

*Prof. Dr. sc. techn. Klaus-Dieter Weßnigk*

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einfluß des technologischen Grundsaltplanes auf die elektrische Leistungsabgabe</b> . . . . .	13
1.1	Übersicht über Kraftwerkstypen . . . . .	13
1.2	Kondensationskraftwerke . . . . .	14
1.3	Gegendruckkraftwerke . . . . .	24
1.4	Kombikraftwerke . . . . .	25
1.5	Wasserkraftwerke . . . . .	27
1.6	Sonstige Kraftwerke . . . . .	31
1.7	An- und Abfahrtrieb . . . . .	48
<b>2</b>	<b>Grundlagen zur Berechnung von Elektroenergiesystemen</b> . . . . .	53
2.1	Momentanwertebene . . . . .	53
2.2	Komplexe Ebene . . . . .	54
2.3	Symmetrische Komponenten . . . . .	57
2.3.1	Zeigerdiagramm . . . . .	62
2.3.2	Leistungsbegriffe . . . . .	64
2.4	Diagonalkomponenten . . . . .	67
2.5	Zweiachsenkomponenten . . . . .	71
2.6	Komponententransformation von einer in eine andere Rechenebene . . . . .	76
2.7	Immittanzmatrizenverfahren . . . . .	80
2.7.1	Einfache Anwendungsbeispiele . . . . .	80
2.7.2	Allgemeinste Form des Knotenpunktverfahrens . . . . .	83
2.8	Zuverlässigkeitsberechnung . . . . .	89
2.9	Technische Entscheidungen . . . . .	102
2.9.1	Entscheidungsmatrix . . . . .	103
2.9.2	Minimax-Kriterium . . . . .	104
2.9.3	Hurwicz-Kriterium . . . . .	107
2.9.4	Bayes-Laplace-Kriterium . . . . .	108
2.9.5	Savage-Kriterium . . . . .	109
2.9.6	Kriterium unter Berücksichtigung einer Risiko-Aufwandsrelation . . . . .	110
2.10	Zustandsgleichungen . . . . .	112

<b>3</b>	<b>Betriebsverhalten des Generators</b>	<b>.117</b>
3.1	Aufbau und Wirkungsweise	.117
3.2	Kenndaten	.120
3.3	Zeigerdiagramm	.130
3.4	Leistungsdiagramm	.133
3.5	Synchronisierbedingungen	.134
3.6	Statische Stabilität	.136
3.6.1	Statische Stabilität des Zweimaschinenproblems	.136
3.6.2	Statische Stabilität des Mehrmaschinenproblems	.145
3.6.3	Maßnahmen zur Verbesserung der statischen Stabilität	.148
3.7	Transiente Stabilität	.148
3.7.1	Transiente Stabilität des Zweimaschinenproblems	.148
3.7.2	Bewegungsgleichung der Maschine	.153
3.7.3	Transiente Stabilität des Mehrmaschinenproblems	.157
3.7.4	Berechnung der Speisepunkt- und Übertragungsadmittanzen	.158
3.7.5	Maßnahmen zur Verbesserung der transienten Stabilität	.162
3.8	Dynamische Stabilität	.162
3.9	Systemreduzierung für Stabilitätsberechnungen	.163
3.10	Asynchronbetrieb	.169
3.11	Kurzschlußvorgang	.172
3.12	Überströme nach Kurzschlüssen	.176
3.13	Lastabwurf	.177
3.14	Schieflast	.180
3.15	Selbsterregung	.181
3.16	Regelung im Elektroenergiesystem	.185
3.16.1	Spannungs-Blindleistungsregelung	.186
3.16.1.1	Natürliche Spannungskennlinie des Generators	.186
3.16.1.2	Netzkennlinie	.187
3.16.1.3	Zusammenwirken von Generator- und Netzkennlinie	.188
3.16.1.4	Praktische Realisierung der Spannungsregelung	.189
3.16.2	Frequenz-Wirkleistungs-Regelung	.191
3.16.2.1	Ungeregelte Maschine	.191
3.16.2.2	Verbraucherkennlinie	.193
3.16.2.3	Primärregelung	.194
3.16.2.4	Sekundärregelung	.195
3.16.2.5	Parallelbetrieb von Maschinen	.195
3.16.2.6	Parallelbetrieb von Kraftwerken	.196
3.16.2.7	Zusammenwirken von Erzeuger- und Verbraucherstatik	.196
3.16.2.8	Frequenz-Übergabeleistungsregelung	.197
3.16.2.9	Praktische Realisierung der Regelung	.199

3.17	Erreger- und Entregungseinrichtungen . . . . .	201
3.17.1	Selbsterregung . . . . .	201
3.17.2	Eigenerregung . . . . .	202
3.17.3	Fremderregung . . . . .	205
3.17.4	Forderungen an die Erregereinrichtung . . . . .	205
3.17.5	Entregungsschaltungen . . . . .	207
3.18	Generatorschutz . . . . .	209
3.18.1	Äußere Einwirkungen . . . . .	210
3.18.2	Innere Fehler, die die Stillsetzung automatisch erfordern . . . . .	211
3.18.3	Innere Fehler, die keine unbedingte Stillsetzung erfordern . . . . .	212
3.18.4	Weitere innere Fehler . . . . .	212
3.19	Wellen- und Lagerströme . . . . .	214
<b>4</b>	<b>Elektrotechnischer Grundschtplan zur Netzeinbindung: Betriebsmittel und Betriebsverhalten . . . . .</b>	<b>223</b>
4.1	Grundschtplan . . . . .	223
4.2	Generatorausleitung . . . . .	225
4.3	Blocktransformator . . . . .	227
4.3.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	227
4.3.2	Zeigerdiagramm . . . . .	233
4.3.3	Einschalten leerlaufender Transformatoren . . . . .	234
4.3.3.1	Bestimmung der Hystereseschleife aus dem Magnetisierungsstrom . . . . .	237
4.3.3.2	Bestimmung der Kommutierungskurve . . . . .	239
4.3.3.3	Bestimmung der absoluten und differentiellen Permeabilität . . . . .	239
4.3.3.4	Berechnung des Einschaltstroms bei Vernachlässigung der Netzreaktanzen . . . . .	240
4.3.3.5	Berechnung des Einschaltstroms bei Berücksichtigung der Netzreaktanzen . . . . .	243
4.3.3.6	Gleichzeitiges Einschalten mehrerer paralleler Transformatoren . . . . .	245
4.3.4	Ausschalten leerlaufender Transformatoren . . . . .	246
4.3.5	Parallelbetrieb von Transformatoren . . . . .	249
4.3.6	Regelung mit Transformatoren . . . . .	253
4.3.7	Belastbarkeit von Transformatoren . . . . .	259
4.3.7.1	Dauerströme und zeitweilige Überströme . . . . .	260
4.3.7.2	Wechselstromströme . . . . .	261
4.3.8	Transformatorschutz . . . . .	263
4.3.9	Kenndaten . . . . .	266
4.4	Energieabführende Leitungen . . . . .	289

4.4.1	Aufbau	289
4.4.2	Zeigerdiagramm	292
4.4.3	Natürliche Leistung	294
4.4.4	Fremdschichtbeanspruchung	295
4.4.5	Beanspruchung durch äußere Überspannungen	297
4.4.5.1	Wellenausbreitung auf Leitungen	297
4.4.5.2	Bergeron-Verfahren	300
4.4.5.3	Anwendung des Bergeron-Verfahrens	301
4.4.5.4	Bewley-Verfahren	303
4.4.5.5	Kostenko-Verfahren	304
4.4.5.6	Übergangsstellen mit konzentrierten Schaltelementen	308
4.4.6	Isolationskoordination	313
4.4.6.1	Ziel der Isolationskoordination	313
4.4.6.2	Deterministische Isolationskoordination	313
4.4.6.3	Statistische Isolationskoordination	318
4.4.6.4	Überspannungsschutz	318
4.4.7	Ferranti-Effekt	322
4.4.8	Einschalten einer leerlaufenden Leitung	323
4.4.9	Leitungsschutz	324
4.4.10	Kenndaten	326
4.5	Hochspannungsschaltanlagen	381
4.5.1	Schaltanlagenfelder	381
4.5.2	Bauformen der Schaltanlagen	385
4.5.2.1	Freiluftanlagen	385
4.5.2.2	Innenraumanlagen	388
4.5.2.3	Gekapselte Anlagen	388
4.5.3	Ausführungsbeispiel zur Netzeinbindung von Kraftwerken	390
4.5.4	Schutzeinrichtungen	393

<b>5</b>	<b>Elektrotechnischer Grundschtplan des Kraftwerkseigenbedarfs</b>	<b>397</b>
5.1	Aufgaben der KW-Eigenbedarfsanlagen	397
5.2	Grundschtplan und Eigenbedarfskategorien	400
5.3	Mittelspannungsschaltanlagen	406
5.4	Niederspannungsschaltanlagen	408
5.5	Gleichstromanlagen	410
5.5.1	Batterieersatzschaltbild	411
5.5.2	Ersatzschaltbild des Motorgenerators	412
5.5.3	Ersatzschaltbild der Drehstrombrückenschaltung	414

5.5.4	Kurzschlußstromberechnung . . . . .	416
5.5.5	Streustromkorrosion. . . . .	418
5.5.5.1	Mechanismus der Korrosion. . . . .	419
5.5.5.2	Katodischer Korrosionsschutz . . . . .	420
5.5.6	Grundschahtplan von GS-Netzen. . . . .	422
5.5.6.1	Erdschluß im Strahlennetz. . . . .	424
5.5.6.2	Doppelerdschluß im diodentenkoppelten Parallelnetz. . . . .	427
5.6	Sternpunktbehandlung. . . . .	427
5.6.1	Klassifizierung der Sternpunktbehandlung . . . . .	427
5.6.2	Spannungen im Dreiphasensystem. . . . .	428
5.6.3	Sternpunktverlagerungsspannung durch stationäre Erdunsymmetrie. . . . .	430
5.6.4	Spannungsverlagerung durch fehlerbedingte Unsymmetrie. . . . .	434
5.6.5	Wirkung und Anwendung der Arten der SPE. . . . .	436
5.6.5.1	Netze ohne Sternpunkterdung. . . . .	436
5.6.5.2	Netze mit Resonanzsternpunkterdung. . . . .	436
5.6.5.3	Netze mit kurzzeitiger Überkompensation. . . . .	438
5.6.5.4	Netze mit niederohmiger Sternpunkterdung. . . . .	439
5.6.5.5	Netze mit kurzzeitiger niederohmiger Sternpunkterdung. . . . .	439
5.6.5.6	Netze mit starrer oder teilstarrer Sternpunkterdung. . . . .	440
5.6.6	Sternpunktbehandlung im Niederspannungsnetz. . . . .	441
5.6.7	Sternpunktbehandlung von Mehrwicklungstransformatoren. . . . .	441
5.6.8	Sternpunktbehandlung von Spartransformatoren. . . . .	443
5.6.9	Resonanz- und v-Kurven. . . . .	445
5.7	Antriebe im Kraftwerkseigenbedarfsnetz. . . . .	446
5.7.1	Wirkungsweise des Asynchronmotors. . . . .	446
5.7.2	Hochlaufvorgänge von Asynchronmotoren. . . . .	450
5.7.3	Beurteilung der Hochlaufmöglichkeit . . . . .	453
5.7.4	Berechnung der Klemmenspannung beim Anlauf. . . . .	454
5.7.5	Umschaltverfahren. . . . .	455
5.8	Innere Überspannungen. . . . .	460
5.8.1	Klassifizierung der Überspannungen. . . . .	460
5.8.2	Verhalten der Schaltelemente. . . . .	462
5.8.3	Definitionen. . . . .	463
5.8.4	Schaltüberspannungen. . . . .	465
5.8.4.1	Überspannungen beim Schalten von Transformatoren und Motoren. . . . .	465
5.8.4.2	Überspannungen beim Schalten von Leitungen und Kondensatoren. . . . .	471
5.8.4.3	Überspannungen durch Fehlerstromschaltungen. . . . .	478

5.8.4.4	Erdschlußüberspannungen . . . . .	492
5.9	Oberschwingungen und Resonanzerscheinungen. . . . .	494
5.9.1	Klassifizierung der Schwingungen. . . . .	494
5.9.2	Oberschwingungserzeuger. . . . .	495
5.9.3	Oberschwingungssysteme. . . . .	497
5.9.4	Oberschwingungersatzschaltbilder. . . . .	500
5.9.5	Beanspruchungen des EES durch Oberschwingungen. . . . .	504
5.9.6	Resonanzerscheinungen im Elektroenergiesystem. . . . .	505
5.9.6.1	Resonanz im linearen Schwingkreis. . . . .	506
5.9.6.2	Resonanz im nichtlinearen Schwingkreis. . . . .	507
5.9.6.3	Erkennungsmerkmale von Resonanzerscheinungen. . . . .	512
5.9.6.4	Resonanzgefährdete Teilnetze. . . . .	513
5.9.6.5	Maßnahmen zur Vermeidung von Resonanzen. . . . .	518
<b>6</b>	<b>Beeinflussung von Kraftwerksanlagen . . . . .</b>	<b>519</b>
6.1	Klassifizierung . . . . .	519
6.2	Beeinflussende Größen sind sinusförmig. . . . .	520
6.2.1	Induktive Beeinflussung. . . . .	520
6.2.2	Kapazitive Beeinflussung. . . . .	525
6.2.3	Ohmsche Beeinflussung . . . . .	528
6.2.4	Vereinfachte Berechnung der induktiven Beeinflussung und zulässige Werte. . . . .	530
6.3	Beeinflussende Größen sind impulsförmig . . . . .	532
6.3.1	Allgemeines Vorgehen zur Berechnung von Koppelüberspannungen. . . . .	535
6.3.2	Leerlaufende Drehstromleitung, Fernmeldeleiter am Anfang geerdet . . . . .	536
6.3.3	Leerlaufende Drehstromleitung, Fernmeldeleiter am Ende geerdet. . . . .	539
6.3.4	Näherung einer Fernmeldeleitung an eine Drehstromleitung. . . . .	542
6.3.5	Unterschiedliche Wellengeschwindigkeiten. . . . .	545
<b>7</b>	<b>Rauchgasreinigungsanlagen von Kraftwerken . . . . .</b>	<b>547</b>
7.1	Schadstoffemission. . . . .	547
7.2	Maßnahmen zur Minderung der Schadstoffemission. . . . .	548
7.3	Rauchgasentstaubungsanlagen. . . . .	549
7.4	Grundschatplan von Rauchgasentschwefelungsanlagen. . . . .	551
7.5	Grundschatplan von Rauchgasentstickungsanlagen. . . . .	554

Literaturverzeichnis . . . . .	557
Formelzeichen . . . . .	569
Stichwortverzeichnis . . . . .	573