

# Inhaltsverzeichnis

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Steigender Einfluss von DC-Systemen durch Wachstum der erneuerbaren Energien	1
1.2 Erforderliche Veränderungen in der DC-Strommesstechnik	2
1.3 Ziel und Aufbau der Arbeit	2
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Die Maxwell'schen Gleichungen	3
2.1.1 Elektrische Ladungen als Quelle des elektrischen Feldes	3
2.1.2 Quellenfreiheit des magnetischen Feldes	4
2.1.3 Zweite Maxwell'sche Gleichung / Induktionsgesetz	5
2.1.4 Erste Maxwell'sche Gleichung / Durchflutungsgesetz	5
2.2 Ampère'sches Gesetz	6
2.3 Biot-Savart-Gesetz	7
2.4 Lorentzkraft und Coulombkraft	8
2.5 Hall-Effekt	9
2.6 Fluxgate-Magnetometer	10
<b>3 Stand der Technik der Strommesssensorik</b>	<b>13</b>
3.1 Direkte Shunt-basierte Strommessung	13
3.2 Indirekte magnetfeldbasierte Strommessung	14
3.2.1 Messung auf der Basis des Faraday'schen Induktionsgesetzes	14
3.2.1.1 Stromwandler	14
3.2.1.2 Rogowskispirale	16
3.2.2 Faraday'scher magnetooptischer Effekt	17
3.2.3 Magnetfeldsensoren	17
3.2.3.1 Open-Loop-Strommessprinzip	18
3.2.3.2 Closed-Loop-Strommessprinzip	19
3.2.3.3 Weitere auf Magnetfeldsensoren basierte Methoden	20
3.2.3.4 Fluxgate-Magnetfeldsensor	20
3.3 Vergleich aktueller Strommessverfahren	20
<b>4 Strommessung auf der Grundlage des Ampère'schen Gesetzes</b>	<b>23</b>
4.1 Diskretisierung des Ampère'schen Gesetzes	23
4.2 Einfluss der Sensitivität der Magnetfeldsensoren	25
4.3 Messumgebung	26
4.3.1 Messkomponenten und ihre Umgebung	26
4.3.2 Messablauf	27

4.3.3	DRV425-Fluxgate-Sensor von Texas Instruments . . . . .	28
4.3.4	A1369-Hall-Sensor von Allegro . . . . .	29
4.4	Einfluss der Leiteranordnung auf die Strommessung . . . . .	30
4.4.1	Kalibrierung der Sensoren . . . . .	31
4.4.2	Einfluss eines Fremdfeldes auf den Strommessfehler . . . . .	34
4.4.2.1	Einfluss des Winkels des Störleiters . . . . .	38
4.4.2.2	Einfluss der Distanz des Störleiters . . . . .	44
4.4.2.3	Einfluss der Anzahl an Sensoren bei einem Störleiter . . . . .	44
4.4.2.4	Zusammenfassung zum Einfluss des Störleiters auf den Messfehler . . . . .	45
4.4.3	Einfluss der Position des Leiters auf den Strommessfehler . . . . .	46
4.4.3.1	Einfluss der Distanz des Leiters zum Sensormittelpunkt . . . . .	50
4.4.3.2	Einfluss des Winkels bei nicht zentrischer Position des Leiters . . . . .	53
4.4.3.3	Einfluss der Anzahl an Sensoren bei nicht zentrischer Position des Leiters . . . . .	58
4.4.3.4	Zusammenfassung zum Versatz des Leiters . . . . .	58
4.4.4	Einfluss der Leitergeometrie auf den Strommessfehler . . . . .	59
4.4.4.1	Einfluss der Breite des Leiters . . . . .	62
4.4.4.2	Einfluss des Winkels zwischen Sensor und Leiter . . . . .	64
4.4.4.3	Einfluss der Anzahl an Sensoren bei einem Flachleiter . . . . .	68
4.4.4.4	Zusammenfassung zur Leitergeometrie . . . . .	69
4.4.5	Zusammenfassung zur Strommessung auf der Grundlage des Ampère'schen Gesetzes . . . . .	70
<b>5</b>	<b>Möglichkeiten durch intelligente Verarbeitung der Sensordaten</b>	<b>71</b>
5.1	Fehlerreduktion durch Bereichsumschaltung . . . . .	71
5.1.1	Algorithmus zur Bereichsumschaltung . . . . .	73
5.1.2	Einfluss der Einzel-, Paar- und Gruppenumschaltung auf den Strommessfehler . . . . .	78
5.1.3	Zusammenfassung zur Bereichsumschaltung . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>85</b>
6.1	Zusammenfassung . . . . .	85
6.2	Ausblick . . . . .	87
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>89</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>95</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>99</b>