
ABSTRACT

Sound and vibration issues have ever since been addressed in the research and development of fluid power machines, especially pumps and motors. Most efforts concentrate on fluid pulsation and structural vibration, only few address air borne sound (ABS). Nowadays, the increasing focus on health and safety issues as well as marketing and comfort considerations related to ABS, have led to an additional focus on ABS measurement and simulation. However, hydraulic development and design processes, including modern simulation techniques, often only comprise fluid borne (FBS) and structure borne sound (SBS) analysis.

The presented thesis expands beyond the SBS simulation to finite element based ABS analysis of an axial swash plate motor with the aim of reducing the humanly perceived sound pressure level. The simulation builds on a model of the entire motor incorporating simplified physical approaches for miscellaneous complex mechanisms, e.g., non-linear contact, lubrication gaps or damping. A three-step FE simulation - numerical modal analysis, harmonic response analysis and acoustic simulation - is pursued. Therefore the modal parameters of the motor are experimentally analyzed and compared to the results of the numerical simulation model. The excitation loads are derived from simulated piston chamber pressure courses. Their incorporation in the simulation in addition to the surrounding air volume leads to the ABS emission simulation.

The results for different operating points (OP) and valve plate (VP) designs are successfully compared to sound measurements in an anechoic chamber, resulting in a satisfying accuracy for most simulated combinations of OP and VP. Finally, the acoustical impact of the different valve plate designs is reviewed and local structural reinforcements are analyzed by means of the numerical acoustical model. The results show that an early consideration of the ABS emission in the development process of a displacement machine, especially regarding valve plate design, can lead to a significant reduction in the ABS emission. In case of this thesis, due to unknown exact transfer paths contributions (FBS, SBS or ABS) from the motor to the point of human perception in the superordinate system, the motor's ABS emission is successfully utilized as an optimization measure for the sound reduction at the point of perception.

ZUSAMMENFASSUNG

Frage- und Problemstellungen rund um das Thema Schall werden seit jeher bei der Erforschung und Entwicklung von hydraulischen Antrieben, insbesondere bei Pumpen und Motoren, betrachtet. Die Bemühungen konzentrieren sich überwiegend auf Körper- und Fluidschall, nur wenige fokussieren sich auf Luftschall. Heutzutage führen dabei immer weitergehende Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften, sowie Marketing und Komfort Anforderungen im Zusammenhang mit Luftschall, dazu, dass dieser zunehmend in den Fokus von experimentellen und simulativen Analysen rückt. Der Forschungs- und Entwicklungsprozess von hydraulischen Systemen bezieht allerdings, trotz der Einbindung moderner Simulationsmethoden, weiterhin oft nur Fluid- und Körperschallanalysen mit ein.

Die vorliegende Dissertation reicht über die Körperschallsimulation hinaus und beschreibt die Luftschallanalyse eines Axialkolbenmotors in Schrägscheibenbauweise auf Basis der Finiten Elemente Methode mit dem Ziel, den menschlich wahrnehmbaren Schalldruckpegel zu senken. Die Simulation beruht auf dem Modell des gesamten Motors unter Einbezug von vereinfachten physikalischen Ansätzen für verschiedene komplexe Mechanismen, wie z.B. nicht-lineare Kontakte, Schmierfilme oder Dämpfung. Ein dreistufiger FEM-Ansatz bestehend aus Modalanalyse, harmonischer Antwortanalyse und Schallsimulation wird verfolgt. Dazu werden die modalen Parameter des Motors experimentell ermittelt und mit Simulationsergebnissen verglichen. Die Anregungslasten werden aus simulierten Kolbenkammerdrücken abgeleitet. Die Integration der Lasten, sowie des angrenzenden Luftvolumens ermöglichen schließlich die Simulation der Luftschallabstrahlung.

Die Ergebnisse verschiedener Betriebspunkte und Steuerspiegeldesigns werden erfolgreich mit Schallmessungen verglichen und eine angemessene Genauigkeit wird für die meisten Kombinationen erreicht. Zudem werden der Einfluss des Steuerspiegels und lokaler Steifigkeitsverstärkungen auf Grundlage des Luftschallsimulationsmodells analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Einbindung von Luftschallanalysen zu einem frühen Stadium der Entwicklung einer hydraulischen Einheit, insbesondere bzgl. der Steuerspiegelauslegung, zu massiven Verringerungen der Luftschallabstrahlung führen kann. Im vorliegenden Fall wird aufgrund unbekannter exakter Schalltransferpfade vom Motor zum Ort der menschlichen Wahrnehmung im Gesamtsystem die Luftschallabstrahlung des Motors erfolgreich als Bewertungsmaß für die Schallreduktion am Wahrnehmungspunkt eingesetzt.