

Integrierte lagerlose Pumpsysteme hoher Leistungsdichte

Doctoral Thesis

Author(s):

Raggl, Klaus

Publication date:

2009

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005871679>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH Nr. 18252

Integrierte lagerlose Pumpsysteme hoher Leistungsdichte

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

KLAUS RAGGL

Dipl. Ing. JKU Linz
geboren am 20. August 1980
von Schönwies – Österreich

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. J. W. Kolar, Referent
Prof. Dr. J. Wassermann, Korreferent

2009

Kurzfassung

Die Halbleiterindustrie stellt hohe Anforderungen an die Leistungsdichte und Reinheit aller eingesetzten Pumpsysteme. Die Forderung nach höchster Reinheit zwecks Produktivitätssteigerung führt vermehrt zum Einsatz von magnetisch gelagerten Pumpsystemen, welche aufgrund der Eliminierung von mechanischen Lagern sowie damit einhergehendem Wegfall von Dichtungen und Schmiermitteln eine Verunreinigung der Fördermedien verhindern. Der verstärkte Einsatz solcher Pumpsysteme innerhalb des kostenintensiven Reinraums, u.a. beim so genannten *Wet-Processing*, verschärft zusätzlich die hoch gesteckten Ansprüche bezüglich der Leistungsdichte. Darüber hinaus erhöhen immer feinere Strukturen der im hydraulischen Kreislauf angewandten Filter, welche einen hohen hydraulischen Druckabfall aufweisen, die Anforderungen an das Pumpsystem bezüglich geförderter Ausgangsleistung.

Vor diesem Hintergrund befasst sich diese Arbeit gezielt mit der Optimierung des gesamten Pumpsystems bestehend aus der Hydraulik, der magnetischen Lagerung, dem elektrischen Antrieb sowie der Leistungselektronik. Das erklärte Ziel ist die Realisierung eines Pumpsystems mit maximal erreichbarem hydraulischen Ausgangsdruck bei minimalem Volumen.

Die vorliegende Untersuchung ergab, dass die Integration der Leistungselektronik in das Motorgehäuse eine erste Steigerung der Leistungsdichte ermöglicht. Zur Erfüllung der hohen Anforderungen ist jedoch nachfolgend eine Optimierung, basierend auf dem Pumpsystem mit vollintegrierter Leistungselektronik, hinsichtlich den Abmessungen des Systems unumgänglich. Eine Variation der Systemdimensionen resultiert in unterschiedlichen Skalierungsgesetzen der hydraulischen und elektro-

mechanischen Teilkomponenten. Angesichts dessen ist eine stetige Überwachung unterschiedlicher Systemvariablen, wie zum Beispiel der auftretenden Temperaturen innerhalb des Pumpsystems mittels eines analytischen thermischen Modells, unumgänglich.

Ein besonderes Merkmal des vorgestellten Pumpsystems stellt die teils passive magnetische Lagerung dar. Die Problematik dieser passiven Stabilisierung in Zusammenhang mit den hydraulischen Kräften erzwingt eine analytische Abschätzung und gegebenenfalls notwendige Kompensation dieser hydraulischen Axialkräfte. Ein detailliertes analytisches Modell zur Bestimmung dieser Kräfte wird in dieser Arbeit vorgestellt.

Der Einsatz unterschiedlicher Wicklungskonzepte zur Aufbringung der geforderten Lagerkräfte und des Drehmomentes und deren Auswirkung auf die entstehenden Verluste sowie der maximal erreichbaren Drehzahl wird bei der durchgeführten Optimierung ebenfalls analysiert.

Zur Integration eines Netzteils zum Betrieb des Pumpsystems am Einphasennetz, muss ein solches mit dem Schwerpunkt einer maximalen Leistungsdichte optimiert werden. Eine Berücksichtigung der Anforderungen an alle notwendigen Komponenten einschliesslich dem EMV Eingangsfilter bezüglich deren Verhalten auf den Einsatz mehrerer paralleler Boost-Induktivitäten und unterschiedlichen Stromführungskonzepten des Induktivitätsstromes stellt hierbei den Fokus dar. Das realisierte System weist eine Ausgangsleistung von 300 W und eine Leistungsdichte von 5.5 kW/dm³ auf.

Ein Regelungskonzept, welches den Betrieb des magnetisch gelagerten Pumpsystems ohne Winkelerkennung des magnetisierten Rotors ermöglicht und damit Temperatureinflüsse auf das Systemverhalten reduziert, rundet die Betrachtung der Einzelkomponenten des Pumpsystems ab. Dieses Prinzip basiert massgeblich auf der Messung des Freilaufstromes in einer Antriebsphase durch die inkludierte Strommessung.

Die durchgeführte Optimierung liefert ein Pumpsystems mit maximalem Ausgangsdruck und minimalem Volumen, welches gegenüber dem Ausgangssystem *Levitronix BPS 3* ein um 60% reduziertes Volumen bei gleichzeitiger Erhöhung des Ausgangsdruckes von 20% aufweist.

Abstract

Due to the necessity of permanent productivity increase in the semiconductor industry, applied pump systems have to meet the growing demands for improved process quality and power density. The use of bearingless pumps has become popular since these pumps do not have any lubricants or seals and therefore do not contaminate the pumped fluid. For special processes as the *Wet-Processing* these pumps are applied directly in the cost intensive clean room area, which requires a higher power density of the pump system. More than that, as the hydraulic filter structures are getting smaller and smaller to ensure highest fluid purity these filters cause an increased drop of pressure. The output power of the pumps has therefore to be enhanced.

Against this backdrop, the present thesis deals with a comprehensive optimization of the whole pump system, taking into account the hydraulic aspects as well as the electrical drive system and the power electronics. Its goal is to realize a pump system with maximum output pressure and minimal volume.

The integration of the power electronics into the motor housing leads to a first significant volume reduction. However, to achieve maximum power density, an optimization of the dimensions of the system must follow. As different variations of the dimension relate to different scaling laws of the hydraulic and electro-mechanical parts, a continuous observation and assessment of various resulting system states (as for example the maximum appearing temperature) is necessary.

A particular characteristic of the pump system presented here is the passive axial magnetic stabilization. This requires a assessment of the

maximum hydraulic force acting on the rotor. Therefore, an analytical model to calculate and, where necessary, compensate this force is given.

Different winding concepts for producing the forces and the torque needed are also taken into account. Here, either a significant loss reduction or a maximum rotation speed and therefore hydraulic output pressure can be achieved by applying one of the concepts considered.

A single phase power supply with power factor correction to drive the pump system connected directly to the mains has been optimized with a view to minimum volume. The focus is here an analysis of the influence of different current control methods and of interleaving several boost-inductances on the design of the system components including the EMI-filter. As a result, a power supply with a rated output power of 300 W and a power density of 5.5 kW/dm^3 is realized.

A new control strategy to drive the bearingless pump without any temperature critical angle sensors completes the examination of all parts of the system. This method is essentially based on measuring the freewheeling current in one drive phase with the included current sensors.

Eventually, the optimization routine results in a pump system with minimal volume and maximum output pressure. In comparison with the initial system *Levitronix BPS-3*, we come out at a volume reduction of 60 % with a simultaneous output pressure increase of 20 %.