

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 571 212**

51 Int. Cl.:

F02C 9/20 (2006.01)

F02C 9/54 (2006.01)

F04D 27/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2009** **E 09166042 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.02.2016** **EP 2292910**

54 Título: **Método para el control de motores de turbina de gas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.05.2016

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

CATALDI, GIOVANNI y
KAUFMANN, DAVID NICOLAI

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 571 212 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para el control de motores de turbina de gas

Campo técnico

5 La presente invención se relaciona con un método para operar un sistema de motor de turbina de gas bajo carga de base y/o condiciones de carga de parte alta.

Técnica anterior

10 Los compresores axiales de motores de turbina de gas de trabajo pesado modernos están equipados usualmente con una o más filas de paletas variables. Un problema conocido con compresores de flujo axial es la denominada pérdida o choque, que puede ocurrir cuando la presión, velocidad y/o relación de velocidad rotacional del compresor se alteran o no coinciden de tal manera que el compresor funciona fuera de sus características de diseño. La pérdida o choque es un desajuste del patrón suave del flujo a través del compresor en turbulencia violenta, una pérdida denominada como un desajuste en el flujo en solo algunas de las etapas de un compresor de múltiples etapas y un choque generalmente denominado como un desajuste completo de flujo de aire suave a través del compresor. Las paletas variables permiten un control suave del flujo de masa de aire de entrada del compresor mientras se mantiene alta eficiencia aerodinámica del compresor axial y suficiente margen para los límites de choque y pérdida del compresor.

20 Las paletas variables dan un grado predeterminado de giro al aire que pasa a las palas del rotor inmediatamente en la parte inferior de las mismas y asegura que se suministre aire a las palas del rotor a la velocidad y ángulo correctos dependiendo de las diversas condiciones que existen en el compresor. El control del flujo de masa de entrada del compresor que varía el ángulo de paletas variables se utiliza dentro del concepto de operación del motor como un medio para regular la salida de energía mientras se mantiene la alta relación de $m_{\text{combustible}}/m_{\text{aire}}$ (en donde m es masa por unidad de tiempo) y alta temperatura de aire de entrada de turbina, por consiguiente una combustión estable y una eficiencia térmica de ciclo óptimo también durante la operación de carga de parte.

25 La mayoría de los motores de turbina de gas funcionan con gas natural o combustible diesel como combustibles principales y por lo tanto se caracterizan por relaciones de aire muy pequeñas de combustible $m_{\text{combustible}}/m_{\text{aire}}$ generalmente en el rango de 1/60 a 1/20. De esta forma el flujo de masa de combustible es relativamente pequeño en comparación con el flujo de masa de aire y, para un valor dado de m_{aire} , las variaciones normales de la composición de combustible (generalmente $\pm 5\%$ en entrada energética, y por consiguiente $\sim \pm 5\%$ en $m_{\text{combustible}}$) tienen poco impacto en la relación de presión del ciclo de turbina de gas, en los flujos de masa reducidos de entrada y escape de turbina, y en la posición de la línea de funcionamiento del motor dentro del mapa de compresor.

35 Principalmente por esta razón, los métodos de control de sistema de motor de turbina de gas establecidos en la actualidad para la operación de carga de base se caracterizan básicamente por la definición de una posición variable de las paletas de carga de base, que se logra y mantiene en la operación de carga de base y esto es independiente de la composición particular de combustible y el flujo de masa de combustible. Dicha posición de paletas variables de carga de base es normalmente una posición completamente abierta o una posición casi abierta, que permite el flujo máximo de masa de aire de entrada y conduce a una salida máxima de energía de turbina de gas, y esta posición de control de las paletas variables normalmente corresponde a la condición de diseño del compresor en la que se logra máxima eficiencia aerodinámica.

40 En la parte superior de los métodos de control de sistema de motor de turbina de gas conocidos mencionados anteriormente, otros limitadores o controles se pueden superponer para operación a muy baja temperatura o muy alta temperatura ambiente.

Un límite de presión máxima se puede especificar para la presión de descarga del compresor con el propósito de evitar el exceso de límite de diseño de cubierta del motor en el caso de operación a muy baja temperatura ambiente.

45 Un límite máximo de temperatura se puede especificar para la temperatura de descarga del compresor con el propósito de evitar el exceso del límite de diseño del rotor en el caso de operación a muy alta temperatura ambiente.

En ambos casos, las paletas variables de compresor serán dirigidas para cerrarse en el caso que se exceda el límite.

50 En ambos casos, los limitadores actúan solo bajo condiciones extremas, mientras que bajo condiciones normales la relación de presión del ciclo es libre para variar como resultado de la composición de combustible y variaciones del flujo de masa de combustible.

Se han descrito varios métodos para el propósito de evitar choque, el documento US 4, 252, 498 describe un sistema de control para un compresor de flujo axial de múltiples etapas de un motor de turbina de gas. El sistema de control abarca una etapa de paletas guía de ángulo variable, un primer detector adaptado para detectar una primera presión en el compresor que está influenciado por la configuración angular de la paleta, y un segundo detector adaptado para detectar una segunda presión independiente de la configuración de paleta pero que tiene una relación funcional a la velocidad rotacional de un compresor del motor. Una unidad de control se adapta para utilizar las presiones detectadas por los detectores para provocar que un mecanismo de accionamiento ajuste la configuración angular de las paletas guía en una forma predeterminada dependiente de la relación de la segunda presión a la primera presión.

El documento US 2003/011199 describe un método para controlar paletas de estator y de entrada variable de un componente de compresor generador de energía eléctrica de turbina de gas de trabajo pesado luego de ocurrencia de eventos de baja frecuencia de red de energía. Las paletas guía de entrada variable y las cuatro paletas de estator variables frontales del compresor se acoplan entre sí por medio de un mecanismo de accionamiento común. La alteración del ángulo de las paletas acopladas cambia el consumo de flujo de aire general del compresor y afecta la cantidad de energía de salida de turbina producida. Los esquemas operacionales predeterminados para variar la posición angular de las paletas de estator de acuerdo con la velocidad del compresor se definen para condiciones de operación de baja frecuencia y nominales para asegurar la eficiencia óptima del compresor sin violar los criterios mínimos de seguridad de margen de choque de compresor. Durante un evento de baja frecuencia de red de energía, las paletas de estator variables del compresor se operan en una forma que proporciona una transición suave del esquema operacional nominal predeterminado al esquema operacional de baja frecuencia predeterminada.

El contenido de energía del combustible utilizado para la operación de una turbina de gas indirectamente también influencia las condiciones del compresor. De hecho si se utiliza una turbina de gas para quemar combustibles con bajo contenido energético, la relación de combustible-aire empieza a ser mayor que en los casos normales tal como cuando se utiliza gas natural o combustible diesel. Los valores típicos son $m_{\text{combustible}}/m_{\text{aire}} > 1/20$ o incluso cerca de 1. En estos casos, la variación de las composiciones de combustible en el orden de $\pm 5\%$ de la entrada energética tienen un impacto notable en la relación de presión de ciclo de turbina a gas, en la entrada de turbina y el flujo de masa reducido de escape, y en la posición de la línea que opera el motor dentro del mapa de compresor.

Esto también es cierto para combustibles con alto contenido energético, pero caracterizado por una cantidad variable de H_2 y CO . H_2 y CO , respectivamente, durante su combustión generan una cantidad muy alta o ninguna cantidad de agua, H_2O , que es casos extremos con respecto a hidrocarburos normales presentes en el gas natural (como metano CH_4). Esto tiene un impacto significativo en la densidad de los gases que entran a la turbina (a una temperatura de calcinación dada y cantidad de aire de entrada de compresor) y por consiguiente en la presión de entrada de turbina y la relación de propósito del ciclo.

Se conocen varios métodos para el propósito de controlar el contenido de energía de un combustible utilizado en una turbina de gas por ejemplo al mezclar un combustible de la fuente principal (usualmente un combustible bajo energético o un combustible con altas variaciones en el contenido energético) con una porción usualmente pequeña, correspondiente de un combustible de respaldo normalmente más energético con niveles energéticos constantes (usualmente gas natural) de tal manera que la composición final es más o menos estable en términos de su entrada energética. Sin embargo los medios que se van a proporcionar para dicha estabilización del contenido de energía del combustible son indeseables ya que son complicados y no son rentables.

En la actualidad el método común para manipular variaciones grandes de composición de combustible en todos los métodos de control conocidos es que especifica una configuración conservadora para la posición de paletas variables de carga de base que es válida y segura para todos los tipos de combustibles, es decir que incluye normalmente el combustible menos energético con el mayor contenido de agua que se utiliza generalmente para el diseño. Se asocian diversos problemas con este método, por ejemplo que el motor de turbina de gas se controla por debajo de sus posibilidades reales, lo que resulta en menor generación de energía, en cualquier momento la composición de combustible difiere de la composición extrema utilizada para diseño. Otro problema es que si la composición de combustible real varía fuera del rango utilizado para diseño, los sistemas de control conocidos no son capaces de detectarlo automáticamente, pero se realiza un análisis detallado mediante personal especializado a través de cromatografía de gas, analizando la composición de combustible real que necesita el apagado de la turbina de gas y se configura manualmente la redefinición de las paletas variables.

El documento WO 90/10148 describe un método y un dispositivo para controlar la posición de las paletas de estator variables en un compresor de gas de un motor de turbina de gas para aeronave para mantener el flujo de gas del compresor y la relación de presión en una línea de operación preseleccionada. De acuerdo con este método descrito se miden las presiones de gas totales en la entrada del compresor y la salida de compresor, sensibles a las presiones de gas de entrada y salida medidas que determinan una relación de presión corriente del compresor, esta relación de presión corriente se compara con una relación de presión deseada y la posición de las paletas de estator varía en respuesta a la diferencia entre las relaciones de presión deseadas y corrientes.

Resumen de la invención

La presente invención se relaciona con un método para operar un sistema de motor de turbina de gas bajo carga de base y/o condiciones de carga de parte alta, dicho sistema de motor de turbina de gas comprende un motor de turbina de gas con por lo menos un compresor con por lo menos una fila de paletas variables ajustables para el control del flujo de masa de aire de entrada; por lo menos una cámara de combustión; y por lo menos una turbina. De acuerdo con este método, un sistema de control, sobre la base de y como una función de por lo menos un valor de temperatura medido (T_{amb}) medida en la parte superior del compresor o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a esta, controla la posición variable de las paletas de tal manera que por lo menos un valor de presión medido (P_{cd}) que varía con la posición angular de las paletas variables está en una presión objetivo predefinida que es una función de dicha primera temperatura (T_{amb}), en donde dicha presión objetivo predefinida es una función de una temperatura de escape de turbina (T_{ex}), en donde la temperatura de escape de turbina se mide utilizando uno o una pluralidad de puntos de medición con un programa de promediado correspondiente.

La ventaja de esta medición es permitir un control más fino de la posición variable de las paletas con respecto al flujo de masa reducido de escape de turbina y con respecto a los números mach del flujo de gas de escape a través de la última pala de turbina. Dependiendo del diseño de la última pala de turbina, puede ser aconsejable reducir el flujo de aire de entrada del compresor al cerrar las paletas variables con el propósito de evitar números mach muy altos. La presente invención también aumenta la vida útil para las últimas etapas de turbina y permite la operación con un posicionamiento óptimo de la línea de operación del motor con el objetivo de evitar envejecimiento muy rápido del eje del rotor, turbina y otros componentes de turbina de gas así como también para el equipo similar al generador de vapor de recuperación de calor, compresor de combustible etc. en la interfaz de la turbina de gas.

La invención proporciona salida de energía promedio mayor y/o menores costes asociados al tamaño óptimo de los únicos componentes de turbina de gas en aplicaciones con combustible caracterizado por variaciones de composición no predecibles con el tiempo y en particular en aplicaciones con gas de alto horno como combustible principal o con otros combustibles caracterizado por un valor promedio bajo del valor de calentamiento menor o cantidad alta y variable de H_2 y CO en su composición. Si se emplea la presente invención, no subsiste necesidad de mezcla complicada de combustibles con el propósito de establecer un contenido de energía constante del combustible. Es posible un control de la presión medida en la parte inferior de la fila de paletas variables que es esencialmente independiente del combustible utilizado, si se controla la presión medida en la parte inferior de la fila de paletas variables a un valor de presión objetivo con base en una temperatura superior del compresor.

Utilizando el método de control de acuerdo con la presente invención, incluso si la composición de combustible utilizada varía fuera del rango utilizado para el diseño de composición para el combustible, este sistema de control lo detectará automáticamente, redefinirá automáticamente la configuración de las paletas variables después de analizar los resultados y no se requiere redefinición manual de la configuración de las paletas variables después del apagado del motor de turbina de gas. Esencialmente el sistema de control actúa independientemente de la composición de combustible particular pero se tiene en cuenta indirectamente sin necesitar la determinación de la composición de combustible.

De acuerdo con una primera realización preferida del método de acuerdo con la invención, el sistema de control, sobre la base de y como una función de por lo menos un valor de temperatura medido (T_{amb}) medida en la parte superior del compresor o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, así como también una función de una velocidad de rotación medida de un eje de un motor de turbina de gas (normalmente el eje común de la turbina y el compresor y opcionalmente el generador) o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, controla la posición variable de las paletas de tal manera que por lo menos un valor de presión medido que varía con la posición angular de las paletas variables está en una presión objetivo predefinida que es una función de dicha primera temperatura así como también dicha velocidad de rotación. De nuevo se encuentra inesperadamente que si la base del valor objetivo para la presión es el valor de temperatura medido superior del compresor en combinación con la velocidad de rotación del eje, incluso es posible menos dependencia de la línea de operación en la composición de combustible. La medición adicional de la velocidad del eje permite un control más fino de la posición variable de las paletas durante periodos en los que la frecuencia de la red eléctrica es muy baja o muy alta en vista de optimizar el punto de operación del compresor con respecto a los límites de pérdida y choque. La presente invención es adecuada para el compresor con diferentes diseños aerodinámicos dependientes de las paletas variables del diseño del compresor particular que se puede mantener en posición constante o se puede reducir el flujo de aire de entrada de compresor durante eventos de baja frecuencia en la red eléctrica.

Preferiblemente, el control es efectuado al comparar dicho valor de presión medido con una presión objetivo predefinida, en donde la presión objetivo se calcula como una función de la velocidad de rotación medida del eje o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, y/o como una función de por lo menos un valor de temperatura medido en la parte superior del compresor o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, y en donde el control genera un comando a un accionador para el movimiento de las paletas variables para aumentar el flujo de aire de entrada al compresor al abrir las paletas variables en el caso que el valor

de presión medido sea menor que la presión objetivo predefinida o para reducir el flujo de aire de entrada al cerrar las paletas variables en el caso que el valor de presión medido sea mayor que la presión objetivo predefinida.

El valor de temperatura medido se mide preferiblemente en la parte superior del compresor o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este es una temperatura dentro del sistema de admisión de aire de turbina de gas, preferiblemente la temperatura de aire ambiente o la temperatura de aire de entrada de compresor.

El valor de presión medido que varía con la posición angular de las paletas variables se mide preferiblemente dentro del compresor en la parte inferior de la primera fila de paletas variables o en la parte inferior de diversas filas de paletas variables o en un pleno en la parte inferior del compresor o en la parte superior de la cámara de combustión de la primera fila de palas de turbina o en la parte inferior de la turbina.

De acuerdo con una realización preferida, el control es un control de circuito cerrado.

Dicha presión objetivo predefinida puede ser una función de un segundo valor de presión (por ejemplo P_{amb}) medido en la parte superior del compresor o en la parte inferior de la salida de turbina, en donde preferiblemente el control tiene lugar al controlar la relación del valor de presión medido (por ejemplo P_{cd}) con el segundo valor de presión (P_{amb}) a una relación de presión objetivo. La primera medición de presión se divide por una segunda medición de presión que es menor que la primera medición de presión, ubicado en la parte superior de la entrada de compresor o en la parte inferior de la salida de turbina para obtener una presión objetivo nueva definida que también es una función de dicha primera temperatura. La nueva presión objetivo definida es una función de dicha primera temperatura y relación de la primera medición de presión y la segunda medición de presión para mejor control de dicho sistema de motor de turbina de gas. Esto extiende el rango de operación con respecto a la estabilidad del compresor de aire en el motor de turbina de gas, y también son posibles mayor estabilidad y optimización de desempeño para áreas con variaciones de presión ambiente frecuentes. También es ventajosa la instalación de la segunda medición de presión en la entrada del compresor o en la salida de la turbina, que se enfoca respectivamente en el compresor o en la estabilidad de flujo de la turbina.

El control, de acuerdo con una realización adicional de la invención, se puede llevar a cabo en combinación con un control del flujo de masa de combustible, el último se basa preferiblemente en medición directa o indirecta de la temperatura de entrada o salida de turbina, limitando la cantidad de combustible con base en los valores objetivo predefinidos de temperatura de entrada o salida de turbina.

Breve descripción de las figuras

Las realizaciones preferidas de la invención se describen adelante con referencia a los dibujos. En los dibujos,

La Figura 1 muestra un diagrama de un sistema de motor de turbina de gas que incluye un diagrama de bloque del sistema de control;

La Figura 2 muestra un ejemplo del esquema objetivo de presión de descarga del compresor versus temperatura de entrada del compresor a velocidad rotacional de eje constante;

La Figura 3 muestra en a) la sensibilidad de la posición de la línea de operación de motor (en el mapa de compresor) con respecto a la composición de combustible (menor valor de calentamiento LHV) para un esquema de control convencional y en b) para el control de acuerdo con la invención;

La Figura 4 muestra en a) la sensibilidad del flujo de masa reducido de escape de turbina con respecto a la composición de combustible (menor valor de calentamiento, LHV) para un esquema de control convencional y en b) para el control de acuerdo con la invención;

La Figura 5 muestra en a) la sensibilidad de la temperatura de descarga del compresor con respecto a la composición de combustible (menor valor de calentamiento, LHV) para un esquema de control convencional y en b) para el control de acuerdo con la invención; y

La Figura 6 muestra en a) la sensibilidad de la salida de energía del motor de turbina de gas con respecto a la composición de combustible (menor valor de calentamiento, LHV) para un esquema de control convencional y en b) para el control de acuerdo con la invención.

Descripción de las realizaciones preferidas

Con referencia a los dibujos adjuntos, se describirá un sistema 1 de motor de turbina de gas y el control correspondiente para la operación en múltiples aplicaciones. El control propuesto es capaz de asegurar la operación

estable de la turbina de gas y el desempeño óptimo en la forma de salida de energía y eficiencia en particular bajo condiciones que hacen variar la composición y/o contenido de energía del combustible en la carga de base y alta operación de parte de carga.

En la Figura 1 muestra un sistema 1 de motor de turbina de gas que comprende un motor 2 de turbina de gas, un generador 3 eléctrico, una admisión de aire con múltiple 4 de admisión, un compresor 5, una cámara 6 de combustión y una turbina 7. En la Figura 1 el generador 3 eléctrico, compresor 5 y turbina 7 todos tres se montan en un único mismo eje. El motor 2 de turbina de gas de esta forma puede ser una parte de un tren de eje mecánico, que en su disposición más simple, también incluye un generador eléctrico y, en una disposición más compleja, también puede incluir uno o más compresores de gas combustible y una o más turbinas de vapor, en donde dicho generador eléctrico se puede conectar a una red eléctrica aislada o abierta. La cámara 6 de combustión se ilustra como una cámara de combustión tipo Silo montada en la parte superior, sin embargo también son posibles diferentes diseños de la cámara de combustión en el contexto de la presente invención. El compresor 5 tiene por lo menos una fila de paletas 8 variables para controlar el flujo de aire de entrada. Las múltiples filas de paletas variables pueden estar presentes en el compresor 5. Una fila de paletas 8 variables se ubica normalmente en la parte superior de la primera fila de palas giratorias del compresor 5. La fila de paletas 8 variables normalmente se proporciona en la entrada del compresor 5 o se puede proporcionar dentro del compresor 5.

En la Figura 1 adicionalmente un dispositivo 15 de enfriamiento de entrada de aire, como un enfriador evaporativo, un sistema de nebulización u otro dispositivo, con base en rociado de agua, también está presente en la parte superior de la entrada de compresor. Alternativamente o adicionalmente, se puede ubicar un dispositivo de enfriamiento entre dos etapas de compresor consecutivas o entre dos compresores consecutivos (interenfriado). El esquema de presión objetivo predefinido se puede hacer dependiente de si son activos uno o más de dichos dispositivos de enfriamiento. Los dispositivos de enfriamiento de aire generalmente conducen a una reducción de la temperatura de descarga del compresor. En disposiciones de flujo de aire de enfriamiento típicas, el rotor del motor de turbina de gas (rotores) se expone en su parte más caliente a la temperatura de descarga del compresor. En aquellos casos en donde el esquema de presión objetivo predefinido (para operación sin enfriamiento de entrada de aire) se determina con base en las limitaciones de temperatura del rotor, es generalmente beneficioso (en términos de salida de energía) para especificar esquemas mayores dedicados (posición de paletas variables más abiertas y mayor flujo de aire de entrada de compresor) para operación con enfriamiento de entrada de aire activo.

La Figura 1 también muestra un sistema 10 de control para dicho sistema de motor de turbina de gas con dispositivos de medición de presión tal como tomas 13 de presión, dispositivos 17 de medición de temperatura, por lo menos un dispositivo 11 de medición de velocidad de rotación de eje, con por lo menos un accionador 9 para controlar y establecer la posición variable de las paletas y por lo menos una unidad 18 de circuito cerrado. La unidad 18 de circuito cerrado recibe la entrada de los dispositivos de medición, en particular de las mediciones de la temperatura de aire ambiente y presión (T_{amb} , P_{amb}) 17a, 13a, de la segunda temperatura de gas de escape (T_{ex}), así como también de la velocidad de eje (n) y la presión de descarga del compresor (P_{cd}). Se puede utilizar una variedad de diferentes sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos para llevar a cabo la función requerida del sistema 10 de control. "Tomas de presión", cuando este término se utiliza en esta especificación, se define como un agujero pequeño en el cuerpo de dispositivos presurizados utilizados para la conexión de los elementos sensibles a presión o dispositivos de medición de presión para la medición de las presiones.

Utilizando estos valores de medición de estado, la unidad 18 de circuito cerrado controla la posición de las paletas 8 variables del compresor 5 por medio de la unidad 9 de accionador. Con el propósito de ajustar los ángulos de las paletas 8 variables, normalmente cada fila de paletas 8 variables se mueve por un accionador 9 que incluye normalmente una palanca, un anillo de coordinación común, una palanca de leva acodada y ariete. Cada paleta variable se conecta por medio de una palanca al anillo de coordinación común. El anillo se puede mover circunferencialmente mediante una palanca de leva acodada, que se acciona por un ariete neumático

El sistema 10 de control incluye una unidad 18 de circuito cerrado que genera una señal de control para el control del accionador 9 de las paletas 8 variables con el propósito de fijar su ángulo. El control es tal que la presión de descarga del compresor (P_{cd}) medida u otra presión en la parte inferior de las paletas 8 variables se controla para que coincida con un valor objetivo de acuerdo con un esquema especificado. En este esquema el valor objetivo de la presión de descarga del compresor (P_{cd}) se determina como una función de la temperatura de entrada (T_{amb}) medida y la velocidad rotacional del eje (n). Si la presión de descarga del compresor medida (P_{cd}) es menor que el valor objetivo definido, las paletas 8 variables se obligan a abrirse con respecto al flujo de aire de entrada del compresor y si es menor que el valor objetivo definido, las paletas 8 variables se obligan a cerrar con respecto al flujo de aire de entrada del compresor, viceversa.

Hablando en términos generales, los dispositivos de medición de la presión o tomas 13 de presión miden una presión en una posición en la ruta de flujo, en donde la presión varía como una función de la posición angular de las paletas 8 variables, en una posición en donde la presión local está influenciada por lo menos indirectamente por su posición angular. En el caso mencionado anteriormente esta presión utilizada para el control de las paletas variables es la presión de descarga del compresor (P_{cd}). También es posible que tenga lugar una medición de presión dentro

del compresor 5 en la parte inferior de la primera fila o en la parte inferior de un grupo de filas de paletas 8 variables o tiene lugar medición de la presión en un pleno en la parte inferior del compresor 5, o en la cámara 6 de combustión en la parte superior de la turbina 7 de la primera fila de pala, e incluso una ubicada en la parte inferior de la salida de turbina 7.

- 5 Además de esto el control puede incluir una segunda medición de la presión de aire ambiente (P_{amb}), en el múltiple 4 de admisión de aire. Un segundo dispositivo de medición de presión adicional (por ejemplo como parte de o paralelo al dispositivo 17) o toma de presión es posible para medir una presión que es menor que la presión de descarga del compresor (P_{cd}).

- 10 El método de control también se puede basar adicionalmente en la comparación de la relación de la primera medición de presión a la segunda medición de presión con una relación de presión objetivo nuevamente definida, a diferencia de simplemente comparar la primera medición de presión con una presión objetivo predefinida.

Un primer dispositivo 17 de medición de temperatura mide la temperatura T_{amb} en una posición superior del compresor 5.

- 15 Un segundo dispositivo 12 de medición de temperatura mide la temperatura de escape de turbina. Son posibles dispositivos de medición de temperatura adicionales, por ejemplo para medir la temperatura de entrada de aire del compresor u otros valores de temperatura dentro del sistema de admisión de aire de la turbina 7. El dispositivo 12 de medición de temperatura de escape de turbina puede comprender uno o más puntos de medición.

- 20 En la Figura 1 está presente un dispositivo 11 de medición de velocidad de eje rotor, para medir la velocidad rotacional (n) del compresor o de uno de los compresores dentro del motor de turbina de gas. El valor objetivo de presión predefinida de la presión de descarga del compresor (P_{cd}) es una función no solo de la temperatura de admisión de aire, sino también de la velocidad de rotación (n) del motor. El dispositivo 11 de medición de velocidad de eje de rotor permite un control fino de la posición de paleta variable también durante caídas de frecuencia de red eléctrica y otras inestabilidades de frecuencia, de esta forma optimiza el punto de operación del compresor con respecto a los límites de pérdida y choque.

- 25 Todos los dispositivos de medición se conectan al sistema 10 de control a través de cableado como se muestra a través de líneas intermitentes en la Figura 1, sin embargo, también es posible la transmisión inalámbrica de la medición y/o señales de control.

- 30 Durante la operación, el aire ambiente que ingresa al múltiple 4 de admisión de aire se guía al compresor 5, y cruza las paletas 8 variables en la entrada del compresor 5 y antes de entrar a las filas de palas giratorias del compresor. El aire se comprime en el compresor e ingresa a la cámara 6 de combustión, en donde se mezcla con el combustible y tiene lugar la combustión. El gas de escape producido por la cámara 6 de combustión, ingresa en la turbina 7 a alta presión y alta temperatura, se expande en la turbina 7, y finalmente deja la turbina 7 a través del escape, en la parte inferior en la que se puede ubicar el sistema de generación de vapor de recuperación de calor.

- 35 Se implementa un esquema objetivo de presión de descarga del compresor (P_{cd}) u otra presión en la parte inferior de las paletas 8 variables dependiendo de la temperatura de entrada y la velocidad rotacional del eje en la unidad 18 de circuito cerrado para la operación de la unidad en la carga de base y la alta operación de carga de parte del motor 2 de turbina de gas.

El comando a los accionadores de las paletas variables se filtra apropiadamente para asegurar la operación suave y capacidad de control.

- 40 El esquema objetivo se especifica con el propósito de tomar en cuenta los límites operacionales de los componentes de la turbina de gas por ejemplo: límites de flujo de salida de turbina, salida de energía de generador, torque mecánico en los acoplamientos a lo largo del tren de eje, relaciones de combustible /aire dentro de la cámara de combustión, relación de presión del compresor, presión absoluta dentro de la cubierta de la turbina de gas, etc.

El sistema de control 10 actúa independientemente de la composición particular de combustible.

- 45 El sistema 1 de motor de turbina de gas es efectivo en asegurar un ciclo estable de turbina de gas y un desempeño óptimo en forma de salida de energía y eficiencia bajo una composición variable de combustible de la fuente principal en la carga de base y alta operación de parte de carga. La invención por lo tanto proporciona una mayor salida de energía promedio y/o bajos costes asociados con el tamaño óptimo de los únicos componentes de turbina de gas en operaciones con combustible caracterizado por variaciones de composición no predecibles con el tiempo y en particular en aplicaciones con gas de alto horno como combustible principal o con otros combustibles caracterizado por un bajo valor promedio del menor valor de calentamiento o cantidad alta y variable de H_2 y CO en su composición. Cuando se emplea el control de acuerdo con la presente invención, no existe necesidad de dicha
- 50

mezcla complicada de combustibles con el propósito de compensar cambios en la composición y/o contenido de energía de combustible.

El sistema 10 de control puede controlar el motor 2 de turbina de gas no solo bajo condiciones extremas (en este caso se toman los parámetros como presión, temperatura, composición de combustible, frecuencia de red etc.), sino también bajo condiciones normales y permite el desempeño óptimo en términos de salida de energía y eficiencia en cualquier momento que la composición de combustible difiera de la composición original utilizada para condiciones de diseño.

La tolerancia al combustible de una composición diferente y contenido de energía se puede aumentar considerablemente sin efecto perjudicial en la eficiencia etc. Utilizando el esquema de control propuesto incluso permite el uso de composiciones de combustible, que varían fuera del rango definido para la composición de diseño para el combustible. El sistema 10 de control que lo detectará indirectamente y automáticamente, redefine la configuración de las paletas 8 variables y no la redefinición manual de las configuraciones de las paletas variables.

También se puede implementar un sistema protector, que compara la presión medida y/o los valores de temperatura con valores umbral, y que inicia una acción protectora si la diferencia entre los valores medidos y umbral cae fuera de un control predefinido para más de un retardo de tiempo predefinido. Dicho sistema protector puede proporcionar protección contra comparaciones de composición de combustible grandes y anormales, que puede conducir a un daño de la turbina de gas. Se puede implementar como un elemento que interactúa con la válvula de control de combustible o válvula de cierre para cerrarla o para ponerla en una posición intermedia por ejemplo en una forma proporcional al error detectado entre las presiones medidas y objetivo o relaciones de presión, y/o un cierre rápido de las paletas variables del compresor.

El sistema 10 de control opera en combinación con un sistema para el control del flujo de masa de combustible con base en medición directa o indirecta (es decir cálculo con base en medición directa de medición de otros parámetros). Por ejemplo dicho control se puede basar en la temperatura de entrada o salida de turbina limitando básicamente la cantidad de combustible luego de lograr los valores objetivo predefinidos en temperatura de entrada o salida de turbina.

Dicha combinación da una configuración óptima en donde simultáneamente la presión del ciclo y las temperaturas de turbina se controlan con una mejora general de la vida útil. También tiene un impacto positivo en la exactitud del circuito de control de flujo de masa de combustible con base en el cálculo de temperatura de entrada de turbina.

El sistema 10 de control, aunque esto no es necesario, puede recibir adicionalmente y tomar en cuenta información actualizada regular a cerca de la composición de combustible para un ajuste fino de la presión objetivo predefinida del esquema objetivo o nueva presión objetivo definida a través de un cromatograma de gas o cualquier otro dispositivo para la medición de la composición de combustible. El uso de un cromatógrafo de gas o cualquier otro dispositivo para la medición de la composición de combustible da incluso mayor precisión en la acción de control.

El gas de horno o gas de horno de coque o una mezcla de los dos o cualquier gas con contenido de hidrógeno de H_2 > 1% mol se puede utilizar como combustible en el sistema 1 de motor de turbina de gas.

La Figura 2 es un ejemplo convencional de un esquema objetivo de presión de descarga del compresor versus temperatura de entrada del compresor a velocidad rotacional de eje constante.

La Figura 3 muestra la sensibilidad de la posición de la línea de operación de motor (en el mapa de compresor) con respecto a la composición de combustible (menor valor de calentamiento LHV). El eje vertical es la relación de presión del compresor, el eje horizontal es el flujo de masa reducido de entrada del compresor, y el parámetro es el menor valor de calentamiento de combustible (LHV). La línea recta sólida indica la línea de operación de motor para la composición de combustible estándar para la cual se diseña el esquema de operación general. La comparación del método de control convencional (Figura 3a) con el método de control de acuerdo con la invención de (Figura 3b) muestra que la línea de operación en el caso que el control de acuerdo con la invención sea mucho menos si no esencialmente no dependiente más de la composición de combustible. En otras palabras la línea de operación es mucho menos dependiente en la composición de combustible. De forma correspondiente, el proceso de acuerdo con la invención permite controlar la línea de operación de motor en una posición más estable, que compensa a un enorme grado los efectos de la variación de la composición de combustible que tenderían a aumentar la línea de operación en el caso de combustibles con LHV menor, y viceversa para LHV mayor. El movimiento de la línea de operación de motor en el caso del control estándar conduce a la operación del compresor en condiciones no óptimas, reduciendo de esta forma su eficiencia, se acerca potencialmente a las líneas de choque. La invención permite mantener el control y evitar estos problemas.

La Figura 4 ilustra la sensibilidad del flujo de masa reducido de escape de turbina como una función de la composición de combustible (menor valor de calentamiento, LHV). El eje vertical es el flujo de masa reducido de

escape de turbina, el eje horizontal es la temperatura de entrada del compresor (temperatura ambiente), y el parámetro es el menor valor de calentamiento de combustible (LHV). La comparación del método de control convencional (Figura 4a) con el método de control de acuerdo con la invención de (Figura 4b) muestra de nuevo que la invención permite controlar la línea de operación del flujo de masa reducido de escape de turbina en una posición más estable, que compensa en gran medida los efectos de la variación de la composición de combustible, que tendería a aumentar el flujo de masa reducido de escape en el caso de los combustibles con LHV menor, y viceversa para LHV mayor. El aumento del flujo de masa reducido de escape corresponde a un aumento de la velocidad de flujo en las últimas etapas de la turbina, lo que su vez puede conducir a inestabilidad aerodinámica y carga excesiva en las palas.

La Figura 5 muestra la sensibilidad de la temperatura de descarga del compresor como una función de la composición de combustible (menor valor de calentamiento, LHV). El eje vertical es la temperatura de descarga del compresor, el eje horizontal es la temperatura de entrada del compresor (temperatura ambiente) y el parámetro es el menor valor de calentamiento de combustible (LHV). La comparación del método de control convencional (Figura 5a) con el método de control de acuerdo con la invención (Figura 5b) muestra de nuevo que la invención permite controlar la línea de operación de la temperatura de salida del compresor a un valor más estable, especialmente en el caso de temperatura ambiente alta, que compensa en un gran medida los efectos de la variación de la composición de combustible que tendería a aumentar la temperatura de salida del compresor en el caso de combustibles con LHV menor, y viceversa para LHV mayor. El aumento de la temperatura de salida del compresor conduce a mayor temperatura para el aire de enfriamiento de rotor y turbina, reduciendo de esta forma la vida útil de las partes.

La Figura 6 es un ejemplo de sensibilidad de la salida de energía del motor de turbina de gas con respecto a la composición de combustible (menor valor de calentamiento, LHV). El eje vertical es la salida de energía del motor de turbina de gas, el eje horizontal es la temperatura de entrada del compresor (temperatura ambiente), y el parámetro es el menor valor de calentamiento de combustible (LHV). La comparación del método de control convencional (Figura 6a) con el método de control de acuerdo con la invención (Figura 6b) de nuevo muestra que la invención permite controlar la línea de operación de salida de energía a un valor más estable, especialmente en el caso de temperatura ambiente baja, que compensa en gran medida los efectos de la variación de la composición de combustible que tenderían a aumentar la temperatura de salida del compresor en el caso de combustibles con LHV menor, y viceversa para LHV mayor. El aumento no controlado de salida de energía puede conducir a tensiones excesivas en los acoplamientos, reduciendo de esta forma la vida útil de las partes.

Es posible adicionalmente proporcionar una derivación ajustable/controlable del aire de entrada de compresor con respecto a la cámara de combustión o se presenta en una de las cámaras de combustión. La cantidad de aire de derivación se determina de manera general con base en consideración de combustión (posición de la llama dentro de la cámara de combustión, relación entre combustible y aire, pérdida de presión a través de los quemadores) o con base en consideraciones de enfriamiento de turbina. La derivación ajustable/controlable compensa la variación del aire de derivación al aumentar o reducir la cantidad de aire de entrada del compresor en tal forma que el ciclo de la turbina de gas y la turbina se mantiene en una relación de presión óptima estable.

Lista de símbolos de referencia

1	Sistema de motor de turbina de gas	25	Línea alta de combustible de calentamiento inferior
2	Motor de turbina de gas		
3	Generador eléctrico	T_{amb}	Temperatura de entrada de compresor de aire de admisión
4	Admisión de aire con múltiple de admisión de aire	T_{ci}	temperatura
		P_{amb}	Presión de aire de admisión
5	Compresor	P_{ci}	Presión de admisión de compresor
6	Cámara de combustión	P_{cd}	Presión de descarga de compresor
7	Turbina		

ES 2 571 212 T3

8	Paletas variables	P_o	Energía
9	Accionador	T_{ex}	temperatura de aire de escape de turbina
10	Sistema de control		
11	Dispositivo de medición de velocidad de eje de rotor	n	Velocidad de eje
12	Dispositivo de medición de temperatura de escape de turbina	π	Relación de presión de compresor, P_{cd}/P_{ci}
13	Dispositivo de medición de presión		
14	Energía eléctrica		
15	Dispositivo de enfriamiento de entrada de aire		
16	Eje		
17	Dispositivo de medición para temperatura de aire ambiente/temperatura de aire de entrada de compresor/temperatura interna de la turbina		
18	Unidad de circuito cerrado		
19	Aire de admisión		
20	Combustible		
21	Aire de escape		
22	Línea choque		
23	Línea de operación de combustible de diseño		
24	Línea baja de combustible de calentamiento inferior		

REIVINDICACIONES

1. Método para operar un sistema (1) de motor de turbina de gas bajo carga de base y/o condiciones de carga de parte alta, dicho sistema (1) de motor de turbina de gas comprende un motor (2) de turbina de gas con por lo menos un compresor (5) con por lo menos una fila de paletas (8) variables ajustables para el control del flujo de masa de aire de entrada;
5
por lo menos una cámara (6) de combustión;
por lo menos una turbina (7),
en donde un sistema (10) de control, sobre la base de y como una función de
por lo menos un valor de temperatura (T_{amb}) medido medida en la parte superior del compresor (5) o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este,
10
controla la posición de las paletas (8) variables de tal manera que por lo menos un valor de presión medido (P_{cd}) que varía con la posición angular de las paletas (8) variables está en una presión objetivo predefinida que es una función de dicha primera temperatura (T_{amb}), en donde dicha presión objetivo predefinida es una función de una temperatura de escape de turbina (T_{ex}), en donde la temperatura de escape de turbina (T_{ex}) se mide utilizando uno o una pluralidad de puntos de medición con un programa de promediado correspondiente.
15
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el sistema (10) de control, sobre la base de y como una función de por lo menos un valor de temperatura (T_{amb}) medido medida en la parte superior del compresor (5) o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, así como también una función de una velocidad medida de rotación (n) de un eje de un motor (2) de turbina de gas o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, controla la posición de las paletas (8) variables de tal manera que por lo menos un valor de presión medido (P_{cd}) que varía con la posición angular de las paletas (8) variables está en una presión objetivo predefinida que es una función de dicha primera temperatura (T_{amb}) así como también dicha velocidad (n) de rotación.
20
3. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicho control es efectuado al comparar dicho valor de presión (P_{cd}) con la presión objetivo predefinida, en donde la presión objetivo se calcula como una función de la velocidad de rotación medida (n) del eje o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, y/o como una función de por lo menos un valor de temperatura medido (T_{amb}) medida en la parte superior del compresor (5) o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este, y en donde el control genera un comando a un accionador para el movimiento de las paletas (8) variables para aumentar el flujo de aire de entrada al compresor (5) al abrir las paletas (8) variables en el caso que el valor de presión medido (P_{cd}) sea menor que la presión objetivo predefinida o para reducir el flujo de aire de entrada al cerrar las paletas (8) variables en el caso que el valor de presión medido (P_{cd}) sea mayor que la presión objetivo predefinida.
25
30
4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el valor de temperatura medido (T_{amb}) medida en la parte superior del compresor (5) o una cantidad medible directamente relacionada funcionalmente a este es una temperatura dentro del sistema de admisión de aire de turbina de gas, preferiblemente la temperatura de aire ambiente o la temperatura de aire de entrada de compresor.
35
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el valor de presión medido (P_{cd}) que varía con la posición angular de las paletas (8) variables se mide dentro del compresor (5) en la parte inferior de la primera fila de paletas (8) variables o en la parte inferior de diversas filas de paletas variables (8) o en un pleno en la parte inferior del compresor o en la parte superior de la cámara de combustión de la primera fila de palas de turbina o en la parte inferior de la turbina.
40
6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el control es un control de circuito cerrado.
7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha presión objetivo predefinida es una función de un segundo valor de presión (P_{amb}) medido en la parte superior del compresor o en la parte inferior de la salida de turbina, en donde preferiblemente el control tiene lugar al controlar la relación del valor de presión medido (P_{cd}) con el segundo valor de presión (P_{amb}) a una relación de presión objetivo.
45
8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el control se lleva a cabo en combinación con un control del flujo de masa de combustible, el último se basa preferiblemente en medición directa o indirecta de la temperatura de entrada o salida de turbina, limitando la cantidad de combustible con base en los valores objetivo predefinidos de temperatura de entrada o salida de turbina.
50

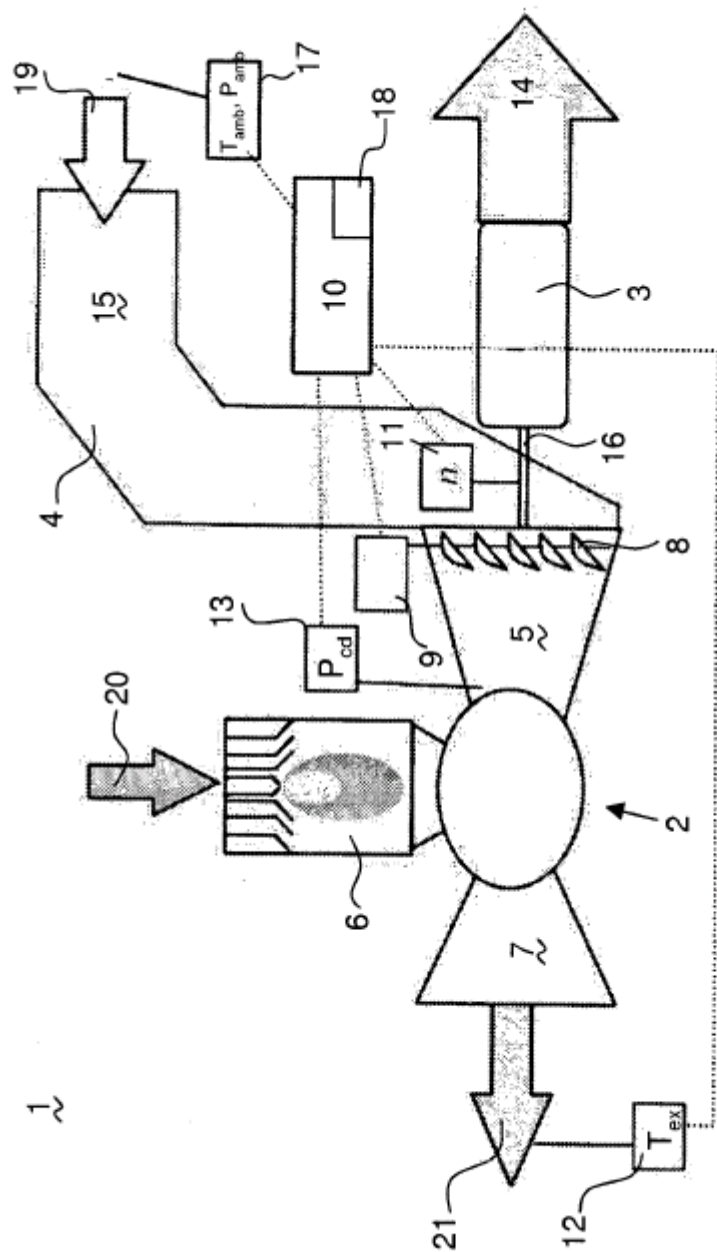


Fig. 1

