mando;

La figura 10 es un diagrama más detallado del sistema de la figura 9;

- 25 Las figuras 11(a), (b), (c) y (d) son formas de onda de tensión y corriente en posiciones seleccionadas en las figuras 9 y 10;

La figura 12 es una realización alternativa de parte del circuito de excitación en las figuras 9 y 10; y

La figura 13 es una representación esquemática parcialmente descubierta, de una bujía de encendido alternativa.

**Descripción de una realización preferida de la invención**

- 30 Un sistema de encendido según la invención está por lo general designado por el número de referencia 10 en la figura 1.

El sistema 10 comprende una bujía de encendido alargada 12 que tiene un primer extremo 14 que define una distancia disruptiva 16 entre un primer electrodo de alta tensión 18 y un segundo electrodo 20. Se proporciona un terminal de conexión 22 al primer electrodo en el segundo extremo 24. El sistema 10 comprende, además, un circuito de excitación 26 para la bujía 12, dicho circuito se describirá más en detalle en lo sucesivo.

- 35 La bujía de encendido 12 y el circuito de excitación 26 están situados en un alojamiento 28 realizado a partir de un material apropiado, tal como un metal apropiado, para actuar como una jaula de Faraday. El alojamiento es de configuración tubular. Una pieza metálica de la bujía hacia el primer extremo 14 de la misma y que también proporciona una rosca para asegurar la bujía al bloque motor 30, se extiende más allá de un primer extremo 34 del alojamiento 28, de manera que la distancia disruptiva queda expuesta en el primer extremo del alojamiento y, en uso, la distancia disruptiva 16 está situada en la cámara de combustión 32. En un extremo opuesto o segundo extremo 26 del alojamiento, se proporciona un orificio 38 para cables 40, 42 (al que se hará referencia más en detalle en lo sucesivo) que se extienden al sistema 10.

- 45 Se cree que con el sistema autónomo mencionado anteriormente que comprende la jaula 28 que contiene y protege la bujía 12 y el circuito de excitación 26, se suprime la interferencia electromagnética emitida por los circuitos de conmutación de alta tensión.

- Se cree, además, que el sistema 10 según la invención que comprende una bujía de encendido 12 y un circuito de excitación 26 situados correspondientemente en un solo alojamiento 28, puede también reducir la complejidad bajo el de capó de un vehículo eliminando el transformador central, el conjunto de descarga de condensador y los cables de alta tensión que se extienden a las bujías de encendido distribuidas. Se cree que se puede simplificar el mantenimiento.

- 50 Se muestra una primera realización del circuito de excitación 26 (en forma de un circuito de descarga de condensador) más en detalle en la figura 2. El circuito 26 comprende un primer condensador C1 conectado en serie con un bobinado primario 44 de un transformador local 46 y un dispositivo de potencia de conmutación rápida T1 o 48. Un bobinado secundario 50 del transformador está conectado al primer electrodo 18, que define la distancia disruptiva 16 con el segundo electrodo conectado a tierra 20.

El dispositivo de conmutación de potencia 48 comprende un dispositivo semiconductor de compuerta aislada de potencia, tal como un MOSFET o IGBT y es accionado preferiblemente de acuerdo con el procedimiento de y con un circuito de excitación de un tipo similar al divulgado en el documento US 6.870.405B1 del solicitante, cuyo contenido está incorporado a la presente memoria por referencia.

5 Como se apreciará mejor en las figuras 2 y 6, el circuito 26 utiliza un único MOSFET 48 para generar una tensión de unos pocos cientos de voltios para cargar el condensador C1 así como para conmutar el condensador C1 para generar la alta tensión a través de la distancia disruptiva 16. En las figuras 3(a) a 3(c) se muestran formas de onda de tensión en los puntos 3a en la figura 6 y 3b y 3c en la figura 2. En la figura 3(a) se muestra un impulso de tensión de corta duración que es aplicado a la compuerta del MOSFET 48 para descargar o transferir suficiente carga en la compuerta del MOSFET para encender el MOSFET, es decir conmutarlo a un estado deseado de conductividad en un circuito de fuente de drenaje del MOSFET. Con referencia particular ahora a la figura 2, cuando se aplica una tensión V1 de CC al circuito para el primer tiempo, el condensador C1 se carga a la tensión de estado estable  $V2 = V1$ . Cuando el MOSFET se enciende, el condensador C1 se descarga a través del primario de transformador 44. La energía en el condensador C1 no solamente se disipa en una chispa de plasma en la distancia disruptiva 16, sino también en el transformador 46 y el transistor 48. Después de la descarga de condensador, la tensión en el condensador C1 es aproximadamente cero. Mientras el transistor 48 está encendido, la corriente a través de inductor L3 aumenta, almacenando energía en el inductor. Cuando el transistor 48 se apaga, el condensador C1 se carga a través del diodo D1 y el inductor L3. Mientras la tensión V2 a través del condensador C1 es inferior a la tensión de alimentación V1, la corriente a través del inductor L3 sigue aumentando. Una vez que  $V2 > V1$ , la corriente a través del inductor se reduce, mientras toda la energía almacenada en el inductor L3 se transfiere al condensador C1. Cuando la corriente en el inductor L3 alcanza cero, el condensador C1 permanece cargado hasta que el transistor 48 se vuelve a encender. Como se puede observar en la figura 3(c), el primer ciclo tarda aproximadamente 12  $\mu$ s y después el ciclo de descarga de condensador puede repetirse aproximadamente cada 8  $\mu$ s. A una velocidad elevada de revoluciones del motor de por ejemplo 6.000 rpm, el motor gira a 46  $\mu$ s por grado. Por lo tanto, un número considerable de los ciclos mencionados anteriormente puede terminarse antes del punto muerto superior.

Si el MOSFET 48 está encendido solo durante un corto intervalo, no se almacena casi energía en el inductor L3. La tensión final V2 puede doblar aproximadamente la tensión de alimentación V1. Si el MOSFET se mantiene durante un periodo más largo, se puede alcanzar una tensión V2 superior a  $2 * V1$ .

30 En un prototipo del sistema 10, se usa una tensión de alimentación V1 de 300 V para cargar el condensador a aproximadamente 600 V. Si sigue habiendo algo de energía en el condensador C1 cuando el MOSFET 48 se enciende después de la descarga de condensador, la tensión V2 no alcanzará  $2 * V1$ . Esto se puede compensar, manteniendo el MOSFET encendido durante un periodo de tiempo apropiado, de manera que se pueda almacenar suficiente energía en el inductor L3.

35 El circuito 26 se puede accionar a partir de una tensión de alimentación V1 tan baja como de 14 V. Esto se puede conseguir manteniendo el MOSFET 48 encendido durante un tiempo suficiente para almacenar suficiente energía en el inductor L3, de manera que el condensador pueda cargarse a 600 V. Se apreciará que esto aumentará el periodo del ciclo.

40 Con referencia a la figura 4, si la energía almacenada en el condensador C1 no es suficiente para cargar la capacitancia total del lado secundario a 30 kV, se puede usar un diodo de alta tensión D2 en el lado secundario del transformador 46. Para cada ciclo de descarga de condensador, la capacitancia Cs de bujía de encendido o electrodo se carga, además, hasta que se alcanza la tensión de ruptura. La capacitancia de la bujía de encendido puede aumentarse con un condensador de alta tensión adicional (no mostrado) en paralelo, para aumentar la energía transferida al plasma en los primeros pocos nanosegundos.

45 Como se muestra en la figura 5, el MOSFET 48 puede estar protegido contra sobretensión inversa añadiendo un condensador C3 y un diodo D2. Esto también proporciona una trayectoria de transferencia de energía adicional a través del bobinado secundario 50 al plasma de chispa. Cuando el MOSFET 48 está apagado, el condensador C3 se carga en paralelo con el condensador C1 a través del diodo D2. Cuando el MOSFET 48 está encendido, la tensión V2 pasa a cero, marcando V5 negativo. Después de crear el plasma de chispa por la descarga de condensador, el condensador C3 se descarga a través del MOSFET 48, el bobinado secundario 50 y el plasma de chispa, calentando además el plasma. Esta segunda transferencia de energía es eficiente debido a la baja resistencia del bobinado secundario, es rápida debido a la baja resistencia secundaria, y también es controlable con el MOSFET 48.

55 Con referencia a la figura 6 (que es una implementación de la figura 2, usando la conmutación rápida de MOSFET), cuando una señal de temporización 52 recibida por cable óptico 40 inicia la conducción a través del transistor T3, el condensador C1 empieza a cargarse a través del resistor R1 a partir de la tensión en el condensador C2. El condensador C2 tiene una capacitancia muy superior a la del condensador C1. Una vez que la tensión en C1 alcanza la tensión de avalancha del transistor T2, el transistor T2 se enciende, descargando la carga en C1 en la compuerta de MOSFET 48 como se ha descrito anteriormente. Esta carga enciende entonces el MOSFET 48 en menos de un nanosegundo. Se produce entonces una descarga de condensador a partir del condensador C1 como se ha descrito anteriormente. Cuando el MOSFET 48 está encendido, se usa la tensión de compuerta para encender

el transistor T4 después de un tiempo de retardo  $t_{on}$ . El transistor T4 baja la tensión en la compuerta del MOSFET 48, apagando de este modo el MOSFET 48. Una vez que el MOSFET 48 está apagado, el condensador C1 se carga como se ha descrito anteriormente y se repite todo el ciclo. El circuito 26 en la figura 6 opera de este modo como un circuito autooscilante durante la recepción de la señal de temporización 52 por cable 40. Un filtro 60 puede ser proporcionado en el cable de alimentación de tensión CC 42 y situarse en el alojamiento 28, para de este modo suprimir, además, la interferencia electromagnética.

Cuando se usan bujías de encendido conocidas, una energía de aproximadamente 5 mJ es necesaria para cargar la capacitancia de bujía de encendido  $C_s$  de aproximadamente 10-15 pF a 20kV-30kV. Esta energía debería también ser suficiente para inflamar el combustible en la cámara, siempre que la mezcla de combustible/aire no sea demasiado pobre. Debido a la capacitancia parásita del bobinado secundario 50, que en los sistemas conocidos sería muy superior a 15 pF, sustancialmente más de 5 mJ de energía debe aplicarse al circuito secundario. En la presente invención puede ser posible mantener la capacitancia parásita por debajo de 15 pF. Lo cual implicaría que solo se requeriría aproximadamente 5 mJ adicionales para alcanzar la tensión de ruptura. Una capacitancia mínima C1 de aproximadamente 55 nF a 600 V es necesaria por lo tanto en el lado primario del transformador 46, para suministrar los 10 mJ al secundario. El valor mínimo para la inductancia L1 del bobinado primario está limitado por las capacidades de velocidad de conmutación y la corriente máxima del dispositivo de conmutación 48. Para el MOSFET 48 con circuito de excitación asociado, la velocidad de conmutación  $t_s < 1$  ns, siendo necesario que  $L1 < 18$  pH para evitar pérdidas de conmutación. En el prototipo mencionado anteriormente, la capacidad de corriente máxima del MOSFET que usa el procedimiento y el circuito de excitación mencionados anteriormente, es de aproximadamente 120 A durante los 100 ns iniciales. Esto proporciona un valor límite inferior par la inductancia  $L1 > 1,4$   $\mu$ H y para la inductancia secundaria  $L2 > 3,5$  mH. La capacidad de corriente máxima mencionada anteriormente establece por lo tanto el valor de límite inferior para la inductancia L1, que es sustancialmente inferior al indicado por las velocidades de conmutación de la tecnología SCR conocida.

Se cree que el sistema según la invención es energéticamente más eficiente que los sistemas conocidos. Debido al tiempo de conmutación rápida del MOSFET 48, las inductancias asociadas al transformador 46 pueden reducirse, lo cual da como resultado que la longitud de cable se reduzca y en consecuencia la dimensión del transformador y la resistencia de inductor. Se espera que de cómo resultado una longitud de cable secundario de unas pocas decenas de metros (en comparación con algunos kilómetros de cable usado en los transformadores de descarga de condensador conocidos), con una resistencia inferior a 1 k $\Omega$ , preferiblemente inferior a 100  $\Omega$ , más preferiblemente inferior a algunas decenas de ohmios, tal como menos de 50  $\Omega$ , o menos de 20  $\Omega$  e incluso menos de 10  $\Omega$ . Debido a que la resistencia secundaria sería inferior a la resistencia de plasma de chispa, la mayoría de la energía es transferida al plasma.

Debido a la baja inductancia secundaria y a la longitud de cable relativamente corta, se puede esperar que la frecuencia autoresonante de lado secundario sea superior a 10 kHz, preferiblemente 100 kHz, preferiblemente, además, a 500 kHz y más preferiblemente superior a 1MHz. La frecuencia de resonancia de lado secundario será inferior a la frecuencia autoresonante, y está limitada por la pérdida del material de núcleo de transformador. Con un núcleo de tipo ferrita, la frecuencia de resonancia de lado secundario puede encontrarse entre 500 kHz y 1 MHz.

Con referencia ahora a las figuras 7 y 8, donde se muestran dos realizaciones del transformador 46. El bobinado primario 44 comprende diez bobinados de cable de cobre grueso, el bobinado secundario 50 comprende 400 bobinados de 0,1 mm de cable de cobre (aproximadamente 10 m de cable) y el núcleo de transformador 47 comprende una barra de ferrita 64 y un tubo de ferrita exterior 66. El bobinado primario tiene una inductancia de 2-4  $\mu$ H. El acoplamiento débil se lleva a cabo situando el bobinado primario hacia un extremo de la barra 64, como se muestra en la figura 7 o añadiendo un inductor toroidal 68 en serie con el bobinado primario 44, como se muestra en la figura 8. El toroide puede tener un núcleo 92 que comprende material amagnético, o puede comprender parte del núcleo del transformador. El acoplamiento entre el bobinado primario 44 y el bobinado secundario 50 del transformador 46 puede ser inferior al 80% (es decir,  $k < 0,8$ ), alternativamente  $k < 0,6$ , aún alternativamente  $k < 0,4$ , y todavía más alternativamente  $k < 0,2$ . El bobinado secundario puede comprender una sola capa de bobinado como se muestra en la figura 7, alternativamente puede comprender más de una capa, como se muestra en la figura 8. Las capas paralelas reducen la resistencia, mientras se mantiene la misma inductancia, misma relación de bobinado y mismo núcleo. El bobinado secundario tiene una resistencia de aproximadamente 20  $\Omega$  para una sola capa y una resistencia de aproximadamente 10  $\Omega$  para una doble capa, una inductancia de aproximadamente 3 mH y una frecuencia autoresonante de aproximadamente 500 kHz. Como se ha expuesto, la inductancia del bobinado secundario es preferiblemente inferior a 250 mH, preferiblemente inferior a 100 mH, preferiblemente inferior a 50 mH, aún preferiblemente a 20 mH, más preferiblemente inferior a 10 mH, incluso más preferiblemente inferior a 3 mH y más preferiblemente inferior a 1 mH. Se puede añadir material de ferrita a uno de los dos extremos del transformador que conectan magnéticamente la barra interior 64 y el tubo exterior 66.

En la figura 9 se muestra una segunda realización del circuito de excitación 26 más en detalle. En esta realización, el bobinado primario 44 del transformador 46 está conectado a un oscilador de potencia 56. Este oscilador 56 está conectado a una fuente de energía 58, todo en el interior del alojamiento 28. La fuente de energía se puede conectar por cable 42 a la fuente de tensión CC fuera del alojamiento y el oscilador tiene una conexión de entrada de disparo por cable 40 al exterior del alojamiento. El bobinado secundario 50 del transformador 46 está acoplado débilmente al

bobinado primario 44. El bobinado secundario 50 está conectado en serie a la bujía de encendido 12 y la fuente de energía 58. La capacitancia, la inductancia de bobinado secundario, y la capacitancia de la distancia disruptiva entre electrodos forman un circuito de resonancia LC con una cierta frecuencia de resonancia. El transformador 46 puede tener un núcleo 47 con una histéresis cuadrada, esto significa que el bobinado secundario tendrá una inductancia relativamente alta para corriente baja, pero una cierta corriente más alta, la inductancia se volverá de repente mucho más baja.

La figura 10 muestra una realización adicional del circuito de excitación de adición armónica, donde los dos MOSFET de potencia 60, 62 se usan en el oscilador de potencia 56. Un oscilador 64, que empieza oscilando cuando recibe una señal de disparo, acciona la compuerta de los MOSFET 60, 62 a través de un transformador 66. La fuente de energía 58 comprende dos condensadores de almacenamiento de energía C5 y C6. La fuente de energía 58 está conectada externamente por cable 42 a una fuente de alimentación limitada de tensión y/o corriente 67 externamente del alojamiento 28.

Las realizaciones en las figuras 9 y 10 se explicarán con referencia a formas de onda de tensión y corriente, mostradas en las figuras 11(a) a (d). Se almacena alguna energía en la fuente de energía 58 mediante el suministro externo de tensión constante o corriente constante 67. Cuando se recibe una señal externa de disparo mediante la entrada 42, el oscilador de potencia empieza a oscilar a la frecuencia de resonancia secundaria, como se muestra en 100 en la figura 11(a). Debido al acoplamiento débil entre los bobinados primario y secundario, durante cada ciclo, se transfiere algo de energía al circuito de resonancia secundaria. La energía en la fuente de energía 58 se reduce con cada ciclo como se muestra en 102 en la figura 11(b), mientras una tensión CA a través de la distancia disruptiva de electrodos 16 aumenta, como se muestra en 104 en la figura 11(c). El circuito se comporta de manera similar a un circuito resonante en serie que es accionado como su frecuencia resonancia. Cuando, después de unos pocos ciclos de la oscilación, se alcanza la tensión de ruptura de la distancia disruptiva 16, casi toda la energía que se transformó en el lado secundario se disipa en la distancia disruptiva como se muestra en 105. Después de la ruptura, el oscilador puede mantener una oscilación como se muestra en 107 y por lo tanto transferir todavía energía a través del transformador 46 a la chispa. Esta transferencia de energía es bastante eficiente debido a la baja resistencia del bobinado secundario 50. En cuanto se forma un plasma entre los electrodos de chispa, la fuente de energía 58 genera otra corriente directamente a través del plasma y el bobinado secundario 50. Debido a que la inductancia del bobinado secundario es del orden de 1 mH, la corriente aumenta a una velocidad de  $0,5A/\mu s$ . Si el núcleo 47 se satura después de unos pocos microsegundos, la inductancia del bobinado secundario 50 se volverá inferior como se ha dicho anteriormente. La corriente aumentará entonces más rápidamente (más de  $3A/\mu s$ ) como se muestra en 106 en la figura 11(d). Si la chispa se enfría de alguna manera, el oscilador generará de manera automática una alta tensión de nuevo para sostener la chispa. La energía se transferirá por lo tanto a la chispa hasta que la fuente de energía 58 se agote.

Si se alcanza la tensión de ruptura dentro de aproximadamente 4 ciclos, la frecuencia del oscilador no necesita ser la frecuencia de resonancia secundaria exacta, sino que puede diferir en un pequeño porcentaje. Esto hace que la realimentación desde el lado secundario al oscilador sea innecesaria y deja suficiente tolerancia para la variación en la frecuencia de resonancia, debido a variaciones de temperatura y diferentes diseños de bujía de encendido.

Como se ilustra en la figura 12, se pueden añadir un inductor 68 y un condensador 94 en serie con el bobinado primario 44. El objeto principal de esta introducción es salvaguardar el circuito de excitación armónico 56 contra impulsos de retorno de alta energía de alta frecuencia. Esto hace también que sea posible reducir la relación de bobinado y reducir el número de bobinados para el bobinado secundario 50 del transformador de alta tensión 46.

Debido a que, en la energía de adición armónica, se transfiere una cantidad de energía durante cada ciclo menor que en los sistemas convencionales de encendido por descarga de condensador (CDI), son posibles una inductancia y resistencia secundarias menores para el mismo dispositivo de conmutación. Esta energía hace que sea posible reducir la relación de bobinado del transformador 46 a menos de 1:25 con un dispositivo de conmutación 48 de 600 V, lo cual en un sistema CDI convencional requeriría una relación de más de 1:50. Esto hace posible reducir la inductancia secundaria con otro factor de 4, lo que reducirá también la resistencia secundaria y aumentará la frecuencia autoresonante. Una ventaja adicional es que el circuito de excitación está protegido contra la realimentación de impulsos de alta energía en el lado secundario, debido al acoplamiento débil.

Con referencia a la figura 13, se proporciona también una bujía de encendido alternativa. La bujía de encendido alternativa 70 comprende un cuerpo cerámico generalmente cilíndrico alargado 72 que tiene un primer extremo 74 y un segundo extremo 76. Un primer electrodo 80 se extiende como núcleo centralmente a lo largo del cuerpo y termina en un primer extremo 82 del mismo a una distancia  $d$  desde el primer extremo 74. Un segundo extremo del primer electrodo 80 está conectado eléctricamente a un contacto o terminal 84 en el segundo extremo 76. Un segundo electrodo 78 situado hacia el primer extremo del cuerpo se puede roscar. La bujía define de este modo un orificio ciego 86 que se extiende desde el primer extremo 74 del mismo y que termina en el primer extremo 82 del primer electrodo. Un elemento anular 88 que define un orificio central 90 reviste el extremo 74 del cuerpo y está en contacto eléctrico con el segundo electrodo. El orificio 86 puede o no tener un área de sección transversal uniforme a lo largo de su longitud. Por ejemplo, el orificio 86 puede ahusarse en cualquier dirección. El área de sección transversal del orificio 90 puede ser la misma, mayor o menor que la del orificio 86.

La bujía de encendido 70 comprende o proporciona de este modo en uso un primer condensador o condensador de electrodos entre el primer electrodo 80 y el segundo electrodo 78, 88 y un segundo condensador de efecto corona entre una región de efecto corona creada, en uso y como se describirá más adelante, en el orificio y el segundo electrodo 78, 88.

5 El cuerpo cerámico 72 puede ser más grueso (tener un diámetro exterior mayor) alrededor del primer electrodo 80 que alrededor del orificio 86. Esto hará que la capacitancia de electrodo sea menor que la capacitancia de efecto corona. El exterior del cuerpo cerámico y/o el interior del segundo electrodo conductor 78 pueden ahusarse para aumentar o reducir la capacitancia hacia cualquier extremo del orificio.

10 Cuando se aplica una tensión al primer electrodo 80, la resistencia de campo eléctrico dentro del orificio 86 será muy superior en el extremo 82 del primer electrodo, que en el resto del orificio. Esto hace que sea posible aplicar un impulso de alta tensión de manera que el campo eléctrico en el orificio en el primer electrodo sea suficientemente alto para formar una descarga de efecto corona, pero el campo eléctrico sobre el resto del orificio está muy por debajo de la ruptura.

15 Cuando se aplica tal tensión, se realiza una descarga de efecto corona en el extremo 82. Si la tensión aplicada se mantiene, el efecto corona alargará efectivamente el primer electrodo en la dirección del primer extremo 74 del cuerpo y el campo eléctrico en el resto del orificio aumentará. El plasma crece efectivamente desde el extremo 82 del primer electrodo hacia el segundo electrodo 88, a medida que se carga el condensador de efecto corona. Cuanto más alta es la capacitancia de efecto corona, más despacio crecerá el efecto corona. Cuando el efecto corona se aproxima al electrodo conectado a tierra 88, el campo eléctrico puede alcanzar la resistencia de campo eléctrico de ruptura y se puede formar una chispa.

20 Debido a que la descarga de efecto corona disipa energía, la energía debe ser suministrada al primer electrodo para mantener el crecimiento de efecto corona. Si la energía almacenada en el condensador de electrodos y el circuito secundario es inadecuado para cargar el condensador de efecto corona, el efecto corona solo crecerá durante un tiempo y se extinguirá. Si se suministra más energía, puede ser suficiente para hacer que el efecto corona crezca hasta la creación de una chispa, pero puede ser todavía inferior a la energía de encendido necesaria mínima.

25 Después de cada descarga de efecto corona, la cantidad de energía perdida en el efecto corona puede usarse para conseguir información acerca de la temperatura, presión y composición del gas en el interior del orificio sin inflamar el gas, como se describirá más adelante. Más en particular, el efecto corona causa la separación de carga, lo cual modifica los parámetros eléctricos del gas. La cantidad de energía perdida en el efecto corona y el cambio en los parámetros eléctricos pueden usarse para obtener la información mencionada anteriormente.

30 Cuando se suministra incluso más energía a la bujía de encendido y se disipa al calentar el plasma conductor entre los electrodos, el gas empezará a inflamarse, se expandirá rápidamente y explotará en la cámara de combustión, inflamando el gas. La transferencia de energía será preferiblemente suficientemente rápida para transferir la mayoría de la energía antes de que el plasma explote fuera del orificio.

35 Si la energía suministrada no es suficiente (o el impulso de tensión es demasiado corto) para crear una chispa, se pierde una cantidad de energía, que depende de la presión/temperatura/ composición del gas en la cámara 32 mostrada en la figura 1 que tiene un pistón móvil 33. Después de un ciclo de descarga de condensador como se ha descrito anteriormente, al menos parte de la energía restante es transferida o realimentada al lado primario del transformador 46, y se puede medir en el condensador C1, después de apagar el MOSFET 48. Si se usa la energía de adición armónica mencionada anteriormente, la cantidad de energía transferida o realimentada a la fuente de energía 58 también puede medirse. Sin embargo, solo es posible medir en el lado primario la pérdida de energía en el efecto corona, si la pérdida de energía en el bobinado secundario no es demasiado grande. Los circuitos de excitación anteriores también son necesario para usar de manera óptima la bujía de encendido alternativa para combustión, para que la inductancia secundaria baja haga posible un tiempo de subida de tensión muy rápida para la descarga de efecto corona en diferentes circunstancias.

40 Si se suministra una tensión en los electrodos después de la generación del efecto corona y que es demasiado pequeña para sostener el efecto corona, el efecto corona se extinguirá, y la carga que es separada por el efecto corona se desplaza a los electrodos debido a la tensión suministrada. Este desplazamiento de carga entre los electrodos produce una corriente en el circuito secundario, el cual puede medirse para proporcionar una indicación de la presión del gas o la composición del gas en la cámara.

45 Si la longitud del orificio  $d$  aumenta, la tensión de ruptura se reducirá, pero la tensión de umbral de ionización en el cual empieza el efecto corona, debería permanecer sustancialmente igual. La energía almacenada en el condensador de electrodos en la tensión de ionización permanecerá de este modo igual, pero la energía necesaria para crear una chispa y la energía necesaria para inflamar el gas aumentarán.

55 Aumentando  $d$ , es por lo tanto posible realizar una bujía de encendido de manera que la energía almacenada en el condensador de electrodo a la tensión de ionización sea inferior a la energía requerida para crear una chispa y también inferior a la energía requerida para inflamar el gas. Obsérvese que en la bujía de encendido convencional,

la tensión a la cual se forma un efecto corona es normalmente muy próxima a la tensión de ruptura para crear una chispa. Debido a que en una bujía de encendido se almacena convencional más de 5 mJ de energía en el condensador de electrodos a estas tensiones, se formará una chispa y la energía se disipará en el plasma, posiblemente inflamando el gas.

5 De este modo, la bujía de encendido puede configurarse de manera que la energía almacenada en el condensador de electrodo a un umbral de descarga de efecto corona en cualquiera de los electrodos es sustancialmente inferior a la energía requerida para crear una chispa en la distancia disruptiva entre electrodos; y el procedimiento puede comprender la etapa de accionar los electrodos con una señal de tensión para generar dicho efecto corona, o para generar dicho efecto corona antes de formar una chispa en la distancia disruptiva entre electrodos.

10 La señal de tensión puede ser una señal de tensión de tiempo de subida rápido, que es un borde de un único impulso de tensión y un borde de una onda continua. El tiempo de subida de la tensión de tiempo de subida puede ser suficientemente alto para generar un efecto corona positivo o negativo en uno o ambos de los electrodos. El tiempo de subida puede ser superior a 100 kV/μs.

15 En otra forma del procedimiento, una amplitud de la señal de tensión puede ser una inferior, igual o superior a una tensión de umbral de efecto corona positiva o negativa de la sustancia en una región de la distancia disruptiva entre electrodos. La amplitud de la señal de tensión puede ser una inferior, igual y superior a una tensión de ruptura de la distancia disruptiva entre electrodos.

20 El procedimiento puede comprender la etapa de variar un nivel de potencia de salida de un circuito de excitación para los electrodos entre un primer nivel inferior apropiado para crear una descarga de efecto corona para las mediciones, y un segundo nivel superior para formar una chispa y transferir energía para encendido. El segundo nivel de potencia puede ser dependiente de los resultados de las mediciones. De este modo, un periodo de tiempo entre la creación del efecto corona y la formación de la bujía puede ser indefinido porque no se crea nunca una chispa o porque se puede seleccionar.

25 Estos datos medidos se pueden usar para determinar una o más de presión de cámara, posición del pistón, parámetros de precombustión, parámetros de combustión y parámetros de postcombustión en la cámara, para abrir posibilidades tales como temporización mejorada, sistema de control de transferencia de energía mejorada, información de sistema para posibles fines de control de motor y temporización automática.

30 Un procedimiento para temporización automática es usar múltiples descargas de efecto corona de baja energía y medir la velocidad de cambio de la energía transferida de vuelta al lado primario. Cuando el gas está próximo a la compresión máxima, la velocidad de cambio se volverá pequeña. Cuando la velocidad de cambio es inferior a un umbral, el gas se inflama.

35 Estos sistemas y procedimiento de control se pueden implementar usando los circuitos de excitación anteriores, el transformador de alta frecuencia de baja pérdida y una bujía de encendido apropiada. El nivel de potencia del circuito de excitación puede ser ajustable o variable entre un primer nivel de potencia en el que se crea una descarga de efecto corona para mediciones como se ha descrito anteriormente y un segundo nivel superior en el cual se inflama el gas. El control y la medición de potencia pueden realizarse mediante un circuito de control situado en el interior del alojamiento 28. El controlador puede estar integrado con el circuito de excitación. Esto elimina la necesidad de un disparador externo 40 conectado al alojamiento. También se pueden eliminar otros mecanismos que actualmente se usan para detectar la posición del pistón para determinar el tiempo de chispa. El controlador puede comprender una disposición de microprocesador y memoria asociada en la que se pueden almacenar datos relacionados con tiempo/duración de chispa y/o niveles de energía y/o potencia para diferentes condiciones de combustión. El controlador puede conectarse a o puede formar parte de un sistema de gestión central de energía.

45 Se pueden usar sistema de control más sofisticados para calcular la duración/tiempo de chispa y la energía basándose en las mediciones de cámara de combustión. La duración y energía de tiempo de chispa para diferentes condiciones de cámara de combustión se puede medir por adelantado para un cierto motor y programarse en el controlador.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un sistema de encendido que comprende
- una bujía que tiene un primer extremo que define una distancia disruptiva entre un primer electrodo y un segundo electrodo;
  - un transformador que comprende un bobinado primario y un bobinado secundario, siendo el acoplamiento electromagnético entre el bobinado primario y el bobinado secundario inferior al 80%, teniendo el bobinado secundario una resistencia inferior a 1 k $\Omega$  y una inductancia inferior a 0,25 H y que está conectado con el primer electrodo en un circuito secundario que tiene una frecuencia de resonancia, y
  - un circuito de excitación conectado al bobinado primario y dicho circuito de excitación comprende un oscilador de potencia configurado para oscilar a la frecuencia de resonancia del circuito secundario y para transferir energía al circuito secundario durante ciclos sucesivos de oscilación, hasta que se alcanza una tensión de ruptura de la distancia disruptiva.
- 2.- Un sistema de encendido según la reivindicación 1, en el que el circuito secundario está conectado a una fuente de energía.
- 3.- Un sistema de encendido según la reivindicación 2, en el que la fuente de energía es la misma que la fuente de energía para el circuito de excitación.
- 4.- Un sistema de encendido según la reivindicación 2, o la reivindicación 3, en el que fuente de energía comprende un dispositivo de almacenamiento de carga.
- 5.- Un sistema de encendido según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la fuente de energía comprende una fuente de alimentación limitada de tensión y/o corriente.
- 6.- Un sistema de encendido según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el circuito de excitación, el transformador y la bujía están todos situados en un único alojamiento con la distancia disruptiva expuesta en un extremo del alojamiento.
- 7.- Un sistema de encendido según la reivindicación 6, en el que la fuente de alimentación limitada de tensión y/o corriente está situada en el exterior del alojamiento y se puede conectar al alojamiento por cables que se extienden desde el alojamiento hacia un segundo extremo del alojamiento.
- 8.- Un sistema de encendido según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el acoplamiento electromagnético entre el bobinado primario y el bobinado secundario del transformador es inferior al 60%.
- 9.- Un sistema de encendido según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el transformador comprende un núcleo que tiene histéresis cuadrada.
- 10.- Un sistema de encendido según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la resistencia del bobinado secundario es inferior a 100  $\Omega$ .
- 11.- Un sistema de encendido según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la resistencia del bobinado secundario es inferior a 20  $\Omega$ .
- 12.- Un sistema de encendido según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la inductancia del bobinado secundario es inferior a 100 mH.

40

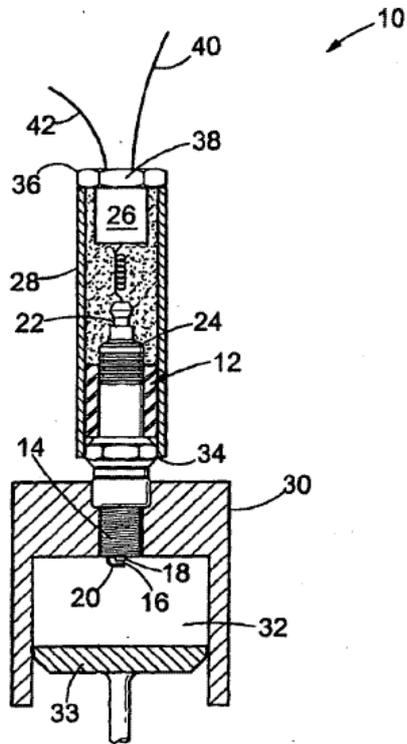


Figura 1

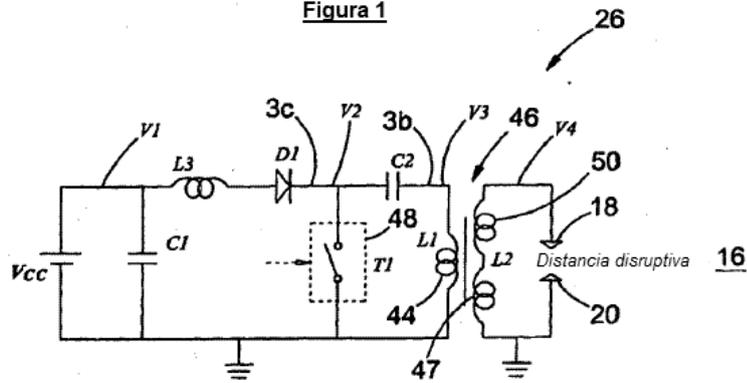


Figura 2

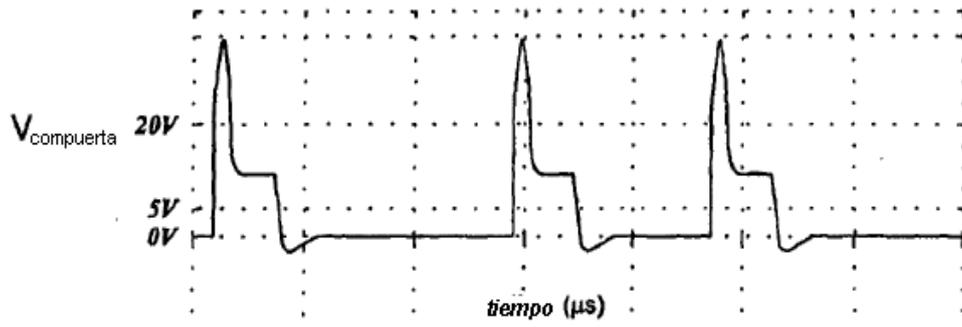


Figura 3(a)

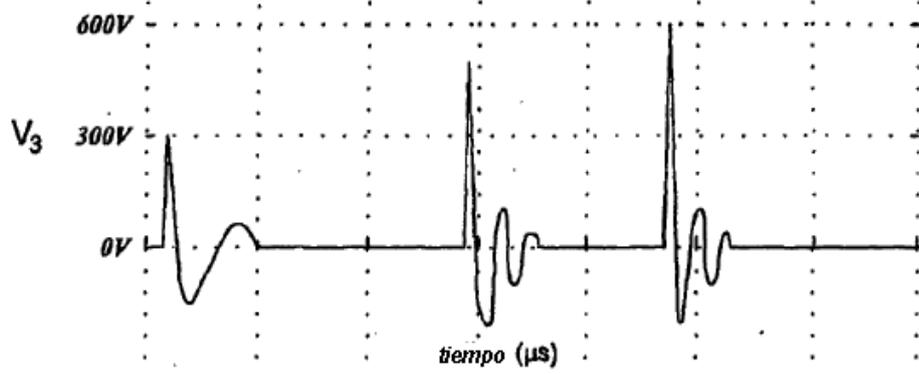


Figura 3(b)

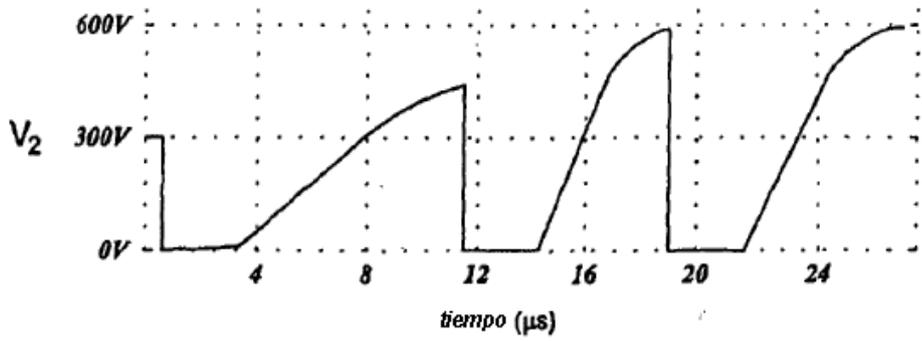
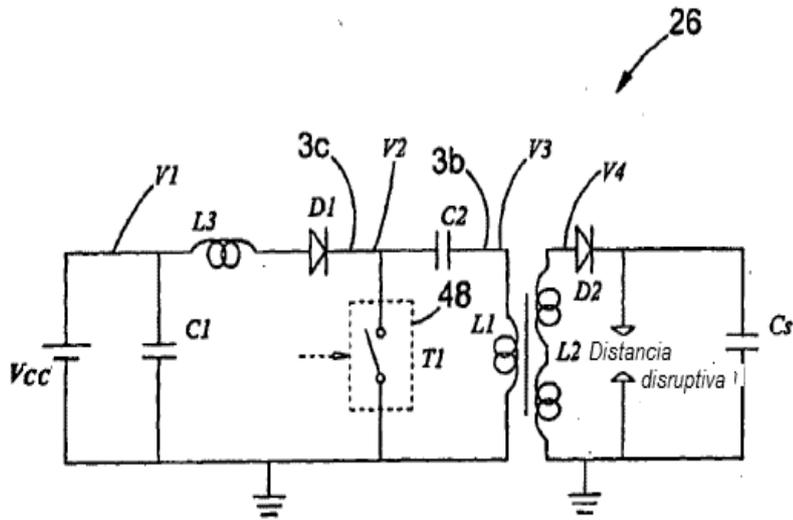
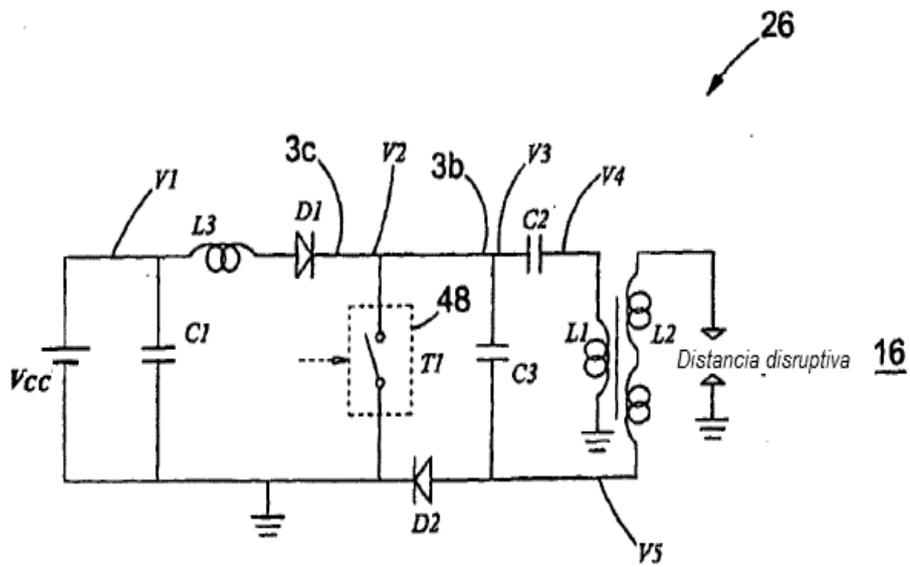


Figura 3(c)



**Figura 4**



**Figura 5**

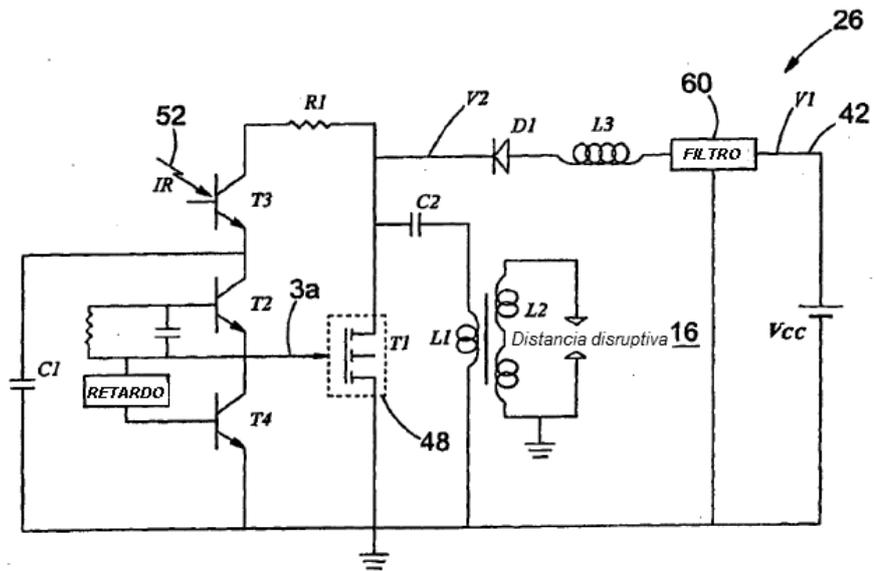


Figura 6

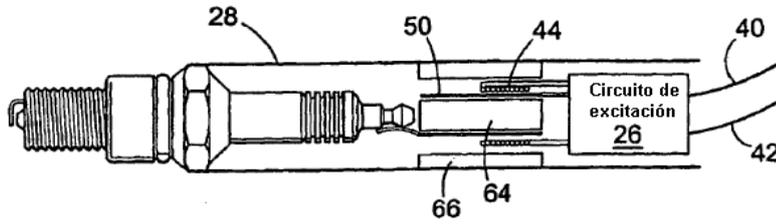


Figura 7

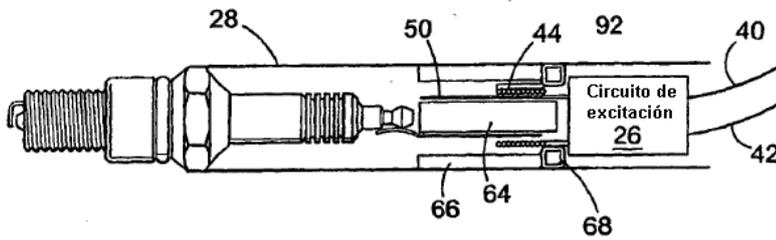


Figura 8

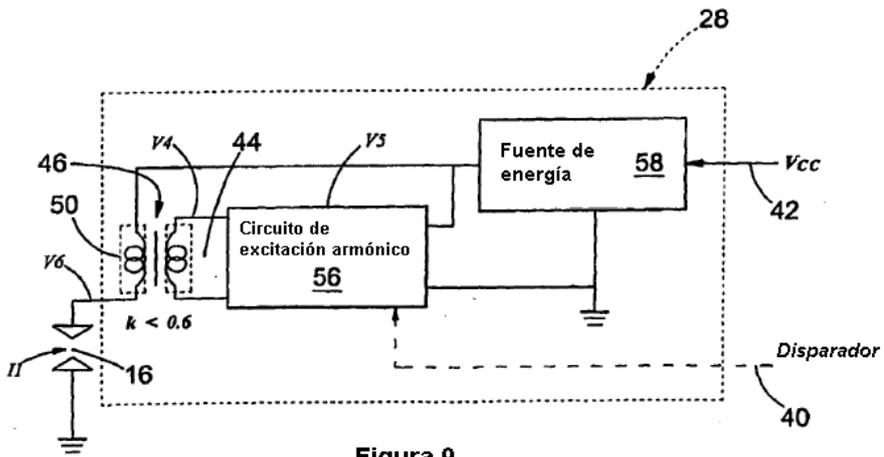
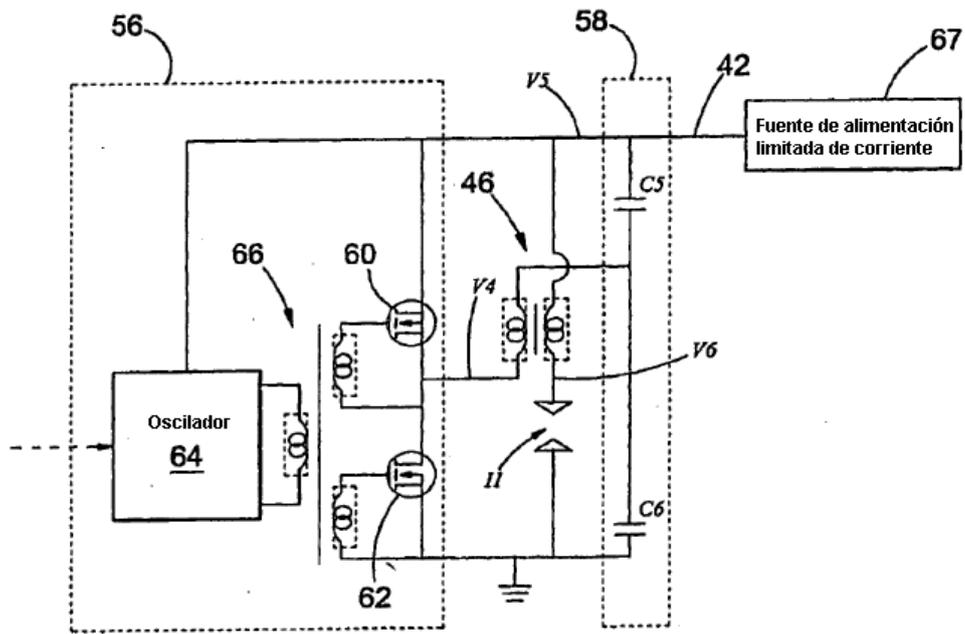
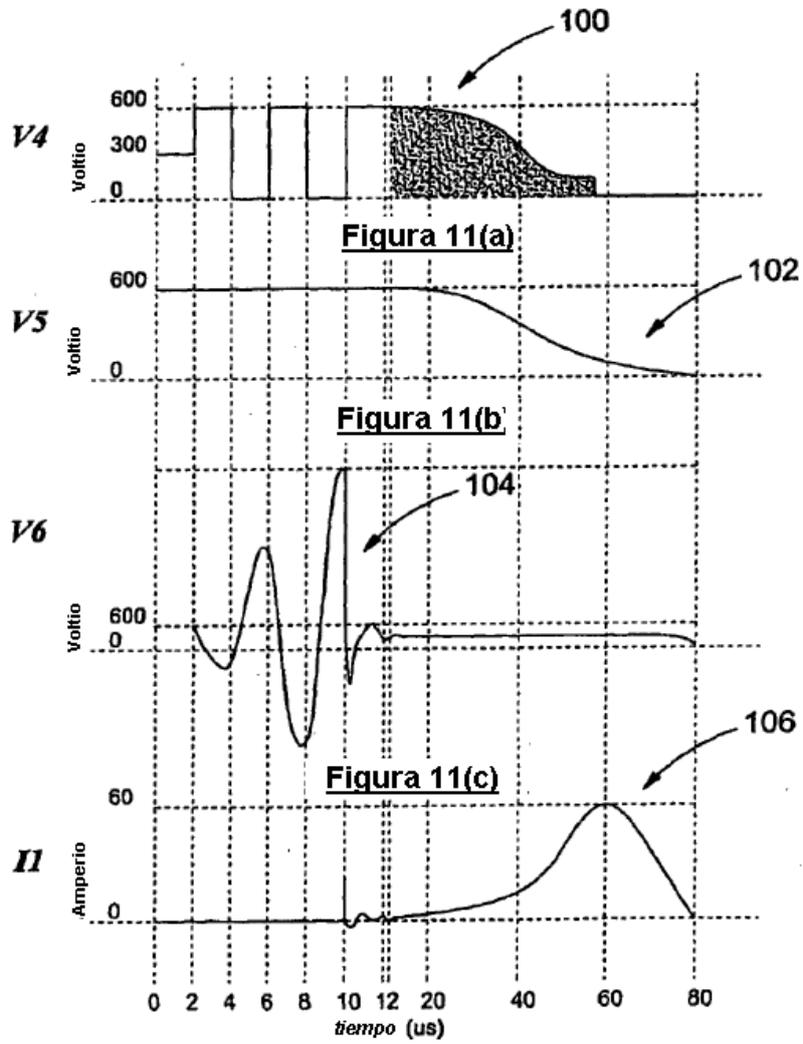


Figura 9



**Figura 10**



**Figura 11(d)**

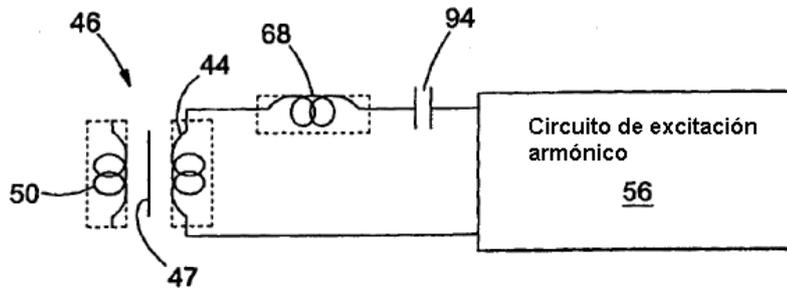


Figura 12

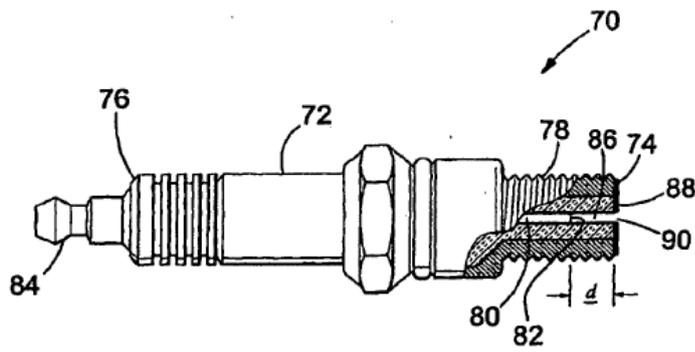


Figura 13