

WALTER AMELING

Aufbau und Wirkungsweise elektronischer Analogrechner

Mit 274 Abbildungen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1963

**Dr.-Ing. habil. WALTER AMELING ist Dozent
für Theoretische Elektrotechnik an der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen**

**ISBN 978-3-663-19552-8 ISBN 978-3-663-19574-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-19574-0**

**© 1963 by Springer Fachmedien Wiesbaden
Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Braunschweig 1963
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1963**

**Alle Rechte vorbehalten von Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig
Satz und Druck: A. Hain K.G., Meisenheim/Glan**

Vorwort

Der elektronische Analogrechner ist in den vergangenen Jahren ein wertvolles Hilfsmittel für Ingenieure, Physiker und Mathematiker geworden. Durch ihn konnten Aufgaben gelöst werden, für die bisher keine Lösungsmöglichkeiten bestanden. Auf Grund seiner einfachen Bedienung, seines übersichtlichen Aufbaues und seiner leichten Erweiterungsfähigkeit wird der elektronische Analogrechner bei Problemen aus den verschiedensten Gebieten der Technik am häufigsten eingesetzt.

Mit dem vorliegenden Buch möchte ich sowohl den Studierenden an Hoch- und Fachschulen als auch dem Ingenieur der Praxis den Aufbau und die Wirkungsweise des elektronischen Analogrechners auf übersichtliche Art nahebringen. Ich war dabei bestrebt, in möglichst einfacher und verständlicher Form eine Anleitung für die erfolgreiche Bearbeitung von Problemen mit dem elektronischen Analogrechner zu geben, entsprechend den Bedürfnissen des praktisch arbeitenden Ingenieurs.

In systematischer Reihenfolge werden die verschiedenen Grundelemente des elektronischen Analogrechners beschrieben und ihre Arbeitsweise eingehend dargestellt. In einer gewissen Ausführlichkeit werden die nichtlinearen Einheiten (Funktionsgenerator und Multiplikator) in den Grundgedanken und schaltungstechnischen Möglichkeiten behandelt. Dies ist meines Erachtens umso notwendiger, als gerade die Lösung nichtlinearer Probleme durch den Analogrechner eine wesentliche Erweiterung der Möglichkeiten darstellt. Lineare Probleme können mit viel Mühe und Aufwand noch mit den üblichen mathematischen Mitteln gelöst werden.

Eine besondere Bedeutung glaube ich der Programmierung beimessen zu müssen, da die Wahl der Maßstabsfaktoren für die Genauigkeit von großer Wichtigkeit ist.

Bei der Auswahl des Stoffes habe ich die Simulationsmöglichkeiten mit dem elektronischen Analogrechner besonders hervorgehoben, da in immer steigendem Maße die Grundelemente des Analogrechners als vielseitige Modellbausteine eingesetzt werden. Für eine saubere Darstellung der Übergangs- und Übertragungsfunktionen schien mir der Gebrauch der Laplace-Transformation unumgänglich. Ich erachte es nicht nur für wichtig, sondern sogar für dringend

erforderlich, daß auch der Ingenieur in der Praxis mit der Laplace-Transformation vertraut ist, zumal die Nützlichkeit und Zweckmäßigkeit der Laplace-Transformation durch die Anwendung in den verschiedensten Gebieten der Technik erwiesen ist.

Zur Übung und Einarbeitung in die Methoden zur Lösung physikalischer oder mathematischer Probleme sind in einem einführenden Analogrechnerpraktikum einige Beispiele am Schluß des Buches vollständig programmiert. Ohne absolute Sicherheit in der Programmierung und Vertrautheit mit den Geräteeinheiten werden die bei vielen Problemen auftretenden Schwierigkeiten kaum zu überwinden sein.

Es wurde bewußt darauf verzichtet, Schaltungs- und Geräteeinheiten zu beschreiben, da derartige Angaben mehr den Hersteller als den Benutzer des Analogrechners interessieren. Außerdem ist hier eine stetige Weiterentwicklung im Gange. Die Einführung der Transistoren z.B. hat bereits zu erheblichen Wandlungen in den Gerätekonzeptionen geführt.

Die vielen Vorzüge des elektronischen Analogrechners und seine Zukunftsaussichten sind vielleicht am deutlichsten daran zu erkennen, daß als neueste Geräteentwicklungen Rechner vorgestellt werden, die die Vorteile des Analogrechners hinsichtlich seiner einfachen und übersichtlichen Programmiermethoden mit der vom Digitalrechner her gewohnten Genauigkeit vereinigen. Hierdurch werden die Einsatzmöglichkeiten des Analogrechners in Wissenschaft und Technik nochmals wesentlich erweitert.

Anfang 1963

Walter Ameling

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Historische Übersicht	1
1.2 Gegenüberstellung von Analog- und Digitalrechnern	3
1.3 Anwendungsgebiete digitaler und analoger Rechenmaschinen	9
2. Die Grundelemente des elektronischen Analogrechners	13
2.1 Zusammenstellung der üblichen Recheneinheiten	15
2.11 Symbole der Recheneinheiten	15
2.12 Prinzipieller Aufbau einer Rechenschaltung	18
2.2 Der Rechenverstärker	22
2.21 Allgemeine Betrachtungen und Anforderungen an den Rechenverstärker	22
2.22 Anwendung des Rechenverstärkers zur Multiplikation mit einem konstanten Faktor	37
2.23 Die Summierschaltung	41
2.24 Die Integrationsschaltung	46
2.241 Der einfache Integrator	46
2.242 Der allgemeine Integrator	50
2.243 Fehlerbetrachtung zum Integrator	53
2.3 Das Potentiometer	57
2.31 Multiplikation mit einem konstanten Faktor	57
2.32 Belastungseffekt und Möglichkeiten der Kompensation	59
2.4 Das Multiplikationsgerät	64
2.41 Potentiometer mit Servosteuerung	65
2.42 Parabelverfahren	68
2.43 Logarithmusverfahren	70
2.44 Multiplikation mit Kathodenstrahlröhren	71
2.441 Der Kreuzfeldmultiplikator	71
2.442 Multiplikation mit der Hyperbelfeldröhre	73
2.45 Der elektronische Multiplikator	74
2.5 Der Funktionsgenerator	81
2.51 Ausführung als Potentiometer	82
2.52 Möglichkeit des Aufbaus spezieller Funktionen mit Dioden	87
2.521 Erzeugung des Unempfindlichkeitsbereiches (tote Zone)	102
2.522 Die Begrenzerschaltung	108
2.523 Erzeugung eines Hystereseverhaltens	112
2.524 Bestimmung des absoluten Betrages einer Größe	118
2.53 Erzeugung spezieller Nichtlinearitäten mit Relais-Schaltkreisen	121
2.54 Universeller Funktionsgenerator mit Dioden	123

2.55	Verwendung des Elektronenstrahloszillographen als Funktionsgenerator	137
2.56	Verwendung eines x-y-Schreibers als Funktionsgenerator	139
2.6	Das Registriergerät	142
2.61	Anwendung eines Schreibers	142
2.62	Anwendung des Elektronenstrahloszillographen	143
2.63	Anwendung eines Digitalvoltmeters mit Druckeinrichtung	145
2.64	Anwendung von x-y-Schreibern	146
2.7	Zusatzeinrichtungen und Zubehör	146
2.71	Steuergeräte	147
2.72	Schaltbretter	152
2.73	Rechenelemente	153
2.74	Kontrolleinrichtungen	155
2.75	Nullvoltmeter	156
2.76	Spannungsquellen und Stromversorgung	157
3.	Wahl der Maßstabsfaktoren	158
3.1	Der Zeitmaßstab	158
3.2	Der Amplitudenmaßstab	163
4.	Programmierung	165
4.1	Allgemeine Betrachtungen zur Programmierung	165
4.2	Programmierungsschema	172
4.3	Beispiel zur Anwendung des Programmierungsschemas	183
5.	Ausführung spezieller Rechenoperationen	193
5.1	Die angenäherte Differentiation	193
5.2	Erzeugung der Funktionen x und x^2	199
5.3	Die Erzeugung der Funktionen $\frac{1}{x}$ und $\frac{1}{x^2}$	202
5.4	Die Division veränderlicher Größen	207
5.5	Erzeugung der Quadratwurzel einer Größe	211
5.6	Erzeugung der 3. und 4. Wurzel einer Größe	213
6.	Erzeugung bestimmter Zeitfunktionen unter Zuhilfenahme der Definition der Übertragungsfunktion	216
6.1	Definition der Übertragungsfunktion	217
6.2	Zusammenstellung von Impedanzen	221
6.3	Beispiele zur Ermittlung bestimmter Zeitfunktionen	223
6.4	Zusammenstellung von Übergangsfunktionen	229
7.	Der Verzögerungsgenerator	238
7.1	Allgemeine Betrachtungen zur Verzögerung	238
7.2	Rechnerische Behandlung eines Verzögerungsgenerators 1. und 2. Ordnung	244
8.	Typische Anwendungsbeispiele für den elektronischen Analogrechner	249
8.1	Lösung einer linearen Differentialgleichung 1. Ordnung	249

8.2 Lösung eines Differentialgleichungssystems	252
8.3 Bestimmung der reellen Wurzeln von Polynomen	259
9. Lösung linearer algebraischer Gleichungssysteme	264
9.1 Lösung von 2 Gleichungen mit 2 Unbekannten	267
9.2 Lösung von 3 Gleichungen mit 3 Unbekannten	270
9.3 Lösung von n-Gleichungen mit n-Unbekannten	272
10. Die Lösung partieller Differentialgleichungen	275
10.1 Die Lösungsmethode der Trennung der Variablen	280
10.2 Umformung partieller Differentialgleichungen mittels Differenzenquotienten in ein System von gewöhnlichen Differentialgleichungen	284
11. Der elektronische Analogrechner als Simulator	308
11.1 Allgemeine Gesichtspunkte	308
11.2 Entwicklung der Rechenschaltung für eine gegebene Übertragungsfunktion $G(s)$	323
11.3 Anwendungen	325
12. Funktionserzeugung unter Verwendung von Multiplikatoren	333
12.1 Integration nach einer abhängigen Veränderlichen	333
13. Einführendes Analogrechnerpraktikum	334
13.1 Lösung der Differentialgleichung $\frac{dy}{dx} = -A \cdot y$	334
13.2 Erzeugung der Funktion $y = A \cdot e^x$	341
13.3 Erzeugung der Funktion $y = A \cdot \sin \omega t$	345
13.4 Gesucht ist der Bewegungsablauf einer gedämpften Schwingung	350
13.5 Erzeugung der Funktion $v = b \cdot t + v_0$ im Bereich $0 < t < 1 \text{ sec}$	351
13.6 Darstellung einer quadratischen Parabel	353
13.7 Erzeugung der Funktionen x und x^2 für $x > x_0$	358
13.8 Erzeugung der Funktionen $\frac{1}{x}$ und $\frac{1}{x^2}$ für $x > x_0$	358
13.9 Erzeugung bestimmter Zeitfunktionen unter Zuhilfenahme der Definition der Übertragungsfunktion	358
13.10 Darstellung der Besselfunktion $I_0(x)$	368
13.11 Lösung eines Differentialgleichungssystems	374
13.12 Lösung eines linearen algebraischen Gleichungssystems mit 3 Unbekannten	374
13.13 Erzeugung einer Sinusfunktion beliebiger Amplitude und Nullphasenlage mit nur einem Rechenverstärker	380
14. Literaturverzeichnis	386
15. Sachwortverzeichnis	388