

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 624**

51 Int. Cl.:

F02B 21/00 (2006.01)

F02B 29/00 (2006.01)

F02B 33/22 (2006.01)

F02D 17/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09169245 .9**

96 Fecha de presentación: **21.11.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **2131023**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.12.2009**

54 Título: **Motor híbrido de aire de ciclo dividido**

30 Prioridad:

07.01.2006 US 326909

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

12.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

12.12.2012

73 Titular/es:

**SCUDERI GROUP LLC (100.0%)
111 ELM STREET, SUITE 4
WEST SPRINGFIELD, MA 01089, US**

72 Inventor/es:

**SCUDERI, SALVATORE y
SCUDERI, STEPHEN**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 392 624 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

Motor híbrido de aire de ciclo dividido.

5 CAMPO TÉCNICO

Esta invención se refiere a motores de ciclo dividido y, más concretamente, a un motor de dicho tipo que incorpora un sistema híbrido de aire.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Puede que el término de motor de ciclo dividido, tal y como se utiliza en la presente solicitud, no tenga todavía un significado unívoco conocido por todos aquellos versados en motores. Por este motivo, por razones de claridad, se ofrece la siguiente definición del término motor de ciclo dividido según puede ser aplicado a los motores presentados con anterioridad y lo contemplado en la presente solicitud.

Según lo contemplado aquí, un motor de ciclo dividido comprende:

20 un cigüeñal que gira alrededor de un eje del cigüeñal;

un pistón mecánico que es recibido de forma deslizante dentro de un cilindro mecánico y se conecta de forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón mecánico oscile a través de una carrera de trabajo (o de expansión) y una carrera de escape durante una sola rotación del cigüeñal;

25 un pistón de compresión que es recibido de forma deslizante dentro de un cilindro de compresión y se conecta de forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de compresión oscile a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal; y

30 un conducto de gas que interconecta los cilindros mecánicos y de compresión, incluyendo el conducto de gas en una válvula de admisión y una válvula de escape (o cruce) que define una cámara de presión entre ellas.

Por razones de claridad, a continuación se ofrece una lista de los acrónimos de los distintos modos de funcionamiento del motor descritos en el presente documento:

35 AC Compresor de aire;

AM Control del aire;

40 CB Frenado por compresión;

ICE Motor de combustión interna;

PAP Potencia de aire precomprimido;

45 PCA Aire de combustión precomprimido;

50 En las Patentes Estadounidenses US 6.543.225 B2, US 6.609.371 B2 y US 6.952.923, todas ellas asignadas al cesionario de la presente invención, se presentan ejemplos de motores de combustión interna de ciclo dividido como el definido en el presente documento. Estas patentes contienen una amplia lista de las patentes estadounidenses y extranjeras y las publicaciones citadas como antecedentes en la asignación de estas patentes. El término "ciclo dividido" ha sido utilizado para estos motores ya que literalmente dividen los cuatro tiempos de un ciclo Otto de presión/volumen convencional (a saber, admisión, compresión, expansión y escape) en dos cilindros dedicados: un cilindro dedicado a la carrera de compresión a alta presión y otro cilindro dedicado a la carrera de trabajo a alta presión

55 Últimamente se ha dedicado mucho tiempo a la investigación de motores híbridos de aire, en comparación, por ejemplo, a los sistemas híbridos eléctricos. El sistema híbrido eléctrico requiere la adición al motor de ciclo de cuatro tiempos convencional de baterías y de un generador eléctrico y un motor. El híbrido de aire sólo necesita la adición de un depósito de aire a presión a un motor que incorpora las funciones de un compresor y de un motor neumático, junto con las funciones de un motor convencional para obtener las ventajas del sistema híbrido. Estas funciones incluyen el almacenamiento de aire a presión durante el frenado y la utilización del aire a presión para el accionamiento del motor durante el arranque y la aceleración subsiguientes.

65 Sin embargo, parece que en las técnicas anteriores sólo se adaptaba un motor con un ciclo de cuatro tiempos convencional para que un solo cilindro realizara las funciones de compresión, combustión y control. Esto requiere entonces un sistema complejo de válvula y engranaje y un control capaz de conmutar de un modo de frenado por compresión (CB) a un modo de control del aire (AM) y volver a un modo de motor de combustión interna tradicional (ICE) durante el funcionamiento.

En un ejemplo típico, donde no resulta necesario el almacenamiento o la utilización de aire comprimido para accionar el vehículo, un motor híbrido de aire conforme a las técnicas anteriores funciona a modo de un motor de combustión interna convencional, donde los cuatro tiempos del ciclo Otto (admisión, compresión, expansión y escape) se realizan en cada uno de los pistones cada dos revoluciones del cigüeñal. No obstante, durante el modo de frenado por compresión, cada cilindro del motor convencional está configurado para actuar a modo de un compresor de aire de dos tiempos de pistón oscilante, accionado desde las ruedas del vehículo a través del movimiento del vehículo. El aire es recibido de la atmósfera exterior en los cilindros del motor donde es comprimido y desplazado a un depósito de aire. El trabajo realizado por los pistones del motor absorbe la energía cinética del vehículo y desacelera o restringe su movimiento. De este modo, la energía cinética del movimiento del vehículo es transformada en energía de aire comprimido almacenada en el depósito de aire.

Durante el modo de control del aire, cada uno de los cilindros del motor está configurado para utilizar el aire comprimido almacenado y generar carreras de trabajo para una propulsión sin combustión. Esto puede conseguirse, expandiendo primero el aire comprimido almacenado en los cilindros para bajar los pistones desde el punto muerto superior (TDC) hasta el punto muerto inferior (BDC) para una primera carrera de trabajo. A continuación, los pistones comprimen el gas expandido al desplazarse del BDC al TDC. Después el combustible es inyectado en los cilindros y encendido justo antes del TDC. Los productos que se expanden de la combustión vuelven a accionar los pistones hacia abajo para una segunda carrera de trabajo durante la segunda revolución del cigüeñal.

Alternativamente, el control del aire puede conseguirse expandiendo el aire comprimido almacenado para bajar el pistón mecánico del TDC al BDC para una carrera de trabajo sin combustión por cada revolución del cigüeñal. Este método alternativo de control del aire puede continuar hasta que la presión en el depósito de aire desciende por debajo de un nivel umbral, tras lo cual el motor puede pasar bien al modo de control de aire anteriormente descrito o a un modo de funcionamiento convencional de motor ICE.

Desde el punto de vista de la problemática, para poder pasar de un modo CB, AM e ICE a otro, el sistema de válvula/tren de transmisión resulta complejo, costoso y difícil de controlar o mantener. Adicionalmente, dado que cada uno de los cilindros tiene que realizar todas las funciones de cada uno de los modos, no resulta fácil su optimización. Por ejemplo, los pistones y los cilindros tienen que estar diseñados para soportar un evento de combustión explosiva, incluso si sólo actúan como compresores de aire. Según esto, dadas las tolerancias y los materiales requeridos para ampliar el calor de la combustión, debe sacrificarse el rendimiento del modo del compresor.

Otro problema en la realización de todas las funciones de cada modo (ICE, CB y AM) en cada cilindro es que no pueden ejecutarse dos modos en paralelo (es decir, simultáneamente). Dado que los sistemas híbridos de aire de técnicas anteriores hacen uso de motores convencionales, se ven limitados a funcionar en serie en cada uno de los modos, lo que representa una serie de limitaciones inherentes de sus capacidades. Por ejemplo, dado que el modo CB no puede utilizarse cuando el motor está funcionando a modo de motor de combustión interna (en modo ICB), el depósito de aire sólo puede cargarse durante la función de frenado de un vehículo en movimiento. Esta limitación lleva a problemas de mantenimiento de la carga almacenada en el depósito de aire. Además, esta limitación también hace que los sistemas híbridos de aire de técnicas anteriores sólo sean aplicables para el movimiento de vehículo, y no resulten prácticos para las aplicaciones estacionarias tales como los generadores estacionarios.

En la WO 2004/072448 se presenta un motor que incluye las funciones que precaracterizan la Reivindicación 1

RESUMEN DE LA INVENCION

En la presente invención se combinan las funciones del motor de ciclo dividido con el depósito de aire del concepto de híbrido de aire y varias funciones de control simplificadas para proporcionar nuevas disposiciones de funcionamiento y control de las realizaciones de motor híbrido resultantes. Una clara ventaja de la presente invención es que se pueden activar dos o más modos de motor simultáneamente (es decir, en paralelo) tal y como se describe en el presente documento dado que el motor de ciclo dividido incluye pistones de compresión y mecánicos específicos.

En un amplio sentido, un motor híbrido de aire de ciclo dividido conforme a la invención incluye preferentemente: un cigüeñal que gira alrededor de un eje del cigüeñal;

un pistón mecánico que es recibido de forma deslizante dentro de un cilindro mecánico y se conecta de forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón mecánico oscile a través de una carrera de expansión (o de trabajo) y una carrera de escape durante una sola rotación del cigüeñal;

un pistón de compresión que es recibido de forma deslizante dentro de un cilindro de compresión y se conecta de forma operativa al cigüeñal de modo que el pistón de compresión oscile a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal, pudiéndose controlar el cilindro de compresión de forma selectiva para colocar el pistón de compresión en un modo de compresión o en un modo en ralentí;

un depósito de aire conectado de forma operativa entre el cilindro de compresión y el cilindro mecánico y que se puede accionar selectivamente para recibir el aire comprimido del cilindro de compresión y enviar el aire comprimido al cilindro mecánico para su uso en la transmisión de potencia al cigüeñal durante el funcionamiento del motor; y

5 unas válvulas que controlan selectivamente el flujo de gas que entra y sale de los cilindros de compresión y de trabajo y del depósito de aire.

Alternativamente, el cilindro mecánico también se puede controlar selectivamente para colocar el pistón mecánico en un modo de trabajo o en un modo al ralentí.

10 Para los propósitos aquí contemplados, cuando el pistón de compresión se coloca en modo en ralentí significa que para una sola rotación del cigüeñal, la cantidad total de trabajo neto negativo (en un sentido opuesto a la dirección de rotación del cigüeñal) realizada en el cigüeñal por parte del pistón de compresión es insignificante. Normalmente, el trabajo insignificante en el modo en ralentí del pistón de compresión sería un 20% menor que el trabajo negativo realizado en el
15 cigüeñal si el pistón de compresión estuviera en su modo de compresión.

Adicionalmente, para los propósitos aquí contemplados, cuando el pistón mecánico se coloca en modo en ralentí significa que para una sola rotación del cigüeñal, la cantidad total de trabajo neto positivo (siguiendo la dirección de rotación del cigüeñal) realizada en el cigüeñal por parte del pistón mecánico es insignificante. Normalmente, el trabajo insignificante en
20 el modo en ralentí del pistón mecánico sería un 20% menor que el trabajo positivo realizado en el cigüeñal si el pistón mecánico estuviera en su modo de trabajo.

En general, un motor conforme a la invención puede funcionar en tres modos por lo menos incluidos un modo de motor de combustión interna (ICE), un modo de compresor de aire (AC) y un modo de potencia de aire precomprimido (PAP).

25 En el modo ICE, el pistón de compresión y el pistón mecánico están normalmente en sus modos compresor y de trabajo correspondientes. El pistón de compresión aspira y comprime el aire de admisión para su uso en el cilindro mecánico. El aire comprimido es admitido en el cilindro mecánico junto con el combustible poco después de que el pistón mecánico haya alcanzado su posición de punto muerto superior (TDC) al comienzo de una carrera de expansión. La mezcla de
30 aire/combustible se enciende, se quema y se expande entonces en la misma carrera de expansión del pistón mecánico, transmitiendo energía al cigüeñal. Los productos de la combustión son descargados en la carrera de escape.

En el modo AC, el pistón de compresión está en modo compresión y aspira y comprime el aire que se almacena en el depósito para un uso posterior del mismo en el cilindro mecánico.

35 En el modo PAP, el cilindro mecánico está en modo mecánico y recibe el aire comprimido del depósito que se expande en la carrera de expansión del pistón mecánico, transmitiendo potencia al cigüeñal. El aire expandido se descarga en la carrera de escape.

40 En ciertas realizaciones preferentes de la invención, la energía se desarrolla en el modo PAP de manera parecida a como lo hace en el modo ICE. Es decir, durante el funcionamiento en modo PAP, el combustible se mezcla con el aire comprimido poco después de que el pistón mecánico haya alcanzado su posición de TDC al comienzo de una carrera de expansión. La mezcla se enciende, se quema y se expande en la misma carrera de expansión del pistón mecánico, transmitiendo potencia al cigüeñal. Los productos de la combustión son descargados en la carrera de escape.

45 En otras realizaciones alternativas del motor, la energía puede desarrollarse en el modo PAP de manera similar a la anteriormente descrita en los modos de control del aire. Es decir, durante el funcionamiento en modo PAP, el aire comprimido admitido en el cilindro mecánico es expandido sin añadir combustible o iniciar la combustión.

50 En un ejemplo de una primera realización del motor, el depósito de aire comprende un conducto de gas dimensionado de modo que pueda recibir y almacenar el aire comprimido de una pluralidad de carreras de compresión, interconectando el conducto de gas los cilindros de compresión y de trabajo. El conducto de gas incluye una válvula de admisión y una válvula de escape que definen una cámara de presión entre ellas.

55 En un ejemplo de una segunda realización del motor, un conducto de gas también interconecta los cilindros de compresión y de trabajo y el conducto de gas incluye una válvula de admisión y una válvula de escape que definen una cámara de presión entre ellas. No obstante, el depósito de aire queda conectado a través de un conducto del depósito a la cámara de presión en un lugar entre medio de la válvula de admisión y la válvula de escape.

60 En un ejemplo de una tercera realización del motor, se añade una válvula de control del depósito en el conducto del depósito para permitir la separación del depósito de la cámara de presión durante el funcionamiento ICE.

En un ejemplo de una cuarta realización del motor, el depósito de aire es un acumulador adaptado para mantener una presión relativamente constante en el interior del mismo dentro de un intervalo de presiones predeterminado.

65 Una quinta realización del motor incluye múltiples pares de cilindros de compresión y de trabajo interconectados a través

de unos conductos de gas que tienen cámaras de presión, estando todas las cámaras de presión conectadas a un solo depósito de aire.

5 En una sexta realización alternativa de la invención, el motor incluye un conducto de gas que interconecta los cilindros de compresión y de trabajo, y el conducto de gas incluye una válvula de admisión y una válvula de escape que definen una cámara de presión entre ellas. El depósito de aire está conectado en paralelo al conducto de gas, con unas conexiones de admisión y de escape del depósito de aire a los cilindros de compresión y de trabajo.

10 Estas y otras características y ventajas de la invención se comprenderán mucho mejor a partir de la siguiente descripción detallada de la invención junto con los dibujos que la acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

15 En los dibujos:

La FIG. 1 es un diagrama esquemático en el que se muestra una primera realización de un motor híbrido de aire de ciclo dividido que tiene un depósito de aire y válvulas de control conforme a la presente invención;

20 La FIG. 2 es una vista parecida a la de la FIG. 1 pero se muestra una segunda realización con un conducto de cruce (o gas) independiente conectado al depósito de aire y una válvula de control añadida; y

La FIG. 3 es una vista parecida a la FIG. 2 pero se muestra una tercera realización con una válvula de control del depósito añadida;

25 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En referencia primero a la FIG. 1 de los dibujos detallados, el número 10 generalmente indica un ejemplo de una primera realización de un motor híbrido de aire de ciclo dividido conforme a la invención. El motor 10, mostrado esquemáticamente, es generalmente del tipo de ciclo dividido mostrado en las Patentes Estadounidenses 6.543.225 B2, 6.069.571 B2 y 6.952.923 B2 (patentes de Scuderi), incorporadas por referencia en su totalidad en el presente documento.

35 Tal y como se muestra, el motor incluye un bloque del motor 12 que tiene un primer cilindro 14 y un segundo cilindro adyacente 16 que se extienden a su través. Hay un cigüeñal 18 articulado en el bloque 12 de modo que pueda rotar alrededor de un eje del cigüeñal 20 que se extiende perpendicular al plano del dibujo. Los extremos superiores de los cilindros 14,16 quedan cerrados a través de una culata 22.

40 El primer y el segundo cilindros 14, 16 definen una superficies internas de apoyo en las que son recibidos de manera oscilante un primer pistón mecánico 24 y un segundo pistón de compresión 26 respectivamente. La culata 22, el pistón mecánico 24 y el primer cilindro 14 definen una cámara de combustión de volumen variable 25 en el cilindro mecánico 14. La culata 22, el pistón de compresión 26 y el segundo cilindro 16 definen una cámara de compresión de volumen variable 27 en el cilindro de compresión 16. El cigüeñal 18 incluye un primer y un segundo codos del cigüeñal desplazados axialmente e inclinados 28, 30, con un ángulo de fase 31 entre ellos. El primer codo del cigüeñal 28 está unido de manera pivotante a través de una primera biela 32 al primer pistón mecánico 24 y el segundo codo del cigüeñal 30 está unido de manera pivotante a través de una segunda biela 34 al segundo pistón de compresión 26 para hacer oscilar a los pistones en sus cilindros según una relación sincronizada determinada por la inclinación de sus codos del cigüeñal y las relaciones geométricas de los cilindros, cigüeñal y pistones.

50 Si se desea, pueden utilizarse mecanismos alternativos para relacionar el movimiento y la sincronización de los pistones. La sincronización puede ser parecida a, o modificada a voluntad de, las divulgaciones de las patentes de Scuderi. La dirección de rotación del cigüeñal y los movimientos relativos de los pistones cerca de sus posiciones de punto muerto inferior (BDC) se indican con las flechas asociadas en los dibujos con sus componentes correspondientes.

55 La culata 22 incluye cualquiera de los distintos conductos, orificios y válvulas adecuadas para obtener los propósitos deseados del motor híbrido de aire de ciclo dividido 10. En la primera realización ilustrada, el conducto de gas/cámara de presión de las patentes anteriormente mencionadas es sustituido por un depósito de aire mucho mayor 36 conectado a la culata 22 mediante un orificio de admisión de aire 38 a través del cual se accede al extremo cerrado del segundo cilindro 16 y un orificio de escape del depósito 40 a través del cual se accede al extremo cerrado del primer cilindro 14. A diferencia de un conducto de gas más pequeño de un tipo presentado como ejemplo en las patentes de Scuderi, el depósito de aire 36 ha sido dimensionado de modo que pueda recibir y almacenar la energía de aire comprimido de una pluralidad de carreras de compresión del pistón de compresión 26. El segundo cilindro 16 también se conecta a un orificio de admisión convencional 42 y el primer cilindro 14 también se conecta a un orificio de escape convencional 44.

65 Las válvulas de la culata 22, que son parecidas a las válvulas del motor de las patentes de Scuderi, incluyen una válvula de retención de entrada 46 del depósito y tres válvulas de seta accionadas por leva, una válvula de escape del depósito (o válvula de cruce) 50, una segunda válvula de admisión del cilindro 52, y una primera válvula de escape del cilindro 54. La válvula de control 46 solo permite un flujo unidireccional en el orificio de admisión del depósito 38 desde el segundo

cilindro (compresión) 16. La válvula de escape del depósito 50 se abre para permitir un flujo de aire a alta presión del depósito 36 al interior del primer cilindro (trabajo) 14. El presente motor 10 incluye dos válvulas adicionales que pueden ser accionadas por solenoide. Estas incluyen una válvula de control de admisión 56 en el orificio de admisión del cilindro 42 y una válvula de control de escape del depósito 58 en el orificio de escape del depósito 40. Estas válvulas pueden ser válvulas de cierre de dos posiciones pero podrían incluir controles de posición variable para que puedan ser utilizadas a modo de válvulas de mariposa si se desea. Las válvulas de seta 50, 52, 54 pueden ser accionadas a través de cualquier dispositivo adecuado como, por ejemplo, árboles de levas 60, 62, 64 que tienen lóbulos de leva 66, 68, 70 que se acoplan a las válvulas 50, 52, 54 respectivamente, para accionar las válvulas tal y como se indicará más adelante. Alternativamente, las válvulas 50, 52 y 54, así como las otras válvulas 46, 56 y 58 pueden ser accionadas electrónicamente, neumática o hidráulicamente.

En la culata también hay montada una bujía 72 con electrodos que se extienden hasta el interior de la cámara de combustión 25 para encender las cargas de aire-combustible en momentos determinados mediante un controlador del encendido, no mostrado. Debe entenderse que el motor puede estar fabricado a modo de motor diesel y puede ser accionado sin una bujía si se desea. Además, el motor 10 puede estar diseñado para funcionar con cualquier tipo de combustible adecuado para motores de pistón oscilante en general, tal como hidrógeno o gas natural.

En las FIGS. 2 a 6 de los dibujos se presentan varias realizaciones alternativas que son variaciones del motor 10 de la FIG. 1 y se describen más abajo. A continuación se describe el funcionamiento de los seis ejemplos de realizaciones.

En referencia a la FIG. 2, se presenta una segunda realización de un motor 74 en donde los números de referencia iguales indican piezas iguales. El motor 74 es, en líneas generales, parecido al motor 10, pero se diferencia en que hay un conducto de cruce (o gas) de pequeño volumen 76 conectado entre el orificio de admisión 38 y la válvula de control de admisión 46 de un extremo y el orificio de escape 40 y la válvula de escape 50 de un extremo opuesto. Este conducto de cruce 76 se extiende entre la cámara de compresión 27 del segundo cilindro 16 y la cámara de combustión 25 del primer cilindro 14 y es parecido al conducto de cruce de las patentes anteriores de Scuderi. A diferencia de un depósito de aire, este conducto de cruce 76 no ha sido dimensionado para almacenar una cantidad considerable de energía por aire comprimido para un uso posterior. En su lugar, el conducto 76 ha sido normalmente diseñado para que sea lo más pequeño posible para que la transferencia de gas comprimido resulte de lo más eficaz durante el modo ICE del motor 74.

En una modificación adicional, hay un depósito de aire independiente 36 conectado a través de un canal del depósito o conducto del depósito 78 al conducto de cruce 76 y que se conecta a los orificios de admisión y de escape 38, 40 a través del conducto de cruce 76. La válvula de control por solenoide de escape del depósito 58 se encuentra ubicada en el conducto 76 entre el orificio de escape 40 y el canal del depósito 78. La válvula 58 se abre en el modo ICE para permitir que el aire comprimido siga la trayectoria de menor resistencia y flujo a través del conducto 76 principalmente hasta el interior de la cámara de combustión 25. La válvula 58 puede cerrarse en el modo AC para bombear aire comprimido al depósito 36 y puede abrirse en el modo PAP para recuperar el aire comprimido del depósito 36.

En referencia ahora a la FIG. 3 de los dibujos, se presenta una tercera realización del motor 80 que sólo se diferencia del motor de la FIG. 2 por la adición de una tercera válvula de solenoide 82. La válvula 82 se encuentra colocada en el canal 78 en su unión con el conducto de cruce 76 para cortar la conexión del depósito de aire 36 con el conducto de cruce cuando se desee.

Al aislar el depósito de aire 36 a través de la válvula 82, el rendimiento general del motor 80 se puede optimizar de manera más eficaz en el modo de funcionamiento ICE. Por ejemplo, en el modo ICE, puede hacerse que todo el aire comprimido fluya a través del conducto de cruce 76. Según esto, el conducto de cruce 76 se puede diseñar para la transferencia más eficaz posible de gas sin interactuar con el depósito de aire. Además, la válvula 82 también puede utilizarse como válvula de mariposa durante las condiciones de carga parcial del modo PAP.

Una cuarta realización del motor 84 (no mostrada) es parecida a la del motor 80 de la FIG. 3. Se diferencia por la conversión del depósito de aire en un acumulador de presión 86 mediante la adición de un diafragma o fuelle 87 y un mecanismo de resorte 88 para obtener un acumulador de presión constante en el depósito de aire. Estos actúan para presurizar el aire presente en el acumulador 86 y mantener el contenido a una presión relativamente constante entre condiciones en las que el depósito está vacío o lleno a la máxima presión de control. Una quinta realización de un motor de múltiples cilindros 89 (no mostrado) tiene al menos dos pares de cilindros 90, cada uno de ellos equivalente al motor 80 de la FIG. 3. El motor 89 tiene un depósito común para múltiples pares de cilindros. El motor 89 ha sido modificado de modo que incluya un depósito de suministro común 92 unido a los conductos de cruce 76 de todos los pares de cilindros, con una válvula de control por solenoide 82 para controlar la comunicación de cada canal del depósito 78 con su conducto de cruce correspondiente 76.

Una sexta realización del motor 94 es más parecida al motor 80 de la FIG. 3 y tiene el depósito en paralelo con el conducto de cruce y unas válvulas independientes entre los cilindros. El motor 94 se diferencia porque el depósito de aire 36 está separado de cualquier conexión directa con el conducto de cruce 76, que sigue estando controlado por la válvula de retención 46, la válvula de solenoide 58 y la válvula de escape 50. El depósito de aire 36 está conectado en paralelo al conducto de cruce 76 a través de un primer y un segundo canales del depósito (o conductos) 96, 98, que conectan directamente el depósito a la cámara de combustión 25 del primer cilindro 14 y la cámara de compresión 27 del segundo

cilindro 16 respectivamente. La cuarta y la quinta válvulas de control por solenoide 100, 102 controlan el flujo entre los canales 96, 98 y los cilindros 14, 16, respectivamente.

Ahora se presentará a modo de explicación, y no de limitación, el funcionamiento de los ejemplos de las realizaciones descritas de los motores híbridos de aire de ciclo dividido conformes a la invención, debiéndose entender que serán evidentes otros métodos y variaciones adicionales que deberán caer debidamente dentro del ámbito previsto de la invención.

Básicamente, los motores híbridos de aire de ciclo dividido de la presente invención pueden funcionar normalmente en tres modos por lo menos: un modo de motor de combustión interna (ICE), un modo de compresor de aire (AC) y un modo de potencia de aire precomprimido (PAP). El modo PAP incluye preferentemente un modo de potencia de aire de combustión precomprimido (PCA) en donde el aire precomprimido y el combustible se mezclan durante un breve período de tiempo después de que el pistón mecánico alcanza su posición de punto muerto superior durante una carrera de expansión y, a continuación, la mezcla de aire-combustible se enciende para llevar el pistón mecánico hacia abajo durante la misma carrera de expansión. Alternativamente, el modo PAP también podría incluir distintas formas de modos de control del aire (AM) (tal y como se ha mostrado anteriormente en los ejemplos en el presente documento) en los cuales el aire precomprimido es utilizado para proporcionar una carrera de expansión sin combustión. Tal y como se mencionará de manera más detallada, dado que el híbrido de aire de ciclo dividido de la presente invención incluye cilindros de compresión y de trabajo dedicados independientes, los tres modos, ICE, AC y PAP, pueden ejecutarse en serie o en paralelo según se desee.

El modo ICE es básicamente el modo de funcionamiento normal de los motores presentados en las patentes de Scuderi anteriormente mencionadas. Las carreras de admisión, compresión, expansión y escape del ciclo de un motor de pistones convencional se dividen entre los cilindros de compresión y de trabajo del motor de ciclo dividido.

En referencia a la realización de la FIG. 1, los motores de ciclo dividido descritos en las Patentes Estadounidenses de Scuderi (6.543.225, 6.609.371 y 6.952.923) incluyen unos parámetros estructurales que presentan una serie de ventajas respecto a los motores de ciclo dividido de técnicas anteriores. Muchas de estas ventajas se describirán en relación a la siguiente proposición del modo ICE del motor 10. Es importante señalar que el depósito de aire 36 de la Fig. 1 realiza las funciones combinadas del conducto de cruce (o gas) independiente 76 y del depósito de aire 36 de las Figs. 2 y 3 subsiguientes; y las realizaciones de la cuarta a la sexta.

En el modo ICS, las válvulas de admisión por solenoide 96, 98 permanecen abiertas. En la carrera de admisión, la válvula de admisión 52 se abre al bajar el pistón de compresión, arrastrando aire a la cámara de compresión 27. Durante la carrera de compresión, la válvula de admisión 52 se cierra y el pistón 26 asciende, comprimiendo el aire y forzándolo a pasar a través de la válvula de retención 46 y del orificio de admisión 38 hasta el interior del depósito de aire 36.

El pistón mecánico 24 desplazará el pistón de compresión 26 un ángulo de fase 31 sustancialmente superior a 0 grados respecto a la rotación del cigüeñal. El ángulo de fase 31, tal y como se define en el presente documento, son los grados del ángulo de rotación del cigüeñal (CA) que el cigüeñal 18 debe rotar después de que el pistón mecánico 24 haya alcanzado su posición de punto muerto superior (TDC) para que el pistón de compresión 26 alcance su posición TDC correspondiente. En la realización particular ilustrada en la Fig. 1, la magnitud del ángulo entre el primer y el segundo codos 28 y 30 es igual al ángulo de fase 31. Preferentemente, este ángulo de fase es un CA de 10 a 40 grados y, mejor aún, un CA de 20 a 30 grados. El ángulo de fase 31 se dimensiona de modo que cuando el pistón de compresión 26 ascienda hacia su posición TDC y el pistón mecánico descienda de esta posición TDC, se transfiera una masa de aire comprimido sustancialmente igual hacia dentro y hacia afuera del depósito de aire 36 (en las Figs 2-3 subsiguientes y en las realizaciones de la cuarta a la sexta se transfiere una masa de aire comprimido sustancialmente igual hacia dentro y hacia afuera del conducto de gas 76).

Durante la carrera de trabajo, la válvula de escape (o de cruce) 50 normalmente está abierta cuando el pistón mecánico 24 se encuentra el TDC. Preferentemente, la válvula de escape 50 se abre un CA de 10 a 0 grados antes del TDC del pistón mecánico 24 y, mejor aún, un CA de 7 a 3 grados antes del TDC del pistón mecánico. La válvula de escape 50 se cierra preferentemente en un CA de 10 a 40 grados después del TDC del pistón mecánico 24 y, mejor aún, se cierra un CA de 20 a 30 grados después del TDC del pistón mecánico.

El pistón mecánico 24 desciende de su posición TDC hacia una posición de encendido de combustión que normalmente se encuentra a un CA de 5 a 40 grados después del TDC y, mejor aún, a un CA de 10 a 30 grados después del TDC. El combustible puede ser inyectado y mezclado con el aire comprimido mediante dos métodos por lo menos, a saber, bien en el depósito de aire 36 justo aguas arriba de la válvula de escape 50 (inyección de combustible a través del orificio) o bien directamente en el cilindro mecánico 14 (inyección directa). Una vez que el pistón mecánico 24 alcanza su posición de encendido de combustión, la mezcla de aire-combustible se enciende con una bujía 72 (o encendido por compresión en el caso de un motor diesel), forzando al pistón 24 a descender al BDC y proporcionando potencia al cigüeñal 18. La presión a la que tiene lugar el encendido de combustión es la presión de la condición de ignición (o encendido).

Durante la carrera de escape, la válvula de escape 54 se abre y la válvula de cruce 50 se cierra. A medida que el pistón mecánico 24 asciende del BDC al TDC, los gases de escape agotados son forzados a salir de la cámara de combustión 25 a través del orificio de escape 44.

Las carreras de admisión y compresión para un ciclo de presión/volumen dentro del motor tienen lugar durante la misma revolución del cigüeñal que las carreras de trabajo y de escape del ciclo, excepto que las carreras de trabajo y de escape son adelantadas por un ángulo de fase fija 31. De este modo se completa un nuevo ciclo de presión/volumen por cada revolución del cigüeñal del motor en lugar de en dos revoluciones como ocurre en el caso de un motor de cuatro tiempos convencional. No obstante, la válvula de admisión 46 y la válvula de escape 50 mantienen la presión del gas dentro del depósito de aire 36 en o por encima de la presión de ignición (o encendido) durante todo el ciclo de cuatro tiempos.

Una de las diferencias básicas entre el ciclo dividido de Scuderi y las técnicas anteriores es el parámetro de que la presión en el conducto de gas se mantiene en o por encima de la presión de encendido durante los cuatro tiempos del ciclo de Otto combinado con el parámetro de que la ignición en el cilindro mecánico ocurre sustancialmente después del punto muerto superior (es decir, más de 5 grados y, preferentemente, más de 10 grados después del TDC). Esto establece una condición de que el evento de combustión (o velocidad de la llama) es muy rápido (ocurriendo a un CA de 24 grados como máximo) y la generación de emisiones NOx es muy baja (de un 50 a un 80 por ciento menos que en el caso de un motor convencional). Otro aspecto único del ciclo dividido de Scuderi, que no se da en otras técnicas anteriores, es que la línea central de los cilindros mecánicos y de compresión está descentrada respecto al eje del cigüeñal. Esto permite reducir considerablemente la fricción entre la faldilla del pistón y la pared del cilindro. Estas tres características ventajosas (mantenimiento de las presiones de encendido en el conducto de gas, encendido después del punto muerto superior y los descentrados) se presentan y reivindican en las patentes de Scuderi.

Además de los parámetros antedichos, también se han identificado otros muchos parámetros en las patentes de Scuderi, que tienen un efecto significativo en el rendimiento del motor. Estos parámetros incluyen:

1. Mantenimiento de las relaciones de compresión y expansión iguales o superiores a 26 a 1, preferentemente iguales o superiores a 40 a 1 y, mejor aún, iguales o superiores a 80 a 1;
2. La desviación de la válvula de cruce (cantidad de ángulo de rotación del cigüeñal (CA) necesario para abrir y cerrar la válvula 50) debería de ser igual o inferior a 69 grados, preferentemente inferior a 50 grados y, mejor aún, inferior a 35 grados; y
3. La válvula de cruce 50 debería permanecer abierta durante un pequeño porcentaje de tiempo después de haberse iniciado la combustión en el cilindro mecánico.

Durante el frenado de un vehículo accionado por un motor 10, el modo de funcionamiento del motor se cambia al modo de compresor de aire (AC). La inyección de combustible se detiene y la válvula de solenoide 58 se cierra, impidiendo el flujo de aire a través del orificio de escape 40 y suspendiendo el suministro de energía desde el pistón mecánico 24, colocando así al pistón mecánico 24 en un modo al ralentí. No obstante, el pistón de compresión sigue funcionando, accionado por la inercia del vehículo en movimiento, y bombeando el aire comprimido al interior del depósito de aire 36. La acción de bombeo decelera, o frena, de manera eficaz el vehículo y la eficacia de la acción de frenado aumenta cada vez más al incrementar la presión del aire en el depósito. La mayor presión del aire en el depósito se retiene para un uso posterior en el modo PAP.

Durante el modo AC, la válvula de escape 54 puede mantenerse abierta para reducir las pérdidas de velocidad al ralentí en el pistón mecánico 24. Además, el pistón mecánico podría utilizarse para aumentar el efecto de frenado de distintas maneras, tales como alterando la sincronización y el funcionamiento de la válvula para arrastrar y comprimir más aire en el depósito de aire. Alternativamente (para mantener el depósito de aire limpio), el pistón 24 podría utilizarse como un freno por compresión, arrastrando aire durante la carrera descendente, comprimiéndolo en la carrera ascendente y abriendo la válvula de escape 54 cerca del punto muerto superior (TDC) para descargar el aire comprimido y disipar su energía. Esto podría aumentar el frenado y reducir el desgaste de los frenos pero limitaría la recuperación de energía del aire comprimido en los modos PCA o AM.

En referencia todavía a la FIG. 1, el tercer modo de funcionamiento preferente es el de aire de combustión precomprimido (PCA) que, de un funcionamiento en un modo AC anterior, ha almacenado el aire comprimido en el depósito 36 a una presión mayor a la que normalmente se genera en un funcionamiento en modo ICE. El motor se ha decelerado por lo menos y está listo para ser acelerado. Para ejecutar el modo PCA, la válvula de solenoide de escape 58 se abre y se reactivan las funciones de encendido por chispa y de inyección de combustible. Además, el pistón de compresión permanece al ralentí al mantener abiertas tanto la válvula de admisión 52 como la válvula de admisión por solenoide 56 para que el pistón de compresión 26 pueda moverse libremente sin encontrar resistencia y no se comprima nada de aire ni se añada al depósito 36.

Si la válvula 52 no puede ajustarse independientemente, el pistón de compresión 26 también puede colocarse en modo al ralentí cerrando la válvula de solenoide 56. De este modo, el pistón de compresión comprime y expande alternativamente el gas atrapado en el cilindro. La compresión y expansión del gas atrapado alterna el trabajo negativo y positivo realizado por el pistón en el cigüeñal. Dado que el trabajo negativo y positivo es aproximadamente igual al trabajo neto realizado por el pistón en el cigüeñal, el funcionamiento en este modo es insignificante. Otro método más para colocar el pistón de compresión en un modo al ralentí, es evitar que el pistón de compresión 26 oscile desconectándolo de forma operativa del cigüeñal 18. En cualquiera de los ejemplos anteriores del modo al ralentí del pistón de compresión, la cantidad total de trabajo neto negativo realizado en el cigüeñal es insignificante.

Poco después o justo antes del TDC del pistón mecánico 24, al igual que durante el funcionamiento en modo ICE, la válvula de escape del depósito 50 se abre, forzando una carga de aire comprimido (preferentemente controlada y con combustible añadido) del depósito 36 al interior de la cámara de combustión. Dentro de un margen de CA de 5 a 40 grados después del TDC, y preferentemente dentro de un rango de CA de 10 a 20 grados después del TDC, el combustible es encendido rápidamente y quemado en la carrera de trabajo, proporcionando energía al cigüeñal. Los productos de escape se descargan en la carrera ascendente de escape y el ciclo se repite.

Al acelerar el vehículo y regresar al modo de funcionamiento normal, el aire de alta presión almacenado se sigue utilizando para su combustión en el cilindro mecánico 14 hasta que la presión desciende a una presión de funcionamiento normal y el motor regresa a un funcionamiento en modo ICB total. No obstante, el funcionamiento en el modo PCA aumenta en la medida de lo posible el rendimiento operativo ya que la energía de compresión del frenado es devuelta al ciclo de trabajo PCA mientras que el pistón de compresión 26 está al ralentí utilizando muy poca energía. De este modo, la energía de compresión de frenado del vehículo se utiliza para proporcionar energía de compresión en el modo de trabajo PCA.

Si se para el motor, la energía de compresión almacenada puede ser utilizada para arrancar el motor, y el vehículo si se desea, hasta alcanzar una velocidad mínima, tras lo cual el motor puede volver al modo de funcionamiento ICE. No obstante, puede resultar recomendable contar con un motor de arranque eléctrico de reserva.

En referencia de nuevo a la FIG. 2, el funcionamiento del motor 72 es parecido al del motor 10 (FIG. 1). No obstante, el uso del conducto de cruce de pequeño volumen 76 para el flujo entre cilindros evita sustancialmente el flujo a través del depósito de aire 36 durante el funcionamiento en modo ICE y reduce potencialmente las variaciones de presión no deseadas en el conducto de gas 76 que podrían afectar adversamente el rendimiento del motor.

En la realización de la FIG. 3, la adición de la válvula de solenoide 82 en el punto de conexión del depósito con el conducto de cruce 76 permite cerrar el depósito para mantener una presión más alta o más baja en el interior del mismo mientras que el conducto de cruce más pequeño 76 puede funcionar con presiones rápidamente variables en el modo de funcionamiento ICD del motor para un motor de ciclo dividido.

En la cuarta realización (no mostrada) la sustitución del depósito de aire por un acumulador 86 permite el almacenamiento de una serie de volúmenes de aire a una presión relativamente constante para su uso, sobre todo, para controlar los volúmenes de carga de aire proporcionados a la cámara de combustión a base de controlar únicamente el tiempo de apertura de la válvula de escape 50.

El uso de un depósito de aire común, o acumulador, como el de la quinta realización (no mostrada) puede reducir los costes de fabricación. Aunque el depósito de aire común está conectado directamente a los conductos de gas, aquellos versados en la materia reconocerán que el depósito de aire se puede configurar de modo que quede conectado de otras muchas maneras al motor de ciclo dividido. Por ejemplo, el depósito de aire común puede formar parte integral del conducto de gas como en la FIG. 1, o se puede conectar en paralelo al conducto de gas como en la sexta realización (no mostrada).

En la sexta realización se separan además los efectos del depósito de aire 36 en las presiones en el conducto de cruce 76 y permite una separación más completa del funcionamiento en el modo ICE que en cualquiera de los modos AC o PCA.

En referencia a las Figs. 1-3 y a las realizaciones cuarta y sexta en general, una ventaja clara de la presente invención es que los sistemas híbridos de aire que utilizan un motor de ciclo dividido 10, 74, 80, 84, 89 y 94 pueden funcionar en distintos modos de funcionamiento (ICE, AC y PAP) simultáneamente (o en paralelo) a través de los cilindros de compresión 16 y los cilindros mecánicos 14 emparejados, en lugar de quedar limitados a funcionar en cada uno de los modos en serie con un solo cilindro. Esta capacidad de funcionar en modo paralelo proporciona inherentemente mayores posibilidades y mayores aplicaciones a los sistemas híbridos de aire de ciclo dividido.

En referencia ahora a la Fig. 3 como ejemplo, bajo condiciones de carga parcial, el motor 80 puede funcionar simultáneamente en el modo ICE al tiempo que carga el depósito de aire de forma continua en el modo AC. Es decir, puede hacerse que una carga plena de aire entre en el cilindro de compresión 16 en una carrera de admisión donde es comprimido y forzado a entrar en un conducto de gas 76. No obstante, sólo se necesita una fracción de la carga de aire para activar el modo ICE bajo condiciones de carga parcial. Según esto, se puede dirigir sólo una porción de la carga al cilindro mecánico 14 mientras que el resto de la carga se puede desviar al depósito de aire 36 para mantenerlo totalmente cargado. De este modo, los sistemas híbridos de aire de ciclo dividido tienen la capacidad de cargar de forma continua sus depósitos de aire bajo condiciones de carga parcial.

Además, de manera muy similar, la energía sobrante del gas de escape se puede hacer recircular, bien directamente o a través de un turbocargador de regreso al punto de admisión de un motor híbrido de aire de ciclo dividido 80 para almacenarla a modo de energía de aire comprimido en el depósito de aire 36. Ventajosamente, esta técnica de recuperación de la energía del gas de escape durante el funcionamiento bajo unas condiciones de carga parcial también puede utilizarse en aplicaciones fijas, por ejemplo, en generadores fijos.

REIVINDICACIONES

1. Un motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) que comprende: un cigüeñal (18) que gira alrededor de un eje del cigüeñal (20); un pistón de trabajo (24) que es recibido de forma deslizante dentro de un cilindro de trabajo (14) y se conecta de forma operativa al cigüeñal (18) de modo que el pistón de trabajo (24) oscile a través de una carrera de expansión y una carrera de escape durante una sola rotación del cigüeñal (18);
- un pistón de compresión (26) que es recibido de forma deslizante dentro de un cilindro de compresión (16) y se conecta de forma operativa al cigüeñal (18) de modo que el pistón de compresión (26) oscile a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión durante una sola rotación del cigüeñal (18);
- un depósito de aire (36) para almacenar el aire comprimido y que se puede activar de manera selectiva para que suministre aire comprimido al cilindro de trabajo (14); y
- un conducto de cruce (36, 76) que interconecta los cilindros de compresión (16) y de trabajo (14) que incluye una válvula de escape (50) dispuesta entre el conducto de cruce (36, 76) y el cilindro de trabajo (14); y una válvula del depósito de aire (58) dispuesta entre el depósito de aire (36) y el conducto de cruce (36, 76); que se caracteriza porque: la relación entre el volumen en el cilindro de trabajo (14) cuando el pistón de trabajo (24) está en su posición de punto muerto inferior (BDC) y el volumen en el cilindro de trabajo (14) cuando el pistón de trabajo (24) está en su posición de punto muerto superior (TDC) es de 26 a 1 o superior; y en donde el motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) está configurado para funcionar en un modo de trabajo de aire precomprimido (PAP), en donde en el modo PAP:
- el cilindro de trabajo (14) recibe una primera carga de aire comprimido procedente del depósito de aire (36) a través del conducto de cruce (36, 76) durante una primera carrera de expansión del pistón de trabajo (24);
- dicha primera carga de aire comprimido se mezcla con combustible durante dicha primera carrera de expansión; y la combustión del combustible se inicia en el cilindro de trabajo (14) durante dicha primera carrera de expansión.
2. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de la reivindicación 1, en donde la relación entre el volumen en el cilindro de trabajo (14) cuando el pistón de trabajo (24) está en su posición en el punto muerto inferior (BDC) y el volumen en el cilindro de trabajo (14) cuando el pistón de trabajo (24) está en su posición de punto muerto superior (TDC) es de 40 a 1 o superior.
3. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde durante el funcionamiento en el modo PAS, la combustión del combustible se inicia en un ángulo del cigüeñal (AC) de entre 5 y 40 grados después del punto muerto superior (TDC) del pistón de trabajo (24).
4. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde durante el funcionamiento en el modo PAS, la combustión del combustible se inicia en un ángulo del cigüeñal (AC) de entre 10 y 30 grados después del punto muerto superior (TDC) del pistón de trabajo (24).
5. El motor (74, 80, 84, 89) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la válvula del depósito de aire (58) se puede activar de modo que controle de manera selectiva el flujo de gas que entra y sale del depósito de aire (36).
6. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde el conducto de cruce (36, 76) incluye además una válvula de admisión (46), definiendo las válvulas de admisión (46) y de escape (50) una cámara de presión entre ellas.
7. El motor (74, 80, 84, 89, 94) de la reivindicación 6, en donde la válvula del depósito de aire (58) conecta el depósito de aire (36) a la cámara de presión.
8. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde la válvula de escape (50) se encuentra cerca del cilindro de trabajo (14).
9. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde la válvula de escape (50) se abre una vez iniciada la combustión en el cilindro de trabajo (14) y durante la primera carrera de expansión antedicha.
10. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el número de grados del ángulo del cigüeñal requerido para abrir y cerrar la válvula de escape (50) es de 69 grados o inferior durante el modo PAP.
11. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el número de grados del ángulo del cigüeñal (18) requerido para abrir y cerrar la válvula de escape (50) es de 50 grados o inferior durante el modo PAP.
12. El motor (84) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el depósito de aire (36) es un acumulador (86) que permite el almacenamiento de una serie de márgenes de volúmenes de aire.
13. El motor (84) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el depósito de aire (36) es un acumulador (86) que permite el almacenamiento de una serie de márgenes de volúmenes de aire a una presión relativamente constante.

14. El motor (74, 80, 84, 89) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el depósito de aire (36) queda conectado al conducto de cruce (76) a través del un conducto del depósito (78); y la válvula de depósito de aire (58) se encuentra dispuesta en el conducto del depósito (78).

- 5 15. El motor (10, 74, 80, 84, 89, 94) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la relación entre el volumen en el cilindro de compresión (16) cuando el pistón de compresión (26) está en su posición en el punto muerto inferior (BDC) y el volumen en el cilindro de compresión (16) cuando el pistón de compresión (26) está en su posición de punto muerto superior (TDC) es de 40 a 1 o superior.

FIG. 1

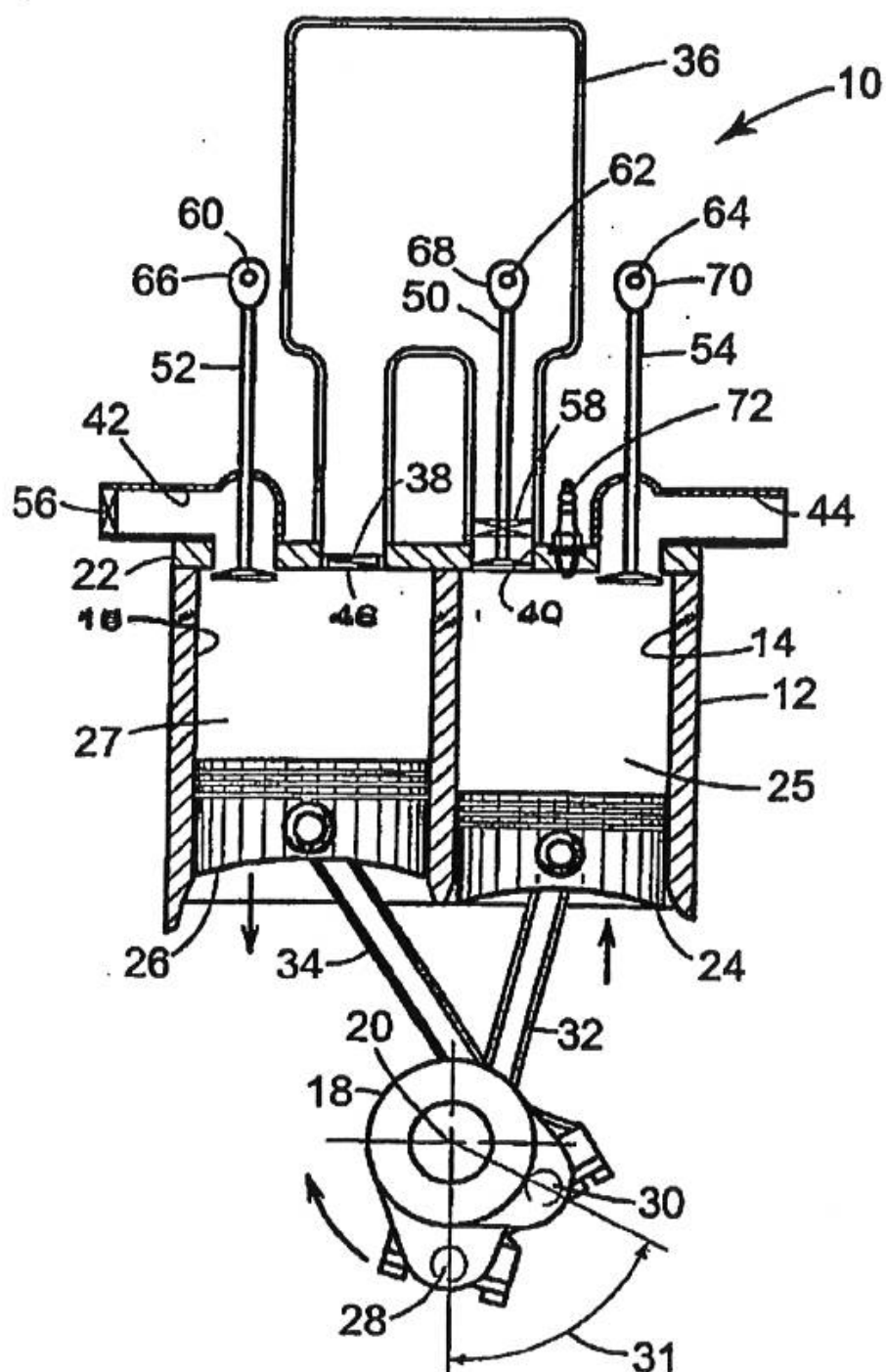


FIG. 2

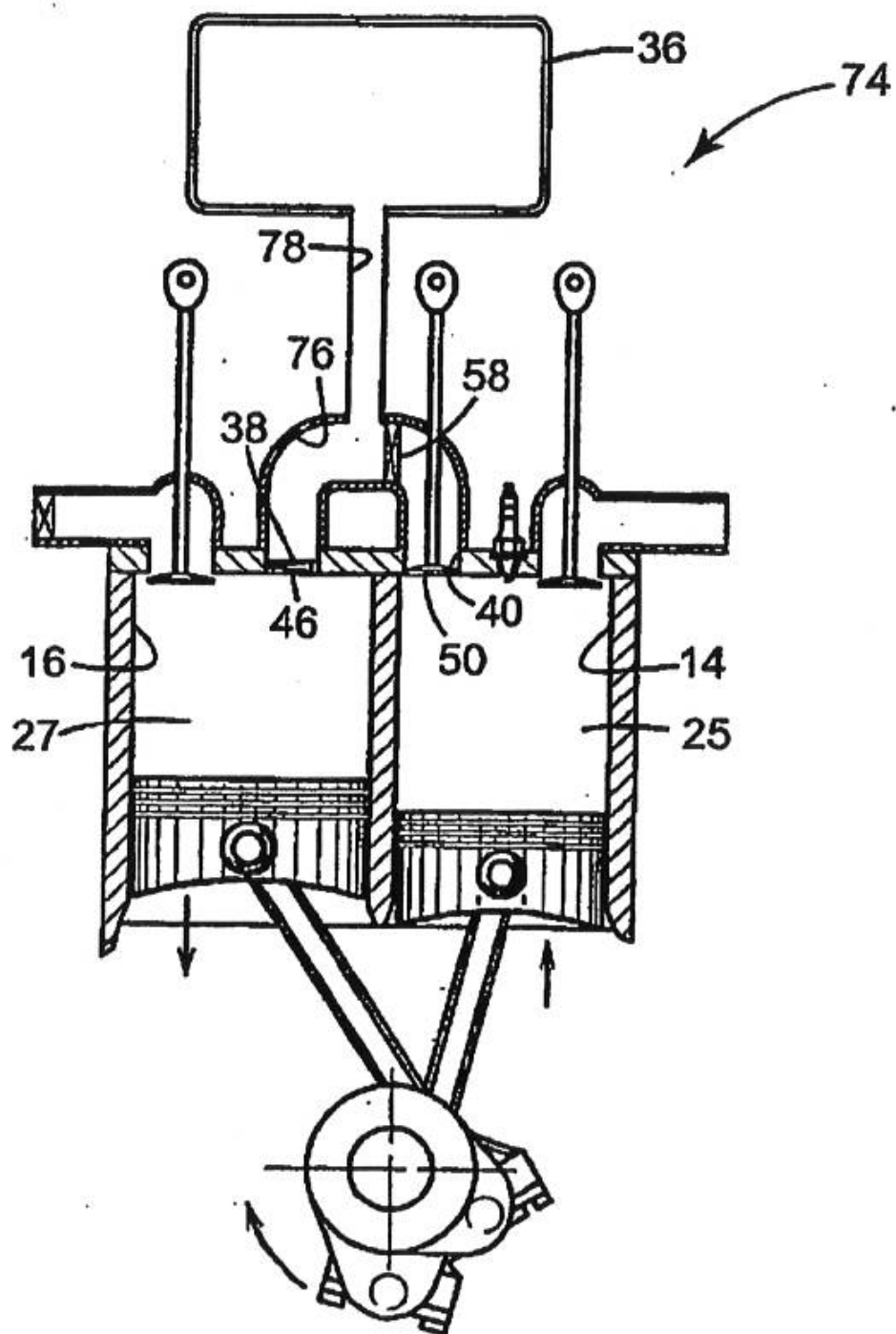


FIG. 3

