

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Überblick	1
1.2	Der Begriff des Analogrechnens	2
2	Mechanische Analogrechner	13
2.1	Rechenschieber	14
2.2	Planimeter	21
2.2.1	Weitere Entwicklungen	23
2.3	Mechanische Rechenelemente	25
2.3.1	Funktionen einer Veränderlichen	26
2.3.2	Funktionen zweier Veränderlicher	26
2.3.3	Differentialgetriebe	28
2.3.4	Integrierer	30
2.4	Gezeitenrechner	35
2.5	Harmonische Synthesizer	39
2.6	Mechanische Feuerleitrechner	41
2.7	Mechanische Differentialanalysatoren	44
2.8	Elektromechanische Differentialanalysatoren	49
2.9	Spezialrechner	53
3	Die ersten elektronischen Analogrechner	55
3.1	Feuerleitrechner	55
3.1.1	Der Feuerleitrechner T-10	56
3.1.2	Der Feuerleitrechner T-15	65
3.1.3	Weitere Entwicklungen	67
3.2	HELMUT HOELZERS Arbeiten	68
3.2.1	Das „Mischgerät“	68
3.2.2	HELMUT HOELZERS Analogrechner	82

4	Grundlegende Rechenelemente	91
4.1	Koeffizientenpotentiometer	92
4.2	Der idealisierte Operationsverstärker	92
4.3	Summierer	95
4.3.1	Offene Verstärker	97
4.4	Integrierer	97
4.4.1	Betriebsarten	99
4.4.1.1	Pause	100
4.4.1.2	Rechnen	101
4.4.1.3	Halt	101
4.4.2	Integrierer als Speicher	102
4.5	Funktionsgeber	103
4.5.1	Die Bildung inverser Funktionen	103
4.6	Multiplizierer	104
4.6.1	Division und Wurzeln	105
4.7	Komparatoren	107
4.8	Koordinatenwandler	108
4.9	Totzeitglieder	109
4.10	Rauschgeneratoren	110
4.11	Ausgabegeräte	111
4.12	Bedienung des Analogrechners	112
4.12.1	Das Programmierfeld	112
4.12.2	Betriebsarten	114
4.12.2.1	Null	115
4.12.2.2	Potentiometereinstellung	116
4.12.2.3	Statischer Test	117
4.12.2.4	Dynamischer Test	118
4.12.2.5	Zeitskalierungstest	119
4.12.2.6	Pause	119
4.12.2.7	Rechnen	120
4.12.2.8	Halt	120
4.12.2.9	Rechnen mit Halt	120
4.12.2.10	Repetierendes Rechnen	121
4.12.2.11	Iterierendes Rechnen	121
4.12.3	Zeitgeber	121
4.12.4	Durchführen einer Rechnung	122
5	Programmierung	125
5.1	Aufstellen von Rechenplänen	125
5.1.1	Vollständige Rückführung	127

5.1.2	Schrittweise Rückführung	129
5.1.3	Partielle Differentialgleichungen	132
5.1.3.1	Differenzenquotientenmethode	133
5.1.3.2	Trennung der Veränderlichen	135
5.1.4	Integralgleichungen	140
5.2	Normierung und Zeitskalierung	142
5.3	Beispiele	145
5.3.1	$y = a \sin(\omega t + \varphi)$ und Gleitfrequenz	146
5.3.1.1	Aufstellen des Rechenplans und Normierung	146
5.3.1.2	Durchführen der Rechnung	147
5.3.1.3	Gleitfrequenz	149
5.3.2	Masse-Feder-Dämpfer-System	152
5.3.2.1	Aufstellen des Rechenplans	153
5.3.2.2	Durchführen einer qualitativen Rechnung	155
5.3.2.3	Normierung	157
5.3.2.4	Statischer Test	158
5.3.3	Räuber/Beute-System	159
5.3.3.1	Aufstellen des Rechenplans	160
5.3.3.2	Durchführen der Rechnung	162
5.3.4	Springender Ball in einer Kiste	164
5.3.4.1	Aufstellen des Rechenplans	165
5.3.4.2	Durchführen der Rechnung	169
5.3.5	Simulation einer Automobilfederung	171
5.3.5.1	Aufstellen des Rechenplans	172
5.3.5.2	Durchführen der Rechnung	173
5.3.6	Projektion rotierender Körper	175
5.3.6.1	Aufstellen des Rechenplans	175
5.3.6.2	Durchführen der Rechnung	179
6	Systembeispiele	181
6.1	Telefunken RA 1	181
6.2	EAI 231-R	185
6.3	Telefunken RAT 700	189
6.4	Telefunken RA 800 und RA 800H	194
6.5	EAI TR-10	197
6.6	Telefunken RA 770	201
6.7	Telefunken RA 742	203
6.8	Dornier DO-80	205
7	Hybridrechner	209
7.1	Systeme	209
7.2	Programmierung hybrider Rechenanlagen	217

8	Digitale Differentialanalysatoren	221
8.1	Grundlegende Rechenelemente	222
8.1.1	Integrierer	222
8.1.2	Servo	226
8.1.3	Summierer	229
8.2	Rechenbeispiele	229
8.3	Schwierigkeiten	232
8.4	Beispielimplementationen	233
8.4.1	MADDIDA	234
8.4.2	Bendix D-12	235
8.4.3	TRICE	242
9	Simulation von Analogrechnern	245
9.1	Grundlagen	245
9.2	CSMP	249
9.3	Weitere Verfahren	253
9.4	Spezifische Probleme	256
10	Anwendungsgebiete	259
10.1	Mathematik	259
10.1.1	Differentialgleichungen	259
10.1.1.1	Lineare gewöhnliche Differentialgleichungen	260
10.1.1.2	Nichtlineare Differentialgleichungen	261
10.1.1.3	Randwertprobleme	261
10.1.1.4	Partielle Differentialgleichungen	262
10.1.2	Integrale und Integralgleichungen	263
10.1.3	Nullstellenbestimmung	263
10.1.4	Orthogonalfunktionen	264
10.1.5	Konforme Abbildungen	265
10.1.5.1	Umströmung eines Joukowski-Profil	266
10.1.6	Lineare Algebra	269
10.1.6.1	Lineare Gleichungssysteme	271
10.1.6.2	Eigenvektoren und Eigenwerte	272
10.1.7	Fouriersynthese und -analyse	273
10.1.8	Stochastik und Statistik	274
10.1.9	Monte-Carlo-Verfahren	275
10.1.10	Optimierungsprobleme	275
10.1.11	Mehrdimensionale Darstellungen	278
10.2	Physik	279
10.2.1	Planetenbahnen	279
10.2.2	Teilchenbahnen und Strahloptik	280
10.2.3	Optik	283

10.2.4	Wärmeleitung und verwandte Fragestellungen	283
10.2.5	Halbleiterphysik	288
10.2.6	Ferromagnetische Dünnfilme	290
10.3	Chemie	290
10.3.1	Reaktionskinetik	291
10.3.2	Quantenchemie	293
10.4	Mechanik und Maschinenbau	295
10.4.1	Schwingungen und Vibrationen	295
10.4.1.1	Stoßdämpferentwicklung	296
10.4.1.2	Erdbebensimulation	296
10.4.2	Rotierende Systeme	299
10.4.2.1	Lager	299
10.4.2.2	Kompressoren	300
10.4.2.3	Kurbeltriebe	300
10.4.3	Materialwissenschaft	301
10.4.3.1	Nicht destruktives Testen	301
10.4.3.2	Plastomechanik	301
10.4.4	Pneumatik und Hydraulik	302
10.4.5	Steuerung von Werkzeugmaschinen	306
10.4.6	Servosysteme	307
10.5	Kerntechnik	308
10.5.1	Forschung	308
10.5.2	Training	309
10.5.3	Steuerung	311
10.6	Biologie und Medizin	312
10.6.1	Ökosysteme und Populationsdynamik	313
10.6.2	Stoffwechseluntersuchungen	314
10.6.3	Kardiovaskulärsysteme	315
10.6.4	CO ₂ -Regulation	317
10.6.5	Pupillenregelung	317
10.6.6	Neurophysiologie	319
10.6.7	Epidemiologie	320
10.6.8	Luft- und Raumfahrtmedizin	323
10.6.9	Bewegungsapparate	324
10.7	Geologie und Meereskunde	324
10.7.1	Bodenschätz	325
10.7.2	Seismologie	328
10.7.3	Ausbreitung von Schallwellen	329
10.8	Wirtschaftswissenschaften	330
10.9	Energietechnik	333
10.9.1	Generatoren	333
10.9.2	Transformatoren	334

10.9.3	Wechselrichter und Gleichrichtersysteme	334
10.9.4	Übertragungsleitungen	336
10.9.5	Elektrische Versorgungsnetze	336
10.9.5.1	Netzsimulation	336
10.9.5.2	Frequenzsteuerung, Netzsynchronisation und Verbundnetzregelung	339
10.9.6	Betrieb von Kraftwerken	340
10.10	Elektronik und Nachrichtentechnik	341
10.10.1	Schaltungssimulation	341
10.10.2	Spektralanalyse, Frequenzgangbestimmung und Resonanzuntersuchungen	344
10.10.3	Filterentwurf	344
10.10.4	Modulatoren und Demodulatoren	345
10.11	Mess-, Steuer- und Regeltechnik	346
10.11.1	Datenerfassung und -verarbeitung	346
10.11.2	Korrelationsanalyse	347
10.11.3	Regelkreise	347
10.11.3.1	Servosysteme	348
10.11.3.2	Abtastsysteme	349
10.11.3.3	Dedizierte Rechner in Regelanwendungen	349
10.12	Verfahrenstechnik	350
10.12.1	Mischtanks, Wärmetauscher, Verdampfer, Kolonnen	353
10.12.2	Prozesssimulation	356
10.12.3	Adaptive Regelungen	357
10.12.4	Parameterbestimmung und -optimierung	357
10.12.4.1	Nichtlineare Regelkreise	358
10.13	Verkehrssysteme	359
10.13.1	Automobiltechnik	359
10.13.1.1	Rundlaufprüfung von Rädern	359
10.13.1.2	Federungs- und Stoßdämpfersysteme	360
10.13.1.3	Lenksysteme	361
10.13.1.4	Getriebeentwicklung	362
10.13.1.5	Verkehrsflusssimulation	365
10.13.2	Schienenfahrzeuge	365
10.13.2.1	Dynamisches Verhalten von Schienenfahrzeugen	365
10.13.2.2	Der Ablaufberg	367
10.13.2.3	Triebwagensimulation	367
10.13.3	Luftkissenfahrzeuge und Magnetschwebebahnen	367
10.13.4	Schiffsfahrtstechnik	368
10.13.4.1	Bootsbewegungen und Bootsstabilisation	368
10.13.4.2	Antriebstechnik	369
10.13.4.3	Schiffssimulatoren	369
10.13.4.4	Torpedosimulation	370

10.14	Luftfahrttechnik	371
10.14.1	Flugtische	372
10.14.2	Fahrgestelle	374
10.14.3	Fangseilsysteme	376
10.14.4	Triebwerksentwicklung	377
10.14.5	Hubschrauberrotoren	377
10.14.6	Flugleitsysteme	378
10.14.7	Flugsimulation	378
10.14.7.1	Bilderzeugung	391
10.14.8	In-flight-Simulationen	393
10.15	Raketentechnik	396
10.15.1	Raketentriebwerke	396
10.15.2	Flugverhalten	398
10.15.3	Raketensteuerung	399
10.15.3.1	Nike	399
10.15.3.2	Polaris	403
10.16	Raumfahrttechnik	405
10.16.1	Trägerraketen und Startfenster	406
10.16.2	Umlaufbahnberechnungen und Steuermanöver	407
10.16.3	Rendezvousmanöver	410
10.16.4	Mercury, Gemini und Apollo	412
10.17	Militärische Anwendungen	415
10.18	Ausbildung und Lehre	416
10.19	Kunst, Musik und Unterhaltung	417
10.19.1	Kunst	417
10.19.2	Musik	421
10.19.3	Unterhaltung	422
10.20	Analogrechenzentren	425
11	Zukunft und Chancen	429
11.1	Niedergang des Analogrechnens	429
11.2	Zukunft des Analogrechnens	432
Literaturverzeichnis		437
Index		475