

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7378637号
(P7378637)

(45)発行日 令和5年11月13日(2023.11.13)

(24)登録日 令和5年11月2日(2023.11.2)

(51)国際特許分類 F I
H 0 2 P 29/024 (2016.01) H 0 2 P 29/024

請求項の数 13 (全24頁)

(21)出願番号	特願2022-556720(P2022-556720)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和2年10月13日(2020.10.13)	(74)代理人	110001195 弁理士法人深見特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/038607	(72)発明者	和田 康彦 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2022/079796	(72)発明者	坂廻遼 和憲 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和4年4月21日(2022.4.21)	審査官	池田 貴俊
審査請求日	令和5年2月14日(2023.2.14)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 故障診断装置、学習装置、学習方法、および故障診断システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

機器を駆動する電動機の故障を診断する故障診断装置であって、
前記電動機の駆動を制御する制御部と、
前記機器の軸受の摩耗情報を推定する摩耗推定部と、
前記摩耗推定部で推定した前記機器の軸受の摩耗情報に基づいて、前記電動機の故障を診断し、ユーザに通知する故障通知部と、を備え、
前記制御部は、
前記摩耗推定部で前記機器の軸受の摩耗情報を推定する場合に、前記電動機が安定した駆動となるように前記電動機の駆動を制御し、
前記摩耗推定部は、学習用データセットを用いた学習処理により生成された推定モデルに基づいて、前記電動機に流れる電流を示す第1状態変数、および前記機器の状態を示す変数のうち少なくとも1つの第2状態変数から、前記機器の軸受の摩耗情報を推定し、
前記学習用データセットは、前記第1状態変数および前記第2状態変数に対して、予め取得してある前記機器の軸受の摩耗情報をラベル付けした学習用データを複数含む、故障診断装置。

【請求項2】

前記制御部は、前記電動機を安定して駆動させるために、回転速度を一定とする駆動で前記電動機を制御する、請求項1に記載の故障診断装置。

【請求項3】

前記制御部は、演算した変調率に基づいて、前記電動機を安定して駆動させる制御を行うか否かを判定する、請求項 1 または請求項 2 に記載の故障診断装置。

【請求項 4】

前記制御部は、演算した変調率が 0.9 以上 1.0 未満の場合、前記電動機を安定して駆動させる制御を行う、請求項 3 に記載の故障診断装置。

【請求項 5】

前記摩耗推定部は、前記第 1 状態変数および前記第 2 状態変数を予め定められた周波数領域に変換して、前記第 1 状態変数および前記第 2 状態変数の周波数特性として出力する変換器を含む、請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の故障診断装置。

【請求項 6】

前記機器は圧縮機であり、
前記圧縮機を駆動する前記電動機はインバータに接続され、
前記インバータは、母線から前記電動機に対して交流電力を出力し、
前記第 1 状態変数は、
前記インバータから前記電動機に流れる電流を示し、
前記第 2 状態変数は、
前記圧縮機内に流れる冷媒の圧力、前記冷媒の流量、前記圧縮機の周辺の温度、前記圧縮機の周辺の動作音、および前記圧縮機の周辺の湿度のうち少なくとも 1 つを含む、請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか 1 項に記載の故障診断装置。

【請求項 7】

前記摩耗推定部で推定した摩耗情報に基づいて、前記制御部に対して故障診断の開始を示す信号を生成する摩耗診断生成部をさらに備える、請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか 1 項に記載の故障診断装置。

【請求項 8】

前記摩耗診断生成部は、前記故障通知部が摩耗情報に基づく情報をユーザに通知する期間より短い期間で故障診断の開始を示す信号を生成する、請求項 7 に記載の故障診断装置。

【請求項 9】

前記故障通知部は、前記摩耗推定部で推定した前記機器の軸受の摩耗情報に基づいて、前記機器の軸受の交換時期をユーザに通知する、請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか 1 項に記載の故障診断装置。

【請求項 10】

前記故障通知部は、前記摩耗推定部との通信することが可能であり、前記摩耗推定部で推定した前記機器の軸受の摩耗情報を通信により取得する、請求項 1 ~ 請求項 9 のいずれか 1 項に記載の故障診断装置。

【請求項 11】

機器を駆動する機器の軸受の摩耗情報を推定するための推定モデルを学習させる学習装置であって、

前記推定モデルは、
電動機に流れる電流を示す第 1 状態変数、および前記機器の状態を示す変数のうち少なくとも 1 つの第 2 状態変数から、前記機器の軸受の摩耗情報を推定し、

前記第 1 状態変数および前記第 2 状態変数に対して、予め取得してある前記機器の軸受の摩耗情報をラベル付けした学習用データを複数含む学習用データセットを取得する取得部と、

前記取得部で取得した前記学習用データセットを用いて、推定結果がラベル付けされている前記機器の軸受の摩耗情報に近づくように前記推定モデルを最適化する学習部と、を備える、学習装置。

【請求項 12】

機器を駆動する機器の軸受の摩耗情報を推定するための推定モデルを学習させる学習方法であって、

前記推定モデルは、

10

20

30

40

50

電動機に流れる電流を示す第 1 状態変数、および前記機器の状態を示す変数のうち少なくとも 1 つの第 2 状態変数から、前記機器の軸受の摩耗情報を推定し、

前記第 1 状態変数および前記第 2 状態変数に対して、予め取得してある前記機器の軸受の摩耗情報をラベル付けした学習用データを複数含む学習用データセットを取得するステップと、

取得した前記学習用データセットを用いて、推定結果がラベル付けされている前記機器の軸受の摩耗情報に近づくように前記推定モデルを最適化するステップと、を含む、学習方法。

【請求項 13】

機器を駆動する電動機と、

前記電動機に電力を供給するインバータと、

前記インバータに電圧指令を出力して、前記電動機の駆動を制御する制御部と、

前記機器の軸受の摩耗情報を推定する摩耗推定部と、

前記摩耗推定部で推定した前記機器の軸受の摩耗情報に基づいて、前記電動機の故障を診断し、ユーザに通知する故障通知部と、を備え、

前記制御部は、

前記摩耗推定部で前記機器の軸受の摩耗情報を推定する場合に、前記電動機が安定した駆動となるように前記電動機の駆動を制御し、

前記摩耗推定部は、学習用データセットを用いた学習処理により生成された推定モデルに基づいて、前記電動機に流れる電流を示す第 1 状態変数、および前記機器の状態を示す変数のうち少なくとも 1 つの第 2 状態変数から、前記機器の軸受の摩耗情報を推定し、

前記学習用データセットは、前記第 1 状態変数および前記第 2 状態変数に対して、予め取得してある前記機器の軸受の摩耗情報をラベル付けした学習用データを複数含む、故障診断システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示では、電動機の故障を診断する故障診断装置、学習装置、学習方法、および故障診断システムに関する。

【背景技術】

【0002】

軸受を有する電動機を搭載している圧縮機において、故障原因の多くは、電動機の軸受の劣化、または軸受の破損に起因する。電動機の軸受が摩耗して劣化した状態で圧縮機を使用すると、劣化により電動機が停止して圧縮機の稼働に大きなダウンタイム（停止時間）が生じ、圧縮機の稼働率を低下させる。

【0003】

そこで、電動機の軸受が摩耗して劣化する前に、電動機の軸受の劣化を検知し、劣化した電動機の軸受を、たとえば、修理する等の適切な措置を行うことで、圧縮機のダウンタイムを削減または短縮することができ、圧縮機の稼働率を向上させることができる。特許文献 1 には、機器の複数の劣化度と、複数の状態量と、感度を示す複数のパラメータとの関係を示す数理モデルに対して、診断対象機の複数の状態量を適用し、診断対象機の複数の劣化度を推定する故障診断装置が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第 6397302 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 では、電動機がどのような駆動状態で劣化度（摩耗量）を推

10

20

30

40

50

定するののかについて記載されておらず、仮に電動機が加減速駆動している状態で電動機の軸受の劣化度を推定した場合、推定する劣化度に電動機の駆動状態による誤差が発生し、故障診断の精度が悪化する。故障診断の精度が悪化した場合、故障診断装置は、誤って電動機の軸受が劣化していると診断して、保守対応のため圧縮機を停止させるダウンタイムを発生させる虞があった。

【0006】

本開示では、上記のような課題を解決するためになされたもので、不測のダウンタイムを抑制し、適切な保守対応を図ることができるように電動機の故障を精度よく推定できる故障診断装置、学習装置、学習方法、および故障診断システム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】

【0007】

本開示に係る故障診断装置は、機器を駆動する電動機の故障を診断する。故障診断装置は、電動機の駆動を制御する制御部と、機器の軸受の摩耗情報を推定する摩耗推定部と、摩耗推定部で推定した機器の軸受の摩耗情報に基づいて、電動機の故障を診断し、ユーザに通知する故障通知部と、を備える。制御部は、摩耗推定部で機器の軸受の摩耗情報を推定する場合に、電動機が安定した駆動となるように前記電動機の駆動を制御する。摩耗推定部は、学習用データセットを用いた学習処理により生成された推定モデルに基づいて、電動機に流れる電流を示す第1状態変数、および前記機器の状態を示す変数のうち少なくとも1つの第2状態変数から、機器の軸受の摩耗情報を推定し、学習用データセットは、第1状態変数および第2状態変数に対して、予め取得してある機器の軸受の摩耗情報をラベル付けした学習用データを複数含む。

【発明の効果】

【0008】

本開示によれば、電動機の軸受の摩耗を精度よく推定でき、不測のダウンタイムを抑制し、適切な保守対応を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施の形態1における故障診断システムの構成の一例を説明するためのブロック図である。

【図2】圧縮機の内部構造の一例を示す断面図である。

【図3】圧縮機の主軸および主軸受の断面図である。

【図4】制御部の制御ブロック図である。

【図5】制御部での処理の一例を説明するためのフローチャートである。

【図6】電動機の動作状態と電動機の電流との関係を説明した図である。

【図7】摩耗推定部の一例を示す制御ブロック図である。

【図8】圧縮機の交換時期の表示形態の一例を説明する図である。

【図9】診断時期の発報タイミングの一例を説明した図である。

【図10】実施の形態2に係る制御部の制御ブロック図である。

【図11】実施の形態2に係る制御部での処理の一例を説明するためのフローチャートである。

【図12】電動機の速度に対する摩耗量の推定誤差を説明する図である。

【図13】実施の形態3における故障診断システムの構成の一例を説明するためのブロック図である。

【図14】実施の形態3における学習部の構成例を説明するための図である。

【図15】実施の形態3における学習部での学習処理のフローチャートの一例である。

【図16】実施の形態4における推定部の構成例を説明するための図である。

【図17】実施の形態4における推定部での推定処理のフローチャートの一例である。

【図18】実施の形態5における故障診断システムの構成の一例を説明するためのブロック図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、実施の形態に係る故障診断装置、学習装置、学習方法、および故障診断システムについて、図面を参照しながら説明する。ここで、各図面において、同一の符号を付した構成は、同一またはこれに相当する構成であり、以下に記載するすべての実施の形態において共通の構成であるとする。

【0011】

また、以下に記載するすべての実施の形態に表わされている構成要素の形態は、あくまでも例示であって、以下に記載された形態に限定するものではない。特に、構成要素の組み合わせは、各実施の形態における組み合わせのみに限定するものではなく、他の実施の形態に記載した構成要素を、別の実施の形態に適用することができる。さらに、圧力、温度などのパラメータの高低については、特に絶対的な値との関係で高低が定まるものではなく、装置などの状態、動作において相対的に定まるものとする。

10

【0012】

実施の形態1.

実施の形態1の故障診断システムSYS1について、図面を参照して説明する。図1は、実施の形態1における故障診断システムSYS1の構成の一例を説明するためのブロック図である。図1に示す故障診断システムSYS1は、故障診断の対象である電動機（図示せず）を含む圧縮機50と、当該電動機の故障を診断する故障診断装置1000を含む。

20

【0013】

圧縮機50を駆動する構成には、交流電源1と、整流回路2と、電解コンデンサ3と、インバータ4とを含む。整流回路2は、交流電源1からの三相（UVW相）交流電力を直流電力に変換する。電解コンデンサ3は、整流回路2からの直流電力を平滑化する。インバータ4は、整流回路2からの直流電力を三相交流電力に変換し、当該三相交流電力を圧縮機50に出力する。電圧センサ5は、電解コンデンサ3に印加される母線電圧Vdcを検出する。電流センサ6は、インバータ4から圧縮機50に至る配線7の途中に設けられ、インバータ4から圧縮機50に流れる三相交流の内の2相の電流（たとえば、電流Iuおよび電流Iv）を検出する。

【0014】

さらに、圧縮機50を駆動する構成には、圧縮機50の駆動を制御する制御部100を含む。制御部100は、電圧センサ5および電流センサ6で検出した結果に基づいて、インバータ4に電圧指令値（Vuvw_ref）を出力して圧縮機50をPWM（Pulse Width Modulation）制御で駆動する。実施の形態1では、当該制御部100が圧縮機50の駆動を制御する以外に、故障診断装置1000の構成の一部としても機能する。

30

【0015】

故障診断装置1000は、制御部100と、摩耗推定部200と、故障通知部300と、摩耗診断生成部400とを含む。故障診断装置1000は、各種のプログラムを実行するコンピュータなどのハードウェアで実現することができ、各種の処理を実行する演算主体には、たとえば、CPU（Central Processing Unit）、FPGA（Field-Programmable Gate Array）などが用いられる。

40

【0016】

制御部100は、摩耗推定判定器101を有している。また、制御部100は、摩耗診断生成部400からの故障診断開始信号Fsと、電圧センサ5からの母線電圧Vdcと、三相交流の内の2相の電流Iuvとに基づいて、摩耗推定部200に推定開始信号Esと位相推定値__estとを出力する。ここで、位相推定値__estとは、制御部100が電流センサ6で検出した三相交流の内の2相の電流に基づいて電動機の回転速度を推定した値である。

【0017】

摩耗推定部200は、三相交流の内の2相の電流と、推定開始信号Esと、位相推定値

50

— e s t とから、圧縮機 5 0 を駆動する電動機の軸受の劣化度（摩耗量）を推定する。なお、電動機の軸受の劣化度の一例として、以下の電動機の軸受の摩耗量を説明するが、これに限定されない。摩耗推定部 2 0 0 は、推定した摩耗量を摩耗推定量 $W_{\text{— e s t}}$ とし、故障通知部 3 0 0 および摩耗診断生成部 4 0 0 に出力する。なお、電動機の軸受の摩耗量は、摩耗情報のうちの 1 つの情報である。また、本開示では、三相交流の内の 2 相の電流を用いて電動機の軸受の劣化度を推定する例を説明するが、三相交流に限定されず、また三相交流の内の 3 相または 1 相の電流を用いて電動機の軸受の劣化度を推定してもよい。

【 0 0 1 8 】

故障通知部 3 0 0 は、摩耗推定部 2 0 0 で推定した摩耗推定量 $W_{\text{— e s t}}$ に応じて圧縮機 5 0 の交換時期を通知する。摩耗診断生成部 4 0 0 は、摩耗推定部 2 0 0 で推定した摩耗推定量 $W_{\text{— e s t}}$ に応じて制御部 1 0 0 の摩耗推定判定器 1 0 1 に電動機の軸受の摩耗推定を開始させる故障診断開始信号 F_s を出力する。

10

【 0 0 1 9 】

次に、圧縮機 5 0 の内部構造の一例について説明する。図 2 は、圧縮機 5 0 の内部構造の一例を示す断面図である。図 2 に示す圧縮機 5 0 は、吸入管 5 1 と、主軸 5 2 と、電動機 5 3 と、潤滑油 5 4、オイルポンプ 5 5 と、副軸受 5 6 と、主軸受 5 7 と、圧縮機構 5 8 と、吐出管 5 9 とを含む。圧縮機 5 0 は、空調機器の一部を構成し、配管を流れる冷媒を圧縮する冷凍サイクルを形成している。また、冷媒は、圧縮機 5 0 の吸入管 5 1 から吸入され、吐出管 5 9 から吐出される。

【 0 0 2 0 】

吸入管 5 1 は、低温かつ低圧の冷媒を圧縮機 5 0 の内部に吸入するための管である。吸入管 5 1 には、圧力センサ、温度センサ、湿度センサなどを取り付け、管内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを測定してもよい。また、空調機器内の配管にこれらセンサ類を取り付け、吸入管 5 1 内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを推定してもよい。

20

【 0 0 2 1 】

電動機 5 3 は、図示していないが、三相交流の電力線と接続され、インバータ 4 から印加される電圧に応じて駆動する。主軸 5 2 は、電動機 5 3 と接続され、回転エネルギーを圧縮機構 5 8 に伝える。潤滑油 5 4 は、圧縮機 5 0 の底部に溜まっており、オイルポンプ 5 5 で副軸受 5 6 および主軸 5 2 に供給され、副軸受 5 6 および主軸 5 2 を潤滑する。なお、潤滑油 5 4 の量を確認する手段として、潤滑油 5 4 の油面の高さを検知することができる液面センサを取り付け、潤滑油 5 4 の量を測定してもよい。

30

【 0 0 2 2 】

吐出管 5 9 は、圧縮機構 5 8 で圧縮された高温かつ高圧の冷媒を圧縮機 5 0 の外部に吐出するための管である。吐出管 5 9 には、圧力センサ、温度センサ、湿度センサなどを取り付け、管内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを測定してもよい。また、空調機器内の配管にこれらセンサ類を取り付け、吐出管 5 9 内を流れる冷媒の圧力、温度、湿度などを推定してもよい。

【 0 0 2 3 】

さらに、圧縮機 5 0 を駆動した場合の主軸 5 2 と主軸受 5 7 との状態を説明する。図 3 は、圧縮機 5 0 の主軸 5 2 および主軸受 5 7 の断面図である。なお、図 3 (a) には、主軸 5 2 と主軸受 5 7 とが潤滑状態で正常な駆動時の断面図が示され、図 3 (b) には、主軸 5 2 と主軸受 5 7 とが潤滑状態でなく異常な駆動時の断面図が示されている。図 3 (a) のように正常な駆動時、主軸 5 2 と主軸受 5 7 との間には十分な潤滑油 5 4 が満たされており、主軸 5 2 が主軸受 5 7 に対して一定の隙間を確保して円滑に回転している。一方で、図 3 (b) のように異常な駆動時、温度、経年劣化などの影響により、潤滑油 5 4 の粘度が低くなり、主軸 5 2 と主軸受 5 7 との間の油膜を確保できなくなる。そのため、主軸 5 2 と主軸受 5 7 とが一部で接触し、この接触した部分で主軸受 5 7 の摩耗が発生する。主軸受 5 7 が摩耗した状態で、さらに主軸 5 2 を回転し続ければ、主軸受 5 7 の摩耗がさらに悪化し、最終的に圧縮機 5 0 を停止（ダウンタイム）させて、圧縮機 5 0 の稼働率が低下する虞がある。

40

50

【 0 0 2 4 】

次に、制御部 1 0 0 での圧縮機 5 0 および故障診断装置 1 0 0 0 の制御について説明する。図 4 は、制御部 1 0 0 の制御ブロック図である。制御部 1 0 0 は、摩耗推定判定器 1 0 1 と、励磁電流指令生成器 1 0 2 と、P I (比例積分) 制御器 1 0 3 と、座標変換器 1 0 4 と、P I 制御器 1 0 5 と、P I 制御器 1 0 6 と、座標変換器 1 0 7 と、速度推定器 1 0 8 とを含む。摩耗推定判定器 1 0 1 は、摩耗診断生成部 4 0 0 からの故障診断開始信号 F s を受信して、摩耗推定部 2 0 0 に推定開始信号 E s を出力し、速度指令値 $_r e f$ を生成する。励磁電流指令生成器 1 0 2 は、速度指令値 $_r e f$ に応じて励磁電流指令値 $I d_r e f$ を生成する。P I 制御器 1 0 3 は、励磁電流指令値 $I d_r e f$ と座標変換器 1 0 7 で変換した d 軸電流 $I d$ との差分値に基づいて比例積分制御を施して d 軸電圧指令値 $V d_r e f$ を算出し、当該 d 軸電圧指令値 $V d_r e f$ を座標変換器 1 0 4 に出力する。

10

【 0 0 2 5 】

座標変換器 1 0 4 は、P I 制御器 1 0 3 からの d 軸電圧指令値 $V d_r e f$ および P I 制御器 1 0 6 からの q 軸電圧指令値 $V q_r e f$ に対して、速度推定器 1 0 8 で推定した位相推定値 $_e s t$ に基づいて座標変換処理を施し、三相交流の電圧指令値 $V u v w_r e f$ を算出し、当該電圧指令値 $V u v w_r e f$ をインバータ 4 に出力する。

【 0 0 2 6 】

P I 制御器 1 0 5 は、速度指令値 $_r e f$ と速度推定器 1 0 8 で推定した速度推定値 $_e s t$ との差分値に基づいて比例積分制御を施して q 軸電流指令値 $I q_r e f$ を算出し、当該 q 軸電流指令値 $I q_r e f$ を P I 制御器 1 0 6 に出力する。

20

【 0 0 2 7 】

P I 制御器 1 0 6 は、q 軸電流指令値 $I q_r e f$ と座標変換器 1 0 7 で変換した q 軸電流 $I q$ との差分値に基づいて比例積分制御を施して q 軸電圧指令値 $V q_r e f$ を算出し、当該 q 軸電圧指令値 $V q_r e f$ を座標変換器 1 0 4 に出力する。

【 0 0 2 8 】

座標変換器 1 0 7 は、式 1 を用いて三相交流の内の 2 相の電流 (たとえば、 $I u$ および $I v$) から電流 $I w$ を算出する。そして、座標変換器 1 0 7 は、速度推定器 1 0 8 で演算した位相推定値 $_e s t$ を使って三相交流の電流 $I u v w$ に対して座標変換処理を施して d 軸電流 $I d$ および q 軸電流 $I q$ を出力する。

30

$$I w = - I u - I v \cdots \text{ (式 1)}$$

速度推定器 1 0 8 は、d 軸電圧指令値 $V d_r e f$ 、q 軸電圧指令値 $V q_r e f$ 並びに d 軸電流 $I d$ および q 軸電流 $I q$ に基づいて、速度推定値 $_e s t$ および位相推定値 $_e s t$ を推定する。そして、推定された速度推定値 $_e s t$ は、P I 制御器 1 0 5 出力され、推定された位相推定値 $_e s t$ は、座標変換器 1 0 4、座標変換器 1 0 7 および摩耗推定部 2 0 0 に出力される。ここで、速度推定器 1 0 8 は、たとえば、公知技術である適応磁束オブザーバを適用して速度推定値 $_e s t$ および位相推定値 $_e s t$ を推定する。適用磁束オブザーバについての詳しい説明は省略するが、適用磁束オブザーバは、鎖交磁束数の変動に対してロバスト性を有しており、定常的な速度推定に誤差が発生しない点で優れている。このため、適応磁束オブザーバは、高性能な速度推定法として広く認知されている。なお、速度推定器 1 0 8 は、適応磁束オブザーバを用いて速度推定を行う構成に限定されるものではない。

40

【 0 0 2 9 】

制御部 1 0 0 では、図 4 で示すように圧縮機 5 0 を駆動する電動機 5 3 の速度推定を行い、摩耗推定判定器 1 0 1 で生成した速度指令値 $_r e f$ に追従するように電動機 5 3 の速度を制御することができる。

【 0 0 3 0 】

制御部 1 0 0 が、電動機 5 3 の故障診断を行うか否かの制御についてさらに詳しく説明する。図 5 は、制御部 1 0 0 での処理の一例を示す説明するためのフローチャートである。図 5 では、摩耗推定判定器 1 0 1 の制御フローについて説明する。摩耗推定判定器 1 0

50

1は、摩耗診断生成部400からの故障診断開始信号Fsが「ON」信号であるか否かを判定する(ステップS101)。故障診断開始信号Fsが「ON」信号である場合(ステップS101でYES)、摩耗推定判定器101は、故障診断を開始すると判定し、速度指令値 $\underline{r e f}$ が一定値となるように指令値を生成して、当該速度指令値 $\underline{r e f}$ を励磁電流指令生成器102およびPI制御器105に出力する(ステップS102)。

【0031】

摩耗推定判定器101は、速度指令値 $\underline{r e f}$ を生成した後、「ON」信号の推定開始信号Esを摩耗推定部200に出力する(ステップS103)。摩耗推定部200は、当該推定開始信号Esを受信することで主軸受57の摩耗量を推定する処理を実施する。

【0032】

一方、故障診断開始信号Fsが「OFF」信号である場合(ステップS101でNO)、摩耗推定判定器101は、圧縮機50に対して通常運転を行うと判定する(ステップS104)。摩耗推定判定器101は、通常運転の場合、圧縮機50の負荷状態に応じた速度指令値 $\underline{r e f}$ を生成して、当該速度指令値 $\underline{r e f}$ を励磁電流指令生成器102およびPI制御器105に出力する。摩耗推定判定器101は、たとえば、圧縮機50の負荷状態が高ければ、高い速度指令値 $\underline{r e f}$ を生成し、圧縮機50の負荷状態が低ければ、低い速度指令値 $\underline{r e f}$ を生成して、負荷状態に応じて電動機53を加減速駆動する。つまり、摩耗推定判定器101は、図5で示すように、故障診断開始信号Fsが「ON」信号である場合、故障診断を開始するため電動機53を一定駆動となる速度指令値 $\underline{r e f}$ を生成し、「OFF」信号である場合、通常運転するため圧縮機50の負荷状態に応じた速度指令値 $\underline{r e f}$ を生成する。

【0033】

図6は、電動機53の動作状態と電動機53の電流との関係を説明した図である。図6(a)では、電動機53が加速駆動中の速度指令値および電流値の変化が図示されている。図6(a)の上段のグラフは、横軸を経過時間(sec)、縦軸を速度指令値(rad/sec)としている。図6(a)の下段のグラフは、横軸を経過時間(なお、上段のグラフの経過時間とはスケールが異なる)、縦軸を電動機53のU相の電流値としている。

【0034】

図6(b)では、電動機53が一定駆動中の速度指令値および電流値の変化が図示されている。図6(b)の上段のグラフは、横軸を経過時間(sec)、縦軸を速度指令値(rad/sec)としている。図6(b)の下段のグラフは、横軸を経過時間(なお、上段のグラフの経過時間とはスケールが異なる)、縦軸を電動機53のU相の電流値としている。

【0035】

また、図6に示す期間Ta、期間Tb、期間Tcは、ある時点における電動機53の電流の1周期を表している。既に説明したように、圧縮機50に搭載された電動機53が加速駆動している場合、時間の経過と共に速度指令値 $\underline{r e f}$ が高くなり、電動機53の電流の振幅も徐々に大きくなる。また、速度指令値 $\underline{r e f}$ の上昇と共に、電動機53の電流の1周期の長さが徐々に短くなる($T a > T b$)。なお、電動機53が減速駆動している場合、時間の経過と共に速度指令値 $\underline{r e f}$ が低くなり、電動機53の電流の振幅も徐々に小さくなる。また、速度指令値 $\underline{r e f}$ の低下と共に、電動機53の電流の1周期の長さが徐々に長くなる($T a < T b$)。

【0036】

一方、圧縮機50の負荷状態に急激な変動がない場合、速度指令値 $\underline{r e f}$ が一定となり、電動機53の電流の振幅も一定となる。また、速度指令値 $\underline{r e f}$ が一定の場合、電動機53の電流の1周期の長さも一定となる(Tc)。よって、圧縮機50の電動機53が一定駆動している場合、電動機53が加減速駆動中の場合と比較して、電動機53の電流の変動が小さく、主軸受57の摩耗量を推定する条件に適している。たとえば、一定駆動とは、電動機53の回転速度が目標とする回転速度に対して±1%以内で駆動している状態が望ましい。この区間の回転速度であれば、摩耗情報の推定の精度を高めること

10

20

30

40

50

ができる。回転速度が実質同じで変化していない状態であると、さらに摩耗情報の推定の精度が高まるため望ましい。

【0037】

次に、摩耗推定部200で主軸受57の摩耗量を推定する処理について詳しく説明する。図7は、摩耗推定部200の一例を示す制御ブロック図である。摩耗推定部200は、図7に示すように、三相変換器201、位相変換器202、座標変換器203、ローパスフィルタ204、205、絶対値演算器206、切替器207を含む。

【0038】

三相変換器201は、2相の電流(I_u 、 I_v)から式1を用いてW相電流 I_w を演算し、三相交流の電流 I_{uvw} を座標変換器203に出力する。位相変換器202では、速度推定器108からの位相推定値 θ_{est} を反転し、反転した位相推定値 $-\theta_{est}$ を算出する。座標変換器203は、位相変換器202で反転した位相推定値 $-\theta_{est}$ を用いて三相交流の電流 I_{uvw} に対して座標変換処理を行い、三相交流の電流 I_{uvw} を直交する2軸の直流成分に変換する。

10

【0039】

ローパスフィルタ204、205は、座標変換器203で変換した2軸の直流成分から交流成分を除去し、必要な直流成分のみを抽出する。絶対値演算器206では、2軸の直流成分の絶対値すなわち、二乗和の平方根値を求めて逆相電流値を得る。さらに、絶対値演算器206は、当該逆相電流値に応じた摩耗推定量 W_{est1} を算出し、当該摩耗推定量 W_{est1} を切替器207に出力する。なお、座標変換器203およびローパスフィルタ204、205は、逆方向に回転する電流成分に特化したバンドパスフィルタとなっており、直流成分を取り出せる効果があり、簡便で高性能のフィルタとして機能している。

20

【0040】

切替器207は、推定開始信号 E_s に応じて摩耗推定量 W_{est1} を出力するか否か切替える。具体的に、切替器207は、推定開始信号 E_s が「ON」信号である場合、絶対値演算器206から出力された摩耗推定量 W_{est1} を出力し、推定開始信号 E_s が「OFF」信号である場合、前回の摩耗推定量 W_{est} を摩耗推定量 W_{est2} として出力する。

【0041】

次に、図8は、圧縮機50の交換時期の表示形態の一例を説明する図である。故障通知部300では、図8(a)に示す基準に基づいて、摩耗推定量 W_{est} の値に応じた故障までの期間をユーザに通知している。図8(a)に示す基準では、摩耗推定量 W_{est} が大きければ、故障通知部300の表示期間が短くなるように設定されている。たとえば、摩耗推定量が0「 μm 」なら故障通知部300は「12ヶ月」を表示期間として設定する。また、摩耗推定量が20「 μm 」未満なら故障通知部300は「10ヶ月」を表示期間として設定する。また、摩耗推定量が40「 μm 」未満なら故障通知部300は「8ヶ月」を表示期間として設定する。また、摩耗推定量が60「 μm 」未満なら故障通知部300は「6ヶ月」を表示期間として設定する。また、摩耗推定量が80「 μm 」未満なら故障通知部300は「4ヶ月」を表示期間として設定する。また、摩耗推定量が100「 μm 」未満なら故障通知部300は「2ヶ月」を表示期間として設定する。さらに、図8(a)で設定された表示期間に応じて、たとえば、故障通知部300は、図8(b)に示すように「あと、 Δt 以内に圧縮機を交換して下さい」とディスプレイ(図示せず)に表示して、ユーザに圧縮機50の交換を促す。ここで、 Δt は表示期間を意味している。なお、故障通知部300がユーザに交換を促す対象は圧縮機50に限られず、電動機53または電動機53の主軸受57などであってもよい。

30

40

【0042】

次に、図9は、診断時期の発報タイミングの一例を説明した図である。摩耗診断生成部400は、図9に示す基準に基づいて、摩耗推定量 W_{est} の値に応じた診断時期で故障診断を行っている。摩耗診断生成部400は、図9に示す診断期間毎に制御部100に

50

対して故障診断開始信号 F_s を発報する。摩耗診断生成部 400 は、摩耗推定量 W_{est} が大きければ、診断期間が短くなるように設定されている。摩耗診断生成部 400 は、たとえば、摩耗推定量が 0「 μm 」なら診断時期が「30日」の間隔で故障診断開始信号 F_s を発報する。また、摩耗診断生成部 400 は、摩耗推定量が 20「 μm 」未満なら診断時期が「7日」の間隔で故障診断開始信号 F_s を発報する。また、摩耗診断生成部 400 は、摩耗推定量が 40「 μm 」未満なら診断時期が「3日」の間隔で故障診断開始信号 F_s を発報する。また、摩耗診断生成部 400 は、摩耗推定量が 60「 μm 」未満なら診断時期が「1日」の間隔で故障診断開始信号 F_s を発報する。また、摩耗診断生成部 400 は、摩耗推定量が 80「 μm 」未満なら診断時期が「12時間」の間隔で故障診断開始信号 F_s を発報する。また、摩耗診断生成部 400 は、摩耗推定量が 100「 μm 」未満なら診断時期が「1時間」の間隔で故障診断開始信号 F_s を発報する。ここで、摩耗診断生成部 400 が故障診断開始信号 F_s を発報するとは、「ON」信号の故障診断開始信号 F_s を出力することを意味しており、それ以外は、「OFF」信号の故障診断開始信号 F_s を出力する。摩耗診断生成部 400 は、故障通知部 300 でユーザに圧縮機 50 の交換を促す表示を行う期間より短い期間で診断時期を設定する。つまり、摩耗診断生成部 400 は、故障通知部 300 が摩耗情報に基づく情報（たとえば、圧縮機 50 の交換を促す情報）をユーザに通知する期間より短い期間で故障診断の開始を示す信号を生成する。

【0043】

以上のように、実施の形態 1 に係る故障診断装置 1000 は、機器を駆動する電動機の故障を診断する。故障診断装置 1000 は、電動機 53 の駆動を制御する制御部 100 と、電動機 53 に流れる電流に基づいて、電動機 53 の軸受の摩耗量を推定する摩耗推定部 200 と、摩耗推定部 200 で推定した電動機 53 の軸受の摩耗量に基づいて、電動機 53 の故障を診断し、ユーザに通知する故障通知部 300 と、を備える。制御部 100 は、摩耗推定部 200 で電動機 53 の軸受の摩耗量を推定する場合に、電動機 53 が一定駆動するように電動機 53 の駆動を制御する。

【0044】

これにより、故障診断装置 1000 は、電動機 53 が一定駆動中に軸受の摩耗量を推定するため、電動機 53 が加減速駆動中よりも摩耗量を精度よく推定でき、不測のダウンタイムを抑制し、適切な保守対応を図ることができる。

【0045】

また、制御部 100 は、電動機 53 を一定駆動させるために、回転速度を一定とする駆動で電動機 53 を制御（たとえば、速度指令値 ω_{ref} が一定値となるように指令値を生成）することが好ましい。これにより、制御部 100 は、回転速度を一定とする駆動で電動機 53 を制御して、電動機 53 が一定駆動中に軸受の摩耗量を摩耗推定部 200 に推定させることができる。

【0046】

さらに、摩耗推定部 200 で推定した摩耗量に基づいて、制御部 100 に対して故障診断の開始を示す信号を生成する摩耗診断生成部 400 をさらに備えることが好ましい。これにより、制御部 100 は、故障診断の開始を示す信号（故障診断開始信号 F_s ）に基づいて故障診断の開始を制御できる。なお、摩耗診断生成部 400 は、故障通知部 300 が摩耗情報に基づく情報をユーザに通知する期間より短い期間で故障診断の開始を示す信号を生成することが好ましい。

【0047】

また、故障通知部 300 は、摩耗推定部 200 で推定した電動機 53 の軸受の摩耗量に基づいて、電動機 53 の軸受の交換時期をユーザに通知することが好ましい。これにより、故障通知部 300 は、ユーザに対して電動機 53 の軸受または電動機 53 の交換を適切に促すことができ、また保守を実施するタイミングを事前に認知させることが可能となるので、適切な保守対応を図ることができる。

【0048】

さらに、実施の形態 1 に係る故障診断システム $SY S 1$ は、機器を駆動する電動機 53

と、電動機 5 3 に電力を供給するインバータ 4 と、インバータ 4 に電圧指令を出力して、電動機 5 3 の駆動を制御する制御部 1 0 0 と、電動機 5 3 に流れる電流に基づいて、電動機 5 3 の軸受の摩耗量を推定する摩耗推定部 2 0 0 と、摩耗推定部 2 0 0 で推定した電動機 5 3 の軸受の摩耗量に基づいて、電動機 5 3 の故障を診断し、ユーザに通知する故障通知部 3 0 0 と、を備える。制御部 1 0 0 は、摩耗推定部 2 0 0 で電動機 5 3 の軸受の摩耗量を推定する場合に、電動機 5 3 が一定駆動するように電動機 5 3 の駆動を制御する。

【 0 0 4 9 】

これにより、故障診断システム S Y S 1 は、電動機 5 3 が一定駆動中に軸受の摩耗量を推定するため、電動機 5 3 が加減速駆動中よりも摩耗量を精度よく推定でき、不測のダウンタイムを抑制し、適切な保守対応を図ることができる。

10

【 0 0 5 0 】

実施の形態 2 .

実施の形態 1 の故障診断装置 1 0 0 0 では、電動機 5 3 を一定駆動する制御を行い、電動機 5 3 が一定駆動中に電動機 5 3 の軸受の摩耗量を推定する構成について説明した。実施の形態 2 では、電動機 5 3 の速度を考慮して電動機 5 3 を一定駆動する制御を行う構成について説明する。図 1 0 は、実施の形態 2 に係る制御部 1 0 0 の制御ブロック図である。実施の形態 2 では、実施の形態 1 と比較して、摩耗推定判定器 1 0 9 の入出力の情報が異なる。なお、実施の形態 2 に係る故障診断システムのその他の構成については、実施の形態 1 の構成と同じであり、同じ構成には同じ符号を付して詳細な説明は繰り返さない。

【 0 0 5 1 】

20

摩耗推定判定器 1 0 9 は、図 1 0 に示すように、故障診断開始信号 F s と、電圧センサ 5 からの母線電圧 V d c と、P I 制御器 1 0 3 からの d 軸電圧指令値 V d _ r e f と、P I 制御器 1 0 6 からの q 軸電圧指令値 V q _ r e f とが入力される。つまり、摩耗推定判定器 1 0 9 は、母線電圧 V d c 、 d 軸電圧指令値 V d _ r e f および q 軸電圧指令値 V q _ r e f を考慮して、推定開始信号 E s および速度指令値 _ r e f を生成する。

【 0 0 5 2 】

図 1 1 は、実施の形態 2 に係る制御部 1 0 0 での処理の一例を示す説明するためのフローチャートである。図 1 1 では、摩耗推定判定器 1 0 9 の制御フローについて説明する。摩耗推定判定器 1 0 9 は、摩耗診断生成部 4 0 0 からの故障診断開始信号 F s が「ON」信号であるか否かを判定する（ステップ S 1 0 1）。故障診断開始信号 F s が「ON」信号である場合（ステップ S 1 0 1 で Y E S）、摩耗推定判定器 1 0 9 は、母線電圧 V d c 、 d 軸電圧指令値 V d _ r e f および q 軸電圧指令値 V q _ r e f に基づき変調率を演算する（ステップ S 1 0 5）。具体的に、摩耗推定判定器 1 0 9 は、以下の（式 2）を用いて変調率 D u t y を演算する。

30

【 0 0 5 3 】

【数 1】

$$Duty = \frac{\sqrt{2} \times \sqrt{V_{d_ref}^2 + V_{q_ref}^2}}{V_{dc}} \dots (式2)$$

40

【 0 0 5 4 】

次に、摩耗推定判定器 1 0 9 は、演算した変調率 D u t y が予め設定した値 A 以上で、予め設定した値 B 未満であるか否かを判定する（ステップ S 1 0 6）。演算した変調率 D u t y が予め設定した値 A 以上で、予め設定した値 B 未満である場合（ステップ S 1 0 6 で Y E S）、摩耗推定判定器 1 0 9 は、故障診断を開始すると判定し、速度指令値 _ r e f が一定値となるように指令値を生成して、当該速度指令値 _ r e f を励磁電流指令生成器 1 0 2 および P I 制御器 1 0 5 に出力する（ステップ S 1 0 2）。

【 0 0 5 5 】

摩耗推定判定器 1 0 9 は、速度指令値 _ r e f を生成した後、「ON」信号の推定開始信号 E s を摩耗推定部 2 0 0 に出力する（ステップ S 1 0 3）。摩耗推定部 2 0 0 は、

50

当該推定開始信号 E_s を受信することで主軸受 57 の摩耗量を推定する処理を実施する。

【0056】

一方、故障診断開始信号 F_s が「OFF」信号である場合（ステップ S101 で NO）、または演算した変調率 $Duty$ が予め設定した値 A 未満、または予め設定した値 B 以上である場合（ステップ S106 で NO）、摩耗推定判定器 109 は、圧縮機 50 に対して通常運転を行うと判定する（ステップ S104）。

【0057】

なお、予め設定した値 A は、電圧飽和が発生する 1 未満の値に設定すればよく、たとえば、圧縮機 50 の負荷変動が発生することを考慮して 0.9 に設定する。また、予め設定した値 B は、電圧飽和が発生しない 1 以上に設定する。

10

【0058】

ここで、電動機 53 の速度に対する摩耗推定誤差の関係について説明する。図 12 は、電動機 53 の速度に対する摩耗量の推定誤差を説明する図である。図 12 に示す横軸は、電動機 53 の速度（回転数）を表し、縦軸は、主軸受 57 の摩耗推定誤差を表している。ここで、摩耗推定誤差とは、摩耗推定量 W_{est} と実摩耗量との絶対値の差分である。実摩耗量は、事前に軸受を決まった値に削って摩耗を再現したときの摩耗量である。

【0059】

図 12 から分かるように、電動機 53 の速度において摩耗推定誤差が大きければ、摩耗量を推定する期間に適しておらず、逆に、摩耗推定誤差が小さければ、摩耗量の推定に適している期間である。ここで、電動機 53 の速度が低速の場合（変調率 < 1 の領域）、速度推定器 108 内で速度推定誤差の影響を受けやすくなるため、位相推定値 $_{est}$ に誤差が発生する。そのため、摩耗推定誤差が大きくなり、予め設定した値 A より小さい変調率では摩耗量を推定する期間に適していない。

20

【0060】

一方、電動機 53 の速度が高速の場合（変調率 > 1 の領域）、電圧飽和状態となりインバータ 4 が過変調となり、座標変換器 104 は、意図した電圧指令値 V_{unw_ref} を出力できない。そのため、摩耗推定誤差が大きくなり、予め設定した値 B 以上の変調率では摩耗量を推定する期間に適していない。よって、摩耗推定判定器 109 は、変調率が予め設定した値 A 以上で、予め設定した値 B 未満の範囲で、速度指令値 $_{ref}$ を一定値となるように指令値を生成することで、摩耗推定部 200 での摩耗推定誤差が小さくなるので、摩耗量を推定する期間に適していると判定できる。

30

【0061】

なお、図 11 に示すフローチャートのうち、ステップ S101 からステップ S104 までの処理は、実施の形態 1 で説明した内容と同等である。

【0062】

以上のように、実施の形態 2 に係る故障診断装置 1000 は、制御部 100 が、演算した変調率に基づいて、電動機 53 を一定駆動させる制御を行うか否かを判定する。これにより、故障診断装置 1000 は、変調率に応じて電動機 53 の速度指令値を決定し、摩耗量の推定を実施できるので、圧縮機 50 の負荷変動の影響も考慮して、摩耗量の推定を精度よく実施できる。さらに、実施の形態 2 では、不測のダウンタイムを抑制し、適切な保守対応を図ることができる。

40

【0063】

また、制御部 100 は、演算した変調率が 0.9 以上 1.0 未満の場合、電動機を一定駆動させる制御を行うことが好ましい。これにより、制御部 100 は、変調率が 1 近傍で速度指令値を決定し摩耗量の推定を実施するので、低速域の位相推定誤差による摩耗量の推定精度の悪化、および、高速域の電圧飽和による摩耗量の推定精度の悪化を抑制できる。

【0064】

実施の形態 3 .

実施の形態 3 に係る故障診断装置 1000 では、いわゆる人工知能（AI : artificial intelligence）を用いて、電動機 53 の軸受の摩耗情報（摩耗量）の推定を行う構成につ

50

いて説明する。なお、実施の形態3では、電動機53の主軸受57の摩耗情報の推定を行う説明に先立って、まず、学習処理について説明する。この学習処理は、電動機の軸受の摩耗情報を推定するために用いられる推定モデルを生成するため処理である。また、実施の形態4では、実施の形態3で生成した推定モデルを用いた電動機の軸受の摩耗情報を推定する処理について説明する。

【0065】

図13は、実施の形態3における故障診断システムSYS2の構成の一例を説明するためのブロック図である。実施の形態3における故障診断システムSYS2では、実施の形態1における故障診断システムSYS1と比べて、摩耗推定部200が摩耗推定部500と異なる以外は構成が同じであり、同じ構成には同じ符号を付して詳細な説明を繰り返さない。

10

【0066】

摩耗推定部500は、摩耗推定部200と入出力の情報と内部処理とが異なる。摩耗推定部500は、制御部100からの推定開始信号Es、電流センサ6で検出した三相交流の内の2相の電流(たとえば、IuおよびIv)、圧縮機50内での冷媒の圧力、圧縮機50周辺の温度、圧縮機50周辺の湿度、および冷媒の流量を含む状態量を取得する。ここで、「圧縮機50内での冷媒の圧力」を「冷媒圧力」という。「圧縮機50周辺の温度」を「温度」という。「圧縮機50周辺の湿度」を「湿度」という。「冷媒の流量」を「冷媒流量」という。冷媒圧力、温度、湿度、および冷媒流量は、空調機器の運転状態を示す状態量である。そして、摩耗推定部500は、電流センサ6で検出した三相交流の内の2相の電流と、運転状態を示す状態量とに基づいて人工知能で推定した摩耗推定量W_{est}を故障通知部300と摩耗診断生成部400とに出力する。

20

【0067】

摩耗推定部500には、学習部500Aと、推定部500Bとを含む。まず、学習部500Aについて説明する。図14は、実施の形態3における学習部500Aの構成例を説明するための図である。学習部500Aは、第1測定器501と、第2測定器502と、摩耗判定器503と、観測器504と、変換器505と、取得器506と、抽出器507と、学習器508とを有する。

【0068】

第1測定器501は、電流センサ6が検出した三相交流の内の2相の電流(I_{uv})を測定する。第1測定器501は、検出した電流を観測器504に時系列データとして出力する。また、電流センサ6が検出した電流を「第1状態変数」ともいう。

30

【0069】

第2測定器502は、冷媒圧力、温度、湿度、および冷媒流量を時系列データとして観測器504に出力する。冷媒圧力、温度、湿度、および冷媒流量を、「第2状態変数」または「空調機器の運転状態を示す変数」ともいう。第2状態変数は、冷媒圧力、温度、湿度、および冷媒流量の情報をすべて含む場合に限りならず、冷媒圧力、温度、湿度、および冷媒流量のうち少なくとも1つの情報であっても、冷媒圧力、温度、湿度、および冷媒流量の情報にさらに追加の情報(たとえば、圧縮機50の周辺の動作音など)を含んでもよい。第1状態変数および第2状態変数をまとめて「状態変数」ともいう。「状態変数」は、「パラメータ」または「特徴量」と表現してもよい。

40

【0070】

観測器504は、第1測定器501および第2測定器502からの時系列データを観測することにより、これらの時系列データから各々の状態変数を取得する。観測器504が取得した各々の状態変数は、変換器505に入力される。変換器505は、取得した状態変数のそれぞれを周波数領域に変換する。変換器505は、たとえば、フーリエ変換または高速フーリエ変換により、取得した状態変数のそれぞれを周波数領域に変換する。なお、変換器505は、他の手法により、取得した状態変数のそれぞれを周波数領域に変換してもよい。変換器505により周波数領域に変換された各々の状態変数の周波数特性は、取得器506に出力される。

50

【0071】

摩耗判定器503は、たとえば、予め定められた方法を用いて、電動機53の主軸受57の摩耗を判定する。実施の形態4で説明する推定部500Bによって推定される摩耗情報とは独立して、摩耗判定器503が摩耗情報を生成する。ここで、摩耗情報は、電動機53の主軸受57の摩耗量の情報を少なくとも含み、電動機53の主軸受57の摩耗の有無などの他の情報を含んでもよい。さらに、摩耗判定器503は、推定開始信号Esに基づいて摩耗情報を推定するか否かの判定を行う。また、摩耗判定器503は、実施の形態4で説明する推定部500Bを模擬したシミュレーション環境において、電動機53の主軸受57の摩耗状態を再現しておき、その摩耗状態に応答して摩耗情報を推定してもよい。摩耗判定器503が生成した摩耗情報は、取得器506に入力される。

10

【0072】

取得器506は、電動機53の各々の状態変数の周波数特性に軸受の摩耗情報がラベル付けされた複数の学習用データを含む学習用データセットを取得する。取得器506は、たとえば、変換器505により変換された各々の状態変数の周波数特性と、摩耗判定器503が生成した摩耗情報とを対応付けて学習用データセットとして取得する。また、抽出器507は、学習用データセットから周波数特性を抽出する。学習器508は、学習用データセットから抽出された周波数特性を推定モデルに入力し、当該推定モデルから出力される推定結果が、当該学習用データセットにラベル付けされている摩耗情報に近づくように、推定モデルのパラメータを最適化する。推定モデルは、たとえば、ニューラルネットワークと当該ニューラルネットワークによって用いられるパラメータとを含む。

20

【0073】

次に、学習部500Aでの学習処理についてフローチャートを用いて説明する。図15は、実施の形態3における学習部500Aでの学習処理のフローチャートの一例である。学習部500Aは、摩耗判定器503において、摩耗推定判定器101からの推定開始信号Esが「ON」信号であるか否かに基づいて摩耗情報の推定開始を判定する（ステップS501）。推定開始信号Esが「OFF」信号である場合（ステップS501でNO）、学習部500Aは、処理をステップS501に戻す。一方、推定開始信号Esが「ON」信号である場合（ステップS501でYES）、学習部500Aは、摩耗判定器503において摩耗情報を生成させ、生成された摩耗情報を取得器506で取得する（ステップS502）。

30

【0074】

学習部500Aは、第1測定器501および第2測定器502の時系列データから各々の状態変数を観測器504で取得する（ステップS503）。学習部500Aは、取得した各々の状態変数を変換器505で周波数領域に変換することにより、各々の状態変数の周波数特性を生成する（ステップS504）。学習部500Aは、取得器506において、ステップS502で取得した摩耗情報とステップS504で生成された周波数特性とを対応付けて学習用データセットとして生成する（ステップS505）。

【0075】

学習部500Aは、抽出器507において、学習用データセットに含まれる複数の学習用データのうちから1つの学習用データを選択する（ステップS506）。学習部500Aは、抽出器507において、選択した学習用データから各々の周波数特性を抽出する（ステップS507）。学習部500Aは、抽出器507において、抽出した各々の周波数特性を推定モデルに入力して推定結果を生成する（ステップS508）。学習部500Aは、学習器508で、ステップS506で選択した学習用データの摩耗情報と、ステップS508で生成された推定結果との誤差に基づいて、推定モデルのパラメータを最適化する（ステップS509）。

40

【0076】

次に、学習部500Aは、学習器508で、生成した学習用データセットの全てについて処理済みか否かを判定する（ステップS510）。学習用データセットの全てについて処理済みでないと判定した場合（ステップS510でNO）、学習部500Aは、処理を

50

ステップ S 5 0 6 に戻す。一方、学習用データセットの全てについて処理済みであると判定した場合（ステップ S 5 1 0 で Y E S ）、学習部 5 0 0 A は、学習処理は終了する。学習部 5 0 0 A は、学習処理が終了することで適切に、学習済の推定モデルを生成できる。

【 0 0 7 7 】

学習部 5 0 0 A では、摩耗判定器 5 0 3 により生成された摩耗情報を用いる、いわゆる教師あり学習に基づく学習処理を実行する。なお、学習部 5 0 0 A での学習処理は、教師あり学習に基づく学習処理に限定されず、いわゆる教師なし学習に基づく学習処理を実行してもよい。教師なし学習に基づく学習処理とは、入力データ（たとえば、各々の周波数特性）のみを大量に学習部 5 0 0 A に与えることで、入力データがどのような分布をしているか学習し、対応する学習用データセットに正解情報（たとえば、摩耗情報）を与えなくても、入力データに対して圧縮・分類・整形等を行い学習する処理である。

10

【 0 0 7 8 】

学習部 5 0 0 A では、学習用データセットの特徴を、類似するデータセット同士にクラスタリングする。学習部 5 0 0 A は、このクラスタリングの結果を用いて、何らかの基準を設けて学習用データセットが最適となるように、推定モデルからの出力に割り当てて推定モデルのパラメータを更新してもよい。また、教師なし学習と教師あり学習との中間的な学習処理として、学習部 5 0 0 A は、「半教師あり学習」に基づいた学習処理を実行するようにしてもよい。半教師あり学習に基づく学習処理とは、全ての周波数特性のうち一部の周波数特性については、対応する摩耗情報を用いた学習用データで学習を行い、他の周波数特性については、対応する摩耗情報を用いずに学習を行う学習処理である。

20

【 0 0 7 9 】

以上のように、実施の形態 3 に係る学習部 5 0 0 A は、機器を駆動する電動機 5 3 の軸受の摩耗情報を推定するための推定モデルを学習させる学習装置である。推定モデルは、電動機 5 3 に流れる電流を示す第 1 状態変数、および空調機器の運転状態を示す変数のうち少なくとも 1 つの第 2 状態変数から、電動機 5 3 の軸受の摩耗情報を推定する。学習部 5 0 0 A は、第 1 状態変数および第 2 状態変数に対して、予め取得してある電動機 5 3 の軸受の摩耗情報をラベル付けした学習用データを複数含む学習用データセットを取得する取得器 5 0 6 と、取得器 5 0 6 で取得した学習用データセットを用いて、推定結果がラベル付けされている電動機 5 3 の軸受の摩耗情報に近づくように推定モデルを最適化する学習器 5 0 8 と、を備える。

30

【 0 0 8 0 】

これにより、学習部 5 0 0 A は、学習用データセットを用いて、推定結果がラベル付けされている電動機 5 3 の軸受の摩耗情報に近づくように推定モデルを最適化することで、当該推定モデルを用いて電動機 5 3 が一定動作中の電動機 5 3 の軸受の摩耗情報を高い精度で推定することができるようになる。

【 0 0 8 1 】

学習部 5 0 0 A において、機器を駆動する電動機 5 3 の軸受の摩耗情報を推定するための推定モデルを学習させる学習方法であって、第 1 状態変数および第 2 状態変数に対して、予め取得してある電動機 5 3 の軸受の摩耗情報をラベル付けした学習用データを複数含む学習用データセットを取得するステップと、取得した学習用データセットを用いて、推定結果がラベル付けされている電動機 5 3 の軸受の摩耗情報に近づくように推定モデルを最適化するステップと、を含む。

40

【 0 0 8 2 】

実施の形態 4 .

実施の形態 4 では、実施の形態 3 で学習処理した推定モデルを用いて、電動機 5 3 の主軸受 5 7 の摩耗情報の推定を行う推定処理について説明する。推定部 5 0 0 B は、実施の形態 3 で生成された学習済の推定モデルを用いて、主軸受 5 7 の摩耗情報を推定する。また、推定部 5 0 0 B は、学習済の推定モデルを、ネットワーク（図示せず）経由で他の故障診断装置 2 0 0 0 の学習部 5 0 0 A から取得するようにしてもよい。さらに、推定部 5 0 0 B は、学習部 5 0 0 A と一体化させて、推定部 5 0 0 B は、学習部 5 0 0 A が生成し

50

た学習済の推定モデルを取得するようにしてもよい。

【 0 0 8 3 】

図 1 6 は、実施の形態 4 における推定部 5 0 0 B の構成例を説明するための図である。実施の形態 4 における故障診断システムは、実施の形態 3 の図 1 3 で示した故障診断システム S Y S 2 の構成と同じであるため、同じ構成には同じ符号を付して詳細な説明を繰り返さない。

【 0 0 8 4 】

推定部 5 0 0 B は、図 2 で示した電動機 5 3 の主軸受 5 7 の摩耗情報を推定する。推定部 5 0 0 B は、第 1 測定器 5 0 1 と、第 2 測定器 5 0 2 と、観測器 5 0 9 と、変換器 5 0 5 と、生成器 5 1 0 と、出力器 5 1 1 とを有する。

10

【 0 0 8 5 】

第 1 測定器 5 0 1 は、電流センサ 6 が検出した三相交流の内の 2 相の電流 (I u v) を測定する。第 1 測定器 5 0 1 は、検出した電流を観測器 5 0 9 に時系列データとして出力する。第 2 測定器 5 0 2 は、冷媒圧力、温度、湿度、および冷媒流量を時系列データとして観測器 5 0 9 に出力する。

【 0 0 8 6 】

観測器 5 0 9 は、推定開始信号 E s に応じて第 1 測定器 5 0 1 および第 2 測定器 5 0 2 からの時系列データを観測することにより、これらの時系列データから各々の状態変数を取得する。状態変数は、実施の形態 3 で説明した状態変数である。変換器 5 0 5 は、取得した状態変数のそれぞれを周波数領域に変換する。

20

【 0 0 8 7 】

生成器 5 1 0 は、学習済の推定モデル 5 1 0 0 を含む。学習済の推定モデル 5 1 0 0 は、学習部 5 0 0 A において学習処理を実行することで生成される推定モデルである。生成器 5 1 0 は、変換器 5 0 5 で変換した周波数特性と、学習済の推定モデル 5 1 0 0 とを用いて、主軸受 5 7 の摩耗情報を生成する。学習済の推定モデル 5 1 0 0 は、変換器 5 0 5 により周波数領域に変換された状態変数の周波数特性と、主軸受 5 7 の摩耗情報との関係を示す推定モデルである。出力器 5 1 1 は、生成器 5 1 0 により生成された主軸受 5 7 の摩耗情報を摩耗推定量 W _ e s t として出力する。出力器 5 1 1 の出力先は、摩耗診断生成部 4 0 0 および故障通知部 3 0 0 である。

【 0 0 8 8 】

次に、推定部 5 0 0 B での推定処理についてフローチャートを用いて説明する。図 1 7 は、実施の形態 4 における推定部 5 0 0 B での推定処理のフローチャートの一例である。推定部 5 0 0 B は、摩耗推定判定器 1 0 1 からの推定開始信号 E s が「 O N 」信号であるか否かに基づいて摩耗情報の推定開始を判定する (ステップ S 5 1 0) 。推定開始信号 E s が「 O F F 」信号である場合 (ステップ S 5 1 0 で N O) 、推定部 5 0 0 B は、処理をステップ S 5 1 0 に戻す。一方、推定開始信号 E s が「 O N 」信号である場合 (ステップ S 5 1 0 で Y E S) 、推定部 5 0 0 B は、第 1 測定器 5 0 1 および第 2 測定器 5 0 2 の時系列データから各々の状態変数を観測器 5 0 9 で取得する (ステップ S 5 1 1) 。

30

【 0 0 8 9 】

推定部 5 0 0 B は、取得した各々の状態変数を変換器 5 0 5 で周波数領域に変換することにより、各々の状態変数の周波数特性を生成する (ステップ S 5 1 2) 。推定部 5 0 0 B は、生成器 5 1 0 において、生成した周波数特性を学習済の推定モデル 5 1 0 0 に入力して推定結果を摩耗情報として生成する (ステップ S 5 1 3) 。推定部 5 0 0 B は、生成した摩耗情報を摩耗推定量 W _ e s t として出力器 5 1 1 から出力する。

40

【 0 0 9 0 】

以上のように、実施の形態 4 に係る推定部 5 0 0 B は、学習用データセットを用いた学習処理により生成された推定モデルに基づいて、電動機 5 3 に流れる電流を示す第 1 状態変数、および空調機器の運転状態を示す変数のうち少なくとも 1 つの第 2 状態変数から、電動機 5 3 の軸受の摩耗情報を推定する。学習用データセットは、第 1 状態変数および第 2 状態変数に対して、予め取得してある電動機 5 3 の軸受の摩耗情報をラベル付けした学

50

習用データを複数含む。

【0091】

これにより、推定部500Bは、学習用データセットを用いて推定結果がラベル付けされている電動機53の軸受の摩耗情報に近づくように学習した推定モデルを使って、電動機53が一定動作中の電動機53の軸受の摩耗情報を高い精度で推定することができるようになる。推定部500Bは、電動機53の電流以外に圧縮機の第2状態変数を機械学習に用いることにより、摩耗につながる要因が複雑であっても、摩耗情報を推定する関数を予め設定するのが困難な場合であっても、高い精度で摩耗情報を推測することが可能になる。

【0092】

また、推定部500Bは、第1状態変数および第2状態変数を予め定められた周波数領域に変換して、第1状態変数および第2状態変数の周波数特性として出力する変換器505を含むことが好ましい。これにより、推定部500Bは、第1状態変数および第2状態変数を推定モデルに入力して予め定められた演算を行うことが容易になる。

【0093】

さらに、機器は圧縮機50であり、圧縮機50を駆動する電動機53はインバータ4に接続され、インバータ4は、母線から電動機53に対して交流電力を出力する。第1状態変数は、インバータ4から電動機53に流れる電流である。第2状態変数は、圧縮機50内に流れる冷媒の圧力、冷媒の流量、圧縮機50の周辺の温度、圧縮機50の周辺の動作音、および圧縮機50の周辺の湿度のうち少なくとも1つを含むことが好ましい。

【0094】

実施の形態5 .

これまで説明した実施の形態における故障診断システムでは、構成する各部の設置場所について特に言及していないが、実施の形態5における故障診断システムでは、構成する各部の設置場所について説明する。図18は、実施の形態5における故障診断システムSYS3の構成の一例を説明するためのブロック図である。なお、実施の形態5に係る故障診断システムにおいて、実施の形態1における故障診断システムSYS1および実施の形態3における故障診断システムSYS2と同じ構成には同じ符号を付して詳細な説明は繰り返さない。

【0095】

まず、故障診断システムSYS3では、実施の形態1の故障診断システムSYS1と比較して、故障通知部600および摩耗診断生成部700における機能、および他の機器との信号伝達方法が異なる。具体的に、故障診断システムSYS3では、たとえば、整流回路2、電解コンデンサ3、インバータ4、電圧センサ5、電流センサ6、圧縮機50、制御部100、および摩耗推定部200を野外（たとえば、ビルの屋上など）にある制御ボックス内に設置する。この野外に設置される制御ボックスを制御ユニットと定義する。また、制御ユニットには、図示しないが、摩耗推定量 W_{est} の信号を有線または無線で送信する、および故障診断開始信号 F_s を有線または無線で受信する通信部を有している。制御ユニットは、当該通信部を用いて、摩耗推定量 W_{est} を故障通知部600および摩耗診断生成部700に送信する。また、制御ユニットは、当該通信部を用いて、摩耗診断生成部700から故障診断開始信号 F_s を受信する。

【0096】

次に、故障通知部600は、屋内（たとえば、管理ルームなど）に設置される。また、故障通知部600は、図示しないが、制御ユニットからの摩耗推定量 W_{est} の信号を受信する通信部を有している。さらに、故障通知部600は、受信した摩耗推定量 W_{est} に基づいて、圧縮機50の交換期間を表示し、ユーザに圧縮機50の交換を促す（図8参照）ディスプレイなどを有している。なお、故障通知部600は、管理ルームなどの屋内に設置された端末に限定されず、ユーザが携帯している携帯端末であってもよい。携帯端末を故障通知部600として利用するためには、予め故障通知部600と同等の機能を有したソフトウェアをインストールしておく必要がある。ユーザは、携帯端末に当該ソフトウェアをインストールしておくことで、携帯端末で圧縮機50の交換期間を知ること

10

20

30

40

50

ができる。このように、制御ユニットと故障通知部 600 との設置場所を離すことで、ユーザが遠隔地にいる場合であっても、摩耗推定量 W_{est} の信号を受信できれば、圧縮機 50 の交換期間を知ることができる。

【0097】

摩耗診断生成部 700 は、たとえば、サーバに設置してもよい。サーバに設置した摩耗診断生成部 700 には、図示しないが、制御ユニットからの摩耗推定量 W_{est} の信号を受信し、制御ユニットに故障診断開始信号 F_s を送信する通信部を有している。具体的に、摩耗診断生成部 700 は、受信した摩耗推定量 W_{est} に基づいて診断期間毎に制御部 100 に対して故障診断開始信号 F_s を発報する（図 9 参照）。なお、摩耗診断生成部 700 は、クラウド上のサーバに設置してもよい。また、圧縮機 50 の交換期間を知ったユーザからの情報に基づいて故障診断開始信号 F_s を発報してもよい。さらに、摩耗診断生成部 700 は、複数の制御ユニットと通信できるように接続してもよく、摩耗推定量 W_{est} の信号を受信した制御ユニットに対して、当該制御ユニットの診断期間に応じて故障診断開始信号 F_s を送信してもよい。

10

【0098】

以上のように、実施の形態 5 に係る故障診断システム $SYS3$ では、故障通知部 600 が、摩耗推定部 200 との通信することが可能であり、摩耗推定部 200 で推定した電動機の軸受の摩耗推定量 W_{est} を通信により取得する。これにより、故障診断システム $SYS3$ では、故障通知部 600 を電動機 53 から離れた位置に設置することが可能となり、電動機 53 の交換時期を遠隔地でも知ることができる。

20

【0099】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本開示の範囲は、上記した説明ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【0100】

1 交流電源、2 整流回路、3 電解コンデンサ、4 インバータ、5 電圧センサ、6 電流センサ、50 圧縮機、51 吸入管、52 主軸、53 電動機、54 潤滑油、55 オイルポンプ、56 副軸受、57 主軸受、58 圧縮機構、59 吐出管、100 制御部、101, 109 摩耗推定判定器、102 励磁電流指令生成器、103, 105, 106 PI制御器、104, 107, 203 座標変換器、108 速度推定器、200, 500 摩耗推定部、201 三相変換器、202 位相変換器、204, 205 ローパスフィルタ、206 絶対値演算器、207 切替器、300, 600 故障通知部、400, 700 摩耗診断生成部、500A 学習部、500B 推定部、501 第1測定器、502 第2測定器、503 摩耗判定器、504, 509 観測器、505 変換器、506 取得器、507 抽出器、508 学習器、510 生成器、511 出力器、1000, 2000 故障診断装置、5100 推定モデル。

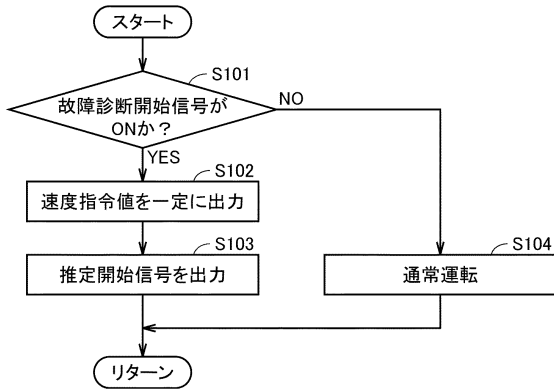
30

40

50

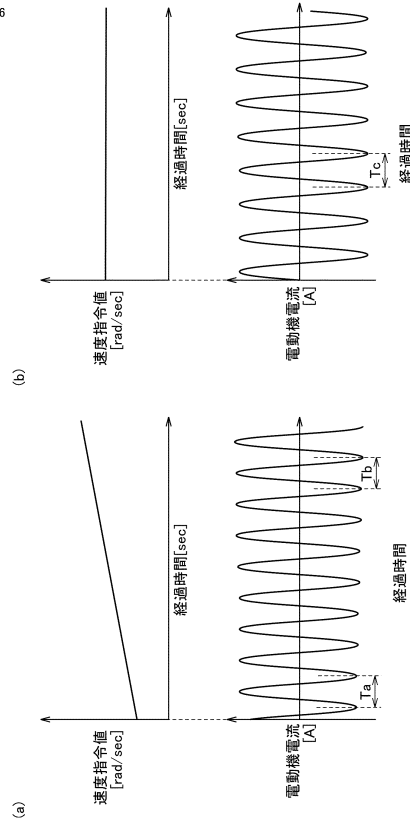
【 図 5 】

図5



【 図 6 】

図6

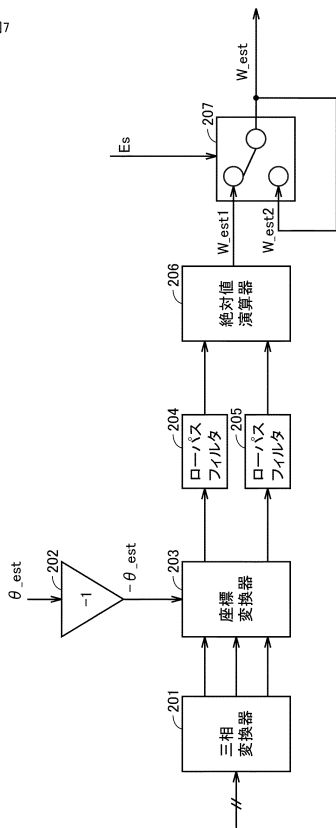


10

20

【 図 7 】

図7



【 図 8 】

図8

(a)

摩耗推定量 W_{est} [μm]	故障通知部の表示例 (●●●●)
0	12ヶ月
20	10ヶ月
40	8ヶ月
60	6ヶ月
80	4ヶ月
100	2ヶ月

30

(b)

あと、
●●●●以内に
圧縮機を
交換して下さい。

40

50

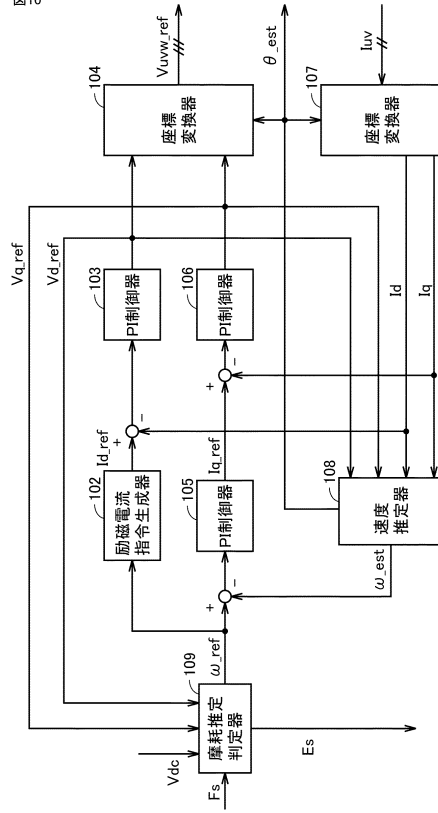
【 図 9 】

図9

摩擦推定量 W_{est} [μm]	診断時期 (F_s 発報タイミング)
0	30日
20	7日
40	3日
60	1日
80	12時間
100	1時間

【 図 1 0 】

図10

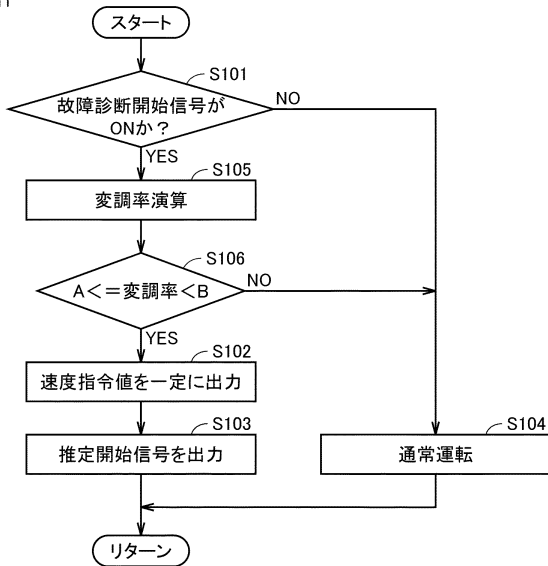


10

20

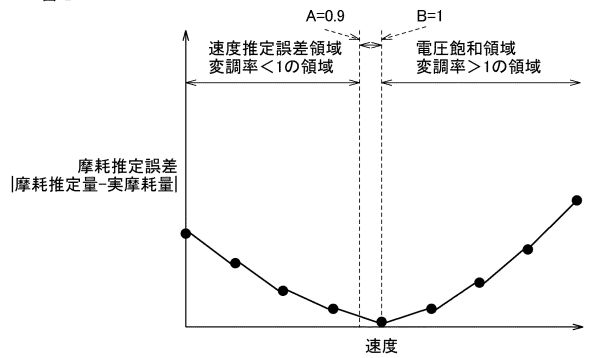
【 図 1 1 】

図11



【 図 1 2 】

図12



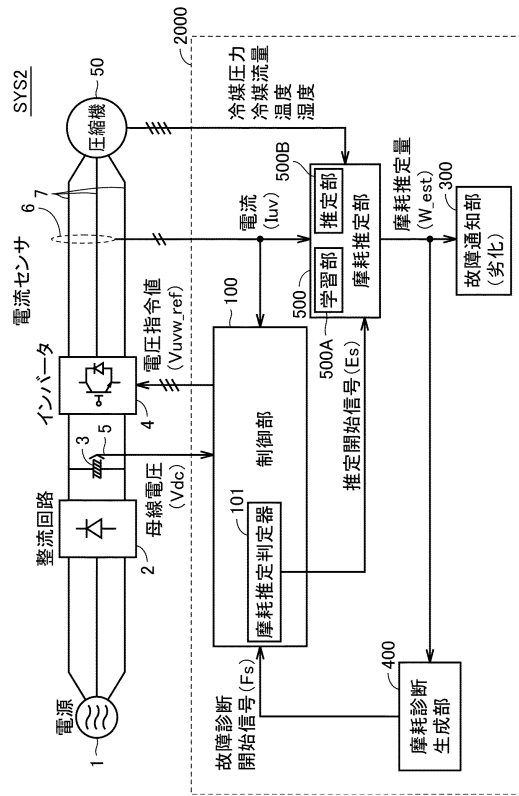
30

40

50

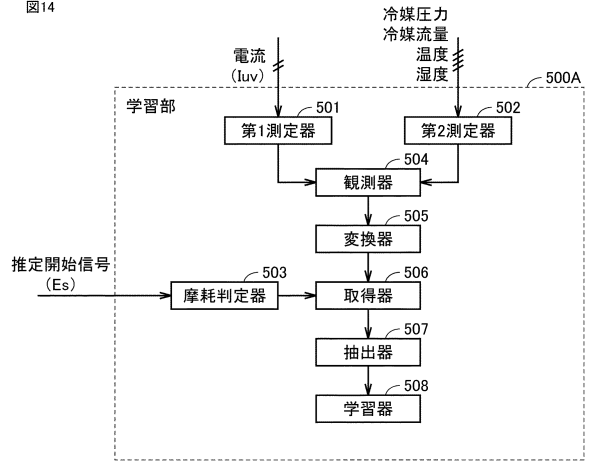
【図 1 3】

図13



【図 1 4】

図14

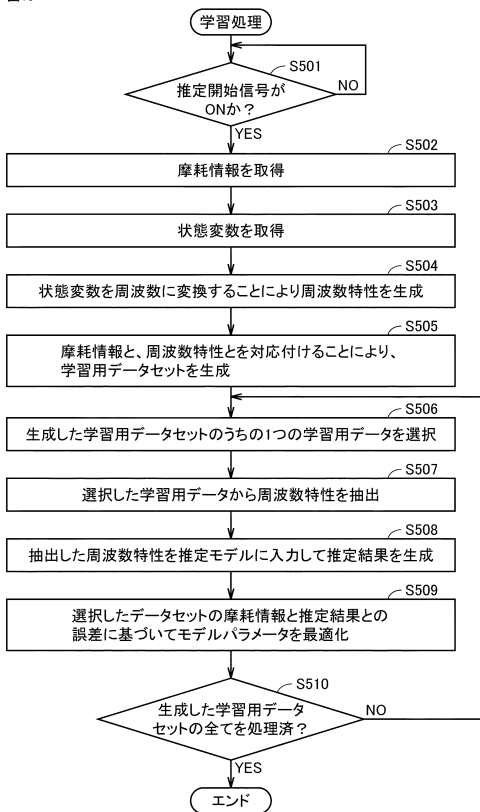


10

20

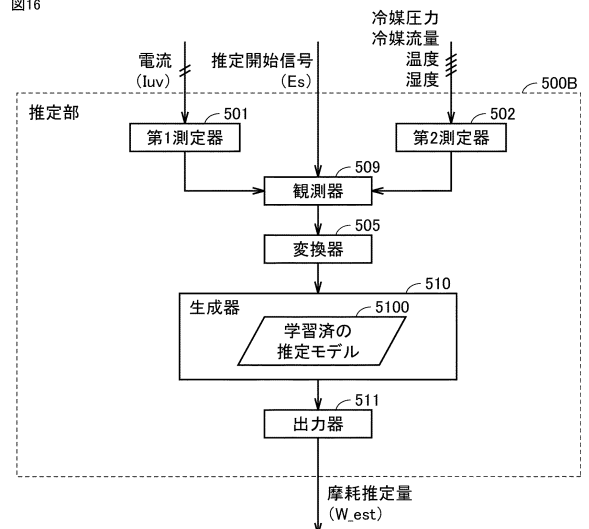
【図 1 5】

図15



【図 1 6】

図16



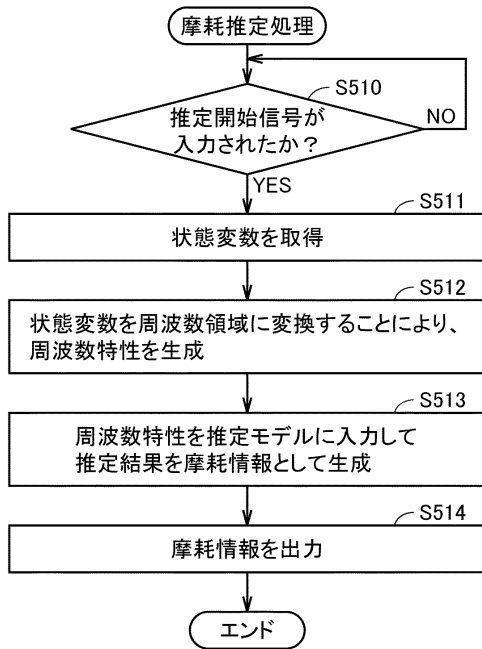
30

40

50

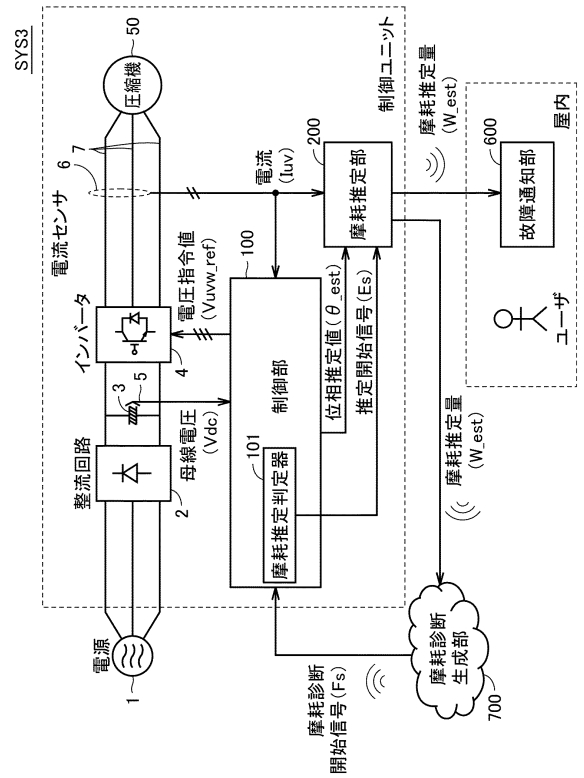
【 図 1 7 】

図17



【 図 1 8 】

図18



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2019/049188(WO,A1)
国際公開第2019/003389(WO,A1)
特開2020-38313(JP,A)
米国特許第4907105(US,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02P 29/024