

Institute of Mechanical Engineering
and Energy Technology

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

MSE - Master Thesis

Creation of a Modelica library for vacuum transportation applications
and the design of a cooling system for the AlphaTube

Author: Manuel Häusler

Advisors: Prof. Dr. Ulf Christian Müller
Thomas Sergi

Experts: Dr. Joel Schlienger

Industrial partner: EuroTube Foundation
Dreikönigstrasse 7
CH-8002 Zürich

Horw, 19 June 2020

Declaration of Authorship

I hereby declare that I have prepared the present work independently and have used nothing other than the specified aids. All text sections, citations or contents of other authors used have been explicitly marked as such.

Horw, 19 June 2020

Manuel Häusler

Abstract

The EuroTube Foundation was founded with the purpose to accelerate the development of sustainable vacuum transportation technologies and to provide publicly accessible research and testing infrastructures for universities and industry. Vacuum transportation is a concept for a new mode of transport where vehicles are levitating in a partial vacuum tube traveling at almost the speed of sound. EuroTube is one of an increasing amount of companies world wide working to bring vacuum transportation to market. EuroTube is going to build the very first European vacuum tube called AlphaTube in Switzerland.

In this thesis a basis is laid for an extensive modeling library containing different models for vacuum transportation applications and linear drives. The library is created using the modeling language Modelica. First models are added to the library with the focus on the thermal domain to design a cooling system for AlphaTube. The two most advanced models created are a single sided linear induction motor (SLIM) model based on an equivalent circuit in a d-aligned dq reference frame and a one dimensional discretised thermal capacity model with vehicle-covering function. The SLIM model is extended by an indirect field oriented controller (IFOC) optimised for high speed LIMs in order to follow a specified trajectory. The vehicle-covering function is a wave function that moves along with the vehicle and evaluates the coverage of each non-moving capacity element.

With the help of parameter variations on the AlphaTube system model a cooling concept was developed. The proposed cooling system consists of three individual water circuits, each cooling another part of the track. As refrigerant in the circuits water from the nearby river (Rhône) is used. The most efficient cooling is achieved if water as cold and as close as possible is available at the heat sources leading to large temperature gradients between sources and refrigerant.

Keywords

Vacuum transportation technology, dynamic system modeling, Modelica, thermal heat source network, thermal resistor, linear induction motor (LIM), dq reference frame, vector control

Zusammenfassung

Die EuroTube Foundation wurde gegründet mit dem Ziel, die Entwicklung nachhaltiger Vakuumtransporttechnologie zu beschleunigen und öffentlich zugängliche Forschungs- und Testinfrastruktur für Universitäten und die Industrie bereitzustellen. Unter Vakuumtransport wird ein Konzept eines neuen Transportmittels verstanden, bei welchem sich Fahrzeuge in einer luftdünnen Atmosphäre schwebend und mit beinahe Schallgeschwindigkeit fortbewegen. EuroTube ist eines, einer wachsenden Anzahl an Unternehmen weltweit, die daran arbeiten Vakuumtransporttechnologie auf den Markt zu bringen. In naher Zukunft wird EuroTube die erste Vakuumröhre Europas namens AlphaTube in der Schweiz realisieren.

In dieser Arbeit wird die Grundlage einer umfangreichen Modell-Bibliothek gelegt, welche in Zukunft Modelle für verschiedenste Vakuumtransport-Anwendungen und lineare Antriebssysteme enthalten kann. Die Bibliothek wird in der Modellierungssprache Modelica realisiert. Erste Modelle mit Schwerpunkt auf der thermischen Domäne werden erstellt, um damit ein Kühlsystem für die AlphaTube entwerfen zu können. Die beiden interessantesten Modelle sind zum einen der einseitige, lineare Induktionsmotor (SLIM), welcher auf einem elektrischen Ersatzschaltbild in einem d-ausgerichteten dq-Referenzsystem basiert. Dieses Modell wird mit einer für Hochgeschwindigkeits-LIM's optimierten indirekten, feldorientierten Regelung (IFOC) erweitert, damit der LIM eine vorgegebene Trajektorie erzeugen kann. Zum anderen ist es das Modell einer räumlich eindimensional ausgedehnten Wärmekapazität. Diese Wärmekapazität beinhaltet eine Wellenfunktion, die sich mit dem Fahrzeug mitbewegt und fortlaufend die durch das Fahrzeug erzeugte Abschattung und die daraus resultierende Wärmezufuhr in die entsprechenden Stellen der Wärmekapazität ermittelt.

Mithilfe der Erkenntnisse aus einer Parametervariation am System-Modell der AlphaTube, wurde ein geeignetes Kühlsystem entworfen. Das vorgeschlagene Kühlsystem besteht aus drei individuellen Wasserkreisläufen, die jeweils einen anderen Abschnitt der Strecke kühlen sollen. Die effizienteste Kühlung wird erreicht, indem Wasser aus dem nahen Fluss (der Rhone) verwendet und dieses möglichst nahe an den Wärmequellen vorbei geleitet wird. Dies ermöglicht möglichst grosse Temperaturgradienten zwischen Quelle und Kühlmittel, was in einem guten Wärmefluss resultiert.

Schlüsselwörter

Vakuumtransporttechnologie, Modellierung dynamischer Systeme, Modelica, thermisches Wärmequellennetz, thermischer Widerstand, linearer Induktionsmotor (LIM), dq-Referenzsystem, feldorientierte Regelung

Contents

Nomenclature	vii
List of Figures	x
1 Introduction	1
1.1 Vacuum transportation technology	1
1.2 AlphaTube	2
2 Research	4
2.1 Cooling of electrical machines	4
2.1.1 Heat absorption	4
2.1.2 Heat disposal	6
2.2 Thermal heat source networks	7
3 Modeling	12
3.1 AlphaTube system overview	12
3.2 Model requirements	15
3.3 Modeling approach	17
3.4 «AlphaTubeLib» library	19
3.4.1 Vehicle	19
3.4.2 Ohmic resistor	21
3.4.3 Linear induction motor	21
3.4.4 Motor drive	32
3.4.5 Electromagnet	35
3.4.6 Discretised thermal capacity	35
3.4.7 Discretised heat exchanger tube	41
4 Model based system analysis	43
4.1 Parameter selection (prototype model)	43
4.2 Simulation of an acceleration	49
4.3 Parameter variation	55
4.3.1 Cooling of the secondary	55

4.3.2	Variation of the thermal masses	56
4.3.3	Improved thermal connection of the iron cores	57
4.3.4	Variation of the refrigerant volume flow rate	58
4.3.5	Variation of the refrigerant temperature	59
5	Conclusion	61
5.1	Cooling concept proposal	62
6	Outlook	66
	Bibliography	xiii
	Appendix	xvi