

„EAR 6“
 Elektronische Analogie-Rechenanlage
 des
 VEB Archimedes Glashütte (Sachs.)

Die Elektronische Analog-Rechenanlage „EAR 6“,

deren Arbeitsumfang sich aus den durch Umfragen bei deutschen Forschungs- und Entwicklungsstellen ermittelten Bedürfnissen ergab, ist ein praktisch universell einsetzbarer Kurzzeit-Analog-Rechner mit repetierender Arbeitsweise, vornehmlich zur Auflösung nichtlinearer Differentialgleichungssysteme einschließlich einfacher Randwertprobleme geeignet.

Unter Analog-Rechenanlagen elektronischer Art sind stetig arbeitende Modelle zu verstehen, die mit mathematischen Gleichungen oder Gleichungssystemen formulierte Systeme, insbesondere physikalischer Natur, nachzubilden gestatten. Ein Modell ist ein Abbildungssystem, das gewisse charakteristische Merkmale der Ähnlichkeit mit dem prototypen System aufweist. Ist es analog und homolog gegenüber seinem Ursystem, ist es ein wahres Modell.

Erkenntnisse eines Gebietes durch Ähnlichkeitsuntersuchungen, d. h. Übertragungen durch Analogien und Modelle auf andere, sind als Beispiele in der Entwicklung der Physik und ihrer Anwendungen bekannt.

Als Grundsatz der Analogiemethode müssen zur modellmäßigen Darstellung bestimmter Probleme durch elektronische Netzwerke die analytischen Beziehungen übereinstimmen. Den im prototypen System auftretenden, verschiedenartigen Konstanten und veränderlichen physikalischen Größen entsprechen bei den elektronischen Analogieanlagen einheitlich elektrische Spannungen. Die ursprünglichen mathematischen Gleichungssysteme werden hierbei unter Berücksichtigung von geeigneten Umrechnungsfaktoren in sogenannte Maschinengleichungen (Analogieanlagengleichungen) umgesetzt und automatisch zur Lösung gebracht. Die Lösungsfunktionen erscheinen elektronen-optisch geschrieben auf dem Bildschirm von Katodenstrahl-Röhren (im Falle der repetierenden Anlage EAR 6).

Die Analog-Rechenanlage EAR 6 ist durch ihre Aufgliederung in Schrankeinheiten mit auswechselbaren Einschüben praktisch den jeweiligen Bedürfnissen entsprechend anpassungsfähig. Die kleinste Einheit einer Maschine EAR 6 ist ein Schrank mit entsprechenden Einschüben.

Die fest einstellbaren Repetitionsfrequenzen betragen 5, 10 und 20 Hz. Die Anlage läßt sich bei Verwendung als Simulator (Originalzeitmaßstab) fremdsynchronisieren. Die Analogiebausteine sind entsprechend den zur Lösung erforderlichen Koppelplänen durch Steckerschnüre zusammenschalten. Alle Netzteilverbindungen führen über schwimmende Steckerleisten an den Rückwänden der Schrankeinheiten.

Die Genauigkeit richtet sich nach dem Schwierigkeitsgrad der Aufgabe sowie der Rechengüte der Analogiebausteine und kann mit 1 bis 5% angesetzt werden. Für die einzelnen Analogieelemente liegt sie bei 1%.

Eine Analogie-Rechenanlage EAR 6 (570 x 1050 x 1745) enthält in der Normalausführung folgende auswechselbare Einschübe von zweierlei Format. Bei den Einschüben in dem Format von 315 x 160 x 320 handelt es sich um:

1. Summatoren mit Koeffizientpotentiometern und 3 Eingängen
2. Integrator, umschaltbar auf Konstantmultiplikation 1 . . . 20
3. 4 Vorzeicheninverter (ein Einschub)
4. Konstantmultiplikatoren (Potentiometereinheiten)
5. spezielle Funktionsgeber
 - a) Begrenzer
 - b) tote Zone

und bei den Einschüben in dem Format von 465 x 320 x 320 um:

1. Funktionsmultiplikator
2. Funktionsgenerator

Als Zusatzeinrichtung werden weiterhin geliefert:

Einschübe im Format von 315 x 160 x 320:

1. Impulsverstärker
2. ein Leereinschub für Zubehör des Rechners

und Einschübe im Format von 465 x 320 x 320:

1. Funktionsempfänger mit Fotoeinrichtung
2. Rechenzeitgeber
3. Kompensationseinrichtung

Die Gesamtanlage enthält etwa 200 Elektronenröhren, zum größten Teil Doppeltrioden.

Die linearen Analogieapparaturen der EAR 6 dienen zur Lösung linearer Differentialgleichungen. Ein hochverstärkender Gleichspannungsverstärker ist in einem großen Teil dieser Rechenelemente als gemeinsame elektronische Baueinheit enthalten. Ein dreistufiger, positiv rückgekoppelter Operationsverstärker mit einem Verstärkungsgrad von ungefähr $1,2 \times 10^4$ ergibt die erforderliche hohe innere Verstärkung der Integratoren und Multiplikatoren. Zur Vorzeichenumkehr und Addition wurde ein einstufiger Gleichspannungsverstärker mit einer Katodenverstärkungsausgangsstufe entwickelt.

Der Additor erlaubt, 3 beliebige Funktionen zu addieren. Die Multiplikation mit einer Konstanten erfolgt mit einem Spannungsteiler. Der Integrator und Multiplikator mit einer Konstanten wurden in einer Baueinheit zusammengefaßt. Die nichtlinearen Analogieapparaturen der EAR 6 sind außer den linearen Rechenelementen zur Lösung nichtlinearer Differentialgleichungen als Funktionsmultiplikatoren und -geber enthalten.

Aus einer Anzahl besonderer Verfahren zur Multiplikation zweier beliebiger Funktionen in einer elektronischen Analogiemaschine wurde die Viertel-Quadratmethode als zweckmäßigste für den EAR 6 ausgewählt. Sie arbeitet mit einer Genauigkeit von 1 bis 2 % mit 4 Quadranten in der einfachsten Bauart bei einer Frequenzgrenze von 20 kHz mit einem Aufwand von 6 bis 10 Röhren. Durch eine spezielle Konstruktion unter Verwendung von Halbleiterwiderständen wurde eine Einsparung an Röhren und eine Erhöhung der Genauigkeit erzielt.

Wegen seines geringen Aufwandes wurde für die EAR 6 ein Diodenfunktionsgeber mit 9 Doppeldioden entwickelt, der die Approximation an eine Sinusfunktion und quadratische Parabel mit 1% Fehler erlaubt.

In einem Einschub sind je ein Funktionsgeber für Begrenzung und Tote Zone untergebracht, die für negative und positive Werte eingestellt werden können. Die Lösungskurven der EAR 6 werden auf dem Leuchtschirm einer Braunschen Röhre mit langer Nachleuchtzeit aufgezeichnet.

Netzteile, Rechenzeitgeber und Impulsverstärker sind auf die Arbeitsweise der Analogierechenanlage EAR 6 genau abgestimmt und ergänzen deren Ausstattung. Um die mannigfaltigen Anwendungen der elektronischen Analogieanlage EAR 6 in einer systematischen Übersicht zu erfassen, ist es zweckmäßig, die Terminologie und Einteilung mathematischer Gleichungen zu Grunde zu legen.

Dabei stehen diejenigen Probleme im Vordergrund, deren mathematische Formulierungen sich als gewöhnliche, lineare und nichtlineare Differentialgleichungen mit konstanten und nichtkonstanten Koeffizienten sowie durch derartige Differentialgleichungssysteme beliebiger Ordnung als Anfangs-Probleme darbieten. Algebraische Gleichungen und Gleichungssysteme, auch komplexe Größen sind erfassbar, werden von der EAR 6 bedingt gelöst. Im allgemeinen ist die elektronische Analogieanlage allen anderen mathematischen Maschinen vorzuziehen, wenn bei der Lösung der zu untersuchenden Probleme überblicksmäßige Resultate für Optimierungen in Kurvenform genügen und das Studium von Parametereinflüssen im Vordergrund steht.

Auch Simulationen, d. h. Untersuchungen, bei denen unter Zwischenschaltung entsprechender Anpassungsglieder Teile des zu untersuchenden physikalischen Systems mit der, die restlichen Teile nachbildenden (simulierenden) Analogieanlage als abgeschlossenes System zusammenwirken, sind mit der EAR 6 durchführbar. Voraussetzung dabei ist, daß die Rechengeschwindigkeit der EAR 6 der betreffenden Forderung gerecht wird (z. B. elektronischer Wirkungsgradschreiber auf dem Serienprüfstand von Verbrennungsmotoren und bei der Untersuchung eines Spannungs-Schnellreglers für Synchrongeneratoren).

Große Anpassungsfähigkeit und das Vermögen, rasch und anschaulich Überblicke über die Einflüsse von Parametern auf die Eigenschaften nachgebildeter Systeme zu vermitteln, sind die hervortretenden Kennzeichen der EAR 6.

1. Aufgabe:

Van der Pol'sche Differentialgleichung

Das physikalische Problem, das durch die nichtlineare Differentialgleichung

$$y'' + y' a (y^2 - 1) + y = 0$$

beschrieben wird, ist die Anfängung von Schwingungen mit stabiler Endamplitude, z. B. die Anfängung eines Parallelkreises durch ein Dynatron, dessen Charakteristik eine kubische Funktion ist. Dieses Problem ist aus einer ökonomischen Notwendigkeit heraus in den letzten Jahren Gegenstand einer intensiven Bearbeitung gewesen. Hierbei ist es gelungen, unter Anwendung von „konservativen mathematischen Hilfsmitteln“ gewisse allgemeine Aussagen über das Verhalten der Lösungsfunktion zu machen. Die endgültige Klärung dieses Problems gelang erst mit Hilfe von Analog-Rechnern, die es wiederum ermöglichen, zeitraubende Probier- und Versuchsarbeiten zu vermeiden.

Abb. 1 — Maschinenschaltung

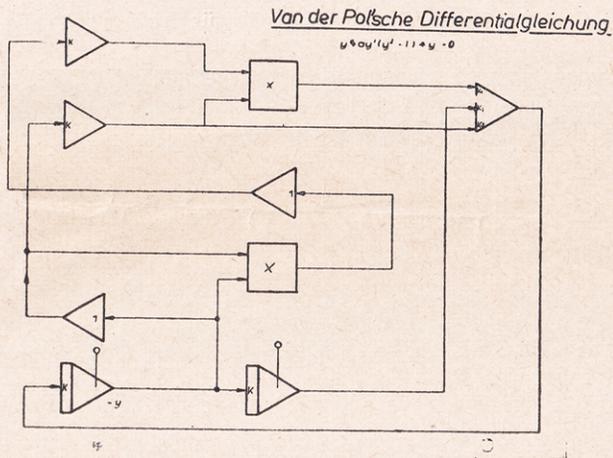


Abb. 2 — Der dargestellte Kurvenverlauf gilt für kleine a ($a < 1$)

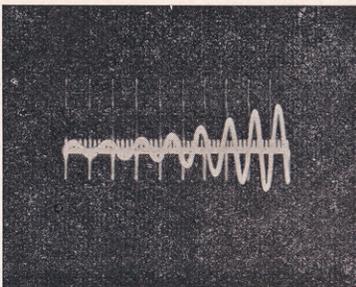


Abb. 3 — Der dargestellte Kurvenverlauf gilt für $a \sim 1$

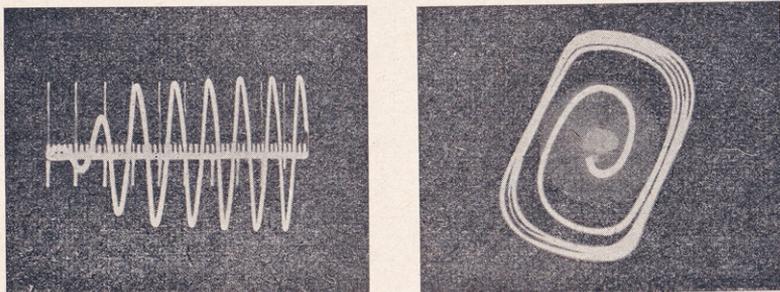
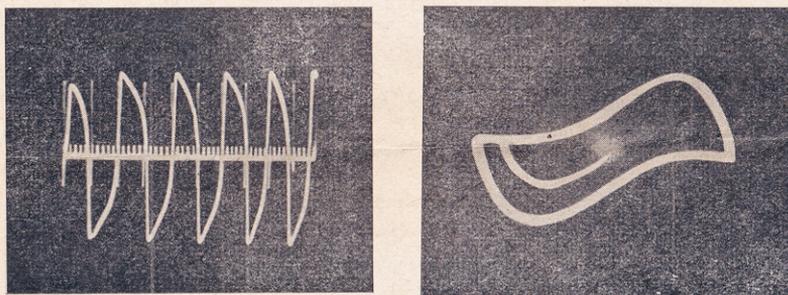


Abb. 4 — Der dargestellte Kurvenverlauf gilt für große a ($a > 5$)



2. Aufgabe:

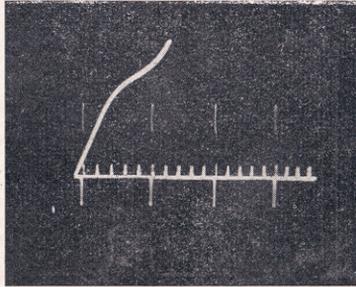
Überschwingendes Pendel

Die Differentialgleichung

$$y'' = -\sin y$$

beschreibt den Vorgang eines Pendels, dessen Ausschläge stetig vergrößert werden, bis sich das Pendel überschlägt. Eine exakte Berechnung dieses Problems ist für kleine Pendelausschläge möglich. Werden diese größer, so fordert eine genaue Betrachtung dieser Lösungsfunktion einen großen Aufwand an Zeit. Mit einem Analog-Rechner gelingt es, dieses Problem in seiner allgemeinsten Form innerhalb von wenigen Minuten zu berechnen.

Abb. 4 — Sich überschlagendes Pendel



Man kann zusammenfassend sagen, daß zur Lösung solcher Aufgaben mit den allgemein bisher zur Verfügung stehenden Rechenmitteln überhaupt keine Möglichkeit bestand. Es konnte notfalls unter Einsatz von Wissenschaftlern über eine unwahrscheinlich lange Zeitdauer ein Annäherungsergebnis als Resultat erreicht werden.

Die Programmierung dieser Aufgaben mit dem Analog-Rechner EAR 6 ist mit geringem Minutenaufwand gegeben und garantiert ein exaktes Ergebnis.

Als Vergleich könnte noch erwähnt werden, daß im Zuge der Entwicklung allgemein und insbesondere auch solcher Rechengeräte es überhaupt möglich war, die Bahnen der Sputniks und Weltraumraketen voraus genau zu bestimmen und zu lenken und damit der Wissenschaft bisher noch nie mögliche Erkenntnisse zu geben.

Flugzeugbau und Flugwesen

- a) Berechnung von Bahnen und Bewegungen von Raketen, Geschossen und anderen Flugkörpern,
- b) Automatische Piloten,
- c) Berechnungen von aerodynamischen Problemen.

Eisenbahnbau

- a) Berechnung von Brücken (Schwingungen),
- b) Berechnung von Wagenbewegungen auf Ablaufbergen.

Kern- und Atomphysik

- a) Regelung von Reaktoren,
- b) Bahnberechnungen von Elektronen.

Elektrotechnik

- a) Regelung von Turbinen und Motoren,
- b) Filterprobleme,
- c) Probleme der Elektronenoptik.

Die Liste der Anwendungsgebiete sowie die bestehenden Probleme läßt sich beliebig erweitern; nicht nur auf den rein technischen Sektor ist die Einsatzmöglichkeit des Analog-Rechners beschränkt, sondern auch die medizinischen Wissenschaften und die Wirtschaft beginnen bestehende Probleme mit diesen Rechengeräten zu lösen.