

# ANALOGRECHNEN IN MASCHINENBAU UND MECHANIK

VON

OSKAR MAHRENHOLTZ

o. Professor an der Technischen Hochschule Hannover



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

# INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung . . . . .	9
2. Der elektronische Analogrechner . . . . .	15
2.1 Die Rechenwerke . . . . .	15
2.2 Die Rechenschaltung . . . . .	18
2.3 Der Aufbau der Rechenwerke . . . . .	19
2.3.1 Potentiometer . . . . .	19
2.3.2 Summierer, Integrierer, offener Verstärker . . . . .	20
2.3.2.1 Summierer . . . . .	22
2.3.2.2 Integrierer . . . . .	23
2.3.2.3 Offener Verstärker . . . . .	24
2.3.3 Dioden . . . . .	24
2.3.4 Der Komparator und einige Rechenanwendungen . . . . .	25
2.3.4.1 Der Komparator . . . . .	25
2.3.4.2 Betrag . . . . .	26
2.3.4.3 Signumfunktion . . . . .	27
2.3.4.4 Tote Zone (Getriebelose) . . . . .	27
2.3.4.5 Begrenzung . . . . .	29
2.3.4.6 Dreieck- und Rechteckschwingung, Sägezahnkurve . . . . .	29
2.3.5 Funktionsgeber . . . . .	31
2.3.6 Multiplizierer . . . . .	33
2.3.6.1 Parabelmultiplizierer . . . . .	33
2.3.6.2 Modulationsmultiplizierer . . . . .	37
2.3.6.3 Servomultiplizierer . . . . .	39
2.3.7 Weitere Verbindungen von Rechelementen . . . . .	40
2.3.7.1 Einige Schaltungen mit einem offenen Verstärker . . . . .	40
2.3.7.2 Spezielle Rechenanordnungen . . . . .	44
2.3.7.3 Beschaltung eines Rechenverstärkers mit speziellen Netzwerken . . . . .	45
2.3.7.4 Rechentechnik der Integration nach einer abhängigen Veränderlichen . . . . .	48
2.4 Die Steuerung des Rechenablaufs . . . . .	51
2.4.1 Die Steuerung des Integrierers . . . . .	51
2.4.2 Die Rechenabläufe . . . . .	52
2.4.2.1 Normallauf . . . . .	52
2.4.2.2 Komplementärer Lauf . . . . .	53
2.4.3 Der Speicher und seine Steuerung . . . . .	55
2.4.4 Weitere Steuerungsmöglichkeiten . . . . .	55
2.4.5 Symbole für die Steuerung des Integrierers . . . . .	56
2.5 Die Organisation des Analogrechners . . . . .	56
2.5.1 Der Analogrechner . . . . .	56
2.5.2 Ein- und Ausgabe . . . . .	59
2.5.3 Zusammenschalten von Analogrechnern . . . . .	59
2.5.4 Hybride Systeme (Verbundrechner) . . . . .	60
2.6 Bemerkungen zur Rechnung, Grenzen der Rechnung . . . . .	60
3. Aufbereitung der Probleme . . . . .	62
3.1 Die Programmierung (Normierung) . . . . .	62
3.2 Einige Exemplarische Beispiele . . . . .	65
3.2.1 Lineare Rechenschaltung: Schwinger . . . . .	65
3.2.2 Nichtlineare Rechenschaltung: Pendel bei großen Ausschlägen . . . . .	71
3.2.2.1 Lösung mit Funktionsgeber . . . . .	72
3.2.2.2 Lösung mit speziellem Sinusgeber . . . . .	75
3.2.3 Erzeugen analytisch vorgegebener Funktionen. Beispiel: Kurbschleife . . . . .	79

3.2.4	Rechnen im Normal- und Komplementärtakt. Beispiel: Wurfparabel.	82
3.3	Einige Bemerkungen.	86
4.	Probleme der Kontinuumsmechanik.	88
4.1	Elastomechanik.	88
4.1.1	Stäbe, Wellen, Balken.	89
4.1.1.1	Stäbe.	89
4.1.1.2	Wellen.	90
4.1.1.3	Balken (Träger).	91
4.1.1.4	Lösungsverfahren.	92
4.1.1.5	Beispiel: Dünner, schwerer, elastischer Streifen bei großer Durchbiegung.	92
4.1.2	Flächentragwerke.	97
4.1.2.1	Kreisplatte mit rotationssymmetrischer Belastung.	98
4.1.2.2	Nachgiebig gebettete Platte.	99
4.1.3	Kreisscheiben.	108
4.1.4	Rotationsschalen.	109
4.1.5	Stabilitätsprobleme.	112
4.2	Plastomechanik.	116
4.2.1	Ziehen durch ballige Ziehdüsen.	117
4.2.2	Walzen: Sonderfall Schleppwalzen.	122
4.3	Strömungsmechanik.	126
4.3.1	Zähe, inkompressible Strömungen.	126
4.3.1.1	Kreislaufmodell.	129
4.3.1.2	Systeme mit FÖTTINGER-Kupplung.	133
4.3.2	Kompressible Strömungen.	140
4.3.2.1	Gasströmung in einem Rohr.	143
5.	Dynamische Vorgänge.	150
5.1	Lineare Systeme.	150
5.1.1	Beispiel für ein technisches Problem: Dynamisches Verhalten einer Diesel-Lokomotive.	151
5.2	Nichtlineare Systeme. Das Doppelpendel als Beispiel.	159
5.3	Schwingungen kontinuierlicher Systeme.	165
5.3.1	Balkenschwingungen.	166
5.3.2	Schwingungen von Kreisplatten, Kreisscheiben und Rotationsschalen.	168
5.4	Deterministische und regellose Vorgänge.	168
5.4.1	Deterministische Erregung.	169
5.4.2	Stochastische Erregung.	172
5.4.3	Darstellung von Zeitfunktionen im Frequenzbereich.	176
6.	Weitere technische Probleme.	179
6.1	Kinematische Ketten. Beispiel: Rastgetriebe.	179
6.2	Simultane Auswertung von Versuchen. Beispiel: Torsionsversuche.	183
7.	Zeitverhalten und Genauigkeit realer Rechenwerke und Rechenschaltungen.	189
7.1	Verhalten einzelner Rechenwerke.	189
7.2	Verhalten und Stabilität von Rechenschaltungen.	194
	Schrifttum.	200
	Register.	205