



Kai Mößner (Autor)

Untersuchungen zur frequenzabhängigen Leistungsaufnahme unbelasteter Leistungstransformatoren



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6414>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	2
1.2	Motivation und Ziele	2
2	Grundlagen	5
2.1	Transformatoren	5
2.1.1	Ausführungsformen von Transformatoren in der elektrischen Energietechnik	5
2.1.2	Aufbau von Leistungstransformatoren	6
2.2	Werkstoff Transformatorenblech	9
2.2.1	Ferromagnetismus	10
2.2.2	Zustandsgrößen des magnetischen Felds und Magnetisierungskennlinie	12
2.2.3	Verlustmechanismen und deren Berechnung	14
2.3	Prüfung von Transformatoren	18
2.3.1	Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms	18
2.3.2	Prüfung mit induzierter Wechselspannung	22
2.3.3	Kompensierter Punkt	24
3	Laborprüfsystem auf Basis eines statischen Frequenzumrichters.	27
3.1	Überblick	27
3.2	Anforderungen an die Form und Symmetrie der Prüfspannung	29
3.3	Aufbau	32
3.4	Ergebnisse.	34
3.4.1	Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms	34
3.4.2	Messungen mit erhöhter Frequenz und erhöhter Spannung	37
3.4.3	Kompensierter Punkt	38
4	Dreiphasiger statischer Frequenzumrichter mit Regelung der Ausgangsspannung	45
4.1	Aufbau	46
4.2	Verfahren zur Ansteuerung des Wechselrichters	48
4.3	Ergebnisse.	52
4.3.1	Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms	53
4.3.2	Messungen mit erhöhter Frequenz und erhöhter Spannung	57
4.4	Fazit	58
5	Messung und Modellierung hystereseformiger Magnetisierungskennlinien	59
5.1	Messtechnische Ermittlung magnetischer Eigenschaften von Elektroblech	60
5.1.1	Epsteinrahmen	61
5.1.2	Tafelmessgerät	64
5.1.3	Ergebnisse	65
5.2	Hysteresemodellierung mit dem Verfahren nach Jiles und Atherton	69
5.2.1	Grundlegendes Modell	69



5.2.2	Berücksichtigung der Anisotropie	71
5.2.3	Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit	73
5.2.4	Anpassungen zur Verbesserung der Simulation innerer Schleifen.	74
5.2.5	Bestimmung der Parameter	75
5.2.6	Ergebnisse	77
5.3	Hysteresemodellierung mit dem Verfahren nach Preisach	87
5.3.1	Grundlegendes Modell	88
5.3.2	Bestimmung der Preisach-Funktion	92
5.3.3	Ergebnisse	96
6	Modellierung von Leistungstransformatoren	105
6.1	Überblick	105
6.1.1	Die Modellierung von Zwe Wicklungstransformatoren	107
6.2	Elektrisches Ersatzschaltbild	108
6.2.1	Topologie	108
6.2.2	Elemente der elektrischen Ersatzschaltbilder	110
6.2.3	Berechnung der elektrischen Leistung	117
6.3	Magnetisches Ersatzschaltbild	118
6.3.1	Hauptfluss	118
6.3.2	Streufuss	120
6.3.3	Analyse der magnetischen Ersatzschaltbilder	121
6.4	Anwendung des Modells für einphasige Transformatoren	129
6.4.1	Bestimmung der Parameter	130
6.4.2	Ergebnisse	134
6.5	Anwendung des Modells für dreiphasige Transformatoren	141
6.5.1	Bestimmung der Parameter	143
6.5.2	Ergebnisse	144
6.6	Fazit	150
7	Zusammenfassung und Ausblick	155
7.1	Zusammenfassung.	155
7.2	Ausblick	157
A	Messungen mit dem Laborprüfsystem: Beurteilung der Spannungsqualität	159
A.1	Leerlaufversuche ohne Regelung des Wechselrichters	160
A.2	Leerlaufversuche mit Regelung des Wechselrichters.	163
A.3	Messungen mit erhöhter Spannung und erhöhter Frequenz.	167
B	Hysteresemodellierung mit dem Verfahren nach Jiles und Atherton: Verwendete Parameter	169
C	Analyse der elektrischen Ersatzschaltbilder	171
C.1	Einphasiger Transformator	172
C.1.1	Ursprüngliches Modell	172
C.1.2	Modifiziertes Modell	172
C.2	Dreiphasiger Transformator	173
C.2.1	Ursprüngliches Modell	173
C.2.2	Modifiziertes Modell	175
D	Analyse der magnetischen Ersatzschaltbilder	177
D.1	Einphasiger Transformator mit Berücksichtigung der Streuflüsse	178



D.2 Dreiphasiger Transformator mit Berücksichtigung der Streufüsse	181
Abbildungen	187
Tabellen	191
Abkürzungen und Formelzeichen	193
Literaturverzeichnis	199