

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3828582号
(P3828582)

(45) 発行日 平成18年10月4日(2006.10.4)

(24) 登録日 平成18年7月14日(2006.7.14)

(51) Int. Cl. F I
 H O 2 J 15/00 (2006.01) H O 2 J 15/00 A
 H O 2 K 7/02 (2006.01) H O 2 K 7/02

請求項の数 42 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平10-543269 (86) (22) 出願日 平成10年3月13日(1998.3.13) (65) 公表番号 特表2001-523437(P2001-523437A) (43) 公表日 平成13年11月20日(2001.11.20) (86) 国際出願番号 PCT/US1998/005278 (87) 国際公開番号 W01998/043341 (87) 国際公開日 平成10年10月1日(1998.10.1) 審査請求日 平成17年2月8日(2005.2.8) (31) 優先権主張番号 08/824,862 (32) 優先日 平成9年3月26日(1997.3.26) (33) 優先権主張国 米国(US)</p>	<p>(73) 特許権者 サッコン テクノロジー コーポレーショ ン アメリカ合衆国, 02142 マサチュー セッツ州, ケンブリッジ, 161 ファー スト ストリート (74) 代理人 弁理士 高野 明近 (74) 代理人 弁理士 安田 啓之 (74) 代理人 弁理士 岩野 進</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フライホイール電源装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ある一定時間中断なしに電力を供給する電源装置において、該電源装置は、制御装置とフライホイール装置とを有し、該フライホイール装置は、フライホイール回転子と電動機/発電機回転子を有する電動機/発電機とを含む外被を有し、前記フライホイール回転子と前記電動機/発電機回転子は共通のシャフトに設置されており、能動アキシアル磁気ベアリングを配置して前記シャフトを無摩擦回転可能に支持し、該ベアリングは前記シャフト、前記フライホイール回転子及び前記電動機/発電機回転子を支持し、前記アキシアル磁気ベアリングは、前記外被に取り付けられ、前記電動機/発電機回転子と共同し、前記電動機/発電機回転子と該回転子を設置した前記シャフトを持ち上げる磁束通路と磁場を供給し、当該電源装置は、一つの磁束通路が、前記電動機/発電機回転子と、該電動機/発電機回転子及び該回転子を設置した前記シャフトを持ち上げる磁場を供給する前記アキシアル磁気ベアリングとを通して伸びていることを特徴とする電源装置。

10

【請求項2】

前記外被が真空部分を含むことを特徴とする請求項1に記載の電源装置。

【請求項3】

前記電動機/発電機を前記アキシアル磁気ベアリングと前記フライホイール回転子の間に配設したことを特徴とする請求項1に記載の電源装置。

【請求項4】

前記シャフトの一端に受動ラジアル磁気ベアリングを配設したことを特徴とする請求項1

20

に記載の電源装置。

【請求項 5】

前記受動ラジアル磁気ベアリングは前記シャフト及び該シャフトに設置された回転子の重量の約 70% を軽減することを特徴とする請求項 4 に記載の電源装置。

【請求項 6】

前記シャフトの両端に各々 1 個の受動ラジアル磁気ベアリングを配設したことを特徴とする請求項 1 に記載の電源装置。

【請求項 7】

前記受動ラジアル磁気ベアリングは前記シャフト及び該シャフトに設置された回転子の重量の約 70% を軽減することを特徴とする請求項 6 に記載の電源装置。

10

【請求項 8】

前記受動ラジアル磁気ベアリングは軸方向に磁極をもつ永久磁石を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電源装置。

【請求項 9】

さらに 1 個のラジアルタッチダウンベアリングを有することを特徴とする請求項 8 に記載の電源装置。

【請求項 10】

前記ラジアルタッチダウンベアリングはポリイミド製のリングを有することを特徴とする請求項 9 に記載の電源装置。

【請求項 11】

前記軸方向に磁極をもつ永久磁石は前記シャフト及び該シャフトに設置された回転子の軸方向の追加の支持を提供することを特徴とする請求項 8 に記載の電源装置。

20

【請求項 12】

前記軸方向に磁極をもつ永久磁石は前記シャフト及び該シャフトに設置された回転子の重量の約 70% 以上を軸方向に支持することを特徴とする請求項 8 に記載の電源装置。

【請求項 13】

前記フライホイール回転子はエポキシをマトリックスとしたガラス繊維又は炭素繊維を有するリムをもつことを特徴とする請求項 1 に記載の電源装置。

【請求項 14】

前記電動機 / 発電機は永久磁石ブッシュレス装置であることを特徴とする請求項 1 に記載の電源装置。

30

【請求項 15】

さらに前記永久磁石ブッシュレス装置用の回転戻り磁束通路を有することを特徴とする請求項 14 に記載の電源装置。

【請求項 16】

前記電動機 / 発電機は 4 極構造であることを特徴とする請求項 14 に記載の電源装置。

【請求項 17】

前記電動機 / 発電機はネオジミウム - 鉄 - ボロン磁石を有することを特徴とする請求項 14 に記載の電源装置。

【請求項 18】

前記シャフトの一端に配設した減衰制動装置をさらに有し、該減衰制動装置は、中央穴を有するプレート部材と該中央穴に挿設して前記シャフト回りに取り付けられたスリーブを有し、前記プレート部材は流体を入れたチャンバを有し、該チャンバは穿孔によって前記中央穴と流体用通路で通じており、前記チャンバはばねとプラグを有し、該プラグを前記ばねと前記流体の間に配設して前記ばねの力を前記流体へ又は前記流体の力を前記ばねへ伝えることを特徴とする請求項 1 に記載の電源装置。

40

【請求項 19】

前記シャフトの一端に配設した減衰制動装置をさらに有し、該減衰制動装置は、中央穴を有するプレート部材と、該中央穴に挿設して前記シャフト回りに取り付けられたスリーブと、前記スリーブを囲む弾性材製の環状リングとを有することを特徴とする請求項 1 に記載の

50

電源装置。

【請求項 20】

前記環状リングは該リング内に空間が形成されていることを特徴とする請求項 19 に記載の電源装置。

【請求項 21】

フライホイール回転子と電動機/発電機回転子を有する電動機/発電機とを含む外被を有するフライホイール装置であって、前記フライホイール回転子と前記電動機/発電機回転子は共通のシャフトに設置されており、能動アキシアル磁気ベアリングを配置して前記シャフトを無摩擦回転可能に支持し、該ベアリングは前記シャフト、前記フライホイール回転子及び前記電動機/発電機回転子を支持し、前記アキシアル磁気ベアリングは外被に接続され、前記電動機/発電機回転子と共同し、前記電動機/発電機回転子と該回転子を設置した前記シャフトを持ち上げる磁束通路と磁場を供給し、当該フライホイール装置は、一つの磁束通路が、前記電動機/発電機回転子と、該電動機/発電機回転子及び該回転子を設置した前記シャフトを持ち上げる磁場を供給する前記アキシアル磁気ベアリングとを通して伸びていることを特徴とするフライホイール装置。

10

【請求項 22】

前記外被が真空部分を含むことを特徴とする請求項 21 に記載のフライホイール装置。

【請求項 23】

前記電動機/発電機を前記アキシアル磁気ベアリングと前記フライホイール回転子の間に配設したことを特徴とする請求項 21 に記載のフライホイール装置。

20

【請求項 24】

前記シャフトの一端に受動ラジアル磁気ベアリングを配設したことを特徴とする請求項 21 に記載のフライホイール装置。

【請求項 25】

前記受動ラジアル磁気ベアリングは前記シャフト及び該シャフトに設置された回転子の重量の約 70% を軽減することを特徴とする請求項 21 に記載のフライホイール装置。

【請求項 26】

前記シャフトの両端に各々 1 個の受動ラジアル磁気ベアリングを配設したことを特徴とする請求項 21 に記載のフライホイール装置。

【請求項 27】

前記受動ラジアル磁気ベアリングは前記シャフト及び該シャフトに設置された回転子の重量の約 70% を軽減することを特徴とする請求項 26 に記載のフライホイール装置。

30

【請求項 28】

前記受動ラジアル磁気ベアリングは軸方向に磁極をもつ永久磁石を有することを特徴とする請求項 21 に記載のフライホイール装置。

【請求項 29】

さらに 1 個のラジアルタッチダウンベアリングを有することを特徴とする請求項 28 に記載のフライホイール装置。

【請求項 30】

前記ラジアルタッチダウンベアリングはポリミド製のリングを有することを特徴とする請求項 29 に記載のフライホイール装置。

40

【請求項 31】

前記軸方向に磁極をもつ永久磁石は前記シャフト及び該シャフトに設置された回転子の軸方向の追加の支持を提供することを特徴とする請求項 28 に記載のフライホイール装置。

【請求項 32】

前記軸方向に磁極をもつ永久磁石は前記回転子の重量の約 70% 以上を軸方向に支持することを特徴とする請求項 28 に記載のフライホイール装置。

【請求項 33】

前記フライホイール回転子はエポキシをマトリックスとしたガラス繊維又は炭素繊維を有するリムをもつことを特徴とする請求項 21 に記載のフライホイール装置。

50

【請求項 3 4】

前記電動機 / 発電機は永久磁石ブッシュレス装置であることを特徴とする請求項 2 1 に記載のフライホイール装置。

【請求項 3 5】

さらに前記永久磁石ブッシュレス装置用の回転戻り磁束通路を有することを特徴とする請求項 3 4 に記載のフライホイール装置。

【請求項 3 6】

前記電動機 / 発電機は 4 極構造であることを特徴とする請求項 3 4 に記載のフライホイール装置。

【請求項 3 7】

前記電動機 / 発電機はネオジウム - 鉄 - ボロン磁石を有することを特徴とする請求項 3 4 に記載のフライホイール装置。

10

【請求項 3 8】

前記シャフトの一端に配設した減衰制動装置をさらに有し、該減衰制動装置は中央穴を有するプレート部材と、該中央穴に挿設して前記シャフト回りに取り付けられたスリーブとを有し、前記プレート部材は流体を入れたチャンバを有し、該チャンバは穿孔によって前記中央穴と流体用通路に通じており、前記チャンバはばねとプラグを有し、該プラグを前記ばねと前記流体の間に配設して前記ばねの力を前記流体へ又は前記流体の力を前記ばねへ伝えることを特徴とする請求項 2 3 に記載のフライホイール装置。

【請求項 3 9】

前記シャフトの一端に配設した減衰制動装置をさらに有し、該減衰制動装置は、中央穴を有するプレート部材と、該中央穴に挿設して前記シャフト回りに取り付けられたスリーブと、前記スリーブを囲む弾性材製の環状リングとを有することを特徴とする請求項 2 1 に記載のフライホイール装置。

20

【請求項 4 0】

前記環状リングは該リング内に空間が形成されていることを特徴とする請求項 3 9 に記載の電源装置。

【請求項 4 1】

請求項 2 1 によるフライホイール装置を有するバックアップ電源装置。

【請求項 4 2】

平行に接続した複数のフライホイール装置を有する請求項 4 1 に記載のバックアップ電源装置。

30

【発明の詳細な説明】

発明の属する技術分野

本発明は、無停電電源システムに関し、特にフライホイールシステムに関する。さらに特別には、本発明は磁気浮上フライホイールに関する。

発明の背景

電話産業は、連続給電サービスを供給するバックアップ電源用に長い間鉛蓄電池を使用してきた。代表的な電話ネットワークは、信号を中央局から遠隔端末装置に光ファイバで送信する。信号は光波信号から電波信号に変換され、家庭に接続するために束ねられた個別銅線ラインに分けられる。

40

各遠隔端末装置は約 1 0 0 0 軒の家庭を支える。ケーブル会社も同様のネットワークを持ち、信号を“ヘッドエンド”(ケーブル会社のオフィス)から約 5 0 0 軒の家庭を支える遠隔端末装置に送信する。端末装置側では、信号は光波信号から電波信号に変換されて同軸ケーブルで各々の加入者に送信される。何れの場合も、遠隔端末装置は、光ファイバケーブルでは電気信号を運べないので、端末装置から加入者まで信号を運ぶために現地設備が供給する電源を使用する。停電時間中端末装置を支援するために、電話会社又はケーブル会社はバッテリーを電源とする無停電電源装置で代表されるバックアップ電源装置を設置する。

電池の寿命は限られており、信頼性が低く、保守条件が厳しいので、これらのネットワー

50

クから電池が除去されることが望ましい。これらの不都合な属性は、高い運転経費に跳ね返る。通常使用されているバルブ調整鉛蓄電池は、“メンテナンスフリー”と云われているが、この蓄電池は実際には現場での連続監視と保守を要する。蓄電池の性能と寿命は、温度によって左右される。25を越えると熱劣化が生じる(25を越える8.3ごとに蓄電池の寿命は50%ずつ減少する)。その結果、蓄電池を5年で交換する計画は、2年又は3年に短縮することになる。蓄電池はまた“熱暴走”の恐れがあり、その場合には、爆発性水素ガスを放出する結果となる。さらに、蓄電池は鉛を含んでいるために環境に優しくなく、益々厳しくなる環境及び安全規則により規制される。

蓄電池に代わるものとして、フライホイールエネルギー貯蔵システムがある。高速フライホイールを支持する現存システムは、機械的な接触ベアリング又は高価で複雑な磁気ベアリングシステムの何れかを用いている。機械的な転がり素子ベアリングは、効率的なフライホイールエネルギー貯蔵システムに必要な高速回転のために寿命が極めて限られている。機械的なベアリングのさらなる欠点は、高速フライホイールの風損を減じるために必要な真空中での騒音、振動及び低い信頼性である。全ての制御装置を真空外に配置した無接触支承がこれらの問題を解決する。現存の代表的な磁気浮上システムは、複数の能動制御軸により高価であり、能動及び受動制御を組み合わせた場合にはその複雑な磁気構造が問題になる。

米国特許第4,211,452号明細書(特開昭53-114200号公報)には、宇宙関連用途により適した慣性ホイールが記述されている。この装置は、回転子に永久磁石を取り付け固定子にアイロンレス巻線を配した周辺型電動機の組み合わせを含んでいる。この構造は、応力により速度が制限される。巻線の電流は振幅変調システムにより電氣的に切り替えられ、回路のリアクタンス係数が変化し、回転方向の反転は制御回路の置き換えにより達成される。又、受動ラジアル磁気センタリング装置と軸速度検出器に従属する剰余能動アキシアル磁気センタリング装置により形成されたベアリングが装備されている。この装置は、永久磁石と軸制御用の4個の制御コイルを要する。

米国特許第4,620,752号明細書(特開昭60-208630号公報)には、減衰制動及び調心装置を含む被支持体の位置を安定させる磁気ベアリングが記述されている。フライホイール用磁気ベアリングシステムを示すこの磁気ベアリングの応用装置が図示されている。このシステムは、各ベアリングに対し2つの制御コイルを2つの回転式永久磁石と組み合わせることを要する。

Richard L.Hockney, Peter L.LeBlancによる“Powering of Remote Node Locations Using Flywheel Energy Storage”(18th International Telecommunications Energy Conference 1996 INTELEC '96, IEEE, (1996.10.06), p.662-667, INSPEC accession number:5558362)には、受容レベルを下回るレベルまで電圧が低下したときの電力の安定供給を行うために、ケーブルテレビジョンと遠距離通信とに関連したフライホイールエネルギー供給システム(FESS)を利用することが記述されている。ここで記述されているFESSには、真空中で設置され、さらに無摩擦の磁気ベアリングによって支持されるリムをもったフライホイールを含む。永久磁石の電動機/発電機が、例えばパワーユーティリティユニット等の電気バスから電力を引き出し、フライホイールをその安定状態速度で回転させる。そのバスの電圧が受容レベルを下回ったとき、フライホイールの運動エネルギーがそのバスに電力を供給する。

新しい改良された磁気浮上フライホイールシステムが、特に、連続給電を保証するバックアップ電源用に要望されていることが理解されよう。

発明の要約

本発明は、磁気浮上フライホイールモジュールを有する無停電電源システムを供給する。フライホイールモジュールは、真空外被中のフライホイール回転子より成る。フライホイール回転子は、無摩擦のアキシアル磁気ベアリングにより外被から懸下しているハブに取り付けられている。又、永久磁石の電動機/発電機回転子が磁気ベアリングにより吊り下げられている。

本発明によるバックアップ電源は制御装置とフライホイールモジュールより成る。制御装

10

20

30

40

50

置は、フライホイールを初期充電しスタンバイ速度まで加速し、フライホイールの速度をスタンバイ（待機）時の予め設定した範囲内に保持し、予め設定した電圧を無停電電源システムに供給し、フライホイールモジュールの状態を監視する回路構成を有している。フライホイールモジュールは、真空外被（ハウジング）より成る。外被内にはフライホイールと電動機／発電機が内蔵されている。フライホイール回転子と電動機／発電機回転子は共通のシャフトに取り付けられ、シャフトは無摩擦回転するように能動アキシャル磁気ベアリングに取り付けられている。このベアリングはシャフトとフライホイールと電動機／発電機を支持しまたは軸方向に浮上させる。アキシャル磁気ベアリングは、外被に取り付けられ、電動機／発電機回転子と共同して磁束通路と磁場を提供し、電動機／発電機の回転子とそれを設置しているシャフトを持ち上げる磁力を供給する。

10

さらに特殊には、フライホイールモジュールは垂直シャフトを有し、その垂直シャフトに電動機／発電機回転子と共に設置されている。半径方向に極性を持つ永久磁石を電動機の回転子周りに配置し少なくとも4つの磁極を供給する。電動機の固定子は、回転子に対し固定設置されている。受動ラジアル磁気ベアリングをシャフトの一端に配置するのが好ましく、両端に配置すればさらに好ましい。この受動ラジアルベアリングは、軸方向の浮上と半径方向の調心を実現する。軸方向の浮上は、能動アキシャルベアリングへの荷重を軽減し、好ましくは、シャフト及びシャフトに設置された回転子の重量の70%以上を浮上させる。一般的には、受動ベアリングはシャフト及びシャフトに設置された回転子の重量の90%以下を持ち上げる。ある実施例では、受動ベアリングはシャフト及びシャフトに設置された回転子の重量の80%を持ち上げる。

20

他の実施例においては、減衰制動装置をシャフトの一端、好ましくは両端に配置する。減衰制動装置は中央穴を有するプレート部材とその中央穴に挿設しシャフトに取り付けたスリーブより成る。プレート部材は減衰制動液（流体）を含むチャンバを有している。このチャンバは流体通路用穴により中央穴に通じている。チャンバは又ばねとプラグを含み、プラグをばねと流体の間に配置して、ばねから流体又は流体からばねに力を伝える。これに代えて、弾性リングを減衰制動装置として使用することもできる。

この永久磁石型電動機／発電機は電力バスから電力を得てフライホイール回転子を回転させ定常状態の速度まで加速し、電気エネルギーを運動エネルギーに変換する。フライホイールは、定常状態の回転速度に維持され、バスから定格負荷を得る。電源供給システムが電力を要する時に、電動機／発電機が電動機から発電機に切り替わり、フライホイールからエネルギーを引き出してバスに供給する。

30

本発明によるフライホイールエネルギー貯蔵システム（FESS）は、地下室、山小屋及びキャビネットのような電話通信用遠隔電力装置内の蓄電池に代わる“プラグ接続（plug for plug）”式の代替装置を提供する。

【図面の簡単な説明】

図1は、本発明の1実施例によるフライホイールモジュールの、一部を断面で示した立面図である。

図2は、本発明の1実施例によるフライホイール装置内のアキシャル磁気ベアリングの動作を説明するブロック図である。

図3は、本発明の好ましい1実施例によるフライホイールモジュールの立面図である。

40

図4は、図3のフライホイールモジュールの電動機／発電機の組立部品一式であり、上端ラジアル磁気ベアリング及び減衰制動システムの詳細を示す部分断面図である。

図5は、図3のフライホイールモジュールの上端減衰制動システムの詳細を示す断面図である。

図6Aは、図3のフライホイールモジュール用の別の減衰制動装置の平面図である。

図6Bは、図6Aのフライホイールモジュール用減衰制動装置の側面図である。

図7は、図3のフライホイールモジュールの下端ラジアル磁気ベアリングと減衰制動システムの詳細を示す断面図である。

図8は、本発明のフライホイールモジュールの制御システムを示すブロック図である。

図9は、アキシャル磁気ベアリングの動作を示すブロック図である。

50

図10は、本発明のフライホイールモジュールの平衡状態を検出するためのシステムのブロック図である。

図11は、本発明のフライホイールモジュールの制御装置の状態遷移図である。

好適な実施形態を含む本発明の詳細な説明

本発明による好適なフライホイール装置を添付図面を参照して説明する。図1に示すように、好適なフライホイール装置はモジュールとして構成されている。外被45は、外被内に懸下しているフライホイール15を含んでいる。フライホイール15は、エネルギー貯蔵リムであるフライホイールの回転子リム16を有している。フライホイールの回転子リム16は、シャフト18の一端で回転するハブ17に設置されている。モジュールはピン40により懸り下げることができ、2軸ジンバルサスペンションを実現する。

10

永久磁石電動機/発電機80はシャフトの一端付近に設置し、アキシャル磁気ベアリング50を電動機/発電機近くに配置する。外被45はフライホイールを囲みこみ、好ましくは、(図示しない)イオンポンプで実現できるレベルの真空状態を保つ。

好ましい実施形態において、フライホイールモジュール10は図3のように構成されている。真空外被は、外被シリンダ145と上カバー146と下カバー147とより構成されており、フライホイール回転子115を囲んでいる。フライホイール回転子を円筒状支持管116に取り付け、その支持管を垂直シャフト118に外嵌めする。円筒状支持管116の上端に電動機/発電機回転子180を配置し、その回転子部分を適当に用いて、円筒状支持管の上端をシャフト上に取り付ける。

電動機/発電機アッセンブリ180の詳細を図4に示す。電動機/発電機の回転子は、外側回転子カップ182と内側回転子カップ184の2つの部分から成り、両方とも好ましくは鉄製とし、シャフト118に取り付ける。両カップは、半径方向に極性を持つ永久磁石の磁極片187, 188のための戻り磁束通路として作用する。固定子190は、L字形断面を有し、上カバー146に固着している。外側回転子カップ182は、その上端で円筒状支持管116を支持する。

20

内側回転子カップ184の上面及びその付近に、能動磁気ベアリング120が固設されている。このベアリングは、内側強磁性体コア部材124に巻回し同コア部材と外側強磁性体コア部材125の間に狭みこんだコイル121を有している。内側回転子カップ184も強磁性体材料製である。かような構成において、電流がコイル121に流れると、磁束通路が内側強磁性体コア部材124と外側強磁性体コア部材125と内側強磁性体回転子カップ184を通して形成され、軸方向の磁力が内側回転子カップを介してシャフト118に作用する。

30

半径方向に極性を持つ永久磁石187, 188は、外側回転子カップに交番極性の磁極片として取り付けられている。これに代え、単列の半径方向に極性を持つ磁石を使用してもよい。

シャフト118の上端に、タッチダウンベアリングが配設されている。このベアリングは、磁気ベアリングアッセンブリ150とラジアルタッチダウンベアリングを装備する環体158より成る。シャフト端の硬化表面160には上カバーアッセンブリ146(図4)のタッチダウンボタン161が配置されている。環体158とボタン161はポリイミド樹脂又は類似材料製とするのが好ましい。又、上カバーアッセンブリには、減衰制動システム130がある(図4及び5参照)。エンドプレート100は上カバー146の上面に戴設する。このエンドプレートは、一端にタッチダウンボタン161を取り付けた固定センターロッド95を保持する。ばね98をエンドプレート内に配設し軸方向に予圧をかけている。このばねはスリーブ135と係合し、同スリーブ内でシャフト118がボールベアリング136に支称されて回転する。

40

磁気ベアリングアッセンブリ150は、アキシャル・ラジアル磁気ベアリングの受動的組み合わせである。シャフト118に取り付けられた部分はカップ部材151より成る。この部材はチタン製であることが好ましく、内側回転子カップ184との間にはスペーサ部材128が挿設されている。カップ部材151は、シャフト118の端部に螺着したリテーナナット152により所定位置に保持されている。カップ壁の内側に、軸方向に極性を

50

有する永久磁石 1 5 5 を、エポキシ樹脂のような適当な手段で固着保持している。軸方向に極性を有する第 2 の永久磁石 1 5 6 を前記磁石 1 5 5 の上方に固設している。両磁石はシャフト 1 1 8 及びシャフト 1 1 8 に設置された回転子の重量の一部を軸方向に引き寄せ受動的軸方向（アキシャル）支持をなすものであり、好ましくは少なくとも 70 % を引きつけるように磁性を付与する。軸方向吸引の両磁石は、シャフト 1 1 8 の半径方向の安定にも寄与する。永久磁石 1 5 5 , 1 5 6 は永久磁石材の複環状リングでもよい。

減衰制動システム 1 3 0（図 5 参照）は、好ましくは、上カバー 1 4 6 に取り付けられたプレート部材 1 3 1 より成る。円筒状スリーブ 1 3 5 がプレート部材 1 3 1 の中央穴（center bore）に配置されている。ラジアルタッチダウンベアリングを装備する環体 1 5 8 がピン 1 5 9 によりプレート部材 1 3 1 内に保持されている。Oリング 1 3 2 , 1 3 3 は、円筒状スリーブ 1 3 5 と中央穴内壁間の環状スペースをシールしている。ボールベアリング 1 3 6 はシャフト 1 1 8 の上端を支承するためにスリーブ内に配設してある。チャンバ 1 4 0 はプレート部材 1 3 1 内の中央穴付近に配置してある。中央穴 1 4 1 はチャンバ 1 4 0 と、円筒状スリーブ 1 3 5 と穴内壁の間の環状スペースとの間に通じている。チャンバ 1 4 0 と環状スペースを減衰制動液（流体）で満たしてシャフト 1 1 8 の端部の半径方向の振動を減衰させる。チャンバ 1 4 0 内のプラグ 1 3 9 は、ばね 1 3 8 により減衰制動流体に圧力をかける。ばねは、減衰制動装置カバー 1 3 7 により所定位置に保持される。プラグ 1 3 9 は Oリング 1 4 3 , 1 4 4 を有しチャンバ壁をシールする。スリーブ 1 3 5 の周囲の減衰制動流体を均等に供給するために、1 個以上の追加穴 1 4 8 を液（液体）溜めとして使用し、穿孔穴 1 4 9 を介して環状スペースに連絡させる。

これに代え、弾性ダンパ 2 0 0 を用いてシャフト端の半径方向の振動を減衰させることができる（図 6 A , 図 6 B）。弾性ダンパ 2 0 0 は、弾性材製の環状リングであり、好ましくは、図 6 A , 図 6 B に示す様に、非磁性の硬質材製の 2 つのリング 2 0 1 と 2 0 2 の間に配置する。スリーブ 1 3 5 は中央穴 2 0 4 内に配置し、ダンパはプレート部材 1 3 1 内に固設する。ダンパは、減衰量を設定するためにリング内に形成されるスペース、例えば、環状スペース 2 0 5 を有するのが好ましい。

シャフト 1 1 8 の下端にも、上端と同様の受動的組み合わせであるアキシャル・ラジアル磁気ベアリングとタッチダウンボタンと減衰制動システムが装備されている。図 7 を参照すると、フライホイール 1 1 5 の下部は、シャフト 1 1 8 に取り付けられた管 1 1 6 と嵌合しているカップ 2 2 0 により所定位置に保持される。下方受動アキシャルベアリング 2 3 0 は、下カバー 1 4 7 に設置された外被 2 3 1 により形成される。外被の内側に、軸方向に極性を有する永久磁石 2 3 5 を設置し、ステンレス鋼製のスペーサ 2 3 2 で外被から離す。この磁石 2 3 5 の下に、軸方向に極性を有する第 2 の永久磁石 2 3 6 を配置し、キャップ 2 4 1 に固設している。キャップ 2 4 1 は、シャフト 1 1 8 に設置し、リテーナット 2 4 2 で軸方向位置に保持している。

シャフト下端の減衰制動システムとタッチダウンベアリングは、図 7 に示した上端の減衰制動システムとタッチダウンベアリングと同様に構成されている。構成品の多くは、本質的に上端に使用したものと同一である。

フライホイールのエネルギー貯蔵リムは、ガラス繊維又は炭素繊維とエポキシマトリックスとの複合材製であることが好ましい。1 . 0 k W の電力を連続供給できる 2 k W H のフライホイール電源装置用のリムは、重要 45.4 Kg （100 ポンド）で、軽量ハブ構造を用いてシャフトに取り付ける。かようなリムは、3000 R P M の設計回転速度で 2600 W H を貯えることができる。このリム材は、性能又はサイクルライフにおける劣化をもたらすことなく 85 までの温度でフライホイールの運転を可能とするものが好ましい。

アキシャル磁気ベアリングは、能動磁気ベアリングであり、低損失運転用受動ラジアル磁気ベアリングの永久磁石を用いてその負荷を軽減できる。ポリイミド樹脂の環体を、好ましくは、ラジアル磁気ベアリング用ラジアルタッチダウンベアリングとして採用し、磁気ベアリングの能力を越える衝撃又は地震が発生した場合に備える。ラジアルタッチダウンベアリングは長時間運転用ではない。軸方向のタッチダウンベアリングは、好ましくは、

10

20

30

40

50

ポリイミド樹脂製ボタンと組み合わせた硬化面を介して装備する。

能動磁気アキシアルベアリングの全体的動作は次の通りである(図2)。この磁気ベアリングは、磁気アクチュエータを力発生器として用いる位置制御ループである。質量に力が加わると変位が生じ、この変位を軸方向の位置検出器を用いて検出する。検出位置は電圧値で表され、基準位置と比較され、誤差が補償ループに送られ、このループ回路でアクチュエータから命令されるべき力を計算し、その信号を電力増幅器に送る。電力増幅器はアクチュエータに然るべき電流を流し、アクチュエータが閉ループシステム内で作用力を変化させる。

一体型2軸ジンバルアッセンブリを使用し、激しい霜または地震のような影響で部分的に大地の傾斜が変化しても、回転シャフトの垂直方位を維持することが好ましい。

10

電気-機械エネルギーの双方向変換を行なう電動機/発電機は、永久磁石(PM)式ブッシュレス構造とするのが好ましい。さらに好ましくは、4極または6極式のネオジミウム-鉄-ボロン磁石を用いる。この形態は、完全充電/完全放電サイクルの平均で、96%を越える効率を達成するように構成するのが好ましい。

図8を参照して、制御システムについて説明する。本発明によるフライホイールモジュールのDCバスと制御装置は、例えばアルファテクノロジー社のXM6015型電源装置のような通常のスタンバイ電源制御ユニットのバッテリー端子に接続することができる。フライホイール用電子機器は電子モジュールとして好適にパッケージされてる。電子機器の中心は、双方向に電力を変換するパルス幅変調(PWM)インバータであり、DCバスからの電力を、フライホイールモジュール内のブッシュレス電動機/発電機を励起するのに必要な好ましくは三相可変周波数の交流(AC)に変換する。永久磁石式ブッシュレス電動機/発電機は同期式であり、固定子に対する回転子85の角度位置を決定するためにコミューテーションセンサを必要とする。このユニットは例えばパフォーマンスコントロールインバータドライブ(部品番号BLM-1000)のような駆動装置で駆動できる。フライホイール充電中、PWMコンバータは充電制御回路の制御下にあり、フライホイールがトップスピードに達するような時間までUPS(無停電電源)システムから供給されるDCバス電圧をUPS充電器の稼働電圧より低い一定電圧に制御する。この時、制御装置は、自動的に速度制御モードに切り替わり、フライホイールの速度を、設計速度、例えば30,000RPMに維持する、これは、安定した細流充電で達成できる。充電電圧の損失が生じると、システムは自動的に放電制御モードに切り替わり、PWMインバータからの出力電圧を負荷とは独立した速度の定関数として維持する。フライホイールからのバックアップ電力への需要は種々の方法、例えば、バス電圧の降下又は電流の方向の変化によって検出することができる。

20

30

図9に磁気ベアリングの制御装置を示す。位置センサは、シャフトに取り付けた構成品とフライホイール外被に設置した固定構成品との間の軸方向のギャップを測定し、補償器、好ましくは比例積分及び微分補償器に入力を供給する。補償器は電流増幅器に信号を供給し、増幅器から能動ベアリングの電磁石のコイルに電流を供給する。

自己診断構成品による位置検出回路を図10に示す。シャフトの上端と下端に各々1対の半径方向位置検出器を互いに直角に配置する(例えば、xとyで表す)。信号xと信号yは結合され基準信号と比較され、フライホイール内の非平衡状態を算定する。信号は平衡を監視し、非平衡値が予定レベルを越えた時に停止させる故障検出回路に供給される。

40

図11に典型的な状態遷移図を示す。システムがONになると、自己試験(検査)モードが始まる。自己試験が合格であれば、システムは停止状態に移行する。自己試験が失敗であれば、制御装置は故障状態に移行する。もし、故障状態の間に、システムが可能であれば、自己試験状態に戻る。停止状態の場合は、2つの遷移が可能である。故障が検出されると故障状態に遷移する。システムが可能であり、UPS入力電力がONであれば(即ち、ホイールの充電を試みる場合)、システムは充電状態に移行する。充電状態への移行時、積分器は解除され、ゲートドライバがONになる。

何れの状態であれ、故障が検出されれば、制御装置は故障状態に移行し、ゲートドライバがOFFになる。

50

充電状態において、フライホイールの速度が最高速度以上か或いはシステムが不能であれば、スタンバイ（待機）の状態に遷移する。スタンバイ状態において、速度が安定状態の範囲に維持される。システムがスタンバイの状態、システムが不能になれば停止状態に移行する。入力が無くなれば、発電状態に移行する。システムが発電状態で、フライホイールの速度が予め設定された最低速度より低くなるか、システムが不能になると停止状態に移行する。

本発明のフライホイールモジュールは、負荷を分割するように平行接続された複数のフライホイールモジュールを含む回路構成で使用できる。この構成は、好ましくは、主及び従属ユニットを指定しない制御技術を用い自動的に負荷を分割するように制御できる。

放電モードの間、DC出力電流は好ましくは電子的に安全過負荷値に制限される。制御装置もまた好ましくは、DC過電圧とフライホイールの過速度保護並びに電動機の相過電流保護を採用し、これらの安全装置はインバータの出力トランジスタからゲート駆動信号を引き外すように作動する。この作動により、フライホイールを惰走停止させる。放電抵抗を用いフライホイールをより迅速に停止させるのが好ましい。

制御装置は、フライホイールモジュールと異なる位置に設置できる単独ユニット又はモジュールに構成するのが好ましい。

典型的な地中設置設備において、フライホイールモジュールは、例えば、ユーザの装置と共に軸受台に設置するシステムの電子機器に接続する。現場は、通常、穴を掘り、そのプレキャストコンクリートのスリーブを設置して埋め戻す。フライホイールモジュールの支持管をスリーブ内に挿入し、地下に埋設したケーブルを用いて電子機器に接続する。スチールカバーを、コンクリートスリーブにボルトで取り付けてロックする。格納容器は、好ましくは、フライホイール又は他の回転構成品の故障をコンクリートスリーブの内部に完全に閉じ込められるように設計すべきである。

制御装置は、3台の余剰速度検出器としても機能する3台の整流検出器と、周波数及び回転位相角で正確に励起されなければ予想トルクを生み出すことができない同期電動機と、過速度発生を高度に改善できる過速度停止方法を含むのが好ましい。フライホイールの速度が定格値の105%を越えると、ゲート駆動信号がインバータトランジスタから引き外され瞬時にフライホイールへの電力供給が引き外されることが好ましい。これにより、フライホイールは惰力で停止できる。

全ての運転条件下でのフライホイールエネルギー供給システム(FESS)の正常な状態を何時でも知ることができる情報が得られることが好ましい。剥離は、ホイールの故障メカニズムの中で断然多く、その始まりはバランスセンサで検知できる。このセンサは、高い分解能で半径方向の位置を検出する能力を有している。磁気ベアリングの処理能力を越えてバランスが崩れると、シャフトがバックアップベアリングにタッチダウンする。バックアップベアリングは、数回のかような接触に故障無く耐え、かような接触に対応してフライホイールを停止させるように設計されている。

制御装置は、速度、バランス、出力電圧、出力電流及び温度のパラメータ中の1つでも予め定められた制限値を越えた場合に、ユニットを停止させるのが好ましい。さらに、一点の故障が、過速度又は過電圧をもたらさないことが好ましい。最終的には、電源回路構成部品の故障が制御回路の故障を引き起こさないようにすべきである。

制御装置は、又、基板レベルで故障回路を孤立させ、故障基板を発光ダイオード(LED)に表示できる故障試験装置を内蔵することが好ましい。LEDパネルは、又、好ましくは、現場において下記の運転条件を表示でき、システムは、遠隔監視場所にその情報を伝達できる標準の通信インターフェースを装備できる。

1. DC入力状態(DCが制限範囲内である)
2. 出力電圧状態(電圧及び電流が制限範囲内である)
3. インバータの出力周波数状態(運転値範囲内である)
4. フライホイールの速度(運転値範囲内である)
5. 出力電流の制限(電力処理ユニットが電流制限値内である)
6. 供給可能なエネルギー(全体の1/2より大きい)

10

20

30

40

50

- 7. 風損（運転値範囲内である）
- 8. フライホイールモジュールの温度（運転制限範囲内である）
- 9. 過電圧及び過速度による停止表示
- 10. 出力の切断
- 11. フライホイールのバランス（運転制限範囲内である）

さらに、制御装置は、充電／放電サイクルの回数（深さと時間）、待機電力、バランス状態、バス電圧、出力電流、温度、速度及び製番の任意の組み合わせデータ値を、出力ポートを通して伝送し遠隔監視を実現できることが好ましい。

フライホイールは、エネルギーを有効に貯蔵し放出する電気機械式バッテリーとして作動する。電動機／発電機は、電気バスから電力を引き出し、フライホイールの回転子をその回転速度にまで充電（回転）させる。フライホイールは、バスから最少の負荷を引き出す無摩擦磁気ベアリング上で安定状態速度内で回転する。待機スタンバイ電力の供給要求があり次第、フライホイールの電動機は、電動機から発電機に切り替わり、フライホイールからの貯蔵された運動エネルギーを引き出して無停電電力を供給する。フライホイールモジュールは、安全運転を確保するために特別に設計された地下室に設置され、地下敷設ケーブルで、現存する柱上電源装置又は電子キャビネット内に設置されたフライホイールの電子機器モジュールに接続される。フライホイールは、“プラグ接続”式のバッテリー代替装置として設計されているので、フライホイールの電子機器モジュールは、好ましくは、電源のバッテリー端子に直接インターフェースする。

好適な実施形態を参照し、本発明につき詳述してきたが、本明細書と図面を考慮すれば、当業者ならば請求項により規定された本発明の範囲と精神より逸脱することなく変更と改善を加えることができることを理解すべきである。

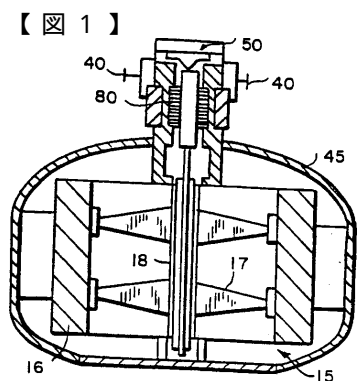


FIG. 1

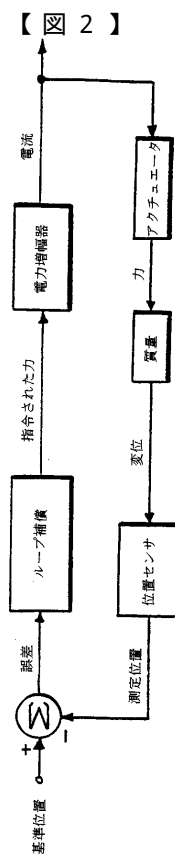


FIG. 2

10

20

【 図 3 】

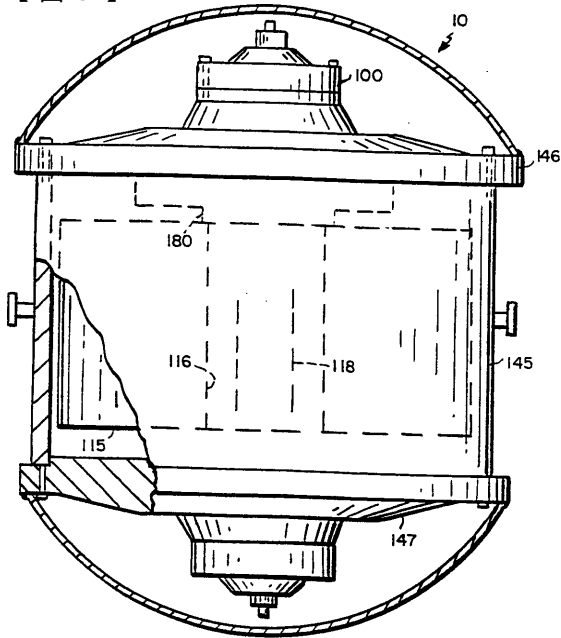


FIG. 3

【 図 4 】

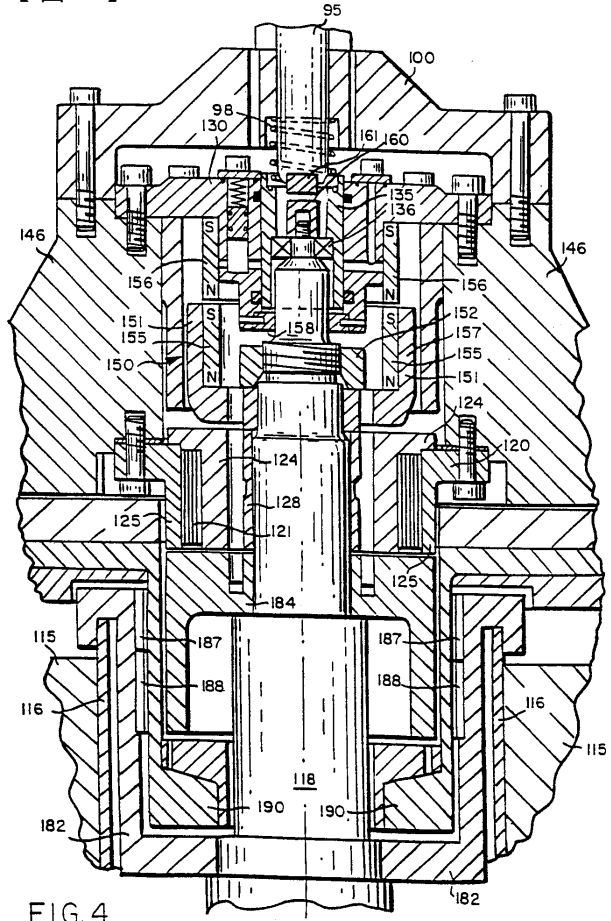


FIG. 4

【 図 5 】

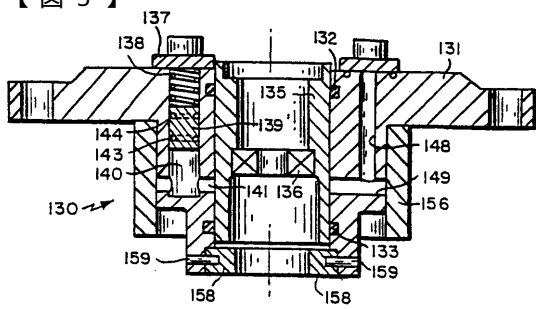


FIG. 5

【 図 6 A 】

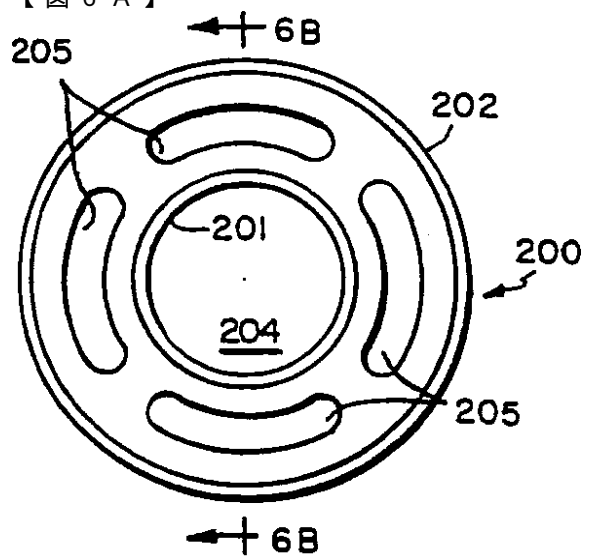


FIG. 6A

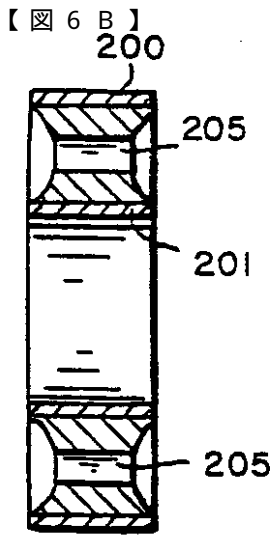


FIG. 6B

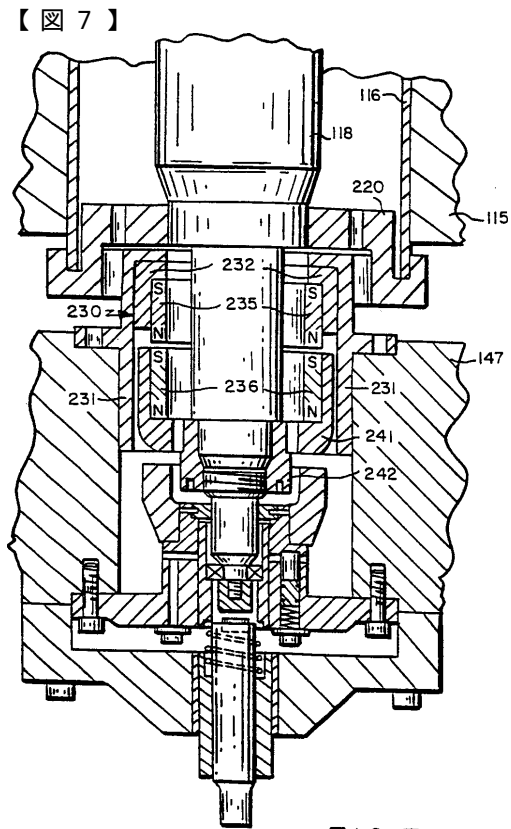


FIG. 7

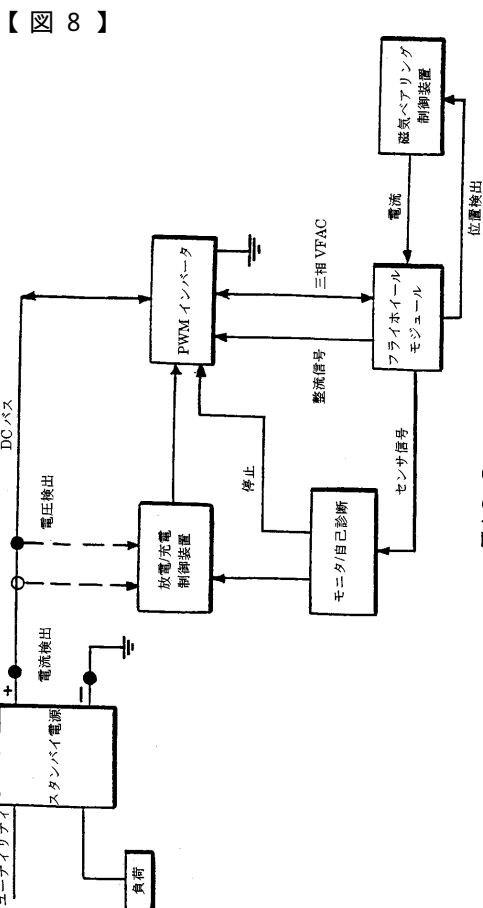


FIG. 8

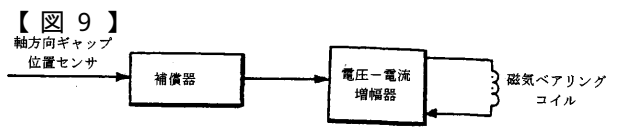


FIG. 9

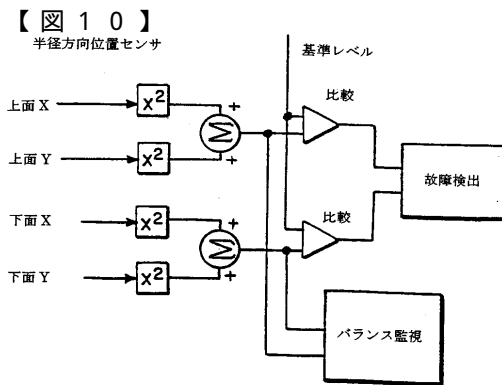


FIG. 10

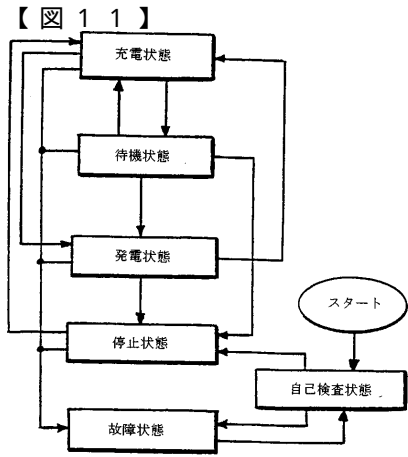


FIG. 11

フロントページの続き

- (72)発明者 ホックニー, リチャード エル.
アメリカ合衆国, 01940 マサチューセッツ州, リンフィールド, 907 サマー ストリー
ト
- (72)発明者 ニコルス, ステファン ビー.
アメリカ合衆国, 02129 マサチューセッツ州, チャールスタウン, ピー.オー.ボックス1
2
- (72)発明者 ランズベリー, ジェフリー ビー.
アメリカ合衆国, 02141 マサチューセッツ州, ケンブリッジ, 305 カーディナル メデ
イーロス #1
- (72)発明者 ニムブレット, フランシス イー.
アメリカ合衆国, 01915 マサチューセッツ州, ベヴァリー, 4 オークハースト ロード
- (72)発明者 ブシュコ, ダリウス エー.
アメリカ合衆国, 10748 マサチューセッツ州, ホプキントン, 4 ランプライター レーン
- (72)発明者 ラオ, ジタ ビー.
アメリカ合衆国, 02178 マサチューセッツ州, ベルモント, レキシントン ストリート
- (72)発明者 シーダー, ルカ
アメリカ合衆国, 02173 マサチューセッツ州, レキシントン, 15 ターニング ミル ロ
ード
- (72)発明者 アマラル, マイケル イー.
アメリカ合衆国, 02062 マサチューセッツ州, ノーウッド, 943 ワシントン ストリー
ト エーピーティエー. #5
- (72)発明者 スタントン, ウィリアム イー.
アメリカ合衆国, 02154 マサチューセッツ州, ウォルサム, 189 ビショップス フォレ
スト ドライブ
- (72)発明者 オルーク, ジェイムス
アメリカ合衆国, 01801 マサチューセッツ州, ウォバム, 480 ワシントン ストリート

審査官 杉田 恵一

- (56)参考文献 特開昭49-90144(JP,A)
特開昭53-114200(JP,A)
特開昭58-43158(JP,A)
特開昭58-65321(JP,A)
特開昭59-93995(JP,A)
特開昭60-208630(JP,A)
特開平1-279116(JP,A)
特開平7-314274(JP,A)
特開平8-275444(JP,A)
特開平10-89362(JP,A)
特表平7-505038(JP,A)
特表平9-506310(JP,A)
特表平10-502994(JP,A)
米国特許第3323763(US,A)
米国特許第3860300(US,A)
米国特許第3955858(US,A)
米国特許第4285251(US,A)
米国特許第4860611(US,A)
米国特許第5436512(US,A)

米国特許第5 5 2 1 4 4 8 (U S , A)

米国特許第5 6 1 4 7 7 7 (U S , A)

国際公開第9 5 / 1 3 6 4 7 (W O , A 1)

国際公開第9 6 / 0 2 7 6 7 (W O , A 1)

Richard L. Hckney, Peter L. LeBlanc, Powering of Remote Node Locations Using Flywheel Energy Storage, 18th International Telecommunications Energy Conference 1996 INTELEC '96, IEEE, 米国, IEEE, 1 9 9 6 年1 0 月 6 日, p.662-667

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H02J 15/00

H02K 7/02