

Inhaltsverzeichnis

1 Einführende Betrachtungen	1
1.1 Zielstellung der Arbeit.....	1
1.2 Schaltgeräte	2
1.2.1 Auslöseverhalten von Leistungsschaltern.....	3
1.2.2 Erwärmung von Schaltgeräten	4
1.3 Grundlagen der Finite – Elemente - Methode	6
1.3.1 Elementtypen	8
1.3.1.1 Elementtypen zur thermischen Berechnung	9
1.3.1.2 Elementtypen zur magnetischen Berechnung.....	13
1.4 Grundlagen der Optimierungsrechnung	16
2 Berechnungen zum Wärmehaushalt von Schaltgeräten	22
2.1 Grundlagen der Wärmeübertragung.....	22
2.1.1 Grundlagen der Wärmeübertragung in strömenden Medien.....	22
2.1.1.1 Massenbilanz	23
2.1.1.2 Impulsbilanz	23
2.1.1.3 Leistungsbilanz.....	24
2.1.2 Wärmeübertragung für feste, inkompressible Medien.....	24
2.1.3 Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient	24
2.1.4 Wärmeübertragung durch Strahlung.....	25
2.1.5 Analogie Wärme– und Stromleitung	27
2.2 Untersuchte Anordnung, Messungen	28
2.3 Modellbildung	30
2.3.1 Erstellung der Geometrie	31
2.3.2 Materialparameter und Vermaschung.....	32
2.3.3 Stromführende Verbindungen.....	35
2.4 Randbedingungen.....	38
2.4.1 Elektrische Randbedingungen.....	38
2.4.2 Substitution von Zuleitungen	39
2.4.2.1 Eigenerwärmung der Zuleitung	40
2.4.2.2 Erwärmung der Zuleitung durch das Gerät.....	45
2.4.3 Thermische Randbedingungen des Gehäuses	49
2.5 Simulationsprozess.....	54
2.5.1 Elektro – thermisch gekoppelte Simulation (Wärmeleitung)	57
2.5.2 Gekoppelte Strömungs - Temperaturfeldberechnung (Konvektion)	59
2.5.3 Gekoppelte Strahlungs - Temperaturfeldberechnung	60
2.5.4 Wärmetransferleistung im Schalterinneren durch Wärmeleitung in der Luft.....	62
2.6 Ergebnisse	64

2.6.1	Vergleich Simulation – Messung (dreiphasig, elektro - thermisch).....	64
2.6.2	Wärmehaushalt (Elektro – thermisches, dreiphasiges Modell,).....	66
2.6.3	Wärmestrahlung innerhalb des Schaltgerätes.....	69
2.6.4	Vergleich des dreiphasigen mit dem einphasigen Modell.....	72
2.6.5	Konvektion im Schaltgerät (einphasiges Modell).....	73
2.6.6	Dreiphasige elektro - thermische, transiente Berechnung.....	75
3	Optimierung eines Schlagankerauslösers	77
3.1	Zielsetzung.....	77
3.2	Geometrie des Schlagankerauslösers.....	78
3.3	Reduzierung des Optimierungsaufwandes.....	80
3.4	Auslösevorgang	82
3.4.1	Simulation des Bewegungsablaufes der Kontaktbrücke ohne Schlaganker	83
3.4.1.1	Kraftwirkungen auf die Kontaktbrücke.....	83
3.4.1.2	Bewegung der Kontaktbrücke	89
3.4.2	Nachbildung der Schlagankerbewegung	94
3.4.2.1	Initialrechnung	97
3.4.2.2	Bewegungsablauf	97
3.4.2.3	Stoßvorgang	98
3.4.2.4	Interpolation der Kontaktbrückenbewegung	99
3.5	Ergebnisse.....	100
3.5.1	Typischer Optimierungsdurchlauf.....	100
3.5.2	Einfluss der Wirbelströme auf das Auslöseverhalten.....	102
3.5.2.1	Numerische Ermittlung der Wirbelströme mit „ANSYS“	102
3.5.2.2	Einfluss der Wirbelströme auf das Aulöseverhalten	104
3.5.3	Bestimmung des Optimums.....	107
3.5.4	Variationsrechnungen.....	110
3.5.4.1	Einfluss des Stoßfaktors	110
3.5.4.2	Einfluss einzelner Designvariablen.....	110
3.5.4.3	Variation des ferromagnetischen Materials.....	112
4	Zusammenfassung.....	113
5	Anhang.....	115
5.1	Literaturverzeichnis	115
5.2	Bildverzeichnis	118
5.3	Tabellenverzeichnis	121
5.4	Formelverzeichnis.....	122