

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine gemäß dem Patentanspruch 13.

[0002] Der Zustand einer hydraulischen Maschine, beispielsweise einer Axialkolbenmaschine, wird bisher durch regelmäßige Wartungszyklen überprüft. Bei einer Wartung werden beispielsweise im Betrieb der hydraulischen Maschine aufgezeichnete Körperschallsignale ausgewertet (Schwingungsanalyse), wodurch Verschleißerscheinungen, zum Beispiel Abrieb oder Bruch von Maschinenkomponenten, erkannt werden können. Der Nachteil hierbei ist, dass zwischen den einzelnen Wartungen auftretende Defekte der hydraulischen Maschine erst zum Zeitpunkt der Wartung erkannt werden. Ein erst in der Wartung erkannter Defekt kann bereits gravierende und irreparable Schäden an der hydraulischen Maschine verursacht haben, die zum Ausfall dieser führen könnten. Es ist auch möglich, dass durch diesen Ausfall andere Maschinen beschädigt werden, beispielsweise dann, wenn diese durch die hydraulische Maschine mit Kühlmittel versorgt werden.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine zu schaffen, durch die abnormale Zustände der Maschine einfach erkannt werden können.

[0004] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 13 gelöst.

[0005] Erfindungsgemäß weist das Verfahren zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine folgende Arbeitsschritte auf:

- Berechnen wenigstens einer vom Zustand des Systems abhängigen Modellgröße mittels einer Berechnungseinrichtung,
- Vergleichen der wenigstens einen Modellgröße mit einer entsprechenden Messgröße der hydraulischen Maschine mittels der Berechnungseinrichtung zum Erzeugen wenigstens einer Vergleichsgröße,
- Bewerten der Vergleichsgröße mittels der Berechnungseinrichtung.

[0006] Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass Abweichungen vom Normzustand der hydraulischen Maschine automatisch von der Berechnungseinrichtung erkannt werden können.

[0007] Wenigstens eine Messgröße ist vorzugsweise eine Eingangsgröße und/oder eine Ausgangsgröße

einer hydraulischen Maschine. Die Eingangsgröße kann ein Eingangsdruck und die Ausgangsgröße ein Ausgangsdruck sein. Diese Messgrößen können mit geringem vorrichtungstechnischem Aufwand gemessen werden.

[0008] Die wenigstens eine Modellgröße kann eine berechnete oder eine empirisch ermittelte bekannte Modellausgangsgröße sein. Die Modellausgangsgröße ist vorteilhafterweise ein Modellausgangsdruck, der direkt mit dem Ausgangsdruck der hydraulischen Maschine vergleichbar ist. Die Modulation des Ausgangsdrucks durch die Kolbenbewegungen in der Maschine sind z. B. empirisch bzw. durch Simulation der Maschine bekannt.

[0009] Wenigstens eine Modellgröße kann mit wenigstens einer Eingangsgröße, beispielsweise dem Eingangsdruck und/oder der Drehzahl, der hydraulischen Maschine berechnet werden. Dies hat den Vorteil, dass eine genauere Berechnung der Modellausgangsgröße durch die Simulationseinheit durchführbar ist.

[0010] Die wenigstens eine Vergleichsgröße ist vorteilhafterweise ein Vergleichsdruck, der einfach durch Vergleichen des Modellausgangsdrucks mit dem Ausgangsdruck der hydraulischen Maschine erzeugt werden kann.

[0011] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die wenigstens eine Messgröße in etwa in Echtzeit mit der wenigstens einen Modellgröße verglichen wird. Schäden der hydraulischen Maschine können hierdurch frühzeitig erkannt werden. Es können jedoch auch in hinreichend geringen zeitlichen Abständen Messwerte aufgenommen werden und daraufhin ohne Echtzeitanforderung analysiert werden.

[0012] Die hydraulische Maschine ist beispielsweise eine Axialkolbenmaschine. Bei dieser können sehr hohe mechanische Beanspruchungen auftreten, wodurch eine einfache Erkennung des Zustandes besonders wichtig ist, damit Schäden vermieden werden können, wie beispielsweise ein defekter Kolben, oder ein defekter Gleitschuh.

[0013] Die Berechnungseinrichtung kann als Mikrocomputer ausgeführt sein. Diese weisen kostengünstige Betriebs- und Herstellungskosten auf.

[0014] Die Bewertungsgröße kann vorzugsweise zur Fehlerdiagnose der hydraulischen Maschine dienen.

[0015] Die Vorrichtung zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine hat eine Simulationseinheit zum Berechnen wenigstens einer Modellgröße und/oder eine Speichereinheit zum Speichern einer empirisch bekannten Modellgröße oder eines Modell-

größtenkennfelds, eine Vergleichseinheit zum Erzeugen einer Vergleichsgröße durch Vergleichen der wenigstens einen Messgröße, die beispielsweise von einer Messeinrichtung an der hydraulischen Maschine erhalten wird, mit der wenigstens einen Modellgröße, und eine Bewertungseinheit zum Bewerten der Vergleichsgröße.

[0016] Die Messgröße, die von der Vorrichtung bearbeitet wird, ist vorzugsweise ein Eingangsdruck und/oder ein Ausgangsdruck einer hydraulischen Maschine und die wenigstens eine Modellgröße ein berechneter Modellausgangsdruck. Bei einem Schaden der hydraulischen Maschine können sich die Drücke verändern, wodurch mit diesen eine Aussage über den Zustand des Systems getroffen werden kann.

[0017] Die hydraulische Maschine ist beispielsweise eine Axialkolbenmaschine.

[0018] Die Bewertungseinheit kann zur Fehlerdiagnose der hydraulischen Maschine eingesetzt werden. Hierfür eignet sich diese Vorrichtung besonders gut, da Schäden sicher und zuverlässig berechnet werden können.

[0019] Sonstige vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand weiterer Unteransprüche.

[0020] Im Folgenden wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0021] [Fig. 1](#) ein schematisches Signalfluss- und Blockschaltbild eines Verfahrens zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine gemäß einem Ausführungsbeispiel;

[0022] [Fig. 2](#) ein Druck-Zeit-Diagramm einer defekten hydraulischen Maschine.

[0023] In [Fig. 1](#) ist ein schematisches Signalfluss- und Blockschaltbild einer Vorrichtung **1** zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine **2** gemäß einem Ausführungsbeispiel dargestellt. Diese ist beispielsweise eine Axialkolbenmaschine, bei der hohe Beanspruchungen der Maschinenteile und -elemente auftreten. Am Strömungseingang der hydraulischen Maschine **2**, der mit einem linken Streckenpfeil **4** in Bezug zu [Fig. 1](#) dargestellt ist, wird als eine Eingangsgröße ein Eingangsdruck p_i dynamisch gemessen. Dynamisches Messen heißt, dass eine Messung kontinuierlich oder diskret mit hinreichend hoher zeitlicher Auflösung mit einer Druckmessvorrichtung erfolgen kann, die den gemessenen Druck dann in ein digitales Signal umwandelt. Am Strömungsausgang der hydraulischen Maschine, durch einen rechten Streckenpfeil **6** in [Fig. 1](#) gekennzeichnet, wird als eine Ausgangsgröße ein Ausgangsdruck p_o dyna-

misch gemessen.

[0024] Der Eingangs- und Ausgangsdruck p_i , p_o werden als digitale Betriebssignale in eine Berechnungseinrichtung in Form eines Mikrorechners **8** oder Mikrocomputers, der mit einer gestrichelten Linie gekennzeichnet ist, eingespeist. Statt digitale könnten auch analoge Betriebssignale zu einem Eingang oder einer Schnittstelle am Mikrorechner **8** geleitet werden und hier dann in digitale Signale umgewandelt werden, wobei der Eingangs- und Ausgangsdruck p_i , p_o bei der dynamischen Messung dann nicht digital umgewandelt werden. Ein in [Fig. 1](#) linke Streckenpfeil **10**, der von dem Streckenpfeil **4** abzweigt, und ein rechter Streckenpfeil **12**, der von dem Streckenpfeil **6** abzweigt, verdeutlichen die Signalrichtung des Eingangs- und Ausgangsdrucks p_i , p_o . Der Eingangsdruck p_i (Streckenpfeil **10**) dient als Eingangsgröße einer Simulationseinheit **14** des Mikrorechners **8**.

[0025] Die Simulationseinheit **14** berechnet bzw. simuliert mit einem mathematischen Modell der hydraulischen Maschine **1** einen Modellausgangsdruck p_o' , wobei der Eingangsdruck p_i und/oder die Drehzahl der Maschine als Randbedingung berücksichtigt wird oder hat einen empirisch ermittelten Modellausgangsdruck einer fehlerfreien Maschine gespeichert im Normalzustand. Dieser ist allerdings nicht zwingend für die Berechnung erforderlich, kann allerdings zu genaueren Ergebnissen führen. Das mathematische Modell bildet die hydraulische Maschine vorzugsweise im Normalzustand ab, wodurch der Modellausgangsdruck p_o' eine Zustandsgröße eines Simulationsmodells einer normal funktionierenden hydraulischen Maschine **2** ist. Diese hat außerdem einen bestimmten Betriebszustand, beispielsweise bei einer Axialkolbenmaschine die Drehzahl, an den das mathematische Modell angepasst werden kann. Der Berechnungszeitpunkt des Modellausgangsdrucks p_o' wird dem Messzeitpunkt des Ausgangsdrucks p_o angepasst, wodurch zum Messzeitpunkt eines bestimmten Ausgangsdrucks p_o ein berechneter Modellausgangsdruck p_o' zur Verfügung steht. Somit wird der Modellausgangsdruck p_o' entsprechend der dynamischen Druckmessung gegebenenfalls in Echtzeit entweder kontinuierlich oder diskret zu bestimmten Zeitpunkten berechnet. Der Modellausgangsdruck p_o' und der gemessene Ausgangsdruck p_o sind jeweils eine Eingangsgröße für eine Vergleichseinheit **16** des Mikrorechners **8**.

[0026] Die Weitergabe des Modellausgangsdrucks p_o' zur Vergleichseinheit **16** wird durch einen rechten Streckenpfeil **18** in [Fig. 2](#) verdeutlicht, der von der Simulationseinheit **14** zur Vergleichseinheit **16** verläuft. Das digitale Signal des Ausgangsdrucks p_o wird ebenfalls zur Vergleichseinheit **16** geleitet (Streckenpfeil **12**).

[0027] Die Vergleichseinheit **16** vergleicht mit einem Vergleichsalgorithmus den Modellausgangsdruck p_o' mit dem Ausgangsdruck p_o der hydraulischen Maschine und errechnet eine Vergleichsgröße e . Diese wird zu einer Bewertungseinheit **22** bzw. einer Signalverarbeitungseinheit weitergegeben. Dies ist mit einem Streckenpfeil **20**, der von der Vergleichseinheit **16** zur Bewertungseinheit **22** führt, verdeutlicht. Diese Bewertungseinheit **22** bewertet die Vergleichsgröße e durch einen Bewertungsalgorithmus und entscheidet, ob beispielsweise ein Maschinenschaden vorliegt. Dies erfolgt beispielsweise dann, wenn die Vergleichsgröße einen bestimmten Wert übersteigt oder unterschreitet.

[0028] In [Fig. 2](#) ist ein zeitabhängiger Verlauf des Ausgangsdrucks p_o einer hydraulischen Maschine mit einem eintretenden Maschinenschaden in einem Druck-Zeit-Diagramm beispielhaft gezeigt, wobei der Druck der Ordinate und die Zeit der Abszisse zugeordnet sind. Der Ausgangsdruck p_o weist vor dem Zeitpunkt t_0 (s. Abszisse) normale Druckschwankungen um einen Mitteldruck p_m auf, der mit einer zur Abszisse parallelen Linie in [Fig. 2](#) gekennzeichnet ist. Ab dem Zeitpunkt t_0 werden die Druckschwankungen abnormal und unregelmäßig, wobei dies durch einen Kreisbereich **24** in [Fig. 2](#) gekennzeichnet ist. Werden diese abnormalen Druckschwankungen gemessen und in den Mikrorechner **8** eingespeist, so kann dieser, aufgrund der Abweichung vom berechneten oder gespeicherten Modellausgangsdrucks p_o' erkennen, dass die hydraulische Maschine abnorme Druckschwankungen aufweist und beispielsweise einen Maschinenschaden hat.

[0029] Der Mikrorechner **8** könnte bei einem bestimmten Ergebnis der Bewertung der Vergleichsgröße e , siehe [Fig. 1](#), ein Signal nach außen weiterleiten. Dies ist durch den Streckenpfeil **26** verdeutlicht. Dieses Signal könnte dann beispielsweise einen Alarm oder einen Stoppvorgang der hydraulischen Maschine auslösen. Es ist somit möglich, dass zu einer Zustandsdiagnose der Maschine auch eine sofortige Reaktion auf einen bestimmten Zustand erfolgt.

[0030] Es ist denkbar, anstelle oder zusätzlich zu den Eingangs- und Ausgangsdrucksignalen p_i , p_o , noch weitere Zustandsgrößen oder andere Größen der hydraulischen Maschine, beispielsweise die Durchflussrate, mit entsprechenden Modellgrößen in einem Mikrorechner zu vergleichen.

[0031] Das Verfahren und die Vorrichtung kann beispielsweise auch für Rotationsmaschinen verwendet werden, um beispielsweise einen defekten Kolben oder einen sich anbahnenden Defekt an einem Kolben frühzeitig zu erkennen.

[0032] Offenbart ist ein Verfahren zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine, mit den Schrit-

ten:

- Berechnen einer vom Zustand der Maschine abhängigen Modellgröße eines Modells der hydraulischen Maschine,
- Erzeugen einer Vergleichsgröße durch Vergleichen der Modellgröße mit einer entsprechenden Messgröße der hydraulischen Maschine,
- Bewerten der Vergleichsgröße.

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung
2	Maschine
4	Streckenpfeil
6	Streckenpfeil
8	Mikrorechner
10	Streckenpfeil
12	Streckenpfeil
14	Simulationseinheit
16	Vergleichseinheit
18	Streckenpfeil
20	Streckenpfeil
22	Bewertungseinheit
24	Kreisbereich
p_i	Eingangsdruck
p_o	Ausgangsdruck
e	Vergleichsgröße
t_0	Zeitpunkt
p_m	Mitteldruck

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine mit folgenden Arbeitsschritten:
 - Berechnen wenigstens einer vom Zustand der Maschine abhängigen Modellgröße mittels einer Berechnungseinrichtung und/oder Speichereinrichtung
 - Vergleichen der wenigstens einen Modellgröße mit einer entsprechenden Messgröße der hydraulischen Maschine mittels der Berechnungseinrichtung zum Erzeugen wenigstens einer Vergleichsgröße,
 - Bewerten der Vergleichsgröße mittels der Berechnungseinrichtung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die wenigstens eine Messgröße eine Eingangsgröße und/oder eine Ausgangsgröße einer hydraulischen Maschine ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Eingangsgröße ein Eingangsdruck und die Ausgangsgröße ein Ausgangsdruck der hydraulischen Maschine ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die wenigstens eine Modellgröße wenigstens eine berechnete oder gespeicherte Modellausgangsgröße ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, wobei die wenigstens eine Modellausgangsgröße ein berechneter Modellausgangsdruck ist.

6. Verfahren nach Anspruch 2 bis 5, wobei die wenigstens eine Modellgröße mit wenigstens einer Eingangsgröße der hydraulischen Maschine berechnet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die wenigstens eine Vergleichsgröße ein Vergleichsdruck ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Vergleichsdruck durch Vergleichen des Modellausgangsdrucks mit dem Ausgangsdruck erzeugt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die wenigstens eine Messgröße dynamisch gemessen wird und in etwa in Echtzeit mit der wenigstens einen Modellgröße verglichen wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die hydraulische Maschine eine Axialkolbenmaschine ist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Berechnungseinrichtung ein Mikrorechner ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bewerten zur Fehlerdiagnose der hydraulischen Maschine dient.

13. Vorrichtung zur Zustandsdiagnose einer hydraulischen Maschine, mit einer Messeinrichtung zum Messen von wenigstens einer vom Zustand der Maschine abhängigen Messgröße der hydraulischen Maschine, mit einer Berechnungseinheit zum Berechnen wenigstens einer Modellgröße, mit einer Vergleichseinheit zum Erzeugen einer Vergleichsgröße durch Vergleichen wenigstens einer entsprechenden Messgröße, die von einer Messeinrichtung der hydraulischen Maschine erhalten wird, mit der wenigstens einen Modellgröße, und mit einer Bewertungseinheit zum Bewerten der Vergleichsgröße.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, wobei die wenigstens eine Messgröße ein Eingangsdruck und/oder ein Ausgangsdruck einer hydraulischen Maschine ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, wobei die wenigstens eine Modellgröße ein berechneter Modellausgangsdruck ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 13 bis 15, wobei die hydraulische Maschine eine Axialkolbenmaschine ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 13 bis 16, wobei die Bewertungseinheit zur Fehlerdiagnose der hydraulischen Maschine dient.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

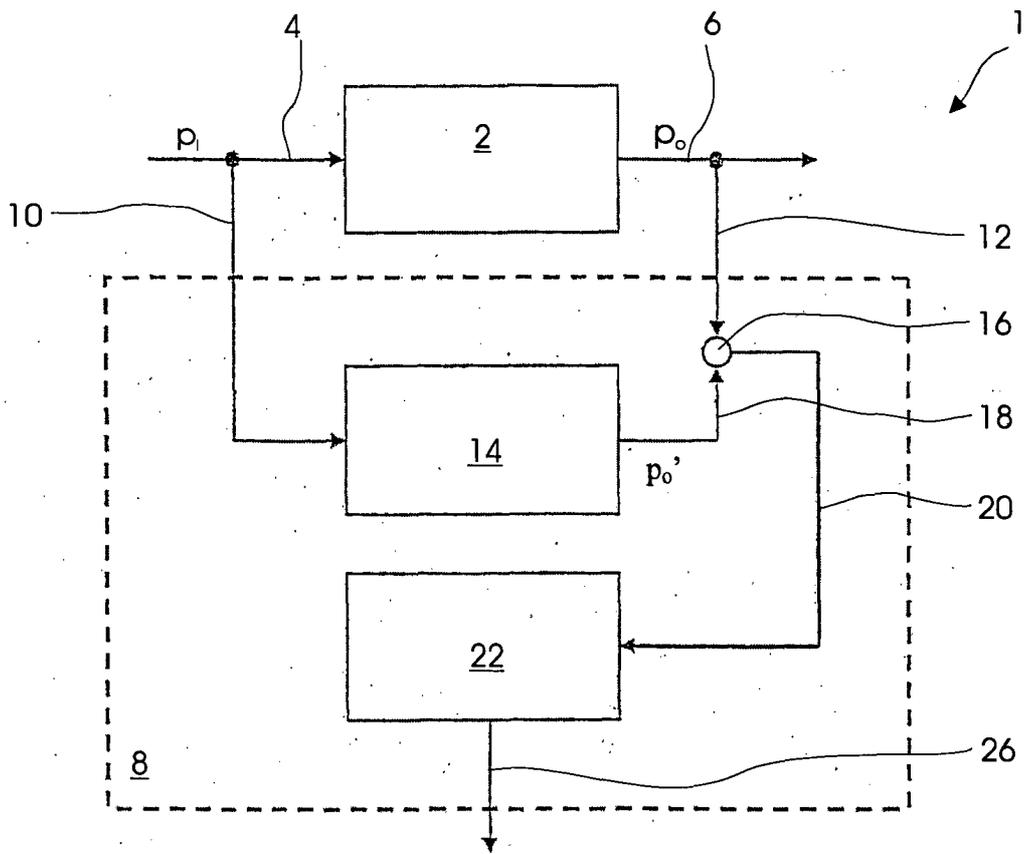


Fig. 1

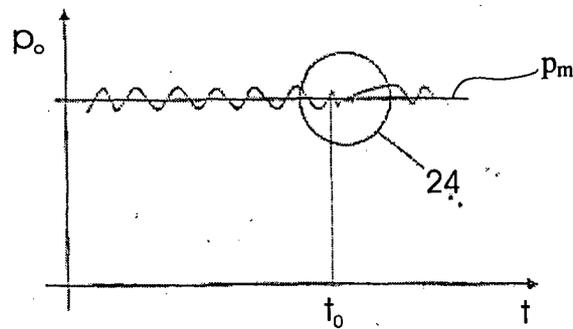


Fig. 2