

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902099363A1

Publication Date

20140508

Applicant

NUOVO PIGNONE S.R.L.

Title

"GAS TURBINE IN MECHANICAL DRIVE APPLICATIONS AND
OPERATING METHODS";

NUOVO PIGNONE S.R.L.

a Firenze

“TURBINA A GAS IN APPLICAZIONI DI TRAZIONE MECCANICA E METODI DI FUNZIONAMENTO”

DESCRIZIONE

Campo dell’Invenzione

La presente descrizione riguarda perfezionamenti a sistemi a turbina a gas usati in applicazioni per trazione meccanica. In particolare, ma non esclusivamente la descrizione riguarda sistemi di turbine a gas per la trazione di compressori, ad esempio compressori per fluidi refrigeranti in impianti di liquefazione di gas naturale.

La descrizione concerne inoltre perfezionamenti a metodi per il funzionamento di un sistema comprendente una turbina a gas ed un carico, ad esempio un compressore per LNG, o per applicazioni petrolifere.

Descrizione dell’Arte Anteriore

Gas Naturale Liquefatto (LNG) è ottenuto da un processo di liquefazione, nel quale il gas naturale viene raffreddato usando uno o più cicli di refrigerazione in una disposizione a cascata, fino a che esso diviene liquido. Il gas naturale è spesso liquefatto per scopi di stoccaggio o trasporto, ad esempio se il trasporto in gasdotti non è possibile o è economicamente non opportuno.

Il raffreddamento di gas naturale è effettuato usando cicli di refrigerazione chiusi o aperti. Un refrigerante viene elaborato in un compressore o in più compressori, condensato ed espanso. Il refrigerante espanso raffreddato è usato per rimuovere calore dal gas naturale che fluisce in uno scambiatore di calore.

Compressori di refrigerante in impieghi LNG, in condotti o in altre applicazioni nell’industria petrolifera sono spesso azionati da turbine a gas. La disponibilità di potenza dalla turbina a gas (cioè la potenza disponibile sull’albero di potenza della turbina) dipende da condizioni ambientali, ad esempio dalla temperatura dell’aria, ed altri fattori, quali l’età. La disponibilità di potenza della turbina aumenta con la ridu-

zione delle temperature e, viceversa, decresce con l'aumentare delle temperature. Questo provoca fluttuazioni della disponibilità di potenza sia nelle 24 ore, sia anche durante l'anno, a causa di fluttuazioni di temperatura giornaliere e stagionali.

E' stato suggerito di prevedere un motore elettrico in combinazione con una turbina a gas per azionare un carico, comprendente ad esempio uno o più compressori. Il motore elettrico è fatto funzionare per fornire potenza meccanica al compressore od ai compressori per mantenere costante la potenza meccanica complessiva sull'albero del compressore, quando la disponibilità di potenza della turbina decresce e/o per aumentare la potenza meccanica totale usata per azionare il carico. Questa funzione del motore elettrico viene definita funzione di helper. Lo stesso motore elettrico è usualmente impiegato anche come motore di lancio, per accelerare la stringa formata dalla turbina a gas e dal compressore o dai compressori da zero alla velocità di regime.

Quando un eccesso di potenza meccanica viene generato dalla turbina, ad esempio se l'aria a temperatura ambiente scende al di sotto della temperatura di progetto e conseguentemente aumenta la disponibilità di potenza della turbina, la potenza meccanica in eccesso generata dalla turbina a gas viene convertita in energia elettrica usando il motore elettrico di helper come generatore.

La Fig.1 illustra una disposizione di turbina a gas e compressore con una macchina helper/starter/generatore, tipicamente usata in un impianto LNG. La turbina a gas 1 è collegata attraverso una linea d'albero comune 3 ad un motore/generatore elettrico 5. La linea d'albero può essere comprensiva di una pluralità di porzioni di albero 3A, 3B, 3C, 3D. Il numero di riferimento 4 indica un accoppiamento rigido disposto fra la turbina a gas e il motore/generatore elettrico 5. Un ulteriore accoppiamento flessibile 6 è disposto fra il motore/generatore elettrico 5 e un carico 7, ad esempio un compressore. Il motore/generatore elettrico 5 ha una configurazione ad azionamento passante, cioè è realizzato per consentire alla potenza meccanica generata dalla turbina a gas 1 di essere trasmessa attraverso il motore/generatore 5 al compressore 7. La capacità di azionamento passante deve essere uguale o maggiore rispetto alla potenza erogata dalla turbina a gas. Il motore/generatore elettrico 5 è collegato ad una rete di distribuzione elettrica G attraverso un convertitore di frequenza 11.

Il motore/generatore elettrico 5 è usato come motore di lancio per accelerare la turbina a gas 1 da velocità zero a piena velocità. Poiché il motore/generatore elettrico 5 è disposto su una linea ad albero comune 3, quando esso esegue la funzione di lancio, il motore/generatore 5 accelera anche l'intera stringa di compressione, cioè il motore/generatore 5 accelera anche i compressori 7. Questo richiede che il motore/generatore elettrico 5 sia sufficientemente potente per accelerare la massa di tutte le macchine ruotanti collegate alla linea ad albero comune 3, ed anche per vincere il carico aerodinamico del compressore o dei compressori 7, poiché durante l'avvio il fluido di lavoro presente nel compressore o nei compressori 7 inizia a fluire e la sua pressione aumenta.

In altri impianti di liquefazione di gas naturale noti il motore/generatore elettrico è collegato ad una estremità del compressore o dei compressori e la turbina a gas è disposta all'estremità opposta dei compressori. Il compressore o i compressori sono usualmente disposti fra la turbina a gas e l'helper/generatore elettrico. Quando il compressore è un compressore ad apertura verticale, il motore/generatore elettrico deve essere rimosso se il compressore richiede manutenzione. Inoltre, in queste configurazioni note, un motore di lancio dedicato per la turbina a gas è previsto sul lato freddo della turbina a gas.

Sommario dell'invenzione

In una forma di realizzazione della presente descrizione, viene previsto un sistema di trazione per azionare un carico, comprendente una turbina a gas configurata e disposta per azionare il carico ed avente una estremità calda ed una estremità fredda. La turbina a gas è provvista di un accoppiamento al carico per la connessione di detta turbina a gas al carico, disposto ad una di dette estremità calda ed estremità fredda della turbina a gas. E' inoltre previsto un motore/generatore elettrico disposto all'estremità opposta della turbina a gas. In alcune forme di realizzazione, il motore/generatore elettrico è collegato all'estremità fredda della turbina a gas e il carico è collegato all'estremità calda della turbina a gas. Disporre il motore/generatore elettrico sull'estremità fredda della turbina a gas rende più facile il retrofitting di impianti esistenti, sfruttando la base ausiliaria esistente. Lo spazio sulla base per il motore/generatore elettrico può essere ottenuto rimuovendo il motore di lancio esistente e il convertitore di coppia e/o altri dispositivi ausiliari. In altre forme di realizzazione, ad esempio quando la turbina a gas è una turbina a gas multi-albero, il carico può es-

sere collegato all'estremità fredda della turbina a gas e il motore/generatore elettrico può essere collegato all'estremità calda della turbina a gas. La specifica disposizione del carico e del motore/generatore elettrico rispetto alla estremità calda e alla estremità fredda della turbina a gas può dipendere anche da vincoli progettuali, poiché una progettazione più performante dell'albero e delle flange viene richiesta sul lato del carico. In alcune forme di realizzazione l'albero/le flange dell'estremità calda possono essere progettate per trasmettere una potenza maggiore rispetto a quella dell'accoppiamento sull'estremità fredda.

In alcune forme di realizzazione il carico può comprendere uno o più compressori, quali compressori per impianti LNG.

In alcune forme di realizzazione il motore/generatore elettrico è elettricamente collegato ad una rete di distribuzione elettrica. Il motore/generatore elettrico è atto a funzionare come generatore per convertire potenza meccanica in eccesso dalla turbina a gas in potenza elettrica e alimentare la potenza elettrica alla rete di distribuzione elettrica, e come motore per fornire potenza di trazione supplementare al compressore quando la potenza meccanica generata dalla turbina a gas è ridotta.

Disporre il motore/generatore elettrico all'estremità della turbina opposta rispetto a quella del carico ha numerosi vantaggi rispetto alle configurazioni dell'arte anteriore. In particolare rispetto a configurazioni in cui il motore/generatore elettrico è disposto all'estremità della linea oltre il carico, la configurazione secondo l'oggetto qui descritto dà luogo ad una migliore accessibilità al carico. In particolare quando il compressore ha una cassa ad apertura verticale, l'accesso al compressore è facilitato, il che dà luogo ad una manutenzione più facile. Si può evitare l'impiego di uno starter separato all'estremità fredda della turbina a gas per l'azionamento separato della sola turbina a gas durante la fase di messa in esercizio. In caso di corto circuito del motore/generatore, viene ridotta la sollecitazione sul compressore.

Rispetto alla forma di realizzazione della Fig.1 la nuova configurazione qui descritta dà luogo ad un motore/generatore elettrico più semplice, più piccolo e meno costoso, non richiedendo la capacità di azionamento passante.

In alcune forme attualmente preferite di realizzazione, la turbina a gas è una turbina a gas mono-albero, in cui il motore/generatore elettrico opera anche come motore di lancio per la stringa comprendente la turbina a gas e il carico.

Secondo un ulteriore aspetto, la descrizione concerne un metodo per il lancio di un sistema comprendente una turbina a gas e un carico, il metodo comprendendo:

prevedere una turbina a gas con una estremità calda ed una estremità fredda;
accoppiare un carico ad una di dette estremità calda ed estremità fredda;
accoppiare un motore/generatore elettrico all'altra delle estremità calda ed estremità fredda;
commutare il motore/generatore elettrico nel modo motore;
alimentare elettricamente il motore/generatore elettrico e convertire potenza elettrica in potenza meccanica nel motore/generatore elettrico e usare la potenza meccanica per lanciare la turbina a gas ed il carico, potenza meccanica essendo trasferita dal motore/generatore elettrico al carico attraverso la turbina a gas.

Secondo un ulteriore aspetto, la descrizione si riferisce ad un metodo per azionare un sistema di turbina a gas comprendente una turbina a gas e un carico azionato dalla turbina a gas, il metodo comprendendo:

- prevedere una turbina a gas con una estremità calda e una estremità fredda;
- accoppiare il carico ad una delle estremità calda ed estremità fredda;
- accoppiare un motore/generatore elettrico all'altra di dette estremità calda ed estremità fredda, ed accoppiare meccanicamente il motore/generatore elettrico al carico;
- generare potenza meccanica tramite la turbina a gas;
- azionare il carico con la potenza meccanica generata dalla turbina a gas.

Secondo alcune forme di realizzazione, quando la potenza meccanica generata dalla turbina a gas eccede la potenza meccanica richiesta per azionare il carico, il metodo prevede le seguenti fasi:

- far funzionare il motore/generatore elettrico nel modo generatore;
- trasferire potenza meccanica in eccesso dalla turbina a gas al motore/generatore elettrico;

- e convertire la potenza meccanica in eccesso in potenza elettrica nel motore/generatore elettrico.

Secondo alcune forme di realizzazione, quando la potenza meccanica generata dalla turbina a gas è inferiore rispetto alla potenza richiesta per azionare il carico, il metodo prevede le seguenti fasi:

- azionare il motore/generatore elettrico in un modo motore;
- alimentare elettricamente il motore/generatore elettrico;
- convertire potenza elettrica in potenza meccanica supplementare nel motore/generatore elettrico;
- trasferire la potenza meccanica supplementare dal motore/generatore elettrico attraverso la turbina a gas al carico;
- azionare il carico con potenza combinata generata dalla turbina a gas e potenza meccanica supplementare generata dal motore/generatore elettrico.

Caratteristiche e forme di realizzazione sono descritte qui di seguito e ulteriormente definite nelle rivendicazioni allegate, che formano parte integrale della presente descrizione. La sopra riportata breve descrizione individua caratteristiche delle varie forme di realizzazione della presente invenzione in modo che la seguente descrizione dettagliata possa essere meglio compresa e affinché i contributi alla tecnica possano essere meglio apprezzati. Vi sono, ovviamente, altre caratteristiche dell'invenzione che verranno descritte più avanti e che verranno esposte nelle rivendicazioni allegate. Con riferimento a ciò, prima di illustrare diverse forme di realizzazione dell'invenzione in dettaglio, si deve comprendere che le varie forme di realizzazione dell'invenzione non sono limitate nella loro applicazione ai dettagli costruttivi ed alle disposizioni di componenti descritti nella descrizione seguente o illustrati nei disegni. L'invenzione può essere attuata in altre forme di realizzazione e attuata e posta in pratica in vari modi. Inoltre si deve comprendere che la fraseologia e la terminologia qui impiegate sono soltanto ai fini descrittivi e non devono essere considerate limitative.

Gli esperti del ramo pertanto comprenderanno che il concetto su cui si basa la descrizione può essere prontamente utilizzato come base per progettare altre strutture, altri metodi e/o altri sistemi per attuare i vari scopi della presente invenzione. E'

importante, quindi, che le rivendicazioni siano considerate come comprensive di quelle costruzioni equivalenti che non escono dallo spirito e dall'ambito della presente invenzione.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

Una comprensione più completa delle forme di realizzazione illustrate dell'invenzione e dei molti vantaggi conseguiti verrà ottenuta quando la suddetta invenzione verrà meglio compresa con riferimento alla descrizione dettagliata che segue in combinazione con i disegni allegati, in cui: la

Fig.1 illustra un diagramma schematico di una turbina a gas e compressore secondo l'arte anteriore; le

Fig.2 a 6 illustrano diagrammi schematici di disposizioni di turbine a gas e compressore secondo due forme di realizzazione della presente descrizione.

Descrizione Dettagliata di Forme di Realizzazione dell'Invenzione

La descrizione dettagliata che segue di forme di realizzazione esemplificative si riferisce ai disegni allegati. Gli stessi numeri di riferimento in disegni differenti identificano elementi uguali o simili. Inoltre, i disegni non sono necessariamente in scala. Ancora, la descrizione dettagliata che segue non limita l'invenzione. Piuttosto, l'ambito dell'invenzione è definito dalle rivendicazioni accluse.

Il riferimento in tutta la descrizione a “una forma di realizzazione” o “la forma di realizzazione” o “alcune forme di realizzazione” significa che una particolare caratteristica, struttura o elemento descritto in relazione ad una forma di realizzazione è compresa in almeno una forma di realizzazione dell'oggetto descritto. Pertanto la frase “in una forma di realizzazione” o “nella forma di realizzazione” o “in alcune forme di realizzazione” in vari punti lungo la descrizione non si riferisce necessariamente alla stessa o alle stesse forme di realizzazione. Inoltre le particolari caratteristiche, strutture od elementi possono essere combinati in qualunque modo idoneo in una o più forme di realizzazione.

Nella forma di realizzazione di Fig.2 una turbina a gas 101 viene prevista per azionare un carico 103.

La turbina a gas 101 ha una prima estremità 101H ed una seconda estremità 101C. La prima estremità 101H viene chiamata estremità calda della turbina, mentre la seconda estremità 101C è chiamata estremità fredda della turbina. L'estremità calda 101H è usualmente l'estremità dove gas di combustione esausti vengono scaricati dalla turbina di potenza 104, mentre l'estremità fredda 101C è usualmente l'estremità dove è disposto l'ingresso del compressore 102 della turbina a gas 101.

Nelle forma di realizzazione della Fig.2 il carico 103 comprende un compressore, ad esempio un compressore centrifugo, quale un compressore di refrigerazione per un impianto LNG o un compressore per gasdotti o simile. In altre forme di realizzazione il carico può comprendere più di un solo compressore, cioè una stringa di due o più compressori, ruotanti alla stessa velocità di rotazione o a differenti velocità di rotazione, ad esempio interponendo uno o più dispositivi di manipolazione della velocità, quali una scatola di ingranaggi, tra compressori disposti consecutivamente nella stringa.

Nella forma di realizzazione della Fig.2 il carico 103 è collegato per essere azionato all'estremità calda 101H della turbina a gas 101 attraverso un accoppiamento 105 del carico. Se il carico 103 richiede una velocità di rotazione differente rispetto alla velocità di rotazione di regime della turbina a gas 101, un dispositivo di manipolazione della velocità 107 è disposto tra la turbina a gas 101 e il carico 103. Ad esempio il dispositivo di manipolazione della velocità può comprendere una scatola a ingranaggi. In altre forme di realizzazione il dispositivo di manipolazione della velocità 107 può comprendere un convertitore di coppia. Il numero di riferimento 109 indica un albero condotto che collega il dispositivo di manipolazione della velocità 107 al carico 103.

L'estremità della turbina a gas 101 opposta all'accoppiamento del carico 105, cioè l'estremità fredda 101C è collegata ad una macchina elettrica reversibile 111. La macchina elettrica reversibile 111 è un motore/generatore, cioè una macchina capace di convertire potenza meccanica disponibile sul suo albero in potenza elettrica disponibile sui terminali elettrici della macchina, oppure viceversa convertire potenza elettrica disponibile ai terminali elettrici di essa in potenza meccanica sull'albero della macchina. Il motore/generatore elettrico 111 è collegato elettricamente ad una rete di distribuzione elettrica G.

Un convertitore di frequenza o un azionatore a frequenza variabile 113 può essere previsto fra i terminali elettrici del motore/generatore elettrico 111 e la rete di distribuzione elettrica G. Il convertitore di frequenza 113 consente di utilizzare energia elettrica alla frequenza di rete, ad esempio 50 Hz o 60 Hz per ruotare il motore/generatore elettrico 111 a qualunque velocità richiesta, in base alla funzione effettuata dal motore/generatore elettrico 111, modificando la frequenza per uguagliare la frequenza di rotazione del motore/generatore elettrico 111. Viceversa, il convertitore di frequenza 113 è capace anche di convertire la frequenza della potenza elettrica generata dal motore/generatore elettrico 111 alla frequenza di rete. Il convertitore di frequenza 113 quindi consente al sistema di ruotare ad una velocità di rotazione variabile, in funzione dei requisiti.

Il motore/generatore elettrico 111 è meccanicamente collegato all'estremità fredda 101C della turbina a gas 101 per mezzo di un albero di uscita 115 del motore. In alcune forme di realizzazione un limitatore meccanico 119 può essere disposto fra l'albero di uscita 115 del motore e la turbina a gas 101. Un limitatore meccanico è un dispositivo capace di rompersi in caso di sovraccarico sul dispositivo. Nelle forme di realizzazione qui descritte il limitatore meccanico protegge ad esempio le turbomacchine 101 e 103 in caso di cortocircuito sul motore/generatore elettrico 111.

In altre forme di realizzazione, tra l'albero di uscita 115 del motore e la turbina a gas 101 può essere disposta una frizione 117, per selettivamente connettere e disconnettere il motore/generatore elettrico 111 alla e dalla turbina a gas 101. In alcune forme di realizzazione una scatola a ingranaggi o altro dispositivo di manipolazione della velocità può essere disposto fra il motore/generatore elettrico 111 e la turbina a gas.

In alcune forme di realizzazione, come mostrato in Fig.2, un limitatore meccanico e una frizione possono essere usati in combinazione.

In alcune forme di realizzazione, la turbina a gas 101 può essere una turbina a gas heavy duty. In altre forme di realizzazione la turbina a gas 101 può essere una turbina a gas di derivazione aeronautica. Può anche essere prevista una combinazione di due o più turbine a gas per azionare lo stesso compressore o gli stessi compressori.

In alcune forme di realizzazione la turbina a gas 101 è una turbina a gas mo-

no-albero. La turbina a gas mono-albero comprende un rotore di compressore e un rotore di turbina montati su un albero ruotante comune. Un'estremità dell'albero è meccanicamente collegata al motore/generatore elettrico 111 e l'estremità opposta dell'albero è meccanicamente collegata al carico 103 attraverso un accoppiamento del carico 105. Il motore/generatore elettrico 111 è pertanto collegato ad una singola linea di albero e aziona in rotazione il compressore e la turbina di potenza della turbina a gas, e anche il compressore o i compressori formanti il carico 103.

Nella configurazione di turbina a gas mono-albero il motore/generatore elettrico 111 può effettuare la funzione di motore di lancio, la funzione di helper e la funzione di generatore come verrà ora descritto. La potenza meccanica disponibile sul motore/generatore elettrico 111 è trasmessa meccanicamente al carico attraverso la linea di albero comune. Potenza meccanica in eccedenza disponibile sull'albero della turbina di potenza è direttamente trasmessa al motore/generatore elettrico 111 e convertita in potenza elettrica.

In una turbina a gas mono-albero 101, quando la turbina a gas 101 e il carico 103 sono fermi, l'avvio della linea è eseguito dal motore/generatore elettrico 111 che funziona come motore di lancio. Il motore/generatore elettrico 111 viene commutato nel modo motore. Potenza elettrica dalla rete di distribuzione elettrica G viene alimentata al motore/generatore elettrico 111 attraverso il convertitore di frequenza 113. La frequenza della potenza elettrica alimentata al motore/generatore elettrico è controllata per accelerare il motore/generatore elettrico 111 da zero alla velocità di rotazione richiesta, che può essere la velocità di regime della turbina a gas 101, oppure una velocità più bassa.

La potenza meccanica generata dal motore/generatore elettrico 111 ruota l'albero della turbina a gas 101 e l'accoppiamento 105 del carico così come il compressore o i compressori 103. Il motore/generatore elettrico 111 è quindi progettato per fornire potenza sufficiente ad accelerare la turbina a gas e il compressore o i compressori formanti il carico 103 all'avvio. Questo richiede di vincere l'inerzia delle turbomacchine ed anche il carico aerodinamico del compressore o dei compressori 103. Il carico aerodinamico è il carico generato dal fluido elaborato nel compressore o nei compressori formanti il carico 103. Il carico aerodinamico aumenta all'aumentare della velocità della rotazione del compressore, a causa dell'aumentata

pressione del fluido elaborato dal compressore. Il motore/generatore elettrico 111 è pertanto progettato per fornire potenza sufficiente a superare i carichi inerziali e aerodinamici delle turbomacchine azionate dal motore/generatore elettrico 111 almeno alla velocità di rotazione richiesta per accendere la turbina a gas.

Una volta che la turbina a gas 101 ha assunto il compito di azionare il carico, il motore/generatore può essere spento. In alcune forme di realizzazione il motore/generatore elettrico continua a funzionare nel modo motore per fornire potenza meccanica addizionale che è utilizzata in combinazione con la potenza meccanica generata dalla turbina a gas per azionare il carico.

In alcune forme di realizzazione, la turbina a gas 101 è azionata ad una velocità di rotazione fissa ed a pieno carico, per massimizzare l'efficienza della turbina a gas. Se la potenza meccanica generata dalla turbina a gas 101 supera la potenza richiesta per azionare il carico 103, ad esempio a causa della riduzione della temperatura ambiente e conseguente aumento della disponibilità di potenza della turbina, il motore/generatore elettrico 111 viene commutato nel modo generatore e converte la potenza meccanica in eccesso disponibile sull'albero della turbina in energia elettrica. La potenza elettrica generata dal motore/generatore elettrico 111 è erogata alla rete di distribuzione elettrica G. La frequenza della potenza elettrica può essere convertita dal convertitore di frequenza 113 se richiesto.

Se la potenza meccanica generata dalla turbina a gas 111 è insufficiente ad azionare il carico, ad esempio a causa dell'aumento della temperatura ambiente e conseguente riduzione della disponibilità di potenza della turbina, il motore/generatore elettrico 111 è commutato nel modo motore e opera da helper. La potenza elettrica dalla rete di distribuzione elettrica G è convertita dal motore/generatore elettrico 111 in potenza meccanica sull'albero di uscita 115 del motore. In alcune forme di realizzazione, come sopra osservato, il motore/generatore elettrico può funzionare continuativamente nel modo motore piuttosto che soltanto nel caso di abbassamento della disponibilità di potenza della turbina a gas. In entrambi i casi la potenza meccanica totale disponibile sull'accoppiamento 105 del carico sarà la somma della potenza meccanica generata dalla turbina a gas 101 e della potenza meccanica generata dal motore/generatore elettrico 111.

Il motore/generatore elettrico 111 non richiede una capacità di azionamento passante, essendo disposto all'estremità fredda della turbina a gas 101 e il suo albero non richiede di essere progettato per supportare la potenza di targa della turbina a gas 101 a pieno carico.

La Fig.3 illustra una ulteriore forma di realizzazione di una disposizione di compressore azionato da turbina, ad esempio per elaborare un fluido refrigerante in un impianto LNG. Gli stessi numeri di riferimento sono usati per indicare gli stessi componenti o componenti equivalenti a quelli della Fig.2. Nella forma di realizzazione della Fig.3 il carico 103 comprende una disposizione di compressori, comprendente un primo compressore 103A e un secondo compressore 103B. Nella forma di realizzazione esemplificativa della Fig.3 i compressori sono azionati direttamente dalla turbina a gas 101 senza la disposizione intermedia di un dispositivo di manipolazione della velocità. In altre forme di realizzazione un dispositivo di manipolazione della velocità, ad esempio una scatola di ingranaggi, può essere previsto tra la turbina a gas 101 e il compressore 103A e/o tra il compressore 103A e il compressore 103B.

L'impianto della Fig.3 funziona sostanzialmente nello stesso modo di quello della Fig.2.

In entrambe le forme di realizzazione mostrate nelle Figg.2 e 3 il motore/generatore elettrico 111 non richiede una capacità di azionamento passante, poiché esso è disposto ad una estremità della stringa. La disposizione del motore/generatore elettrico 111, inoltre, consente un intervento sull'ultimo compressore anche quando quest'ultimo è un compressore ad apertura verticale, facilitando così la sua manutenzione. La disposizione del motore/generatore elettrico 111 riduce inoltre le sollecitazioni meccaniche sulla linea d'albero del compressore condotto in caso di corto circuito del motore/generatore elettrico 111, rispetto alle configurazioni dello stato della tecnica, dove il motore/generatore elettrico 111 è connesso direttamente alla linea d'albero condotta.

La Fig.4 illustra una ulteriore forma di realizzazione di un sistema comprendente una turbina a gas 101 ed un carico 103 da essa azionato, secondo la presente descrizione. Gli stessi numeri di riferimento illustrano componenti, elementi o parti uguali o corrispondenti a quelli delle precedenti forme di realizzazione e non verranno

no descritte in maggiore dettaglio. Il motore/generatore 111 è collegato all'estremità fredda 101C della turbina a gas 101 mentre il carico 103 è connesso all'estremità calda 101H della turbina a gas 101. Nella forma di realizzazione esemplificativa della Fig.4 il carico 103 comprende un primo compressore 103A e un secondo compressore 103B. L'accoppiamento del carico 105 è supportato da una disposizione intermedia di supporto 120. Un accoppiamento flessibile 122 può essere previsto fra la disposizione di supporto 120 e l'albero del compressore. Nella forma di realizzazione della Fig.4 il carico è quindi azionato dalla turbina a gas 101 attraverso un accoppiamento parzialmente rigido e parzialmente flessibile. Un accoppiamento flessibile come qui inteso è un accoppiamento che comprende un elemento flessibile o elastico, schematicamente mostrato in 124, quale un giunto flessibile o elastico. Un accoppiamento rigido è, viceversa, un accoppiamento che non contiene un elemento flessibile o elastico.

Accoppiamenti flessibili compensano l'espansione termica degli alberi che collegano le turbomacchine così come possibili disallineamenti angolari, riducendo il carico sui cuscinetti e le vibrazioni delle macchine.

Disporre un accoppiamento flessibile fra la turbina a gas e il carico conduce ad una migliore funzionalità ed efficienza delle tenute del gas a secco del o dei compressori azionati dalla turbina a gas e semplifica l'allineamento fra le turbomacchine nonché la progettazione rotodinamica.

La Fig.5 illustra un'ulteriore forma di realizzazione dell'oggetto qui descritto. Componenti, elementi o parti uguali od equivalenti a quelle della Fig.4 sono forniti degli stessi numeri di riferimento e non verranno descritti in dettaglio nuovamente. La forma di realizzazione della Fig.5 differisce dalla forma di realizzazione della Fig.4 in quanto la prima comprende un accoppiamento 105 del carico, che comprende soltanto un accoppiamento flessibile che collega direttamente la turbina a gas 101 e il carico 103. Il numero di riferimento 124 indica un elemento flessibile o elastico dell'accoppiamento flessibile 105.

In alcune forme di realizzazione il carico 103 può comprendere due o più compressori collegati l'uno all'altro per mezzo di un accoppiamento flessibile intermedio. La Fig.5 mostra una forma di realizzazione esemplificativa di un terzo com-

pressore 103C collegato al primo e al secondo compressore 103A, 103B attraverso un accoppiamento flessibile 126.

Nelle Figg.2 a 5 è illustrata una turbina a gas mono-albero 101. Idonee turbine a gas che possono essere usate nelle disposizioni sopra descritte sono turbine a gas heavy duty mono-albero MS9001, MS7001, MS6001, MS5001, GE10-1, tutte disponibili da GE Oil & Gas.

In altre forme di realizzazione la turbina a gas può essere una turbina a gas multi-albero avente due o più alberi disposti concentricamente. La Fig.6 illustra schematicamente una turbina bi-albero, indicata complessivamente con 201. Una turbina di albero idonea è la turbina a gas LM6000 ® disponibile da General Electric, Evendale, OH, USA. La turbina a gas bi-albero 101 comprende un nucleo 203, un compressore di bassa pressione 205 e una turbina di potenza o di bassa pressione 207. Il nucleo 203 comprende a sua volta un compressore di alta pressione 209 e una turbina di alta pressione 211. Il rotore del compressore di alta pressione 209 e il rotore della turbina di alta pressione 211 sono montati su un albero comune del nucleo o albero esterno 213. Il rotore del compressore di bassa pressione 205 e il rotore della turbina di bassa pressione o turbina di potenza 207 sono montati su un albero interno o albero di potenza 215. L'albero interno 215 si estende coassialmente e attraverso l'albero esterno 213. L'estremità calda e l'estremità fredda della turbina a gas 201 sono schematicamente indicate con 201H e 201C rispettivamente. Un motore/generatore elettrico 221 è meccanicamente collegato all'albero interno 215 all'estremità fredda 201C della turbina a gas 201 ed è elettricamente collegato ad una rete di distribuzione elettrica G attraverso un convertitore di frequenza o un azionatore a frequenza variabile 223. Una frizione e/o un limitatore meccanico e/o una scatola di ingranaggi, genericamente indicato in 225, possono essere disposti fra l'estremità fredda dell'albero interno 215 e l'albero 221A del motore/generatore elettrico 221.

La parte dell'estremità calda dell'albero interno 215 può essere meccanicamente accoppiata ad un carico 226. Un accoppiamento flessibile può essere usato a tale scopo. Il numero di riferimento 227 indica schematicamente un elemento flessibile di un accoppiamento flessibile. Una scatola di ingranaggi od altro dispositivo di manipolazione della velocità può essere disposto fra l'estremità calda 201H della

turbina a gas 201 e il carico 226 e/o tra macchine condotte disposte consecutivamente del carico 226.

Nella forma di realizzazione esemplificativa della Fig.6 il carico 226 comprende un primo compressore 226A e un secondo compressore opzionale 226B. Un accoppiamento flessibile mostrato in 229 può essere previsto fra i due compressori 226A, 226B.

In alcune forme di realizzazione uno starter 231 è previsto per avviare il nucleo 203 della turbina a gas 201.

Aria ambiente viene alimentata al compressore di bassa pressione 205 e viene compressa ad una prima pressione. L'aria parzialmente compressa entra nel compressore di alta pressione 209 del nucleo 203 ed è compressa ad alta pressione. L'aria pressurizzata viene alimentata ad un combustore 204 e miscelata con un combustibile, ad esempio un combustibile gassoso o liquido. La miscela aria/combustibile viene incendiata e i gas di combustione vengono espansi sequenzialmente nella turbina di alta pressione 211 e nella turbina di bassa pressione o di potenza 207. La potenza meccanica generata dalla turbina di alta pressione 211 è usata per azionare il compressore di alta pressione 209 del nucleo di turbina 203, mentre la potenza meccanica generata dalla turbina di bassa pressione o di potenza 211 è disponibile sull'albero interno 215 e usata per azionare il carico 226.

Potenza meccanica in eccesso disponibile dalla turbina di potenza 203 sull'albero interno 215 può essere trasferita al motore/generatore elettrico 211 e convertita da esso in potenza elettrica, il motore/generatore elettrico 211 funzionando nel modo generatore. La potenza elettrica è condizionata dal convertitore di frequenza 223 e resa disponibile sulla rete di distribuzione elettrica G. Se la potenza meccanica generata dalla turbina di potenza 207 è insufficiente per azionare il carico 226, ad esempio a causa di una riduzione della disponibilità di potenza della turbina provocata da un aumento della temperatura ambiente, il motore/generatore elettrico 221 può essere commutato nel modo motore e converte potenza elettrica dalla rete di distribuzione elettrica G in potenza meccanica, resa disponibile sull'albero interno 215 per essere combinata alla potenza meccanica generata dalla turbina di potenza 207 per azionare il carico 226.

In questa forma di realizzazione la funzione di starter non è fornita dal motore/generatore elettrico 221, ma piuttosto da un motore di starter 231 previsto sul nucleo 203. Quando la turbina a gas 201 deve essere avviata, il motore di starter 231 aziona l'albero esterno 213 in rotazione, così che il nucleo 203 può avviarsi. Una volta che la turbina di alta pressione 221 è stata accesa, gas di combustione generati da essa vengono alimentati alla turbina di potenza 207 per avviare le sezioni di bassa pressione della turbina a gas 201, cioè il compressore di bassa pressione 205 e la turbina a gas di bassa pressione 207.

Mentre le forme di realizzazione descritte dell'oggetto qui illustrato sono state mostrate nei disegni e descritte integralmente in quanto sopra con particolari e dettagli in relazione a diverse forme di realizzazione esemplificative, gli esperti nell'arte comprenderanno che molte modifiche, cambiamenti e omissioni sono possibili senza uscire materialmente dagli insegnamenti innovativi, dai principi e dai concetti sopra esposti, e dai vantaggi dell'oggetto definito nelle rivendicazioni allegate. Pertanto l'ambito effettivo delle innovazioni descritte deve essere determinato soltanto in base alla più ampia interpretazione delle rivendicazioni allegate, così da comprendere tutte le modifiche, i cambiamenti e le omissioni. Inoltre, l'ordine o sequenza di qualunque fase di metodo o processo può essere variata o ridisposta secondo forme di realizzazione alternative.

NUOVO PIGNONE S.R.L.

a Firenze

“TURBINA A GAS IN APPLICAZIONI DI TRAZIONE MECCANICA E METODI DI FUNZIONAMENTO”

Rivendicazioni

- 1) Un sistema di azionamento per azionare un carico, comprendente:
una turbina a gas configurata e disposta per azionare il carico, detta turbina a gas avendo un'estremità calda e un'estremità fredda;
un accoppiamento del carico che collega la turbina a gas al carico, disposto ad una di dette estremità calda ed estremità fredda della turbina a gas;
un motore/generatore elettrico disposto all'altra di dette estremità calda ed estremità fredda della turbina a gas, detto motore/generatore elettrico essendo collegato elettricamente ad una rete di distribuzione elettrica ed essendo meccanicamente collegato a detto accoppiamento del carico;
in cui detto motore/generatore elettrico è atto a funzionare come generatore per convertire potenza meccanica in eccesso da detta turbina a gas in potenza elettrica ed alimentare la potenza elettrica alla rete di distribuzione elettrica, ed a funzionare come motore per fornire potenza di azionamento supplementare al carico.
- 2) Il sistema di azionamento della rivendicazione 1, in cui detto carico comprende almeno un compressore.
- 3) Il sistema di azionamento della rivendicazione 1 o 2, in cui il motore/generatore elettrico è disposto all'estremità fredda della turbina a gas e l'accoppiamento del carico è disposto all'estremità calda della turbina a gas.
- 4) Il sistema di azionamento di una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 3, comprendente inoltre un limitatore meccanico fra il motore/generatore elettrico e la turbina a gas.
- 5) Il sistema di azionamento di una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 4, comprendente inoltre una frizione fra il motore/generatore elettrico e la turbina a gas.

6) Il sistema di azionamento di una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 5, in cui detto motore/generatore elettrico è permanentemente connesso all'estremità fredda o all'estremità calda della turbina a gas.

7) Il sistema di azionamento di una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 6, in cui il motore/generatore elettrico è inoltre atto a funzionare come starter per avviare la turbina a gas e il carico.

8) Il sistema di azionamento come da una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 7, in cui detta turbina a gas è una turbina a gas mono-albero.

9) Il sistema di azionamento di una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 7, in cui detta turbina a gas è una turbina a gas bi-albero, comprendente: un nucleo comprensivo di un compressore di alta pressione e di una turbina di alta pressione collegati da un primo albero; uno starter per avviare detto nucleo; un compressore di bassa pressione; una turbina di bassa pressione; in cui detta turbina di bassa pressione e detto compressore di bassa pressione sono collegati da un secondo albero che si estende dall'estremità calda all'estremità fredda della turbina a gas; e in cui il carico è meccanicamente collegato a detto secondo albero ad una di dette estremità calda ed estremità fredda della turbina a gas e detto motore/generatore elettrico è meccanicamente collegato a detto secondo albero all'altra di dette estremità calda ed estremità fredda della turbina a gas.

10) Il sistema di azionamento di una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 9, comprendente inoltre un convertitore di frequenza collegato fra il motore/generatore elettrico e la rete di distribuzione elettrica, detto convertitore di frequenza essendo configurato e controllato per condizionare la frequenza elettrica dalla rete di distribuzione elettrica al motore/generatore elettrico e dal motore/generatore elettrico alla rete di distribuzione elettrica.

11) Un metodo per avviare un sistema comprensivo di una turbina a gas e di un carico, detto metodo comprendendo:

prevedere una turbina a gas con una estremità calda ed una estremità fredda;
accoppiare un carico ad una di dette estremità calda e estremità fredda;
accoppiare un motore/generatore elettrico all'altra di dette estremità calda ed estremità fredda;

commutare il motore/generatore elettrico in un modo motore;
alimentare elettricamente il motore/generatore elettrico e convertire potenza elettrica in potenza meccanica in detto motore/generatore elettrico e usare detta potenza meccanica per avviare la turbina a gas ed il carico, potenza meccanica essendo trasferita dal motore/generatore elettrico al carico attraverso la turbina a gas.

12) Un metodo per far funzionare un sistema a turbina a gas comprensivo di una turbina a gas e di un carico azionato da detta turbina a gas, detto metodo comprendendo:

prevedere una turbina a gas con una estremità calda ed una estremità fredda;
accoppiare un carico ad una di dette estremità calda ed estremità fredda;
accoppiare un motore/generatore elettrico all'altra di dette estremità calda ed estremità fredda;
e accoppiare meccanicamente detto motore/generatore elettrico a detto carico;
generare potenza meccanica per mezzo di detta turbina a gas;
azionare il carico con potenza meccanica generata dalla turbina a gas;
quando la potenza meccanica generata dalla turbina a gas supera la potenza meccanica richiesta per azionare il carico;
- far funzionare il motore/generatore elettrico in un modo generatore;
- trasferire potenza meccanica in eccesso dalla turbina a gas al motore/generatore elettrico;
- e convertire detta potenza meccanica in eccesso in potenza elettrica nel motore/generatore elettrico.

13) Un metodo per far funzionare un sistema di turbina a gas comprensivo di una turbina a gas e di un carico azionato da detta turbina a gas, detto metodo comprendendo:

prevedere una turbina a gas con una estremità calda ed una estremità fredda;
accoppiare un carico ad una di dette estremità calda ed estremità fredda;
accoppiare un motore/generatore elettrico all'altra di dette estremità calda ed estremità fredda;
e accoppiare meccanicamente detto motore/generatore elettrico a detto carico;

generare potenza meccanica per mezzo della turbina a gas;
azionare il carico con la potenza meccanica generata dalla turbina a gas;
quando la potenza meccanica generata dalla turbina a gas è inferiore alla potenza richiesta per azionare il carico;

- azionare detto motore/generatore elettrico in un modo motore;
- alimentare elettricamente il motore/generatore elettrico;
- convertire potenza elettrica in potenza meccanica supplementare in detto motore/generatore elettrico;
- trasferire la potenza meccanica supplementare dal motore/generatore elettrico attraverso la turbina a gas al carico;
- azionare il carico con potenza combinata generata dalla turbina a gas e potenza meccanica supplementare generata dal motore/generatore elettrico.

14) Il metodo di una qualsiasi delle rivendicazioni 11 a 13, comprendente le fasi di:

accoppiare il motore/generatore elettrico alla estremità fredda della turbina a gas; e
accoppiare il carico all'estremità calda della turbina a gas.

15) Il metodo di una qualsiasi delle rivendicazioni 11 a 14, in cui detto carico comprende almeno un compressore.

Nuovo Pignone S.r.l.

Firenze

“Gas Turbine in Mechanical Drive Applications and Operating Methods”

CLAIMS

1. A drive system for driving a load, comprising:
a gas turbine configured and arranged for driving the load, said gas turbine having a hot end and a cold end;
a load coupling connecting the gas turbine to the load, arranged at one of said hot end and cold end of the gas turbine;
an electric motor/generator arranged at the other one of said hot end and cold end of the gas turbine, said electric motor/generator being electrically connected to an electric power grid and mechanically connected to said load coupling;
wherein said electric motor/generator is adapted to function as a generator for converting excess mechanical power from said gas turbine into electrical power and delivering the electrical power to the electric power grid, and as a motor for supplementing driving power to the load.
2. The drive system of claim 1, wherein said load comprises at least one compressor.
3. The drive system of claim 1 or 2, wherein the electric motor/generator is arranged at the cold end of the gas turbine and the load coupling is arranged at the hot end of the gas turbine.
4. The drive system of any one of claims 1 through 3, further comprising a mechanical fuse between the electric motor/generator and the gas turbine.
5. The drive system of any one of claims 1 through 4, further comprising a clutch between the electric motor/generator and the gas turbine.
6. The drive system of any one claims 1 through 5, wherein said electric motor/generator is permanently connected to the cold end or hot end of the gas turbine.

bine.

7. The drive system of any one of claims 1 through 6, wherein the electric motor/generator is further adapted to function as a starter to start up the gas turbine and the load.

8. The drive system of any one of claims 1 through 7, wherein said gas turbine is a single-shaft gas turbine.

9. The drive system of any one of claims 1 through 7, wherein said gas turbine is a dual-shaft gas turbine, comprising: a core comprised of a high-pressure compressor and a high-pressure turbine connected by a first shaft; a starter for starting said core; a low-pressure compressor; a low-pressure turbine; wherein said low-pressure turbine and said low-pressure compressor are connected by a second shaft extending from the hot end to the cold end of the gas turbine; and wherein load is mechanically connected to said second shaft at one of said hot end and cold end of the gas turbine and said electric motor/generator is mechanically connected at said second shaft at the other one of said hot end and cold end of the gas turbine.

10. The drive system of any one of claims 1 through 9, further comprising a frequency converter connected between the electric motor/generator and the electric power grid, said frequency converter being configured and controlled for conditioning the electric frequency from the electric power grid to the electric motor/generator and from the electric motor/generator to the electric power grid.

11. A method of starting a system comprised of a gas turbine and a load, said method comprising:

providing a gas turbine with a hot end and a cold end;

coupling a load to one of said hot end and cold end;

coupling an electric motor/generator to the other one of said hot end and cold end;

switching the electric motor/generator in a motor mode;

electrically powering the electric motor/generator and converting electric power into mechanical power in said electric motor/generator and using said mechanical power for starting-up the gas turbine and the load, mechanical power being transferred from the electric motor/generator to the load through the gas tur-

bine.

12. A method of operating a gas turbine system comprised of a gas turbine and a load driven by said gas turbine, said method comprising:

providing a gas turbine with a hot end and a cold end;
coupling a load to one of said hot end and cold end;
coupling an electric motor/generator to the other one of said hot end and cold end,
and mechanically coupling said electric motor/generator to said load;
generating mechanical power by means of the gas turbine;
powering the load with the mechanical power generated by the gas turbine;
when the mechanical power generated by the gas turbine exceeds the mechanical power required to drive the load:

- operating the electric motor/generator in a generator mode;
- transferring excess mechanical power from the gas turbine to the electric motor/generator;
- and converting said excess mechanical power into electric power in the electric motor/generator.

13. A method of operating a gas turbine system comprised of a gas turbine and a load driven by said gas turbine, said method comprising:

providing a gas turbine with a hot end and a cold end;
coupling a load to one of said hot end and cold end;
coupling an electric motor/generator to the other one of said hot end and cold end, and mechanically coupling said electric motor/generator to said load;
generating mechanical power by means of the gas turbine;
powering the load with the mechanical power generated by the gas turbine;
when the mechanical power generated by the gas turbine is less than the power required to drive the load:

- operating said electric motor/generator in a motor mode;
- electrically powering the electric motor/generator;
- converting electric power into supplemental mechanical power in the electric motor/generator;
- transferring the supplemental mechanical power from the electric motor/generator through the gas turbine to the load;

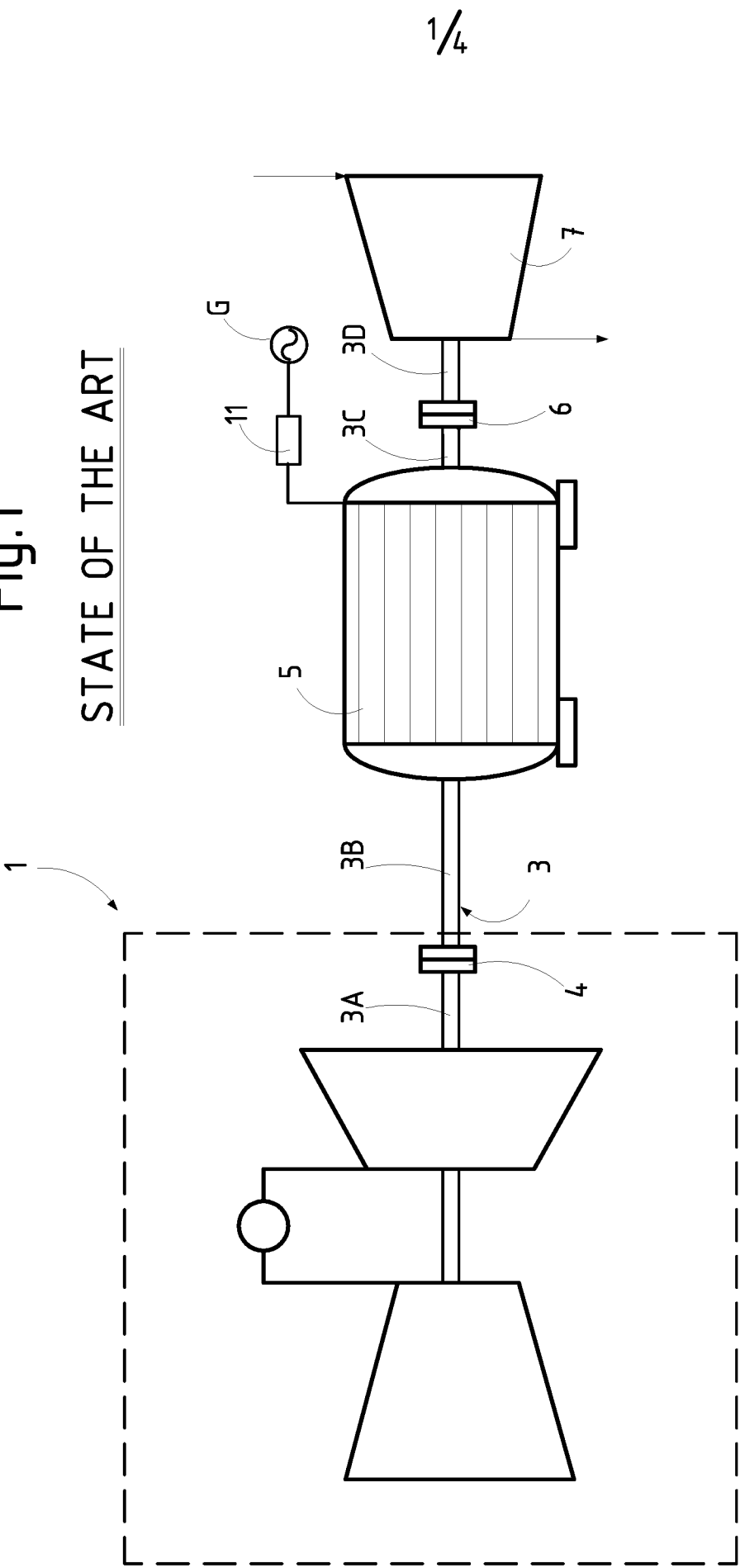
- driving the load with combined power generated by the gas turbine and supplemental mechanical power generated by the electric motor/generator.

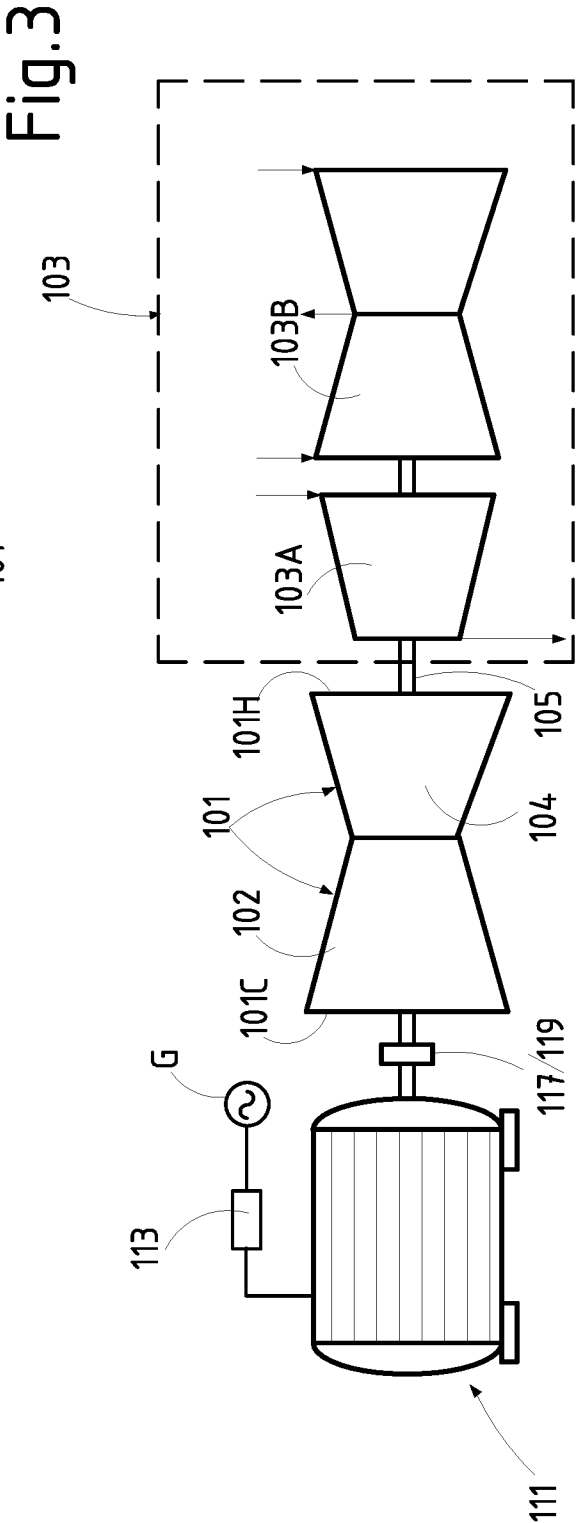
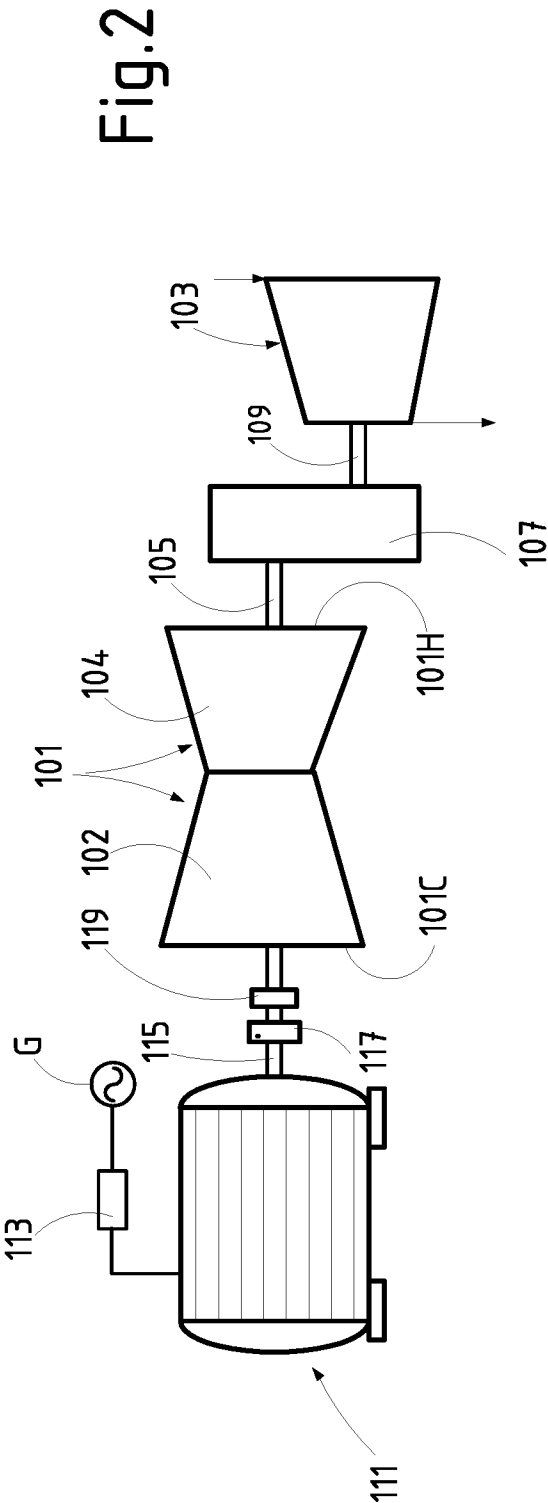
14. The method of any one of claims 11 through 13, comprising the steps of:

coupling the electric motor/generator to the cold end of the gas turbine; and
coupling the load to the hot end of the gas turbine.

15. The method of any one of claims 11 through 14, wherein said load comprises at least one compressor.

Fig.1
STATE OF THE ART





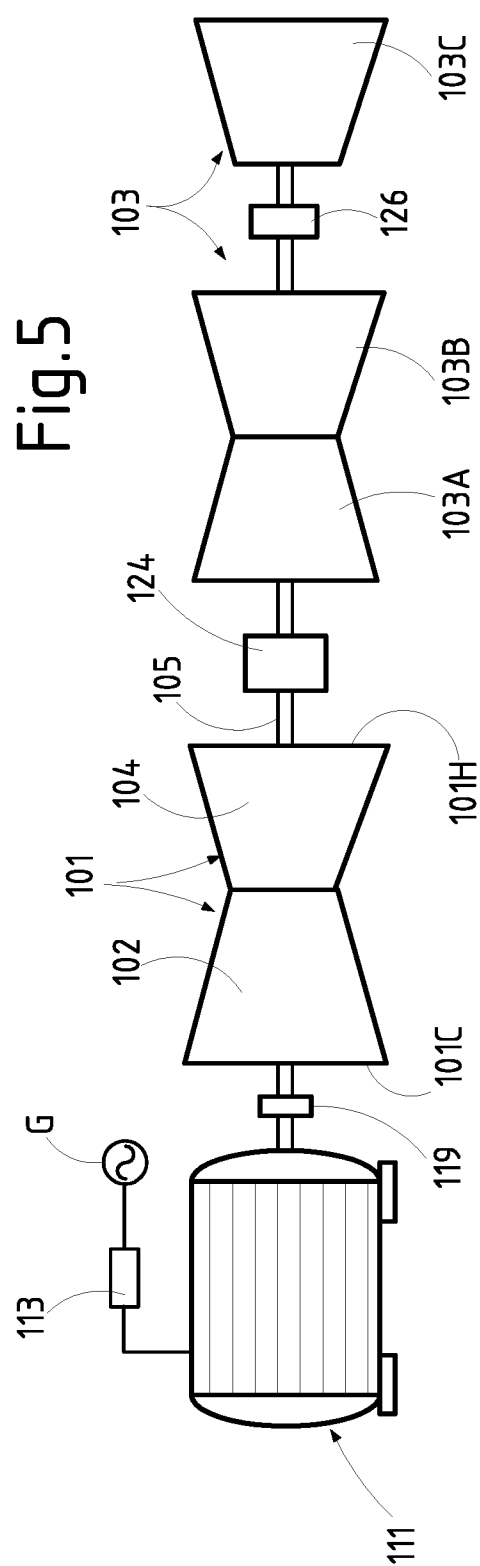
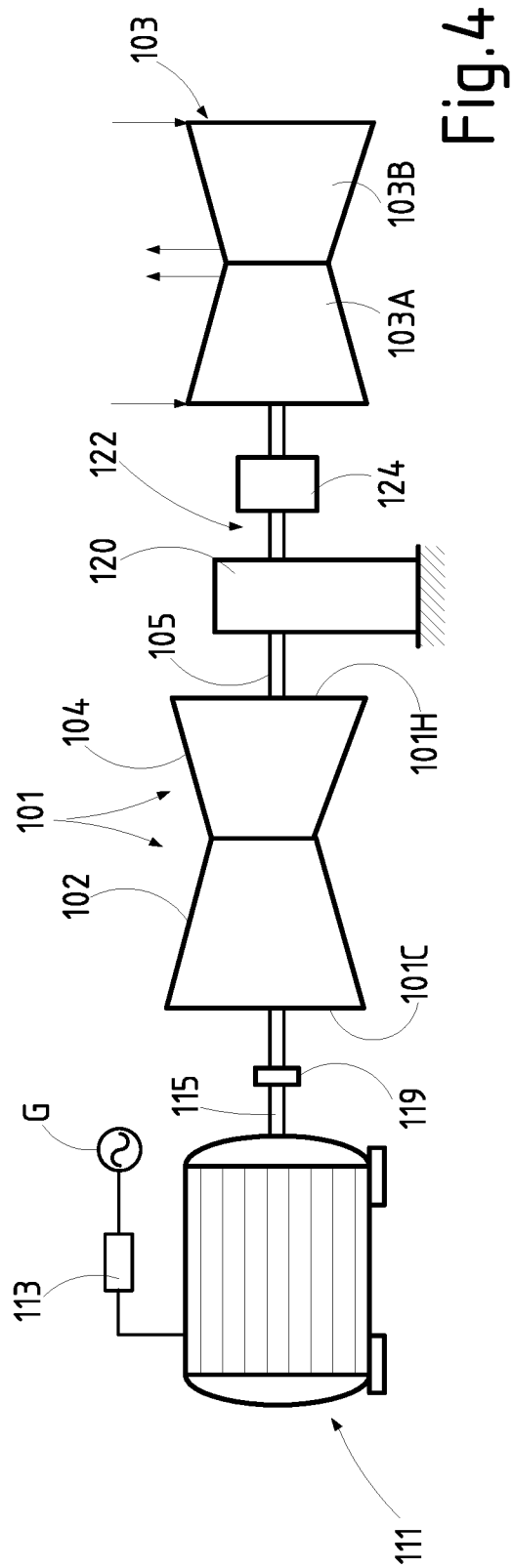


Fig.6

