

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Stand der Technik	3
1.2.1	Aufbau des Elektroenergiesystems	3
1.2.2	Übersicht Systemstabilität	6
1.2.3	Simulationen zur Stabilitätsbewertung	10
1.2.4	Stabilität im Verteilungsnetz	13
1.3	Aufgabenstellung	14
1.4	Aufbau der Arbeit	14
2	Grundlagen der Rotorwinkelstabilität im Übertragungsnetz	16
2.1	Modellierung der Generatoren	16
2.1.1	Bewegungsgleichung	16
2.1.2	Synchronmaschine	17
2.1.3	Asynchronenmaschine	21
2.2	Netzgleichungssystem und Transfiguration	24
2.3	Statische Stabilität	25
2.3.1	Statische Stabilität des Einmaschinenproblems	27
2.3.2	Statische Stabilität des Mehrmaschinenproblems	29
2.4	Transiente Stabilität	30
2.4.1	Transiente Stabilität des Einmaschinenproblems	31
2.4.2	Transiente Stabilität des Mehrmaschinenproblems	32
3	Raumzeigerkomponenten	34
3.1	Raumzeigerkomponenten der Betriebsmittelbeschreibung	35
3.1.1	Ruhende Raumzeigerkomponenten	35
3.1.2	Park-Komponenten	36
3.2	Transformation in rotierende Raumzeigerkomponenten	37
3.3	Transformation in polare Raumzeigerkomponenten	38
3.3.1	Transformation der ruhenden Raumzeigerkomponenten	39
3.3.2	Transformation der Park-Komponenten	42
4	Zustandsgleichungen des Elektroenergiesystems	44
4.1	Vollständiges Gleichungssystem	45
4.2	Das Erweiterte Knotenpunktverfahren (EKPV)	46
4.3	Darstellung der Betriebsmittel im EKPV	49
4.4	Initialisierung des Netzgleichungssystems	56
4.5	Reduziertes ohmsch-induktives und induktives Gleichungssystem	58
4.6	Quasistationäres Netzgleichungssystem	59

5	Modellierung von Energiewandlern.....	62
5.1	Synchronmaschinen.....	64
5.1.1	Äußeres Gleichungssystem.....	64
5.1.2	Modell mit subtransienter Spannung.....	65
5.1.3	Modell mit konstanter subtransienter Spannung.....	68
5.1.4	Modell mit transienter Spannung.....	69
5.1.5	Modell mit konstanter transienter Spannung.....	71
5.1.6	Modifiziertes Modell mit transienter Spannung.....	72
5.1.7	Modifiziertes Modell mit konstanter transienter Spannung.....	75
5.1.8	Stationäres Modell mit Polradspannung.....	76
5.1.9	Stationäres Modell mit konstanter Polradspannung.....	77
5.1.10	Initialisierung.....	78
5.1.11	Betriebsmittelparameter.....	78
5.2	Asynchronmaschinen.....	81
5.2.1	Äußeres Gleichungssystem.....	81
5.2.2	Modell mit transienter Spannung.....	82
5.2.3	Modell mit konstanter transienter Spannung.....	84
5.2.4	Stationäres Modell.....	85
5.2.5	Initialisierung.....	88
5.2.6	Betriebsmittelparameter.....	88
6	Analysemethoden auf Basis der entwickelten Systembeschreibungen.....	91
6.1	Transiente Stabilität.....	91
6.1.1	Analysemethodik für das vollständige Netzgleichungssystem.....	91
6.1.2	Analysemethodik für das quasistationäres Netzgleichungssystem.....	92
6.2	Statische Stabilität.....	92
6.2.1	Analysemethodik für das vollständige Netzgleichungssystem.....	92
6.2.2	Analysemethodik für das quasistationäre Netzgleichungssystem.....	96
7	Stabilitätsanalysen.....	98
7.1	Basisnetze für Stabilitätsuntersuchungen.....	98
7.1.1	Parametrierung der Basisnetze.....	100
7.1.2	Netzgleichungssystem der Basisnetze.....	102
7.2	Darstellung der Simulationsergebnisse.....	104
7.3	Gegenüberstellung der Modellnäherungen.....	108
7.3.1	Netzabbildung.....	110
7.3.2	Synchronmaschine.....	118
7.3.3	Asynchronmaschine.....	131
7.3.4	Maschinenmodelle bei elektromagnetischer Netzmodellierung.....	138

7.4	Sensitivitätsanalyse	139
7.4.1	Übertragungssystem - Länge der Anschlussleitung	139
7.4.2	Erzeugungsanlagen - Wirkleistungsarbeitspunkt	143
7.4.3	Erzeugungsanlagen - Blindleistungsarbeitspunkt	146
8	Zusammenfassung	150
9	Ausblick	153
10	Literaturverzeichnis	155
11	Anhang	160