

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 455 742**

51 Int. Cl.:

H01T 13/44 (2006.01)

F02P 23/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2004** **E 10012339 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2014** **EP 2273632**

54 Título: **Bujía de generación de plasma de inductancia integrada**

30 Prioridad:

12.09.2003 FR 0310766

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

16.04.2014

73 Titular/es:

**RENAULT S.A.S. (100.0%)
13-15 quai Le Gallo
92100 Boulogne-Billancourt, FR**

72 Inventor/es:

**AGNERAY, ANDRÉ y
JAFFREZIC, M. XAVIER**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 455 742 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

Bujía de generación de plasma de inductancia integrada

La presente invención se refiere, de manera general, a la generación de plasma en un gas y, más particularmente, a las bujías de generación de plasma de inductancia integrada. La generación de plasma es particularmente utilizada para el encendido gobernado o controlado de motores de combustión interna por los electrodos de una bujía.

El encendido de los motores de combustión interna de gasolina, que consiste en iniciar la combustión de una mezcla de aire-combustible en una cámara de combustión del citado motor, está relativamente bien controlada en los motores actuales. En los motores de encendido controlado de inyección indirecta, tradicionalmente una bujía y un dispositivo electrónico aguas arriba permiten generar una chispa capaz de transmitir a la mezcla una energía suficiente para su combustión. La formación de esta descarga necesita tensiones de salto de chispa elevadas (del orden de 30 kV por mm), si bien que se limita el espacio entre electrodos de las bujías a aproximadamente 1 mm, distancia relativamente poco favorable a la iniciación de la combustión.

Para satisfacer las normas de descontaminación, los constructores de automóviles han desarrollado motores de encendido controlado, aptos para funcionar con mezclas de combustible pobres, es decir, que presentan un exceso de aire con relación a la cantidad de combustible inyectado. Estos desarrollos han sido aplicados en particular a los motores de inyección directa, en los cuales la inyección de carburante se efectúa directamente en la cámara de combustión.

Los dispositivos de encendido tradicionales se aplican bastante mal a motores de mezcla pobre y de inyección directa. En efecto, los dispositivos de encendido son entonces muy difíciles de poner a punto. Un frente de llama se propaga correctamente en una mezcla muy pobre (riqueza inferior a 0,3), pero la iniciación de la combustión precisa generalmente riquezas superiores a 0,7 y de preferencia para riquezas próximas a la estequiometría. Es por lo tanto primordial mantener una riqueza suficientemente elevada al nivel del espacio entre electrodos.

Se ha desarrollado por lo tanto la generación de mezclas estratificadas. Por oposición a la mezcla homogénea, en la que la riqueza es globalmente la misma en cualquier punto, una mezcla estratificada presenta una riqueza que disminuye a medida que se aleja de la bujía. La estratificación de la mezcla en la cámara de combustión es obtenida, por ejemplo, guiando el chorro de combustible de manera que el chorro encuentre la bujía en el momento en que se produce la chispa. El guiado del chorro es obtenido particularmente por medio de fenómenos aerodinámicos, generados, por ejemplo, por una forma apropiada del pistón.

Las mezclas estratificadas presentan varios problemas. Es delicado hacer coincidir el instante de la chispa y la presencia en la proximidad del espacio entre electrodos de una nube de mezcla que presente una riqueza próxima a 1, en un entorno de mezcla globalmente pobre. Además, la mezcla situada alrededor de la bujía en el momento de producirse la chispa presenta importantes defectos de homogeneidad de la riqueza, variables con el tiempo, que no garantizan la iniciación de la combustión en el momento en el que se produce la chispa. El tamaño y la dirección de la chispa de las bujías usuales implican entonces una tasa de fallos de encendido incompatible con las exigencias de rendimiento y de contaminación actuales. Por otra parte, el chorro de combustible incide con frecuencia de manera directa en la bujía, lo que origina un ensuciamiento del aislante de la bujía. Este ensuciamiento favorece las corrientes de fuga entre el electrodo central y la masa. La generación de chispas es afectada, ya que la chispa es cortocircuitada por una trayectoria carbonosa de pequeña impedancia, que reduce la diferencia de potenciales entre los electrodos de la bujía.

Las nuevas bujías de chispa de superficie producen chispas más grandes para tratar el problema del encuentro espacio-temporal. Se enciende de ese modo un volumen de mezcla superior. La probabilidad de iniciación de la combustión es entonces ampliamente aumentada en un motor de inyección directa de encendido controlado y mezcla estratificada. Dichas bujías son particularmente descritas en las solicitudes de patente FR97-14799, FR99-09473 y FR00-09473. Las bujías de ese tipo generan chispas de tamaño importante a partir de diferencias de potenciales reducidas. Las bujías de chispas de superficie presentan un dieléctrico que separa los electrodos en la zona en que la distancia que los separa es la más pequeña; se guían así las chispas formadas entre los electrodos sobre la superficie del dieléctrico. Estas bujías amplifican el campo entre electrodos en la superficie del dieléctrico. Se cargan para ello progresivamente las capacidades elementales formadas por el dieléctrico y un electrodo subyacente. Las bujías generan una chispa que se propaga a lo largo de la superficie del aislante en las zonas en que el campo eléctrico en el aire es el más fuerte. Un dispositivo de encendido de motor tradicional, acoplado a dichas bujías, genera típicamente chispas que presentan una longitud de 4 mm con tensiones de salto de chispa comprendidas entre 5 y 25 kV. Cuando la bujía presenta globalmente una simetría de revolución alrededor de su eje principal, la descarga tiene una probabilidad de aparición sensiblemente idéntica en cualquier lugar alrededor del aislante. Por el contrario, las bujías tradicionales generan un arco eléctrico que se produce sistemáticamente en un mismo volumen extremadamente reducido. Este procedimiento de encendido por generación de plasma presenta todavía inconvenientes. Se produce particularmente un paso del arco siguiendo una única línea. La iniciación de la combustión no es de ese modo óptima.

- Se conoce del documento US-B1-6 550 463 un sistema de generación de plasma, en el que se produce energía eléctrica para encender una chispa en una bujía de alumbrado por un método de "auto-inductancia", en el que un transformador produce una tensión a la bujía y una disminución abrupta de la corriente en el arrollamiento primario del transformador provoca una tensión de cebado y la fase de combustión se mantiene por medio de una transformación de la tensión resonante con una frecuencia resonante determinada por elementos inductivos y capacitivos. El generador no comprende amplificador.
- Existe por lo tanto un cuidado, que la invención se propone satisfacer, para crear una bujía de generación de plasma que resuelva uno o varios de estos inconvenientes.
- La invención se dirige así a un sistema de generación de plasma según las reivindicaciones 1 y 8, respectivamente.
- La expresión plasma ramificado utilizada en lo que sigue designa la generación simultánea de al menos varias líneas o caminos de ionización en un volumen dado, estando además sus ramificaciones en todas direcciones.
- Así como un plasma de volumen implica el recalentamiento de todo el volumen en el cual debe ser generado, el plasma ramificado no precisa más que el calentamiento en el trayecto de las chispas formadas. De ese modo, para un volumen dado, la energía requerida para el plasma ramificado es netamente inferior a la requerida para un plasma de volumen.
- La invención permite reducir las capacidades parásitas internas de una bujía de generación de plasma y obtener así una bujía que forma un resonador serie que presenta un coeficiente de sobretensión elevado. Esta bujía permite mantener una tensión de radiofrecuencia entre sus electrodos para la generación de un plasma.
- De manera general, se entenderá en lo que sigue por densidad elevada, cualquier densidad molar superior a $2,5 \cdot 10^{-3}$ mol/L. Se denominará densidad de combustión cualquier densidad molar de gas superior a $5 \cdot 10^{-2}$ mol/L. Se designará por streamer una punta de ionización positiva que se propaga desde el ánodo.
- Otras particularidades y ventajas de la invención se desprenderán de claramente de la lectura de la descripción que sigue, que está dada a modo de ejemplo no limitativo y con referencia a las figuras. Estas figuras muestran:
- Figura 1, un esquema de funcionamiento de una bujía de encendido por chispa de superficie;
- Figura 2, la representación de los campos aplicados y de la chispa generada entre los electrodos de la bujía durante la iniciación del encendido;
- La figura 3, un diagrama del campo electrostático entre los dos electrodos de la bujía durante la iniciación del encendido;
- La figura 4, una representación esquemática del desarrollo de un streamer por una única subida de tensión (campo local y campo global);
- Figura 5, una representación esquemática de un modo de realización del sistema de generación de plasma según la invención;
- La figura 6, un modelo eléctrico utilizado para el dimensionamiento del resonador serie;
- La figura 7, una variante en la cual el amplificador comprende un transformador de punto medio;
- La figura 8, otra variante del sistema en la cual el amplificador comprende un mando de transistor de potencia por un transistor bipolar;
- La figura 9, cronogramas de señales durante la excitación del resonador de la figura 7;
- Figura 10, los diferentes elementos de la alimentación de la figura 7 integrados en el mismo circuito;
- La figura 11, una representación esquemática de un bucle de realimentación incluido en el amplificador;
- La figura 12, una variante del sistema que comprende un bucle de realimentación y circuitos de generación de las primeras oscilaciones de tensión;
- La figura 13; otra variante del sistema que comprende un bucle de realimentación y circuitos de generación de las primeras oscilaciones de tensión;
- La figura 14, un ejemplo de transformador que forma una sonda de corriente del amplificador, realizado en un circuito impreso;
- La figura 15, un modo de realización de una inductancia en paralelo en un circuito impreso;
- La figura 16, otro modo de realización de una inductancia en paralelo en un circuito impreso;

La figura 17, una variante de un sistema que presenta una alimentación y un amplificador comunes para dos resonadores;

Las figuras 18 y 19, representaciones esquemáticas en sección de un ejemplo de bujía utilizable en el sistema de generación de plasma;

- 5 Las figuras 20 a 27, diferentes configuraciones de cabezas de bujía adaptadas para una excitación de radiofrecuencia.

La invención propone integrar en una bujía un resonador serie que presenta una frecuencia de resonancia superior a 1 MHz. Los electrodos de la bujía están conectados a los bornes de este resonador serie.

- 10 La figura 1 ilustra detalles de la estructura de una bujía de encendido de chispa de superficie para la cual la aplicación de una excitación de radiofrecuencia se muestra particularmente ventajosa. Se va a detallar previamente el funcionamiento de una bujía de esta clase.

- 15 La bujía de efecto de superficie 110 comprende una cabeza de bujía destinada a desembocar o sobresalir en una cámara de combustión practicada en la pared inferior de la culata de un motor. La bujía comprende un electrodo cilíndrico 103 de baja tensión que sirve de casquillo metálico destinado a ser roscado en un rebaje realizado en la culata del motor y que desemboca en el interior de la cámara de combustión. El casquillo 103 está destinado a ser conectado eléctricamente a la masa.

- 20 El casquillo 103 rodea a un electrodo de elevada tensión cilíndrico 106 dispuesto en posición central. El electrodo 106 está destinado a ser unido a un generador de una elevada tensión de encendido. El electrodo 106 está aislado del casquillo 103 por medio de un manguito aislante 100. El manguito aislante está constituido por un material cuya constante dieléctrica relativa es superior a 3, por ejemplo una cerámica. La bujía presenta un espacio 105 que separa el dieléctrico 100 y un extremo del electrodo 103.

El electrodo 106 y el manguito aislante 100 se extienden formando un saliente de una longitud l en el exterior del casquillo 103. Esta longitud l corresponde sensiblemente a la longitud de la chispa generada cuando se aplica una tensión elevada entre los electrodos 106 y 103.

- 25 El casquillo o electrodo de baja tensión 103 comprende, de una manera enteriza o en monobloque, un cuerpo y una pieza de enlace que soportan un collarín doblado 101. El collarín 101 presenta un borde biselado que se extiende hasta la proximidad inmediata de la superficie del aislante 100.

- 30 El dieléctrico 100 crea una amplificación de campo electrostático en el aire de su proximidad. La chispa generada entre el borde biselado del collarín 101 del casquillo 103 y un extremo libre 104 del electrodo central 106 se propaga en la superficie del aislante 100, allí donde es más fuerte el campo eléctrico en el aire.

- 35 La formación de una chispa es iniciada por el arranque en el medio de algunos electrones sometidos a un campo eléctrico importante. Durante la aplicación de una tensión importante entre los electrodos, son acelerados electrones desde el collarín por las fuerzas electrostáticas generadas y que chocan contra moléculas del aire. El extremo del collarín es la zona que sufre el campo electrostático más importante, y constituye por tanto el lugar de partida de la primera avalancha. Las moléculas de aire liberan un electrón y un fotón que ionizan a su vez otras moléculas de aire. Una reacción en cadena ioniza el aire en el espacio 105 entre el electrodo 103 y el dieléctrico 100. El espacio de gas 105 permite realizar una ionización previa con una diferencia de potenciales entre los electrodos 103 y 106 relativamente limitada.

- 40 Se crea así un canal conductor, como se ilustra en la figura 2. Las líneas discontinuas representan líneas equipotenciales del campo electrostático cuando se aplica una tensión elevada entre los electrodos 103 y 106.

- 45 La figura 3 representa un ejemplo de la amplitud del campo electrostático entre el extremo del collarín 101 y el extremo del electrodo 106, designando A el extremo del collarín y designando B el extremo 104 del electrodo 106. Una vez que el aire está ionizado al nivel del extremo del collarín, la ionización del aire crea una carga de espacio que presenta un potencial próximo al del collarín y que se comporta por lo tanto como una prolongación de este. Durante la propagación del frente de avalancha, el campo eléctrico es amplificado aguas arriba del frente y favorece la creación de nuevas avalanchas. El fenómeno se mantiene por sí mismo a lo largo del manguito 100, para crear un canal ionizado conductor hasta el extremo 104 del electrodo central.

- 50 En la bujía de la figura 1, el aislante está separado del electrodo 103 por un espacio de aire. Este espacio no es esencial para el funcionamiento de la bujía, pero facilita la fabricación de la bujía con un collarín que presenta un ángulo muy vivo en la proximidad de la superficie del aislante. Ello permite igualmente reducir la influencia de los fenómenos de ensuciamiento.

El fenómeno físico puesto en práctica gracias a la excitación de radiofrecuencia presenta similitudes con la propagación descrita anteriormente, pero permite mejorar considerablemente los efectos. La figura 4 representa esquemáticamente el campo electrostático durante la iniciación de una avalancha. Se puede observar allí que la

propagación de la avalancha está limitada por el campo local debido a la separación de los átomos y de sus electrones. Este campo local limita en particular la propagación de la descarga en longitudes importantes. La presente invención propone, entre otras cosas, una excitación eléctrica capaz de invertir la polaridad del campo global impuesto antes de que los electrones hayan podido recombinarse con los átomos presentes en el medio. En cada alternancia de la polaridad, los electrones son cada vez más acelerados en sentido inverso. Se propaga de ese modo una onda de polarización de manera oscilatoria a la frecuencia de excitación, recuperando en cada periodo las cargas depositadas en el periodo precedente. Cada alternancia produce entonces una propagación de onda más importante que la precedente; es de ese modo posible obtener chispas de longitudes muy importantes con amplitudes de tensiones relativamente limitadas entre los electrodos. La excitación de radiofrecuencia suprime igualmente las variaciones de tensión de salto de chispa entre ciclos sucesivos.

Para una aplicación al encendido de automóvil, el técnico en la materia utilizará electrodos y un aislante que presentan materiales y de una geometría adecuados para iniciar una combustión en una mezcla de una cierta densidad de combustión y para resistir un plasma así formado.

Un plasma formado de ese modo presenta numerosos intereses en el marco del encendido de automóvil: disminución sensible de la tasa de fallos de encendido en un sistema de mezcla pobre estratificada, reducción del desgaste de los electrodos y adaptación del volumen de iniciación del encendido en función de la densidad. Se constata que la excitación descrita está adaptada para realizar el encendido de una mezcla que presente una densidad superior a $5 * 10^{-2}$ mol/L. Para esta aplicación de encendido, el generador aplica la excitación entre 1,5 y 200 veces por segundo, con una relación cíclica de aplicación comprendida entre 10 y 1000, y de preferencia comprendida entre 72 y 720.

La excitación de radiofrecuencia descrita está igualmente adaptada a una aplicación de depósito de plasma, en un gas que presente una densidad comprendida entre 10^{-2} mol/L y $5 * 10^{-2}$ mol/L. El gas utilizado en esta aplicación puede ser típicamente nitrógeno.

La excitación de radiofrecuencia está además adaptada a una aplicación de descontaminación de un gas que presente una densidad comprenda entre 10^{-2} mol/L y $5 * 10^{-2}$ mol/L.

La excitación de radiofrecuencia está además adaptada a una aplicación de alumbrado que hace uso de un gas que presenta una densidad molar comprendida entre 0,2 mol/L y 1 mol/L.

Un sistema de generación de plasma contemplado comprende principalmente tres subconjuntos funcionales:

- un generador capaz de hacer resonar una estructura L-C a una frecuencia superior a 1 MHz con una tensión en los bornes del condensador superior a 5 kV, de preferencia superior a 6 kV.

- un resonador conectado a la salida del generador y que presenta un factor de sobretensión comprendido entre 40 y 200 y que presenta una frecuencia de resonancia superior a 1 MHz.

- una cabeza de bujía que comprende dos electrodos separados por un aislante, que permite generar un plasma durante la aplicación de la excitación de radiofrecuencia.

La figura 5 representa un modo de realización de un sistema 1 de generación de plasma y de su generador de tensión 2. El generador de tensión comprende, ventajosamente:

- una alimentación 3 de baja tensión (que genera una tensión continua inferior a 1000 v);

- un amplificador de radiofrecuencia 5, que amplifica la tensión continua y que genera una tensión alterna a la frecuencia controlada por medio del mando de conmutación 4.

La tensión alterna del amplificador 5 es aplicada al resonador LC 6. El resonador LC 6 aplica la tensión alterna según la invención entre los electrodos 103 y 106 de la cabeza de bujía.

La tensión suministrada por la alimentación 3 es inferior a 1000 V y la alimentación presenta de preferencia una potencia limitada. Se puede de ese modo prever que la energía aplicada entre los electrodos esté limitada a 300 mJ por encendido, por razones de seguridad. Se frena así igualmente la intensidad en el generador de tensión 2 y su consumo eléctrico. Para generar tensiones continuas superiores a 12 V en una aplicación al automóvil, la alimentación 3 puede comprender un convertidor de 12 Volt en Y Volt, siendo Y la tensión suministrada por la alimentación al amplificador. Se puede de ese modo generar el nivel deseado de tensión continua a partir de una tensión de batería. Al no ser la estabilidad de la tensión continua generada, a priori, un criterio determinante, se puede prever la utilización de una alimentación de corte para alimentar el amplificador, por sus capacidades de robustez y de simplicidad.

Se puede igualmente contemplar, según una variante, aplicar a los bornes del amplificador una tensión de 42 V obtenida en el circuito eléctrico del vehículo. Se trata, en efecto, del nivel de tensión que estará en vigor en los

futuros vehículos automóviles. Esta variante, al evitar la conversión de tensión por la alimentación 3, reduce sensiblemente el coste y la complejidad del generador de tensión 2.

5 Este generador de tensión permite concentrar las tensiones más elevadas sobre el resonador 6. El amplificador 5 trata así de las tensiones mucho más reducidas que las tensiones aplicadas entre los electrodos: se puede por lo tanto utilizar un amplificador 5 de un coste razonable y que presente características próximas a los componentes usuales para la producción de automóviles en serie, cuya fiabilidad está por otra parte probada. Además, un tal generador de tensión presenta un número de componentes relativamente reducido. Se dispone así de un sistema de generación de tensión que presenta una fiabilidad, un volumen, un peso y una facilidad de producción interesantes, en particular para grandes series en una aplicación a los automóviles.

10 El amplificador 5 permite acumular energía en el resonador 6 en cada alternancia de su tensión. Se utilizará de preferencia un amplificador 5 en clase E, tal como se detalla en la patente US-5 187 580. Un amplificador de este tipo permite hacer máximo el factor de sobretensión. Un tal amplificador realiza comunicaciones desfasadas con respecto al amplificador descrito en la patente US-3 919 656, que se propone realizar comunicaciones a tensión y/o intensidades nulas y no optimiza el factor de sobretensión del amplificador. El experto en la técnica asociará, por supuesto, un dispositivo de conmutación adaptado al amplificador elegido, para soportar las exigencias de elevaciones de tensión y presentar una velocidad de conmutación adecuada.

15 El amplificador en clase E comprende un resonador paralelo 62. Este resonador paralelo 62 está de preferencia realizado sobre la misma tarjeta que el amplificador 5 y su mando 4 de conmutación. El resonador paralelo 62 almacena temporalmente la energía suministrada por el amplificador 5, y suministra periódicamente esta energía al resonador serie 61. Por otra parte, con los valores de tensión de alimentación precisados se utilizará un amplificador 5 que presenta un coeficiente de sobretensión del orden de 3. Este coeficiente de sobretensión corresponde a la relación entre la tensión suministrada por la alimentación de baja tensión 3 y la amplitud entre crestas de la tensión aplicada al resonador serie. El coeficiente de sobretensión del resonador serie está en particular limitado por su ángulo de pérdida.

25 A continuación se expondrá un dimensionamiento preferencial de los elementos inductivos y capacitivos del resonador serie 61. La figura 6 ilustra un modelo eléctrico de este resonador. Así, la inductancia serie 65 presenta en serie una inductancia L y una resistencia Rs que tienen en cuenta el efecto de piel en el dominio de radiofrecuencia. El condensador 119 presenta en paralelo una capacidad C y una resistencia Rp. La resistencia Rp corresponde, dado el caso, a la disipación en la cerámica de la bujía. Cuando el resonador serie es alimentado por una tensión a su frecuencia de resonancia f_0 ($1/(2\pi \sqrt{L * C})$), la amplitud en los bornes de la capacidad C es amplificada en el coeficiente de sobretensión Q definido por la fórmula siguiente;

$$Q = \frac{1}{\frac{\sqrt{L}}{R_s} + \frac{R_p}{\sqrt{L}}}$$

De la ecuación $\omega_0^2 = (2\pi * f_0)^2 = 1/(L * C)$, se deduce que la ecuación siguiente debe ser verificada para obtener el valor máximo de Q:

35 $R_s * R_p = L / C$

Se van a tener en cuenta las condiciones siguientes:

- f_0 es del orden de 5 MHz;
- los valores R_s y R_p son constantes;
- R_p es inducido principalmente por el ensuciamiento de la cabeza de la bujía y tiene un valor medio de 50 k Ω ;
- 40 - R_s tiene un valor aproximado de 10 Ω teniendo en cuenta el efecto de piel.

Se deduce entonces $C = \frac{1}{\omega \sqrt{R_s * R_p}} = 45 \text{ pF}$ y $L = \frac{\sqrt{R_s * R_p}}{\omega} = 22 \mu\text{H}$

Otra modelización permite igualmente determinar estas características. La resistencia de la capacidad es modelada por el factor de disipación dieléctrica ($\tan(\delta) = 1/(R_p * R_c)$) en el material aislante de la cabeza de la bujía, que se considera constante y únicamente dependiente del material elegido.

El coeficiente de sobretensión se define entonces como sigue:

$$Q = \frac{1}{\frac{\sqrt{L}}{R_s} + \tan \delta}$$

El carácter máximo del coeficiente de sobretensión Q es entonces equivalente al carácter mínimo de $\sqrt{\frac{L}{C}}$. Se elige entonces de preferencia una capacidad C elevada y una inductancia L reducida.

- 5 Estas reglas de determinación se aplican cualquiera que sea el tipo de resonador serie utilizado y se aplican por tanto igualmente a la bobina-bujía descrita posteriormente.

10 Sin embargo, es necesario un compromiso en la elección de los valores para la variante utilizando un transistor MOS de potencia como interruptor, como se describe en lo que sigue. En efecto, la corriente que atraviesa el interruptor MOS crece entonces con la capacidad C. El valor de la capacidad C debe ser fijado por tanto en función de la corriente nominal del interruptor MOS.

15 Se van a describir ahora diversas variantes de amplificadores 5. De manera general, se utilizará de preferencia un amplificador que presente un transistor MOSFET de potencia como interruptor 51 que gobierna o controla las conmutaciones en los bornes del resonador 6. Las figuras 7 y 8 ilustran dos modos de realización de los amplificadores 5 que incluyen MOSFET M4, como interruptores 51. Las limitaciones de amplitud y de frecuencia correspondientes a la tensión a generar entre los electrodos pueden ser resueltas con un transistor MOSFET de potencia que presente las características siguientes: un aislamiento superior a 500 V, una capacidad en corriente de drenaje superior a 30 A, un tiempo de conmutación inferior a 20 ns (y de preferencia del orden de 10 ns en caso de utilización de un bucle de realimentación) y una capacidad de corriente de rejilla que llegue a 10A.

20 Este transistor MOSFET presentará igualmente, de preferencia, una inductancia inferior a 7 nH en sus uniones entre su superficie activa de silicio y el circuito impreso en el que está implantado. Se evitan de ese modo transitorios durante los picos de tensión elevados, que serían perjudiciales para las conmutaciones rápidas del transistor.

25 La figura 7 representa un primer modo de realización de un amplificador 5 que presenta un transistor de dicho tipo, de mando de conmutación, M4. Un transformador de punto medio 56 está interpuesto entre el mando 4 y el MOSFET de potencia M4. El MOSFET de potencia M4 puede ser de ese modo controlado muy rápidamente con una tensión simétrica capaz de bloquearlo eficazmente. En efecto, la aplicación de una tensión negativa a la rejilla del transistor MOSFET M4 permite compensar las sobretensiones causadas por la inductancia de unión de M4 con el resto del circuito. Se facilita de ese modo el bloqueo del transistor, tanto más cuanto que una tensión negativa permite descargar la capacidad de rejilla-drenaje de manera particularmente rápida.

30 El amplificador 5 representado comprende dos transistores intermedios M1 y M2 dispuestos para alimentar de manera alterna las bobinas L1 y L2 del primario del transformador de punto medio. Un circuito de control 57 aplica señales de mando o control respectivas a los transistores M1 y M2. Las señales de mando no se recubren temporalmente para evitar un corto-circuito en el primario. Las señales de mando presentan igualmente, de manera ventajosa, duraciones de activación sensiblemente iguales para evitar la corriente de magnetización en el transformador 56. Se puede igualmente compensar una desigualdad de los tiempos de activación por medio de un valor elevado de la inductancia de magnetización del transformador 56.

35 El cronograma de la figura 9 ilustra diferentes señales durante la excitación del resonador serie 61. La curva 91 representa la corriente que atraviesa el resonador serie 61. La curva 92 ilustra la tensión de rejilla del MOSFET M4. La curva 93 ilustra la tensión en la entrada del resonador serie 61.

40 Ventajosamente, el amplificador 5 se integra en el mismo circuito impreso 8. Se pueden de ese modo integrar el transformador 56, los transistores M1 y M4 y el circuito de control 57 en el mismo circuito impreso, según el esquema representado en la figura 10. Se obtiene así, con un coste reducido, un amplificador 5 muy compacto. Se reduce igualmente al mínimo la inductancia de fuga del transformador y las sobretensiones en los bornes de los transistores intermedios M1 y M2.

45 La parte izquierda de la figura 10 representa varios elementos del amplificador 5 y sus conexiones. La parte central de la figura 10 representa los transistores M1 y M2 y sus devanados respectivos L11 y L12. La parte derecha de la figura 10 representa esquemáticamente los diferentes elementos integrados en el circuito impreso 8. El conjunto formado por los transistores M1 y M4, y las bobinas L11, L12 y L2, está de preferencia dispuesto en un borde del circuito impreso 8. Los devanados pueden ser de ese modo dispuestos en el entrehierro de un toro hendido 81.

La figura 8 representa un segundo modo de realización de un amplificador 5 que presenta un transistor de mando de conmutación MOSFET M4. Las rejillas de los transistores M1 y M2 están unidas. Los transistores M1 y M2 conmutan por tanto simultáneamente. El transistor bipolar M3 está por tanto montado como seguidor. Cuando conducen M1 y M2, el transistor bipolar M3 está bloqueado y, en consecuencia, el transistor MOSFET M4 está así mismo bloqueado. Se utilizarán de preferencia dos transistores intermedios M1 y M2 que presenten las características siguientes: Una tensión de mando de 5 V, una intensidad nominal de 8 A a esta tensión, una resistencia R_{on} inferior a 150 miliOhms y un tiempo de respuesta inferior a 20 ns.

Como se representa en las figuras 11 a 13, se realiza ventajosamente una realimentación del amplificador 5 sobre la corriente de carga aplicada al resonador 6. En la práctica se busca realimentar un interruptor 51 que controla o gobierna las conmutaciones en los bornes del resonador 6. El amplificador 5 presenta de ese modo un dispositivo de medición 54 de corriente aplicada a la entrada del resonador 6. La consigna se aplica a una entrada 58 de un comparador. La señal de salida del comparador es aplicada a un dispositivo de amplificación 53 representado esquemáticamente. Se optimiza así el factor de sobretensión del amplificador 5 controlando el resonador 6 a su frecuencia apropiada a pesar de las derivas de comportamiento de los componentes. Se evita de ese modo el recurrir a componentes cuyo coste y la complejidad sean inapropiados para una producción en serie. La realimentación es, por ejemplo, realizada reinyectando en el amplificador 5 una tensión proporcional a la corriente que circula en la carga. Se puede igualmente aplicar una corrección de fase a la señal medida por intermedio del módulo de desfase 55.

En un transformador tal 54, combinado con un bucle de realimentación, la resistencia en paralelo R2 del secundario del transformador cumple preferentemente dos funciones de realimentación: la retroacción de una señal proporcional a la corriente en la carga, y el desfase de la intensidad que atraviesa la carga en función de su valor de resistencia.

Se utiliza ventajosamente un transformador 54 que presenta un valor de inductancia muy reducido (por ejemplo comprendido entre 10 y 20 nH) y cuyos arrollamientos soportan una corriente del orden de 10 A. La figura 14 presenta así un ejemplo de transformador realizado sobre un circuito impreso, lo que facilita la obtención de tales características. La parte izquierda de la figura 14 representa independientemente las capas útiles del circuito impreso. La parte derecha de la figura representa estas capas superpuestas y ensambladas. El elemento conductor 151 forma el primario de un transformador, y está dispuesto sobre una primera capa del sustrato 152. Este elemento conductor 151 está, en el ejemplo, realizado bajo forma sensiblemente filiar. Los elementos conductores 153 y 154 forman el secundario del transformador. Estos elementos conductores 153 y 154 están dispuestos sobre una segunda cara del sustrato 152, frente al elemento conductor 152. Los elementos 153 y 154 están realizados eléctricamente, por una parte según la línea de puntos y, por otra parte, por la resistencia 155. La resistencia 155 puede ser de ese modo utilizada para medir la corriente que atraviesa el elemento conductor 151 y para formar el módulo de desfase 55 descrito anteriormente.

Se adapta ventajosamente la realimentación del interruptor 51 que gobierna las conmutaciones en los bornes del resonador 6 descrito en lo que antecede a los modos de realización que presentan un transistor de mando de conmutación MOSFET de potencia como interruptor. Se puede así conmutar el transistor MOSFET M4 en los momentos óptimos.

Con el fin de que la estructura de realimentación produzca oscilaciones rápidamente, a pesar de una corriente de carga inicial nula, se dispone de diversas variantes ventajosas del sistema.

El resonador LC 6 comprende un resonador serie 61 y un resonador paralelo 62. El resonador serie 61 presenta una capacidad serie 119 y una inductancia serie 65. Según una primera variante, la estructura de realimentación comprende un oscilador astable 52 (por ejemplo un generador de almenas) para generar las primeras alternancia en la capacidad serie 119 y estabilizar las oscilaciones en régimen mantenido. Se prevé que la frecuencia del oscilador esté próxima a la frecuencia de la excitación generada entre los electrodos. La estructura de realimentación suma la señal de medición de corriente y la señal del oscilador astable 52 y permite así al amplificador en clase E realizar las conmutaciones en los momentos más favorables.

Por otra parte, la primera almena generada por el oscilador 52 es aproximadamente dos veces más corta que las siguientes: de ese modo se puede inicializar la corriente en la inductancia serie 65 al valor de esta corriente en régimen mantenido. El resonador paralelo 62 comprende una inductancia 621 y una capacidad 622 dispuestas en paralelo. Entonces son iguales todos los impulsos hacia los bornes de la inductancia 621 y de la capacidad 622. Se puede así evitar sobredimensionar el interruptor 51 y explotarlo de manera óptima.

La figura 12 representa una segunda variante. La señal de mando aplicada al interruptor 51 genera una almena de tensión de pequeña duración, es decir, del orden de 5 μ s, que inicia la primera alternancia en el resonador 6. La señal de realimentación controla a continuación el interruptor 51. El bucle de retroacción de la estructura de realimentación presenta una ganancia elevada. De ese modo, el impulso inicial que hace operativa la realimentación es suficientemente corto, y la corriente que atraviesa el interruptor 51 permanece razonable. De ese modo no es necesario sobredimensionar el interruptor 51 para realizar el arranque de la realimentación, en particular cuando el interruptor está formado de un transistor MOSFET de potencia.

Una combinación ventajosa del resonador paralelo 62 y del resonador serie 61 optimiza el funcionamiento del sistema cuando la frecuencia propia del resonador paralelo 62 es ligeramente superior a la del resonador serie 61. De ese modo, el impulso de tensión generado por el cierre del transistor interruptor M4 tiene una duración inferior al semi-periodo del resonador serie 61. De ese modo, el impulso durante el cierre del transistor interruptor M4 está anticipado por el diodo inverso interno del transistor M4 cuando la tensión de su drenaje vuelve a pasar por un valor nulo. Se prevé entonces que la relación entre las impedancias características respectivas del resonador paralelo 62 y del resonador serie 61 sea inferior a 100 y superior a 40. El valor inferior garantiza un buen coeficiente de sobretensión. El valor superior limita las corrientes en el transistor M4. Se utiliza típicamente una capacidad de 1 nF y una inductancia de 1 μ H para el resonador paralelo 62. La impedancia característica del resonador paralelo 62 tiene entonces un valor de aproximadamente 32 ohms.

Por otra parte, en el resonador paralelo 62, se puede considerar que las capacidades entre las espiras de la inductancia 621 serán despreciables con respecto a la capacidad del condensador 622. Se puede realizar por tanto la inductancia 621 bajo la forma de una superposición de pistas conductoras 623 sensiblemente circulares, realizadas sobre las capas superpuestas del circuito impreso. Ejemplos de estructuras de inductancias 621 sobre el circuito impreso están representados en las figuras 15 y 16. Los modos de realización de estas figuras permiten de ese modo realizar una inductancia 621 sin núcleo de ferrita. Se reduce así el coste y se mejoran los rendimientos de la inductancia 621.

En las figuras 15 y 16, los puntos gruesos representan puntos de conexión de las diferentes pistas. Los trazos verticales que unen los puntos de conexión representan uniones conductoras entre los puntos. Las pistas conectadas forman así una bobina. Ventajosamente, cada pista 623 está rodeada por un bucle cerrado 625, con el fin de reducir la radiación de la inductancia 621 formada por las pistas.

El esquema de la figura 15 representa una variante que presenta una capa superior y una capa inferior que no presenta pista de bobina. La capa superior y la capa inferior presentan cada una de ellas un borne de conexión 624 de la inductancia 621.

El esquema de la figura 16 representa una variante en la cual la capa inferior y la capa superior presentan cada una de ellas una pista de bobina y un borne de conexión. Las líneas curvas 626 que unen un punto de conexión con un borne de conexión 624 representan una unión eléctrica dispuesta sobre estas capas de circuito impreso.

A las frecuencias de trabajo del resonador 6 son importantes las pérdidas. Con el fin de limitar estas pérdidas, se limita de preferencia al máximo la presencia de materiales magnéticos en el resonador serie 61.

Se hace observar en lo que antecede que la mención de un resonador serie no implica forzosamente que el resonador incluya igualmente un resonador paralelo.

Como se ilustra en la figura 17, se puede contemplar una variante en la cual se utilice una alimentación y un amplificador comunes para dos resonadores 6 dispuestos en paralelo. Esta variante permite reducir el peso, el coste y la complejidad global del sistema de generación de tensión 1 para un motor de encendido controlado. A cada resonador 6 corresponde una cámara de combustión respectiva 141 y 142, estando las dos cámaras de combustión en oposición de fase. El amplificador 5 está gobernado de manera que la tensión de encendido sea generada a la vez durante la compresión y durante la expansión para cada cámara de combustión. En efecto, la compresión en una cámara 141 está sincronizada con la expansión 142 en la otra. Durante la generación de la tensión, el salto de chispa en la cámara en expansión 142 es mucho más rápido que en la cámara en compresión 141. En efecto, la densidad de gas en la cámara en expansión es mucho más pequeña que la densidad en la cámara en compresión. La resistencia de descarga equivalente de la cámara en expansión 142 es de ese modo mucho más elevada que la de la cámara en compresión. La bujía presente en la cámara de compresión prosigue entonces su ascenso en tensión hasta el salto de chispa. La densidad del gas en la cámara en expansión es suficientemente pequeña para que no se modifique de manera preocupante el coeficiente de sobretensión en la cámara de compresión: la generación de la chispa en la cámara en compresión es de ese modo poco perturbada por la generación de la tensión en la otra cámara.

La figura 18 representa una vista en sección de una bujía que integra ventajosamente un resonador serie 61. La bujía 110 presenta un borne de conexión 131 conectado a un primer extremo del devanado inductivo 112. El segundo extremo del devanado inductivo 112 está conectado a un extremo interno del electrodo de alta tensión 106. Este extremo está igualmente en contacto con un elemento aislante 111 que forma el condensador.

Los electrodos 103 y 106 están en este ejemplo separados por el material dieléctrico 100 destinado a guiar las chispas entre estos electrodos. El resonador serie 61 integrado en la bujía 110 comprende el devanado inductivo 112 y el elemento aislante 100 que forman igualmente el condensador entre los electrodos 103 y 106. El condensador y el devanado inductivo 112 están dispuestos en serie. La capacidad serie del resonador serie 61 está formada por el condensador y las capacidades parásitas internas de la bujía. Esta capacidad 119 está dispuesta en serie con una inductancia 65 para formar el resonador serie 61. Siendo de ese modo reducida la longitud de la conexión entre la inductancia y el condensador, se reducen las capacidades parásitas en la bujía. De ese modo es fácil obtener un coeficiente de sobretensión del resonador serie comprendido en el margen preferencial de 40 a 200 descrito

anteriormente. La bujía 110 es de ese modo utilizada para mantener la tensión alterna entre los electrodos 103 y 106, en el dominio de frecuencia deseado.

El resonador serie integrado en la bujía presenta de preferencia un devanado único 112, lo que facilita la fabricación de una tal bujía.

5 Es necesario un número de espiras importante en el devanado único 112 para obtener una inductancia del orden de 50 μH (orden de tamaño detallado en lo que sigue). Ahora bien, un número de espiras importante genera capacidades parásitas. El devanado inductivo único 112 presenta de preferencia un eje (identificado por la línea de trazo mixto) y está constituido por una pluralidad de espiras superpuestas según su eje. Se ha de entender así que la proyección de una espira es idéntica a la proyección de todas las espiras según este eje. Se limitan entonces las capacidades parásitas no superponiendo espiras radialmente.

10 La bujía comprende además, ventajosamente, un blindaje 132 conectado a una masa que rodea el blindaje inductivo 112. Las líneas de campo son así nuevamente encerradas en el interior del blindaje 132. El blindaje 132 reduce de ese modo las emisiones electromagnéticas parásitas de la bujía 110. El devanado 112 puede en efecto generar campos electromagnéticos intensos con la excitación de radiofrecuencia que se contempla aplicar entre los electrodos. Estos campos pueden perturbar particularmente sistemas a bordo de un vehículo o rebasar umbrales definidos en las normas de emisión. El blindaje 132 está de preferencia constituido por un material no ferroso de conductividad elevada, tal como el cobre. Se puede utilizar particularmente un bucle conductor como blindaje 132.

15 Para un blindaje 132 y un devanado único 112 cada uno de los cuales presenta una forma globalmente cilíndrica, la relación óptima entre sus diámetros tiene el valor del número de Euler, es decir, aproximadamente 2,72, si se quiere reducir al mínimo el campo eléctrico máximo generado en la superficie de las espiras. Se evitan de ese modo fenómenos de salto de chispa en el origen de disipaciones de energía en la bujía. Se elegirá entonces de preferencia una relación entre sus diámetros comprendida entre 2,45 y 3.

20 La utilización de dos devanados 112 arrollados uno sobre otro y conectados en paralelo permite reducir la resistencia del devanado formado. El efecto de piel, que aumenta de manera importante la resistencia del devanado en el dominio de la radiofrecuencia, es minimizado por el arrollamiento uno sobre otro de estos dos devanados. Si se quiere reducir al mínimo la longitud del devanado 112 para una inductancia predeterminada, la relación óptima entre el diámetro del blindaje 132 y del devanado 112 tiene un valor de $\sqrt{2}$ enrollando uno sobre otro dos devanados 112 conectados en paralelo por sus extremos. Los dos devanados enrollados uno sobre otro presentan diámetros de arrollamiento ligeramente diferentes y por tanto inductancias ligeramente diferentes, lo que puede perturbar el funcionamiento de la bujía en el dominio de la radiofrecuencia. Se ha determinado que para el valor $\sqrt{2}$ citado anteriormente, la diferencia de las inductancias no perturba el funcionamiento de la bujía en el dominio de la radiofrecuencia. En ese caso se elegirá de preferencia una relación de diámetros comprendida entre 1,35 y 1,5.

30 El devanado 112 y el blindaje 132 están de preferencia separados por un manguito de aislamiento 133 de un material dieléctrico apropiado, con el fin de reducir incluso el riesgo de salto de chispa o de efluvo, en el origen de disipaciones de energía. Se ha de entender que cuanto más débiles son las disipaciones de energía, más elevada es la amplitud de la tensión aplicada entre los electrodos y mayor es la duración de vida de la bujía. El material dieléctrico puede ser, por ejemplo, una de las resinas de silicona comercializadas bajo las referencias Elastosil M4601, Elastosil RTV-2 o Elastosil RT622 (presentando esta última una tensión de salto de chispa de 25 kV/mm y una constante dieléctrica de 2,8). Se puede prever que la superficie exterior del manguito 133 esté metalizada para constituir el blindaje 132 anteriormente citado.

De manera general, se dará preferencia a un arrollamiento de devanado 112 alrededor de un elemento macizo 134 realizado de material aislante y no magnético. De ese modo se reducen todavía más los riesgos de salto de chispa y de las capacidades parásitas.

35 El conjunto de los materiales dieléctricos es de preferencia fuertemente desgasificado (debullé), con el fin de reducir más los riesgos de salto de chispa. El conjunto de los materiales dieléctricos de la bujía presenta de preferencia temperaturas de fusión superiores a 150° C.

40 De manera general, cuando la bobina-bujía comprende varios elementos aislantes unidos, existe el riesgo no despreciable de crear inclusiones de aire en la interfaz entre estos elementos, particularmente cuando están realizados de cerámica. Ahora bien, por razones de construcción, se contempla que la bobina-bujía comprenda, en la mayor parte de los casos, varios elementos aislantes unidos. En particular, la unión entre el aislante 134 de la bobina y el aislante 111 de la cabeza de bujía constituye igualmente, por las mismas razones de efluvo, una fuente de disipación muy importante. La técnica anteriormente citada puede, de acuerdo con un nuevo modo de realización, crear equipotenciales que previenen la formación de descargas eléctricas.

45 La figura 19 representa una sección de un elemento aislante 111 de cabeza de bujía, que resuelve igualmente este problema. Este elemento aislante 111 está dispuesto para ser asociado a un elemento aislante 133 bajo la forma de resina de silicona. Este elemento aislante 111 presenta una sección no circular y está incluido en una pieza circular

136 que pertenece al cátodo 103. De ese modo, este elemento forma pasos destinados a dejar fluir la resina de silicona durante su inyección. De ese modo la resina de silicona puede eliminar la mayor parte de las inclusiones de aire de la superficie de los elementos aislantes.

5 El material dieléctrico utilizado para el aislante 100 puede ser, por ejemplo, una cerámica a base de aluminio, de nitruro de aluminio, de óxido de aluminio o de carburo de silicio.

A las frecuencias de trabajo del resonador serie, las pérdidas son importantes. Con el fin de eliminar estas pérdidas, el experto en la técnica limitará al máximo la presencia de material magnético en el resonador serie.

10 Según una variante particularmente ventajosa, ilustrada en la figura 18, la bujía 110 presenta además un arrollamiento de medición de corriente 139 que cumple la función del módulo 54. Este arrollamiento 139 comprende varias espiras que rodean el devanado 112. El arrollamiento 139 está de preferencia dispuesto en la proximidad del conector 131 y a una cierta distancia de la bujía, en una zona en la que las tensiones son relativamente bajas.

La bujía de la invención puede integrar un cierto número de otras características, como la junta de asiento 130 de la figura 18, dispuesta contra un escalón del cátodo 103, y destinada a asegurar la estanqueidad de la culata al nivel de la lumbrera de la bujía.

15 La cabeza de bujía es la parte de la bujía que está situada en el gas en el que se ha de formar el plasma. Esta cabeza de bujía comprende preferentemente tres elementos: un electrodo central 106, un electrodo de masa 103 y un aislante 100. La geometría de estos elementos es determinante para asegurar la formación del plasma del volumen o del plasma ramificado en el lugar deseado de la cámara, con las propiedades óptimas, particularmente para el encendido (volumen importante, transferencia de energía óptima hacia el gas, etc.).

20 Las figuras 20 a 27 ilustran diferentes configuraciones de cabezas de bujías, ventajosamente incluidas en bujías adaptadas para generar un plasma entre sus electrodos y adaptadas para ser alimentadas por una excitación de radiofrecuencia.

25 La figura 20 presenta un primer grupo de variantes de cabezas de bujías, a las que se denominará bujías de propagación capacitiva. Estas geometrías de cabezas de bujía presentan un cátodo 103 parcialmente recubierto por el aislante 100 en el eje de la bujía. Esta geometría genera una propagación capacitiva de la chispa sobre la superficie del aislante 100.

La figura 20.I representa una geometría de cabeza de bujía en sí conocida. En esta figura se constata que el cátodo 103 sobresale axialmente más allá del aislante 100. Se constata igualmente que existe un trayecto directo en el aire entre el ánodo 106 y el cátodo 103. Se puede formar un arco eléctrico que siga ese trayecto directo.

30 Las geometrías de las figuras 20.II y 20.III generan un mejor reparto del plasma en la superficie del aislante 100. Alargando el camino de aire que une los dos electrodos, se reduce la probabilidad de formación de un arco. Se crean así descargas de múltiples direcciones entre los electrodos. El plasma se distribuye más uniformemente alrededor de la bujía y se aumenta el volumen de gas con el que se pone en contacto. Se disminuye igualmente el efecto de propagación capacitivo entre los electrodos; el plasma puede ser de ese modo generado a una distancia mayor de la superficie del aislante.

35 En la variante de la figura 20.II, el cátodo 103 no sobresale axialmente con respecto al aislante 100. El aislante 100, el cátodo 103 y el ánodo 106 forman una superficie sensiblemente plana, evitando la formación de un arco eléctrico entre el ánodo 106 y el cátodo 103.

40 En la variante de la figura 20.III, el aislante 100 está sobresaliendo axialmente con respecto a los extremos de los electrodos 103 y 106. Ello permite alargar todavía más el camino de aire entre los electrodos 103 y 106. La parte saliente del aislante 100 forma una prominencia redondeada.

La variante de la figura 21 se propone reducir el efecto capacitivo. Así, en la cabeza de bujía, el cátodo 103 no se extiende radialmente bajo el aislante 100.

45 Para alargar el camino de aire entre el cátodo y el ánodo, el cátodo 103 de esta variante está dispuesto axialmente retraído con respecto al aislante. El electrodo central o ánodo 106 está dispuesto a los haces con el aislante.

La figura 22 propone realizar una cavidad o un rebaje 120 en el aislante con el fin de amplificar el fenómeno de despolarización. El ánodo 106 presenta igualmente una sección creciente hacia su extremo, al nivel del rebaje 120. De ese modo, en el rebaje, la sección final del ánodo 106 es superior a la sección intermedia. Se crea así axialmente un vacío 121 entre el extremo del ánodo y el aislante 100, que amplifica localmente el campo eléctrico.

50 De manera general, las variantes pretenden evitar la formación de un arco directo entre los electrodos para que funcionen de manera óptima en combinación con la excitación de radiofrecuencia. La excitación de radiofrecuencia permite en efecto alargar y curvar la trayectoria de las chispas.

Las figuras 23 a 25 presentan ejemplos de bujías con efecto de punta, caracterizadas por una parte de ánodo puntiaguda que sobresale axialmente con respecto a un extremo axial del aislante y con respecto al cátodo.

5 La figura 23 representa un modo de realización preferencial de una cabeza de bujía con efecto de punta. El ánodo 106 está constituido por un alma 1061 y por una vaina 1062. El alma 1061 está realizada, por ejemplo, de cobre con el fin de favorecer la evacuación del calor a lo largo del ánodo 106. De ese modo se reduce la erosión electroquímica del extremo del ánodo. La vaina 1062 puede ser realizada de cualquier material apropiado, tal como el níquel.

La figura 24 representa varios ejemplos de cabezas de bujías de efecto de punta. Estas bujías presentan de ese modo un electrodo de masa 103 retraído axialmente con respecto al aislante 100, con el fin de reducir el efecto capacitivo. El extremo sobresaliente del ánodo 106 presenta igualmente una forma puntiaguda.

10 Cada uno de los ejemplos 24.II a 24.IV presenta un cátodo 103 situado de modo que forma una parte retraída axialmente 122 en la proximidad del aislante 100. Esta parte retraída 122 presenta además una forma redondeada. Se aumenta así la capacidad de la bujía para generar una chispa ramificada. Se reduce en efecto la probabilidad de que se propague un plasma únicamente a la superficie del aislante. El plasma tiene así tendencia a repartirse en un volumen distante de la superficie del aislante 100.

15 Los ejemplos 24.III y 24.IV presentan un aislante 100 cuyo extremo presenta una forma redondeada 123, con el fin de reducir sus tensiones internas. Estas tensiones están vinculadas a los niveles elevados de los campos eléctricos y de los gradientes de temperatura en la proximidad del extremo del aislante 100.

20 El ejemplo de la figura 24.IV comprende un ánodo 106 cuyo extremo axial 1063 presenta varias puntas. Se genera así un número más grande de chispas durante la excitación y se reparte la erosión del ánodo 106 en el conjunto de las puntas utilizadas.

25 Las bujías de efecto de punta pueden generar accidentalmente arcos eléctricos entre el ánodo 106 y el pistón, cuando la distancia entre el pistón y la cabeza de la bujía es pequeña. Estos arcos erosionan prematuramente la punta del ánodo 106 e impiden la formación del plasma de volumen o de plasma ramificado. La cabeza de bujía de la figura 25 presenta de ese modo una solución a este problema. La punta del ánodo 106 está así dispuesta en un refrentado 124 dispuesto en el aislante 100. Con el fin de reducir el campo eléctrico en la interfaz entre el ánodo 106 y el aislante 100, se prevé de preferencia un refrentado y un ánodo de formas cilíndricas y que presentan diámetros cuya relación es igual al número de Euler. Se prevé así de preferencia que la relación de sus diámetros esté comprendida entre 2,45 y 3. En la figura 25 se aprecia igualmente que el aislante 100 sobresale axialmente con respecto a la punta del ánodo 106. El aislante 100 presenta igualmente un borde 125 que sobresale axialmente con respecto al cátodo 103.

35 Las figuras 26 y 27 ilustran cabezas de bujías de barreras dieléctricas a las que se designará en lo que sigue por bujías tuertas. A la altura de la cabeza de bujía, el ánodo 106 está recubierto íntegramente por el aislante 100. Este tipo de bujías tuertas permiten particularmente eliminar la formación de un arco eléctrico entre el ánodo y el pistón, y eliminar la erosión del ánodo. La duración de vida útil de la bujía es de ese modo muy aumentada, y puede igualar la duración de vida útil de un motor térmico sin necesidad de mantenimiento. Tales bujías funcionan únicamente debido al carácter capacitivo del aislante 100.

40 El funcionamiento de una bujía tuerta se hace posible por la utilización de la excitación de radiofrecuencia. La aplicación de una excitación de radiofrecuencia entre los electrodos de una bujía tuerta es por otra parte particularmente ventajosa. La excitación de los electrodos forma cargas de espacio sobre la superficie exterior del aislante. El aislante 100 se comporta entonces como un ánodo y se genera un plasma de volumen o un plasma ramificado en la superficie del mismo. A pesar de que el aislante presenta una carga relativamente reducida, la excitación de radiofrecuencia permite generar un gran número de chispas en la superficie del aislante en un tiempo muy reducido. Se puede prever en esta variante que el aislante 100 forme el condensador del resonador. Se reduce así la energía disipada en la bujía.

45 Según una variante ilustrada en la figura 27, se puede igualmente considerar la utilización de una culata de motor térmico como electrodo de masa. El coste y la complejidad de la bujía se pueden de ese modo reducir considerablemente. En la bujía tuerta de la figura 27, el cátodo está constituido por la culata.

50 Se puede así mismo integrar la bujía en la culata del motor térmico, utilizando todavía la culata como cátodo de la bujía. El experto en la técnica tomará entonces cualquier medida adecuada para que la duración de la vida útil de la bujía sea al menos igual a la duración de la vida útil del motor térmico.

Por otra parte, aunque las cabeza de las bujías representadas tienen una simetría de revolución alrededor de su eje, se pueden igualmente prever cabezas de bujía que presenten otras geometrías, dentro del marco de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de generación de plasma, caracterizado por que comprende:
 - un generador, que comprende un amplificador de clase E, capaz de hacer resonar una estructura L-C serie a una frecuencia superior a 1 MHz con una tensión en los bornes del condensador superior a 5kV;
- 5 - un resonador serie conectado a la salida del generador y que presenta un factor de sobretensión comprendido entre 40 y 200 y que presenta una frecuencia de resonancia superior a 1 MHz;
- y una cabeza de bujía que comprende dos electrodos separados por un aislante, que permite generar un plasma durante la aplicación de la excitación de radiofrecuencia
2. Sistema de generación de plasma según la reivindicación 1, caracterizado por que el amplificador de clase E
- 10 comprende un resonador paralelo (62).
3. Sistema de generación de plasma según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que el amplificador de clase E presenta un coeficiente de sobretensión del orden de 3.
4. Sistema de generación de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por
- 15 que el amplificador de clase E presenta un transistor MOSFET de potencia como interruptor (51) que controla las conmutaciones en los bornes del resonador serie (61).
5. Sistema de generación de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende una estructura de realimentación sobre la corriente de carga aplicada al resonador serie (61).
6. Sistema de generación de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado por que la frecuencia propia del resonador paralelo (62) es ligeramente superior a la del resonador serie (61).
- 20 7. Sistema de generación de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, caracterizado por que la inductancia (621) del resonador paralelo (62) comprende una superposición de pistas conductoras (623) sensiblemente circulares.
8. Sistema de generación de plasma, caracterizado por que comprende:
 - un generador que comprende una alimentación de baja tensión (3) y un amplificador de radiofrecuencia (5), capaz
 - 25 de hacer resonar a estructura L-C serie a una frecuencia superior a 1MHz con una tensión en los bornes del condensador superior a 5kV;
 - dos resonadores serie, dispuestos en paralelo, conectados a la salida del generador y que presentan un factor de sobretensión comprendido entre 40 y 200 y que presentan una frecuencia de resonancia superior a 1 MHz:
 - dos cabezas de bujía que comprenden dos electrodos separados por un aislante, que permiten generar un plasma
 - 30 durante la aplicación de la excitación de radiofrecuencia;
- y por que el amplificador de radiofrecuencia 5 es común para los dos resonadores serie
9. Motor de combustión interna caracterizado por que comprende un sistema de generación de plasma según la reivindicación 8, y al menos dos cámaras de combustión (141, 142) en oposición de fase, correspondiente cada resonador serie (61) y cada cabeza de bujía a una de las cámaras de combustión.

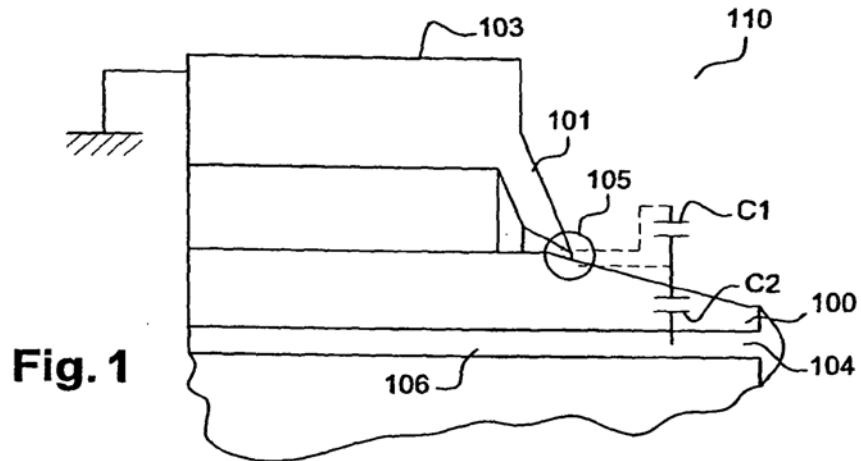


Fig. 1

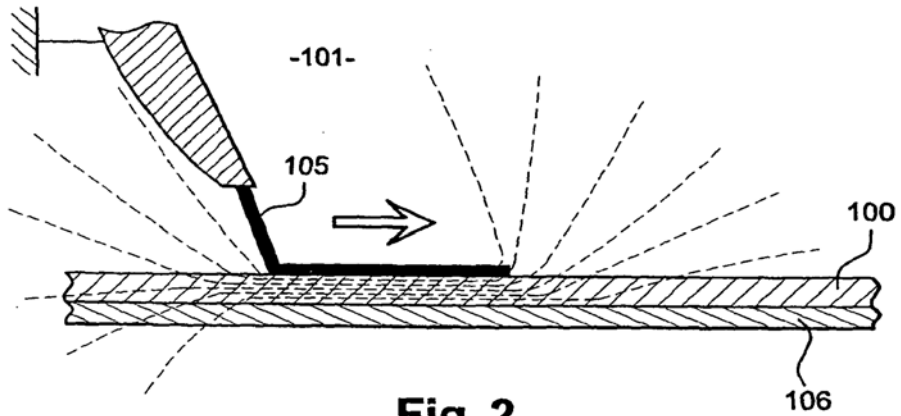


Fig. 2

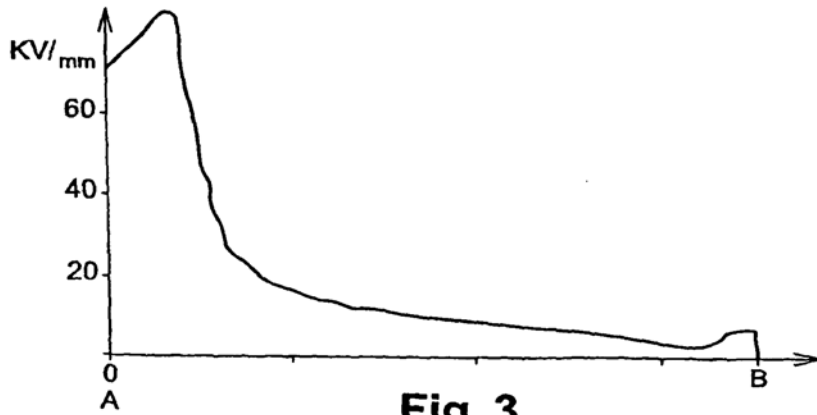


Fig. 3

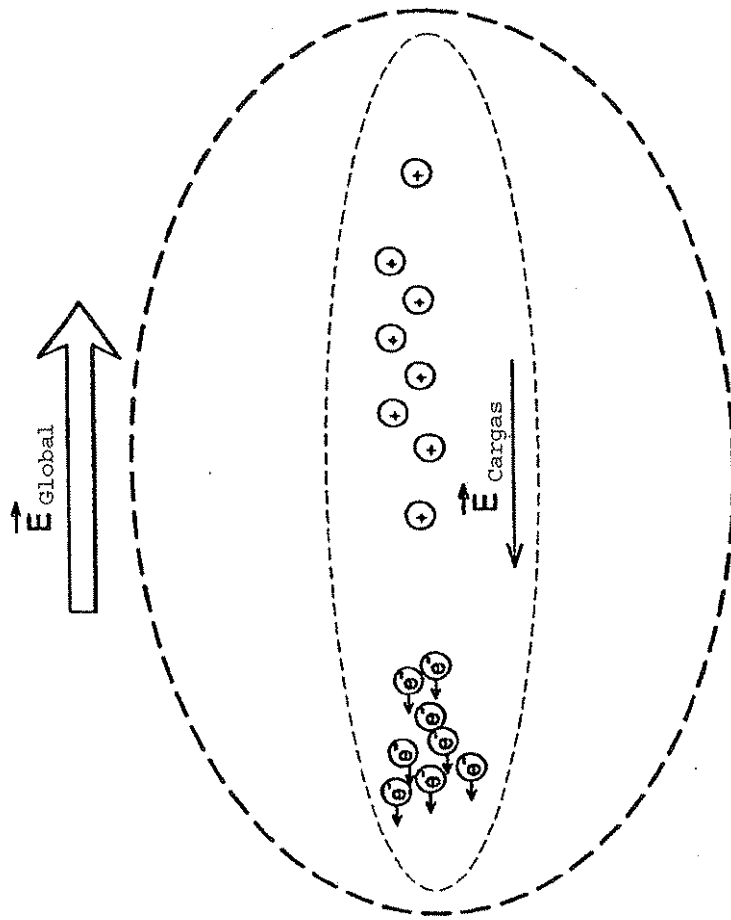


Fig. 4

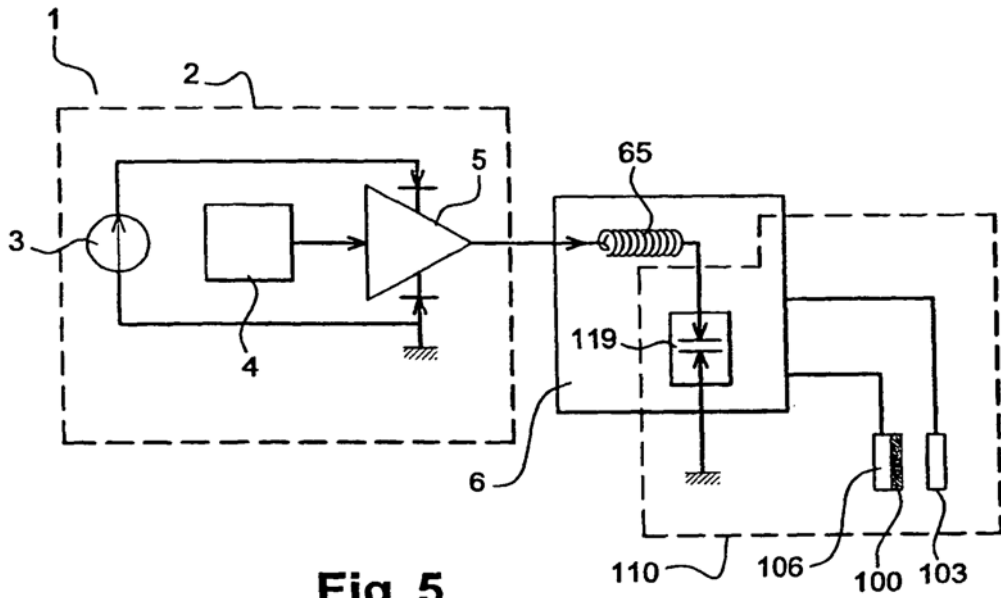


Fig. 5

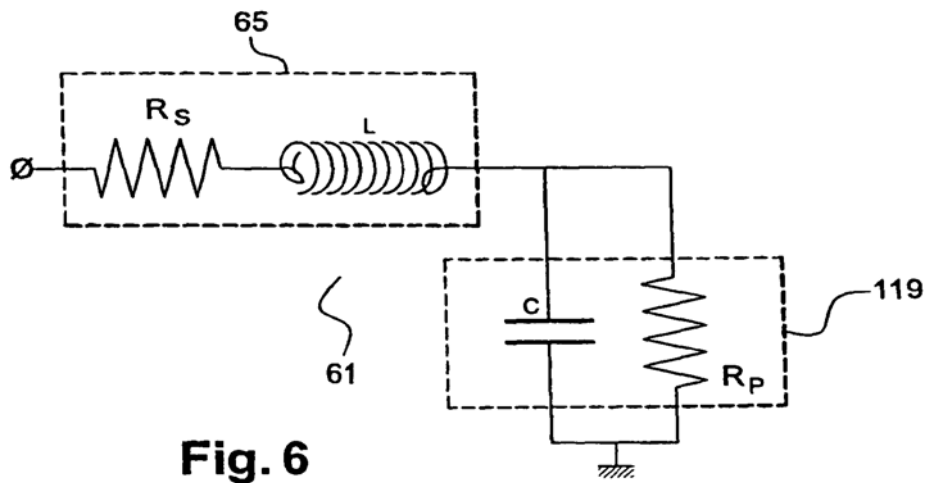


Fig. 6

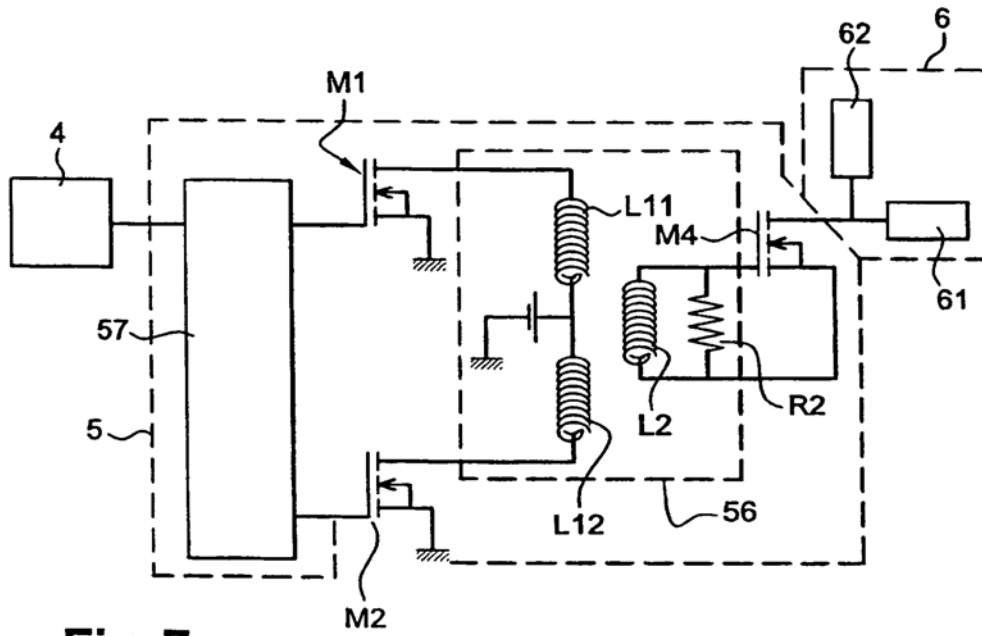


Fig. 7

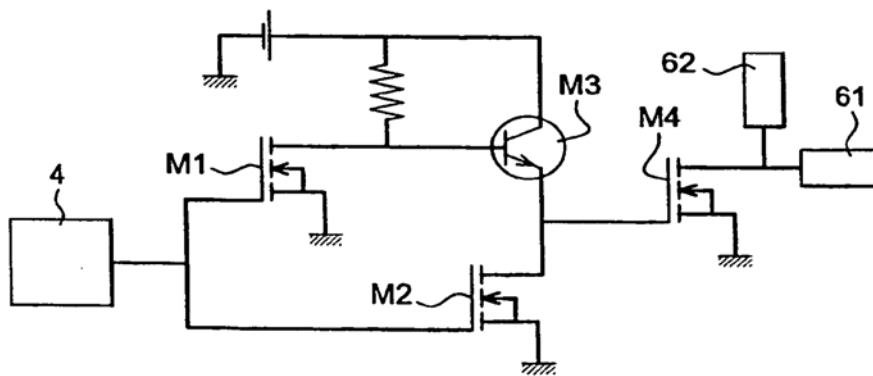


Fig. 8

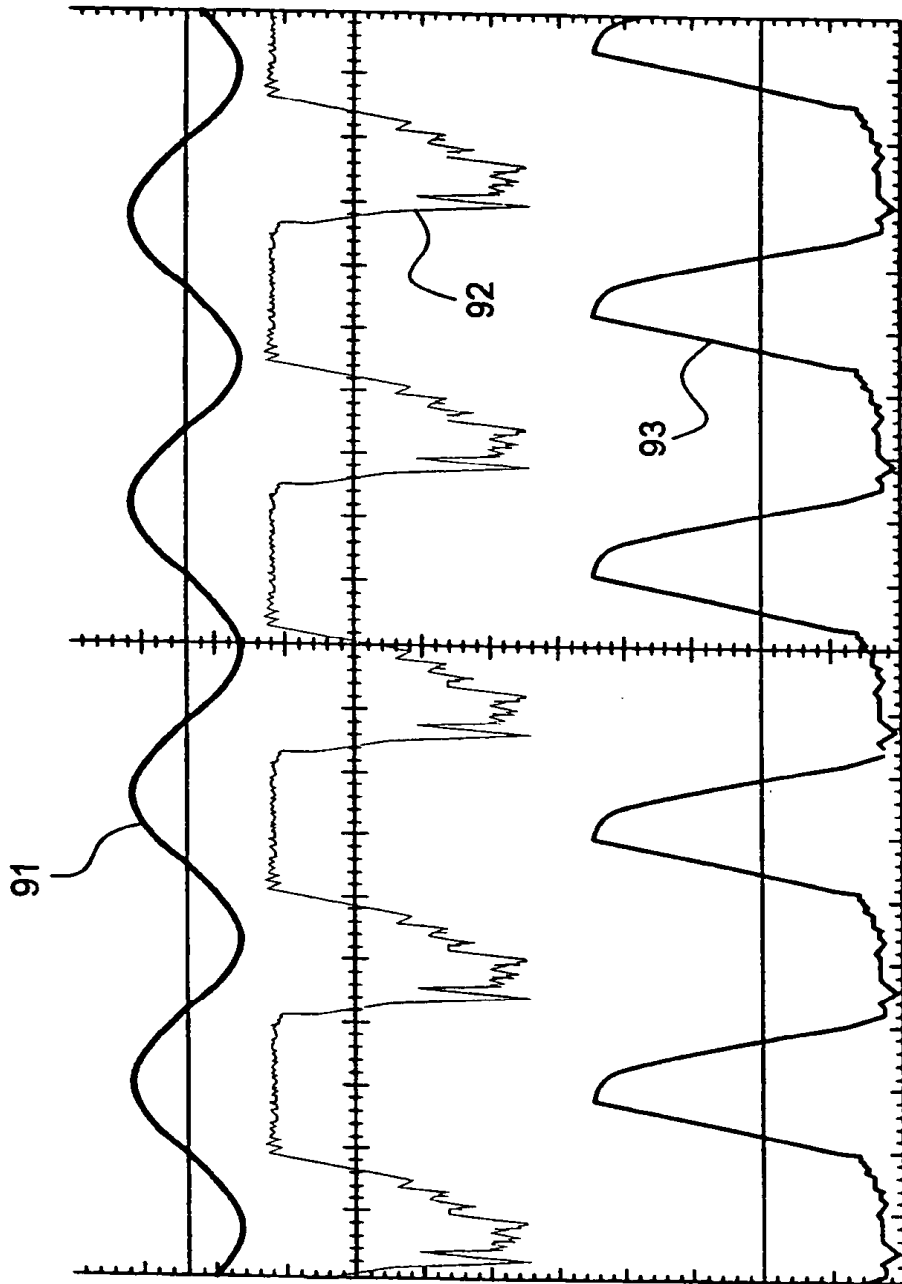


Fig. 9

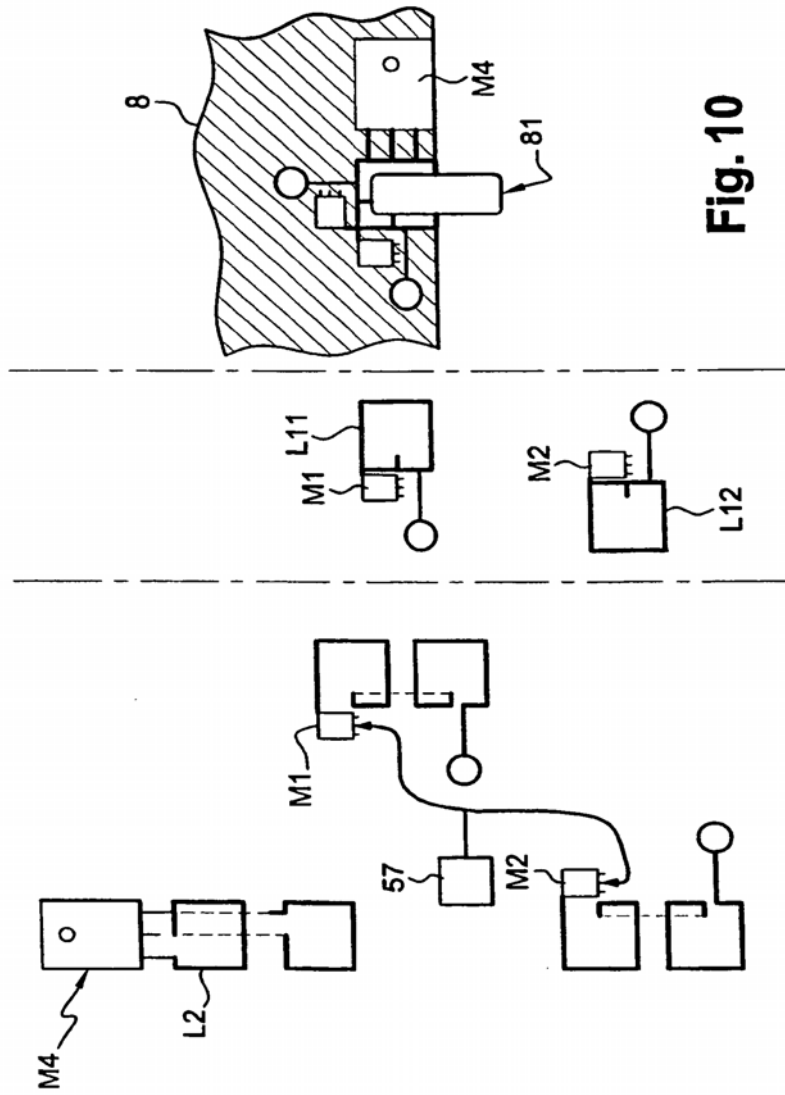


Fig. 10

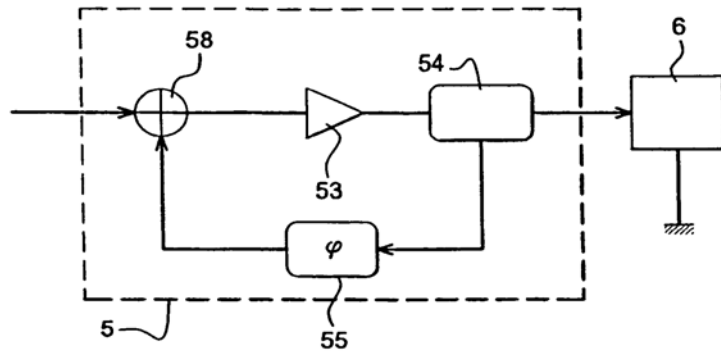


Fig. 11

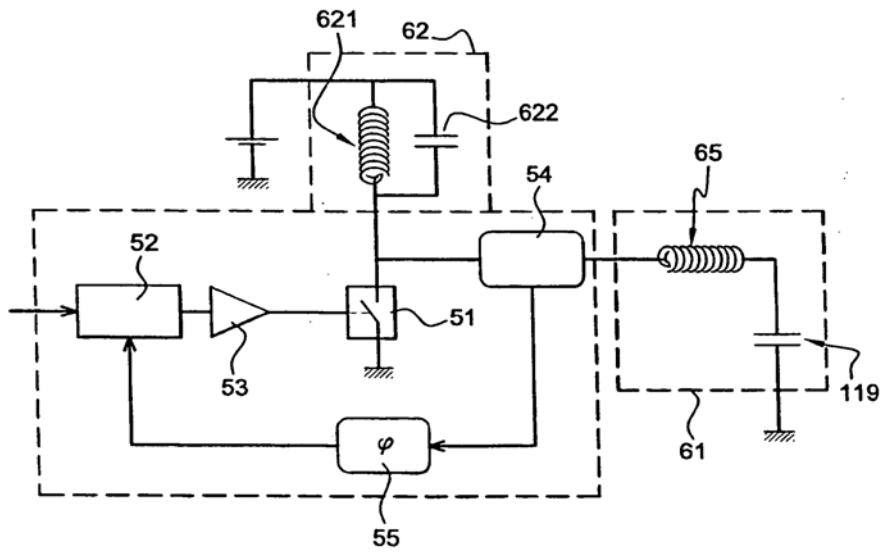


Fig. 12

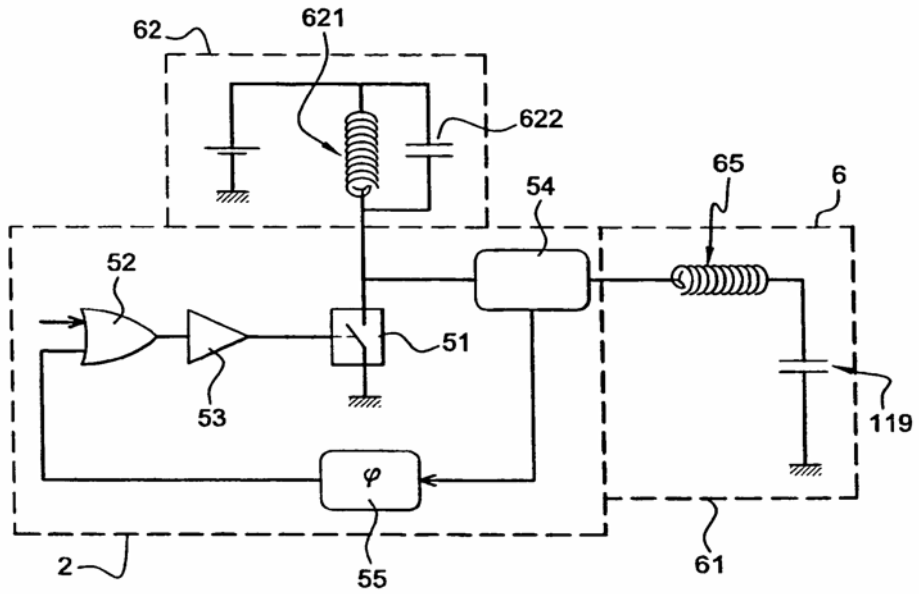


Fig. 13

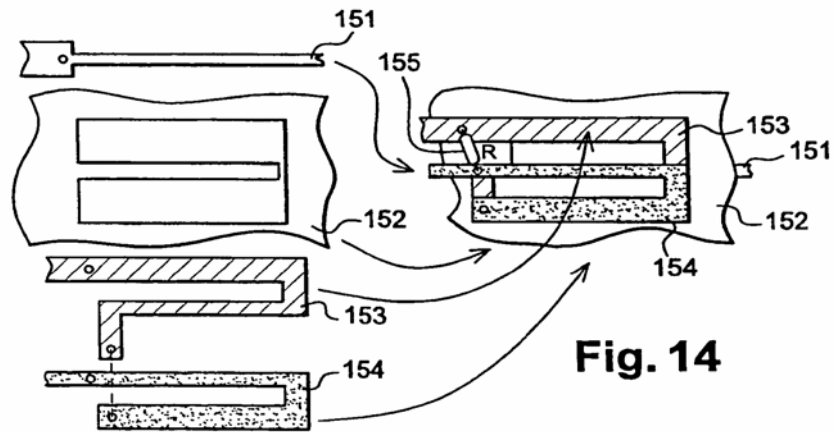
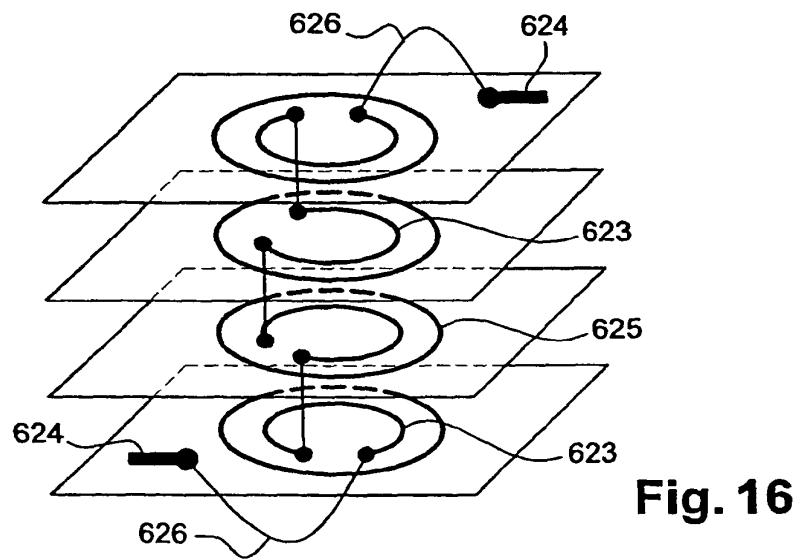
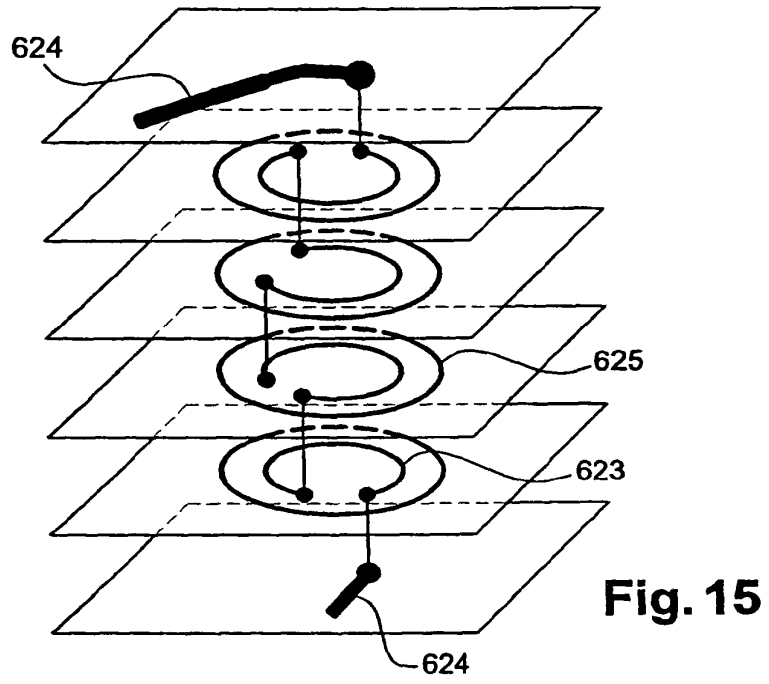


Fig. 14



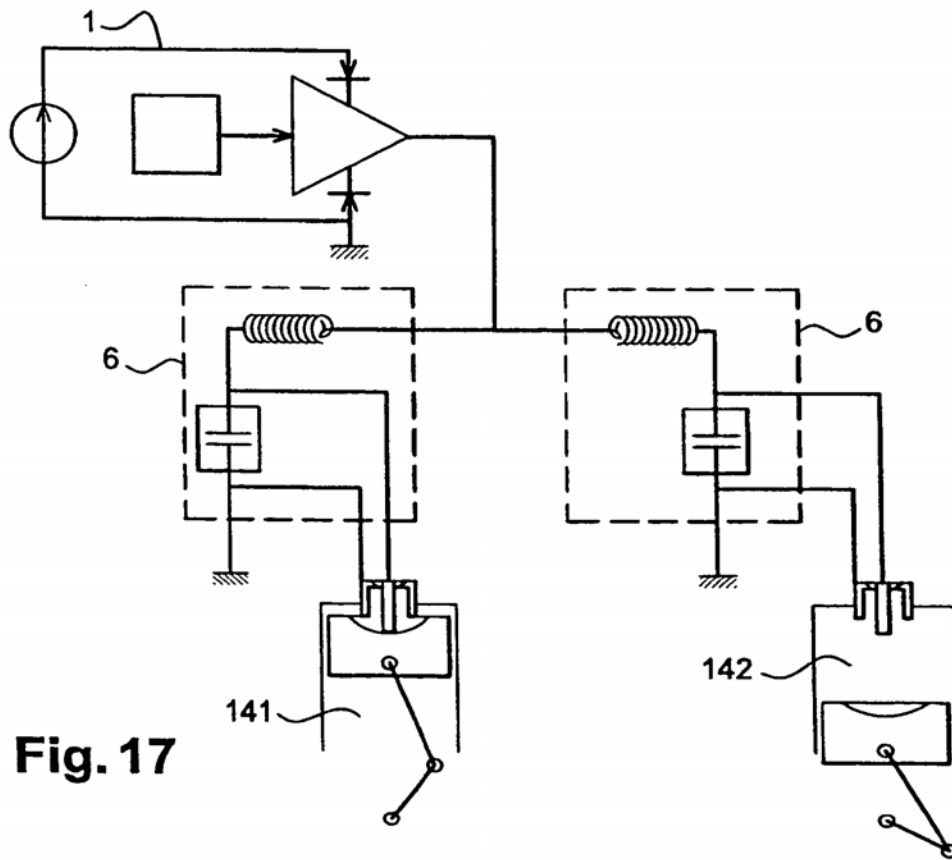


Fig. 17

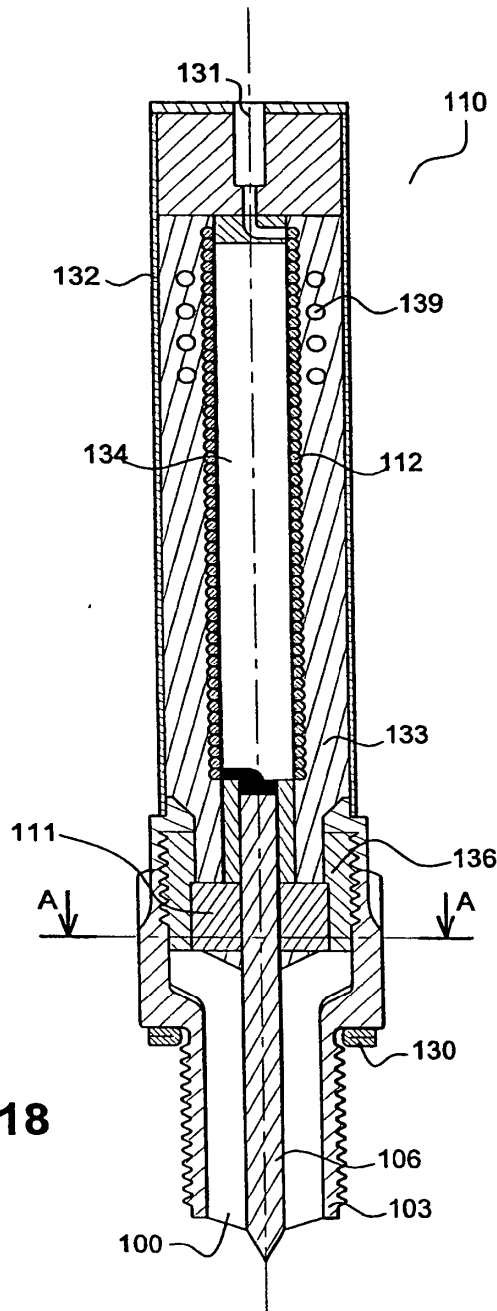


Fig. 18

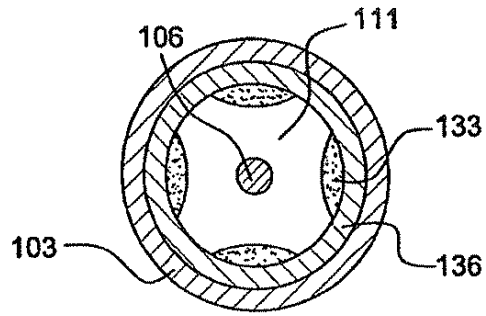


Fig. 19

SECCION A-A

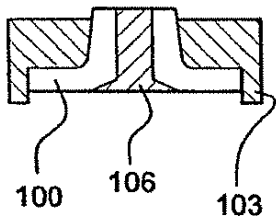


Fig. 20- I

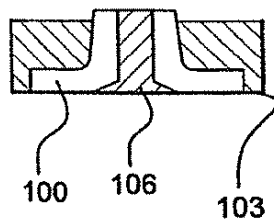


Fig. 20- II

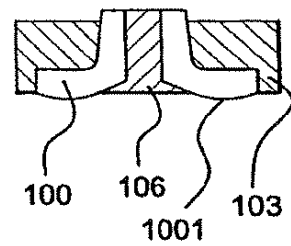


Fig. 20- III

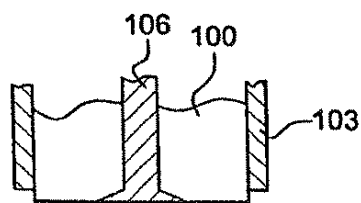


Fig. 21

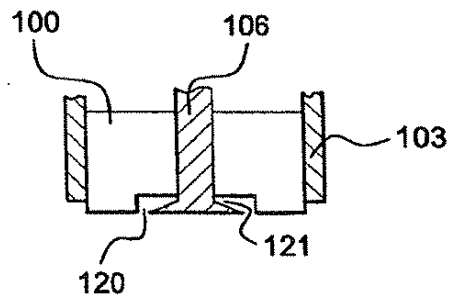


Fig. 22

