

Diss. ETH Nr. 22274

Beiträge zu Axialventilatoren mit Homopolar-Magnetlager

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN
der ETH ZÜRICH
(Dr. sc. ETH Zürich)

vorgelegt von

CLAUDIUS MARTIN ZINGERLI

Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 1. Juli 1984
von Thal – St. Gallen

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Johann Walter Kolar, Referent
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johann Ertl, Koreferent

2014

Kurzfassung

In industriellen chemischen Prozessen entstehen vielfach Dämpfe oder Gase, die mit Ventilatoren über Abzüge abgesaugt werden müssen. Im Allgemeinen sind dabei die Ventilatoren durch einen vorgeschalteten Filter vor den Abgasen zu schützen, da andernfalls die konventionellen Kugel- oder Gleitlager korrodieren oder verstopfen und so die Ventilation frühzeitig ausfallen würde. Sind Abgase aus mehreren Prozesskammern abzusaugen, kann entweder ein Filter und ein Ventilator pro Kammer oder ein zentraler Ventilator mit einem Filter eingesetzt werden. Bei Verwendung eines Filters pro Kammer entsteht ein hoher Wartungsaufwand, weil der Filter periodisch ausgewechselt werden muss. Ein zentraler Ventilator hat den Nachteil, dass die Umweltbedingungen (Druck, Durchströmung) in den einzelnen Kammern nicht mehr getrennt kontrollierbar sind, was speziell bei empfindlichen Prozessen in der Halbleiter- oder Pharmaindustrie zu geringerer Ausbeute führt.

Mit dem Konzept eines magnetgelagerten Lüfters, bei dem sich das Flügelrad frei schwebend dreht, würden sich mechanische Lager und Filter komplett erübrigen. Pro Prozesskammer kann dann ein einzeln geregelter Ventilator die Umweltbedingungen konstant halten. Weiter könnte der Rotor komplett berührungs- und verschleissfrei gelagert werden, was die Lebensdauer und Ausbeute der Systeme deutlich erhöhen würde.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wird die Machbarkeit eines solchen magnetgelagerten Axialventilators basierend auf dem Konzept des lagerlosen Scheibenläufermotors belegt und dessen Betriebsverhalten analysiert und optimiert. Spezielle Herausforderungen stellen hierbei die vieldimensionale Thematik und die Verknüpfung der Disziplinen Leistungselektronik, Regelungstechnik, Aktorik, Sensorik und Strö-

mungsdynamik dar. Die theoretischen Überlegungen werden an mehreren Prototypen experimentell verifiziert.

Die Arbeit beginnt in Kapitel 1 mit Überlegungen zur Gestaltung der Maschine, worauf in den Kapiteln 2 und 3.1 bis 3.5 eine Auslegung des Rotors, Lagers und Antriebs folgt. Die gewählte Topologie wird in dieser Arbeit erstmals auf höheren Drehzahlen und bei dauernder Energieumwandlung betrieben. So folgt in weiteren Kapiteln 3.6 und 4 eine vertiefte Analyse der Stabilität und der Verluste, die beide grosse Herausforderungen darstellen. Die Nutzenergie wird als Strömung abgegeben, weshalb in Kapitel 5 die Entwicklung und Analyse eines Prüfstands und verschiedener möglicher Flügelräder mit speziellem Fokus auf die Anwendung einer verteilten evolutionären Entwurfsmethode beschrieben wird. Abschliessend werden in den Kapiteln 6 und 7 Überlegungen zur Skalierung der Maschine und zu den Kriterien für die Konstruktion einer stabilen Maschine angestellt.

Summary

In industrial chemical processes vapors or gases are frequently occurring which have to be extracted with fans via exhausts. Generally, the fans are to be protected by an upstream filter from the exhaust gases, otherwise the conventional ball or plain bearings would corrode or clog and the ventilation would fail prematurely. If exhaust gases are to be extracted from multiple process chambers, either a filter and a fan per chamber or a central fan with a filter can be used. When using one filter per chamber, high maintenance costs will arise since the filters must be replaced periodically. A central fan has the disadvantage that the environmental conditions (pressure, flow) in the individual chambers can no longer separately be controlled which leads to reduced yield, especially in sensitive processes in the semiconductor or pharmaceutical industry.

The concept of a magnetically levitated fan in which the impeller rotates freely would make mechanical bearings and filters completely unnecessary. One individually controlled fan per process chamber could keep the environmental conditions constant. Furthermore, the rotor could be installed completely contactless and free from mechanical wear and tear which would increase the life and yield of the systems considerably.

In the present thesis, the viability of such a magnetically levitated axial-flow fan is demonstrated, based on the concept of a bearingless disk motor, and its performance is analyzed and optimized. Specific challenges are the multidimensionality of the topic as well as the combination of disciplines, such as power electronics, control systems, actuators, sensors and flow dynamics. The theoretical considerations are verified experimentally in several prototypes.

The research starts with thoughts on the design of the machine

(Chapter 1), followed by the construction of the rotor, bearing and drive in Chapters 2 and 3.1 through 3.5. For the first time, the topology chosen in this work is operated at higher speeds and at constant energy conversion. Thus, in Chapters 3.6 and 4 follows an in-depth analysis of the stability and losses which both represent major challenges. The effective energy is emitted as a fluid flow which is why the development and analysis of a test rig and of various possible impellers are described in Chapter 5 with a special focus on the application of a distributed evolutionary design method. Finally, Chapters 6 and 7 are dealing with considerations on the scaling of the machine and with criteria regarding the construction of a stable apparatus.