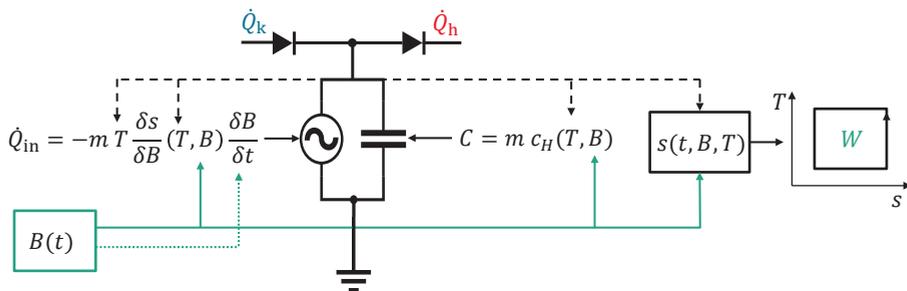


Modellierung einer magnetokalorischen Wärmepumpe mit thermischen Dioden



Modellierung einer magnetokalorischen Wärmepumpe mit thermischen Dioden

Vorgelegt von

Tobias Hess

Professur für Gassensoren
Institut für Mikrosystemtechnik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
Technischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg im Breisgau

Dekan

Prof. Dr. Rolf Backofen

Gutachter

Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein

Prof. Dr. Lars Pastewka

Datum der Disputation

09.01.2020

Gas Sensors
herausgegeben von Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein

Volume 10

Tobias Hess

**Modellierung einer magnetokalorischen
Wärmepumpe mit thermischen Dioden**

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Freiburg, Univ., Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7247-1

ISSN 2566-8552

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
1 Einleitung	3
2 Grundlagen	9
2.1 Thermodynamik	9
2.2 Magnetokalorischer Effekt	14
2.2.1 Magnetokalorische Materialien	16
2.2.2 Weitere kalorische Effekte	17
2.3 Aktiver magnetokalorischer Regenerator	18
2.4 Aktive magnetokalorische Heatpipe	20
3 Thermisches Ersatzschaltbild	23
3.1 Wissenschaftliche Einordnung	23
3.2 Annahmen	25
3.3 Aufstellen des Modells	27
3.4 Analytische Abschätzungen	28
3.4.1 Ohne Temperaturgradient	28
3.4.2 Mit Temperaturgradient	31
3.4.3 Mehrere Segmente	33
3.5 Simulation	35
3.5.1 Methode	35
3.5.2 Ergebnisse	35
3.6 Abgleich mit Messdaten	39
3.7 Diskussion	40
3.7.1 Wärmeübertrag	41
3.7.2 Leistungsdichte	44
3.8 Fazit	46
4 Simulation mit thermodynamisch konsistentem Materialmodell	49
4.1 Wissenschaftliche Einordnung	49
4.2 Materialmodell	52
4.2.1 Grundgleichungen und graphische Darstellung	52
4.2.2 Parametrisierung	54
4.2.3 Vergleich mit experimentellen Daten	57

4.3	Simulation	61
4.3.1	Methode	61
4.3.2	Ergebnisse	62
4.4	Verlust durch Wärmeübertrag	66
4.5	Fazit	67
5	Hysterese	69
5.1	Wissenschaftliche Einordnung	69
5.2	Thermische Hysterese und magnetische Hysterese	71
5.3	Irreversibilität der Temperaturänderung	76
5.4	Hysterese und Effizienz	78
5.4.1	Kaskadiertes System	82
5.4.2	Teilweiser Phasenübergang	85
5.5	Fazit	86
6	Diskussion	87
6.1	Leistungsdichte	87
6.1.1	Einflussfaktoren	87
6.1.2	Kostenabschätzung	89
6.2	Effizienz	91
6.2.1	Verlustmechanismen eines AMH-Systems	91
6.2.2	Vergleich mit kompressorbasierten Systemen	93
6.3	Leistungsdichte und Effizienz	94
7	Ausblick	97
7.1	Erweiterung des Modells	97
7.2	Praktische Umsetzung	98
8	Zusammenfassung	101
	Literaturverzeichnis	107
	Publikationen	115
	Nomenklatur	117
	Danksagung	121