

Dipl.-Ing. Ralf Dilger, Ramstein

# **Steuerung eines Energie- speichers zur Dämpfung von Leistungsspendelungen in Energieversorgungsnetzen**

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **236**

# Inhalt

<b>Formelzeichen</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Steuerstrategie zur Dämpfung von Leistungspendelungen</b> .....	<b>5</b>
2.1 Direkte Methode nach Ljapunow .....	5
2.1.1 Stabilitätsbegriffe und -kriterien .....	5
2.1.2 Mathematisches Modell der Strecke .....	8
2.1.3 Ljapunow-Funktion für Energieversorgungssysteme .....	9
2.2 Optimale Steuerstrategie zur Pendeldämpfung im Zustandsraum .....	12
2.3 Annäherung der optimalen Steuerstrategie durch lokal meßbare elektrische Größen .....	15
2.4 Einfluß von Systemparametern und des Speichereinbauortes .....	19
2.5 Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit .....	22
<b>3 Einfluß von FACTS auf die Systemdynamik</b> .....	<b>26</b>
3.1 Bewertungskriterien .....	26
3.2 Mathematische Beschreibung des Testnetzes .....	30
3.3 Steuerung der Blindleistung .....	33
3.4 Steuerung der Wirkleistung .....	35
3.5 Vierquadrantensteuerung .....	37
3.5.1 Vierquadrantensteuerung mit konstantem Verhältnis der Stelleistungen .....	37
3.5.2 Vierquadrantensteuerung mit variablem Verhältnis der Stelleistungen .....	41

<b>4 Digitaler Regelkreis zur Dämpfung von Leistungspendelungen .....</b>	<b>44</b>
4.1 Aufbau der Batteriespeicheranlage.....	44
4.2 Netz- und Kraftwerksmodell .....	46
4.3 Meß- und Regeleinrichtung .....	47
4.3.1 Hardwarekomponenten.....	48
4.3.2 Softwarekomponenten .....	50
4.3.2.1 Multitasking-Betriebssystem .....	50
4.3.2.2 Benutzerspezifische Befehle („Custom-Commands“) .....	51
4.4 Das Stellglied des digitalen Regelkreises.....	55
4.4.1 Leistungsteil des Stellgliedes.....	55
4.4.2 Steuerungsteil des Stellgliedes.....	56
<b>5 Experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Testnetzen.....</b>	<b>61</b>
5.1 Einmaschinennetz.....	61
5.1.1 Leistungsalgorithmus .....	64
5.1.2 Stromalgorithmus .....	67
5.1.3 Frequenzalgorithmus.....	70
5.2 Das Zweimaschinennetz .....	73
5.2.1 Leistungsalgorithmus .....	74
5.2.2 Stromalgorithmus .....	77
5.2.3 Frequenzalgorithmus.....	79
<b>6 Simulation und Verifikation der Hardware.....</b>	<b>82</b>
6.1 Energieversorgungsnetz ohne Batteriespeichereinheit .....	82
6.2 Modellierung einzelner Komponenten der Batteriespeichereinheit.....	86
6.2.1 Modellierung der Filter .....	86
6.2.2 Modellierung von Meßwerterfassung und Regelung.....	90
6.2.3 Modellierung des Stellgliedes.....	91

6.3 Integration der Einzelmodelle in das Gesamtsystem .....	94
6.3.1 Simulation der Batteriespeichereinheit im Einmaschinennetz.....	95
6.3.2 Simulation der Batteriespeichereinheit im Zweimaschinennetz .....	98
<b>7 Zusammenfassung.....</b>	<b>101</b>
<b>8 Anhang.....</b>	<b>102</b>
8.1 Daten des Einmaschinennetzes .....	102
8.2 Daten des im Labor aufgebauten Einmaschinennetzes .....	103
8.3 Daten des im Labor aufgebauten Zweimaschinennetzes .....	105
8.4 Filterdaten.....	108
8.4.1 Antialiasing-Tiefpaß.....	108
8.4.2 Glättungstiefpaß für die Stellsignale .....	108
<b>9 Literatur.....</b>	<b>109</b>