

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50389/2012
(22) Anmeldetag: 13.09.2012
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2014

(51) Int. Cl. : **F02D 41/22** (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01)
F01D 21/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 6298718 B1
DE 102004059369 A1
US 2005193810 A1
US 2010023369 A1

(73) Patentinhaber:
AVL LIST GMBH
8020 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:
PFISTER CHRISTOPH
GRAZ (AT)
MOHR HINRICH
BECKDORF (DE)
TEICHMANN RÜDIGER
HART (AT)
STRASSER CHRISTIAN
GRAZ (AT)
GUTSCHI WILHELM
LANNACH (AT)

(54) Verfahren zur Überwachung zumindest eines Abgasturboladers

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung zumindest eines Abgasturboladers (ATL) einer Groß-Brennkraftmaschine (BKM), mit zumindest einem Verdichter (1a) und einer wellengleich angeordneten Abgasturbine (1b), wobei die aktuellen Drücke (p_1 , p_2) stromaufwärts und stromabwärts des Verdichters (1a) sowie die aktuellen Temperaturen (T_1 , T_4) stromaufwärts des Verdichters (1a) und stromaufwärts der Abgasturbine (1b) gemessen werden. Um einen Abgasturbolader effektiv und auf möglichst einfache Weise zu überwachen, ist vorgesehen, dass die aktuellen Drücke (p_4 , p_5) stromaufwärts und stromabwärts des Abgasturbine (1b), die aktuelle Temperaturen (T_2 , T_5) stromabwärts des Verdichters (1a) und stromabwärts der Abgasturbine (1b) und die Drehzahl (n_A) der Abgasturbine (1b) - vorzugsweise kontinuierlich - gemessen werden, dass aus den gemessenen Daten die Wirkungsgrade (η_V) des Verdichters (1a) und der Abgasturbine (1b) berechnet werden, und dass ein Diagnosealgorithmus bei festgestellter Verschlechterung des Wirkungsgrades (η_{TV} , η_T) des Verdichters (1a) und/oder der Abgasturbine (1b) oder nach Ablauf eines definierten Zeitintervalls gestartet wird.

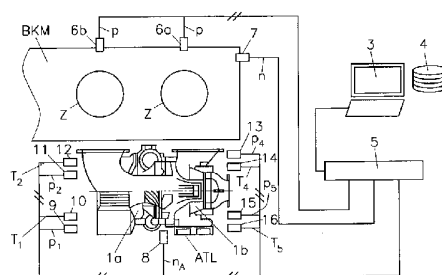


Fig.1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung zumindest eines Abgasturboladers einer Groß-Brennkraftmaschine, mit zumindest einem Verdichter und einem wellengleich angeordneten Abgasturbolader, wobei die aktuellen Drücke stromaufwärts und stromabwärts des Verdichters sowie die aktuellen Temperaturen stromaufwärts des Verdichters und stromaufwärts der Abgasturbine gemessen werden.

[0002] Die Beschreibung eines Abgasturboladers und dessen aktueller Betriebspunkt werden üblicherweise über eine sogenannte Verdichterleistungskarte gegeben. Durch Messen des Druckverhältnisses am Verdichter, dem Volumenstrom durch den Verdichter und der Abgasturboladerdrehzahl kann auf den aktuellen Betriebspunkt und (für Überwachungsanwendungen wichtig) auf den Wirkungsgrad geschlossen werden. Eine Messung des Druckverhältnisses zusammen mit dem Volumenstrom und/oder der Drehzahl ist beispielsweise bei der US 6 2 98 718 B1 oder der DE 10 2004 059 369 A1 vorgesehen. Zusammen mit der Leistungskarte kann damit eine Steuerung (wie in der US 6 2 98 718 B1) oder eine Überwachung (wie in der DE 10 2004 059 369 A1) der Verdichterseite realisiert werden, wobei man vor allem auf die Randbereiche, insbesondere auf Pumpgrenze und Abrisskennlinie, achtet.

[0003] Aus der DE 10 2005 001 659 A1 ist ein Verfahren und ein System zur Bestimmung der Lebensdauer eines Abgasturboladers bekannt. Dabei wird der Arbeitszyklus des Abgasturboladers überwacht. Das bekannte Verfahren verwendet für die Messungen die Motordrehzahl, den Druck vor und nach Verdichter, sowie die Verdichtertemperatur beim Einlass und die Temperatur beim Turbineneingang. Die Turbinendrehzahl wird nicht direkt gemessen, sondern es wird über das Verhältnis des Einlassdruckes zum Auslassdruck des Verdichters auf die Turbinendrehzahl geschlossen. Eine effektive Überwachung der Turbinenseite ist damit aber nicht möglich.

[0004] In vielen Fällen stehen bei Großmotoren Volumenstromdaten oder dergleichen nicht zur Verfügung, da der Volumenstrom weder auf der Verdichter- noch auf der Turbinenseite gemessen wird.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Abgasturbolader - nicht nur die Verdichterseite, sondern auch die Turbinenseite - effektiv und auf möglichst einfache Weise zu überwachen.

[0006] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die aktuellen Drücke stromaufwärts und stromabwärts des Abgasturboladers, die Temperaturen stromabwärts des Verdichters und stromabwärts der Abgasturbine und die Drehzahl der Abgasturbine - vorzugsweise kontinuierlich - gemessen werden, dass aus den gemessenen Daten die Wirkungsgrade des Verdichters und der Abgasturbine berechnet werden, und dass bei festgestellter Verschlechterung des Wirkungsgrades des Verdichters und/oder der Abgasturbine ein Diagnosealgorithmus gestartet wird.

[0007] Vorzugsweise sieht der Diagnosealgorithmus vor, dass zumindest ein bei verschiedenen Motorlasten aufgenommener Messwert normalisiert wird. Vorzugsweise wird - nach Möglichkeit - jeder Messwert normalisiert. Für den normalisierten Messwert kann eine Regressionsanalyse über der Zeit durchgeführt werden, wobei - besonders vorteilhaft - eine Gewichtung der Messwerte vorgenommen wird. Dabei können jüngere Messdaten höher gewichtet werden als ältere Messwerte.

[0008] Dem Ergebnis der Regressionsanalyse des Messwertes kann ein Symptom zugeordnet werden. Aus der Kombination mehrerer Symptome verschiedener Messwerte kann schließlich ein definierter Fehler bestimmt wird.

[0009] Beim vorliegenden Verfahren wird die Verdichterleistungskarte für die Diagnose des Bauteils nicht miteinbezogen, weil bei Großmotoren der Volumenstrom durch die Abgasturbine im Allgemeinen nicht gemessen wird. Weiter kann es auch sein, dass die Verdichterleistungskarte nicht zur Verfügung steht. Die Verdichterleistungskarte kann aber eventuell für die Visualisierung des Betriebspunktes eingesetzt werden.

[0010] Während bekannte Systeme sich auf die Überwachung der Verdichterseite beschränken, wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch die Turbinenseite überwacht. Deshalb werden auch Druck und Temperatursensoren auf der Turbinenseite angebracht. Zusätzlich können - um den Betriebspunkt des Motors mit zu erfassen - auch Zylinderdrucksensoren vorgesehen sein. Dabei können auch Sensoren von sowieso vorgesehenen Motor-Überwachungssystemen mitverwendet werden. Das vorliegende Verfahren kann somit bestehende Motor-Überwachungssysteme hinsichtlich der - bisher nicht durchgeführten - Überwachung der Abgasturbine ergänzen. Durch die Installation von Sensoren auf der Turbinenseite kann nun auch die Abgasturbine direkt überwacht werden. Dies kann insbesondere für Großmotoren besonders nützlich sein, um Verschmutzungen frühzeitig zu erkennen und die Reinigung der Abgasturbine zu planen und zu optimieren.

[0011] Besonders vorteilhaft ist es, wenn zumindest ein Ausprägungsgrad des Fehlers aus der Kombination mehrerer Symptome berechnet wird.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren ist in der Lage, aus Messdaten:

- für einen oder mehrere Fehler eines Abgasturboladers oder eines seiner Teilsysteme das Vorliegen dieses Fehlers zu diagnostizieren
- für die oben genannten Fehler einen Schweregrad oder Ausprägungsgrad zu bestimmen
- aus mehreren möglichen Fehlern und gegebenenfalls deren Schweregrad einen Gesamtzustand des Abgasturboladers und/oder eines seiner Teilsysteme (z.B. Verdichter, Abgasturbine, etc.) zu bestimmen
- auch bei Fehlen und/oder Unplausibilität eines oder mehrerer Messsignale noch Aussagen über zumindest einige mögliche Fehler machen zu können.

[0013] Hierbei ist das erfindungsgemäße Verfahren so flexibel, dass:

- sowohl eine Erweiterung auf neue Fehler und/oder neue Messsignale als auch eine Verbindung zwischen empirischem Expertenwissen und funktionellen Kenntnissen möglich ist;
- trotz der gegenseitigen Beeinflussung der Fehler eine Isolation und Bewertung einzelner Fehler möglich ist.

[0014] Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, dass der Gesamtzustand des Abgasturboladers und/oder seiner Teilsysteme aus den Fehlern und deren Ausprägungsgraden bestimmt und klassifiziert wird.

[0015] Eine einfache Fehlererkennung ist möglich, wenn jeder Fehler anhand einer Fehler-Symptom-Routine - beispielsweise ein Flussdiagramm - identifiziert wird, wobei die Fehler-Symptom-Routine für jedes aus den Abweichungen gewonnene Symptom und für jeden Fehler, auf den der Abgasturbolader und/oder seine Teilsysteme untersucht wird, den Zusammenhang zwischen Symptom und Fehler enthält.

[0016] In weiterer Ausführung der Erfindung ist vorgesehen, dass für jeden Fehler und für jedes für diesen Fehler relevante Symptom eine Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW definiert wird, mit welcher abhängig von der Größe des Symptoms eine Wahrscheinlichkeit berechnet wird, mit welcher das Symptom zum Fehler beiträgt, wobei vorzugsweise die Fehler anhand der Fehlerwahrscheinlichkeit W_i berechnet als die Summe aller Fehlerteilwahrscheinlichkeiten W_{ik} normiert auf die Summe aller Maxima A_{ik} der Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktionen:

$$W_i = \frac{\sum_{k=1}^n W_{ik}}{\sum_{k=1}^n A_{ik}} \quad (1)$$

detektiert werden. Eine einfache Ausführung der Erfindung sieht vor, dass die Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW eine einfache Rampe oder Sigmoidfunktion ist, die vom Wert Null zu der Amplitude A_{ij} im bestimmten Bereich der Symptomgröße linear ansteigt.

[0017] Eine besonders detaillierte Fehlerdiagnose lässt sich erreichen, wenn zumindest zwei unterschiedliche Ausprägungsgrade zumindest eines Fehlers erkannt werden können.

[0018] Um eine Verfälschung des Messergebnisses zu vermeiden, ist vorgesehen, dass jene Symptome, die aufgrund von nicht vorhandenen und/oder unplausiblen Messwerten nicht berechnet werden können, bei der Erkennung von Fehlern verworfen werden, und dass ein Fehler als nicht erkennbar klassifiziert wird, wenn das Gewicht aller nicht berechenbarer Symptome größer als ein definierter Schwellenwert wird, wobei vorzugsweise das Gewicht P_i aller nicht berechneter Symptome als die Summe der Maxima A_{ik} aller entsprechenden Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktionen FW normiert auf die Summe aller Maxima A_{ik} :

$$P_i = \frac{\sum_{k=\text{alle } (np)\text{-Daten}} A_{ik}}{\sum_{k=1}^n A_{ik}} \quad (3)$$

berechnet wird. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn eine Größe G_z , die den Gesamtzustand jedes einzelnen Teilsystems des Abgasturboladers abbildet durch die Formel

$$G_z = \min \left\{ 1; \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot H(W_{iz})}{\max(K_i)} \right\} \quad (4)$$

berechnet wird, wobei K_i ein Wichtungsfaktor ist, der die Wichtigkeit des Fehlers "i" für Zustand des Teilsystems "z" widerspiegelt, die Größe W_{iz} die gesamte Wahrscheinlichkeit des ersten Ausprägungsgrades des Fehlers "i" im Teilsystem "z", und die Funktion $H(x)$ eine Filterfunktion ist, die sicherstellt, dass der Fehler erst dann berücksichtigt wird wenn er als "wahrscheinlich" eingestuft wurde, und dass der Zustand des Teilsystems als "fehlerhaft" definiert wird, wenn die Größe G_z größer als ein definierter Schwellenwert G_s ist.

[0019] Der Gesamtzustand des Abgasturboladers lässt sich aus dem Zustand seiner Teilsysteme ermitteln. Um die Aussagekraft des Verfahrens weiter zu steigern, ist es besonders vorteilhaft, wenn ein Gesamtzustand des Abgasturboladers und/oder seiner Teilsysteme als nicht bewertbar klassifiziert wird, wenn das Gewicht der nicht erkennbaren Fehler größer als ein Schwellenwert ist.

[0020] Die Erfindung wird im Folgenden an Hand der Fig. näher erläutert.

[0021] Es zeigen schematisch

[0022] Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Messaufbau zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0023] Fig. 2 den Ablauf der Fehlererkennung eines Fehlers (abnehmende Verdichterleistung) an Hand eines Beispiels,

[0024] Fig. 3 ein Beispiel für eine Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW;

[0025] Fig. 4 einen Ablaufplan für die Klassifikation eines einzelnen Fehlers für den zwei Ausprägungsgraden berechnet werden;

[0026] Fig. 5 ein Beispiel für einen Ablaufplan für die Klassifikation des Gesamtzustandes der Brennkraftmaschine oder eines Teilsystems

[0027] Fig. 6 ein Beispiel für Filterfunktion, die bei Berechnung des Gesamtzustandes der einzelnen Teilsysteme des Abgasturboladers benutzt wird;

[0028] Fig. 7 einen Ablaufplan für die Klassifikation des Gesamtzustandes des Abgasturboladers.

[0029] Messaufbau (Fig. 1)

[0030] Der Messaufbau zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung eines Abgasturboladers ATL einer Groß-Brennkraftmaschine BKM ist schematisch in Fig. 1 dargestellt. Für die Überwachung wird ein Überwachungscomputer 3, eine Datenbank 4, eine Messhardware 5 und eine Reihe an Messwertaufnehmern (Sensoren) 6a, 6b, 7 bis 16 benötigt. Im Einzelnen werden Druckaufnehmer 6a, 6b, 9, 11, 13 und 15; Temperatursensoren 10, 12, 14, 16; sowie Drehzahlgeber 7, 8 eingesetzt.

[0031] Für die Überwachung des Abgasturboladers ATL werden folgende Größen gemessen:

- Druck p_1 , p_2 , p_4 , p_5 und Temperatur T_1 , T_2 , T_4 , T_5 vor und nach dem Verdichter 1a sowie vor und nach der Abgasturbine 1b über die Sensoren 9 bis 16. Der Druck p_2 und die Temperatur T_2 wird stromaufwärts eines Ladeluftkühlers gemessen.
- Abgasturboladerdrehzahl n_A über Drehzahlaufnehmer 8
- Motordrehzahl n über Kurbelwinkelsensor 7
- Zylinderdruck p an zumindest zwei Zylindern Z über Druckaufnehmer 6a, 6b

[0032] Die gemessenen Daten werden über eine Messhardware 5 zum Überwachungscomputer 3 gesendet, wo sie entsprechend verarbeitet und angezeigt werden können.

[0033] Diagnosealgorithmus (Fig. 2)

[0034] Gemäß dem vorliegenden Verfahren werden bei Aufruf des Diagnosealgorithmus die Messdaten früherer Messungen aus der Datenbank 4 ausgelesen. Zusammen mit einer aktuellen Messung wird bestimmt, wie sich die gemessenen Größen über die Zeit verändern. Durch bestimmte Kombination dieser Veränderungen kann dann auf verschiedene Fehler hingewiesen werden, die wiederum Auskunft über den Zustand des Abgasturboladers ATL geben.

[0035] Im Detail werden die Drücke p_1 , p_2 , p_4 , p_5 und Temperaturen T_1 , T_2 , T_4 , T_5 und Drehzahlen n , n_A kontinuierlich gemessen und über die Messhardware 5 zu einem Überwachungscomputer 3 gesandt. Auf dem Überwachungscomputer 3 können diese dann gleich angezeigt werden. Weiter kann aus den gemessenen Daten der Wirkungsgrad Des Verdichters 1a, der Abgasturbine 1b und des Abgasturboladers ATL berechnet werden. Dieser gibt einen ersten Indikator über dessen Zustand, dient im weiteren aber nur als Eingangsgröße und wird nicht für eine direkte Aussage über Fehler verwendet.

[0036] Der Diagnosealgorithmus selber kann nach verschiedenen Kriterien gestartet werden, zum Beispiel nach Ablauf eines bestimmten Zeitintervalls oder auch wenn der Wirkungsgrad von Verdichter 1a oder Abgasturbine 1b sich zu verschlechtern scheint.

[0037] Beim Start des Diagnosealgorithmus werden die Messdaten aufgezeichnet. Die Brennkraftmaschine BKM sollte sich dabei in einen stationären Betriebszustand befinden, damit von den gemessenen Werten über die Zeit ein Mittelwert berechnet werden kann. All diese Mittelwerte werden dann zusammen mit einem Zeitstempel in die Datenbank 4 geschrieben. Somit besteht ein Eintrag in die Datenbank 4 aus den Mittelwerten der gemessenen Drücke p_1 , p_2 , p_4 , p_5 , Temperaturen T_1 , T_2 , T_4 , T_5 und Drehzahlen n , n_A , sowie weiteren charakteristischen Größen und Daten zur Identifikation des Abgasturboladers ATL (mehrere Abgasturbolader können gleichzeitig überwacht werden).

[0038] Eine erste Besonderheit des vorliegenden Verfahrens ist die Art der Analyse dieser

Daten über die Zeit. Der Diagnosealgorithmus liest alle Daten des zu untersuchenden Abgasturboladers ATL, die während eines gewissen Zeitintervalls aufgenommen wurden (zum Beispiel über einen Monat), aus der Datenbank 4. Da die verschiedenen Messwerte bei verschiedenen Motorlasten (und somit auch an verschiedenen Betriebspunkten des Abgasturboladers ATL) aufgenommen wurden, werden sie zuerst ‚normalisiert‘. Zum Beispiel kann das Verhältnis des Auslassdrucks p_2 zum Einlassdruck p_1 des Verdichters 1a als Funktion der Abgasturboladerdrehzahl n_A dargestellt werden. Somit können die Messdaten für den Auslassdruck p_2 des Verdichters 1a von der Abgasturboladerdrehzahl n_A unabhängig gemacht, also durch diese Funktion normalisiert werden. Dies erlaubt dann weiter eine Regressionsanalyse dieser Messdaten über der Zeit. Hier können noch weitere Modifikationen gemacht werden. Zum Beispiel können aktuellere Messdaten höher gewichtet werden, als solche, deren Aufzeichnung schon länger zurück liegt. Das Resultat der Regressionsanalyse wird als Symptom bezeichnet und entspricht der Entwicklung der entsprechenden Messgröße über der Zeit.

[0039] Der Kern des Diagnosealgorithmus ist die Kombination von verschiedenen Symptomen zur Berechnung von definierten Fehlern. Fig. 2 zeigt ein typisches Vorgehen zur Erkennung eines Fehlers, wobei als Beispiel ein verminderter Auslassdruck p_2 des Verdichters 1a festgestellt wird. Dieser Abfall im Auslassdruck p_2 kann verschiedene Ursachen haben. Er kann entweder durch den Verdichter 1a selbst bedingt sein oder durch eine Leckage nach dem Verdichter 1a verursacht werden. Jedes der Kästchen des Blockdiagramms in Fig. 2 stellt ein potentielles Symptom $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ dar. Diese Symptome $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ werden nun entsprechend dem Blockdiagramm kombiniert, um eine Wahrscheinlichkeit für den Fehler zu erhalten. Dabei wird eine Methodik zur Berechnung der Fehlerwahrscheinlichkeit, sowie deren Klassifikation und weiter die Bestimmung der Zustände von Subsystemen und letztlich des Zustandes gesamten Abgasturboladers ATL verwendet, welche im Detail in der AT 502 913 B1 beschrieben ist. Der Inhalt der AT 502 913 B1 wird hiermit durch Referenz ausdrücklich in die vorliegende Anmeldung inkludiert.

[0040] Erläuterung zu Fig. 2:

[0041] In dem in Fig. 2 dargestellten Beispiel werden die Parameter eingangseitiger Druck p_1 des Verdichters 1a, ausgangseitiger Druck p_5 der Abgasturbine 1b eingangseitige Temperatur T_1 des Verdichters 1a, Temperatur T_3 nach Ladeluftkühler, Motordrehzahl n , Kraftstoff-Luftverhältnis λ_{Motor} der Brennkraftmaschine BKM, Geometrie des Abgasturboladers ATL und eingangseitige Temperatur T_4 der Abgasturbine 1b als konstant angenommen. Weiters wird angenommen, dass nur geringe Änderungen auftreten, sodass die jeweiligen Dichten als konstant betrachtet werden können.

[0042] S_1 : Das Sinken des ausgangsseitigen Druckes p_2 des Verdichters 1a könnte auf abnehmende Verdichterleistung oder auf Leckage in der Ladeluftleitung zurückgeführt werden.

[0043] S_2 : p_2/p_1 sinkt, weil der eingangseitige Druck p_1 des Verdichters 1a konstant bleibt.

[0044] S_3 : Der Abgasturboladerwirkungsgrad η_{ATL} sinkt, da die Verdichterleistung abnimmt.

[0045] S_4 : Der Verdichtermassenstrom m_v nimmt auf Grund geringerer Verdichterdrehzahl bzw. Abgasturboladerdrehzahl n_A ab.

[0046] S_5, S_6, S_7 : Der Isentropenwirkungsgrad des Verdichters η_{sv} kann - abhängig von der Lage des vorherigen Betriebspunktes im Verdichterkennfeld - zunehmen, gleichbleiben oder abnehmen.

[0047] S_8, S_9, S_{10}, S_{11} : die ausgangsseitige Temperatur T_2 des Verdichters 1a kann - abhängig von $T_1, p_2/p_1$ und η_{sv} - annehmen, gleichbleiben, oder zunehmen.

[0048] S_{12} : Massenstrom m_B durch Brennkraftmaschine nimmt ab, da Kraftstoff-Luftverhältnis λ_{Motor} konstant.

[0049] S_{13} : Die Abgastemperatur T_4 bleibt konstant, da das Kraftstoff- Luftverhältnis λ_{Motor} und die Motordrehzahl n konstant bleibt.

[0050] S14: Das Druckverhältnis p_4/p_5 zwischen Eingangs- und Ausgangsseite der Abgasturbine 1b wird geringer, wegen geringerem Verdichterdruckverhältnis p_2/p_1 (Leistungsbilanz)

[0051] S15: Der Druck p_4 stromaufwärts der Abgasturbine 1b nimmt ab, weil der Druck p_5 stromabwärts der Abgasturbine 1b konstant bleibt.

[0052] S16: Der Turbinenmassenstrom m_T nimmt ab, da Turbinenschlucklinie abnimmt.

[0053] S17: In Abhängigkeit des Turbinenmassenstromes m_T , T_4 , p_4 , p_4/p_5 , und des Abgasturboladerwirkungsgrades η_{ATL} nimmt der Turbinenwirkungsgrad η_T ab.

[0054] S18: In Abhängigkeit der Temperatur T_4 stromaufwärts der Abgasturbine 1b, des Turbinendruckverhältnisses p_4/p_5 , und des Turbinenwirkungsgrades η_T steigt die Temperatur T_5 stromabwärts der Abgasturbine 1b.

[0055] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden zunächst, basierend auf Expertenwissen, experimentellen und theoretischen Untersuchungen und Simulationen mathematischer Modelle, die Merkmale (z.B. Messsignale) identifiziert, die besonders stark auf die festzustellenden Fehler reagieren. Die Symptome S1, S2, S3,...Sn, d.h. die fehlerbedingten Abweichungen dieser Merkmale von zugehörigen Referenzwerten, bilden die Grundlage für die nachfolgende Fehlerdiagnose. Dabei sind die Referenzwerte entweder Nominalwerte, welche an einem nicht fehlerhaften Abgasturbolader gemessen wurden, oder Modellwerte aus mathematischen Simulationen des normalen Prozesses.

[0056] In einer ersten, besonders einfachen Ausführungsform des Verfahrens werden die Fehler F1, F2, F3,...Fm anhand einer Fehler-Symptom-Routine, beispielsweise entsprechender Flussdiagramme, identifiziert, für die in Fig. 2 ein Beispiel gezeigt ist. Diese Tabelle enthält für jedes aus den Merkmalen gewonnene Symptom S1, S2, S3,...Sn für den entsprechenden Fehler des Abgasturboladers 1, den Zusammenhang zwischen Symptom und Fehler.

[0057] Für jeden vom erfindungsgemäßen Verfahren erkennbaren Fehler F1, F2, F3,...Fm wird nun berechnet, ob die Symptome S1, S2, S3,...Sn den Bedingungen der Fehler-Symptom-Routine (Flussdiagramm) entsprechen. Entsprechen alle oder zumindest ein großer Teil der Symptome diesen Bedingungen, erkennt das Verfahren den Fehler als vorhanden. Für das Beispiel aus Fig. 2 bedeutet dies anschaulich: Wenn der Betrag von Symptom S1 (Verdichterdruck p_2) negativ abweicht, Symptom S2 (p_2/p_2) ebenfalls negativ ist und auch die anderen Symptome entsprechend den angegebenen Pfeilen abweichen, wird der Fehler F1 erkannt, unabhängig vom Wert von weiteren Symptomen, die nicht im Flussdiagramm aufgeführt sind.

[0058] Eine vorteilhafte Weiterbildung dieses Verfahrens bestimmt zumindest für einige Fehler mehr als einen Ausprägungsgrad. So kann zum Beispiel ein erster Ausprägungsgrad eines Fehlers als Zustand "fehlerhaft" oder "gelb" und ein zweiter Ausprägungsgrad des gleichen Fehlers als Zustand "kritisch" oder "rot" bestimmt werden. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn für den zweiten Ausprägungsgrad der Fehler die Schwellwerte größer sind als für den ersten Ausprägungsgrad der Fehler. So wird der zweite Ausprägungsgrad eines Fehlers bei größeren Abweichungen zwischen Merkmal und Referenzwert erreicht als der erste Ausprägungsgrad.

[0059] In einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird statt eines einfachen aber starren Flussdiagramms aus den Symptomen eine Wahrscheinlichkeit für einen Fehler berechnet. Hierzu wird für jeden Fehler, dessen Nummer mit dem Index i bezeichnet sei und für jedes für diesen Fehler relevante Symptom, dessen Index mit j bezeichnet sei, eine Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW definiert. Mit dieser Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW, für die ein Beispiel in Fig. 3 gezeigt ist, wird für jeden Fehler i abhängig von der Größe des Symptoms S_j eine Wahrscheinlichkeit W_{ij} berechnet, mit welcher das Symptom S_j zum Fehler i beiträgt. Hierdurch wird dem Umstand Rechnung getragen, dass ein Fehler auch dann auftreten kann, wenn mehrere Merkmale jeweils eine mittelgroße Abweichung von ihren jeweiligen Referenzwerten haben. Mit dieser Maßnahme wird die Empfindlichkeit der Diagnoseergebnisse gegenüber Messungenauigkeiten und Rauschen reduziert.

[0060] Der Wert der Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW ist dabei stets größer oder gleich

Null, das Maximum dieser Funktion sei mit A_{ij} benannt. Die Amplitude A_{ij} entspricht der Wichtigkeit des Symptoms S_j für die Erkennung des Fehlers "i". Je eindeutiger der Zusammenhang zwischen dem Fehler "i" und dem Symptom "j" ist, desto größer ist die Amplitude A_{ij} in Vergleich zu anderen Amplituden A_{ik} , ($k=1..n$). Die Größe A_{ij} wird auf Basis des Expertenwissens und/oder Simulation des Prozessmodells festgelegt.

[0061] In einer besonders vorteilhaften Ausführung, welche in Fig. 3 dargestellt ist, ist die Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW eine einfache Rampe oder Sigmoidfunktion, die vom Wert Null zu der Amplitude A_{ij} im Bereich der Symptomgröße von V_j bis U_j linear ansteigt.

[0062] In einem zweiten Schritt wird dann die gesamte Wahrscheinlichkeit W_i des Fehlers "i" berechnet, indem die Fehlerteilwahrscheinlichkeiten für alle Symptome W_{ik} ($k=1..n$), normiert auf die Summe aller Amplituden A_{ik} , summiert werden:

$$W_i = \frac{\sum_{k=1}^n W_{ik}}{\sum_{k=1}^n A_{ik}} \quad (1)$$

[0063] Wenn einige der erforderlichen Messdaten nicht vorhanden oder nicht plausibel sind, so dass es nicht möglich ist, ein Symptom S_k zu ermitteln, werden für alle Fehler "i" die Wahrscheinlichkeiten W_{ik} in Summe (1) auf Null gesetzt.

[0064] Auch in dieser zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht eine vorteilhafte Weiterbildung darin, unterschiedliche Ausprägungsgrade der Fehler zu berücksichtigen. Hierbei werden dann für jeden Ausprägungsgrad der Fehler, zum Beispiel einen ersten Ausprägungsgrad "gelb" und einen zweiten Ausprägungsgrad "rot", getrennte Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktionen definiert. Entsprechend dem oben eingeführten Wert W_{ij} sei dabei der Wert der zweiten Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion für den zweiten Ausprägungsgrad der Fehler mit E_{ij} bezeichnet. Das Maximum der zweiten Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion E_{ij} sei mit B_{ij} bezeichnet. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn bei gleicher Größe des Symptoms S_j der Wert der zweiten Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion E_{ij} stets kleiner oder gleich dem Wert der ersten Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion W_{ij} ist. Somit wird der zweite Ausprägungsgrad des Fehlers bei größeren Abweichungen zwischen Merkmal und Referenzwert erkannt als der erste Ausprägungsgrad.

[0065] Analog wird wieder die gesamte Wahrscheinlichkeit E_i des zweiten Ausprägungsgrades des Fehlers "i" als Summe von allen E_{ik} ($k=1..n$), normiert auf die Summe aller Amplituden B_{ik} der zweiten Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktionen, berechnet:

$$E_i = \frac{\sum_{k=1}^n E_{ik}}{\sum_{k=1}^n B_{ik}} \quad (2)$$

[0066] Genau wie bei den ersten Fehlerwahrscheinlichkeiten werden die Größen E_{ik} in Summe (2) auf Null gesetzt wenn einige Symptome S_k wegen nicht vorhandenen oder nicht plausiblen Messdaten nicht zu bestimmen sind.

[0067] Für den Fachmann ist es leicht zu erkennen, dass mit dem oben beschriebenen Schema noch weitere Ausprägungsgrade der Fehler berechnet werden können.

[0068] Eine weitere vorteilhafte Weiterentwicklung des erfindungsgemäßen Verfahrens klassifiziert die einzelnen erkennbaren Fehler nun nach einer oder mehreren Fehlerklassen. Besonders einfach kann hier vorgegangen werden, wenn ein Fehler i dann als vorhanden klassifiziert

wird, wenn seine Wahrscheinlichkeit W_i größer als ein Schwellwert W_s ist.

[0069] Noch vorteilhafter ist es jedoch, bei mehreren Ausprägungsgraden die Fehler nach mehreren Klassen zu klassifizieren. Fig. 4 stellt beispielhaft dar, wie ein Fehler, der in zwei Ausprägungsgraden vorhanden sein kann, in 4 Klassen A1, A2, A3, A4 eingeordnet wird. Diese 4 Klassen können z.B. sein: A1-"gefährlich" bzw. "rot", A2-"wahrscheinlich" bzw. "gelb", A3-"nicht erkennbar" bzw. "grau" und A4-"unwahrscheinlich" bzw. "grün".

[0070] Der Klassifikationsprozess beginnt (Beginn bei "0") mit der Berechnung der Wahrscheinlichkeit W_i für den ersten Ausprägungsgrad des Fehlers (Schritt 21) und der Berechnung der Wahrscheinlichkeit E_i für den zweiten Ausprägungsgrad des Fehlers, (Schritt 22). Danach wird in Schritt 23 die Wahrscheinlichkeit E_i für den zweiten Ausprägungsgrad des Fehlers, mit einem zweiten Schwellenwert E_s (beispielsweise $E_s = 0,9$) verglichen. Liegt E_i höher als $E_s(Y)$, so wird der Fehler "i" als "gefährlich" eingestuft (A1). Wenn das nicht der Fall ist, dann wird in Schritt 24 geprüft, ob die Wahrscheinlichkeit W_i für den ersten Ausprägungsgrad des Fehlers größer ist als ein erster Schwellenwert W_s (zum Beispiel $W_s = 0,7$). Wenn $W_i > W_s$ ist, dann wird der Fehler "i" als "wahrscheinlich" klassifiziert (A2). Andernfalls, wird beurteilt, ob der Wert von W_i möglicherweise aufgrund von fehlenden oder nicht plausiblen Messdaten (bezeichnet als „np“-Daten) klein ist. Dafür wird in Schritt 25 das Gewicht P_i aller nicht berechneter Symptome als die normierte Summe aller entsprechenden Amplituden A_{ik} bestimmt:

$$P_i = \frac{\sum_{k=\text{alle (np)-Daten}} A_{ik}}{\sum_{k=1}^n A_{ik}} \quad (3)$$

[0071] Wenn der Wert von P_i größer ist als ein vordefinierter Schwellenwert P_s (zum Beispiel $P_s = 0,6$), bedeutet das, dass der Fehler "i" anhand von vorhandenen Messdaten weder erkannt noch ausgeschlossen werden kann. In diesem Fall wird der Fehler "i" als "nicht erkennbar" (A3) klassifiziert (Schritt 26 in Fig. 4). Wenn keine der vorherigen Überprüfungen in den Schritten 23 bis 26 ein positives Ergebnis hat, wird der Fehler als "unwahrscheinlich" (A4) klassifiziert. Mit "1" ist das Ende des ersten Prozesses bezeichnet.

[0072] Für den Fachmann ist leicht erkennbar, wie das oben beschriebene Verfahren auf noch weitere Ausprägungsgrade von Fehlern und/oder weitere Klassen ausgedehnt werden kann.

[0073] Der letzte Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens berechnet aus einzelnen Fehlern, die in einer oder mehreren Ausprägungsgraden und/oder Klassen auftreten können, einen Gesamtzustand des Abgasturboladers ATL. Für den besonders relevanten Fall, dass die einzelnen Fehler nach den Klassen "gefährlich" (A1), "wahrscheinlich" (A2), "nicht erkennbar" (A3) und "unwahrscheinlich" (A4) klassifiziert wurden, stellt Fig. 5 den Ablaufplan für die Klassifikation des Abgasturboladers ATL oder eines Teilsystems dar. Solch ein Teilsystem kann der Verdichter oder die Abgasturbine sein. In der folgenden Erklärung wird nur auf ein Teilsystem "z" des Abgasturboladers ATL Bezug genommen, wobei das Teilsystem aber auch der gesamte Abgasturbolader ATL sein kann.

[0074] In einem ersten Schritt (31) wird in Abfrage V1 überprüft, ob zumindest einer der Fehler des Teilsystems als "gefährlich" (A1) klassifiziert wurde. In diesem Fall (Y) wird das gesamte Teilsystem als "kritisch" (B1) klassifiziert. Ist das Ergebnis dieser Prüfung negativ (N), wird in einem zweiten Schritt (32) eine Größe G_z berechnet, die den Gesamtzustand des Teilsystems "z" abbildet:

$$G_z = \min \left\{ 1; \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot H(W_{iz})}{\max(K_i)} \right\} \quad (4)$$

[0075] Dabei ist K_i ein Wichtungsfaktor, der die Wichtigkeit des Fehlers "i" für den Zustand des Teilsystems "z" widerspiegelt. Die Größe von K_i wird anhand von Expertenwissen und/oder Simulation des Prozessmodells festgelegt. Die Größe W_{iz} ist die gesamte Wahrscheinlichkeit W_i des ersten Ausprägungsgrades des Fehlers "i" im Teilsystem "z". Die Funktion $H(x)$ ist eine Filterfunktion, die sicherstellt, dass der Fehler erst dann berücksichtigt wird, wenn er als "wahrscheinlich" eingestuft wurde (d.h. erst wenn $W_i > W_s$), und dass der Fehler erst dann voll berücksichtigt wird wenn die Fehlerwahrscheinlichkeit groß genug ist (z.B. $W_i > 0,9$). Ein Beispiel für eine Filterfunktion H ist in Fig. 4 gezeigt. Wenn der Fehler "i" als "nicht erkennbar" bewertet wurde, dann wird er nicht in G_z einberechnet: $H(W_{iz}) = 0$.

[0076] In Schritt 33 in Fig. 5 wird die Größe G_z mit einem vordefiniertem Schwellenwert G_s (beispielsweise $G_s = 0,7$) verglichen. Liegt G_z höher als G_s , so wird der Zustand des Teilsystems "z" als "fehlerhaft" (B2) definiert. Wenn das nicht der Fall ist, dann wird beurteilt, ob der Wert von G_z aufgrund von eventuell vorhandenen nicht erkennbaren Fehlern klein ist. Dafür wird das Gewicht X_i von nicht erkennbaren („ne“) Fehlern in Schritt 34 als die normierte Summe aller entsprechenden Gewichte K_i berechnet:

$$X_z = \frac{\sum_{i=alle(ne)-Fehler} K_i}{\sum_{i=1}^m K_i} \quad (5)$$

[0077] Wenn der Wert von X_z größer als der vordefinierte Schwellenwert X_s (zum Beispiel $X_s = 0,3$) ist, wird der Gesamtzustand des Teilsystems "z" als "nicht bewertbar" (B3) klassifiziert (Schritt 35 in Fig. 5). Sonst wird der Gesamtzustand des Teilsystems "z" als "gesund" (B4) klassifiziert. Mit "2" ist das Ende der Routine bezeichnet.

[0078] Der Fachmann wird hier leicht erkennen, wie das Verfahren der Klassifikation eines Teilsystems auch auf Fälle mit weiteren Ausprägungsgraden der Fehler und/oder weiteren Fehlerklassen ausgedehnt werden kann.

[0079] In einer letzten vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus dem Zustand der Teilsysteme des Abgasturboladers ATL der Zustand des gesamten Abgasturboladers ATL berechnet. Ein Beispiel für einen Ablaufplan dieser Berechnung ist in Fig. 7 gezeigt.

[0080] Wenn zumindest eines der Teilsysteme als "kritisch" (B1) klassifiziert wurde, wird der Gesamtzustand des Abgasturboladers 1 in der Abfrage V2 auch als "kritisch" (C1) klassifiziert (Schritt 41 in Fig. 7). Sonst wird in Schritt 42 das Gewicht N_f der fehlerhaften Teilsysteme („f“-Teilsysteme) mit Hilfe der Wichtungsfaktoren D_k berechnet, welche die Wichtigkeit des Zustandes jedes einzelnen Teilsystems "k" auf den Gesamtzustand des Abgasturboladers ATL darstellen:

$$N_f = \frac{\sum_{k=alle(f)-Teilsysteme} D_k}{\sum_{k=alle Teilsysteme} D_k} \quad (6)$$

[0081] In Schritt 43 wird geprüft ob das Gewicht der Teilsysteme mit Bewertung "fehlerhaft" N_f größer als der vordefinierte Schwellenwert N_{fs} (zum Beispiel $N_{fs} = 0,3$) ist. In diesem Fall wird auch der Gesamtzustand des Abgasturboladers ATL als "fehlerhaft" (A10) festgesetzt. Andernfalls, wird in Schritt 44 das Gewicht $N_{(nb)}$ der nicht-bewertbaren Teilsysteme berechnet:

$$N_{(nb)} = \frac{\sum_{k=alle\ (nb)\text{-}Teilsysteme} D_k}{\sum_{k=alle\ Teilsysteme} D_k} \quad (7)$$

[0082] In Schritt 45 wird überprüft, ob das Gewicht der Teilsysteme mit Bewertung "nicht bewertbar" $N_{(nb)}$ größer als ein Schwellenwert $N_{(nb)S}$ (zum Beispiel $N_{(nb)S} = 0,3$) ist. Ist dies der Fall, wird auch der Gesamtzustand des Abgasturboladers ATL als "nicht bewertbar" (C3) bewertet. Sonst wird der Gesamtzustand des Abgasturboladers als "gesund" (C4) klassifiziert. Mit "3" ist das Ende des Verfahrensprozesses bezeichnet.

[0083] Für den Fachmann ist hier leicht erkennbar, wie das Verfahren der Klassifikation des Zustandes des gesamten Abgasturboladers ATL auch auf Fälle mit weiteren Fehlerklassen ausgedehnt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung zumindest eines Abgasturboladers (ATL) einer Groß-Brennkraftmaschine (BKM), mit zumindest einem Verdichter (1a) und einer wellengleich angeordneten Abgasturbine (1b), wobei die aktuellen Drücke (p_1 , p_2) stromaufwärts und stromabwärts des Verdichters (1a) sowie die aktuellen Temperaturen (T_1 , T_4) stromaufwärts des Verdichters (1a) und stromaufwärts der Abgasturbine (1b) gemessen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aktuellen Drücke (p_4 , p_5) stromaufwärts und stromabwärts der Abgasturbine (1b), die aktuellen Temperaturen (T_2 , T_5) stromabwärts des Verdichters (1a) und stromabwärts der Abgasturbine (1b) und die Drehzahl (n_A) der Abgasturbine (1b) - vorzugsweise kontinuierlich - gemessen werden, dass aus den gemessenen Daten die Wirkungsgrade (η_v) des Verdichters (1a) und der Abgasturbine (1b) berechnet werden, und dass ein Diagnosealgorithmus bei festgestellter Verschlechterung des Wirkungsgrades (η_{TV} , η_T) des Verdichters (1a) und/oder der Abgasturbine (1b) oder nach Ablauf eines definierten Zeitintervalls gestartet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Diagnosealgorithmus vorsieht, dass zumindest ein bei verschiedenen Motorlasten aufgenommener Messwert normalisiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den normalisierten Messwert eine Regressionsanalyse über der Zeit durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Gewichtung der Messwerte vorgenommen wird, wobei vorzugsweise jüngere Messdaten höher gewichtet werden als ältere Messwerte.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Ergebnis der Regressionsanalyse des Messwertes ein Symptom zugeordnet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Symptom für einen Fehler aus der Abweichung zwischen einem aus dem Messsignal gewonnenen Merkmal und einem Referenzwert für dieses Merkmal gewonnen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus der Kombination mehrerer Symptome verschiedener Messwerte ein Ausprägungsgrad eines definierten Fehler bestimmt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gesamtzustand des Abgasturboladers (ATL) und/oder seiner Teilsysteme aus den Fehlern und deren Ausprägungsgraden bestimmt und klassifiziert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Fehler anhand einer Fehler-Symptom-Routine, vorzugsweise eines auf der Basis der Fehler-Symptom-Routine erstellten Flussdiagramms, beschrieben wird, wobei die Fehler-Symptom-Routine für jedes aus den Abweichungen gewonnene Symptom und für jeden Fehler den Zusammenhang zwischen Symptom und Fehler enthält.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jeden Fehler und für jedes für diesen Fehler relevante Symptom eine Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW definiert wird, mit welcher abhängig von der Größe des Symptoms eine Wahrscheinlichkeit berechnet wird, mit welcher das Symptom zum Fehler beiträgt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fehler anhand der Fehlerwahrscheinlichkeit W_i , berechnet als die Summe aller Fehlerteilwahrscheinlichkeiten W_{ik} normiert auf die Summe aller Maxima A_{ik} der Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktionen:

$$W_i = \frac{\sum_{k=1}^n W_{ik}}{\sum_{k=1}^n A_{ik}} \quad (1)$$

detektiert werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktion FW eine einfache Rampe oder Sigmoidfunktion ist, die vom Wert Null zu der Amplitude A_{ij} im bestimmten Bereich der Symptomgröße linear ansteigt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei unterschiedliche Ausprägungsgrade zumindest eines Fehlers erkannt werden können.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass jene Symptome, die aufgrund von nicht vorhandenen und/oder unplausiblen Messwerten nicht berechnet werden können, bei der Erkennung von Fehlern verworfen werden, und dass ein Fehler als nicht erkennbar klassifiziert wird, wenn das Gewicht aller nicht berechenbarer Symptome größer als ein definierter Schwellenwert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gewicht P_i aller nicht berechneter Symptome als die Summe der Maxima A_{ik} aller entsprechenden Fehlerteilwahrscheinlichkeitsfunktionen FW normiert auf die Summe aller Maxima A_{ik} :

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^n A_{ik}}{\sum_{k=1}^n A_{ik}} \quad (3)$$

berechnet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Größe G_z , die den Gesamtzustand jedes einzelnen Teilsystems des Abgasturboladers abbildet, durch die Formel

$$G_z = \min \left\{ 1; \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot H(W_{iz})}{\max(K_i)} \right\} \quad (4)$$

berechnet wird, wobei K_i ein Wichtungsfaktor ist, der die Wichtigkeit des Fehlers "i" für einen Zustand des Teilsystems "z" widerspiegelt, die Größe W_{iz} die gesamte Wahrscheinlichkeit des ersten Ausprägungsgrades des Fehlers "i" im Teilsystem "z", und die Funktion $H(x)$ eine Filterfunktion ist, die sicherstellt, dass der Fehler erst dann berücksichtigt wird, wenn er als "wahrscheinlich" eingestuft wurde, und dass der Zustand des Teilsystems als "fehlerhaft" definiert wird, wenn die Größe G_z größer als ein definierter Schwellenwert G_s ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gesamtzustand des Abgasturboladers (ATL) und/oder seiner Teilsysteme als nicht bewertbar klassifiziert wird, wenn das Gewicht der nicht erkennbaren Fehler größer als ein Schwellenwert ist.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gesamtzustand des Abgasturboladers (ATL) aus dem Zustand seiner Teilsysteme berechnet wird.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

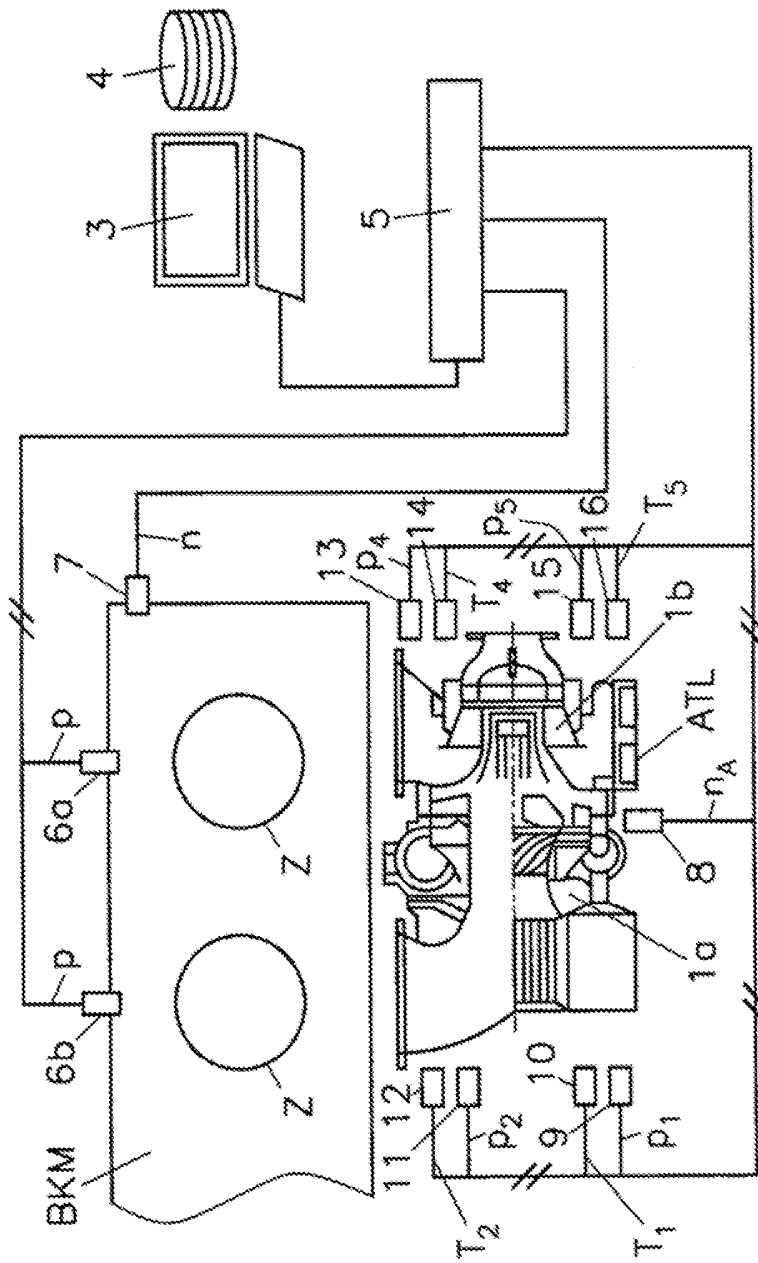


Fig.1

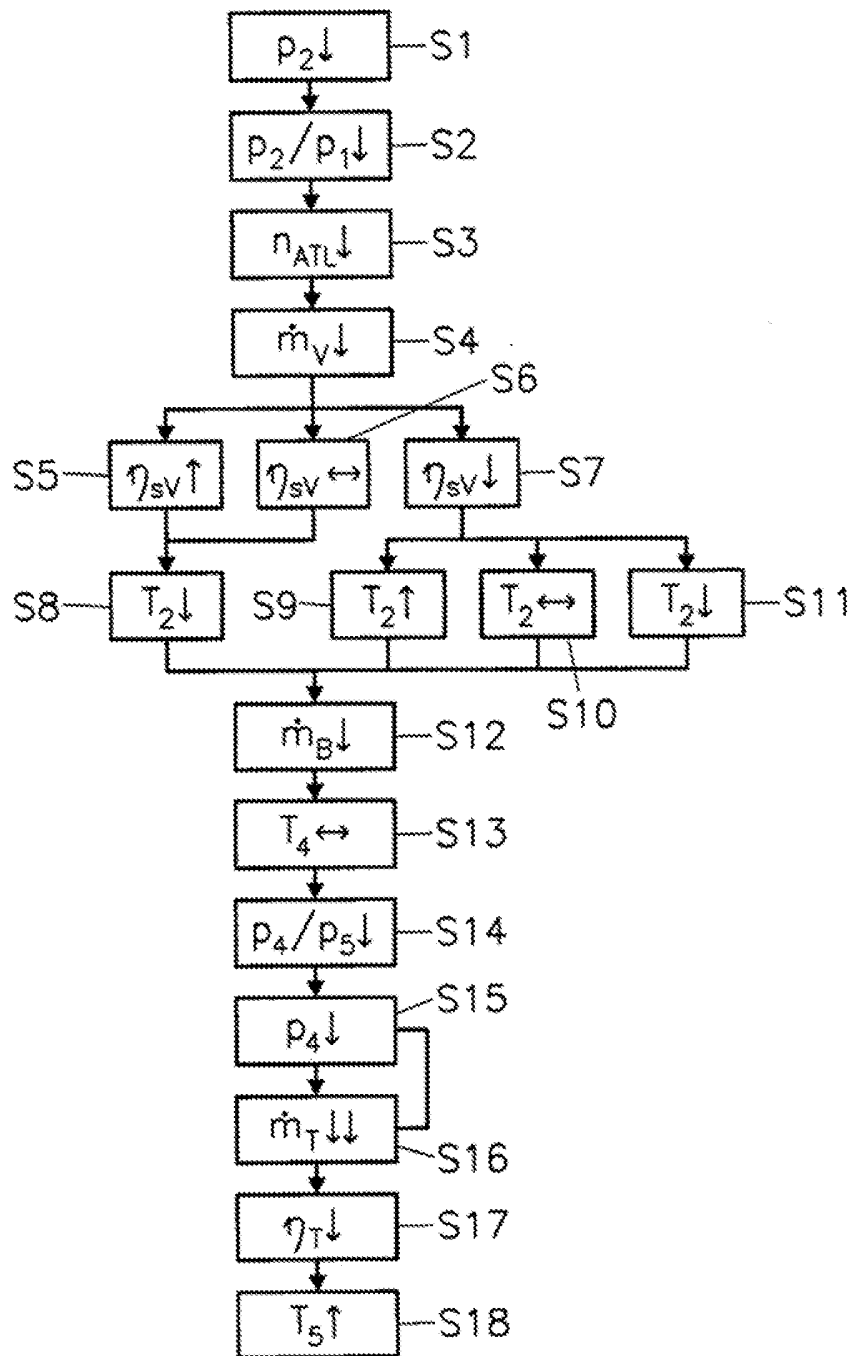


Fig.2

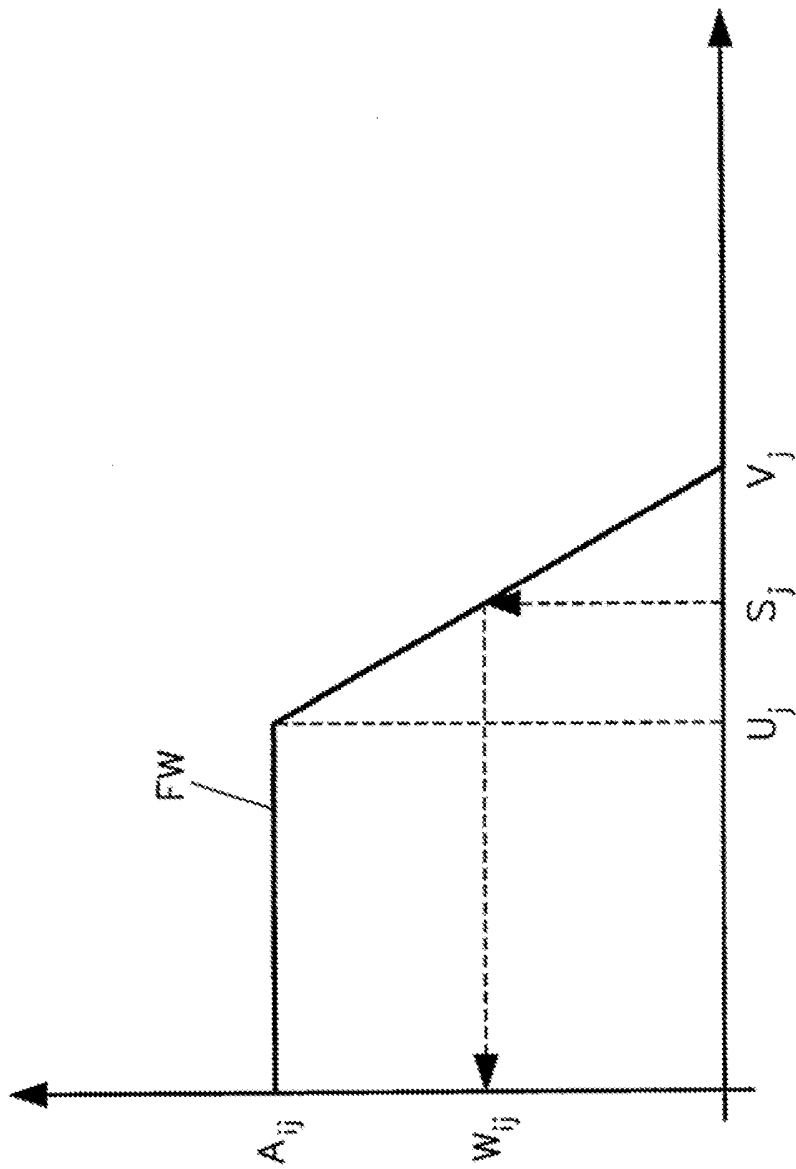


Fig. 3

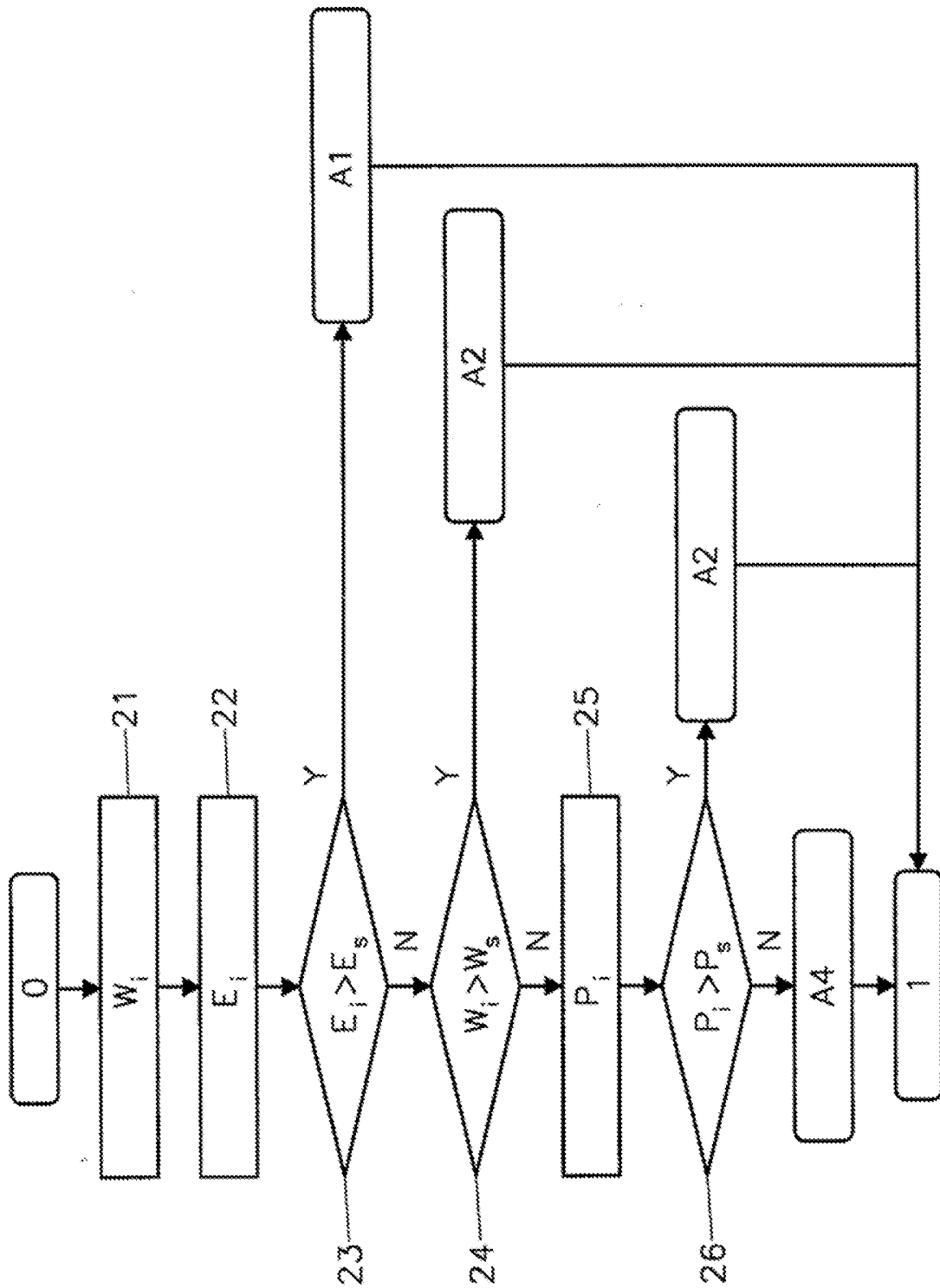


Fig. 4

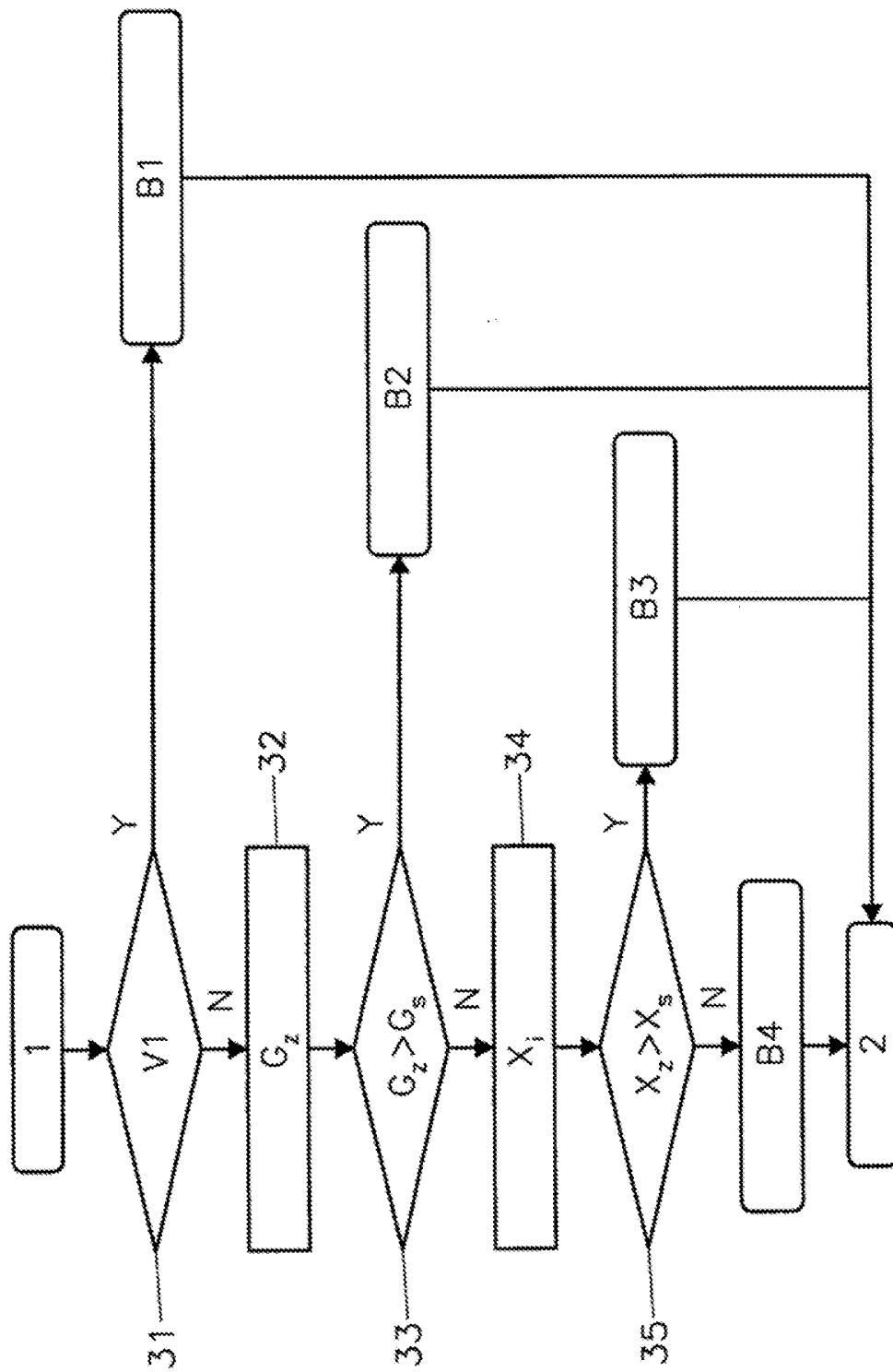


Fig. 5

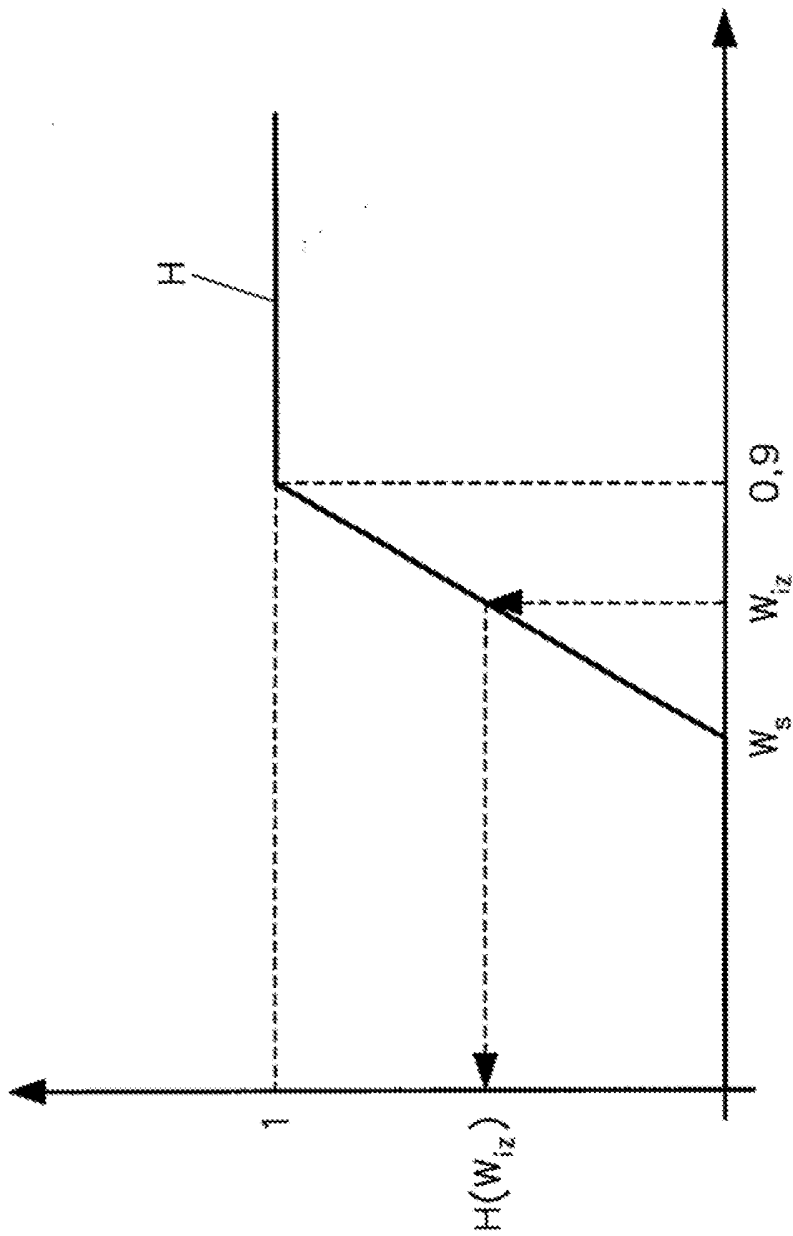


Fig.6

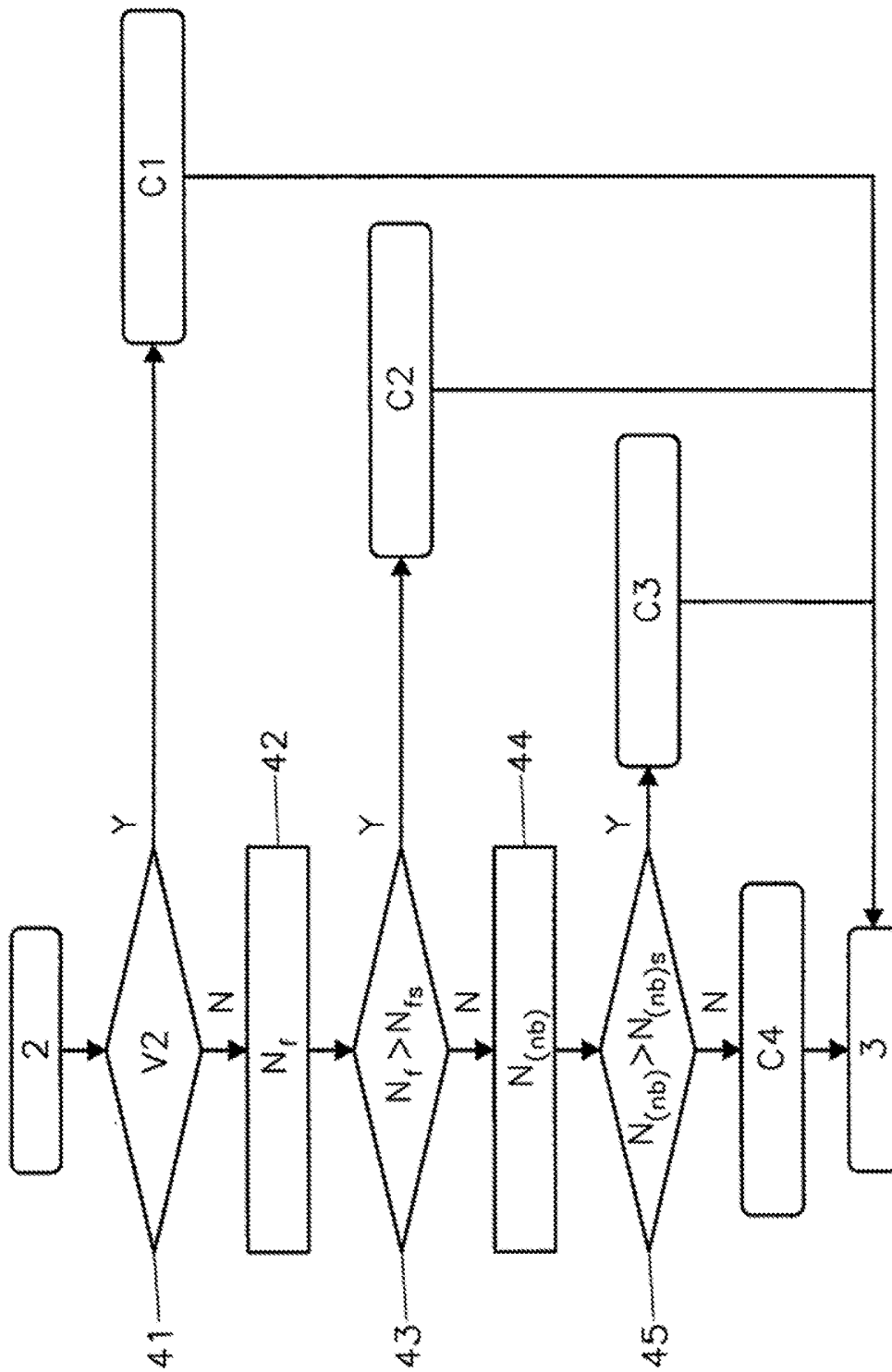


Fig. 7