



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 292 389**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

F02C 6/00 (2006.01)

F02C 6/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **00110996 .6**

86 Fecha de presentación : **30.05.2000**

87 Número de publicación de la solicitud: **1058074**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **06.12.2000**

54

Título: **Procedimiento de separación de gas del aire que comprende un motor de combustión interna para la producción de gas atmosférico y de energía eléctrica.**

30

Prioridad: **04.06.1999 US 326153**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2008

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2008

73

Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US

72

Inventor/es: **Dillon, John Lloyd IV**

74

Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 292 389 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).

ES 2 292 389 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de separación de gas del aire que comprende un motor de combustión interna para la producción de gas atmosférico y de energía eléctrica.

Campo técnico

La presente invención se refiere a un método para la generación de energía eléctrica y la separación de una mezcla de gas de alimentación conteniendo oxígeno y nitrógeno.

Antecedentes de la invención

Los motores de combustión pueden estar integrados con procesos de separación de aire en sistemas altamente eficientes para la generación de energía eléctrica y la producción de productos gaseosos atmosféricos. En estos motores de combustión se puede utilizar una amplia variedad de carburantes, incluyendo gas natural, gas combustible generado por la gasificación de materiales carbonosos líquidos o sólidos, e hidrocarburos líquidos. El gas carburante generado por gasificación usa típicamente oxígeno del proceso de separación de aire.

Los motores de combustión de turbina de gas, o turbinas de gas, pueden ser usados para accionar generadores eléctricos en sistemas de generación de ciclo combinado en los que el escape de la turbina de expansión se usa para generar vapor que es expandido en una turbina de vapor de ciclo de aprovechamiento que mueve otro generador eléctrico. En la producción de oxígeno y/o nitrógeno, la alimentación de aire presurizado para el proceso de separación de aire puede ser proporcionada parcial o completamente por el compresor de turbina de gas, y el nitrógeno del proceso de separación de aire puede ser introducido en el combustor de la turbina de gas para recuperación de energía adicional y control de la formación de NO_x .

En un documento titulado "Next-Generation Integration Concepts for Air Separation Systems and Gas Turbines" por A. R. Smith y colaboradores en Transactions of the ASME, Vol. 119, abril 1997, pp. 298-304 y en una presentación titulada "Future Direction of Air Separation Design for Gasification, IGCC, and Alternative Fuel Projects" por R. J. Allam y colaboradores, IChemE Conference on Gasification, 23-24 septiembre 1998, Dresden, Alemania, se exponen revisiones generales de los métodos de integración para turbinas de gas y unidades de separación de aire.

Un modo de integración común entre los sistemas de turbina de gas y separación de aire se define como plena integración de aire y nitrógeno. En este modo operativo, todo el aire del combustor de la turbina de gas y la unidad de separación de aire lo proporciona el compresor de aire de la turbina de gas que es movido por la turbina de expansión, y el nitrógeno de la unidad de separación de aire es utilizado en el sistema integrado. La plena integración de aire y nitrógeno se describe en las Patentes representativas de Estados Unidos 3.731.495, 4.224.045, 4.250.704, 4.631.915 y 5.406.786, donde el nitrógeno es introducido en el combustor de la turbina de gas. La plena integración de aire y nitrógeno también se describe en las Patentes de Estados Unidos 4.019.314 y 5.317.862, y en la publicación de patente alemana DE 195 29 681 A1, donde el nitrógeno es expandido para realizar el trabajo de compresión de la alimentación de aire o para generar energía eléctrica.

Los procesos de turbina de gas y separación de aire pueden operar en un modo alternativo, definido como integración de aire parcial con plena integración de nitrógeno, en el que una porción de la alimentación de aire para la unidad de separación de aire la proporciona el compresor de turbina de gas y el resto lo proporciona un accionador del compresor de aire separado con una fuente de potencia independiente. El nitrógeno de la unidad de separación de aire es introducido en el combustor de la turbina de gas o es expandido de otro modo. Este modo operativo se describe en las Patentes representativas de Estados Unidos 4.697.415, 4.707.994, 4.785.621, 4.962.646, 5.437.150, 5.666.823 y 5.740.673.

En otra alternativa, se usa integración de nitrógeno sin integración de aire. En esta alternativa, los sistemas de turbina de gas y separación de aire tienen un compresor de aire movido independientemente, y el nitrógeno de la unidad de separación de aire es devuelto al combustor de la turbina de gas. Esta opción se describe en las Patentes representativas de Estados Unidos 4.729.217, 5.081.845, 5.410.869, 5.421.166, 5.459.994 y 5.722.259.

La Patente de Estados Unidos 3.950.957 y la memoria descriptiva de la Patente británica 1 455 960 describe una unidad de separación de aire integrada con un sistema de generación de vapor en el que una corriente residual enriquecida con nitrógeno es calentada por intercambio de calor indirecto con aire comprimido caliente procedente del compresor de aire de alimentación de la unidad de separación de aire, la corriente enriquecida con nitrógeno calentada se calienta más indirectamente en un calentador, y la corriente enriquecida con nitrógeno caliente final es expandida en una turbina de expansión de nitrógeno dedicada. El trabajo generado por esta turbina de expansión mueve el compresor de aire principal de la unidad de separación de aire. El escape de nitrógeno de la turbina de expansión y los gases de combustión del calentador son introducidos por separado en un generador de vapor calentado para elevar vapor, del que una porción puede ser expandida en una turbina de vapor para mover el compresor de aire de alimentación de la unidad de separación de aire. Opcionalmente, los gases de combustión del calentador son expandidos en una turbina que mueve un compresor para proporcionar aire de combustión a un calentador separado que calienta la corriente enriquecida con nitrógeno antes de la expansión.

Un uso alternativo para nitrógeno a presión alta de una unidad de separación de aire integrado con una turbina de gas se describe en la Patente de Estados Unidos 5.388.395 donde el nitrógeno es expandido para operar un generador eléctrico. El escape de nitrógeno frío del expansor se mezcla con el aire de entrada al compresor de turbina de gas, enfriando por ello toda la corriente de entrada al compresor. Alternativamente, el nitrógeno a presión baja de la unidad de separación de aire es enfriado y saturado con agua en un enfriador-refrigerador de contacto directo, y el nitrógeno enfriado saturado se mezcla con el aire de entrada al compresor de turbina de gas.

Las Patentes de Estados Unidos 5.040.370 y 5.076.837 describen la integración de una unidad de separación de aire con procesos a alta temperatura que usan oxígeno, donde el calor residual del proceso se usa para calentar el nitrógeno presurizado de la unidad de separación de aire, y el nitrógeno caliente es expandido para generar energía eléctrica.

La publicación de Patente europea EP 0 845 644 A2 describe una unidad de separación de aire a presión elevada en la que el producto enriquecido con nitrógeno presurizado es calentado indirectamente por la combustión de carburante a presión baja en un calentador, y el nitrógeno caliente es expandido para producir energía o accionar compresores de gas dentro de la unidad de separación de aire.

EP 0 503 900 A1 se refiere a separación de aire en general, y en particular a un método de generar potencia incluyendo un paso de separación de aire. Se toma aire del compresor de aire de una turbina de gas incluyendo, además del compresor, una cámara de combustión y una turbina de expansión.

En la producción de oxígeno en zonas con accesibilidad limitada o nula a las redes de energía eléctrica, la compresión del aire de alimentación para una unidad de separación de aire puede ser realizada por motores de combustión si se dispone de carburante suficiente. En operaciones industriales que requieren productos gaseosos atmosféricos tales como oxígeno, nitrógeno, y argón, a menudo se precisa energía eléctrica *in situ* para accionar varios tipos de equipos rotativos. Cuando la energía eléctrica importada es limitada, se precisa un proceso autónomo utilizando accionadores de motor de combustión para generar los productos gaseosos y energía eléctrica.

Resumen de la invención

Un objeto general de la presente invención es proporcionar un método mejorado para la generación de energía eléctrica y la separación de un gas de alimentación, en el que se eliminan dichos problemas.

Para lograr dicho objeto, se facilita un método según la reivindicación 1. Realizaciones ventajosas se definen por las reivindicaciones dependientes.

Típicamente, el motor de combustión es un motor de combustión de turbina de gas, aunque también se puede emplear un motor de combustión interna. El trabajo del eje obtenido expandiendo la corriente de producto gaseoso calentado resultante puede ser utilizado para generar energía eléctrica adicional.

La mezcla de gas de alimentación es típicamente aire, una de las corrientes de producto gaseoso es una corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno, y otra de las corrientes de producto gaseoso es una corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno. Una de las corrientes de producto gaseoso puede ser una corriente enriquecida con argón.

El aire se puede separar comprimiendo y enfriando aire para obtener una corriente de aire de alimentación presurizado, purificando la corriente de aire de alimentación presurizado quitando de ella el agua y dióxido de carbono, enfriando más la corriente de alimentación de aire purificado resultante, y separando la corriente de alimentación de aire purificado enfriado resultante por destilación criogénica para obtener la corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno y la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno. Cualquier otro método de separación de aire conocido puede ser usado como alternativa a la destilación criogénica.

La corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno puede ser calentada por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente del motor de combustión y la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno calentada resultante se expande para generar trabajo del eje y obtener una corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno. Al menos una porción del trabajo del eje obtenido expandiendo la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno calentada resultante puede ser utilizada para comprimir la corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno. La corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno puede ser enfriada por intercambio de calor indirecto con una corriente de gas de proceso para obtener una corriente de gas de proceso calentada.

La separación de aire puede ser efectuada comprimiendo y enfriando aire para obtener una corriente de aire de alimentación presurizado, purificando la corriente de aire de alimentación presurizado por un proceso de adsorción de ciclo térmico para quitar de ella el agua y dióxido de carbono, enfriando más la corriente de alimentación de aire purificado resultante y separando la corriente de alimentación de aire purificado enfriado resultante por destilación criogénica para obtener la corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno y la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno, donde la corriente de gas de proceso calentada se usa como un gas de regeneración en el proceso de adsorción de ciclo térmico.

ES 2 292 389 T3

La corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno es calentada preferiblemente por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente del motor de combustión en un intercambiador de calor, y este calentamiento puede ser complementado combinando la corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno con el gas de escape caliente en un punto intermedio en el intercambiador de calor. En este caso, una corriente combinada de producto gaseoso enriquecido con nitrógeno expandido y gas de escape enfriado es retirada del intercambiador de calor y se puede enfriar más por intercambio de calor indirecto con un gas de proceso para obtener una corriente de gas de proceso calentada.

La invención puede además incluir recalentar la corriente de producto gaseoso expandido por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente del motor de combustión y expandir el gas recalentado resultante para producir trabajo del eje y un producto gaseoso final a presión reducida. El trabajo combinado del eje de este paso y el trabajo del eje obtenido expandiendo la corriente de producto gaseoso calentado resultante puede ser utilizado para generar energía eléctrica adicional.

La compresión de la mezcla de gas de alimentación se lleva a cabo preferiblemente en un compresor de gas de alimentación movido independientemente.

La corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno puede ser calentada por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente en un intercambiador de calor, el gas de escape enfriado resultante se combina con la corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno, y la corriente de gas combinada resultante se enfría más por intercambio de calor indirecto con un gas de proceso para obtener una corriente de gas de proceso calentada.

Breve descripción de las varias vistas de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático de flujo de un proceso para generación de energía eléctrica y separación de aire.

La figura 2 es un diagrama esquemático de flujo de un proceso para generación de energía eléctrica y separación de aire donde se recupera calor adicional de la corriente enriquecida con nitrógeno expandida para calentar una corriente de proceso usada en el proceso de separación de aire.

La figura 3 es un diagrama esquemático de flujo de una realización del proceso de la presente invención donde la corriente enriquecida con nitrógeno expandida se combina con el escape parcialmente enfriado de la turbina de expansión en el intercambiador de calor que calienta la corriente enriquecida con nitrógeno antes de la expansión.

La figura 4 es un diagrama esquemático de flujo de un proceso para generación de energía eléctrica y separación de aire donde el escape de la turbina de expansión de nitrógeno es recalentado y expandido en otra turbina de expansión.

Descripción detallada de la invención

La temperatura de la corriente de escape de un motor de combustión tal como una turbina de gas puede ser del rango de hasta 871,11°C (1600°F), y el calor en esta corriente representa una porción significativa del calor total generado por la combustión de carburante en el motor. Cuando un motor de combustión está integrado con una unidad de separación de aire, la eficiencia energética general del sistema se puede mejorar según la presente invención recuperando calor del escape del motor de combustión con un sistema de intercambio térmico dedicado integrado con la unidad de separación de aire. Una corriente de efluente presurizado, típicamente una corriente seca enriquecida con nitrógeno de la unidad de separación de aire, es calentada por el escape del motor de combustión, y el gas caliente resultante es expandido para producir trabajo del eje que puede ser usado para mover otra maquinaria rotativa del proceso o para generar energía eléctrica.

En la figura 1 se ilustra un proceso conocido para generación de energía eléctrica y separación de aire. En el motor de combustión 129 se introduce una corriente de gas oxidante conteniendo oxígeno 101, que puede ser cualquier gas conteniendo oxígeno que pueda soportar la combustión y típicamente es aire atmosférico. En esta realización y en las realizaciones siguientes de la invención, el motor de combustión 129 es un motor de turbina de gas, pero se puede usar otros tipos de motores de combustión como se describe más adelante. La corriente de aire 101 es comprimida en el compresor 103 a 3,36-41,3 bar (48-590 psia) y 71,11-815,55°C (160-1500°F). La corriente de aire comprimido 105 se quema en el combustor 107 con una corriente de carburante 109 para producir una corriente de gas de combustión presurizado caliente 111. Típicamente la corriente de carburante 109 es gas natural, pero se puede usar cualquier carburante gaseoso o líquido.

La corriente de gas de combustión presurizado caliente 111 es expandida en la turbina de expansión 113 para producir trabajo del eje y corriente de escape 115 cerca de la presión atmosférica y a 93,33 a 871,11°C (200 a 1600°F). Este paso de expansión puede ser definido como expansión de trabajo. Una porción del trabajo del eje generado por la turbina de expansión 113 mueve el compresor de la turbina de gas 103 por el eje 117. La corriente de escape 115 se enfría en el intercambiador de calor 119 por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas presurizado 121 (definida más adelante), y la corriente de escape enfriada resultante 123 es ventilada a la atmósfera. El trabajo adicional generado por la turbina de expansión 113 mueve el generador eléctrico 125 por el eje 127.

ES 2 292 389 T3

El motor de turbina de gas descrito anteriormente, a menudo descrito genéricamente en la técnica como una turbina de gas, es un motor de turbina de gas de eje único que utiliza el compresor de turbina de gas 103, el combustor 107, la turbina de expansión 113 y el eje 117. Otros tipos de motores de combustión de turbina de gas conocidos en la técnica pueden ser utilizados en la presente invención, por ejemplo tal como sistemas de turbina de gas de dos ejes o carrete múltiple.

Un motor de combustión de turbina de gas es un motor de combustión donde la zona de combustión (combustor 107) está separada y es distinta del dispositivo de expansión (turbina de expansión 113) y opera en un ciclo Brayton abierto. El motor de combustión 129 puede ser alternativamente un motor de combustión interna utilizando un ciclo Otto, un ciclo Diesel, o cualquier otro tipo de ciclo en el que los pasos de combustión y expansión tienen lugar en el mismo dispositivo.

El gas de alimentación 131, que es una mezcla de gas conteniendo oxígeno, típicamente aire atmosférico, es comprimido en el compresor 133 a una presión en el rango de 3,36-41,3 bar (48-590 psia). En esta realización, el compresor 133 es típicamente un compresor polietápico interenfriado, y en todas las realizaciones es movido por un motor eléctrico separado u otro accionador (no representado) que es independiente de motor de combustión 129. La corriente de aire comprimido 135 se enfría más en postenfriador 137, y la corriente final de alimentación de aire 139 fluye a la unidad de separación de aire 141. Dentro de la unidad de separación de aire 135, la corriente de alimentación de aire es tratada en un sistema de extracción de contaminantes para quitar agua, dióxido de carbono, y otras impurezas antes de que el aire de alimentación sea separado en el proceso de separación de aire.

La corriente de alimentación de aire purificado resultante es separada en la unidad de separación de aire 141, usando típicamente un proceso criogénico de separación de aire, por lo que el aire de alimentación es separado en una corriente de producto enriquecida con nitrógeno 143 y una corriente de producto enriquecida con oxígeno 145. Opcionalmente, también se puede producir una corriente enriquecida con argón. El término “enriquecido con oxígeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración de oxígeno más alta que el aire y el término “enriquecido con nitrógeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración de nitrógeno más alta que el aire. Cuando la corriente de alimentación es una mezcla de gas conteniendo oxígeno y nitrógeno, pero no es aire, el término “enriquecido con oxígeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración de oxígeno más alta que la corriente de alimentación y el término “enriquecido con nitrógeno” en el sentido en que se usa aquí se refiere a cualquier corriente de gas que tenga una concentración de nitrógeno más alta que la corriente de alimentación. La corriente de producto enriquecida con nitrógeno 143 contiene típicamente de 80 a 99,999 mol % de nitrógeno y típicamente es cerca de la temperatura ambiente y a una presión ligeramente superior a la atmosférica a 41,3 bar (590 psia). La corriente de producto enriquecida con oxígeno 145 contiene típicamente 50 a 99,9 mol % de oxígeno y está generalmente cerca de la temperatura ambiente y a una presión atmosférica a 140 bar (2000 psia). El producto enriquecido con oxígeno se puede comprimir más si es necesario en el compresor de oxígeno producido 147 para proporcionar el producto de oxígeno final 149 a la presión de distribución.

Típicamente las corrientes 143 y 145 son enriquecidas con nitrógeno y enriquecidas con oxígeno, respectivamente, como se ha descrito anteriormente, y son esencialmente secas. Alternativamente, para ciertos requisitos del producto, la corriente 145 puede ser una corriente de producto enriquecida con nitrógeno y la corriente 143 puede ser una corriente enriquecida con oxígeno.

La unidad de separación de aire 141 puede ser un proceso criogénico de separación de aire a presión elevada (PE) en el que el aire de alimentación a una presión superior a aproximadamente 7 bar (100 psia) es separado en una corriente enriquecida con oxígeno y otra enriquecida con nitrógeno a presiones superiores a la atmosférica. Si se desea, también se puede producir una corriente enriquecida con argón, donde la corriente enriquecida con argón tiene una concentración de argón más grande que la del aire. En este método conocido, la alimentación de aire presurizado purificado se enfría más, se condensa al menos parcialmente, y se destila en una o más columnas de destilación. El producto enriquecido con nitrógeno 143 se produce típicamente a una presión en el rango ligeramente superior a la atmosférica a 41,3 bar (590 psia), y la refrigeración para el proceso se obtiene típicamente por expansión de trabajo de una o varias de las corrientes de proceso internas. La corriente enriquecida con nitrógeno o la corriente enriquecida con oxígeno líquido pueden ser bombeadas y vaporizadas dentro del proceso para obtener productos gaseosos a alta presión. Se describen unidades representativas de separación de aire PE en las Patentes de Estados Unidos 5.740.673, 5.666.823, y 5.421.166.

Alternativamente, la unidad de separación de aire 141 puede utilizar cualquier proceso criogénico de separación de aire a baja presión conocido en la técnica en el que una porción del aire de alimentación es separada en una corriente enriquecida con oxígeno y otra corriente enriquecida con nitrógeno a presiones superiores a la atmosférica. En este caso, la corriente de producto enriquecida con nitrógeno 143 es suministrada a una presión en el rango ligeramente superior al atmosférico a 7 bar (100 psia).

En cualquiera de los procesos de separación de aire descritos anteriormente, la corriente de producto enriquecida con nitrógeno 143 puede ser comprimida si es preciso en el compresor 151 para proporcionar una corriente de nitrógeno presurizado 121 en el rango de presión de aproximadamente 2,1 a 70 bar (30 a 1.000 psia). La corriente de nitrógeno presurizado 121 es calentada contra la corriente de escape 115 en el intercambiador de calor 119, y la corriente de nitrógeno presurizado caliente resultante 153 es expandida a una presión ligeramente superior a la atmos-

ES 2 292 389 T3

férica en la turbina de expansión 155 para producir trabajo del eje. Este trabajo del eje puede ser utilizado para mover el generador eléctrico 157 por el eje 159. Alternativamente, el trabajo del eje producido por la turbina de expansión 155 puede ser usado para mover otra maquinaria rotativa dentro del proceso, tal como el compresor de oxígeno 147 antes descrito. Si se requiere el compresor de nitrógeno 151, una porción del trabajo para mover este compresor puede ser proporcionada por el trabajo del eje generado por la turbina de expansión 155.

La corriente de nitrógeno expandido 161 puede ser descargada a la atmósfera o usada en otro lugar si se desea, por ejemplo para calentar la corriente de gas de proceso 163 por intercambio de calor indirecto en el intercambiador de calor 165 para obtener una corriente de gas de proceso calentada 167. La corriente de nitrógeno a presión baja enfriada final 169 puede ser descargada a la atmósfera o usada como un producto a baja presión en otro lugar si se desea. La figura 2 ilustra un uso posible de la corriente de gas de proceso calentada 167 del intercambiador de calor 165. En la unidad de separación de aire 141, la alimentación de aire presurizado es tratada para quitar agua, dióxido de carbono, y otras impurezas en el sistema de adsorción alternativa térmica (TSA) 201 antes de que el aire de alimentación sea separado en el proceso de separación de aire. El sistema TSA requiere gas de regeneración caliente y seco para regenerar los lechos adsorbentes, y éste es proporcionado por la corriente de gas calentada 167. Se suministra gas de enfriamiento al intercambiador de calor 165 como corriente 163 del sistema TSA 201 o como otra corriente de proceso dentro de la unidad de separación de aire 141.

Una realización de la invención se representa en la figura 3. En esta realización, la corriente de nitrógeno expandido 161 de la turbina de expansión 155 se combina con la corriente de escape 115 en un punto intermedio dentro del intercambiador de calor 301 que calienta la corriente de nitrógeno presurizado 121 hacia arriba de la turbina de expansión 155. Esto complementa el calentamiento de corriente de nitrógeno presurizado 121 recuperando calor adicional de la corriente de nitrógeno expandido 161. Típicamente, la corriente de nitrógeno expandido 161 se combina con la corriente de escape 115 en un punto dentro del intercambiador de calor 301 de tal manera que las temperaturas de las dos corrientes sean iguales o casi iguales. La corriente combinada de nitrógeno y escape de la turbina de gas 303 puede ser enfriada adicionalmente en el intercambiador de calor 307 para calentar la corriente de proceso 305. La corriente de proceso calentada 309 puede ser usada en otro lugar en el proceso, por ejemplo, para regeneración TSA dentro de la unidad de separación de aire 141 como se ha descrito anteriormente, o puede ser usada en otro lugar fuera del proceso. Alternativamente, la corriente de nitrógeno expandido 161 se puede combinar con la corriente de escape 115 entre intercambiadores de calor 301 y 307. La corriente combinada de nitrógeno y escape de la turbina de gas, enfriada, final 311 se descarga a la atmósfera.

Un proceso para generación de potencia y separación de aire se ilustra en la figura 4. En esta realización, la energía calorífica puede ser recuperada de la corriente de escape de la turbina de gas 115 más efectivamente cuando la tasa de flujo másico de la corriente de escape de la turbina de gas 115 es mayor que la de la corriente de nitrógeno presurizado 121. Se usa recalentamiento para equilibrar el intercambio de calor entre estas dos corrientes donde la corriente de nitrógeno presurizado 121 es calentada en el intercambiador de calor 401 para obtener la corriente de nitrógeno calentada intermedia 403, que se expande en la turbina de expansión o la etapa de turbina 405 para obtener la corriente de nitrógeno expandida intermedia 607. Esta corriente es recalentada en el intercambiador de calor 401, y la corriente de nitrógeno recalentada 409 es expandida a presión atmosférica en la turbina de expansión o la etapa de turbina 411 para obtener la corriente de nitrógeno expandida 413. El trabajo del eje generado por las etapas de turbina 405 y 411 puede ser usado para mover el generador eléctrico 415 por el eje 417, o alternativamente para mover otra máquina rotativa dentro del proceso.

En todas las realizaciones de la invención descritas anteriormente, el compresor 133, que proporciona aire comprimido de alimentación a la unidad de separación de aire 141, es movido independientemente. Esto significa que el accionador (no representado) sería independiente y no tendría integración de proceso con el motor de combustión 129 y las corrientes de producto gaseoso de la unidad de separación de aire 141 que han sido calentadas por el escape del motor de combustión 129. Esto permite que la unidad de separación de aire 141 suministre producto gaseoso enriquecido con oxígeno 145 independientemente de cualquier demanda variable en el tiempo de energía eléctrica de generador 125. Así, las turbinas de expansión 113 y 155 no realizan preferiblemente el trabajo del eje para el compresor del gas de alimentación 133. Estas características de proceso, si se usan, desacoplan el compresor del gas de alimentación 133 del motor de combustión 129, que define el compresor 133 como un compresor de gas de alimentación movido independientemente. Sin embargo, el compresor 133 podría ser movido por el motor de combustión 129 si se desea, pero en tal caso la unidad de separación de aire no operaría necesariamente independientemente y podría quedar afectada por los cambios de la demanda de energía eléctrica del generador 125.

La recuperación del trabajo de la corriente de escape 115 en las realizaciones descritas anteriormente se lleva a cabo en la presente invención por una alternativa al sistema de generación de vapor por recuperación de calor usual y ciclo de reaprovechamiento de vapor antes descrito. Recuperando calor usando una corriente de producto gaseoso de la unidad de separación de aire, el equipo de proceso requerido se reduce de forma significativa eliminando el generador de vapor por recuperación de calor (caldera); la bomba y el sistema de alimentación de agua de la caldera; la turbina de vapor de expansión; el condensador, bombas de condensado, y equipo relacionado; y el sistema de desmineralización del agua de alimentación de la caldera. El sistema de intercambio térmico de la presente invención es más compacto que un generador de vapor por recuperación de calor. Además, para la mayoría de las aplicaciones la corriente de producto gaseoso del sistema de separación de aire está seca y sin partículas, y esto es beneficioso para la operación y el mantenimiento de los intercambiadores de calor y la turbina de expansión. Dado que la invención utiliza eficientemente producto gaseoso presurizado, se puede utilizar una unidad de separación de aire a presión alta

ES 2 292 389 T3

que usa un líquido bombeado o ciclo a presión elevada. Estos ciclos requieren generalmente equipo más pequeño y menos caro que otros ciclos, y ésta puede ser una ventaja de costo importante. En la presente invención, no hay que equilibrar los requisitos de energía eléctrica y los requisitos de producto gaseoso, dado que la unidad de separación de aire opera independientemente del motor de combustión de turbina de gas que mueve el generador eléctrico.

5

En las realizaciones de la invención descrita anteriormente, la unidad de separación de aire es preferiblemente un sistema de separación criogénica que separa el gas de alimentación por destilación criogénica. La característica de la invención también puede ser realizada en principio cuando se usan otros tipos de procesos de separación de gas conocidos, por ejemplo procesos que utilizan adsorción, permeación de membrana, o métodos de separación químicos.

10

Ejemplo

Un sistema de separación de aire a presión elevada está integrado con un conjunto de motor de combustión de turbina de gas/generador eléctrico usando recuperación de calor de escape y una turbina de expansión de nitrógeno que también mueve un generador eléctrico. Este sistema se representa en la figura 1. El sistema de separación de aire produce 1.814 toneladas (2.000 toneladas cortas) por día de oxígeno conteniendo 95 vol % de oxígeno a 43,029 bar (614,7 psia). Los generadores eléctricos producen 10,219 kW (netos) de energía eléctrica. El sistema opera a una presión barométrica de 1,029 bar (14,7 psia), una temperatura del aire ambiente de 15° (59°F), humedad relativa de 60%, y una temperatura del agua refrigerante de 21,11°C (70°F). El motor de combustión de turbina de gas es una unidad de dos ejes aeroderivada industrial típica con un generador de gas de carrete único y una turbina de potencia separada para mover el generador eléctrico.

15

20

Se realizó equilibrio de calor y material para ilustrar la realización de la invención representada en la figura 1. Un resumen de las corrientes de este equilibrio se expone en la tabla 1.

25

(Tabla pasa a página siguiente)

30

35

40

45

50

55

60

65

TABLA 1
RESUMEN DE LAS CORRIENTES DEL EJEMPLO
 (Figura 1)

| | 101 | 109 | 115 | 123 | 131 | 135 |
|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Número de corriente | | | | | | |
| Presión, bar (psia) | 1,0185 (14,55) | 28,63 (409) | 1,0542 (15,06) | 1,029 (14,7) | 1,0185 (14,55) | 15,47 (221) |
| Temperatura °C (°F) | 15(59) | 25 (77) | 510 (950) | 132,7 (271) | 15 (59) | 81,11 (178) |
| Caudal, kg/h (lbs/h) | 299454,5 (658800) | 5409,55 (11901) | 304864,0 (670701) | 304864,0 (670701) | 341417,73 (751119) | 339417,73 (746719) |
| Composición, Vol % | | | | | | |
| Aire seco | 98,99 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 98,99 | 99,62 |
| Agua | 1,01 | 0,00 | 7,27 | 7,27 | 1,01 | 0,38 |
| Nitrógeno | 0,00 | 0,00 | 74,87 | 74,87 | 0,00 | 0,00 |
| Oxígeno | 0,00 | 0,00 | 13,79 | 13,79 | 0,00 | 0,00 |
| Argón | 0,00 | 0,00 | 0,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Dióxido de carbono | 0,00 | 0,00 | 3,18 | 3,18 | 0,00 | 0,00 |
| Metano | 0,00 | 100,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| Número de corriente | 139 | 143 | 145 | 149 | 153 | 161 |
| Presión, bar (psia) | 15,33 (219) | 4,62 (66) | 4,669 (66,7) | 43,029 (614,7) | 4,515 (64,5) | 1,029 (14,7) |
| Temperatura °C (°F) | 26,67 (80) | 26,67 (80) | 26,67 (80) | 79,44 (175) | 487,78 (910) | 233,33 (452) |
| Caudal, kg/h (lbs/h) | 339105,9 (746033) | 257070,4 (565555) | 80485,45 (177068) | 80245 (176539) | 257070,45 (565555) | 257070,45 (565555) |
| Composición, Vol % | | | | | | |
| Aire seco | 99,77 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Agua | 0,23 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,33 |
| Nitrógeno | 0,00 | 98,62 | 1,66 | 1,66 | 98,62 | 98,62 |
| Oxígeno | 0,00 | 0,74 | 95,00 | 95,00 | 0,74 | 0,74 |
| Argón | 0,00 | 0,27 | 3,34 | 3,34 | 0,27 | 0,27 |
| Dióxido de carbono | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 |
| Metano | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

El equilibrio de potencia del equipo rotativo se expone en la Tabla 2.

ES 2 292 389 T3

TABLA 2

Equilibrio de potencia del ejemplo

| Equipo | Número (fig. 1) | Potencia del eje, kW | Potencia de entrada terminal del motor kW | Potencia de salida ter- minal del generador kW |
|--|-----------------------|----------------------------|---|--|
| Compresor de aire princi- pal | 131 | 28457 | 28891 | |
| Compresor de oxígeno | 147 | 5807 | 5923 | |
| Motor de turbina de gas y gene- rador | 129 y 125 | | | 28500 |
| Turbina de expansión de nitrógeno y generador | 155 y 157 | 12586 | | 16533 |
| POTENCIA DE EXPORTA- CIÓN NETA | | 10219 kW | | |

Notas:

1) Se han tenido en cuenta las pérdidas por sellado del compresor en el equilibrio.

2) Se han tenido en cuenta las pérdidas de la unidad de separación de aire en el equilibrio.

3) No se incluye la energía eléctrica para utilidades tales como bombas de circulación de refrigerante, ventiladores de la torre de refrigeración, dispositivos auxiliares del sistema de lubricación.

Así el proceso de la presente invención ofrece un método alternativo para recuperar calor de los gases de escape de un motor de combustión integrado con una unidad de separación de aire donde el motor de combustión mueve un generador eléctrico y una corriente de gas de la unidad de separación de aire es calentada con el escape del motor de combustión y se expande para producir energía eléctrica adicional o mover equipo de proceso. La invención ofrece una alternativa al método conocido de recuperar calor del escape de un motor de combustión con un sistema generador de vapor por recuperación de calor, y es útil para situaciones de proceso en las que tal sistema no es apropiado o de costo razonable.

Las características esenciales de la presente invención se describen plenamente en la descripción anterior.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la generación de energía eléctrica y la separación de una mezcla de gas de alimentación (131) conteniendo oxígeno y nitrógeno que incluye:

- (a) quemar un gas oxidante y carburante (109) en un motor de combustión (129) para generar trabajo del eje y un gas de escape caliente (115);
- (b) utilizar el trabajo del eje de (a) para accionar un generador eléctrico (125) para proporcionar la energía eléctrica;
- (c) comprimir la mezcla de gas de alimentación (131) y separar la mezcla de gas de alimentación comprimida resultante (131) en dos o más corrientes de producto gaseoso (143, 145) con composiciones diferentes, y
- (d) calentar al menos una de las corrientes de producto gaseoso (143) por intercambio de calor indirecto con al menos una porción del gas de escape caliente (115) del motor de combustión (129) de (a) y expandir la corriente de producto gaseoso calentado resultante (153) para generar trabajo del eje y producir una corriente de producto gaseoso expandido (161), donde la mezcla de gas de alimentación es aire (131), una de las corrientes de producto gaseoso es una corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno (145), y otra de las corrientes de producto gaseoso es una corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno (143), donde la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno (143) es calentada por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente (115) del motor de combustión (129) en un intercambiador de calor (119),

caracterizado porque el calentamiento se realiza combinando la corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno con el gas de escape caliente (115) en un punto intermedio en el intercambiador de calor.

2. El método de la reivindicación 1 donde el motor de combustión (129) es un motor de combustión de turbina de gas.

3. El método de la reivindicación 1 donde el motor de combustión (129) es un motor de combustión interna.

4. El método de la reivindicación 1 donde trabajo del eje obtenido expandiendo la corriente de producto gaseoso calentado resultante (153) es utilizado para generar energía eléctrica adicional.

5. El método de la reivindicación 1, donde el aire es separado comprimiendo y enfriando aire para obtener una corriente de aire de alimentación presurizado, purificando la corriente de aire de alimentación presurizado quitando de ella el agua y dióxido de carbono, enfriando más la corriente de alimentación de aire purificado resultante, y separando la corriente de alimentación de aire purificado enfriado resultante por destilación criogénica para obtener la corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno (145) y la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno (143).

6. El método de la reivindicación 1, donde la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno (143) es calentada por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente (115) del motor de combustión (129) y la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno calentada resultante es expandida para generar trabajo del eje y obtener una corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno.

7. El método de la reivindicación 6, donde al menos una porción del trabajo del eje obtenido expandiendo la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno calentada resultante es utilizada para comprimir la corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno.

8. El método de la reivindicación 6, donde la corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno es enfriada por intercambio de calor indirecto con una corriente de gas de proceso para obtener una corriente de gas de proceso calentada.

9. El método de la reivindicación 8 donde el aire es separado comprimiendo y enfriando aire para obtener una corriente de aire de alimentación presurizado, purificando la corriente de aire de alimentación presurizada por un proceso de adsorción de ciclo térmico para quitar de ella el agua y dióxido de carbono, enfriando más la corriente de alimentación de aire purificado resultante, y separando la corriente de alimentación de aire purificado enfriado resultante por destilación criogénica para obtener la corriente de producto gaseoso enriquecida con oxígeno (145) y la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno (143), donde la corriente de gas de proceso calentada se usa como un gas de regeneración en el proceso de adsorción de ciclo térmico.

10. El método de la reivindicación 1 donde una corriente combinada de producto gaseoso enriquecido con nitrógeno expandido y gas de escape enfriado (123) es retirada del intercambiador de calor (119) y enfriada más por intercambio de calor indirecto con un gas de proceso para obtener una corriente de gas de proceso calentada.

ES 2 292 389 T3

11. El método de la reivindicación 1 que incluye además:

- 5 (e) recalentar la corriente de producto gaseoso expandido de (d) por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente (115) del motor de combustión y expandir el gas recalentado resultante para producir trabajo del eje y un producto gaseoso final a presión reducida.

12. El método de la reivindicación 11 donde el trabajo combinado del eje de (d) y (e) es utilizado para generar energía eléctrica adicional.

10 13. El método de la reivindicación 1 donde la compresión de la mezcla de gas de alimentación (131) en (c) es efectuada por un compresor de gas de alimentación movido independientemente (133).

14. El método de la reivindicación 1 donde la mezcla de gas de alimentación es aire y una de las corrientes de producto gaseoso es una corriente enriquecida con argón.

15 15. El método de la reivindicación 1 donde la corriente de producto gaseoso enriquecida con nitrógeno (143) es calentada por intercambio de calor indirecto con el gas de escape caliente (115) del motor de combustión (129) en un intercambiador de calor (119), el gas de escape enfriado resultante (123) se combina con la corriente de producto gaseoso expandido enriquecido con nitrógeno, y la corriente de gas combinada resultante se enfría más por intercambio
20 de calor indirecto con un gas de proceso para obtener una corriente de gas de proceso calentada.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

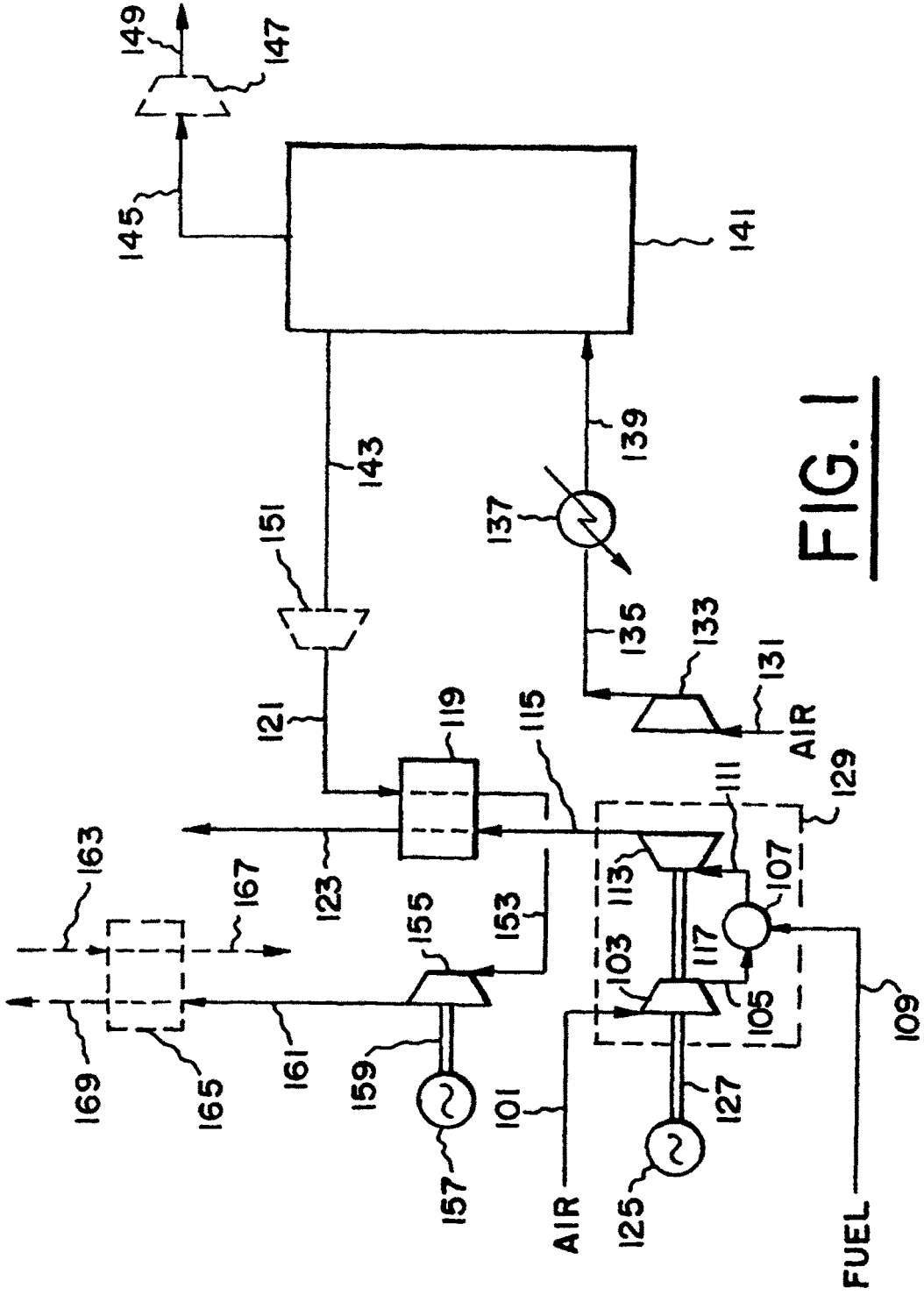


FIG. 1

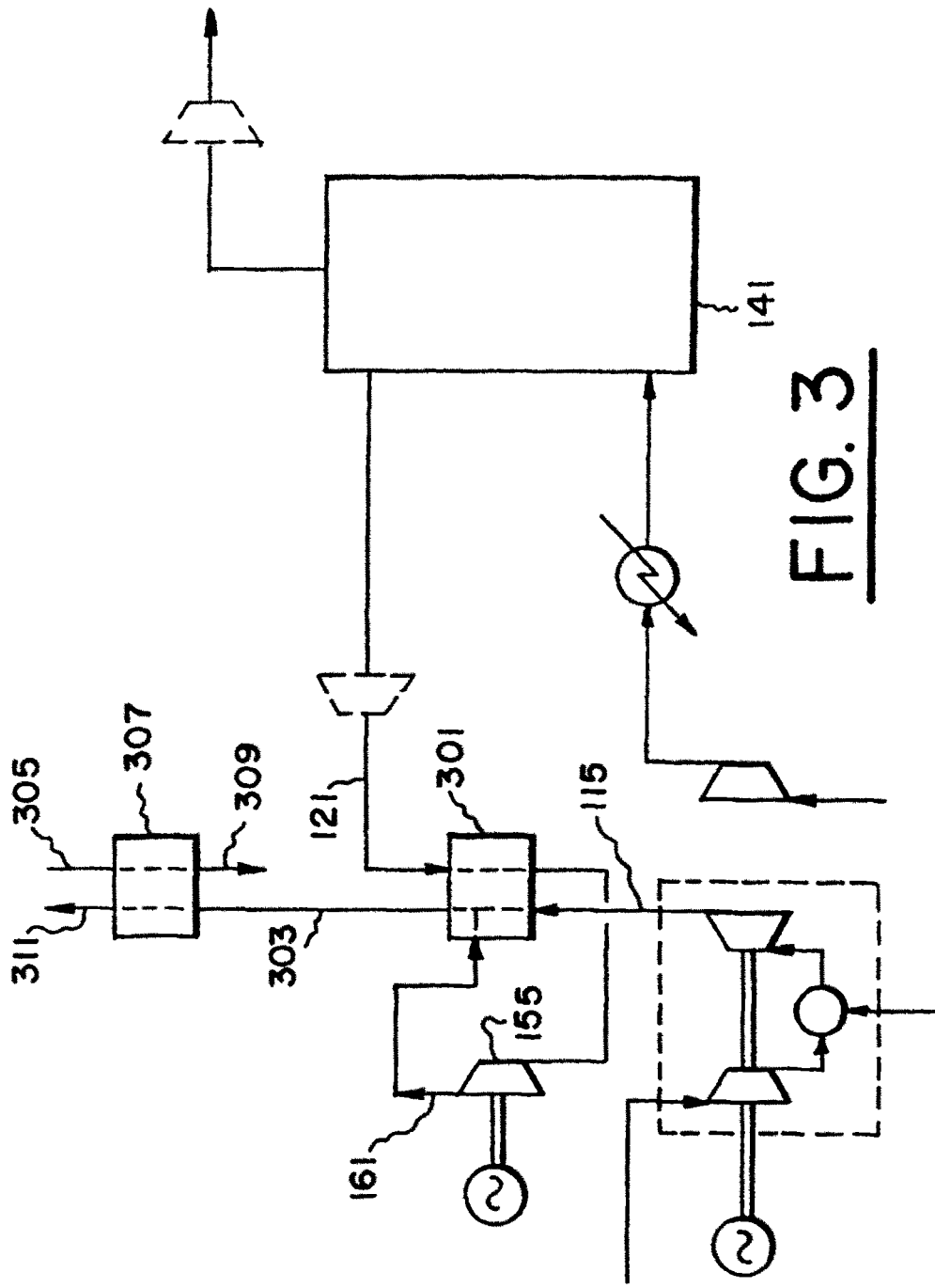


FIG. 3

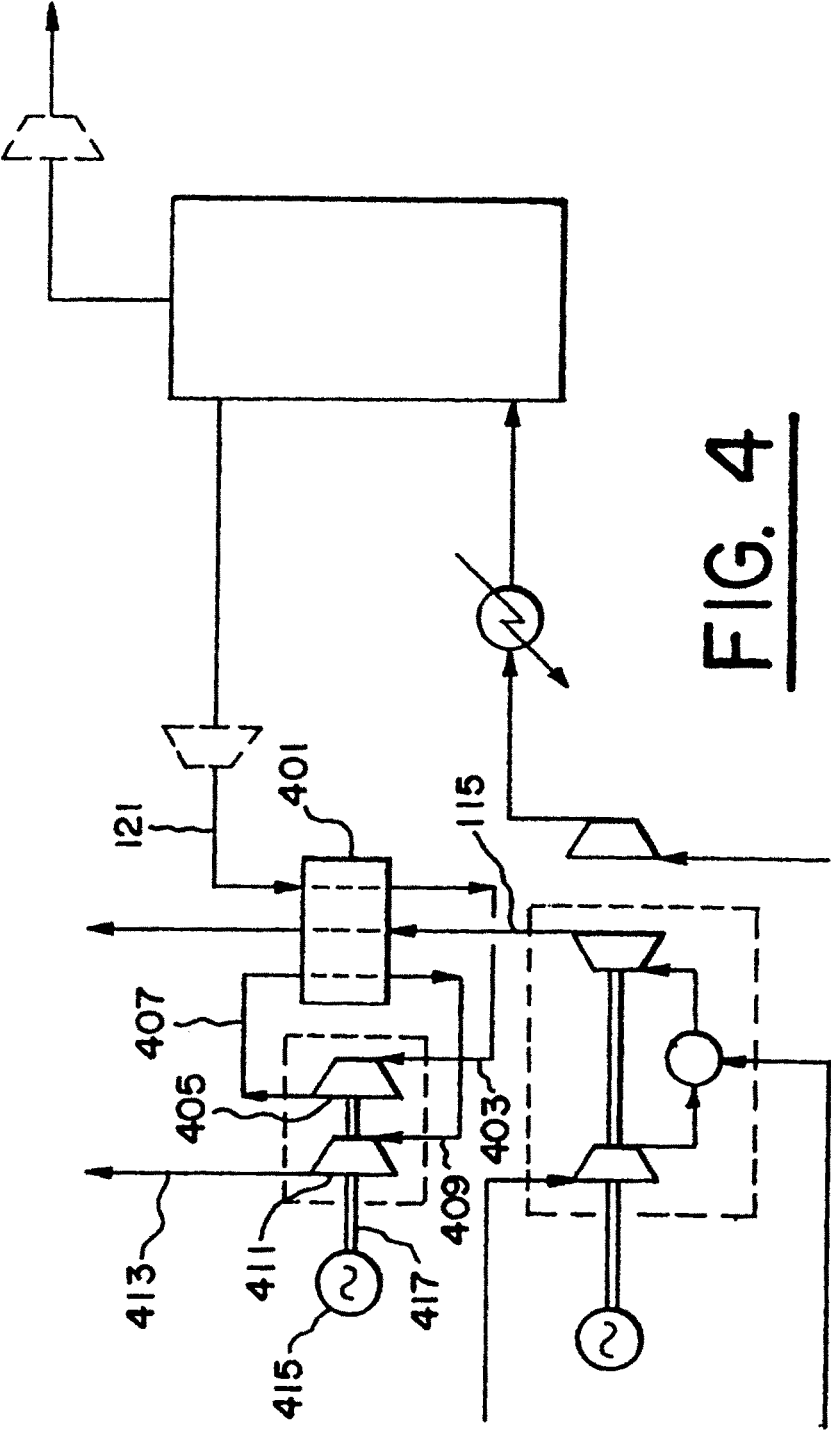


FIG. 4