

REGELUNGSVERFAHREN FÜR DEN HOCHLAUF EINER VAKUUMPUMPE, BEI
WELCHEM VERFAHREN DER EINGANGSSTROM DER
STEUEREINRICHTUNG BEGRENZT WIRD

Die Erfindung betrifft ein Regelungsverfahren für einen Hochlauf einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe.

Vakuumpumpen wie Turbomolekularpumpen weisen in einem Pumpengehäuse eine drehbar gelagerte Rotorwelle auf. Die Rotorwelle trägt mindestens einen Rotor, der bei Turbomolekularpumpen mehrere Rotorscheiben aufweist. Der Rotor wirkt mit einem Stator zusammen, bei dem es sich bei einer Turbomolekularpumpe um einen mehrere Statorscheiben aufweisenden Stator handelt, wobei die Statorscheiben zwischen den Rotorscheiben angeordnet sind. Der Antrieb der Rotorwelle erfolgt über einen Elektromotor, welcher üblicherweise unmittelbar auf der Rotorwelle angeordnet ist. Desweiteren ist eine Steuereinrichtung vorgesehen, die entweder innerhalb oder außerhalb des Pumpengehäuses angeordnet ist und anhand unterschiedlicher Betriebsparameter.

Ein besonders kritischer Moment ist die Steuerung des Hochlaufs der Vakuumpumpe. Hierbei wird die Pumpe vom Stillstand oder einer sehr geringen Drehzahl auf Nenndrehzahl bzw. Betriebsdrehzahl gebracht, in der die Vakuumpumpe die maximale Förderleistung aufweist. Insbesondere bei dynamischen Prozessen ist ein derartiger Hochlauf der Pumpe häufig erforderlich. Bei bekannten Pumpen, insbesondere Turbomolekularpumpen wird während des Hochlaufs ein Maximalstrom am Elektromotor zugelassen. Dieser Maximalstrom ist während des Hochlaufs konstant bis die Nenndrehzahl der Vakuumpumpe erreicht ist. Bei Betrieb der Vakuumpumpe auf Nenndrehzahl sinkt der Motorstrom auf einen Betriebswert. Dieser kann je

nach zu fördernder Gasmenge und Gasart schwanken, erreicht den Maximalwert während des Hochlaufs jedoch nicht.

Bisweilen besteht die Forderung kleinere leistungsschwächere Netzteile für die Vakuumpumpe vorzusehen. Hierbei handelt es sich um Netzteile, die im Unterschied zu herkömmlichen Netzteilen nicht auf die Nennleistung der Pumpe ausgelegt sind, sondern eine kleinere Nennleistung aufweisen. Um der Forderung nach kleineren Netzteilen nachzukommen, ist es bekannt, den im Hochlauf zulässigen Maximalstrom des Elektromotors zu verringern. Hierdurch ist es zwar möglich, kleinere Netzteile zu verwenden, die Hochlaufzeit bis zum Erreichen der Nenndrehzahl der Vakuumpumpe verlängert sich jedoch.

Aufgabe der Erfindung ist es, auch bei Verwendung von Netzteilen mit geringerer Nennleistung als diejenige der Pumpe bzw. der Pumpen-Elektronik die Verlängerung der Hochlaufzeit möglichst zu reduzieren bzw. bei Verwendung leistungsstarken Netzteilen die Hochlaufzeit zu verringern.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1.

Dem erfindungsgemäßen Regelungsverfahren für einen Hochlauf einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe liegt die Erkenntnis zugrunde, dass der Motorstrom hinsichtlich einer geforderten Verkleinerung des Netzteils oder einer Verringerung der Hochlaufzeit nicht den wesentlichen kritischen Parameter dargestellt. Der Motor muss insbesondere anhand mechanischer Bedingungen ausgelegt werden. Dies führt dazu, dass ein maximal zulässiger Motorstrom üblicherweise während des Hochlaufs und auch während des Betriebs der Vakuumpumpe nicht erreicht wird. Untersuchungen haben gezeigt, dass der hierfür wesentliche Parameter der Eingangsstrom der Steuereinrichtung ist.

Gemäß des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens erfolgt somit in einer ersten Hochlaufphase ein Begrenzen des Eingangsstroms der Steuereinrichtung auf einen Maximalwert. Der Eingangsstrom steigt somit in der ersten Hochlaufphase auf den Maximalwert an. Anschließend wird in einer zweiten Hochlaufphase die Steuereinrichtung bei dem Maximalwert des Eingangsstroms betrieben, wobei insbesondere am Ende der zweiten Hochlaufphase die Nenndrehzahl der Vakuumpumpe erreicht ist. Bei einem derartigen Regelungsverfahren wird der technisch zulässige Maximalstrom des Motors nicht überschritten. Insofern kann die Hochlaufzeit bei Verwendung eines kleineren Netzteils im Vergleich zu einer Begrenzung des Motorstroms reduziert werden. Ebenso kann hierdurch bei Verwendung eines leistungsstarken Netzteils die Hochlaufzeit verringert werden.

Bevorzugt ist es, dass der Eingangsstrom in der Steuereinrichtung nach dem Durchlaufen der zweiten Hochlaufphase auf einen Betriebswert sinkt. Eine Überlastung der Steuereinrichtung tritt somit im normalen Betrieb auch bspw. bei wechselnden Gasarten oder Gasmengen nicht auf.

Desweiteren ist es bevorzugt, dass der Eingangsstrom der Steuereinrichtung der ersten Hochlaufphase steigt. Insbesondere handelt es sich um ein Ansteigen auf den vorgegebenen Maximalwert, wobei dieser Anstieg insbesondere konstant ist. Vorzugsweise erreicht der Eingangsstrom der Steuereinrichtung somit am Ende der ersten Hochlaufphase seinen Maximalwert.

Ferner ist es bevorzugt, dass der Motorstrom in der ersten Hochlaufphase konstant ist. Insbesondere handelt es sich hierbei um einen Maximalwert des Motorstroms, der während des Betriebs ansonsten nicht überschritten wird. Hierbei muss es sich nicht um den maximal zulässigen Motorstrom handeln. Dieser liegt ggf. sogar höher sofern dies aufgrund mechanischer Bedingungen zulässig ist. Vorzugsweise nimmt der Motorstrom in der zweiten Hochlaufphase ab. Die Abnahme des Motorstroms in der zweiten Hochlaufphase entspricht

vorzugsweise einer e-Funktion. Während des sich an die zweite Hochlaufphase anschließenden Betriebs sinkt der Motorstrom auf einen Betriebswert. Dieser kann insbesondere je nach Art und Menge des geförderten Gases schwanken, liegt jedoch stets unterhalb des in der ersten Hochlaufphase anliegenden Maximalwerts.

Die Drehzahl der Vakuumpumpe steigt vorzugsweise in beiden Hochlaufphasen an. Vorzugsweise erfolgt in der ersten Phase ein schnelleres bzw. steileres Ansteigen der Drehzahl als in der zweiten Hochlaufphase. Vorzugsweise ist der Anstieg der Drehzahl in der ersten Hochlaufphase linear. In der zweiten Hochlaufphase folgt der Anstieg der Drehzahl vorzugsweise einer e-Funktion.

Vorzugsweise besteht während des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens die Randbedingung, dass die Systemleistung stets kleiner ist als die Motorleistung.

Untersuchungen haben gezeigt, dass bei einer Vakuumpumpe ohne Reduzierung des Motorstroms, d.h. bei einem Verfahren nach dem herkömmlichen Stand der Technik der Eingangsstrom der Steuereinrichtung bis auf maximal 7,3 A steigt, während der Motorstrom einen Maximalwert von 7,8 A erreicht. Die Hochlaufzeit bis zur Maximaldrehzahl der Vakuumpumpe beträgt hierbei 350 s.

Erfolgt, wie weiter aus dem Stand der Technik bekannt, eine Reduzierung des maximal zulässigen Motorstroms, aufgrund der Forderung ein Netzteil mit geringerer Nennleistung einzusetzen, auf 2,8 A, so verringert sich auch der maximale Eingangsstrom auf 2,4 A. Die Hochlaufzeit verlängert sich jedoch auf 1244 s.

Eine beispielhafte Untersuchung hat gezeigt, dass bei Einsatz des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens die Hochlaufzeit deutlich auf 628 s

verringert werden kann. Hierbei beträgt der maximale Eingangsstrom der Steuereinrichtung 2,5 A und der maximale Motorstrom 2,8 A.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand unterschiedlicher Diagramme im Vergleich zum Stand der Technik näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 ein Diagramm des Hochlaufs nach dem Stand der Technik bei maximalem Motorstrom,
- Fig. 2 ein Diagramm des Hochlaufs nach dem Stand der Technik bei reduziertem Motorstrom,
- Fig. 3 ein Diagramm eines Hochlaufs gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens.

Ein Regelungsverfahren nach dem Stand der Technik, bei dem ein maximaler Motorstrom $I_{M,max}$ zugelassen wird, ist in Fig. 1 dargestellt. Zu Beginn des Hochlaufs steigt der als durchgezogene Linie dargestellte Motorstrom zu einem Zeitpunkt t_1 auf $I_{M,max}$ an. Der Motorstrom wird sodann bis zu einem Zeitpunkt t_3 konstant gehalten. Zu diesem Zeitpunkt hat die gepunktet dargestellte Drehzahl der Vakuumpumpe die Nenndrehzahl erreicht. Bis zu einem Zeitpunkt t_6 läuft die Vakuumpumpe sodann im Normalbetrieb, wobei ggf. Schwankungen bei der geförderten Gasmenge oder Gasart auftreten können. Dies führt zu Schwankungen in dem Motorstrom. Desweiteren ist aus der Fig. 1 der Verlauf des Eingangsstroms gestrichelt dargestellt. Der Eingangsstrom der Steuereinrichtung steigt ab dem Beginn des Hochlaufs t_1 kontinuierlich bis zum Zeitpunkt t_3 an und schwankt während des Betriebs zwischen den Zeiten t_3 und t_6 ähnlich des Motorstroms in Abhängigkeit bspw. der geförderten Gasart oder Gasmenge.

Zur Verkleinerung des Netzteils ist es bekannt, den Motorstrom zu reduzieren. Dies ist schematisch in Fig. 2 dargestellt, wobei der Motorstrom auf $I_{M,red}$ reduziert ist. Zu einem Zeitpunkt t_1 steigt der Motorstrom somit auf $I_{M,red}$ an und wird auf diesem Wert gehalten bis die Vakuumpumpe ihre Nenndrehzahl erreicht hat. Aufgrund der Reduzierung des Motorstroms wird die Nenndrehzahl n_{max} erst zu einem Zeitpunkt t_5 erreicht. Zwischen den Zeitpunkten t_5 und t_6 ist wiederum schematisch der Betrieb dargestellt, in dem der Motorstrom schwanken kann. Entsprechend dem Betrieb bei maximalen Motorstrom steigt der gestrichelt dargestellte Eingangsstrom der Steuereinheit bei Reduzierung des Motorstroms auf $I_{M,red}$ von t_1 kontinuierlich bis t_5 an und schwankt sodann während des Betrieb zwischen t_5 und t_6 .

Aus den Diagrammen in Fig. 1 und Fig. 2 ergibt sich insbesondere auch dass der Eingangsstrom der Steuereinrichtung den Strom des Motors nicht überschreitet. Da ferner festgestellt wurde, dass ein maximal zulässiger Strom im Motor ggf. aufgrund mechanischer Anforderungen an den Motor höher als der Strom $I_{M,max}$ liegt, wurde das erfindungsmäße Regelungsverfahren wie in Fig. 3 schematisch dargestellt, entwickelt. Hierbei wurde der Hochlauf in zwei Phasen unterteilt. Die erste Phase ist der Zeitraum t_1 bis t_2 und die zweite Hochlaufphase t_2 bis t_4 . Erfindungsgemäß wird in einer ersten Hochlaufphase der gestrichelte dargestellte Eingangsstrom der Steuereinrichtung auf einen Eingangsstrom $I_{S,max}$ begrenzt. In der ersten Hochlaufphase, d.h. bis zum Zeitpunkt t_2 steigt der Eingangsstrom der Steuereinrichtung konstant bis auf den vorgegebenen Maximalwert $I_{S,max}$ an. Während dieser ersten Hochlaufphase steigt die Drehzahl ebenfalls konstant an, erreicht jedoch noch nicht die Nenndrehzahl n_{max} . Der Motorstrom I_m ist während dieser ersten Phase konstant.

In der zweiten Phase wird der Eingangsstrom der Steuereinrichtung auf den Maximalwert $I_{S,max}$ begrenzt. Dies führt zu einem weiteren wenn auch langsameren Anstieg der Drehzahl der Vakuumpumpe bis zum Erreichen der

Nenndrehzahl $n_{\max}$. Der Anstieg der Nenndrehzahl folgt hierbei einer e-Funktion. Untersuchungen haben gezeigt, dass wie auch aus dem schematischen Diagrammen ersichtlich ist, die Hochlaufzeit somit bis zum Erreichen der Nenndrehzahl $n_{\max}$ reduziert werden kann. Die Maximaldrehzahl ist zu einem Zeitpunkt t_4 erreicht. Dieser liegt vor dem Zeitpunkt t_5 (Fig. 2) bei Reduzierung des maximalen Motorstroms. Im Normalbetrieb zwischen den Zeitpunkten t_4 und t_6 bleibt die Nenndrehzahl konstant und der Eingangsstrom der Steuereinrichtung kann schwanken.

Der Motorstrom fällt in der zweiten Hochlaufphase, d.h. zwischen den Zeitpunkten t_2 und t_4 insbesondere als e-Funktion ab und schwankt während des Betriebs zwischen den Zeitpunkten t_4 und t_6 , sofern sich bspw. die Gasart oder die Gasmenge ändert.

Vorstehend ist das erfindungsgemäße Verfahren anhand der Forderung beschrieben ein kleineres Netzteil zu verwenden. Wie insbesondere anhand Fig. 3 erläutert, ist es bei Verwendung eines kleineren Netzteils möglich, die Hochlaufzeit gegenüber einer Hochlaufzeit mit reduziertem Motorstrom zu verringern.

Entsprechend kann das erfindungsgemäße Verfahren auch genutzt werden, um die Hochlaufzeit bei der Verwendung herkömmlicher Netzteile gegenüber der in Fig. 1 dargestellten Hochlaufzeit zu verringern.

Ansprüche

1. Regelungsverfahren für einen Hochlauf einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe, mit einem Elektromotor und einer Steuereinrichtung, bei welchem,

in einer ersten Hochlaufphase der Eingangsstrom der Steuereinrichtung bis auf einen Maximalwert $I_{S,max}$ steigt und

in einer zweiten Hochlaufphase die Steuereinrichtung bei dem Maximalwert $I_{S,max}$ des Eingangsstroms betrieben wird.
2. Regelungsverfahren nach Anspruch 1, bei welchem am Ende der zweiten Hochlaufphase die Nenndrehzahl n_{max} der Vakuumpumpe erreicht ist.
3. Regelungsverfahren nach Anspruch 2, bei welchem der Eingangsstrom der Steuereinrichtung nach der zweiten Hochlaufphase auf einen Betriebswert sinkt.
4. Regelungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchen der Eingangsstrom der Steuereinrichtung in der ersten Hochlaufphase, insbesondere konstant auf den Maximalwert $I_{S,max}$ steigt.
5. Regelungsverfahren nach Anspruch 4, bei welchem der Eingangsstrom der Steuereinrichtung den Maximalwert $I_{S,max}$ am Ende der ersten Hochlaufphase erreicht.
6. Regelungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welchem während der ersten Hochlaufphase der Motorstrom konstant ist, insbesondere einen konstanten Maximalwert $I_{M,max}$ aufweist.

7. Regelungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei welchem der Motorstrom in der zweiten Hochlaufphase abnimmt.
8. Regelungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei welchem der Motorstrom nach der zweiten Hochlaufphase auf einen Betriebswert sinkt.
9. Regelungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei welchem die Drehzahl der Vakuumpumpe in der ersten Hochlaufphase und in der zweiten Hochlaufphase steigt.
10. Regelungsverfahren nach Anspruch 9, bei welchem die Drehzahl der Vakuumpumpe in der ersten Hochlaufphase schneller steigt als in der zweiten Hochlaufphase.