

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4851774号
(P4851774)

(45) 発行日 平成24年1月11日(2012.1.11)

(24) 登録日 平成23年10月28日(2011.10.28)

(51) Int.Cl.			F I		
FO4D	7/08	(2006.01)	FO4D	7/08	A
FO4D	15/00	(2006.01)	FO4D	15/00	A
FO4B	49/06	(2006.01)	FO4B	49/06	311
FO4B	49/10	(2006.01)	FO4B	49/10	311

請求項の数 9 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2005-315827 (P2005-315827)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成17年10月31日(2005.10.31)	(74) 代理人	100078765 弁理士 波多野 久
(65) 公開番号	特開2007-120449 (P2007-120449A)	(74) 代理人	100078802 弁理士 関口 俊三
(43) 公開日	平成19年5月17日(2007.5.17)	(74) 代理人	100077757 弁理士 猿渡 章雄
審査請求日	平成20年4月3日(2008.4.3)	(74) 代理人	100122253 弁理士 古川 潤一
		(72) 発明者	福岡 朋之 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝 横浜事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 再循環ポンプの電源システムおよびその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の電源部により給電されつつ第1の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第1の電力変換装置と、

第2の電源部により給電されつつ第2の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第2の電力変換装置と、

前記第1の電力変換装置および前記第2の電力変換装置の両方に対して並列冗長化した予備用電力変換装置と、

前記第1の電力変換装置、前記第2の電力変換装置および前記予備用電力変換装置の入力側および出力側にそれぞれ設けられる電氣的遮断器と、

前記電氣的遮断器の開閉を制御し、前記第1の電力変換装置および前記第2の電力変換装置のいずれか一方が停止した場合は、停止した電力変換装置の入出力接続を切り離すとともに切り離された再循環ポンプ駆動電動機と電源部とを前記予備用電力変換装置に接続する一方、前記第1の電源部および前記第2の電源部のいずれか一方が停止した場合は、停止した電源部に対応する再循環ポンプ駆動電動機の入出力接続を切り離すとともに停止していない電源部と切り離された再循環ポンプ駆動電動機とを前記予備用電力変換装置に接続する切替制御装置と、

前記再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力をするよう前記第1の電力変換装置、前記第2の電力変換装置および前記予備用電力変換装置を制御する制御装置と、

を備えたことを特徴とする再循環ポンプの電源システム。

【請求項 2】

第 1 の電源部により給電されつつ第 1 の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第 1 の電力変換装置と、第 2 の電源部により給電されつつ第 2 の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第 2 の電力変換装置と、前記第 1 の電力変換装置および前記第 2 の電力変換装置の両方に対して並列冗長化した予備用電力変換装置と、を備えた再循環ポンプの電源システムの制御方法であって、

前記第 1 の電力変換装置および前記第 2 の電力変換装置のいずれか一方が停止すると、停止した電力変換装置の入出力接続を切り離すとともに、切り離された再循環ポンプ駆動電動機と電源部とを前記予備用電力変換装置に接続する回路切替ステップと、

前記予備用電力変換装置に接続された再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記予備用電力変換装置を始動する調整出力ステップと、を有することを特徴とする再循環ポンプの電源システム制御方法。

10

【請求項 3】

第 1 の電源部により給電されつつ第 1 の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第 1 の電力変換装置と、第 2 の電源部により給電されつつ第 2 の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第 2 の電力変換装置と、前記第 1 の電力変換装置および前記第 2 の電力変換装置の両方に対して並列冗長化した予備用電力変換装置と、を備えた再循環ポンプの電源システムの制御方法であって、

前記第 1 の電源部および前記第 2 の電源部のいずれか一方が停止すると、停止した電源部に対応する再循環ポンプ駆動電動機の入出力接続を切り離すとともに、停止していない電源部と切り離した再循環ポンプ駆動電動機とを前記予備用電力変換装置に接続する回路切替ステップと、

20

前記予備用電力変換装置に接続された再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記予備用電力変換装置を始動する調整出力ステップと、を有することを特徴とする再循環ポンプの電源システム制御方法。

【請求項 4】

前記調整出力ステップは、前記予備用電力変換装置に接続されない再循環ポンプ駆動電動機の回転速度を低減するステップをさらに有する請求項 2 または請求項 3 記載の再循環ポンプの電源システム制御方法。

【請求項 5】

電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、他の電源部、運転中の他の電力変換装置または運転中の前記予備用電力変換装置が故障した際に、

回路切り替えを行うことなく、故障して停止中の前記電力変換装置内の制御装置に対して故障信号のリセットを行うステップと、

前記電力変換装置を再始動するステップとを有することを特徴とする再循環ポンプの電源システム制御方法。

30

【請求項 6】

電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、運転中の電力変換装置またはこの電力変換装置に給電する電源部で故障が発生した場合、

前記電力変換装置を停止するステップと、

前記予備用電力変換装置を停止するステップと、

前記電力変換装置および前記予備用電力変換装置の停止により空転している前記再循環ポンプ駆動電動機に対し前記予備用電力変換装置から給電可能なように回路を切り替える回路切替ステップと、

前記空転している再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記予備用電力変換装置を再始動するステップとを有することを特徴とする再循環ポンプの電源システム制御方法。

40

【請求項 7】

50

電源部または電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、

運転中の前記予備用電力変換装置を停止するステップと、

この停止にともない空転を開始する再循環ポンプ駆動電動機に前記電力変換装置から給電可能なように回路を切り替える回路切替ステップと、

前記空転している再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記電力変換装置を再始動するステップとを有することを特徴とする再循環ポンプの電源システム制御方法。

【請求項 8】

電源部または電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、

停止している前記電力変換装置と前記予備用電力変換装置とが前記再循環ポンプ駆動電動機に並列接続されるよう回路を切り替える回路切替ステップと、

前記予備用電力変換装置内で用いられている制御信号と同期した前記停止している電力変換装置内で用いられている制御信号により、出力なしの状態の前記停止している電力変換装置を始動するステップと、

前記停止している電力変換装置内で用いられている制御信号を変化させることにより前記停止している電力変換装置出力を上昇させるステップと、

この上昇と同時に前記予備用電力変換装置内で用いられている制御信号を変化させることにより前記予備用電力変換装置出力を下降させるステップと、

前記予備用電力変換装置の出力をゼロにしてこの予備用電力変換装置を停止するステップと、

前記予備用電力変換装置を前記再循環ポンプ駆動電動機から電氣的に切り離すことにより、前記停止している電力変換装置のみによって前記再循環ポンプ駆動電動機が給電されるように回路を切り替える回路切替ステップとを有することを特徴とする再循環ポンプの電源システム制御方法。

【請求項 9】

前記電力変換装置および前記予備用電力変換装置のそれぞれの内部に設けられた電力変換回路を常に充電した状態に維持することを特徴とする請求項 2、請求項 3、請求項 6 ないし請求項 8 記載のいずれか 1 項に記載した再循環ポンプの電源システム制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子炉冷却材再循環ポンプを継続して運転できる再循環ポンプの電源システムおよびその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、沸騰水型原子炉は、原子炉冷却材再循環系により原子炉圧力容器内の炉心冷却材の流量を変化させることで、原子炉出力を制御している。原子炉冷却材再循環系は、再循環ポンプ、再循環ポンプ駆動電源装置、再循環流量制御装置などから構成される。

【0003】

再循環ポンプは、ループ配管を介して原子炉圧力容器に接続される。この再循環ポンプの回転速度は、再循環流量制御装置により、再循環ポンプ駆動電源装置の出力を制御することで、制御できる。この結果、原子炉圧力容器内の冷却材流量を変化させ、原子炉出力を制御することができる。

【0004】

再循環ポンプ駆動電源装置として、可変電圧可変周波数電源装置を用いる場合がある。

【0005】

一般に、可変電圧可変周波数電源装置は、半導体電力変換回路と制御装置とを有する。

【0006】

10

20

30

40

50

半導体電力変換回路は、原子炉冷却材再循環流量制御装置により、出力電圧と出力周波数の比が一定となるよう制御される。この制御された半導体電力変換回路出力を利用して、可変電圧可変周波数電源装置は、再循環ポンプの回転速度を制御する。

【0007】

制御装置は、通常、冗長化（二重化）されている。このため、制御装置で単一故障が発生した場合または保守点検を実施する場合は、健全な制御装置に切り替えることにより、可変電圧可変周波数電源装置は継続運転可能である。

【0008】

しかし、半導体電力変換回路は、たとえば電源主回路半導体素子などの回路内の一部以外は、冗長化されていない。全てを冗長化することは経済的に合理的でないためである。

【0009】

したがって、半導体電力変換回路内の冗長化（二重化）されていない箇所が故障した場合は、半導体電力変換回路内部での故障拡大の防止および再循環ポンプ駆動電動機の保護を目的として、制御装置により、可変電圧可変周波数電源装置は停止される。この場合、再循環ポンプも停止してしまう。

【0010】

従来、この種の半導体電力変換回路故障時の再循環ポンプ停止を回避する技術に、米国特許第5625545号明細書（特許文献1）に記載されたものがある。

【0011】

この米国特許第5625545号明細書（特許文献1）に記載された半導体電力変換回路は、半導体電力変換回路内の半導体電力逆変換回路を直列冗長化した構造を有し、各半導体電力逆変換回路に対してバイパス回路が設けられている。半導体電力逆変換回路が故障した場合、この半導体逆変換回路をバイパス回路によってバイパスすることで、半導体電力変換回路の出力停止を防ぎ、再循環ポンプの停止を回避できるようになっている。

【特許文献1】米国特許第5625545号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

従来の半導体電力変換回路故障時の再循環ポンプ停止を回避する技術は、半導体電力変換回路内の半導体素子が単一故障した場合、この故障した半導体素子を含む半導体電力逆変換回路をバイパスすることで、半導体電力変換回路の出力の停止を回避できるようになっている。

【0013】

しかし、半導体電力変換回路の故障部位の修理を行う場合は、再循環ポンプは停止となる。半導体電力変換回路に電圧を印加した状態では、故障部位を修理できないため、可変電圧可変周波数電源装置を停止する必要があるからである。

【0014】

また、半導体電力変換回路を保守点検する場合も、再循環ポンプは停止となる。半導体電力変換回路に電圧を印加した状態では保守点検を実施できないためである。

【0015】

可変電圧可変周波数電源装置は、電源である所内電源系もしくは入力変圧器の故障発生または保守点検時などの給電が停止される場合には、停止してしまう。この場合も、再循環ポンプは停止してしまう。

【0016】

また、半導体電力変換回路内の冗長化（二重化）されていない箇所が故障した場合、半導体電力変換回路内部での故障拡大の防止および再循環ポンプ駆動電動機の保護を目的として、制御装置により、可変電圧可変周波数電源装置は停止される。この場合も、再循環ポンプは停止となる。

【0017】

再循環ポンプが停止すると、次のような問題が生じる。

【 0 0 1 8 】

原子炉冷却材再循環系は、通常、2系統が同時に運用されており、それぞれに再循環ポンプが備えられる。このため、1台の再循環ポンプが停止した場合でも、他の1台が継続運転し、原子炉圧力容器内の冷却材は循環し続ける。

【 0 0 1 9 】

しかし、この場合、再循環ポンプが停止した側のループ配管内では冷却材の循環が止まる。このため、このループ配管内の冷却材温度が下がり、原子炉圧力容器内との温度差が大きくなる。この温度差により原子炉圧力容器とループ配管の接続部付近における熱的疲労が増加する。

【 0 0 2 0 】

したがって、再循環ポンプの停止は、プラント寿命に影響する。

【 0 0 2 1 】

また、1台の再循環ポンプが停止した場合、2台同時運転時に比べ、原子炉圧力容器内の冷却材流量が低減する。

【 0 0 2 2 】

したがって、再循環ポンプの停止は、原子炉出力の低下につながる。

【 0 0 2 3 】

さらに、1台の再循環ポンプ3が停止した場合、再循環ポンプを1台停止、1台運転という速度不平衡の状態でも運転することになる。この場合、再循環ポンプにより駆動流を与えられている、原子炉圧力容器内のジェットポンプは、再循環ポンプ2台を同速で運転している時に比べ、大きな流量を扱うことになる。このため、ジェットポンプでキャビテーションが発生する可能性が大きくなる。キャビテーションが発生した場合、ジェットポンプに振動、騒音およびエロージョンが発生する。

【 0 0 2 4 】

したがって、再循環ポンプの停止は、ジェットポンプに悪影響を与える。

【 0 0 2 5 】

再循環ポンプの停止による弊害を防止するために、再循環ポンプを1台も停止させず、2台の再循環ポンプを速度平衡の状態でも運転させることのできる技術の開発が望まれる。

【 0 0 2 6 】

本発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、沸騰水型原子炉の原子炉冷却材再循環系において、可変電圧可変周波数電源に給電する電源の故障もしくは保守点検時、又は可変電圧可変周波数電源装置内の故障もしくは保守点検時においても、再循環ポンプを1台も停止させず、2台の再循環ポンプを速度平衡の状態でも運転させることができる再循環ポンプの電源システムおよびその制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 7 】

本発明に係る再循環ポンプの電源システムは、上述した課題を解決するために、請求項1に記載したように、第1の電源部により給電されつつ第1の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第1の電力変換装置と、第2の電源部により給電されつつ第2の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第2の電力変換装置と、前記第1の電力変換装置および前記第2の電力変換装置の両方に対して並列冗長化した予備電力変換装置と、前記第1の電力変換装置、前記第2の電力変換装置および前記予備電力変換装置の入力側および出力側にそれぞれ設けられる電氣的遮断器と、前記電氣的遮断器の開閉を制御し、前記第1の電力変換装置および前記第2の電力変換装置のいずれか一方が停止した場合は、停止した電力変換装置の入出力接続を切り離すとともに切り離された再循環ポンプ駆動電動機と電源部とを前記予備電力変換装置に接続する一方、前記第1の電源部および前記第2の電源部のいずれか一方が停止した場合は、停止した電源部に対応する再循環ポンプ駆動電動機の入出力接続を切り離すとともに停止していない電源部と切り離された再循環ポンプ駆動電動機とを前記予備電力変換装置に接続する切替制御装置と、前記再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力をするよう前記第1の電力変換装置、前記第2の電力変換装置およ

10

20

30

40

50

び前記予備用電力変換装置を制御する制御装置と、を備えたものである。

【0028】

また、本発明に係る再循環ポンプの電源システム制御方法は、上述した課題を解決するために、請求項2に記載したように、第1の電源部により給電されつつ第1の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第1の電力変換装置と、第2の電源部により給電されつつ第2の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第2の電力変換装置と、前記第1の電力変換装置および前記第2の電力変換装置の両方に対して並列冗長化した予備用電力変換装置と、を備えた再循環ポンプの電源システムの制御方法であって、前記第1の電力変換装置および前記第2の電力変換装置のいずれか一方が停止すると、停止した電力変換装置の入出力接続を切り離すとともに、切り離された再循環ポンプ駆動電動機と電源部とを前記予備用電力変換装置に接続する回路切替ステップと、前記予備用電力変換装置に接続された再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記予備用電力変換装置を始動する調整出力ステップと、を有する方法である。

10

【0029】

また、本発明に係る再循環ポンプの電源システム制御方法は、上述した課題を解決するために、請求項3に記載したように、第1の電源部により給電されつつ第1の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第1の電力変換装置と、第2の電源部により給電されつつ第2の再循環ポンプ駆動電動機を駆動する第2の電力変換装置と、前記第1の電力変換装置および前記第2の電力変換装置の両方に対して並列冗長化した予備用電力変換装置と、を備えた再循環ポンプの電源システムの制御方法であって、前記第1の電源部および前記第2の電源部のいずれか一方が停止すると、停止した電源部に対応する再循環ポンプ駆動電動機の入出力接続を切り離すとともに、停止していない電源部と切り離した再循環ポンプ駆動電動機とを前記予備用電力変換装置に接続する回路切替ステップと、前記予備用電力変換装置に接続された再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記予備用電力変換装置を始動する調整出力ステップと、を有する方法である。

20

【0030】

また、本発明に係る再循環ポンプの電源システム制御方法は、上述した課題を解決するために、請求項5に記載したように、電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、他の電源部、運転中の他の電力変換装置または運転中の前記予備用電力変換装置が故障した際に、回路切り替えを行うことなく、故障して停止中の前記電力変換装置内の制御装置に対して故障信号のリセットを行うステップと、前記電力変換装置を再始動するステップとを有する方法である。

30

【0031】

また、本発明に係る再循環ポンプの電源システム制御方法は、上述した課題を解決するために、請求項6に記載したように、電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、運転中の電力変換装置またはこの電力変換装置に給電する電源部で故障が発生した場合、前記電力変換装置を停止するステップと、前記予備用電力変換装置を停止するステップと、前記電力変換装置および前記予備用電力変換装置の停止により空転している前記再循環ポンプ駆動電動機に対し前記予備用電力変換装置から給電可能なように回路を切り替える回路切替ステップと、前記空転している再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記予備用電力変換装置を再始動するステップとを有する方法である。

40

【0032】

また、本発明に係る再循環ポンプの電源システム制御方法は、上述した課題を解決するために、請求項7に記載したように、電源部または電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、運転中の前記予備用電力変換装置を停止するステップと、この停止にともない空転を開始する再循環ポンプ駆動電動機に前記電力変換装置から給電可能なように回路を切り替える回路切替ステップと、前記空転している再循環ポンプ駆動電動機の回転速度に応じた出力で、前記電力変換装置を再始動するステップとを有する方法である。

50

【 0 0 3 3 】

また、本発明に係る再循環ポンプの電源システム制御方法は、上述した課題を解決するために、請求項 8 に記載したように、電源部または電力変換装置の停止に伴い予備用電力変換装置から再循環ポンプ駆動電動機へ給電している状態で、停止している前記電力変換装置と前記予備用電力変換装置とが前記再循環ポンプ駆動電動機に並列接続されるよう回路を切り替える回路切替ステップと、前記予備用電力変換装置内で用いられている制御信号と同期した前記停止している電力変換装置内で用いられている制御信号により、出力なしの状態の前記停止している電力変換装置を始動するステップと、前記停止している電力変換装置内で用いられている制御信号を変化させることにより前記停止している電力変換装置出力を上昇させるステップと、この上昇と同時に前記予備用電力変換装置内で用いられている制御信号を変化させることにより前記予備用電力変換装置出力を下降させるステップと、前記予備用電力変換装置の出力をゼロにしてこの予備用電力変換装置を停止するステップと、前記予備用電力変換装置を前記再循環ポンプ駆動電動機から電氣的に切り離すことにより、前記停止している電力変換装置のみによって前記再循環ポンプ駆動電動機が給電されるように回路を切り替える回路切替ステップとを有する方法である。

10

【発明の効果】

【 0 0 3 4 】

本発明に係る再循環ポンプの電源システムおよびその制御方法によれば、沸騰水型原子炉の原子炉冷却材再循環系において、可変電圧可変周波数電源に給電する電源の故障もしくは保守点検時、または可変電圧可変周波数電源装置内の故障もしくは保守点検時においても、再循環ポンプを 1 台も停止させず、2 台の再循環ポンプを速度平衡の状態で運転させることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 3 5 】

本発明に係る再循環ポンプの電源システムの実施の形態について、添付図面を参照して説明する。

【 0 0 3 6 】

図 1 は、本発明に係る再循環ポンプの電源システムの実施形態を示す全体構成図である。

【 0 0 3 7 】

原子炉冷却材再循環システム 2 0 は、原子炉冷却材再循環ポンプの可変電圧可変周波数電源システム 1 0、原子炉冷却材再循環系 2 1、電源部 3 0 a および 3 0 b を備える。

30

【 0 0 3 8 】

原子炉冷却材再循環系 2 1 は、沸騰水型原子炉に対して広く適用されている 2 系統の冷却水の再循環系統であり、原子炉圧力容器 2 2、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b、再循環ポンプ 2 4 a および 2 4 b、ループ配管 2 5 およびジェットポンプ 2 6 を備える。

【 0 0 3 9 】

再循環ポンプ 2 4 a は再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a によって駆動され、互いの動作は連動する。再循環ポンプ 2 4 b と再循環ポンプ駆動電動機 2 3 b の駆動関係も同様である。再循環ポンプ 2 4 a および 2 4 b は、ループ配管 2 5 を介して原子炉圧力容器 2 2 に接続される。

40

【 0 0 4 0 】

再循環流量制御装置 2 7 は、コンピュータにプログラムが読み込まれることにより、あるいは所要の回路により構成される。再循環流量制御装置 2 7 は、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 に対して、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の出力を制御するための、速度要求信号を送信する機能を有する。

【 0 0 4 1 】

この速度要求信号は、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の出力を制御することにより、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度を制御するための信号であ

50

る。したがって、再循環流量制御装置 27 は、この速度要求信号 により、再循環ポンプ 24 a および 24 b の速度を制御し、炉心冷却材 28 およびジェットポンプ駆動流 29 の流量を変化させ、原子炉出力を制御することができる。

【0042】

炉心冷却材 28 は、再循環ポンプ 24 a または 24 b により昇圧され、ループ配管 25 内を移動して原子炉圧力容器 22 に到達し、ジェットポンプ駆動流 29 としてジェットポンプ 26 を通過して炉心下部に達し、炉心を通ってループ配管 25 へ戻る、という循環過程を繰り返す。

【0043】

可変電圧可変周波数電源システム 10 は、2 台の原子炉冷却材再循環ポンプ駆動電動機 23 a および 23 b を駆動するために必要な台数 N 台（本実施形態においては 2 台とする）の通常運転用半導体電力変換装置 11 a および 11 b と、1 台の予備半導体電力変換装置 11 s と、電氣的遮断機構 12 と、切替制御装置 13 とを備える。

10

【0044】

電源部 30 x は、三相交流電源としての所内電源系 31 x およびこの三相交流を受電し変圧する変圧器 32 x からなる。この変圧器 32 x は、変圧した三相交流を、可変電圧可変周波数電源システム 10 に与える。ただし、この段落において添え字の x は全て a または全て b である。

【0045】

ここで、電源部の設置数は、通常運転用半導体電力変換装置の台数 N と同数とする。本実施形態においては設置台数が 2 台の場合について説明する。

20

【0046】

電氣的遮断機構 12 は、電氣的遮断器 12 a i、12 b i、12 s a i、12 s b i、12 a o、12 b o、12 s a o および 12 s b o を備える。各電氣的遮断器は、切替制御装置 13 から受信する、電氣的遮断機構動作信号 に応じて開閉する。この電氣的遮断機構 12 の各電氣的遮断器として、遮断器または半導体スイッチなどの電氣的遮断器を用いることができる。

【0047】

切替制御装置 13 は、コンピュータにプログラムが読み込まれることにより、あるいは所要の回路により構成される。切替制御装置 13 は、電氣的遮断機構 12 の各電氣的遮断器に対して、電氣的遮断機構動作信号 を送信して開閉を制御することにより、可変電圧可変周波数電源システム 10 内の回路切り替えを統括する機能を有する。

30

【0048】

通常運転用半導体電力変換装置 11 x の入力側は、電氣的遮断器 12 x i を介して電源部 30 x と接続される。通常運転用半導体電力変換装置 11 x の出力側は、電氣的遮断器 12 x o を介して再循環ポンプ駆動電動機 23 x と接続される。予備半導体電力変換装置 11 s の入力側は、電氣的遮断器 12 s x i を介して電源部 30 x と接続される。予備半導体電力変換装置 11 s の出力側は、電氣的遮断器 12 s x o を介して再循環ポンプ 24 x と接続される。ただし、この段落において添え字の x は全て a または全て b である。

【0049】

なお、予備半導体電力変換装置 11 s の入力側は、全ての電源部から給電可能なように構成されることに注意する。電源部の設置台数が 3 台以上の場合においても、予備半導体電力変換装置 11 s は、任意の電源部から給電可能なように、各電源部に対してそれぞれ電氣的遮断器を介して接続される。すなわち、予備半導体電力変換装置 11 s は、全ての通常運転用半導体電力変換装置 11 a および 11 b に対して並列冗長化可能なように接続される。

40

【0050】

次に、通常運転用半導体電力変換装置 11 a の構成について説明する。

【0051】

図 2 は、通常運転用半導体電力変換装置 11 a および 11 b ならびに予備半導体電力変

50

換装置 11s の構成を示す図である。

【0052】

通常運転用半導体電力変換装置 11b および予備半導体電力変換装置 11s については、通常運転用半導体電力変換装置 11a と構成を同じくするので、説明を省略する。

【0053】

通常運転用半導体電力変換装置 11a は、半導体電力変換回路 14a、制御装置 18a および故障検出装置 19a を備える。

【0054】

半導体電力変換回路 14a は、半導体電力順変換回路 15a、半導体電力逆変換回路 16a および平滑コンデンサ 17a を備える。

10

【0055】

半導体電力順変換回路 15a の入力側は、故障検出装置 19a を介して電氣的遮断器 12ai と接続され、出力側は、半導体電力逆変換回路 16a の入力側と接続される。この半導体電力順変換回路 15a は、電源部 30a から受けた、変圧された三相交流を、直流に変換する機能を有する。

【0056】

半導体電力逆変換回路 16a の出力側は、故障検出装置 19a を介して電氣的遮断器 12ao と接続される。この半導体電力逆変換回路 16a は、半導体電力順変換回路 15a から受けた直流を、任意の周波数および電圧を持つ交流に変換する機能を有する。

【0057】

また、半導体電力順変換回路 15a と半導体電力逆変換回路 16a の間には、平滑コンデンサ 17a を設ける。

20

【0058】

制御装置 18a は、コンピュータにプログラムが読み込まれることにより、あるいは所要の回路により構成される。制御装置 18a は、再循環流量制御装置 27 から受信した速度要求信号 に応じて、半導体電力変換回路 14a に対して半導体素子制御信号 a を送信する機能を有する。この制御は、出力電圧と出力周波数の比が一定となるように行う。

【0059】

また、制御装置 18a は、故障検出装置 19a から故障信号 a を受けた場合には、半導体電力変換回路 14a に対して半導体素子制御信号 a を送り、半導体電力変換回路 14a を停止させる機能を有する。

30

【0060】

故障検出装置 19a は、半導体電力変換回路 14a の入出力電流が、あらかじめ設定された入出力電流の制限値と比較して異常がある場合に、制御装置 18a に対して、この異常を知らせる故障信号 a を送信する機能を有する。

【0061】

次に、可変電圧可変周波数電源システム 10 の作用について説明する。

【0062】

なお、本実施形態においては、手順 4 を除き、再循環ポンプ駆動電動機 23a の給電系統の不具合に対する処理についてのみ説明する。再循環ポンプ駆動電動機 23b の給電系統の不具合に対する処理については、対称性を鑑み、添え字を適宜置き換えて読むことによって同様に行うことができるため、説明を省略する。

40

【0063】

通常、可変電圧可変周波数電源システム 10 の電氣的遮断機構 12 の各電氣的遮断器は、12ai、12bi、12ao および 12bo を閉じ、12sai、12sbi、12sao および 12sbo を開いた回路構成で運転される（以下、通常運転中という）。図 1 に示された回路構成は、通常運転中のものである。

【0064】

通常運転中は、通常運転用半導体電力変換装置 11a および 11b が運転しており、予備半導体電力変換装置 11s は停止している。

50

【 0 0 6 5 】

通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a は再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a に、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 b は再循環ポンプ駆動電動機 2 3 b に、それぞれ給電している。

【 0 0 6 6 】

通常運転中に、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a について、故障が発生した場合や保守点検を実施する場合、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a は停止する。

【 0 0 6 7 】

この場合、次の手順（手順 1）により、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a を停止させず、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度をすみやかに平衡状態に復帰させることができる。

10

【 0 0 6 8 】

図 3 は、図 1 に示した再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の、回転速度 4 1 a の低下および復帰に係る速度 - 時間特性図である。

【 0 0 6 9 】

故障発生時は、故障検出装置 1 9 a は、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a 内での故障発生を検知し、制御装置 1 8 a に対して故障信号 a を送信する。

【 0 0 7 0 】

次に、制御装置 1 8 a は、故障信号 a を受信し、半導体素子制御信号 a を発信し、半導体電力変換回路 1 4 a を停止する（図 3 の A 点）。

20

【 0 0 7 1 】

また、保守点検時も、制御装置 1 8 a は、半導体素子制御信号 a を発信し、半導体電力変換回路 1 4 a を停止する（図 3 の A 点）。

【 0 0 7 2 】

このとき、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a は、駆動電力を失い、慣性による空転（フリーラン）状態になる。このため、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度 4 1 a は、次第に下がっていく（図 3 の A 点 - B 点間）。

【 0 0 7 3 】

図 4 は、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の故障等に起因する予備半導体電力変換装置 1 1 s の始動時における、図 1 に示した可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の概略的な回路構成図である。

30

【 0 0 7 4 】

通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の出力停止と同時に、切替制御装置 1 3 は、電氣的遮断機構動作信号 を発信し、電氣的遮断器 1 2 a i および 1 2 a o を開放し、電氣的遮断器 1 2 s a i および 1 2 s a o を閉じて、図 4 に示す回路に切り替える。

【 0 0 7 5 】

この図 4 に示す回路構成で運転することにより、予備半導体電力変換装置 1 1 s は、電源部 3 0 a から給電可能となると同時に、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a に対して給電可能となる。

【 0 0 7 6 】

次に、制御装置 1 8 s は、半導体素子制御信号 s を半導体電力変換回路 1 4 s に送信する。この半導体素子制御信号 s は、半導体電力変換回路 1 4 s が、空転している再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度（空転速度）に応じた電圧および周波数を出力（以下、調整出力という）するように、制御する信号である。

40

【 0 0 7 7 】

続いて、予備半導体電力変換装置 1 1 s は、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a に対して調整出力を開始する（図 3 の B 点）。予備半導体電力変換装置 1 1 s は、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度 4 1 a を、故障発生または保守点検実施前の回転速度まで復帰するよう運転する（図 3 の B - C 間）。この結果、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度 4 1 a と、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 b の回転速度 4 1 b は、平衡状態に復帰する（図 3 の C 点）。

50

【 0 0 7 8 】

以上の手順（手順 1）によって、通常運転中に、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a を停止させる場合において、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a を停止させず、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度 4 1 a および 4 1 b を、すみやかに、故障発生または保守点検実施前の平衡状態に復帰させることができる。

【 0 0 7 9 】

また、通常運転中に、電源部 3 0 a について、故障が発生した場合や保守点検を実施する場合、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a は停電する。

【 0 0 8 0 】

この場合は、次の手順（手順 2）により、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a を停止させず、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度をすみやかに平衡状態に復帰させることができる。

10

【 0 0 8 1 】

制御装置 1 8 a は、半導体素子制御信号 a を発信し、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a を停止する（図 3 上の A 点）。再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a は空転を開始し、回転速度 4 1 a が次第に下がっていく（図 3 の A 点 - B 点間）。

【 0 0 8 2 】

図 5 は、電源部 3 0 a の停電に起因する予備半導体電力変換装置 1 1 s の始動時における、図 1 に示した可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の概略的な回路構成図である。

【 0 0 8 3 】

20

通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の出力停止と同時に、切替制御装置 1 3 は、電氣的遮断機構動作信号 を発信し、電氣的遮断器 1 2 a i および 1 2 a o を開放し、電氣的遮断器 1 2 s b i および 1 2 s a o を閉じて、図 5 に示す回路に切り替える。

【 0 0 8 4 】

この図 5 に示す回路構成で運転することにより、予備半導体電力変換装置 1 1 s は、停電した電源部 3 0 a を避け健全な電源部 3 0 b から給電可能となると同時に、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a に対して給電可能となる。

【 0 0 8 5 】

次に、制御装置 1 8 s は、半導体素子制御信号 s を半導体電力変換回路 1 4 s に送信する。

30

【 0 0 8 6 】

続いて、予備半導体電力変換装置 1 1 s は、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a に対して調整出力を開始する（図 3 の B 点）。予備半導体電力変換装置 1 1 s は、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度 4 1 a を、故障発生または保守点検実施前の回転速度まで復帰するよう運転する（図 3 の B - C 間）。この結果、再循環ポンプ 2 4 a および 2 4 b の回転速度 4 1 a および 4 1 b は、平衡状態に復帰する（図 3 の C 点）。

【 0 0 8 7 】

以上の手順（手順 2）によって、通常運転中に、電源部 3 0 a が停電する場合において、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a を停止させず、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度 4 1 a および 4 1 b を、すみやかに故障発生または保守点検実施前の平衡状態に復帰させることができる。

40

【 0 0 8 8 】

図 5 に示す回路構成では、一つの電源部 3 0 b のみが、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 に対する給電を担う。このため、入力変圧器 3 2 b の容量が十分でない場合は、回転速度 4 1 a および 4 1 b を、故障発生または保守点検実施前の平衡状態まで復帰させることができない。

【 0 0 8 9 】

この場合は、次の手順（手順 3）により、故障発生または保守点検実施前に比べ、低い回転速度において平衡状態を実現する。

【 0 0 9 0 】

50

図6は、復帰速度を低減した場合における、図1に示した再循環ポンプ駆動電動機23aおよび23bの、回転速度41aおよび41bの低下および復帰に係る速度-時間特性図である。

【0091】

まず、制御装置18aは、半導体素子制御信号aを発信し、半導体電力変換回路14aを停止する(図6上のA点)。再循環ポンプ駆動電動機23aは空転を開始し、回転速度41aが次第に下がっていく(図6のA点-B点間)。

【0092】

通常運転用半導体電力変換装置11aの停止と同時に、切替制御装置13は、電氣的遮断機構動作信号を発信し、電氣的遮断器12aiおよび12aoを開放し、電氣的遮断器12sbiおよび12saoを閉じて、図5に示す回路に切り替える。

10

【0093】

この図5に示す回路構成で運転することにより、予備半導体電力変換装置11sは、停電した電源部30aを避け健全な電源部30bから給電可能となると同時に、再循環ポンプ駆動電動機23aに対して給電可能となる。

【0094】

次に、制御装置18sは、半導体素子制御信号sを半導体電力変換回路14sに送信する。また、制御装置18bは、半導体素子制御信号bを半導体電力変換回路14bに送信する。

【0095】

続いて、予備半導体電力変換装置11sは再循環ポンプ駆動電動機23aに対して、通常運転用半導体電力変換装置11bは再循環ポンプ駆動電動機23bに対して、それぞれ調整出力を開始する。(図6のB点)。

20

【0096】

また、通常運転用半導体電力変換装置11bは、再循環ポンプ駆動電動機23bの回転速度41bを、一定量だけ低減する。

【0097】

予備半導体電力変換装置11sは、再循環ポンプ駆動電動機23aの回転速度41aを、この一定量低減後の回転速度41bまで復帰するよう運転する(図6のB-C間)。

【0098】

この結果、再循環ポンプ24aおよび24bの回転速度41aおよび41bは、平衡状態に復帰する(図6のC点)。

30

【0099】

以上の手順(手順3)によれば、通常運転中に、電源部30aが停電し、かつ入力変圧器32bの容量が十分でない場合において、再循環ポンプ駆動電動機23aを停止させず、2台の再循環ポンプ駆動電動機23aおよび23bの回転速度41aおよび41bを、すみやかに平衡状態に復帰させることができる。

【0100】

本実施形態の原子炉冷却材再循環ポンプの可変電圧可変周波数電源システム10によれば、通常運転用半導体電力変換装置11a内での故障発生もしくは保守点検時において、通常運転用半導体電力変換装置11aを電氣的に切り離し、健全な予備半導体電力変換装置11sによって再循環ポンプ駆動電動機23aを運転するよう、回路を構成することができる。

40

【0101】

また、可変電圧可変周波数電源システム10は、所内電源系31aまたは入力変圧器32aの故障発生もしくは保守点検時において、電源部30aおよび通常運転用半導体電力変換装置11aを電氣的に切り離し、健全な電源部30bおよび予備半導体電力変換装置11sによって再循環ポンプ駆動電動機23aおよび23bを運転するよう、回路を構成することができる。

【0102】

50

このため、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a は、空転を余儀なくされた場合でも、一時的な速度低下はあるものの、空転前の回転速度を維持でき、また入力変圧器 3 2 b の容量不足の際にも、空転前の速度より低い速度ではあるが回転速度を回復することができる。

【 0 1 0 3 】

この結果、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b を同等の速度にて継続運転することが可能であり、再循環ポンプ 2 4 a および 2 4 b は継続運転可能となる。

【 0 1 0 4 】

したがって、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 によれば、ループ配管 2 5 内における炉心冷却材 2 8 の循環を維持することができ、ループ配管 2 5 内の炉心冷却材 2 8 の温度を維持し、ループ配管 2 5 と原子炉圧力容器 2 2 との接続部付近の熱的疲労の増加および原子炉出力の低下を短時間および最小限に抑えることが可能となる。

10

【 0 1 0 5 】

また、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、再循環ポンプ 2 4 a および 2 4 b の速度不平衡にともない発生する可能性があるジェットポンプ 2 6 内のキャビテーション発生の可能性を低下させることができる。このため、キャビテーションによるジェットポンプ 2 6 への振動、騒音およびエロージョン等の悪影響を抑えることが可能となる。

【 0 1 0 6 】

また、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、予備半導体電力変換装置 1 1 s 始動の際に、空転中の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a または 2 3 b の回転速度 4 1 a または 4 1 b に応じた電圧および周波数を、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a または 2 3 b に印加することができる。

20

【 0 1 0 7 】

したがって、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 によれば、過度な負荷をかけることなく、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a または 2 3 b を継続運転させる事ができる。

【 0 1 0 8 】

図 7 は、予備運転中における、図 1 に示した可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の概略的な回路構成図である。

【 0 1 0 9 】

予備運転中とは、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の停止時において、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の電氣的遮断器 1 2 s a i、1 2 b i、1 2 s a o および 1 2 b o を閉じ、1 2 a i、1 2 s b i、1 2 a o および 1 2 s b o を開いた図 7 に示す回路構成で、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 を運転している状態をいう。

30

【 0 1 1 0 】

予備運転中において、電源部 3 0 a もしくは 3 0 b、運転中の通常運転用半導体電力変換装置 1 1 b または予備半導体電力変換装置 1 1 s で故障が発生する場合がある。

【 0 1 1 1 】

しかし、この故障は一過性である場合がある。

【 0 1 1 2 】

電源部 3 0 x または半導体電力変換装置 1 1 y について、予備運転中に一過性の故障が発生した場合には、次の手順（手順 4）により、速やかに故障発生前の予備運転状態に復帰する。

40

【 0 1 1 3 】

なお、手順 4 において、添え字 x と y の組み合わせ (x、y) は、(a、s) または (b、b) を表すものとする。

【 0 1 1 4 】

制御装置 1 8 y は、故障検出装置 1 9 y が発信した故障信号 y を受けて、半導体素子制御信号 y を発信する。

【 0 1 1 5 】

半導体電力変換回路 1 4 y は、この半導体素子制御信号 y を受けて停止する。

【 0 1 1 6 】

50

この結果、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 x は空転状態になり、徐々に失速する。

【 0 1 1 7 】

次に、制御装置 1 8 y に対して、故障信号のリセットを行う。

【 0 1 1 8 】

次に、制御装置 1 8 y は、調整出力をさせるべく、半導体電力変換回路 1 4 y に対して半導体素子制御信号 y を送信する。

【 0 1 1 9 】

続いて、半導体電力変換装置 1 1 y は、この半導体素子制御信号 y を受けて再始動し、空転状態の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 x の回転速度にあわせた調整出力を開始する。

【 0 1 2 0 】

なお、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 x を復帰させる速度として、故障発生前と比べて低減した速度を選び、この低減速度にて、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 x を平衡状態にすることもできる。

【 0 1 2 1 】

以上の手順（手順 4）により、故障が一過性だった場合は、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 x を速やかに故障発生前の速度まで復帰して継続運転することができる。

【 0 1 2 2 】

可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、予備運転中において、所内電源系 3 1 x、入力変圧器 3 2 x または運転中の半導体電力変換装置 1 1 y に故障が発生し、その故障が一過性であった場合には、故障発生により停止した半導体電力変換装置 1 1 y に対し故障信号のリセットを行い再起動することで、健全な半導体電力変換装置 1 1 y にて回路を構成することができる。

【 0 1 2 3 】

したがって、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 によれば、一時的な速度低下はあるものの速度を維持し、または速度低減して、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b を、同等の速度にて継続運転することが可能となる。

【 0 1 2 4 】

また、予備運転中に、電源部 3 0 b または通常運転用半導体電力変換装置 1 1 b が、一過性でない故障を起こす場合がある。

【 0 1 2 5 】

この場合、次の手順（手順 5）により、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 b を停止させず、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度をすみやかに平衡状態に復帰させることができる。

【 0 1 2 6 】

制御装置 1 8 b は、故障検出装置 1 9 b が発信した故障信号 b を受けて、半導体素子制御信号 b を発信する。半導体電力変換回路 1 4 b は、この半導体素子制御信号 b を受けて停止する。

【 0 1 2 7 】

また、制御装置 1 8 s は、半導体素子制御信号 s を発信し、半導体電力変換回路 1 4 s を停止する。

【 0 1 2 8 】

この結果、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b は、共に空転状態になる。

【 0 1 2 9 】

図 8 は、予備運転中に、電源部 3 0 b または通常運転用半導体電力変換装置 1 1 b に故障が起きた場合における、図 1 に示した可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の概略的な回路構成図である。

【 0 1 3 0 】

予備半導体電力変換装置 1 1 s の停止と同時に、切替制御装置 1 3 は、電氣的遮断機構動作信号 を発信し、電氣的遮断器 1 2 b i および 1 2 b o を開放し、電氣的遮断器 1 2 s b o を閉じて、図 8 に示す回路に切り替える。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 1 】

次に、制御装置 1 8 s は、調整出力をさせるべく、半導体電力変換回路 1 4 s に対し、半導体素子制御信号 s を送信する。

【 0 1 3 2 】

続いて、予備半導体電力変換装置 1 1 s は、この半導体素子制御信号 s を受けて再始動し、空転状態の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度にあわせた調整出力を開始する。

【 0 1 3 3 】

なお、この調整出力は、必ずしも故障発生前の速度まで復帰させるための出力とは限らない。図 8 に示す回路構成では、一つの電源部 3 0 a および一つの予備半導体電力変換装置 1 1 s のみが 2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b に対する給電を担う。このため、入力変圧器 3 2 a および予備半導体電力変換装置 1 1 s の容量が十分でないと、各再循環ポンプ駆動電動機に対する給電が不足する場合がある。

10

【 0 1 3 4 】

この場合は、制御装置 1 8 s は、故障発生または保守点検実施前に比べ、低い回転速度において平衡状態を実現するように、半導体電力変換回路 1 4 s に対し、半導体素子制御信号 s を送信する。

【 0 1 3 5 】

以上の手順（手順 5）により、予備運転中に、電源部 3 0 b または通常運転用半導体電力変換装置 1 1 b が一過性でない故障を起こした場合において、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b は、故障発生前の速度またはこの速度より低減した速度まで復帰でき、速度平衡状態で継続運転することができる。

20

【 0 1 3 6 】

可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、予備運転中において、所内電源系 3 1 b、入力変圧器 3 2 b または運転中の通常運転用半導体電力変換装置 1 1 b で故障が発生した場合、故障箇所を電氣的に切り離し、健全な所内電源系 3 1 a、入力変圧器 3 2 a および予備半導体電力変換装置 1 1 s にて回路を構成することができる。

【 0 1 3 7 】

したがって、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 によれば、一時的な速度低下はあるものの速度を維持し、または速度低減して、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b を、同等の速度にて継続運転することが可能となる。

30

【 0 1 3 8 】

通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の故障修理または保守点検時、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、図 4 に示す回路構成により運転される。

【 0 1 3 9 】

また、電源部 3 0 a の故障修理または保守点検時、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、図 5 に示す回路構成により運転される。

【 0 1 4 0 】

この故障修理または保守点検が終了した場合、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 の回路構成を、図 1 に示す通常運転時の状態に復旧させることができる。

40

【 0 1 4 1 】

この場合、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a を停止させず、2 台の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の回転速度をすみやかに平衡状態に復帰させることができる手順として、次の二つをあげることができる。

【 0 1 4 2 】

第一の手順（手順 6 - 1）は、復旧時に、回転速度 4 1 a の一時的な低下をともなう手順である。

【 0 1 4 3 】

図 3 の D 点以降は速度低減せず予備運転している状態からの第一の手順による復旧時の、図 6 の D 点以降は速度低減して予備運転している状態からの第一の手順による復旧時の

50

、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の速度 - 時間特性図である。

【 0 1 4 4 】

まず、制御装置 1 8 s は、半導体素子制御信号 s を発信し、半導体電力変換回路 1 4 s を停止する。(図 3 または図 6 の D 点)。

【 0 1 4 5 】

このとき、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a は、空転状態になり徐々に失速する(図 3 または図 6 の D 点 - E 点間)。

【 0 1 4 6 】

図 4 に示す回路構成の場合、予備半導体電力変換装置 1 1 s の停止と同時に、切替制御装置 1 3 は、電氣的遮断機構動作信号 を発信し、電氣的遮断器 1 2 s a i および 1 2 s a o を開放し、電氣的遮断器 1 2 a i および 1 2 a o を閉じて、図 1 に示す通常運転用回路に切り替える。

10

【 0 1 4 7 】

図 5 に示す回路構成の場合は、電氣的遮断器 1 2 s b i および 1 2 s a o を開放し、電氣的遮断器 1 2 a i および 1 2 a o を閉じて、図 1 に示す通常運転用回路に切り替える。

【 0 1 4 8 】

次に、制御装置 1 8 a は、調整出力をさせるべく、半導体電力変換回路 1 4 a に対し、半導体素子制御信号 a を送信する。

【 0 1 4 9 】

続いて、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a は、この半導体素子制御信号 a を受けて始動し、空転状態の再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度 4 1 a にあわせた調整出力を開始する(図 3 または図 6 の E 点)。

20

【 0 1 5 0 】

なお、この調整出力は、故障発生前の速度まで復帰させるための出力とする。速度低減状態で予備運転を行っている場合には、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度 4 1 a の通常運転速度への復帰に合わせ、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 b の速度 4 1 b も通常運転速度へ復帰させる(図 6 の E 点以降)。

【 0 1 5 1 】

この第一の手順(手順 6 - 1)によって、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の一時的な速度低下はあるものの、予備運転状態から通常運転状態へ回路構成を復旧することができる。また、予備運転を速度低減状態で行っていた場合は、通常運転速度を回復することができる。

30

【 0 1 5 2 】

第二の手順(手順 6 - 2)は、復旧時に、回転速度 4 1 a を低下させずにすむ手順である。

【 0 1 5 3 】

この第二の手順(手順 6 - 2)は、半導体素子制御信号 a と s を同期させることにより、停止状態から運転状態へ移行する通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の出力と、運転状態から停止状態へ移行する予備半導体電力変換装置 1 1 s の出力とを、オーバーラップさせることに特徴がある。

40

【 0 1 5 4 】

図 9 の D 点以降は速度低減せず予備運転している状態からの第二の手順による復旧時の、図 10 の D 点以降は速度低減して予備運転している状態からの第二の手順による復旧時の、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および 2 3 b の速度 - 時間特性図である。

【 0 1 5 5 】

まず、図 4 および図 5 に示す回路構成において、切替制御装置 1 3 は、電氣的遮断機構動作信号 を発信し、電氣的遮断器 1 2 a i と 1 2 a o を閉じる。

【 0 1 5 6 】

次に、制御装置 1 8 a は、出力をゼロにするように、半導体電力変換回路 1 4 a に対し、半導体素子制御信号 a を送信する。

50

【 0 1 5 7 】

通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a は、半導体素子制御信号 a を受け、出力ゼロの状態では始動する（図 9 または図 1 0 の D 点）。

【 0 1 5 8 】

続いて、制御装置 1 8 a は、半導体素子制御信号 a を送信し、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の出力を徐々に上昇させる。

【 0 1 5 9 】

同時に、制御装置 1 8 s は、半導体素子制御信号 s を送信し、予備半導体電力変換装置 1 1 s の出力を徐々に下降させる。

【 0 1 6 0 】

この半導体素子制御信号 a および s は、互いに同期している。この同期は、通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の出力および予備半導体電力変換装置 1 1 s の出力をあわせて（オーバーラップさせて）運転される、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度を、一定に保つように行われる（図 9 または図 1 0 の D - E 点）。

【 0 1 6 1 】

このオーバーラップの末に、予備半導体電力変換装置 1 1 s の出力はゼロになる（図 9 または図 1 0 の E 点）。

【 0 1 6 2 】

予備運転を図 4 に示す回路構成で行っていた場合、予備半導体電力変換装置 1 1 s の出力がゼロになると同時に、切替制御装置 1 3 は、電氣的遮断機構動作信号 を発信し、電氣的遮断器 1 2 s a i および 1 2 s a o を開放して、図 1 に示す通常運転用回路に切り替える。

【 0 1 6 3 】

また、予備運転を図 5 に示す回路構成で行っていた場合、切替制御装置 1 3 は、電氣的遮断機構動作信号 を発信し、電氣的遮断器 1 2 s b i および 1 2 s a o を開放して、図 1 に示す通常運転用回路に切り替える。

【 0 1 6 4 】

なお、速度低減状態で予備運転を行っていた場合には、続いて、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の回転速度 4 1 a の通常運転速度への復帰に合わせ、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 b の速度 4 1 b も通常運転速度へ復帰させる（図 1 0 の E 点以降）。

【 0 1 6 5 】

この第二の手順（手順 6 - 2）によって、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の速度低下なしに、予備運転状態から通常運転状態へ回路構成を復旧することができる。また、予備運転を速度低減状態で行っていた場合は、通常運転速度を回復することができる。

【 0 1 6 6 】

従来、所内電源系 1 2 a、入力変圧器 1 3 a、または通常運転用半導体電力変換装置 1 1 a の故障修理または保守点検を実施後の通常状態への回路構成復旧時には、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a および原子炉冷却材再循環ポンプ 3 a を停止する必要があった。

【 0 1 6 7 】

可変電圧可変周波数電源システム 1 0 によれば、この故障修理または保守点検実施後に、予備運転状態から通常運転状態へ回路構成を復旧するにあたり、第一の手順（手順 6 - 1）を適用することにより、一時的な速度低下はあるものの再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の継続運転が可能である。

【 0 1 6 8 】

また、第二の手順（手順 6 - 2）を適用することにより、速度低下なしに再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a の継続運転が可能である。さらに、第二の手順（手順 6 - 2）を適用する場合は、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a に印加する電圧を一定に保つことができる。

【 0 1 6 9 】

したがって、可変電圧可変周波数電源システム 1 0 は、全く負荷をかけることなく、再循環ポンプ駆動電動機 2 3 a を継続運転させながら予備運転状態から通常運転状態へ復旧

10

20

30

40

50

する事が可能である。

【0170】

可変電圧可変周波数電源システム10に対し手順1ないし手順6-1を適用するような場合においては、再循環ポンプ駆動電動機23aの空転がともなう(図3および図6のB点およびE点)。

【0171】

この再循環ポンプ駆動電動機23aの空転開始から、通常運転用半導体電力変換装置11aまたは予備半導体電力変換装置11sから給電を受けるまでの時間(空転時間)が長ければ、それだけ再循環ポンプ駆動電動機23aの速度低下が大きくなる。このため、空転時間を短縮することは、再循環ポンプ駆動電動機23aおよび23bのすみやかな速度平衡状態への復帰につながる。

10

【0172】

この空転時間を短縮するために、半導体電力変換回路14aの平滑コンデンサ17aを利用する。

【0173】

図2に示すように、半導体電力変換回路14aは、平滑コンデンサ17aを有する。

【0174】

可変電圧可変周波数電源システム10を通常運転中、すなわち通常運転用半導体電力変換装置11aから再循環ポンプ駆動電動機23aに給電している際にも、予備半導体電力変換装置11s内の平滑コンデンサ17sを充電状態で維持する。

20

【0175】

また、可変電圧可変周波数電源システム10を予備運転中、すなわち予備半導体電力変換装置11sから再循環ポンプ駆動電動機23aに給電しており、回路構成を通常運転状態へ切り替えて復旧する際にも、通常運転用半導体電力変換装置11a内の平滑コンデンサ17aを充電状態で維持する。

【0176】

この充電された平滑コンデンサ17aおよび17sを利用することにより、可変電圧可変周波数電源システム10は、手順1ないし手順6-1において、半導体電力変換装置11aまたは予備半導体電力変換装置11sの停止にともなう再循環ポンプ駆動電動機23aの空転開始から、半導体電力変換装置11aまたは予備半導体電力変換装置11sによる再循環ポンプ駆動電動機23aへの給電開始までの時間を短縮することができ、再循環ポンプ駆動電動機23aの速度低下を最小限に抑えることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0177】

【図1】本発明に係る再循環ポンプの電源システムの実施形態を示す全体構成図。

【図2】図1に示された通常運転用半導体電力変換装置およびならびに予備半導体電力変換装置の構成を示す図。

【図3】図1に示された再循環ポンプ駆動電動機の、回転速度の低下および復帰に係る速度-時間特性図。

【図4】通常運転用半導体電力変換装置の故障等に起因する予備半導体電力変換装置の始動時における、図1に示した可変電圧可変周波数電源システムの概略的な回路構成図。

40

【図5】電源部の停電に起因する予備半導体電力変換装置の始動時における、図1に示した可変電圧可変周波数電源システムの概略的な回路構成図。

【図6】復帰速度を低減した場合における、図1に示した再循環ポンプ駆動電動機の、回転速度の低下および復帰に係る速度-時間特性図。

【図7】予備運転中における、図1に示した可変電圧可変周波数電源システムの概略的な回路構成図。

【図8】予備運転中において、電源部または通常運転用半導体電力変換装置に故障が起きた場合における、図1に示した可変電圧可変周波数電源システムの概略的な回路構成図。

【図9】図1に示された再循環ポンプ駆動電動機の、回転速度の低下および手順6-2に

50

よる復帰に係る速度 - 時間特性図。

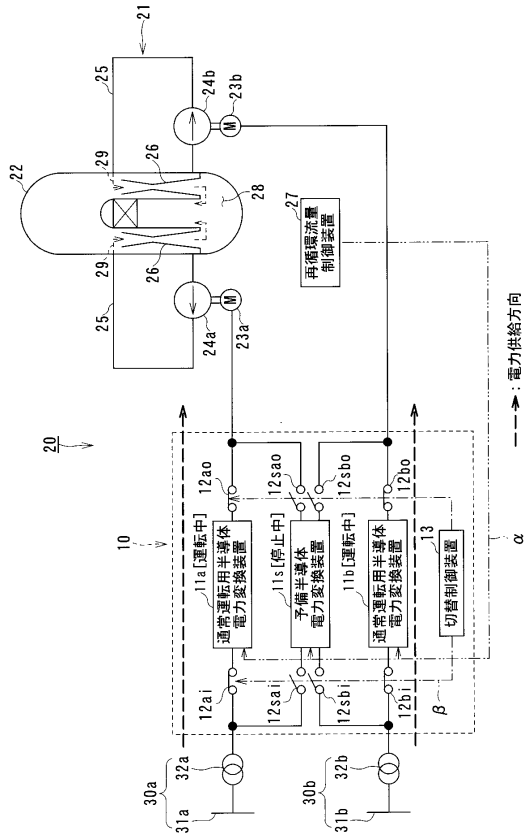
【図 10】復帰速度を低減した場合における、図 1 に示した再循環ポンプ駆動電動機の、回転速度の低下および手順 6 - 2 による復帰に係る速度 - 時間特性図。

【符号の説明】

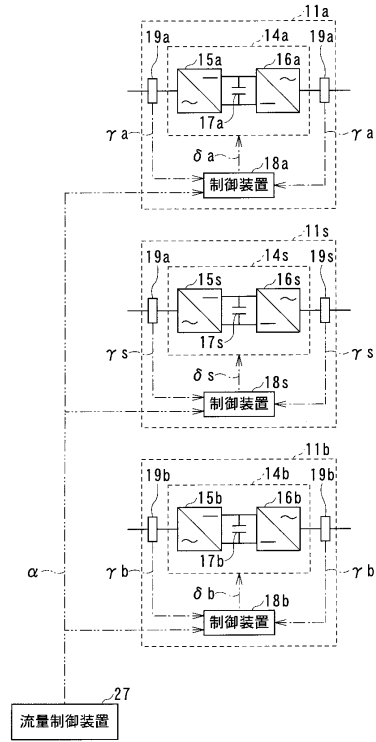
【0178】

- 10 原子炉冷却材再循環ポンプの可変電圧可変周波数電源システム
- 11 a、11 b 通常運転用半導体電力変換装置
- 11 s 予備半導体電力変換装置
- 12 電氣的遮断機構
- 12 a i、12 b i、12 s a i、12 s b i、12 a o、12 b o、12 s a o、12 s b o 電氣的遮断器 10
- 13 切替制御装置
- 14 a、14 b、14 s 半導体電力変換回路
- 15 a、15 b、15 s 半導体電力順変換回路
- 16 a、16 b、16 s 半導体電力逆変換回路
- 17 a、17 b、17 s 平滑コンデンサ
- 18 a、18 b、18 s 制御装置
- 19 a、19 b、19 s 故障検出装置
- 20 原子炉冷却材再循環システム
- 21 原子炉冷却材再循環系 20
- 22 原子炉圧力容器
- 23 a、23 b 再循環ポンプ駆動電動機
- 24 a、24 b 再循環ポンプ
- 25 ループ配管
- 26 ジェットポンプ
- 27 再循環流量制御装置
- 28 炉心冷却材
- 29 ジェットポンプ駆動流
- 30 a、30 b 電源部
- 31 a、31 b 所内電源系 30
- 32 a、32 b 入力変圧器
- 41 a 再循環ポンプ駆動電動機 23 a 速度
- 41 b 再循環ポンプ駆動電動機 23 b 速度
- 速度要求信号
- 電氣的遮断機構動作信号
- a、 b、 s 故障信号
- a、 b、 s 半導体素子制御信号

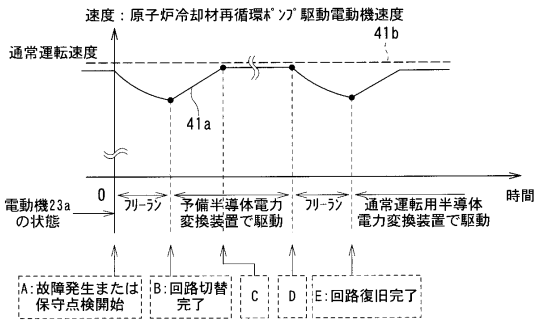
【図1】



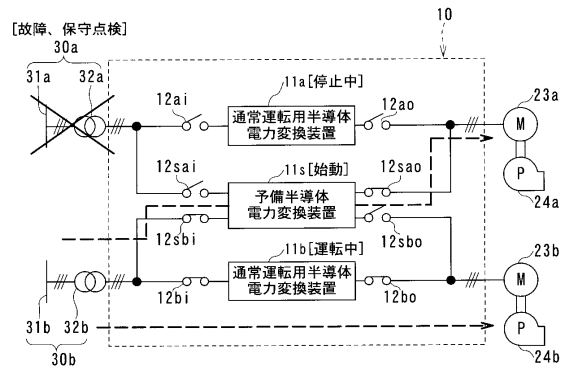
【図2】



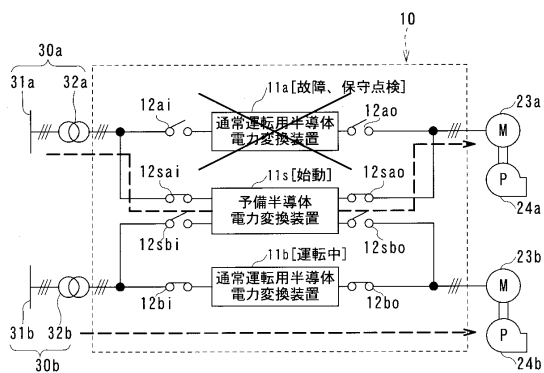
【図3】



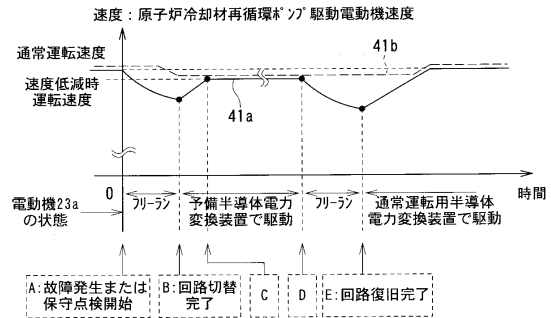
【図5】



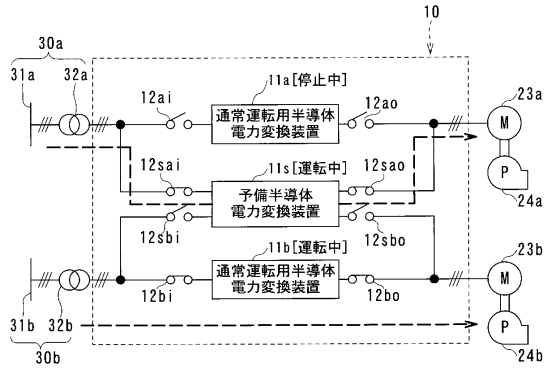
【図4】



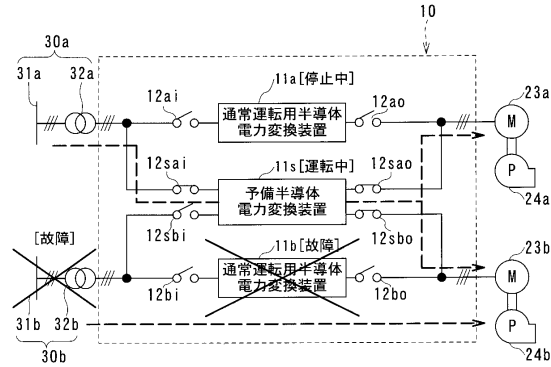
【図6】



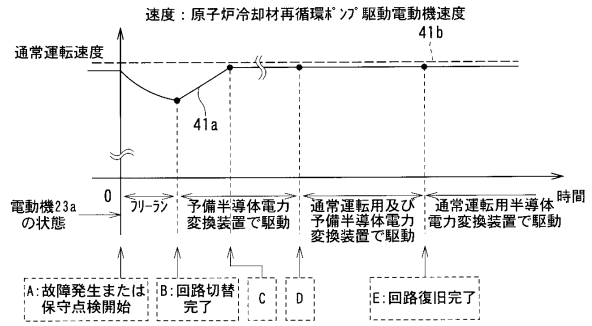
【図7】



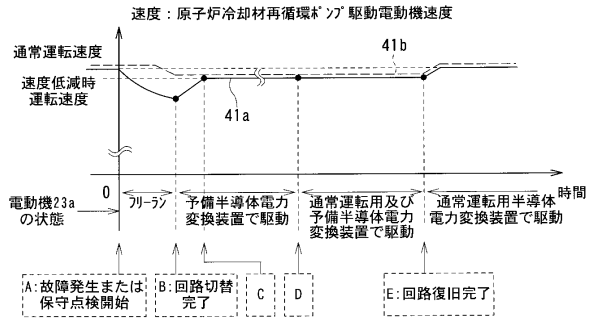
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

審査官 尾崎 和寛

(56)参考文献 特開昭56-081287(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F04D 7/08

F04D 15/00

F04B 49/00 ~ 51/00