

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-148611
(P2021-148611A)

(43) 公開日 **令和3年9月27日(2021.9.27)**

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 2 1 D 3/14 (2006.01)	G 2 1 D 3/14	
G 2 1 D 3/00 (2006.01)	G 2 1 D 3/00	A
G 2 1 D 3/12 (2006.01)	G 2 1 D 3/12	F
G 2 1 C 7/32 (2006.01)	G 2 1 C 7/32	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2020-49021 (P2020-49021)	(71) 出願人	505374783 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1
(22) 出願日	令和2年3月19日(2020.3.19)	(74) 代理人	110001922 特許業務法人 日牽国際特許事務所
		(72) 発明者	佐藤 博之 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 大洗研究所内
		(72) 発明者	ヤン ジングロン 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 大洗研究所内

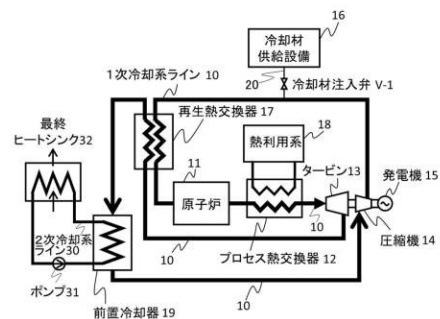
(54) 【発明の名称】 原子力発電システム

(57) 【要約】

【課題】 発電機の周波数低下リレー動作前に、電力系統に接続している電源の電気出力を増大させ、ブラックアウトを防止すること。

【解決手段】 原子炉の冷却系ライン内の圧力よりも高圧の冷却材が充填された冷却材供給設備と、その冷却材供給設備と冷却系ラインの間に設けられた冷却材注入ラインと冷却材注入弁を備え、中央給電指令所からの出力電圧増大信号を受けて弁を全開させることによって、冷却材を冷却系ラインへ高速に注入するように構成されている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

原子炉と、該原子炉で加熱された冷却材の熱を電力に変換する少なくとも 1 個のガスタービンとを有するガスタービン発電系と、前記原子炉及び前記ガスタービン発電系の間を、前記冷却材が循環するように流れる冷却系ラインを備えた原子力発電システムにおいて、さらに

前記冷却系ライン内の圧力よりも高圧の冷却材が充填された冷却材供給設備と、

前記冷却材供給設備と前記冷却系ラインの間を流体的に接続された、少なくとも 1 つの冷却材注入ラインと、

該冷却材注入ラインの途中に設けられ、電力系統を監視している中央給電指令所からの出力電圧増大信号を受けて弁が全開され、前記冷却材供給設備内の高圧の冷却材を前記冷却系ラインへ高速に注入する冷却材注入弁を備えていることを特徴とする原子力発電システム。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、前記冷却材注入弁を備えた前記冷却材注入ラインが、前記冷却系ラインに複数個接続されていることを特徴とする原子力発電システム。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、前記冷却系ラインが前記原子炉の 1 次系冷却ラインであることを特徴とする原子力発電システム。

【請求項 4】

請求項 3 において、1 次系冷却ラインに該原子炉で加熱された冷却材の熱の一部を熱利用系に供給する熱交換器が設置されていることを特徴とする原子力発電システム。

20

【請求項 5】

請求項 4 において、2 次系冷却ラインに 1 次系冷却ラインと 2 次系冷却ラインの冷却材圧力の差を低減する圧力制御系が設置されていることを特徴とする原子力発電システム。

【請求項 6】

請求項 1 又は 2 において、前記冷却系ラインが前記原子炉の 2 次系冷却ラインであることを特徴とする原子力発電システム。

【請求項 7】

請求項 6 において、1 次系冷却ラインに 1 次系冷却ラインと 2 次系冷却ラインの冷却材圧力の差を低減する圧力制御系が設置されていることを特徴とする原子力発電システム。

30

【請求項 8】

原子炉と、該原子炉で加熱された冷却材の熱を電力に変換する少なくとも 1 個のガスタービンと発電機を有するガスタービン発電系と、前記原子炉及び前記ガスタービン発電系の間を、前記冷却材が循環するように流れる 1 次冷却系ラインを備えた原子力発電システムにおいて、さらに

前記 1 次冷却系ライン内の圧力よりも高圧の冷却材が充填された冷却材供給設備と、

前記冷却材供給設備と前記 1 次冷却系ラインの間に設けられた、少なくとも 1 つの冷却材注入ラインと、

該冷却材注入ラインの途中に設けられ、電力系統を監視している中央給電指令所からの出力電圧増大信号を受けて弁が全開され、前記冷却材供給設備内の高圧の冷却材を前記冷却系ラインへ高速に注入する冷却材注入弁を備えており、

40

冷却材の高速注入によって、前記発電機の周波数低下リレー動作前に、電力系統に接続している電源の電気出力を増大させ、ブラックアウトを防止することを特徴とする原子力発電システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、原子炉出力を一定に維持したまま、高速で電力系統への電気出力を増大させるための機構を備えた原子力発電システムに関する。

50

【背景技術】**【0002】**

自然災害等による突発的な電源停止に起因して電力系統の周波数が低下した場合、当該電力系統に接続された発電機は、タービン振動等による故障を防止するため解列していく。その結果、連鎖的に周波数が低下し、最終的にブラックアウトに至る可能性がある。ブラックアウト回避には、発電機の周波数低下リレー動作前に、電力系統に接続している電源の電気出力を増大させる等の対策をとる必要がある。この対策のため、従来、例えば火力発電システムに電力系統の周波数維持を担わせ、電源脱落等に伴う周波数低下時には、中央給電指令所からの指令により待機運転中の火力発電システムの電気出力を増大させる対応を取っている。

10

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献1】特開2014-139529号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

しかし、火力発電システムに電力系統の周波数維持を担わせるためには、予備の火力発電システムを待機運転させておく必要がある。その場合、火力発電システムの待機運転時に二酸化炭素が排出されるため、大気汚染の原因となる。一方、原子力発電システムの場合には二酸化炭素を排出しないものの、原子炉は経済性の観点から通常時に定格出力一定で運転していることから、周波数低下防止を目的とした電気出力の増大ができない。

20

【0005】

したがって、本発明の目的は、待機運転中の火力発電システムの助けを必要とせず、原子力発電システム単独でほぼ瞬時に電気出力を増大させることができる画期的な原子力発電システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本発明に係る原子力発電システムは、当該原子力発電システムの1次冷却系の圧縮機出口からタービン間の1次冷却系配管に冷却材を瞬時に供給する手段を備えている。該冷却材供給手段は、冷却材供給設備、該冷却材供給設備と上述の1次冷却系配管を流体的に接続する冷却材供給ライン、及び該冷却材供給ラインの途中に設置された、通常閉状態にされている冷却材注入弁から構成されている。また、該冷却材注入弁は、電気使用量や発電量を常時監視し、電気使用量の変化に合わせて発電量を調整する役割を果たす中央給電指令所からの指令信号に基づいて開状態に制御されるように構成されている。

30

【0007】

例えば、自然災害等による突発的な電源停止に起因して、電力系統の周波数の大幅な低下が検知されると、中央給電指令所から当該原子力システムに出力増大指令信号が冷却材注入弁に送信される。該冷却材注入弁が出力増大指令信号を受信すると、弁が開放され、冷却材供給設備から冷却材供給ラインを介して1次冷却系に冷却材がほぼ瞬時に注入される。その結果、1次冷却系の圧力、すなわち、質量流量が増大させられ、タービン動力が増大（電気出力が増大）させられる。

40

【0008】

本発明の原子力発電システムにおいては、原子炉から1次冷却系への熱移動量を増大させることで、タービン動力増大に伴い増大した1次冷却系の除熱量を、原子炉から1次冷却系への熱移動量で補完することによって、1次冷却系の熱収支を一定に維持しているため、原子炉出力は一定に維持される。

【0009】

本発明の原子力発電システムは、より具体的には、原子炉と、該原子炉で加熱された冷却材の熱を電力に変換する少なくとも1個のガスタービンを有するガスタービン発電系と

50

、前記原子炉及び前記ガスタービン発電系の間を、前記冷却材が循環するように流れる冷却系ラインを備えた原子力発電システムにおいて、さらに

前記冷却系ライン内の圧力よりも高圧の冷却材が充填された冷却材供給設備、

前記冷却材供給設備と前記冷却系ラインの間を流体的に接続された、少なくとも1つの冷却材注入ラインと、

該冷却材注入ラインの途中に設けられ、電力系統を監視している中央給電指令所からの出力電圧増大信号を受けて弁が全開され、前記冷却材供給設備内の高圧の冷却材を前記冷却系ラインへ高速に注入する冷却材注入弁を備えている。

【0010】

また、別の観点に係る本発明の原子力発電システムは、原子炉と、該原子炉で加熱された冷却材の熱を電力に変換する少なくとも1個のガスタービンと発電機を有するガスタービン発電系と、前記原子炉及び前記ガスタービン発電系の間を、前記冷却材が循環するように流れる1次冷却系ラインを備えた原子力発電システムにおいて、さらに

前記1次冷却系ライン内の圧力よりも高圧の冷却材が充填された冷却材供給設備、

前記冷却材供給設備と前記1次冷却系ラインの間に設けられた、少なくとも1つの冷却材注入ラインと、

該冷却材注入ラインの途中に設けられ、電力系統を監視している中央給電指令所からの出力電圧増大信号を受けて弁が全開され、前記冷却材供給設備内の高圧の冷却材を前記冷却系ラインへ高速に注入する冷却材注入弁を備えており、

冷却材の高速注入によって、前記発電機の周波数低下リレー動作前に、電力系統に接続している電源の電気出力を増大させ、ブラックアウトを防止するものである。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、突発的な電源停止に起因して電力系統の周波数が低下した場合でも、中央給電指令所から出力増大指令信号によって冷却材注入弁を開状態にして、一次冷却系に冷却材をほぼ瞬時に投入するという極めて簡単な手段で、電力系統に接続している電源の電気出力を速やかに増大させることができるため、ブラックアウトを事前に回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】ガスタービン発電系を1次冷却系に設置した原子力発電システムに本発明を適用した場合の概略系統図。

【図2】図1に示された本発明の原子力発電システムの動作フローを示す図。

【図3】複数の冷却材注入弁を追加した原子力発電システムの概略系統図。

【図4】図1に示された原子力発電システムにおいて、電気出力が増大させられる場合のシステム各部の状態説明図。

【図5】ガスタービン発電系を2次冷却系に設置した原子力発電システムに本発明を適用した場合の概略系統図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

初めに図1を参照し、本発明の一実施例について説明する。図1は、ガスタービン発電系を1次冷却系に設置した原子力発電システムに本発明を適用した場合の概略系統図を示している。

【0014】

本原子力発電システムは、高温ガス炉やガス冷却高速炉等、核分裂により冷却材を加熱する原子炉11、1次冷却系ライン10から例えば水素製造装置等の熱利用系18に熱を供給するプロセス熱交換器12、冷却材の顕熱を電力に変換するガスタービン発電系13、14、15、17、1次冷却系ライン10に設けられた前置冷却器19を介してガスタービン発電系の排熱を最終ヒートシンク32に放出する2次冷却系(2次冷却系ライン30、ポンプ31等)により構成される。ガスタービン発電系はそれぞれ少なくとも1個以

10

20

30

40

50

上のタービン 13、圧縮機 14、再生熱交換器 17 及び前置冷却器 19 から構成される。

【0015】

タービン 13 は冷却材を循環させる圧縮機 14 の動力となり、かつ発電機 15 を回す動力となる。原子炉 11、プロセス熱交換器 12 およびガスタービン発電系 13、14、15、17 はカスケード的に配置される。プロセス熱交換器 12 としては、中間熱交換器、蒸気発生器もしくはその他の熱交換器が使用できる。熱利用系は、水素製造装置又はその他産業プロセスである。

【0016】

本原子力発電システムの最大の特徴は、1次冷却系ライン 10 より高い圧力となるよう冷却材を充填した冷却材供給設備 16 と、冷却材供給設備 16 と1次冷却系ライン間を流体的に接続する冷却材注入ライン 20 と、中央給電指令所から与えられる出力増大信号を受信して弁が全開され、冷却材供給設備 16 から1次冷却系ライン 10 へ冷却材を注入する冷却材注入弁 V 1 を有することである。ここで、冷却材注入ライン 20 は圧縮機 14 の出口からタービン 13 の入口までの1次冷却系ラインに接続される。

10

【0017】

なお、例えば高温ガス炉等の場合、原子炉から取り出される冷却材温度が高く、熱交換器、あるいは、プロセス熱交換器の伝熱管の温度も高温となる。そのため、伝熱管の構造健全性を維持するため、上述の圧力差を低減する必要があり、圧力差がある値以下となるよう制御する必要がある。そのため、図 1 に示されるような1次冷却系ラインにガスタービンを設置するケースの場合、図 1 のプロセス熱交換器と熱利用系との間を流れる1次冷却系ライン 10 に、1次系冷却ラインと2次系冷却ラインの冷却材圧力の差を低減する圧力制御系（図示せず）を設置する。

20

【0018】

次に図 2 に示された動作フロー図を参照して、上述の特徴的構成を有する本発明の一実施例に係る原子力発電システムの動作について説明する。電力システムの周波数低下に伴い（ステップ 101）、冷却材注入弁 V 1 が中央給電指令所からの電気出力増大指令信号を受信すると、冷却材注入弁 V 1 が全開される（ステップ 102）。その結果、冷却材注入ライン 20 を介して冷却材貯蔵設備 16 から1次冷却系ライン 10 に冷却材が圧入され1次冷却系ライン 10 の圧力が増大する（ステップ 103）。それによって、原子炉 11 から1次冷却系への熱移動量が増大し（ステップ 104）、同時にタービン動力すなわち発電量が増大し（ステップ 105）、1次冷却系の除熱量が増大する（ステップ 106）。換言すると、原子炉流量が増大することで原子炉内に蓄えられた熱が1次冷却材に放熱されることで、1次冷却材の熱収支が一定に維持される（ステップ 107）。すなわち、原子炉出力は一定のままである（ステップ 108）。

30

【0019】

本発明の別の実施例を図 3 に示す。図 3 は、複数の冷却材注入弁 V 2、V 3、V 4 を追加した原子力発電システムの概略系統図を示している。電力システムの周波数低下に伴い、中央給電指令所からの電気出力増大の指示を受け、すべての冷却材注入弁を同時に全開し、冷却材注入ラインを介して冷却材貯蔵設備から1次冷却系に冷却材を注入することで電気出力を増大させる。基本的な動作は図 1 の実施例と同様のため、詳細な説明は省略する。

40

【0020】

前述の2つの実施例は、発明の原理と実用的な応用例の説明を目的としたもので、本発明の基本的な原子力発電システムを示している。すなわち、本発明はここでの記載事項に限定されるものではなく、前述した構成に対して数多くの改良や応用が可能である。例えば、プロセス熱交換器を削除する、ひとつもしくは複数のタービン、圧縮機およびシャフトを配置した構成に関連して、異なった方向や位置での内部流路を採用する、ガスタービン発電系を2次冷却系に設置するなど数多くの改良が可能である。同様に、本発明の思想を逸脱しない範囲で、主流路に対する冷却材注入弁の接続位置については様々な場合が存在する。

50

【 0 0 2 1 】

次に図 4 を参照して、図 1 に示された原子力発電システムにおいて、電気出力が高速に増大させられる場合のシステム各部の状態を説明する。図 4 は、図 1 に示す原子力システムを用いて高速で電気出力を増大させた場合の計算結果を示す。本計算結果は原子力システムの冷却材注入弁 V 1 を開操作し、1 次冷却系のインベントリ、すなわち、圧力を増加させることで発電量を増加させた場合のシステム各部の状態を示す。この計算結果から、原子炉出力を一定に維持したまま、炉心に蓄えられた熱を冷却材に放熱することで、発電量を 100% から 120% までほぼ 1 秒で増大させることが可能であることがわかる。

【 0 0 2 2 】

図 5 を参照して、本発明のさらに別の実施例について説明する。図 5 は、ガスタービン発電系を 2 次冷却系に設置した原子力発電システムに本発明を適用した場合の概略系統図を示している。図 1 や図 3 と同一の符号は、図 1 や図 3 の実施例と同一の機能を与える機器を示している。なお、符号 2 1 は熱交換器である。このように冷却材を 2 次冷却系ラインに投入する場合も、基本的動作は冷却材を図 1 の 1 次冷却系ラインに投入する場合と同じであるので、ここでは詳細な説明は省略する。なお、このように 2 次冷却系にガスタービンを設置するケースの場合には、前述の圧力制御系（図示せず）は、図 5 の原子炉と熱交換器との間を流れる配管に設ける。また、この実施例においても、図 3 の実施例で説明したと同じ考え方で、複数個の冷却材注入弁 V 1、V 2、V 3、V 4（図示せず）を 2 次冷却系ラインに設置することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 2 3 】

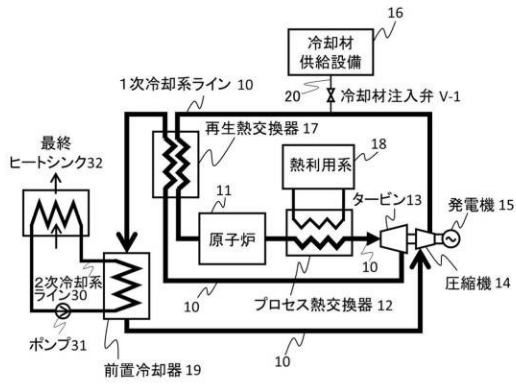
- 1 0 1 次冷却系ライン
- 1 1 原子炉
- 1 2 プロセス熱交換器
- 1 3 タービン
- 1 4 圧縮機
- 1 5 発電機
- 1 6 冷却材供給設備
- 1 7 再生熱交換器
- 1 8 熱利用系
- 1 9 前置冷却器
- 2 0 冷却材注入ライン
- 2 1 熱交換器
- 3 0 2 次冷却系ライン
- 3 1 ポンプ
- 3 2 最終ヒートシンク
- 4 0 3 次冷却系ライン
- V 1、V 2、V 3、V 4 冷却材注入弁

10

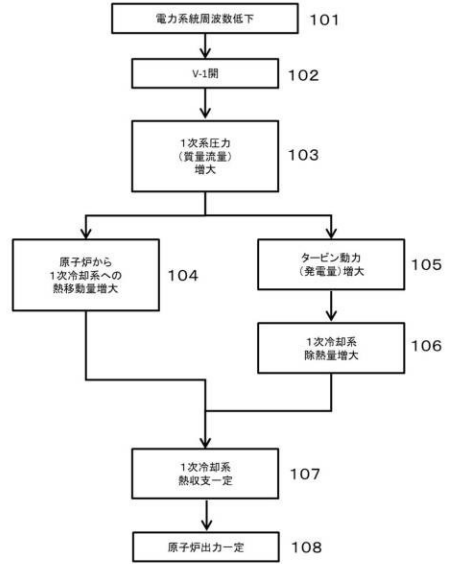
20

30

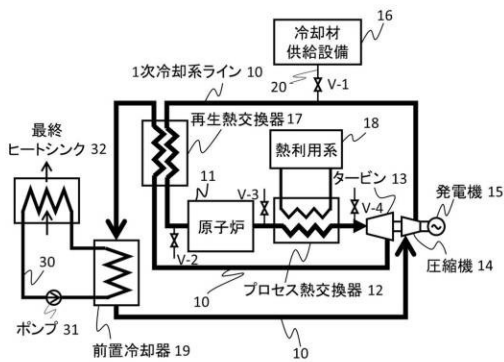
【図1】



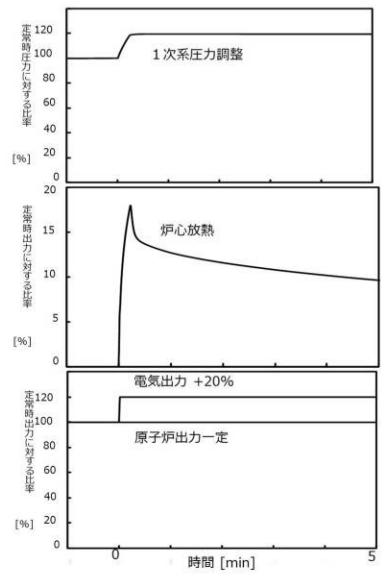
【図2】



【図3】



【図4】



【 図 5 】

