

Dipl.-Ing. Elmar Hoppach, Darmstadt

**Optimierung von elektrischen
Kleinantrieben ohne Perma-
nentmagnete für Umrichter-
speisung am Beispiel des
Kleinst-Asynchron- und des
geschalteten Reluktanzmotors**

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **229**

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen	VIII
1 Elektrische Kleinantriebe in der Feinwerktechnik	1
1.1 Zielsetzung	4
1.2 Der Kleinst-Asynchronmotor	5
1.3 Der geschaltete Reluktanzmotor	5
1.4 Systematik der vorliegenden Arbeit	6
2 Die Ähnlichkeitsrechnung zur Einordnung der Motorprinzipien	7
2.1 Die Ähnlichkeitsrechnung zur Vorausbestimmung technischer Daten ...	7
2.2 Randbedingungen der Ähnlichkeitsrechnung	8
2.3 Asynchronmotoren mit Käfigläufer	10
2.3.1 Wirkungsgrad von Asynchronmotoren	12
2.3.2 Ähnlichkeit elektrischer Zeitkonstanten	13
2.4 Geschalteter Reluktanzmotor	15
2.4.1 Elektrische Zeitkonstante des geschalteten Reluktanzmotors	16
2.5 Vergleich von Asynchronmotor und geschaltetem Reluktanzmotor	18
3 Ansteuerung und Regelung von Kleinst-Asynchronmotoren	19
3.1 Wechselrichter für Asynchronmotoren	20
3.1.1 Phasenstromrekonstruktion mit Meßwiderstand in der Halbbrücke	21
3.1.2 Phasenstromrekonstruktion mit einem Meßwiderstand	22
3.1.3 Messung der Zwischenkreisleistung	24
3.2 Bewertung und Auswahl einer Reglerstruktur	25
3.2.1 Regelung mit Spannungs-Frequenzsteuerung	26
3.2.2 Führung des Läuferflusses	27
3.3 Modellbildung des Asynchronmotors mit Umrichter	29
3.4 Regelungstechnisches Ersatzschaltbild	31
3.5 Sensorlose Regelung des Asynchronmotors	32
3.5.1 Ermittlung der Drehzahl aus einem Kennlinienfeld	33
3.5.2 Meßwerterfassung	36
3.5.3 Analyse des Zwischenkreisstroms	37
3.6 Effiziente digitale Filter	37
3.7 Anforderungen an den Magnetkreis aus der Regelung	40
4 Magnetkreisoptimierung von Kleinst-Asynchronmotoren	41
4.1 Berechnungsziele	42

4.1.1	Optimierung des Wirkungsgrades.....	42
4.1.2	Randbedingungen der Optimierung.....	44
4.2	Vergleich und Auswahl des Berechnungsverfahrens	44
4.2.1	Beschränkung der Geometrie	45
4.2.2	Drehmomentberechnung.....	49
4.2.3	Optimierung des Modells für die Drehmomentberechnung.....	52
4.3	Ergebnisse der numerischen Feldrechnung.....	53
4.3.1	Variationsmöglichkeiten	54
4.4	Parameterstudien.....	55
4.4.1	Parameterstudie Läuferstabhöhe.....	56
4.4.2	Parameterstudie Läuferstabbreite	57
4.4.3	Parameterstudie Schrägung Läuferstabfuß.....	58
4.4.4	Parameterstudie Läufernutbreite	59
4.4.5	Parameterstudie Ständerrückenbreite.....	60
4.4.6	Parameterstudie Ständernutbreite	61
4.4.7	Parameterstudie Luftspaltlänge	62
4.5	Auswahl der Motorparameter für die Optimierung	63
4.5.1	Reihung der Parameter für die Optimierung	64
4.5.2	Vergleich von zweipoligen und vierpoligen Motoren	67
5	Wirkprinzip und Ansteuerung des geschalteten Reluktanzmotors .	69
5.1	Ansteuerung	71
5.2	Wechselrichter für geschaltete Reluktanzmotoren.....	72
5.3	Vergleich von Ansteuerprinzipien mit Rotorlagegeber	74
5.3.1	Blockspannungsspeisung.....	74
5.3.2	Blockstromspeisung	75
5.3.3	Linearisierung	76
5.4	Dynamisches Verhalten des geschalteten Reluktanzmotors	77
5.5	Ansteuerprinzipien ohne Rotorlagegeber.....	78
5.6	Auswahl des Verfahrens für die sensorlose Regelung.....	79
5.6.1	Implementation einer sensorlosen Rotorlagedetektion	79
5.6.2	Anforderungen an den Magnetkreis aus der sensorlosen Ansteuerung.	81
6	Magnetkreisoptimierung des geschalteten Reluktanzmotors	82
6.1	Modellbildung.....	82
6.1.1	Auswahl des Rechenverfahrens.....	83
6.1.2	Einfluß zwei- und dreidimensionaler Berechnung	83
6.1.3	Effiziente Berechnungsverfahren für die automatische Optimierung ...	85
6.1.4	Gütekriterien für den geschalteten Reluktanzmotor	87

6.1.5	Alleinige Optimierung des Rotors	88
7	Einordnung der Ergebnisse, Kritik und Ausblick	90
7.1	Auswirkung der Miniaturisierung auf die Kenngrößen	90
7.2	Leistungssteuerung und Regelung	91
7.3	Optimierungsmöglichkeiten mit der Feldrechnung	91
7.4	Besonderheiten der erstellten Prototypen	92
7.5	Vergleich mit marktüblichen Motoren	93
7.6	Kritik zur Vorgehensweise.....	95
7.7	Ausblick	95
8	Anhang.....	97
8.1	Die untersuchten Motoren	97
8.1.1	Beispielmotor A: Asynchronmotor zweipolig	97
8.1.2	Beispielmotor B: Asynchronmotor vierpolig	97
8.1.3	Beispielmotor C: Asynchronantrieb zweipolig	98
8.1.4	Beispielmotor D: Geschalteter Reluktanzmotor	99
8.2	Verwendete Rechner	99
8.3	Verwendete Meßgeräte	100
8.3.1	Kleinmotorenprüfstand Staiger WS267	100
8.3.2	Lastmaschine Faulhaber 3557	100
8.3.3	Piezodrehmomentaufnehmer Kistler 9277A5.....	100
9	Literatur.....	101
9.1	Vom Verfasser betreute studentische Arbeiten, soweit zitiert.....	105
9.2	Abbildungsnachweis.....	106