

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>iii</b>
<b>Summary</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Der statische Zwischenphasenregler</b>	<b>5</b>
2.1 Raumzeiger- und Nullgrößen-Ersatznetzwerk . . . . .	7
2.2 Beschreibung in Symmetrischen Komponenten . . . . .	10
2.3 Kurzschlüsse und Leiterunterbrechungen beim statischen IPFC . . . . .	12
2.3.1 Einpoliger Erdkurzschluss . . . . .	13
2.3.2 Zweipoliger Kurzschluss mit/ohne Erdberührung . . . . .	16
2.3.3 Dreipoliger Kurzschluss . . . . .	21
2.3.4 Einpolige Leiterunterbrechung . . . . .	23
2.3.5 Zweipolige Leiterunterbrechung . . . . .	27
2.3.6 Dreipolige Leiterunterbrechung . . . . .	29
2.3.7 Resonanzstellen des IPFC bei Netzfehlern . . . . .	30
<b>3 Der dynamische Zwischenphasenregler</b>	<b>35</b>
3.1 Grundschiwungsimpedanzen der Basiszweige . . . . .	36
3.1.1 Grundschiwungsmodell 1 . . . . .	37
3.1.2 Grundschiwungsmodell 2 . . . . .	37
3.1.3 Vergleich der Grundschiwungsimpedanzen . . . . .	39
3.2 Leistungsübertragung mit einem DIPFC . . . . .	41
3.2.1 Festlegung der Systemparameter . . . . .	44
3.2.2 Numerische Berechnung des Lastflusses . . . . .	45
3.3 DIPFC mit zwei Modulen . . . . .	49
<b>4 Zustandsraumbeschreibung bei einem aktiv gesteuerten Modul</b>	<b>57</b>
4.1 Stationärer Betrieb . . . . .	57
4.2 Orthogonale Komponenten der Raumzeiger-Ersatznetzwerke . . . . .	59
4.2.1 Kopplungen im Raumzeiger-Ersatznetzwerk . . . . .	59
4.2.2 Komponenten-Ersatznetzwerke des DIPFC . . . . .	60
4.3 Komponenten-Ersatznetzwerke der einzelnen Betriebszustände . . . . .	63
4.3.1 Betriebszustand mit keinem leitenden Ventil . . . . .	65
4.3.2 Betriebszustand mit einem leitenden Ventil . . . . .	66
4.3.3 Betriebszustand mit zwei leitenden Ventilen . . . . .	69
4.3.4 Betriebszustand mit drei leitenden Ventilen . . . . .	70

4.4	Beschreibung im Zustandsraum . . . . .	72
4.4.1	Allgemeine Systembeschreibung . . . . .	72
4.4.2	Die Stetigkeitsbedingungen des stationären Betriebes . . . . .	73
4.5	Die Modi des stationären Betriebes . . . . .	74
4.5.1	Modus 1 - Wechsel von einem auf kein leitendes Ventil . . . . .	75
4.5.2	Modus 2 - Wechsel von zwei auf ein leitendes Ventil . . . . .	78
4.5.3	Modus 3 - Wechsel von drei auf zwei leitende Ventile . . . . .	80
4.6	Lösung des Gleichungssystems . . . . .	82
<b>5</b>	<b>Eigenwertanalyse des DIPFC</b>	<b>85</b>
5.1	Schalthandlungen und Symmetrien bei zwei aktiven Modulen . . . . .	86
5.1.1	Die möglichen Schalthandlungen und ihre Symmetrien . . . . .	86
5.1.2	Weitere Symmetrien aufgrund von Systemparameter . . . . .	87
5.2	Raumzeiger- und Nullgrößen-Ersatznetzwerke . . . . .	88
5.3	Eigenwerte in der komplexen Ebene . . . . .	92
5.3.1	Einfluss der Netzparameter . . . . .	95
5.3.2	Einfluss der Elemente des DIPFC . . . . .	96
5.4	Simulationsergebnisse zur Eigenwertanalyse . . . . .	97
5.4.1	Beispielkonfiguration 1 für ein System mit Resonanzpunkt . . . . .	99
5.4.2	Beispielkonfiguration 2 für ein System mit Resonanzpunkt . . . . .	100
5.4.3	Beispielkonfiguration 3 für ein System mit Resonanzpunkt . . . . .	102
5.4.4	Beispielkonfiguration 4 für ein System mit Resonanzpunkt . . . . .	103
5.4.5	Schlussfolgerungen aus den Beispielen . . . . .	105
<b>6</b>	<b>Zustandsraumbeschreibung mit zwei gesteuerten Modulen</b>	<b>107</b>
6.1	Ersatznetzwerke und analytische Berechnung . . . . .	107
6.2	Zustandsabfolgen im stationären Betrieb . . . . .	115
6.3	Ergebnisanalyse . . . . .	119
6.3.1	Raumzeiger- und Zeitgrößen bei festen Stromflusswinkeln . . . . .	119
6.3.1.1	Ergebnisse des Beispielnetzes . . . . .	119
6.3.1.2	Verifikation der Berechnungsergebnisse . . . . .	123
6.3.2	Variation eines Stromflusswinkels . . . . .	126
6.3.3	Variation beider Stromflusswinkel . . . . .	128
<b>7</b>	<b>Leistungsregelung mit einem DIPFC</b>	<b>133</b>
7.1	Systembeschreibung eines Moduls . . . . .	133
7.1.1	Die Regelstrecke eines Moduls . . . . .	134
7.1.1.1	Beschreibung der Regelstrecke . . . . .	134
7.1.1.2	Linearisierung des Kennliniengliedes . . . . .	135
7.1.1.3	Bestimmung der Streckenparameter . . . . .	136
7.1.2	Das Regelglied . . . . .	136
7.1.2.1	Grundanforderungen an eine Regelung . . . . .	136
7.1.2.2	Auswahl des Regelgliedes . . . . .	137
7.2	Reglerentwurf . . . . .	138
7.3	Ergebnisse der Leistungsregelung des DIPFC . . . . .	144
7.3.1	Führungsverhalten der Regelung . . . . .	144

---

7.3.2	Störverhalten der Regelung . . . . .	148
7.3.3	Verhalten des DIPFC bei Netzfehlern . . . . .	150
7.3.3.1	Dreipoliger Kurzschluss an den Anschlussklemmen einer Netzseite	150
7.3.3.2	Dreipolige Leiterunterbrechung auf einer Netzseite . . . . .	154
7.3.4	Schlussfolgerungen aus den Simulationsergebnissen . . . . .	156
<b>8</b>	<b>Modell-Realisierung eines DIPFC</b>	<b>157</b>
8.1	Das Drehstrom-Demonstrationsmodell . . . . .	157
8.2	Anschluss des DIPFC an das DDM . . . . .	160
8.3	Leistungssprünge . . . . .	163
8.4	Stationäre Betriebspunkte . . . . .	167
8.5	Schlussfolgerung aus dem Modell-Betrieb . . . . .	171
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>173</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>177</b>
A.1	Umrechnung der Zweitore aus Abschnitt 2.3 . . . . .	177
A.2	Resonanzen bei den untersuchten Fehlerfällen . . . . .	178
A.3	Ergänzungen zum Abschnitt 7.2 . . . . .	179
A.4	Modellwerte am DDM . . . . .	180
	<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>183</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>187</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>193</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>201</b>