

Inhalt von Band 1/7: Die Grundlagen der Simulation und Elektrizität

1	VON DER REALITÄT ZUR SIMULATION	16
1.1	BAUPLAN UND STRUKTUR	17
1.1.1	<i>Analogien</i>	19
1.2	SCHNELLEINSTIEG IN SIMAPP	20
1.2.1	<i>Das Zeichnungs-Fenster</i>	21
1.2.2	<i>Signal-Wandler</i>	25
1.2.3	<i>Eine Struktur zeichnen</i>	28
1.2.4	<i>Fehlerquellen</i>	33
1.2.5	<i>Simulationen im Zeit-Bereich</i>	35
1.2.6	<i>Parameter-Variation</i>	39
1.2.7	<i>Simulationen im Frequenz-Bereich</i>	39
1.2.8	<i>Block-Bildung</i>	45
1.3	FORMELN BERECHNEN	50
1.3.1	<i>Gleichungen und Funktionen</i>	50
1.3.2	<i>Gleichung mit zwei Unbekannten</i>	53
1.3.3	<i>Schiefer Turm von Pisa (Winkelfunktion)</i>	54
1.3.4	<i>Zinseszins (Potenz-Funktion)</i>	55
1.3.5	<i>Die Integration</i>	57
1.3.6	<i>Die Quadratische Gleichung</i>	66
1.3.7	<i>Mittelwerte</i>	67
1.3.8	<i>Die Sinus-Schwingung</i>	68
1.3.9	<i>Effektiv-Werte</i>	71
1.4	NETZGERÄTE	75
1.4.1	<i>Aufbau und Funktion eines analogen Netzteils</i>	76
1.4.2	<i>Die Diode als Gleichrichter</i>	80
1.4.3	<i>Gleichrichter-Schaltungen</i>	83
1.5	SERIEN UND PARALLELSCHALTUNGEN	89
1.5.1	<i>Serien-Schaltungen</i>	89
1.5.2	<i>Parallel-Schaltungen</i>	91
1.5.3	<i>Mit- und Gegenkopplung</i>	93
1.5.3.1	<i>Die Berechnung von Rückkopplungen</i>	95
1.5.4	<i>Verlegen von Verzweigungs- und Summierstellen (Entflechtung)</i>	97
2	ELEKTRIZITÄT	102
2.1	ZWEI- UND VIERPOLE	104
2.1.1	<i>Lineare und Nicht-Lineare Systeme</i>	105
2.1.2	<i>Spannungs- und Stromquellen</i>	106
2.1.3	<i>Der Schmitt-Trigger</i>	108
2.1.4	<i>Ein Rechteck-Oszillator</i>	110
2.1.5	<i>Vierpole</i>	111
2.1.6	<i>Der Spannungs-Teiler als Vierpol</i>	113
2.1.7	<i>Das Überlagerungs-Prinzip</i>	116
2.1.8	<i>Der Operations-Verstärker</i>	118
2.2	ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER	122
2.2.1	<i>Die elektrischen Bauelemente R, C und L</i>	123
2.2.2	<i>Die elektro-magnetische Übersichts-Struktur</i>	126
2.3	DAS ELEKTRISCHE STRÖMUNGSFELD	128
2.3.1	<i>Elektrische Widerstände</i>	128
2.3.2	<i>Feldstärke E und Stromdichte J</i>	131
2.3.3	<i>Temperatur-abhängige Widerstände</i>	135

2.4	DAS ELEKTROSTATISCHE FELD	138
2.4.1	Das Feld zweier Punktladungen	138
2.4.2	Kondensatoren	141
2.4.3	Die Kapazität C	142
2.4.4	Die Berechnung eines idealen Kondensators	145
2.4.5	Die elektrostatische Zeitkonstante	146
2.4.6	Der Kondensator als Ladungs-Speicher	148
2.4.7	Der Kondensator bei Wechselstrom	154
2.4.7.1	Frequenzgang und Ersatzschaltung eines Kondensators	155
2.4.8	Der Kondensator als Energie-Speicher	161
2.4.8.1	Abstands-Variationen	166
2.4.9	Elektro-Filter (Staubabscheider)	169
2.4.10	Zusammenfassung ‚Kondensator‘	177
2.5	EINFÜHRUNG IN DIE REGELUNGSTECHNIK	178
2.5.1	Kompensation und Regelung	178
2.5.2	Drehzahl-Steuerung	184
2.5.3	Der ideale Motor und Generator	185
2.5.4	Tacho-Generatoren	186
2.5.5	Der reale Elektro-Motor und -Generator	190
2.5.6	Drehzahl-Steuerung	196
2.5.7	Die technischen Daten eines Gleichstrom-Motors	201
2.5.8	Drehzahl-Regelung	205
2.5.9	Statische Berechnung von Regelkreisen	206
2.5.10	Die Optimierung eines P-Reglers	210

Inhalt von Band 2/7: Dynamik

3	ELEKTRISCHE DYNAMIK	10
3.1	Dynamische Systeme im Zeit-Bereich	12
3.1.1	Testsignale	15
3.1.2	Rechenoperationen im Zeit-Bereich	21
3.1.3	Die Differenzierung im Zeit-Bereich	26
3.1.4	Die Integration im Zeit-Bereich	31
3.1.5	Elektrische Differenzierung und Integration	43
3.1.6	Elektronische Integratoren	48
3.1.7	Der elektronische Differenzierer	55
3.1.8	Steuerbare Zeitkonstanten	63
3.1.9	Umkehrfunktionen im Zeit-Bereich	66
3.2	Dynamische Systeme im Frequenz-Bereich	71
3.2.1	Vom Zeit- zum Frequenz-Bereich	73
3.2.2	Fourier-Analyse und -Synthese	75
3.2.3	Frequenzgänge	79
3.2.4	Die Frequenzgänge der Basis-Systeme P-I-D	83
3.2.5	Das Bode-Diagramm	88
3.3	Komplexe Rechnung	94
3.3.1	Der normalisierte Frequenzgang	97
3.3.2	Automatische Frequenzgang-Messung	104
3.3.3	Die Laplace-Transformation	107
3.3.4	Eine einfache Ersatz-Transformation	112
3.4	Elektrische Filter (Vierpole)	113
3.4.1	Passive Tief- und Hochpässe 1. Ordnung	114
3.4.2	Vorhalt kompensiert Verzögerung (Tastkopf für Oszilloskop)	122
3.4.3	Aktive Filter-Schaltungen	125
3.4.4	Bandpass und Bandsperre	130

3.4.5	Elektrische Systeme 2.Ordnung	136
3.4.6	Frequenzgang und Sprungantwort von Systemen 2.Ordnung	143
3.4.7	Dämpfung und Überschwingen	145
3.4.8	Trägheitsnavigation	151
4	MECHANISCHE DYNAMIK.....	167
4.1	Dynamische Grundbegriffe	167
4.2	Mechanische Bauelemente	174
4.2.1	Massen und Federn (Speicher)	174
4.2.2	Dämpfer (Energie-Verbraucher).....	175
4.2.3	Haftreibung	176
4.2.4	Material-Konstanten	181
4.3	Analyse mechanischer Systeme	182
4.3.1	Freie und erzwungene Schwingungen	182
4.3.2	Feder mit Dämpfer (statischer Speicher).....	184
4.3.3	Dämpfer mit Masse (dynamische Speicher)	187
4.3.4	Mechanischer Oszillator	189
4.3.5	Rotation.....	192
4.3.6	Das Massenträgheitsmoment	194
4.4	Kreisel.....	198
4.4.1	Der Kreiselspin H.....	199
4.4.2	Der freie Kreisel	201
4.4.3	Der Wendekreisel	204
4.4.4	Möglichkeiten der Kreisel-Aufstellung.....	208
4.4.5	Regelkreis für inertielle Winkel-Geschwindigkeiten	208
4.4.6	Die Frequenzgänge des Wendekreises	213
4.4.7	Der Kurskreisel (Kreiselkompass).....	219
	WIE GEHT ES WEITER?	224

Inhalt von Band 3/7: Magnetismus

Teil 1 von 2: Grundlagen und Induktion

5	Magnetismus.....	11
5.1	MAGNETISCHE MESSGRÖßEN	12
5.1.1	Anwendungen des Elektro-Magnetismus.....	12
5.1.2	Der magnetische Fluss.....	18
5.1.3	Dia-, Para- und Ferro-Magnetismus	20
5.1.4	Magnetische Influenz	26
5.1.5	Die magnetische Durchflutung	28
5.1.6	Magnetische Feldstärke H und Flussdichte B	30
5.1.7	Die Permeabilität μ	30
5.1.8	Ferrite	34
5.1.9	Der Skin-Effekt.....	36
5.2	MAGNETISCHE GRUNDLAGEN	39
5.2.1	Die Elektro-magnetische Übersichts-Struktur	40
5.2.2	Das Ohm'sche Gesetz des Magnetismus	44
5.2.3	Das Durchflutungs-Gesetz	48
5.2.3.1	Die Spule eines Kernspin-Tomographen (Luft-Spule).....	51
5.2.4	Berechnung ferro-magnetischer Kerne	56
5.2.4.1	Die magnetischen Leitwerte von Trafo-Kernen	58
5.2.5	Simulation von Magnetisierungs-Kennlinien.....	64
5.2.5.1	Simulation der Magnetisierung mittels einer Excel-Tabelle	66
5.2.5.2	Die Magnetisierungs-Kennlinie als Funktion B(H)	70

5.2.5.3	Die inverse Magnetisierungs-Kennlinie $H(B)$	74
5.2.6	Magnetische Energie und Leistung	75
5.2.6.1	Magnetische Energiedichte	77
5.2.7	Die magnetische Hysterese	80
5.2.7.1	Simulation einer Hysterese-Kurve	83
5.2.7.2	Die Energie der magnetischen Hysterese	84
5.2.7.3	Induktions-Heizung.....	86
5.2.8	Zusammenfassung: Magnetische Grundlagen	90
5.3	INDUKTION	90
5.3.1	Induktion von Gleich-Spannungen.....	96
5.3.2	Messung des magnetischen Flusses ϕ	97
5.3.3	Die Induktivität L	99
5.3.3.1	Berechnung von Induktivitäten	100
5.3.4	Die Spulen-Zeitkonstante $T.L$	104
5.3.4.1	Spulen Ein- und Ausschalten.....	106
5.3.5	DC-DC-Wandler	109
5.3.5.1	Spannungen, Ströme und Leistungen bei DC-Wandlern.....	113
5.3.5.2	Wandler-Dimensionierung	114
5.3.5.3	Dynamische Berechnung von DC-Wandlern.....	117
5.3.5.4	Der Abwärts-Wandler.....	121
5.3.5.5	Der Aufwärts-Wandler	127
5.3.5.6	Der induktive Inverter.....	131
5.3.5.7	Zusammenfassung DC-Wandler.....	134
5.4	WECHSELSTROM	135
5.6.1	Wirk-, Blind- und Schein-Widerstände.....	136
5.6.2	Die Serien-Schaltung von L , C und R	139
5.6.2.1	Der Frequenzgang einer Serien-Schaltung aus L , C und R	141
5.6.2.2	Funkenlöschung.....	149
5.6.3	Die Parallel-Schaltung von L , C und R	152
5.6.3.1	Blindstrom-Kompensation.....	153
5.6.3.2	Der Frequenzgang einer Parallel-Schaltung von L , C und R	159
5.6.3.3	Spule mit Wicklungs-Kapazität.....	162
5.6.4	Drossel-Spulen.....	163
5.6.4.1	Induktion bei Vormagnetisierung.....	165
5.6.4.2	Vorschalt-Drossel für Leuchtstoff-Röhren	168
5.6.5	Magnetisch entkoppelte Spulen.....	171
5.6.5.1	Reihen- und Parallel-Schaltung von Induktivitäten	171
5.6.5.2	Der induktive Spannungs-Teiler.....	172
5.6.5.3	Audio-Frequenz-Weiche	173
5.6.6	Magnetisch gekoppelte Spulen	176
5.6.6.1	Der Strom-Wandler	176
5.6.6.2	Der Spar-Transformator	178
5.6.7	Der Quarz-Oszillator	180
5.6.7.1	Die elektro-mechanische Quarz-Analogie	185
5.6.7.2	Die Material-Eigenschaften von Quarz-Kristallen	186
5.6.7.3	Die Berechnung der Quarz-Parameter	188
5.6.7.4	Die ersten Resonanz-Frequenzen eines Quarzes	196
5.6.7.5	Der Uhren-Quarz	198
5.6.8	Zusammenfassung: Spulen bei Wechselstrom	200

Teil 2 von 2 Drehmomente und Spulen

5.5	MAGNETISCHE KRÄFTE	201
5.5.1	Permanent-Magnete	204
5.5.2	Ein schwebender Magnet	215
5.5.3	Die Polstärke.....	220
5.5.4	Die Kraft elektro-magnetischer Felder	223
5.5.5	Die magnetischen Felder Strom-durchflossener Leiter.....	224

5.5.6	Magnetische Kraft und Energie	227
5.5.7	Die Lorentz-Kraft	231
5.5.8	Magnetischer Elementar-Motor und -Generator	234
5.5.9	Die elektro-magnetische Bremse.....	237
5.6	KRAFTMAGNETE UND RELAIS.....	241
5.6.1	Messung und Berechnung magnetischer Kräfte	243
5.6.2	Die Kraft einer Spule mit Eisenkern und Luftspalt	247
5.6.3	Das elektro-magnetische Relais	252
5.6.4	Dynamische Relais-Simulation	257
5.6.5	Relais-Dimensionierung.....	261
5.7	ELEKTRO-MAGNETISCHE DREHMOMENTE	266
5.7.1	Das Drehmoment einer Spule im Magnetfeld	271
5.7.2	Das Drehspul-Instrument	273
5.7.3	Das Galvanometer.....	276
5.7.4	Flussmessung mit Galvanometer	280
5.7.5	Wirbelströme.....	283
5.7.6	Wirbelstrom-Verluste	284
5.7.7	Wirbelstrom-Sensoren.....	286
5.7.7.1	Das Wirbelstrom-Tachometer	287
5.7.7.2	Die Wirbelstrom-Bremse	288
5.7.7.3	Der Wechselstrom (Wirbelstrom) -Zähler.....	290
5.7.8	Drehmomente in magnetischen Feldern	293
5.7.9	Das Massen-Spektrometer	293
5.7.9.1	Elementar-Magnete	296
5.7.10	Zusammenfassung: Magnetismus.....	297
5.8	SPULEN FÜR DROSSELN UND TRAFOS.....	298
5.8.1	Die technischen Daten von Drossel-Spulen	300
5.8.1.1	Der Spulen-Körper und das Kern-Material	301
5.8.2	Berechnung von Induktivitäten	303
5.8.2.1	Die Daten einer Induktivität	305
5.8.2.2	Die Messgrößen einer Ringkern-Spule.....	308
5.8.3	Berechnung von Spulen und rechteckigen Kernen (U und M)	310
5.8.3.1	Eine Kern-Tabelle.....	312
5.8.3.2	Dimensionierung von Spulen und Kernen.....	315
5.8.4	Trafo-Berechnung.....	323
5.8.4.1	Trafo-Dimensionierung.....	326
5.8.5	Spulen-Analyse	331
5.8.5.1	Die stationäre Analyse einer Ringkern-Spule	331
5.8.5.2	Graphische Ermittlung von Luftspalt-Breite und Windungszahl	336
5.8.5.3	Dynamische Spulen-Analyse.....	342
5.8.5.4	Abschätzung der Spulen-Zeitkonstanten.....	346
5.8.5.5	Die magnetische Grenzfrequenz eines Eisenkerns.....	352
5.8.5.6	Elektrische Zeitkonstanten im Vergleich.....	353
	WIE GEHT ES WEITER?	358

Band 4: Elektrische Maschinen und Transformatoren

6	ELEKTRISCHE MASCHINEN.....	15
6.1	GENERATOR UND MOTOR	16
6.1.1	Der Servo-Antrieb	18
6.1.2	Was den Anwender eines Motors interessiert.....	20
6.1.3	Das Simulations-Werkzeug.....	22

6.2	DREHMOMENT UND LEISTUNG	24
6.2.1	<i>Elektro-magnetische Antriebs-Momente</i>	24
6.2.2	<i>Belastung durch Reibung</i>	26
6.2.3	<i>Der Wirkungsgrad</i>	33
6.2.4	<i>Erwärmungs-Simulation</i>	48
6.2.5	<i>Motor-Dynamik</i>	50
6.2.6	<i>Messung der Motor-Daten</i>	55
6.3	DAS BARLOW'SCHE RAD.....	57
6.3.1	<i>Der Barlow'sche Rad als Motor</i>	59
6.3.2	<i>Das Barlow'sche Rad als Generator</i>	61
6.3.3	<i>Der Wirkungsgrad des Barlow'schen Rades</i>	63
6.4	GLEICHSTROM-MOTOREN	63
6.4.1	<i>Elektro-magnetische Antriebe</i>	64
6.4.2	<i>Die Berechnungs-Grundlagen für Elektro-Motoren</i>	68
6.4.3	<i>Der Gleichstrom-Motor mit Permanent-Magnet</i>	78
6.4.4	<i>Simulation eines Gleichstrom-Motors</i>	92
6.4.5	<i>Der Gleichstrom-Motor mit separater Feld-Spule</i>	104
6.5	ALLSTROM-MOTOREN	112
6.5.1	<i>Der Nebenschluss -Motor</i>	113
6.5.2	<i>Der Reihenschluss-Motor (Hauptschluss- oder Universal-Motor)</i>	116
6.5.3	<i>Der Universal-Motor bei Wechselstrom</i>	121
6.5.4	<i>Dimensionierung eines Universal-Motors</i>	127
6.6	DREHSTROM-MOTOREN	135
6.6.1	<i>Drehstrom-Schaltungen</i>	138
6.6.2	<i>Die Simulations-Grundlagen von Drehstrom-Motoren</i>	144
6.7	DER SYNCHRON-MOTOR	149
6.7.1	<i>Der Drehstrom-Synchronismus</i>	150
6.7.2	<i>Die Simulation des Synchron-Motors</i>	154
6.8	DER ASYNCHRON-MOTOR (KURZFASSUNG)	162
6.9	DER SCHRITT-MOTOR (KURZFASSUNG)	164
7	TRANSFORMATOREN	165
7.1	AUFBAU UND FUNKTION VON TRANSFORMATOREN	166
7.1.1	<i>Strom- und Spannungs-Transformation</i>	168
7.1.2	<i>Trafo-Ersatz-Schaltung</i>	170
7.1.3	<i>Der Transformator als Vierpol</i>	172
7.2	NETZ-TRANSFORMATOREN	180
7.2.1	<i>Trafo-Dimensionierung</i>	180
7.2.2	<i>Netztrafo-Analyse</i>	190
7.2.3	<i>Dimensionierung von M-Kern Transformatoren</i>	198
7.2.4	<i>Dimensionierung von Ringkern-Transformatoren</i>	205
7.3	AUDIO-ÜBERTRAGER	212
7.3.1	<i>Übertrager-Simulation</i>	214
7.3.2	<i>Übertrager-Frequenzgänge</i>	218
	WIE GEHT ES WEITER?	226

Inhalt von Band 5/7 Elektronik und Regelungs-Technik

8	ELEKTRONIK	11
8.1	DIODEN	13
8.1.1	<i>Aufbau und Funktion von Dioden</i>	14
8.1.2	<i>Dioden-Simulation</i>	19
8.1.3	<i>Dioden-Ersatzschaltung und Ersatz-Struktur</i>	24
8.1.4	<i>Dioden-Stabilisierung</i>	28
8.1.5	<i>Temperatur-Durchgriff und Temperatur-Koeffizient</i>	31
8.1.6	<i>Messung der Dioden-Parameter</i>	34
8.1.7	<i>Leucht-Dioden (LED's)</i>	39
8.1.8	<i>Z-Dioden</i>	41
8.2	FELDEFFEKT-TRANSISTOREN (FET's)	52
8.2.1	<i>Der Fet als Stromquelle</i>	54
8.2.2	<i>Simulation eines Sperrschicht-Fet</i>	54
8.2.3	<i>Der Fet als Spannungs-Verstärker</i>	56
8.3	DER MOS-FET	58
8.3.1	<i>Der MOS-Fet als Schalter</i>	59
8.3.2	<i>Simulation eines MOS-Fet</i>	60
8.4	BIPOLARE TRANSISTOREN	63
8.4.1	<i>Die Ausgangskennlinien eines bipolaren Transistors</i>	65
8.4.2	<i>Der bipolare Transistor als Schalter</i>	66
8.4.3	<i>Der bipolare Transistor als Stromquelle</i>	67
8.4.4	<i>Der Transistor als Vierpol</i>	69
8.4.5	<i>Gleich- und Wechselspannungs-Verstärker</i>	75
8.5	DIE TRANSISTOR GRUNDSCHALTUNGEN	77
8.5.1	<i>Die Basisschaltung</i>	79
8.5.2	<i>Die Kollektorschaltung</i>	82
8.5.3	<i>Darlington-Transistoren</i>	84
8.5.4	<i>Die Emitterschaltung</i>	85
8.5.5	<i>Einstellbare Potenzial-Schwelle</i>	88
8.5.6	<i>Emitterschaltung mit Spannungs-Gegenkopplung</i>	89
8.5.7	<i>Vergleich der Transistor-Grundsaltungen</i>	99
8.5.8	<i>Der Stromspiegel</i>	101
8.5.9	<i>Diskret aufgebauter Differenz-Verstärker</i>	103
8.6	OPERATIONSVERSTÄRKER	105
8.6.1	<i>Der offene OP</i>	105
8.6.2	<i>Der Impedanz-Wandler</i>	107
8.6.3	<i>Der Nicht-invertierende OpAmp</i>	107
8.6.4	<i>Der invertierende OpAmp</i>	110
8.6.5	<i>Differenzverstärker</i>	112
8.6.6	<i>Nullpunktfehler und Drift</i>	116
8.6.7	<i>Integratoren</i>	119
8.6.8	<i>Klein- und Großsignal-Verstärkung</i>	128
8.6.9	<i>Der Frequenzgang eines proportional-beschalteten OP's</i>	129
8.7	SCHALTUNGSTECHNIK	132
8.7.1	<i>Der Netztrafo und seine Ersatzschaltung</i>	132
8.7.2	<i>Ein unstabiliertes Netzteil</i>	133
8.7.3	<i>Ein Stabilisiertes Netzteil</i>	136
8.7.4	<i>Der Spannungs-Regler</i>	138
8.7.5	<i>Der Synchron-Gleichrichter</i>	139

8.7.6	Der RC-Oszillator	142
8.7.7	Der Pulsbreiten-Modulator.....	143
8.8	THYRISTOREN UND TRIACS	145
8.8.1	Der Thyristor.....	145
8.8.2	Der Triac	147
8.8.3	Triac-Simulation	148
8.8.4	Trigger-Thyristor und Diac.....	149
8.8.5	Die Vollwellen-Steuerung VWS.....	149
8.8.6	Das elektronische Lastrelais ELR.....	150
8.8.7	Die Phasenanschnitt-Steuerung PAS	151
9	REGELUNGSTECHNIK	156
9.1	Kompensation und Regelung	156
9.2	Zwei- und Dreipunkt -Regelungen.....	158
9.2.1	Die Zweipunkt-Regelung	159
9.2.2	Zweipunkt-Regler mit Rückführung.....	161
9.2.3	Die Dreipunkt-Regelung	162
9.2.4	Dreipunkt-Positions-Regelung.....	165
9.3	QUASI-STETIGE REGELUNGEN.....	166
9.3.1	Regelungen mit elektronischen Schaltern	166
9.3.2	Temperatur-Regelung mit elektronischem Lastrelais (ELR).....	168
9.3.3	Beleuchtungs-Regelung mit Phasenanschnitt-Steuerung	169
9.4	STABILITÄT IM REGELKREIS.....	170
9.4.1	Optimale Dynamik.....	170
9.4.2	Das Instabilitäts-Kriterium.....	171
9.4.3	Dimensionierung eines P-Reglers	173
9.5	STETIGE REGELUNGEN	174
9.5.1	P-Regelung einer Verzögerung 2.Ordnung	174
9.5.2	P-Regelung einer integrierenden Regelstrecke.....	179
9.5.3	Die Integral-Regelung.....	182
9.6	DIE PHASEN-REGELUNG (PLL)	184
9.6.1	Frequenz-Teiler.....	186
9.6.2	Frequenz-Multiplizierer	188
9.6.3	Der Spannungs-gesteuerte Oszillator (VCO).....	189
9.6.4	Phasen-Messung	195
9.6.5	Frequenz-Regelung mit PLL	205
9.7	PID-REGELUNGEN	210
9.7.1	Entwurf einer PID-Regelung	213
9.7.2	Elektronische PID-Regler	215
9.7.3	Regler-Auswahl und Optimierung	218
9.7.4	Praktische Regler-Optimierung	218
9.8	AUSREGELUNG VON STÖRSPEKTREN	222
9.8.1	Spektrum und Effektivwert.....	223
9.8.2	Bestimmung der Rauschparameter.....	223
9.8.3	Rauschbefreiung durch Modulation.....	227
	WIE GEHT ES WEITER?.....	230

Inhalt: Pneumatik/Hydraulik und Wärme-Technik

12	PNEUMATIK UND HYDRAULIK.....	15
12.1	HYDRAULISCHE UND PNEUMATISCHE SYSTEME.....	16
12.1.1	Die hydro-pneumatischen Messgrößen.....	17
12.1.2	Druck und Kraft	18

12.1.3	Massen- und Volumenströmung	23
12.1.4	Die hydro-pneumatische Leistung	24
12.2	DIE HYDRO-PNEUMATISCHEN GRUNDLAGEN	27
12.2.1	Das Gasgesetz (Zustands-Gleichung)	27
12.2.2	Das Gas-Thermometer	29
12.2.3	Ein Gas-Speicher	31
12.2.4	Das Kontinuitäts-Gesetz	33
12.2.5	Das Gesetz von Bernoulli	35
12.2.6	Erzeugung von Umkehr-Funktionen	40
12.3	HYDRAULISCHE UND PNEUMATISCHE ANTRIEBE	42
12.3.1	Der Öl-Motor und -Generator	43
12.3.2	Der Kompressor	46
12.3.3	Membran-Antriebe	49
12.3.4	Der Faltpump	51
12.4	STRÖMUNGS-RECHNUNG	55
12.4.1	Die laminare Strömung	57
12.4.1.1	Das Ohmsche Gesetz der Pneumatik/Hydraulik	61
12.4.2	Die turbulente Strömung	64
12.4.2.1	Die Referenzen der turbulenten Strömung	66
12.4.3	Drosseln und Blenden	70
12.4.3.1	Ventil-Simulation	73
12.4.4	Die Reynoldszahl (neue Definition)	78
12.4.4.1	Dimensionierung hydro-pneumatischer Bauteile	83
12.4.4.2	Die Temperatur-Abhängigkeit der Reynoldszahl	86
12.5	KLASSISCHE STRÖMUNGS-RECHNUNG NACH REYNOLDS	90
12.5.1	Der Druckabfall bei beliebiger Strömung	91
12.5.2	Die Reynoldszahl Re (traditionelle Definition)	92
12.5.3	Die Widerstandszahl ζ (x_i)	93
12.5.4	Parametrisierte Berechnung des Druckabfalls über einem Rohr	96
12.6	SIMULATION HYDRO-PNEUMATISCHER BASIS-SYSTEME	101
12.6.1	Drossel und Blende in Serie	105
12.6.1.1	Serien-Schaltung mit Parametern	109
12.6.2	Drossel und Blende parallel	113
12.6.2.1	Gemischte hydro-pneumatische Anordnungen	115
12.7	HYDRO-PNEUMATISCHE DYNAMIK	117
12.7.1	Der stationäre Druck-Abfall über einer Röhre	118
12.7.2	Die pneumatische Kapazität C_{pn}	120
12.7.3	Die hydro-pneumatische Induktivität	125
12.7.4	Ein pneumatischer Schwingkreis	129
12.8	PNEUMATISCHE VERSTÄRKER	132
12.8.1	Ein pneumatischer Leistungs-Verstärker	132
12.8.2	Steuerbarer Druckteiler (Düse-Prallplatte)	134
12.8.3	Druckverstärker	140
12.8.4	Pneumatische Differenz-Verstärker	143
12.8.4.1	Der pneumatische Operations-Verstärker	151
12.9	DRUCK-REGELUNG	153
12.9.1	Eine pneumatische Regelstrecke	154
12.9.2	Pneumatische Proportional-Regelung	155
12.9.3	Pneumatischer P-Regler	155
12.9.4	Pneumatische P-Regelung mit Regler-Block	159
12.9.5	Pneumatische PID-Regelung	160

13	WÄRME-TECHNIK	164
13.1	WÄRMELEITUNG	168
13.1.1	<i>Thermische Leitwerte und -Widerstände</i>	169
13.1.2	<i>Heizleistungs-Berechnung</i>	170
13.1.3	<i>Heizanlagen-Effektivitäts-Messung</i>	176
13.1.4	<i>Thermische Grundsaltungen</i>	184
13.1.5	<i>Kühlkörper-Dimensionierung</i>	187
13.2	KONVEKTION	188
13.2.1	<i>Die Konvektions-Leistung</i>	188
13.2.2	<i>Temperatur-Regelung mit Zwangs- Konvektion</i>	188
13.3	WÄRMESPEICHERUNG	192
13.3.1	<i>Die thermische Kapazität</i>	193
13.3.2	<i>Die thermische Zeitkonstante</i>	194
13.3.3	<i>Ein Brauchwasser-Speicher</i>	195
13.3.3.1	<i>Simulation des Brauchwasser-Speichers</i>	198
13.4	WÄRMESTRAHLUNG	201
13.4.1	<i>Die Strahlungs-Leistung</i>	202
13.4.2	<i>Der Treibhaus-Effekt (THE)</i>	203
13.4.3	<i>Solar-Kollektoren</i>	205
13.4.4	<i>Die Leistung eines Solar-Kollektors</i>	207
13.4.5	<i>Die Simulation eines Solar-Kollektors</i>	212
13.5	KONZEPTION UND BERECHNUNG EINER THERMISCHEN ANLAGE	216
15.5.1	<i>Die Amortisation einer Solar-thermischen Anlage</i>	218
15.5.2	<i>Eine solar-thermische Brauchwasser-Heizung</i>	222
15.5.3	<i>Simulation der Brauchwasser-Solarheizung</i>	226
ANHANG		232
	<i>Ende gut – alles gut?</i>	232
	<i>Wie geht es weiter?</i>	232
	<i>Literatur-Hinweise</i>	232
	<i>Material-Konstanten</i>	233