

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-508492

(P2005-508492A)

(43) 公表日 平成17年3月31日(2005.3.31)

(51) Int. Cl.⁷

G21D 5/06
F02C 1/10
F02C 7/057
F02C 7/08
F02C 7/143

F I

G21D 5/06 GDU
F02C 1/10
F02C 7/057
F02C 7/08 B
F02C 7/143

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 42 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-592140 (P2002-592140)
(86) (22) 出願日 平成14年5月22日 (2002.5.22)
(85) 翻訳文提出日 平成15年11月20日 (2003.11.20)
(86) 国際出願番号 PCT/IB2002/001754
(87) 国際公開番号 W02002/095768
(87) 国際公開日 平成14年11月28日 (2002.11.28)
(31) 優先権主張番号 2001/4319
(32) 優先日 平成13年5月25日 (2001.5.25)
(33) 優先権主張国 南アフリカ (ZA)

(71) 出願人 503352165
ペブル ベッド モジュラー リアクター
(プロプライエタリー) リミテッド
南アフリカ センチュリオン O O 4 6
センチュリオン センター、トゥウェルブ
ハンドレッドアンドシックスティーセブン
ゴードン フッド アベニュー、レイク
ブエナ ビスタ ビルディング、サード
フロア

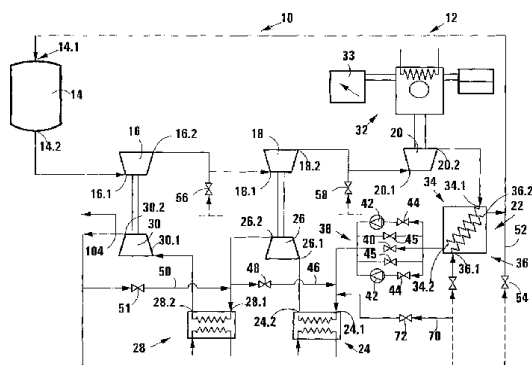
(74) 代理人 100084870
弁理士 田中 香樹
(74) 代理人 100079289
弁理士 平木 道人
(74) 代理人 100119688
弁理士 田邊 壽二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プレイトンサイクル原子力発電所およびプレイトンサイクル始動方法

(57) 【要約】

原子力発電所は、熱力学変換サイクルとしてプレイトンサイクルを使用する閉ループ発電回路を含む。該原子力発電所は、さらに、インライン弁と該インライン弁と並列に接続されたブロワとを有する始動用ブロワシステムを含む。さらに、通常閉のブロワ遮断弁は前記ブロワと直列に設けられ、またブロワバイパス装置は該ブロワと並列に設けられている。プレイトンサイクルを始動する方法は、前記発電回路を、ヘリウムが前記始動用ブロワシステムにより前記発電回路の周りを循環される待機モードに導くステップと、該ヘリウムが該発電回路の周りを循環されるようになるまで、前記始動用ブロワシステムに依存しない圧縮機により発電回路に発生されるパワーを増強するステップとを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

作動流体としてヘリウムを使用し、熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクルを使用するように設計されている閉ループ発電回路を有し、入口と出口をもつ原子炉、その上流側が前記原子炉の出口に接続されかつパワータービンを含むタービン装置、該タービン装置が駆動的に接続されている少なくとも一つの圧縮機、および少なくとも一つの熱交換機を含む原子力発電所において、

前記ブレイトンサイクルを始動する方法が、もしまだ待機モードでないなら、ヘリウムが始動用ブロウシステムにより前記発電回路の周りに循環されるように前記発電回路を待機モードに導くステップと、

前記パワータービンに負荷を印加し、前記パワータービンの通常の動作速度以下の速度に該パワータービンの速度を調節するステップと、

該パワータービンの速度が該パワータービンの通常の動作速度に増強するように、前記印加された負荷を低減するステップと、

少なくとも一つの圧縮機が前記始動用ブロウシステムの補助なしに発電回路の周りにヘリウムを循環できるようになるまで、発電回路中で発生されるパワーを増強するステップとからなるブレイトンサイクル始動方法。

【請求項 2】

請求項 1 の方法において、

前記原子力発電所が、前記パワータービンに駆動的に接続されている発電機を含む時、

前記方法が、前記発電機出力を電気配分グリッド (electrical distribution grid) に同期化するステップと、

前記発電機の出力が前記グリッドと同期化されている間に前記パワータービンのパワー出力を増強するステップとからなる方法。

【請求項 3】

請求項 2 の方法において、

前記パワータービンに負荷を印加することが前記発電機に接続されている可変抵抗器バンクを介して行われる方法。

【請求項 4】

請求項 3 の方法において、

前記印加された負荷を低減するステップが、前記抵抗器バンクの抵抗を低減することにより実施される方法。

【請求項 5】

請求項 3 または請求項 4 の方法において、

前記発電機出力が前記電気配分グリッドに同期化され、前記発電回路が安定化された後、前記発電機から前記可変抵抗器バンクを切り離すステップを含む方法。

【請求項 6】

請求項 2 ないし請求項 4 のいずれかの方法において、

前記印加された負荷を低減するステップは、約 1 MW から約 300 kW まで前記負荷を低減することを含む方法。

【請求項 7】

請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかの方法において、

通常運転速度の 55% から 65% の間の速度に、前記パワータービンの速度を調節することを含む方法。

【請求項 8】

請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかの方法において、

前記パワータービンの通常運転速度が 3000 rpm の時に、前記パワータービンの速度を約 1800 rpm に調節することを含む方法。

【請求項 9】

請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかの方法において、

10

20

30

40

50

前記発電回路が、低圧圧縮機と高圧圧縮機を含み、前記タービン装置が前記低圧圧縮機と高圧圧縮機に駆動的に接続された低圧タービンと高圧タービンを含み、前記発電回路が、低圧再循環弁が装着されている低圧再循環ラインと高圧再循環弁が装着されている高圧再循環ラインを含む時に、

それぞれが低および高圧圧縮機の下流位置から上流位置へ延びる前記低圧および高圧再循環ラインが、少なくとも前記低圧および高圧再循環弁を使用して前記発電回路を安定化させることを含む方法。

【請求項 10】

請求項 9 の方法において、

前記発電回路が、高圧側と低圧側を有する復熱装置と、該復熱装置の高圧側の上流位置から下流位置へ延びる復熱装置バイパスラインと、そこを通るヘリウムの流量を調節するために該復熱装置バイパスライン中に装着されている復熱バイパス弁とを含む時に、前記発電回路によって発生されたパワーを増強することが、少なくとも前記再循環弁および前記バイパス弁の一つを、開位置から閉位置へ変化させることによってなされることを含む方法。

【請求項 11】

請求項 1 ないし請求項 10 のいずれかの方法において、

前記ブレイトンサイクルが自立的に動作する時、前記始動用ブロウシステムを停止させることを含む方法。

【請求項 12】

請求項 11 の方法において、

前記始動用ブロウシステムが並列に接続された少なくとも一つのブロウと始動用ブロウシステムインライン弁と、前記ブロウと直列に接続されたブロウ遮断弁とを含む時に、前記始動用ブロウシステムを停止させることは、前記始動用ブロウシステムインライン弁を開き、前記ブロウの動作を停止し、前記ブロウ遮断弁を閉じることを含む方法。

【請求項 13】

閉ループ発電回路と、始動用ブロウシステムとを含む原子力発電所において、

該始動用ブロウシステムが、

通常開のインライン弁と、

該インライン弁と並列に接続されている少なくとも一つのブロウと、

該ブロウまたは各ブロウと直列の通常閉の遮断弁と、

前記発電回路および前記ブロウまたは各ブロウと並列のブロウバイパス装置とを含む原子力発電所。

【請求項 14】

請求項 13 の原子力発電所において、

入口と出口を有する原子炉、その上流側が前記原子炉の出口に接続されたタービン装置、低圧側と高圧側とを有しそれぞれの両側に入口と出口を有する復熱装置、該タービン装置が駆動的に接続されている少なくとも一つの圧縮機、および少なくとも一つの熱交換機とを含む閉ループ発電回路を含み、

前記閉ループ発電回路は熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクルを使用するように設計され、該原子力発電所は、更に、前記タービン装置が駆動的に接続されている発電機と前記発電機に切断可能に接続されている可変抵抗器バンクを含む原子力発電所。

【請求項 15】

請求項 14 の原子力発電所において、

前記発電回路が、高圧圧縮機と、低圧圧縮機と、前記高圧圧縮機に駆動的に接続される高圧タービン、前記低圧圧縮機に駆動的に接続される低圧タービンおよび前記発電機に駆動的に接続されるパワータービンを含むタービン装置とを含む原子力発電所。

【請求項 16】

請求項 15 の原子力発電所において、

前記発電回路が、前記復熱装置の低圧側の出口と前記低圧圧縮機の入口との間に接続され

た予冷器と、前記低圧圧縮機の出口と前記高圧圧縮機の入口との間に接続された中間冷却器とを含む原子力発電所。

【請求項 17】

請求項 16 の原子力発電所において、

前記始動用ブロワシステムが、前記復熱装置の低圧側と前記予冷器との間に配置されている原子力発電所。

【請求項 18】

請求項 16 または請求項 17 の原子力発電所において、

前記発電回路が、低圧再循環弁が装着されている低圧圧縮機再循環ラインを含み、該低圧圧縮機再循環ラインが前記低圧圧縮機の下流側と前記中間冷却器の入口との間の位置から、前記始動用ブロワシステムと前記予冷器の入口との間の位置まで延びている原子力発電所。

10

【請求項 19】

請求項 16 ないし請求項 18 のいずれかの原子力発電所において、

前記発電回路は、高圧圧縮機再循環弁が装着されている高圧圧縮機再循環ラインを含み、該ラインが、前記高圧圧縮機の下流側と前記復熱装置の高圧側の入口との間の位置から、前記低圧圧縮機の出口と前記中間冷却器の入口との間の位置まで延びている原子力発電所。

【請求項 20】

請求項 16 ないし請求項 19 のいずれかの原子力発電所において、

前記発電回路は、復熱装置バイパスラインが装着されている復熱装置バイパスラインを含み、該復熱装置バイパスラインは、前記復熱装置の高圧側の上流位置から、前記復熱装置の高圧側の出口の下流位置まで延びている原子力発電所。

20

【請求項 21】

請求項 16 ないし請求項 20 のいずれかの原子力発電所において、

前記発電回路が、高圧クーラント弁と低圧クーラント弁とを含み、前記高圧クーラント弁は、開の時に、高圧圧縮機の高圧側から前記低圧タービンの入口までヘリウムのバイパスを供給するように構成され、
前記低圧クーラント弁は、高圧圧縮機の高圧側から前記パワータービンの入口までヘリウムのバイパスを供給するように構成されている原子力発電所。

30

【請求項 22】

請求項 13 ないし請求項 21 のいずれかの原子力発電所において、

前記原子炉はペブルベッドタイプである原子力発電所。

【請求項 23】

請求項 13 ないし請求項 22 のいずれかの原子力発電所において、

前記始動用ブロワシステムは、始動ブロワインライン弁および各ブロワと連結されているブロワ絶縁弁と並列に接続されている二つのブロワを含む原子力発電所。

【請求項 24】

本明細書に実質的に記載する、請求項 1 の方法。

【請求項 25】

本明細書に実質的に記載する、請求項 13 の原子力発電所。

40

【請求項 26】

本明細書に実質的に記載し図示する新規の方法および原子力発電所。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は原子力発電所に関する。特に、熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクルを使用する原子力発電所およびブレイトンサイクル始動方法に関する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 2 】

本発明の目的は、熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクルを使用する原子力発電所およびブレイトンサイクル始動方法を提供することである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 3 】

熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクルを使用するように構成された閉ループの発電回路を含む原子力発電所では、経験上の一つの問題は、ブレイトンサイクルがゼロの質量の流れ (mass flow) から自立的に始動しないことである。

【 0 0 0 4 】

本発明の一つの特徴によると、作動流体としてヘリウムを使用し、熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクルを使用するように意図された閉ループの発電回路を有し、入口および出口をもつ原子炉、その上流側が該原子炉の出口に接続されたタービン装置、該タービン装置が駆動的に接続されている少なくとも一つの圧縮機、および少なくとも一つの熱交換機とを含む原子力発電所において、もしまだ待機モードでないなら、発電回路を、ヘリウムが始動用ブロウシステムにより発電回路の周囲を循環される待機モードにするステップと、少なくとも一つの圧縮機が始動用ブロウシステムの補助なしに発電回路の周囲にヘリウムを循環させることができるまで、発電回路中に発生されるパワーを増加させるステップとを含むブレイトンサイクル始動方法が提供される。

【 0 0 0 5 】

原子力発電所が発電機を含み、前記タービンが該発電機に駆動的に接続されたパワータービンを含むとき、該方法は、前記パワータービンに負荷を印加し、該パワータービンの速度を該パワータービンの通常の動作速度以下の速度に調整するステップと、該パワータービンの速度が該パワータービンの通常の動作速度まで増加するように、前記印加された負荷を低減するステップと、該発電機の出力を電気分布グリッドに同期させるステップと、発電機の出力が該グリッドと同期させられている間該パワータービンのパワー出力を増加するステップとを含む。

【 0 0 0 6 】

前記パワータービンに負荷を印加するステップは、可変抵抗器バンクを前記発電機に接続することによって行われることができる。

【 0 0 0 7 】

前記印加負荷を低減するステップは、前記抵抗器バンクの抵抗を低減することによって達成されることができる。

【 0 0 0 8 】

この方法は、発電機の出力が前記電気分布グリッドに同期化され発電回路が安定化された後、前記発電機から前記可変抵抗器バンクを切り離すステップを含む。

【 0 0 0 9 】

前記印加負荷を低減するステップは、約 1 MW から約 3 0 0 kW まで負荷を低減するステップを含む。

【 0 0 1 0 】

前記方法は、前記パワータービンの速度を、通常運転速度の 5 5 ~ 6 5 % の速度に調整するステップを含むことができる。

【 0 0 1 1 】

前記パワータービンの通常運転速度が 3 0 0 0 r p m の時、前記方法は、パワータービンの速度を約 1 8 0 0 r p m に調整するステップを含むことができる。

【 0 0 1 2 】

前記発電回路が低圧圧縮機と高圧圧縮機とを含み、前記タービン装置が、それぞれ該低圧圧縮機と高圧圧縮機に駆動的に接続される低圧タービンと高圧タービンを含み、前記発電回路が、低圧再循環弁が装着されている低圧再循環ラインと高圧再循環弁が装着されている高圧再循環ラインであって、該低および高圧圧縮機の下流位置から上流位置へ延びている該低圧および高圧再循環ラインを含む時、前記方法は、低圧および高圧再循環弁の少な

くとも一方を用いて発電回路を安定化させるステップを含むことができる。

【0013】

前記発電回路が高圧側と低圧側をもつ復熱装置と、該復熱装置の高圧側の上流位置から下流位置に延びる復熱バイパスラインと、そこを通るヘリウムの流れを調節するために前記復熱バイパスラインに装着されている復熱バイパス弁とを含むとき、前記発電回路によって発生されるパワーを増加させるステップは、再循環弁と前記バイパス弁の少なくとも一方を開位置から閉位置の方へ移すステップを含む。弁の閉鎖により、ブレイトンサイクルの効率は実質的に増加する。

【0014】

一度始動されると、ブレイトンサイクルは自立的に動作し、発電回路中のヘリウムの循環は圧縮機により行われる。 10

【0015】

前記方法は、ブレイトンサイクルが自立的に動作すると、始動用ブロウシステムを停止させるステップを含む。ブレイトンサイクルがいつ自立的に動作するようになったかを決定するのに使用できる一つの方法は、始動用ブロウシステムを横切る圧力差が予め決定された圧力差、典型的には20 kPa以下に減少する時である。

【0016】

前記始動用ブロウシステムは、並列的に接続された、少なくとも一つのブロウおよび始動用ブロウシステムインライン弁と、該ブロウと直列に接続されたブロウ遮断弁を含むことができる。待機モードでは、発電回路は、前記始動用ブロウシステムインライン弁が閉じられ、前記ブロウ遮断弁または各ブロウ遮断弁が開かれ、前記ブロウまたは各ブロウが作動するように構成されている。その後、前記ブロウは、発電回路にヘリウムの循環を生ずる。始動用ブロウシステムを停止させるステップは、始動用ブロウシステムインライン弁を開き、ブロウの動作を停止し、ブロウ遮断弁を閉じるステップを含むことができる。 20

【0017】

本発明の他の特徴によると、閉ループ発電回路を含む原子力発電所と、通常開のインライン弁と該インライン弁と並列に接続された少なくとも一つのブロウと該ブロウまたは各ブロウと直列の通常閉のブロウ遮断弁と該ブロウまたは各ブロウと並列のブロウバイパス装置とを含む始動用ブロウシステムとが提供される。

【0018】

閉ループ発電回路は、入口と出口を有する原子炉と、その上流側が該原子炉の出口に接続されたタービン装置と、低圧側と高圧側とをもつ復熱装置であって該復熱装置の各側が入口と出口をもつ復熱装置と、前記タービン装置が駆動的に接続される少なくとも一つの圧縮機と、少なくとも一つの熱交換機と、熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクルを使用するように構成された閉ループ発電回路と、前記タービン装置が駆動的に接続された発電機をさらに含む原子力発電所と、前記発電機に切断可能に接続される可変抵抗器バンクとを含むことができる。 30

【0019】

発電回路は、高圧圧縮機と、低圧圧縮機と、該高圧圧縮機に駆動的に接続された高圧タービン、低圧圧縮機に駆動的に接続された低圧タービンおよび前記発電機に駆動的に接続されたパワータービンとを含むタービン装置とを含むことができる。 40

【0020】

前記発電回路は、前記復熱装置の低圧側の出口と低圧圧縮機の入口との間に接続された予冷器と、前記低圧圧縮機の出口と前記高圧圧縮機の入口との間に接続された中間冷却器とを含むことができる。

【0021】

前記始動用ブロウシステムは、前記復熱装置の低圧側と前記予冷器との間に置かれることができる。

【0022】

前記発電回路は、低圧再循環弁が装着される低圧圧縮機再循環ラインであって、前記低圧 50

圧縮機の下流側と前記中間冷却器の入口との間の位置から、前記始動用ブロウシステムと前記予冷器の入口との間の位置まで延びる前記低圧再循環ラインを含むことができる。

【0023】

前記発電回路は、高圧再循環弁が装着される高圧圧縮機再循環ラインであって、前記高圧圧縮機の下流側と前記復熱装置の高圧側の入口との間の位置から、前記低圧圧縮機の出口と前記予冷器の入口との間の位置まで延びる前記ラインを含むことができる。

【0024】

前記発電回路は、復熱装置バイパス弁が装着されている復熱装置バイパスラインであって、前記復熱装置の高圧側の上流位置から前記復熱装置の高圧側の出口の下流位置まで延びる前記復熱装置バイパスラインを含むことができる。

10

【0025】

前記発電回路は、さらに、高圧クーラント弁および低圧クーラント弁であって、開の時に高圧圧縮機の高圧側から低圧タービンの入口までヘリウムのバイパスを提供するように構成されている前記高圧クーラント弁と、前記高圧圧縮機の高圧側から前記パワータービンの入口までヘリウムのバイパスを提供するように構成されている前記低圧クーラント弁とを含むことができる。

【0026】

前記原子炉は、球状核燃料要素を利用するペブルベッドタイプであることができる。

【0027】

前記始動用ブロウシステムは、始動ブロウインライン弁と並列に接続されている二つのブロウと、各ブロウに結合されているブロウ遮断弁とを含むことができる。

20

【0028】

前記ブロウバイパス弁は、ブロウのサージを回避するために使用されることができる。

【0029】

待機モードでは、前記復熱装置バイパス弁は、始動用ブロウシステムの出口温度が予め決められた温度、典型的には250℃以下になるようなレベルに前記原子炉の入口温度を維持するように作動される。前記高圧クーラント弁および前記低圧クーラント弁は、前記復熱装置中の最大温度が予め決められた温度、典型的には600℃以下に維持されることを保証するように作動される。前記高圧圧縮機再循環弁は、前記パワータービン中で発生されるパワーを調節するように作動される。

30

【0030】

さらに、前記原子炉の出口の温度は、750℃と900℃との間の温度に調節される。前記予冷器および中間冷却器は、前記低圧および高圧圧縮機に入るヘリウムが約30℃の温度であることを保証する。該発電回路内のヘリウムの圧力は、20バールと50バールとの間の圧力に維持される。

【0031】

以下に、本発明は、例示によって、原子力発電所の概略を示す添付の線図を参照して、説明されるであろう。

【発明の効果】

【0032】

本発明によれば、ブレイトンサイクルの始動を良好に行うことができるようになる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

図中、参照番号10は、本発明に係る原子力発電所の一部を一般的に示す。

【0034】

原子力発電所10は、一般的に参照番号12によって示された閉ループ発電回路を含む。発電回路12は原子炉14、高圧タービン16、低圧タービン18、パワータービン20、復熱装置22、予冷器24、低圧圧縮機26、中間冷却器28、および高圧圧縮機30を含む。

【0035】

50

原子炉 14 は、球状核燃料要素を利用するペブルベッド炉である。原子炉 14 は、ヘリウムである動作流体が原子炉 14 に導入されることが出来るヘリウム入口 14 . 1 と、ヘリウム出口 14 . 2 を有する。

【 0 0 3 6 】

高圧タービン 16 は高圧圧縮機 30 に駆動的に接続され、上流側または入口 16 . 1 および下流側または出口 16 . 2 を有し、入口 16 . 1 は原子炉 14 の出口 14 . 2 に接続される。

【 0 0 3 7 】

低圧タービン 18 は低圧圧縮機 26 に駆動的に接続され、上流側または入口 18 . 1 および下流側または出口 18 . 2 を有する。入口 18 . 1 は高圧タービン 16 の出口 16 . 2 に接続される。 10

【 0 0 3 8 】

パワータービン 20 は、発電機 32 に駆動的に接続される。パワータービン 20 は上流側または入口 20 . 1 および下流側または出口 20 . 2 を含む。パワータービン 20 の入口 20 . 1 は、低圧タービン 18 の出口 18 . 2 に接続される。

【 0 0 3 9 】

該原子力発電所は、さらに発電機 32 に切断自在に接続可能な可変抵抗器バンク (bank) 33 を含む。

【 0 0 4 0 】

復熱装置 22 は高温または低圧側 34 および低温または高圧側 36 を有する。復熱装置の低圧側 34 は入口 34 . 1 および出口 34 . 2 を有する。低圧側の入口 34 . 1 はパワータービン 20 の出口 20 . 2 に接続される。 20

【 0 0 4 1 】

予冷器 24 はヘリウム - 水熱交換機であり、ヘリウム入口 24 . 1 およびヘリウム出口 24 . 2 を含む。予冷器 24 の入口 24 . 1 は、復熱装置 22 の低圧側 34 の出口 34 . 2 に接続される。

【 0 0 4 2 】

低圧圧縮機 26 は上流側または入口 26 . 1 および下流側または出口 26 . 2 を有する。低圧圧縮機 26 の入口 26 . 1 は予冷器 24 のヘリウム出口 24 . 2 に接続される。

【 0 0 4 3 】

中間冷却器 28 はヘリウム - 水熱交換機であり、ヘリウム入口 28 . 1 およびヘリウム出口 28 . 2 を含む。ヘリウム入口 28 . 1 は低圧圧縮機 26 の出口 26 . 2 に接続される。 30

【 0 0 4 4 】

高圧圧縮機 30 は上流側または入口 30 . 1 および下流側または出口 30 . 2 を含む。高圧圧縮機 30 の入口 30 . 1 は中間冷却器 28 のヘリウム出口 28 . 2 に接続される。高圧圧縮機 30 の出口 30 . 2 は復熱装置 22 の高圧側の入口 36 . 1 に接続される。復熱装置 22 の高圧側の出口 36 . 2 は原子炉 14 の入口 14 . 1 に接続される。

【 0 0 4 5 】

原子力発電所 10 は、復熱装置 22 の低圧側 34 の出口 34 . 2 と予冷器 24 の入口 24 . 1 との間に接続された、参照番号 38 によって一般的に示される始動用ブロウシステムを含む。 40

【 0 0 4 6 】

始動用ブロウシステム 38 は、復熱装置の低圧側の出口 34 . 2 と予冷器 24 の入口 24 . 1 との間に一列に接続された、通常開の始動用ブロウシステムインライン弁 40 を含む。2つのブロウ 42 が始動用ブロウシステムインライン弁 40 と並列に接続され、通常閉の遮断弁 44 が各ブロウ 42 に関連付けられ、それと直列に接続される。さらに、ブロウバイパス弁装置 45 がブロウ 42 の各々に関連付けられ、それらと並列に接続される。各ブロウバイパス弁装置 45 は独立に制御されることが出来る 1 以上のバイパス弁を含むことができる。ブロウバイパス弁装置 45 は、両方のブロウのために働く 1 個の弁で構成さ 50

れても良い。

【0047】

低圧圧縮機再循環ライン46は、低圧圧縮機26の出口または下流側26.2と中間冷却器28の入口28.1との間の位置から、始動用ブロウシステム38と予冷器24の入口24.1との間の位置まで伸長する。通常閉の低圧再循環弁48が低圧圧縮機再循環ライン46に取り付けられる。

【0048】

高圧圧縮機再循環ライン50は、高圧圧縮機の出口または下流側30.2と復熱装置22の高圧側36の入口36.1との間の位置から、低圧圧縮機26の出口または下流側26.2と中間冷却器28の入口28.1との間の位置まで伸長する。通常閉の高圧再循環弁51が高圧圧縮機再循環ライン50に取り付けられる。 10

【0049】

復熱装置バイパスライン52は、復熱装置22の高圧側36の入口36.1の上流の位置から復熱装置22の高圧側36の出口36.2の下流の位置まで伸長する。通常閉の復熱装置バイパス弁54が復熱装置バイパスライン52中に取り付けられる。

【0050】

発電所10は高圧クーラント弁56および低圧クーラント弁58を含む。高圧クーラント弁56は、開放時に、高圧圧縮機30の高圧側または出口30.2から低圧タービン18の入口または低圧側18.1までのヘリウムのバイパスを提供するように構成される。低圧クーラント弁58は、開放時に高圧圧縮機30の高圧側または出口30.2からパワータービン20の入口20.1までのヘリウムのバイパスを提供するように構成される。 20

【0051】

発電回路12は、熱力学変換サイクルとしてブレイトンサイクル(Brayton cycle)で動作するように構成されている。ブレイトンサイクルで動作するとき、発電回路中の循環流体は、圧縮機26,30によって提供される。

【0052】

使用に際して、ブレイトンサイクルを始動するために、発電回路周辺の質量の流れ(mass flow)は、始動用ブロウシステムを用いて実行される。特に、始動用ブロウシステムインライン弁40は閉じられ、遮断弁44は開かれ、ブロウ42が作動される。ブロウ42が作動している間、ブロウバイパスバルブ装置45はブロウ42のサージ(surge)を避けるために使用される。 30

【0053】

ブレイトンサイクルを始動する処理を開始するに先だって、発電回路がもしまだ待機モードでないなら、待機モードにされる。該待機モードの主たる特徴は、ブロウ42が動作することである。

【0054】

ブロウ42が破損する危険を低減するために、ブロウ中の最大温度は予め定められた最大温度、典型的には250°C以下に維持される。これに関連して、復熱装置バイパス弁54を作動させ、それにより炉心入口温度およびしたがって間接的に始動用ブロウシステム38の最高温度を制御する。さらに、上記したように、ブロウバイパス弁装置45はブロウ42のサージ(surge)を避けるために使用され、それにより破損の危険が最小になる。 40

【0055】

さらに、復熱装置22中の最大温度を調整するために、1または2つの高圧クーラント再循環弁56と低圧クーラント再循環弁58が、復熱装置中の最大温度が予め定められた温度、典型的には600°C以下に留まることを保証するために作動される。

【0056】

さらに、パワータービン中で発生するパワーが、高圧再循環弁51および/または低圧再循環弁48の動作により、該パワーが予め決められたレベル、例えば1MWを越えないように制御される。また、該パワータービン20の速度は、速度制御器により、平時の動作速度、すなわち一般的には30Hz以下の速度に調整される。 50

【 0 0 5 7 】

原子炉 1 4 の出口温度は、原子炉出口温度制御器により、7 5 0 ° C と 9 0 0 ° C との間の温度に調節される。

【 0 0 5 8 】

予冷器 2 4 と中間冷却器 2 8 は、通常動作モードで機能し、低圧圧縮機 2 6 と高圧圧縮機 3 0 の入口温度が約 3 0 ° C になることを保証する。

【 0 0 5 9 】

さらに、発電回路の圧力レベルは 2 0 バールと 5 0 バールの間になる。

【 0 0 6 0 】

ブレイトンサイクルを始動するために、上述したような待機モード中の原子力発電所、高圧再循環弁および低圧再循環弁と共に、可変抵抗バンク 3 3 が発電機 3 2 に接続される。前記速度制御器は、タービンの正常作動速度、例えば約 3 0 H z 以下の速度に該タービンを制御する。 10

【 0 0 6 1 】

この状態が安定すると、可変抵抗バンク 3 3 のパワーは約 1 M W から約 3 0 0 k W に低減される。パワーのこの低減は、前記タービン 2 0 の速度の増加およびそれによる発電機 3 2 の増強をもたらす。該タービン 2 0 が所望の動作速度、典型的には 5 0 H z に達すると、前記可変抵抗器バンクのパワーは、再度予め決められたレベル、典型的には 1 M W に再度増加され、該タービンの速度は速度制御器により 5 0 H z に制御される。

【 0 0 6 2 】

状況が安定化した後、グリッドに対して発電機出力を同期させる処理が実行される。 20

【 0 0 6 3 】

システムが前記グリッドに対して同期化され、安定化された後、短い時間、典型的には約 1 0 分経過すると、前記速度制御器はターンオフされる。すなわち、前記可変抵抗器バンクが発電機 3 2 から切り離され、再循環弁が閉じ始める。特に、低圧再循環弁 4 8 と高圧再循環弁 5 1 が復熱装置バイパス弁 5 4 と共に閉じられる。この過程の間に、パワータービン 2 0 の出力は増加し、該増加に応じてブレイトンサイクルの動作は再循環弁 4 8 , 5 1 を閉じることにより顕著に進行する。

【 0 0 6 4 】

上記の処理ステップの一つの間に、該システム中の圧力および温度レベルに依存して、ブレイトンサイクルは始動し、始動用ブロワシステム 3 8 の圧縮機の機能を引き継ぐであろう。 30

【 0 0 6 5 】

一般的には、前記始動用ブロワシステムを横切る圧力差（出口圧力マイナス入口圧力）は、予め決められたレベル、典型的には 2 0 k P a 以下に低減し、ブレイトンサイクルの圧縮機の機能は自立する。ブレイトンサイクルの圧縮機の機能が自立すると、その後に、始動用ブロワシステムは動作を停止するのである。

【 0 0 6 6 】

上記のプロセスのうちの重要な特徴は、ブレイトンサイクルの実際の始動が上記の手順の実行の間のいかなる瞬間にも起きることができることである。それは、他のプロセスのステップの実行に影響を及ぼさない。また、システムの動作もまた実際に影響されない。 40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 7 】

【 図 1 】 本発明に係る原子力発電所の発電回路の略図である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 8 】

1 0 ... 原子力発電所

1 2 ... 発電回路、

1 4 ... 原子炉

1 6 ... 高圧タービン

1 8 低圧タービン	
2 0 パワータービン	
2 2 復熱装置	
2 4 予冷器	
2 6 低圧圧縮機	
2 8 中間冷却器	
3 0 高圧圧縮機	
3 2 発電機	
3 3 可変抵抗器バンク	
3 4 復熱装置の高温または低圧側	10
3 6 復熱装置の低温または高圧側	
3 8 始動用ブロワシステム	
4 0 始動用ブロワシステムインライン弁	
4 2 ブロワ	
4 4 遮断弁	
4 6 低圧圧縮機再循環ライン	
4 8 高圧圧縮機再循環弁	
5 0 高圧圧縮機再循環ライン	
5 1 低圧圧縮機再循環弁	
5 2 復熱装置バイパスライン	20
5 4 復熱装置バイパス弁	
5 6 高圧クーラントバイパス弁	
5 8 低圧クーラントバイパス弁	

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
28 November 2002 (28.11.2002)

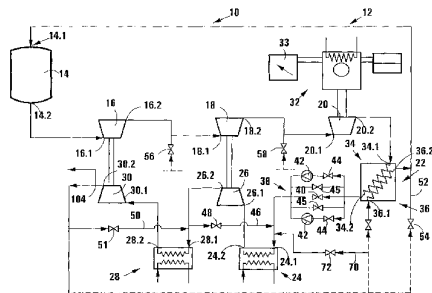
PCT

(10) International Publication Number
WO 02/095768 A1

- (51) International Patent Classification: G21D 3/00, (74) Agent: MACKENZIE, Colin; Adams & Adams, Adams & Adams Place, 1140 Prospect Street, Hatfield, P.O. Box 1014, 0001 Pretoria (ZA).
- (21) International Application Number: PCT/IB02/01754
- (22) International Filing Date: 22 May 2002 (22.05.2002)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 2001/4319 25 May 2001 (25.05.2001) ZA
- (71) Applicant (for all designated States except US): PEBBLE BED MODULAR REACTOR (PROPRIETARY) LIMITED [ZA/ZA]; 3rd Floor, Lake Buena Vista Building, 1267 Gordon Hood Avenue, Centurion Centre, 0046 Centurion (ZA).
- (72) Inventors; and
(75) Inventors/Applicants (for US only): CORREIA, Michael [ZA/ZA]; Palm Grove 34, Bolo Street, 0044 Merelita Park (ZA). KRIEL, Willem, Adrian, Oden-daal [ZA/ZA]; 32A Soetdoring Draai, Eldoraigne Ext. 3, 0157 Centurion (ZA).
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GR, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CI, CG, CO, CM, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Published:
— with international search report
— with amended claims

[Continued on next page]

(54) Title: A BRAYTON CYCLE NUCLEAR POWER PLANT AND A METHOD OF STARTING THE BRAYTON CYCLE



(57) Abstract: A nuclear plant includes a closed loop power generation circuit which makes use of a Brayton cycle as a thermodynamic conversion cycle. The plant further includes a start-up blower system having an in-line valve and a blower connected in parallel with the in-line valve. Further a normally closed blower isolation valve is provided in series with the blower and a blower bypass arrangement in parallel with the blower. A method of starting the Brayton cycle includes bringing the power generation circuit into standby mode in which helium is circulated around the power generation circuit by the start-up blower system and increasing power generated in the power generation circuit until the helium is circulated around the power generation circuit by a compressor independently of the start-up blower system.

WO 02/095768 A1

WO 02/095768 A1 

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

1

A BRAYTON CYCLE NUCLEAR POWER PLANT
AND A METHOD OF STARTING THE BRAYTON CYCLE

THIS INVENTION relates to a nuclear power plant. More particularly it relates to a nuclear power plant making use of a Brayton cycle as the thermodynamic conversion cycle, and to a method of starting the Brayton cycle.

In a nuclear power plant which includes a closed loop power generation circuit configured to make use of a Brayton cycle as the thermodynamic conversion cycle, one problem that is experienced is that the Brayton cycle is not self-starting from zero mass flow.

According to one aspect of the invention in a nuclear power plant making use of helium as the working fluid and having a closed loop power generation circuit which is intended to make use of a Brayton cycle as the thermodynamic conversion cycle and which includes a nuclear reactor having an inlet and an outlet, a turbine arrangement, an upstream side of which is connected to the outlet of the reactor, at least one compressor to which the turbine arrangement is drivingly connected and at least one heat exchanger, there is provided a method of starting the Brayton cycle which includes the steps of

if not already in standby mode, bringing the power generation circuit into standby mode in which helium is circulated around the power generation circuit by a start-up blower system; and increasing power generated in the power generation circuit until the at least one compressor is capable of circulating helium around the

CONFIRMATION COPY

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

2

power generation circuit without the assistance of the start-up blower system.

When the plant includes a generator and the turbine arrangement includes a power turbine drivingly connected to the generator, the method may include the steps of

5 applying a load to the power turbine and regulating the speed of the power turbine at a speed below the normal operational speed of the power turbine;

10 decreasing the applied load to permit the speed of the power turbine to increase to the normal operational speed of the power turbine; synchronizing the generator output to an electrical distribution grid; and

increasing the power output of the power turbine while the generator output remains synchronized with the grid.

15 Applying a load to the power turbine may be via a variable resistor bank connected to the generator.

Decreasing the applied load may be achieved by decreasing the resistance of the resistor bank.

20 The method may include, after the generator output has been synchronized to the electrical distribution grid and the power generation circuit has been stabilized, disconnecting the variable resistor bank from the generator.

Decreasing the applied load may include decreasing the load from about 1 MW to about 300 KW.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

3

The method may include regulating the speed of the power turbine to a speed which is between 55 and 65% of normal operating speed.

5 When the normal operating speed of the power turbine is 3000 rpm, the method may include regulating the speed of the power turbine to about 1800 rpm.

10 When the power generation circuit includes a low pressure compressor and a high pressure compressor and the turbine arrangement includes a low pressure turbine and a high pressure turbine which are drivingly connected to the low pressure compressor and the high pressure compressor, respectively, and the power generation circuit includes a low pressure recirculation line in which a low pressure recirculation valve is mounted and a high pressure recirculation line in which a high pressure recirculation valve is mounted, the low pressure and high pressure recirculation lines extending from positions downstream to positions upstream of the low and high pressure compressors, respectively, the method may include stabilizing the power generation circuit using at least one of the low pressure and high pressure recirculation valves.

20 When the power generation circuit includes a recuperator, having a high pressure side and a low pressure side, a recuperator bypass line extending from a position upstream to a position downstream of the high pressure side of the recuperator and a recuperator bypass valve mounted in the recuperator bypass line to regulate the flow of helium therethrough, increasing the power generated by the power generation circuit may include displacing at least one of the recirculation

25

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

4

valves and the bypass valve from an open position towards a closed position. The closure of the valves results in a substantial increase in the efficiency of the Brayton cycle.

5 Once started, the Brayton cycle is self-sustaining and the circulation of helium in the power generation circuit is effected by the compressors.

10 The method may include, when the Brayton cycle becomes self sustaining, shutting down the start-up blower system. One measure which can be used to determine when the Brayton cycle becomes self-sustaining is when the pressure difference across the start-up blower system decreases below a predetermined pressure difference, typically 20 kPa.

15 The start-up blower system may include, in parallel, at least one blower and a start-up blower system in-line valve and connected in series with the blower a blower isolation valve. In stand-by mode, the power generation circuit is configured such that the start-up blower in-line valve is closed, the or each blower isolation valve is opened and the or each blower is operational. The blowers then cause the circulation of helium in the power generation circuit. Shutting down the start-up blower
20 system may include opening the start-up blower system in-line valve, discontinuing operation of the blower and closing the blower isolation valve.

 According to another aspect of the invention there is provided a nuclear power plant which includes
25 a closed loop power generation circuit; and

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

5

a start-up blower system which includes

a normally open in-line valve;

at least one blower connected in parallel with the in-line valve;

5 a normally closed blower isolation valve in series with the or each blower; and

a blower bypass arrangement in parallel with the or each blower.

10 The closed loop power generation circuit may include a nuclear reactor having an inlet and an outlet, a turbine arrangement, an upstream side of which is connected to the outlet of the reactor, a recuperator having a low pressure side and a high pressure side, each side of the recuperator having an inlet and an outlet, at least one compressor to which the turbine arrangement is drivingly connected and

15 at least one heat exchanger, the closed loop power generation circuit being arranged to make use of a Brayton cycle as the thermodynamic conversion cycle, the plant further including a generator to which the turbine arrangement is drivingly connected and a variable resistor bank which is disconnectably connectable to the generator.

20 The power generation circuit may include a high pressure compressor and a low pressure compressor, the turbine arrangement including a high pressure turbine drivingly connected to the high pressure compressor, a low pressure turbine drivingly connected to the low pressure compressor and a power turbine drivingly connected to the

25 generator.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

6

The power generation circuit may include a pre-cooler connected between an outlet of the low pressure side of the recuperator and an inlet of the low pressure compressor and an inter-cooler connected between an outlet of the low pressure compressor and an inlet of the high pressure compressor.

The start-up blower system may be positioned between the low pressure side of the recuperator and the pre-cooler.

The power generation circuit may include a low pressure compressor recirculation line in which a low pressure recirculation valve is mounted, the low pressure recirculation line extending from a position between the downstream side of the low pressure compressor and the inlet of the inter-cooler to a position between the start-up blower system and the inlet of the pre-cooler.

The power generation circuit may include a high pressure compressor recirculation line in which a high pressure compressor recirculation valve is mounted, the line extending from a position between the downstream side of the high pressure compressor and the inlet of the high pressure side of the recuperator to a position between the outlet of the low pressure compressor and the inlet of the inter-cooler.

The power generation circuit may include a recuperator bypass line in which a recuperator bypass valve is mounted, the recuperator bypass line extending from a position upstream of the inlet of the high pressure side of the recuperator to a position downstream of the outlet of the high pressure side of the recuperator.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

7

The power generation circuit may further include a high pressure coolant valve and a low pressure coolant valve, the high pressure coolant valve being configured, when open, to provide a bypass of helium from the high pressure side of the high pressure compressor to the inlet of the low pressure turbine and the low pressure coolant valve being configured to provide a bypass of helium from the high pressure side of the high pressure compressor to the inlet of the power turbine.

The reactor may be of the pebble bed type making use of spherical fuel elements.

The start-up blower system may include two blowers which are connected in parallel with a start-up blower in-line valve and a blower isolation valve which is associated with each blower.

The blower bypass valves are used to avoid surge of the blowers.

In the stand-by mode the recuperator bypass valve is operated to maintain the reactor inlet temperature at a level such that the outlet temperature of the start-up blower system is below a predetermined temperature, typically 250°C. The high pressure coolant valve and low pressure coolant valve are operated to ensure that the maximum temperature in the recuperator is maintained below a predetermined temperature, typically 600°C. The high pressure compressor recirculation valve and low pressure compressor recirculation valve are operated to regulate the power generated in the power turbine.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

8

Further, the reactor outlet temperature is regulated to a temperature of between 750°C and 900°C. The pre-cooler and the inter-cooler ensure that helium entering the low pressure and high pressure compressors is at a temperature of approximately 30°C. The pressure of helium within the power generation circuit is maintained at a pressure of between 20 and 50 bar.

The invention will now be described, by way of example, with reference to the accompanying diagrammatic drawing which shows a schematic representation of a nuclear power plant in accordance with the invention.

In the drawing, reference numeral 10 refers generally to part of a nuclear power plant in accordance with the invention.

The nuclear power plant 10 includes a closed loop power generation circuit, generally indicated by reference numeral 12. The power generation circuit 12 includes a nuclear reactor 14, a high pressure turbine 16, a low pressure turbine 18, a power turbine 20, a recuperator 22, a pre-cooler 24, a low pressure compressor 26, an inter-cooler 28 and a high pressure compressor 30.

The reactor 14 is a pebble bed reactor making use of spherical fuel elements. The reactor 14 has an inlet 14.1 through which working fluid in the form of helium can be introduced into the reactor 14 and an outlet 14.2.

The high pressure turbine 16 is drivingly connected to the high pressure compressor 30 and has an upstream side or inlet 16.1 and

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

9

a downstream side or outlet 16.2, the inlet 16.1 being connected to the outlet 14.2 of the reactor 14.

5 The low pressure turbine 18 is drivingly connected to the low pressure compressor 26 and has an upstream side or inlet 18.1 and a downstream side or outlet 18.2. The inlet 18.1 is connected to the outlet 16.2 of the high pressure turbine 16.

10 The power turbine 20 is drivingly connected to a generator 32. The power turbine 20 includes an upstream side or inlet 20.1 and a downstream side or outlet 20.2. The inlet 20.1 of the power turbine 20 is connected to the outlet 18.2 of the low pressure turbine 18.

The plant further includes a variable resistor bank 33 which is disconnectably connectable to the generator 32.

15 The recuperator 22 has a hot or low pressure side 34 and a cold or high pressure side 36. The low pressure side of the recuperator 34 has an inlet 34.1 and an outlet 34.2. The inlet 34.1 of the low pressure side is connected to the outlet 20.2 of the power turbine 20.

20 The pre-cooler 24 is a helium to water heat exchanger and includes a helium inlet 24.1 and a helium outlet 24.2. The inlet 24.1 of the pre-cooler 24 is connected to the outlet 34.2 of the low pressure side 34 of the recuperator 22.

The low pressure compressor 26 has an upstream side or inlet 26.1 and a downstream side or outlet 26.2. The inlet 26.1 of the

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

10

low pressure compressor 26 is connected to the helium outlet 24.2 of the pre-cooler 24.

The inter-cooler 28 is a helium to water heat exchanger and includes a helium inlet 28.1 and a helium outlet 28.2. The helium inlet
5 28.1 is connected to the outlet 26.2 of the low pressure compressor 26.

The high pressure compressor 30 includes an upstream side or inlet 30.1 and a downstream side or outlet 30.2. The inlet 30.1 of the high pressure compressor 30 is connected to the helium outlet 28.2 of the inter-cooler 28. The outlet 30.2 of the high pressure compressor 30
10 is connected to an inlet 36.1 of the high pressure side of the recuperator 22. An outlet 36.2 of the high pressure side of the recuperator 22 is connected to the inlet 14.1 of the reactor 14.

The nuclear power plant 10 includes a start-up blower system, generally indicated by reference numeral 38, connected between
15 the outlet 34.2 of the low pressure side 34 of the recuperator 22 and the inlet 24.1 of the pre-cooler 24.

The start-up blower system 38 includes a normally open start-up blower system in-line valve 40 which is connected in line between the outlet 34.2 of the low pressure side of the recuperator and
20 the inlet 24.1 of the pre-cooler 24. Two blowers 42 are connected in parallel with the start-up blower system in-line valve 40 and a normally closed isolation valve 44 is associated with and connected in series with each blower 42. In addition, a blower bypass valve arrangement 45 is associated with and connected in parallel with each of the blowers 44.
25 Each blower bypass valve arrangement 45 may comprise one or more

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

11

bypass valves which can be independently controlled. It will be appreciated that the blower bypass valve arrangement 45 could consist of a single valve which serves both blowers.

5 A low pressure compressor recirculation line 46 extends from a position between the outlet or downstream side 26.2 of the low pressure compressor 26 and the inlet 28.1 of the inter-cooler 28 to a position between the start-up blower system 38 and the inlet 24.1 of the pre-cooler 24. A normally closed low pressure recirculation valve 48 is mounted in the low pressure compressor recirculation line 46.

10 A high pressure compressor recirculation line 50 extends from a position between the outlet or downstream side 30.2 of the high pressure compressor and the inlet 36.1 of the high pressure side 36 of the recuperator 22 to a position between the outlet or downstream side 26.2 of the low pressure compressor 26 and the inlet 28.1 of the inter-cooler 28. A normally closed high pressure recirculation valve 51 is
15 mounted in the high pressure compressor recirculation line 50.

A recuperator bypass line 52 extends from a position upstream of the inlet 36.1 of the high pressure side 36 of the recuperator 22 to a position downstream of the outlet 36.2 of the high pressure side
20 36 of the recuperator 22. A normally closed recuperator bypass valve 54 is mounted in the recuperator bypass line 52.

The plant 10 includes a high pressure coolant valve 56 and a low pressure coolant valve 58. The high pressure coolant valve 56 is configured, when open, to provide a bypass of helium from the high
25 pressure side or outlet 30.2 of the high pressure compressor 30 to the

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

12

inlet or low pressure side 18.1 of the low pressure turbine 18. The low pressure coolant valve 58 is configured, when open, to provide a bypass of helium from the high pressure side or outlet 30.2 of the high pressure compressor 30 to the inlet 20.1 of the power turbine 20.

5 The power generation circuit 12 is configured to operate on a Brayton cycle as the thermodynamic conversion cycle. When the Brayton cycle is operational, the circulation flow in the power generation circuit is provided by the compressors 26, 30.

10 In use, in order to start the Brayton cycle, mass flow around the power generation circuit is achieved by means of the start-up blower system 38. More particularly, the start-up blower system in-line valve 40 is closed, the isolation valves 44 are opened and the blowers 42 are operated. While the blowers 42 are operating, the blower bypass valve arrangements 45 are used to avoid surge of the blowers 42.

15 Prior to initiating the procedure to start-up the Brayton cycle, the power generation circuit if not already in standby mode is brought into standby mode. The main characteristics of the standby mode are that the blowers 42 are operational.

20 In order to reduce the risk of damage to the blowers 42 it is important that the maximum temperature in the blowers be maintained below a predetermined maximum temperature, typically 250°C. In this regard, the recuperator bypass valve 54 is operated which controls the core inlet temperature and so indirectly the maximum temperature in the start-up blower system 38. In addition, as mentioned above, the blower

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

13

bypass valve arrangements 45 are used to avoid surge of the blowers 44 and thereby minimize the risk of damage thereto.

Further, in order to regulate the maximum temperature in the recuperator 22, one or both of the high pressure coolant recirculation valve 56 and low pressure coolant recirculation valve 58 are operated in order to ensure that the maximum temperature in the recuperator remains below a predetermined maximum temperature, typically 600°C.

Further, the power generated in the power turbine is controlled, typically by operation of the high pressure recirculation valve 51 and/or low pressure recirculation valve 48, so that the power does not exceed a predetermined level, e.g. 1 MW and the speed of the power turbine 20 is regulated, by a speed controller, at a speed below the normal operational speed, i.e. typically at 30 Hz.

The outlet temperature of the reactor 14 is regulated by a reactor outlet temperature controller at a temperature of between 750°C and 900°C.

The pre-cooler 24 and inter-cooler 28 function in their normal operation mode, ensuring that the inlet temperature of the low pressure compressor 26 and high pressure compressor 30 are at approximately 30°C.

Further, the pressure level in the power generation circuit is between 20 bar and 50 bar.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

14

In order to start-up the Brayton cycle, with the plant in its standby mode as described above, with the high pressure recirculation valve and low pressure recirculation valve controlling the power generated by the generator, the variable resistor bank 33 is connected to the generator 32. The speed controller controls the turbine speed at a speed below the normal operation speed of the turbine, i.e. about 30 Hz.

When this condition is stabilized, the power of the variable resistor bank 33 is decreased from approximately 1 MW to approximately 300 kW. This decrease in power results in an increase in the speed of the turbine 20 and hence the generator 32. When the turbine 20 reaches the desired operational speed, typically 50 Hz, the power of the variable resistor bank is once again increased to the predetermined level, typically 1 MW, and the speed of the turbine is controlled at 50 Hz by means of the speed controller.

After the situation is stabilized, the procedure to synchronize the generator output to the grid is executed.

A short time, typically about 10 minutes, after the system is synchronized to the grid and stabilized, the speed controller is turned off, i.e. the variable resistor bank is disconnected from the generator 32 and the recirculation valves start to close. More particularly, the low pressure recirculation valve 48 and high pressure recirculation valve 51 along with the recuperator bypass valve 54 are closed. During this process, the output of the power turbine 20 increases as the performance of the Brayton cycle improves significantly by closing the recirculation valves 48, 51.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

15

During one of the described procedural steps, dependent on the pressure and temperature level in the system, the Brayton cycle will start and take over the compressor function of the start-up blower system 38.

5 Typically, when the pressure difference (outlet pressure minus inlet pressure) across the start-up blower system decreases below a predetermined level, typically 20 kPa, the compressor function of the Brayton cycle is self-sustaining. After the Brayton cycle is self-sustaining, the start-up blower system will be shut down.

10 An important characteristic of the described process is that the actual start-up of the Brayton cycle may take place at any moment during the execution of the above-described procedures. It does not affect the execution of the other process steps and the system behaviour is also not really affected.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

16

CLAIMS:

1. In a nuclear power plant making use of helium as the working fluid and having a closed loop power generation circuit which is intended to make use of a Brayton cycle as the thermodynamic conversion cycle and
5 which includes a nuclear reactor having an inlet and an outlet, a turbine arrangement, an upstream side of which is connected to the outlet of the reactor, at least one compressor to which the turbine arrangement is drivingly connected and at least one heat exchanger, there is provided a method of starting the Brayton cycle which includes the steps of
10 if not already in standby mode, bringing the power generation circuit into standby mode in which helium is circulated around the power generation circuit by a start-up blower system; and
increasing power generated in the power generation circuit until
the at least one compressor is capable of circulating helium around the
15 power generation circuit without the assistance of the start-up blower system.
2. A method as claimed in claim 1, which, when the plant includes a generator and the turbine arrangement includes a power turbine drivingly connected to the generator, includes the steps of
20 applying a load to the power turbine and regulating the speed of the power turbine at a speed below the normal operational speed of the power turbine;
decreasing the applied load to permit the speed of the power turbine to increase to the normal operational speed of the power turbine;
25 synchronizing the generator output to an electrical distribution grid;
and

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

17

increasing the power output of the power turbine while the generator output remains synchronized with the grid.

3. A method as claimed in claim 2, in which applying a load to the power turbine is via a variable resistor bank connected to the generator.

5 4. A method as claimed in claim 3, in which decreasing the applied load is achieved by decreasing the resistance of the resistor bank.

5. A method as claimed in claim 3 or claim 4, which includes, after the generator output has been synchronized to the electrical distribution grid and the power generation circuit has been stabilized, disconnecting
10 the variable resistor bank from the generator.

6. A method as claimed in any one of claims 2 to 4, inclusive, in which decreasing the applied load includes decreasing the load from about 1 MW to about 300 KW.

7. A method as claimed in any one of claims 2 to 6, inclusive, which
15 includes regulating the speed of the power turbine to a speed of between 55 and 65% of normal operating speed.

8. A method as claimed in any one of claims 2 to 7, inclusive, in which when the normal operating speed of the power turbine is 3000 rpm, includes regulating the speed of the power turbine to about 1800
20 rpm.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

18

9. A method as claimed in any one of claims 2 to 8, which, when the power generation circuit includes a low pressure compressor and a high pressure compressor and the turbine arrangement includes a low pressure turbine and a high pressure turbine which are drivingly connected to the low pressure compressor and the high pressure compressor, respectively, and the power generation circuit includes a low pressure recirculation line in which a low pressure recirculation valve is mounted and a high pressure recirculation line in which a high pressure recirculation valve is mounted, the low pressure and high pressure recirculation lines extending from positions downstream to positions upstream of the low and high pressure compressors, respectively, includes stabilizing the power generation circuit using at least one of the low pressure and high pressure recirculation valves.
10. A method as claimed in claim 9, in which, when the power generation circuit includes a recuperator, having a high pressure side and a low pressure side, a recuperator bypass line extending from a position upstream to a position downstream of the high pressure side of the recuperator and a recuperator bypass valve mounted in the recuperator bypass line to regulate the flow of helium therethrough, increasing the power generated by the power generation circuit includes displacing at least one of the recirculation valves and the bypass valve from an open position towards a closed position.
11. A method as claimed in any one of claims 2 to 10, inclusive, which includes, when the Brayton cycle becomes self sustaining, shutting down the start-up blower system.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

19

12. A method as claimed in claim 11, in which, when the start-up blower system includes, in parallel, at least one blower and a start-up blower system in-line valve and connected in series with the blower a blower isolation valve, shutting down the start-up blower system
5 includes opening the start-up blower system in-line valve, discontinuing operation of the blower and closing the blower isolation valve.
13. A nuclear power plant which includes
a closed loop power generation circuit; and
a start-up blower system which includes
10 a normally open in-line valve;
at least one blower connected in parallel with the in-line valve;
a normally closed blower isolation valve in series with the
or each blower; and
15 a blower bypass arrangement in parallel with the or each blower.
14. A nuclear power plant as claimed in claim 13, which includes a closed loop power generation circuit including a nuclear reactor having an inlet and an outlet, a turbine arrangement, an upstream side of which
20 is connected to the outlet of the reactor, a recuperator having a low pressure side and a high pressure side, each side of the recuperator having an inlet and an outlet, at least one compressor to which the turbine arrangement is drivingly connected and at least one heat exchanger, the closed loop power generation circuit being arranged to
25 make use of a Brayton cycle as the thermodynamic conversion cycle, the plant further including a generator to which the turbine arrangement is

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

20

drivingly connected and a variable resistor bank which is disconnectably connectable to the generator.

15. A nuclear power plant as claimed in claim 14, in which the power generation circuit includes a high pressure compressor and a low pressure compressor, the turbine arrangement including a high pressure turbine drivingly connected to the high pressure compressor, a low pressure turbine drivingly connected to the low pressure compressor and a power turbine drivingly connected to the generator.

16. A nuclear power plant as claimed in claim 15, in which the power generation circuit includes a pre-cooler connected between an outlet of the low pressure side of the recuperator and an inlet of the low pressure compressor and an inter-cooler connected between an outlet of the low pressure compressor and an inlet of the high pressure compressor.

17. A nuclear power plant as claimed in claim 16, in which the start-up blower system is positioned between the low pressure side of the recuperator and the pre-cooler.

18. A nuclear power plant as claimed in claim 16 or claim 17, in which the power generation circuit includes a low pressure compressor recirculation line in which a low pressure recirculation valve is mounted, the low pressure recirculation line extending from a position between the downstream side of the low pressure compressor and the inlet of the inter-cooler to a position between the start-up blower system and the inlet of the pre-cooler.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

21

19. A nuclear power plant as claimed in any one of claims 16 to 18, inclusive, in which the power generation circuit includes a high pressure compressor recirculation line in which a high pressure compressor recirculation valve is mounted, the line extending from a position
5 between the downstream side of the high pressure compressor and the inlet of the high pressure side of the recuperator to a position between the outlet of the low pressure compressor and the inlet of the inter-cooler.
20. A nuclear power plant as claimed in any one of claims 16 to 19,
10 inclusive, in which the power generation circuit includes a recuperator bypass line in which a recuperator bypass valve is mounted, the recuperator bypass line extending from a position upstream of the inlet of the high pressure side of the recuperator to a position downstream of the outlet of the high pressure side of the recuperator.
21. A nuclear power plant as claimed in any one of claims 16 to 20,
15 inclusive, in which the power generation circuit includes a high pressure coolant valve and a low pressure coolant valve, the high pressure coolant valve being configured, when open, to provide a bypass of helium from the high pressure side of the high pressure compressor to the inlet of the
20 low pressure turbine and the low pressure coolant valve being configured to provide a bypass of helium from the high pressure side of the high pressure compressor to the inlet of the power turbine.
22. A nuclear power plant as claimed in any one of claims 13 to 21, inclusive, in which the reactor is of the pebble bed type.

WO 02/095768

PCT/IB02/01754

22

23. A nuclear power plant as claimed in any one of claims 13 to 22 inclusive, in which the start-up blower system includes two blowers which are connected in parallel with a start-up blower in-line valve and a blower isolation valve which is associated with each blower.

5 24. A method as claimed in claim 1 substantially as described and illustrated herein.

25. A nuclear power plant as claimed in claim 13 substantially as described and illustrated herein.

26. A new method or plant substantially as described herein.

1/1

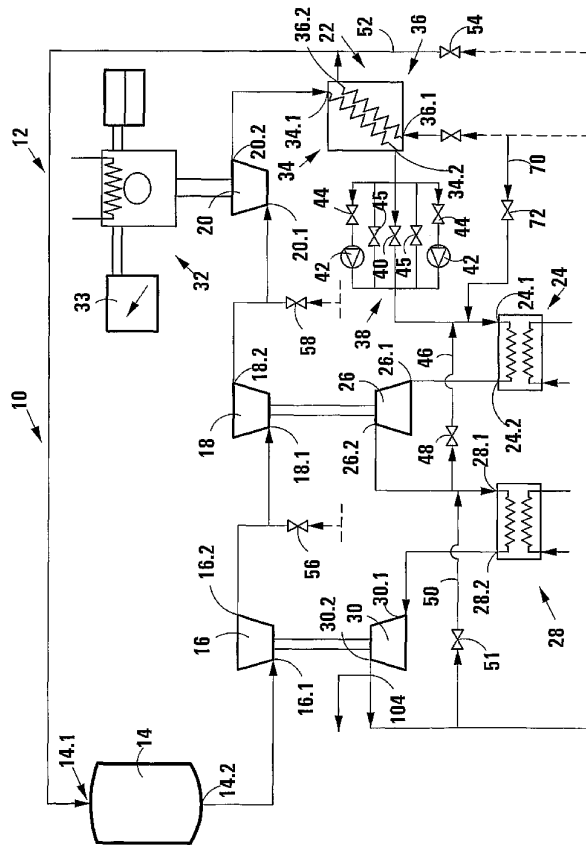


FIG 1

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int. Application No. PCT/IB 02/01754
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G21D3/00 F02C7/27 F02C1/05		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G21D F02C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	WO 02 21537 A (ESKOM) 14 March 2002 (2002-03-14) page 8, line 18 -page 12, line 10; figure 1	1,13-23
X	US 3 210 254 A (FORTESCUE) 5 October 1965 (1965-10-05) column 3, line 67 -column 4, line 42; figure 1	1,13
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 09, 13 October 2000 (2000-10-13) & JP 2000 154733 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) abstract	1,13
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *C* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed ** document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 July 2002		Date of mailing of the international search report 05/08/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Frisch, K

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/IB 02/01754
C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 148 670 A (BIRCH ET AL.) 22 September 1992 (1992-09-22) the whole document -----	1,13
A	US 4 052 260 A (FORSTER ET AL.) 4 October 1977 (1977-10-04) the whole document -----	

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

International Application No. PCT/IB 02 01754

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

Continuation of Box I.2

Claims Nos.: 24-26

Claims 24-26 do not state any additional comprehensible feature.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims, or parts of claims, relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (Rule 66.1(e) PCT). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective of whether or not the claims are amended following receipt of the search report or during any Chapter II procedure.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT	national application No. PCT/JP 02/01754
Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)	
This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:	
1. <input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Claims Nos.: 24-26 because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically: see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210	
3. <input type="checkbox"/> Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).	
Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)	
This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:	
1. <input type="checkbox"/> As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.	
2. <input type="checkbox"/> As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.	
3. <input type="checkbox"/> As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:	
4. <input type="checkbox"/> No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:	
Remark on Protest	
<input type="checkbox"/> The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.	
<input type="checkbox"/> No protest accompanied the payment of additional search fees.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT				Inventor's Application No. PCT/IB 02/01754	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date		
WO 0221537	A	14-03-2002	WO	0221537 A2	14-03-2002
US 3210254	A	05-10-1965	CH	415182 A	15-06-1966
			DE	1213068 B	
			GB	931930 A	24-07-1963
JP 2000154733	A	06-06-2000	NONE		
US 5148670	A	22-09-1992	GB	2216191 A	04-10-1989
			JP	1280638 A	10-11-1989
US 4052260	A	04-10-1977	DE	2526147 A1	23-12-1976
			FR	2334176 A1	01-07-1977
			GB	1549730 A	08-08-1979
			JP	1335123 C	11-09-1986
			JP	51151498 A	25-12-1976
			JP	60057038 B	12-12-1985

フロントページの続き

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
F 0 2 C 7/27	F 0 2 C 7/27	

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN, TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE, GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 コレイア, マイケル
 南アフリカ モアレタ パーク 0 0 4 4 ポロ ストリート、パーム グローブ サーティーフ
 オー
 (72)発明者 クリール, ウィレム, エイドリアン, オデンドール
 南アフリカ センチュリオン 0 1 5 7 エルドレイン エクスターナル スリー、ソエトドリン
 グ ドゥラアイ 3 2 A