
Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Aufgaben des Netzschutzes	1
1.2 Entwicklung des Distanzschutzes	2
1.3 Motivation und Aufbau der vorliegenden Arbeit	3
2. Grundlagen des Distanzschutzes	6
2.1 Voraussetzungen	6
2.2 Stand der Technik	8
2.3 Einfluß nichtidealer Effekte	12
2.3.1 Auftreten nichtidealer Effekte durch bestimmte Netzeigenschaften	13
2.3.1.1 Oberschwingungen	13
2.3.1.2 Gleichstromglieder	13
2.3.1.3 Lichtbogenspannungen	14
2.3.1.4 Transiente Vorgänge durch Leitungskapazitäten	14
2.3.1.5 Netzfrequenzschwankungen	14
2.3.1.6 Netzpendelungen	15
2.3.2 Nichtideale Effekte durch Übertragungsfehler	15
2.3.2.1 Stromwandlersättigung	15
2.3.2.2 Kapazitive Spannungswandler	16
2.4 Situation und zukünftige Anforderungen an den Schutz	17
3. Künstliche neuronale Netze	19
3.1 Das biologische Vorbild	19
3.2 Künstliche Neuronen	20
3.3 Topologien und Anwendungsformen neuronaler Netze	22
3.4 Diskussion der Einsetzbarkeit im Distanzschutz	25
4. Lernalgorithmen und Strategien	27
4.1 Konvergenzverhalten von Backpropagation-Netzen	27
4.2 Klassifikation mit einem Multi Layer Perceptron	30
4.3 Optimierung der Netzstruktur	32
4.3.1 Statistische Methoden zur Optimierung der Netzstruktur	33
4.3.2 Genetische Methoden zur Optimierung der Netzstruktur	35
4.3.3 Objektives Testen angelernter neuronaler Netze	37

5. Einsatz künstlicher neuronaler Netze im Distanzschutz	39
5.1 Grundkonzept der Entwicklungsumgebung	39
5.1.1 Lerndatengenerierung	40
5.1.2 Lerndatenkonvertierung	41
5.1.3 Trainieren des Schutzgerätes	43
5.1.4 Auswertung und Beurteilung der Lern- und Testergebnisse	43
5.2 Aufbau des neuronalen Distanzschutzgerätes	44
5.3 Meßwerterfassung und Verarbeitung	46
5.4 Grenzen bei der Simulation	47
6. Neuronale Fehlerdetektion	49
6.1 Überwachung des Stromes	49
6.2 Überwachung der Spannung	52
6.3 Gesamtkonzept der Kurzschlußdetektion	54
6.4 Anlernen und Test der neuronalen Kurzschlußdetektion	55
7. Neuronale Richtungserkennung	56
7.1 Konventionelle Ansätze	56
7.2 Neuronale Richtungsbestimmung bei bekannter Fehlerart	58
7.2.1 Entwurf	58
7.2.2 Ergebnisse	60
7.3 Neuronale Richtungsbestimmung aller Fehlerarten	61
7.3.1 Entwurf	61
7.3.2 Ergebnisse	63
7.4 Validation anhand eines realen Störfalles	67
8. Neuronale Fehlerklassifikation	71
8.1 Neuronale Fehlerartklassifikation	71
8.1.1 Entwurf	71
8.1.2 Training	72
8.1.3 Ergebnisse	73
8.2 Neuronale Lichtbogenerkennung	76
8.2.1 Entwurf	77
8.2.2 Ergebnisse	78
8.2.3 Grenzen der Lichtbogenerkennung	82
8.3 Neuronale Erkennung von Stromwandlersättigungen	84

9. Neuronale Fehlerlokalisierung	85
9.1 Neuronale Zeitonenklassifikation	85
9.1.1 Entwurf	85
9.1.2 Testergebnisse	88
9.1.3 Variable Schutzzonengrenzen	91
9.2 Fehlerortbestimmung	93
9.2.1 Adaptation klassischer Fehlerortlokalisationsverfahren	93
9.2.2 Neuronale Fehlerortlokalisierung	97
9.2.2.1 Direkte neuronale Fehlerortlokalisierung	97
9.2.3 Einfluß der Nullimpedanz auf die Lokalisation	98
9.2.3.1 Indirekte neuronale Fehlerortlokalisierung	101
9.2.4 Fehlerortlokalisierung mit unscharfen Methoden	102
10. Test und Beurteilung des Gesamtverhaltens	104
11. Ausblicke	112
12. Zusammenfassung	114
13. Anhang	118
Anhang A Simulationsbeispiele	118
Anhang B Simulationsparameter	124
Anhang C Verwendete Formelzeichen	125
Anhang D Verwendete Abkürzungen	126
Anhang E Herleitung des Backpropagation-Verfahrens	127
14. Literaturverzeichnis	133