



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 226 937 A1

4(51) F 04 D 29/66
F 04 D 15/00
F 04 D 9/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP F 04 D / 266 686 0 (22) 28.08.84 (44) 04.09.85

(71) VEB Kombinat Pumpen und Verdichter, 4020 Halle, Turmstraße 94–96, DD
(72) Prager, Rudolf, Prof. Dr.-Ing.; Heidel, Stefan, DD

(54) **Verfahren zur Überwachung, Kontrolle und Steuerung von Pumpenaggregaten sowie von Pumpenanlagen zur Vermeidung von Betriebsstörungen durch Kavitation**

(57) Das Ziel der Erfindung besteht darin, einen sicheren Betrieb der Pumpe im gesamten Einsatzbereich zu gewährleisten. Aufgabe der Erfindung ist es, bei einer Pumpe einen NPSE-Wert bereitzustellen ($NPSE_{\text{vorh}}$), der stets in Abhängigkeit des Volumenstromes \dot{V} gleich oder aber auch größer als der von der Pumpe geforderte ist. Gelöst wird die Aufgabe dadurch, daß durch eine Mikrorechnersteuerung in Kombination mit Bauelementen der Leistungselektronik Kreiselpumpenaggregate und Kreiselpumpenanlagen in einem kavitationsfreien Betrieb in Abhängigkeit wechselnder Betriebszustände und wechselnder Förderflüssigkeiten betrieben werden. Fig. 1

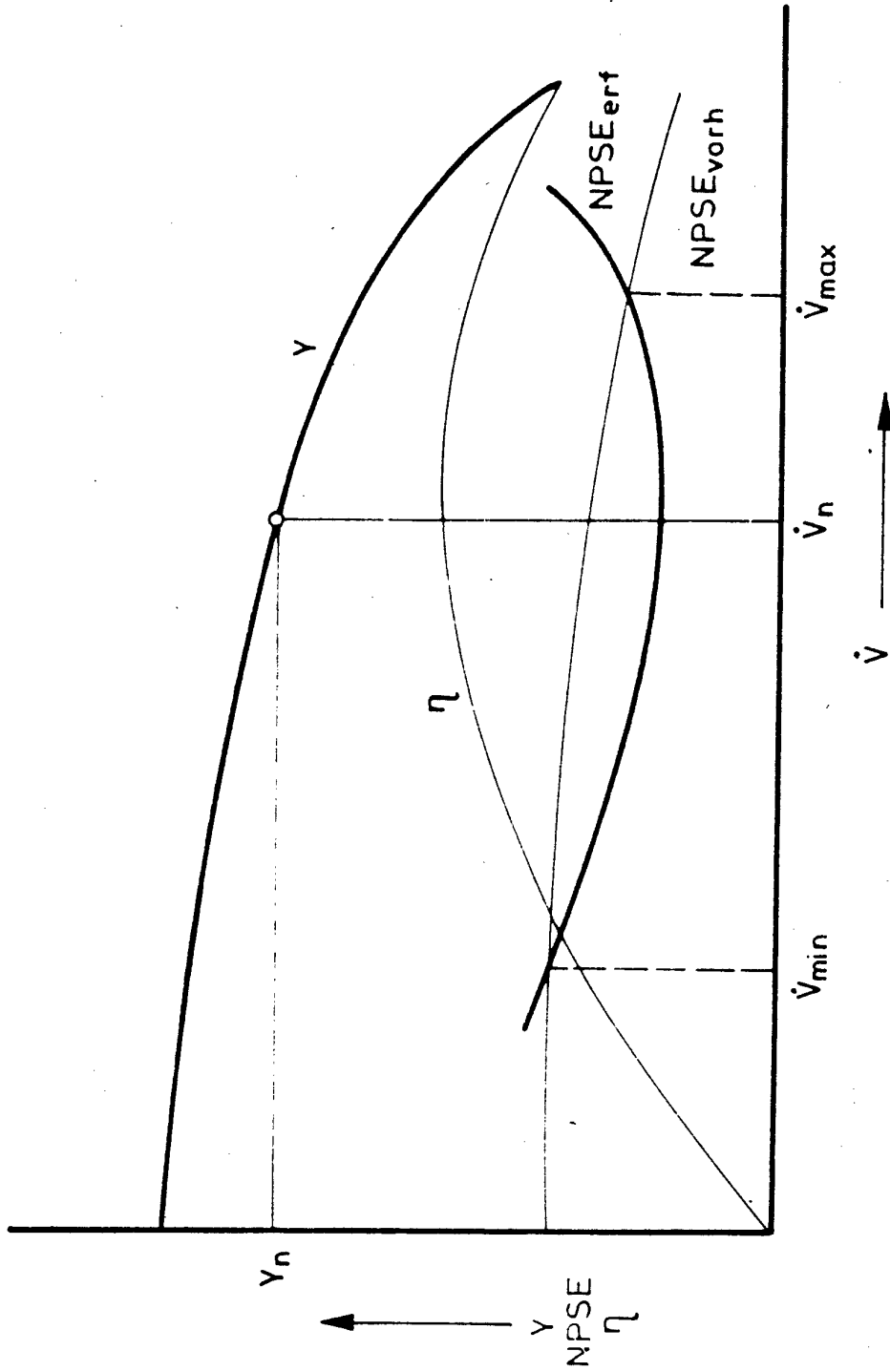


Fig. 1

Erfindungsansprüche:

1. Verfahren zur Überwachung, Kontrolle und Steuerung von Pumpenaggregaten sowie von Pumpenanlagen zur Vermeidung von Betriebsstörungen durch Kavitation, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch eine Mikrorechnersteuerung in Kombination mit Bauelementen der Leistungselektronik Kreiselpumpenaggregate und Kreiselpumpenanlagen in einem kavitationsfreien Betrieb in Abhängigkeit wechselnder Betriebszustände und wechselnder Förderflüssigkeiten betrieben werden.
2. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei möglichem Erreichen der Kavitationsgrenze Warnsysteme betrieben werden, Stellgrößen der Anlage verändert oder eine Außerbetriebnahme der Pumpenanlage erfolgt.
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß von der Erfindung auch Hubkolben- und Umlaufkolbenpumpen eingeschlossen sind.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung, Kontrolle und Steuerung von ein- und mehrstufigen Kreiselpumpenaggregaten in vertikaler oder horizontaler Bauart, die einzeln oder mit mehreren Kreiselpumpenaggregaten zu Kreiselpumpenanlagen kombiniert werden können.

Als Einsatzbereiche kommen Anlagen der Wasserversorgung, der Abwasserentsorgung, der chemischen Industrie, der Produktenfernleitungen (Pipelines) sowie alle Anlagen in konventionellen und kerntechnischen Kraftwerken in Frage. Die Erfindung schließt auch Hub- und Umlaufkolbenpumpen sowie die möglichen Kombinationen untereinander ein.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

In allen Pumpenanlagen muß die Förderflüssigkeit aus einem Behälter, dessen Flüssigkeitsspiegel unter oder über dem Saugstutzen- oder Einlaufquerschnitt der Pumpe liegt, der Pumpe zugeführt werden. Zwischen diesem Saug- oder Zulaufbehälter und dem Saugstutzen der Pumpe kann eine mehr oder weniger lange Saug- oder Zulaufleitung angeordnet sein, die in Spezialfällen bei vertikal in das Unterwasserbecken mit einer speziellen Einlaufglocke eingetauchten Kreiselpumpen auch entfallen kann. Zur Gewährleistung der von der Anlage geforderten Energieübertragungsparameter im Nennbetriebszustand wie Nennvolumenstrom \dot{V}_n , spezifische Nennförderarbeit y_n (bzw. Nennförderhöhe H_n) und maximaler Wirkungsgrad η_{max} der zum Einsatz kommenden Pumpe ist in jedem Punkt des von der Anlage her vorgeschriebenen Volumenstrombereiches $\dot{V}_{min} \leq \dot{V}_{max}$ zu garantieren, daß an keiner Stelle, an der durch Druckabfall oder Temperatursteigerung im allgemeinen unmittelbar hinter der Eintrittskante auf der Saugseite der Laufradschaufel einer Kreiselpumpe oder an einer anderen gefährdeten Stelle in der Maschine, so evtl. im Bereich der Dichtringe bei Gleitringdichtungen, in den Lagerspalten bei Radial- oder Axiallagern von Unterflüssigkeitsmotorpumpen, im Bereich innerer Dichtspalte im Innern der Maschine im Saugventilsitz einer Kolbenpumpe o. ä., der Sättigungsdruck der Förderflüssigkeit erreicht wird. Durch Erreichen oder Unterschreiten des Sättigungsdruckes der Förderflüssigkeit im örtlichen Druckbereich, der von der jeweiligen konstruktiven Grundkonzeption der Maschine abhängt, treten Dampfblasen auf, deren Größe im wesentlichen vom Grad der Unterschreitung einer Reihe weiterer physikalisch-chemischer Eigenschaften und der Überschreitung der Sättigungstemperatur der jeweiligen Förderflüssigkeit abhängen. Es bilden sich mit Flüssigkeitsdampf angefüllte Hohlräume, die bei arbeitsbedingtem Druckanstieg durch Kondensation schlagartig zusammenbrechen. Durch diese plötzliche Kondensation der Flüssigkeitsdampfblasen treten örtlich hohe Druckspitzen auf, die von zum Teil erheblichen Geräuschen den typischen Kavitationsgeräuschen – begleitet sind, Schwingungserscheinungen hervorgerufen und zu recht beträchtlichen Werkstoffanfressungen bis zur völligen Zerstörung von funktionswichtigen Bauteilen der Maschine führen können.

Weiterhin wird durch diese in ihrer Gesamtheit der Kavitation bezeichneten Vorgänge die Energieübertragung in der Pumpe erheblich gestört.

Durch das Dampfvolmen werden bei Hubkolben- und bei Drehkolbenpumpen die Arbeitsräume sowie bei Kreiselpumpen die Querschnitte strömungsführender Bauteile teilweise versperrt, was einen Rückgang des Volumenstromes zur Folge hat. Gleichzeitig tritt durch die gestörten Energieübertragungsverhältnisse infolge der im Fördermedium vorhandenen Dampfblasen und die in ihren Kernzonen sich ausbildenden dem gasdynamischen Verdichtungsstoß analogen Effekte insbesondere bei Kreiselpumpen (Kreiselpumpen, Seitenkanalpumpen) ein zum Teil erheblicher Abfall der spezifischen Nutzförderarbeit (Förderhöhe) ein. Es ist so eine Minderung der Energieübertragungsparameter der Pumpe zu verzeichnen, die bis zum völligen Abreißen der Flüssigkeitssäule in der Saugleitung der Pumpe und somit zur völligen Betriebsunfähigkeit der Pumpenanlage führen kann.

Tritt bei entsprechend über dem Einlaufquerschnitt der Pumpe angeordnetem Zulaufbehälter Kavitation im Laufrad einer Kreiselpumpe oder im Arbeitsraum einer anderen Pumpenausführung auf, ist zwar nicht mit einem Abreißen der Förderflüssigkeitssäule wegen des ständigen Nachströmens der Förderflüssigkeit zu rechnen, doch durch die stochastisch ablaufenden Verdampfungs- und Kondensationseffekte, die insbesondere in den einzelnen Teilkanälen des Kreiselpumpenlaufrades zu unterschiedlicher Zeit mit unterschiedlicher Intensität ablaufen und dabei noch mit einer geringeren als der Drehfrequenz der Laufradschaufeln von Laufradkanal zu Laufradkanal sich verändern können, treten aber viel mehr in diesem Falle erhebliche Druckpulsationen in der Kreiselpumpe auf, deren Amplituden und Frequenzen neben dem gesamten Pumpenaggregat auch das für die Pumpe installierte Rohrleitungssystem zu starken Schwingungen bis hin zu Schwingungsbrüchen anregen können. Insbesondere im Falle der Kondensatpumpen, der Kesselspeisepumpen und der Hochdruck- bzw. Reaktorumwälzpumpen für konventionelle und kerntechnische Kraftwerke sind derartige Gefahrenmomente mit absoluter Sicherheit auszuschließen oder bei sich evtl. andeutenden Havarien rechtzeitig zu signalisieren, zu erkennen und für den Umweltschutz erforderliche Maßnahmen hieraus rechtzeitig abzuleiten.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, einen sicheren Betrieb der Pumpe im gesamten Einsatzbereich zu gewährleisten.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer Pumpe einen NPSE-Wert bereitzustellen ($NPSE_{vorh}$), der stets in Abhängigkeit des Volumenstromes \dot{V} gleich oder aber auch größer als der von der Pumpe geforderte ist.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß durch eine Mikrorechnersteuerung in Kombination mit Bauelementen der

Leistungselektronik Kreiselpumpenaggregate und Kreiselpumpenanlagen in einem kavitationsfreien Betrieb in Abhängigkeit wechselnder Betriebszustände und wechselnder Förderflüssigkeiten betrieben werden.

Die Erfindung ist weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß bei möglichem Erreichen der Kavitationsgrenze Warnsysteme betrieben werden, Stellgrößen der Anlage verändert oder eine Außerbetriebnahme der Pumpenanlage erfolgt.

Die Erfindung schließt neben Kreiselpumpen auch Hubkolben- und Umlaufkolbenpumpen ein.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird an einem Ausführungsbeispiel (Fig. 1 und 2) näher erläutert.

Die Differenz zwischen der Gesamtenergie im Eintrittsquerschnitt einer Pumpe und der dem Sättigungsdruck der jeweiligen Förderflüssigkeit an der Stelle kleinsten Druckes entsprechenden statischen Druckenergie wird als erforderlicher NPSE-Wert ($NPSE_{erf}$) bezeichnet. Dieser Wert ist mit der Lieferdokumentation durch den Pumpenproduzenten anzugeben.

Vom Pumpenhersteller ist vorgegeben worden:

$$NPSE_{erf} = f(\dot{V}) \quad (1)$$

In der Anlage ist vorhanden:

$$NPSE_{vorh}(\dot{V}) = \frac{p_s}{\rho} + \frac{c_s^2}{2} - \frac{p_t}{\rho} - a \cdot g \quad (2)$$

Zur Vermeidung von Kavitation im gesamten Arbeitsbereich

$$\dot{V}_{min} \leq \dot{V} \leq \dot{V}_{max} \quad (3)$$

$$\text{muß gelten: } NPSE_{vorh}(\dot{V}) \geq NPSE_{erf}(\dot{V}) \quad (4)$$

Zur Realisierung der zur unbedingten Betriebssicherung einzuhaltenden Bedingung (4) ist Gleichung (1) in Gleichung (2) einzusetzen.

$$NPSE_{erf}(\dot{V}) = \frac{p_s}{\rho} + \frac{c_s^2}{2} - \frac{p_t}{\rho} - a \cdot g \quad (5)$$

Von der Anlage her müssen also der mittlere statische Druck im Eintrittsquerschnitt der Pumpe p_s , die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in diesem Querschnitt c_s in Abhängigkeit des jeweiligen Volumenstromes \dot{V} nach Gleichung (3) gemessen werden. Mit der durch die Pumpenkonstruktion vorgegebenen Höhendifferenz a von der Mitte des Eintrittsquerschnittes der Pumpe bis zur Stelle kleinsten Druckes sowie dem nach Dampf tafeln in Abhängigkeit der Temperatur im Eintrittsquerschnitt der Pumpe t_s ermittelten Sättigungsdruck p_t und der Förderflüssigkeitsdichte ρ läßt sich die erfindungsgemäße Überwachung der Pumpe nach Gleichung (5) realisieren.

$$\frac{p_s(\dot{V})}{\rho(t_s)} + \frac{\delta}{4 \cdot 2} \cdot \dot{V}^2 - \frac{p_t(t_s)}{\rho(t_s)} \geq NPSE_{erf} + a \cdot g \quad (6)$$

Der Volumenstrom \dot{V} ist in einer Pumpenanlage in der Mehrzahl der Fälle mit einem Drosselmeßgerät (Meßblende, Meßdüse, Venturidüse) über die sich an diesem Gerät einstellende Druckdifferenz Δ_p zu ermitteln.

Die einzelnen Meßgrößen sind wie folgt zu verarbeiten:

Mittlerer statischer Druck p_s im Eintrittsquerschnitt der Pumpe:

$$\text{Volumenstrom: } \dot{V} = k \sqrt{\Delta p}$$

Temperatur: t_s zur Ermittlung der Dichte $\rho(t_s)$ und des Sättigungsdruckes $p_t(t_s)$ der Förderflüssigkeit

Außerdem läßt sich der Volumenstrom \dot{V} auch noch durch andere geeignete Geber, z. B. Turbinendurchflußgeber o. ä. Geräte messen. Die jeweiligen Konstanten in Gleichung (6) bzw. die Funktionen des Sättigungsdruckes der Förderflüssigkeit $p_t(t_s)$ und der Dichte $\rho(t_s)$ in Abhängigkeit der jeweiligen Temperatur lassen sich in Arbeitsspeichern erfassen und so leicht jedem beliebigen Einsatzfall und jeder beliebigen Förderflüssigkeit anpassen.

Fig. 1 zeigt die Energieübertragungsfunktion einer beispielsweise ausgeführten Kreiselpumpe $y = y(\dot{V})$, den Wirkungsgradverlauf $\eta = \eta(\dot{V})$ und die für die Beurteilung der Kavitationsfreiheit erforderlichen Funktionen $NPSE_{erf} = NPSE_{erf}(\dot{V})$ und $NPSE_{vorh} = NPSE_{vorh}(\dot{V})$.

Entsprechend der Gleichung (4) ist unterhalb \dot{V}_{min} und oberhalb \dot{V}_{max} gegeben.

Fig. 2 zeigt die erfindungsgemäße Realisierung einer Mikrorechner-Überwachungs-, Kontroll- und Steuereinheit, die einen sicheren Arbeitsbereich einer Pumpenanlage gewährleistet. Sollen entgegen Gleichung (6) weitere Stellen im Innern der Maschine (siehe u. a. die genannten Dichtungs- und Lagerstellen o. ä.) auch auf Kavitation hin überwacht werden, sind mehrere Temperatureingänge t_i erforderlich.

Hierbei gilt:

$$p_{ti} = t(t_i) \quad (7)$$

mit der Bedingung

$$p_{ti} \geq p_t \quad (8)$$

Sollen zusätzliche Hilfsflüssigkeitsströme wie z. B. zur Kühlung von Gleitringdichtungen, Lagern o. ä. überwacht werden, gilt analog

$$\dot{V}_i \geq \dot{V}_{erf} \quad (9)$$

wobei wiederum auch eine Verknüpfung mit den Gleichungen (7) und (8) gegeben sein kann.

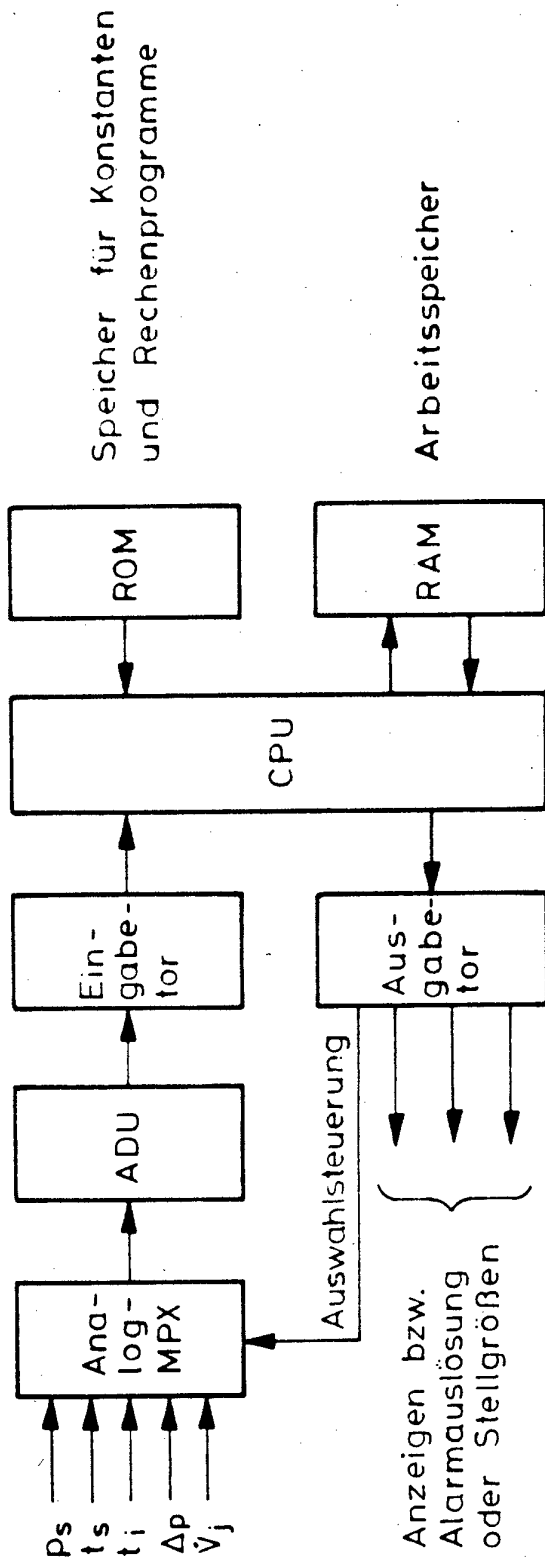


Fig. 2