

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund und Motivation	1
1.2	Forschungsfragen	3
1.3	Zielstellung.....	4
1.4	Aufbau der Arbeit	5
2	Differential-algebraische Gleichungssysteme	7
2.1	Klassifizierung von DAE	7
2.1.1	Indexbegriffe von DAE und damit verbundene Struktureigenschaften.....	9
2.2	Numerische Lösung	14
2.2.1	Überführung der DAE in ein System von ODE	14
2.2.2	Simulation von DAE.....	15
2.2.3	Reformulierung der DAE.....	17
2.2.4	Stabilisierungsmethoden für DAE	18
2.2.5	Weitere Verfahren zur Indexreduzierung von DAE	19
2.2.6	Konsistente Berechnung von Anfangswerten	20
3	Aufbau und Klassifizierung von Netzgleichungssystemen	23
3.1	Grundlagen zur Beschreibung elektrischer Netze	23
3.1.1	Netzwerkelemente	23
3.1.2	Grundlagen zur Graphen- und Netzwerktheorie.....	25
3.1.3	Limitationen	27
3.2	Knotenorientierte Verfahren für die Berechnung von Ausgleichsvorgängen	28
3.2.1	Knotentableauanalyse	29
3.2.2	Erweiterte Knotenpotentialanalyse	30
3.2.3	Modifiziertes Knotenpotentialverfahren mit Netzwerkelementen.....	31
3.2.4	Modifiziertes Knotenpotentialverfahren mit LCR-Betriebsmitteln.....	32
3.2.5	Erweitertes Knotenpunktverfahren	34
3.3	Klassifizierung knotenorientierter Verfahren.....	37
3.3.1	Klassifizierung für knotenorientierte Verfahren der Schaltungssimulation	37
3.3.2	Klassifizierung des Erweiterten Knotenpunktverfahrens	40
3.3.3	Numerische Lösung der DAE des EKPV	42
3.4	Zusammenfassung.....	44
4	Koordinatentransformationen, Komponentensysteme und Zweitor-Theorie	47
4.1	Koordinatentransformationen für Dreiphasensysteme.....	47
4.2	Auswahlkriterien für Komponentensysteme	50
4.3	Netzwerktheoretische Analyse für die Wahl des Komponentensystems	52
4.4	Numerische Aspekte bei der Wahl von Komponentensystemen mit komplexen Variablen	54

5	Erweitertes Knotenpunktverfahren.....	57
5.1	Betriebsmittelgleichungen im EKPV	57
5.1.1	Induktive Betriebsmittel	58
5.1.2	Kapazitive Betriebsmittel	65
5.1.3	Resistive Betriebsmittel	67
5.1.4	Zusammenfassung der Betriebsmittelgleichungen der LCR-Betriebsmitteltypen	70
5.2	Knotenpunktsätze und modifizierte Knotenpunktsätze	73
5.3	Aufbau des differential-algebraischen Gleichungssystems des EKPV	73
5.3.1	Aufbau der DAE in der quasilinearen Darstellung der Betriebsmittelgleichungen	73
5.3.2	Aufbau der DAE in der allgemeinen Darstellung der Betriebsmittelgleichungen	75
5.4	Analyse der DAE des EKPV mit Betriebsmitteln in unterschiedlichen Komponentensystemen	77
6	Einfluss von Betriebsmittelmodellentartungen auf die DAE	81
6.1	Induktive Betriebsmittel vom Typ A	81
6.1.1	Starre Sternpunkterdung	83
6.1.2	Niederohmige Sternpunkterdung	84
6.1.3	Freie Sternpunkterdung	85
6.1.4	Dreieckschaltung	91
6.1.5	Leitungsmodell ohne Querglieder vom Typ A	92
6.2	Induktives Betriebsmittel vom Typ AB	93
6.2.1	Leitungsmodell ohne Querglieder vom Typ AB	94
6.2.2	Dreiphasen-Zwe Wicklungstransformator	98
6.3	Klassifizierung der DAE des EKPV mit degenerierten Betriebsmitteln	100
7	Fehlernachbildung in unterschiedlichen Komponentensystemen	103
7.1	Fehlerbedingungen und Fehlermatrizen	103
7.1.1	Querfehlernachbildung an induktiven Knoten	105
7.1.2	Längsfehlernachbildung an induktiven Betriebsmitteln	109
7.2	Weiterführende Bemerkungen zum Fehlermatrizenverfahren	112
8	Modulare Stabilisierung und Regularisierung der DAE des EKPV	115
8.1	Stabilisierung induktiver Knoten	115
8.2	Regularisierung	116
8.2.1	Regularisierung von induktiven Betriebsmitteln mit strukturellen Defekten	117
8.2.2	Regularisierung von längsfehlerbehafteten induktiven Betriebsmitteln	119
8.3	Rückführung der Lösungstrajektorie aufgrund von Redundanz zwischen komplexen Variablen	120
8.4	Auswirkungen auf die Klassifizierung der DAE	121
9	Simulation differential-algebraischer Netzgleichungssysteme	123
9.1	Löser für DAE und Simulationsablauf	123

9.2	Beispielnetz und Eigenwerteanalyse	126
9.3	Simulationen	128
9.3.1	Vergleich zwischen den Lösungen der Zustandsform und der DAE.....	129
9.3.2	Stabilisierung	138
9.3.3	Regularisierung.....	143
9.3.4	Rückführung der Lösungstrajektorie auf die Mannigfaltigkeit	153
9.4	Vergleich und Analyse.....	156
9.4.1	Stabilisierung und Vergleich der Lösungsverfahren.....	157
9.4.2	Regularisierung.....	159
9.4.3	Rückführung der Lösungstrajektorie aufgrund von Redundanz zwischen den komplexen Variablen	161
9.4.4	Zusammenfassung	163
10	Zusammenfassung und Ausblick	165
A.	Ergänzende Dokumentation zu den Anwendungsbeispielen.....	169
A.1.	Parameterdatensätze	169
A.2.	Anfangswerte	171
A.3.	Optionen der Löser und Dämpfungsfaktoren.....	173
A.4.	Eigenwerte der Beispielnetzvarianten.....	174
	Literaturverzeichnis.....	175