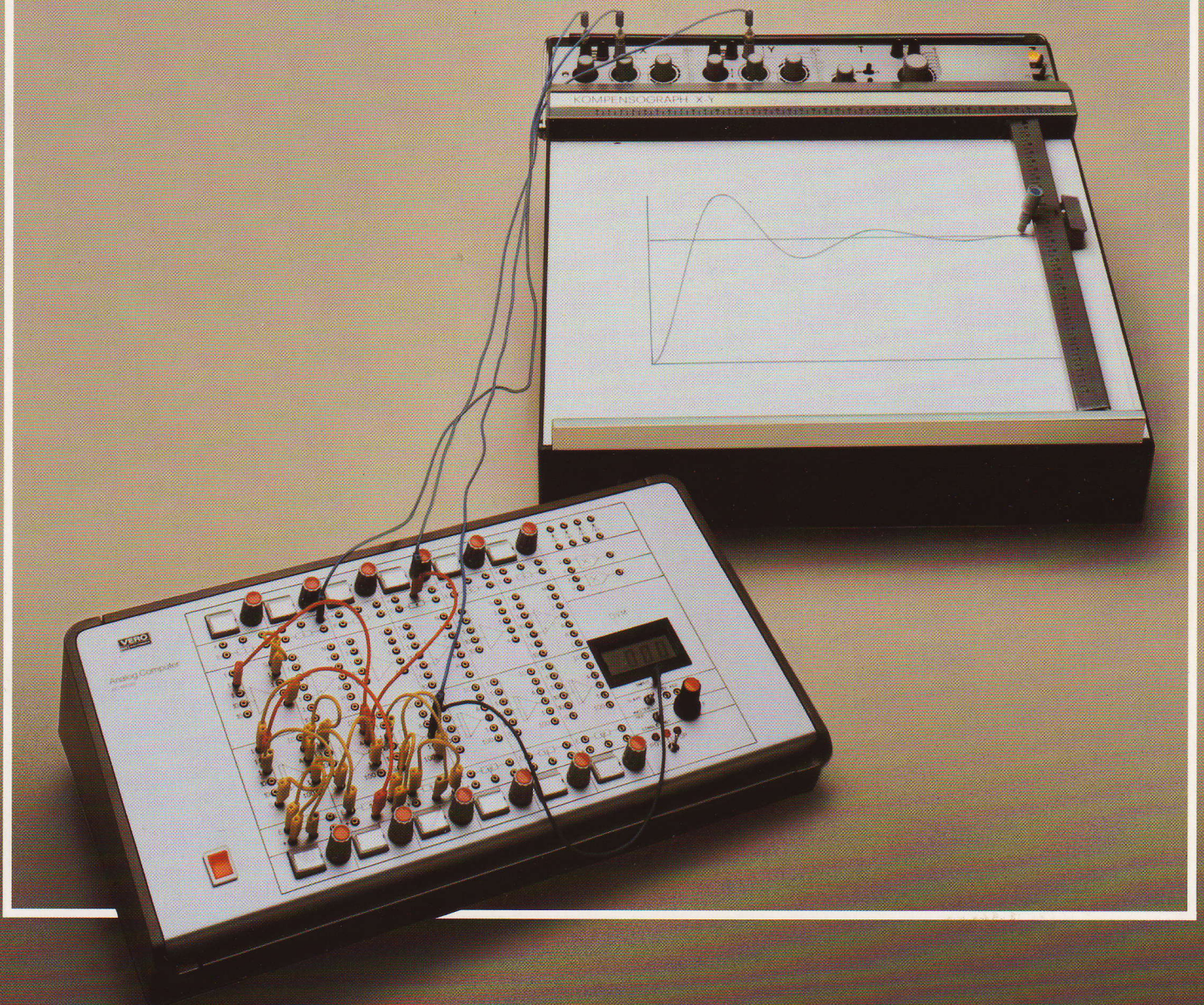


$$X_A'' = X_E - X_A - 2DX_A'$$



Analog-Computer

- Ideal für Ausbildung, Demonstration und Forschung
- Neue Operationsverstärker-Generation
- Erster AC im Aktentaschenformat



Analog-Computer AC 46093	16.4–16.5
Applikation „Betriebsarten“	16.6
Applikation „Operationsverstärker“	16.6
Applikation „Addierer“	16.7
Applikation „Differenzverstärker“	16.7
Applikation „Integrierer“	16.8
Applikation „Multiplizierer“	16.8
Applikation „Koeffizienten-Potentiometer“	16.9
Applikation „Digitalvoltmeter“	16.9
Fallbeispiel: Drehzahlregelung EI.-Motor	16.10
Anwendungen	16.11

Ingenieure, Physiker, Mathematiker und andere Wissenschaftler beschreiben technische bzw. physikalische Vorgänge mit mathematischen Formeln. Diese sind im einfachsten Fall algebraischer oder integraler Herkunft. Komplexere technische Vorgänge dagegen ergeben häufig schwierig lösbare Differentialgleichungen bzw. Differentialgleichungs-Systeme.

Ein nützliches wie auch geradezu optimales Gerät zur Lösung komplexer Differentialgleichungs-Systeme ist der ANALOG-COMPUTER. Er unterscheidet sich ganz wesentlich von den heute weit verbreiteten Digital-Computern in seiner parallelen Arbeitsweise. Analog-Computer führen ihre Rechenoperationen parallel durch, so daß die Variablen eines programmierten Systems bei einem Rechenzyklus gleichzeitig verändert werden. Diese Arbeitsweise ermöglicht es Analog-Computern, beliebige physikalische Systeme in einem elektrischen Modell nachzubilden. Hierbei simulieren Spannungen die einzelnen Variablen des nachgebildeten Systems. Die Spannungen im elektrischen Modell verhalten sich analog zu den Variablen des nachgebildeten Systems. Damit kann man mit einem Analog-Computer zunächst rein analytisch ein zu entwickelndes System betrachten. Das spart Zeit und Kosten bei der Entwicklung vieler sonst notwendigen Prototypen. Natürlich kann man in der Entwicklung nicht ganz auf Prototypen verzichten, jedoch sind entwickelte Prototypen mit Unterstützung des Analog-Rechners oft schon optimiert.

Analog-Rechner werden hauptsächlich eingesetzt auf den Gebieten: Ausbildung, Meß- und Regeltechnik, Simulationstechnik und Forschung. Stellvertretend für viele Anwendungen soll das folgende Programm-Beispiel simuliert werden.

Es soll ein schwingungsfähiges PT2-Glied mit der Übertragungsfunktion $\frac{X_A}{X_E} = \frac{1}{1 + p 2DT + p^2 T^2}$

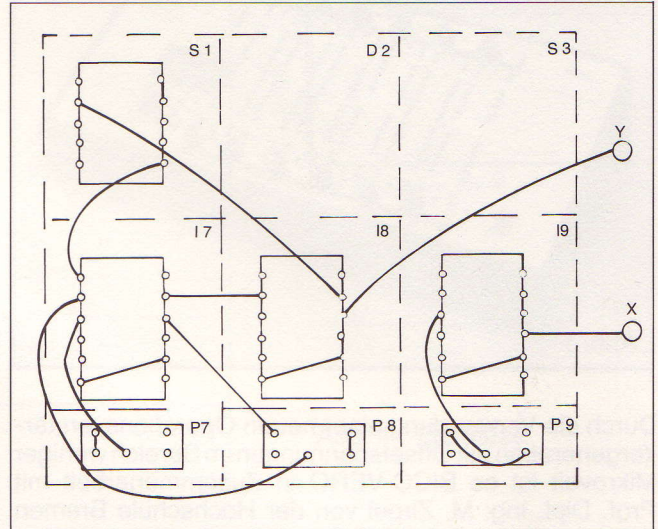
und der Differentialgleichung $T^2 X_A'' + 2DT \cdot X_A' + X_A = X_E$ auf dem Analogrechner simuliert werden.

Löst man die Differentialgleichung nach X_A'' auf, so läßt sich bereits der Zusammenhang zwischen dieser Gleichung und der Simulationsschaltung erkennen. Als Eingangsgröße wird die normierte Sprungfunktion $X_E = 0,5$ vorgegeben. Ferner wird zur Vereinfachung dieses Beispiels die Zeitkonstante auf $T = 1$ sec festgelegt.

Gleichung: $X_A'' = X_E - X_A - 2DX_A'$

Um die Realisierung der Simulationsschaltung auf dem BICC-VERO Analog-Computer zu erläutern, wurden die notwendigen Verbindungen in eine schematisierte Darstellung eines Teils des realen Buchsenfeldes eingetragen.

Buchsenfeld des BICC-VERO Analog-Computers

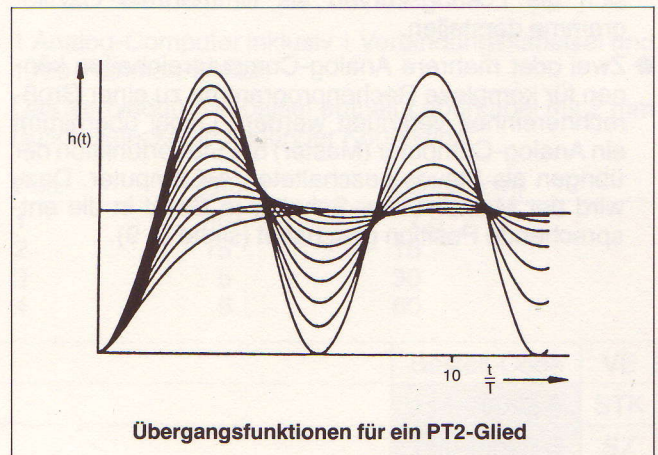
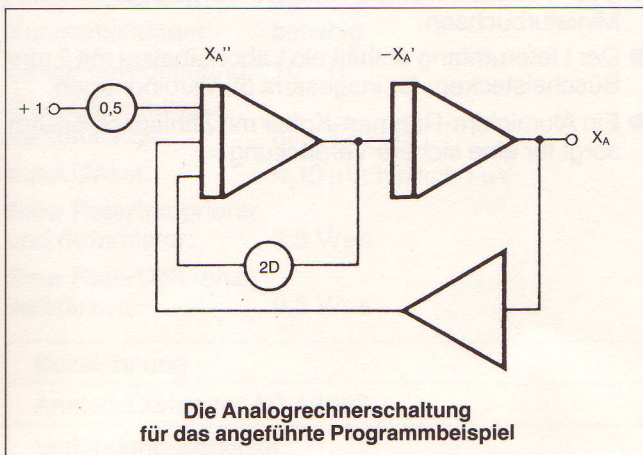


Auszug aus dem Programmierfeld des BICC-VERO Analog-Computers.

S = Summierer, D = Differenzverstärker, I = Integrierer, P = Koeffizienten-Potentiometer.

Der Integrierer I_9 ist für die Zeitablenkung vorgesehen, wobei die Rechenzeit mit dem Potentiometer P9 eingestellt werden kann. Üblicherweise werden die Lösungskurven in der Betriebsart „Single Shot“ mit einem X-Y-/Y-t-Schreiber aufgezeichnet (Rechenzeit im Bereich von ca. 10 ... 100 s). Daneben besteht die Möglichkeit die Lösungskurve in der Betriebsart „Rep. OP“ flimmerfrei auf dem Oszillografenschirm abzubilden. Dabei sollte die Repetierfrequenz möglichst größer als 20 Hz sein (Rechenzeit im Bereich von ca. 10 ms ... 1 s). Dazu muß der Summierpunkt „S“ mit der Buchse „100“ verbunden werden.

Übertragungsfunktionen für ein PT2-Glied (gezeichnet mit einem XY-Schreiber).



für die Ausbildung, Demonstration und Optimierung von Meß-, Simulations- und Regelsystemen

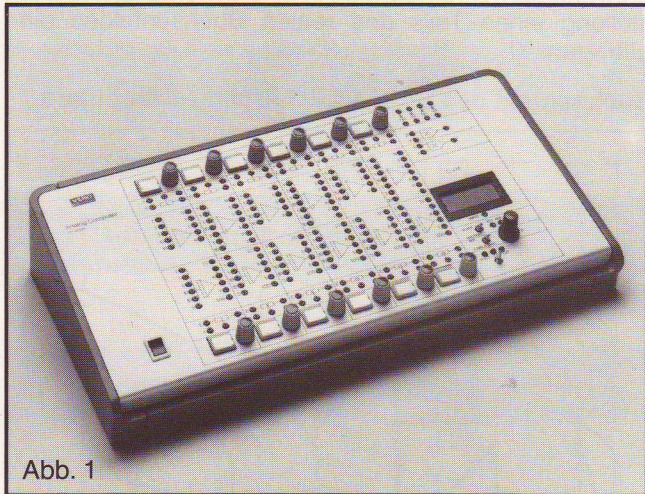


Abb. 1

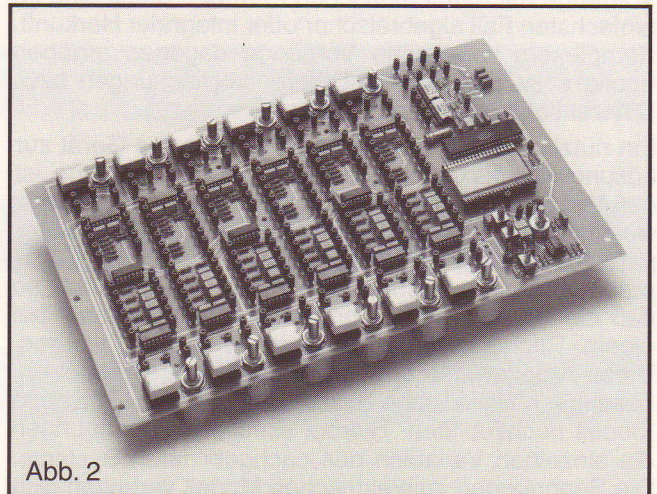


Abb. 2

Durch die Verwendung einer neuen Operationsverstärkergeneration mit Offsetspannungen im Bereich weniger Mikrovolt ist es BICC-VERO in Zusammenarbeit mit Prof. Dipl. Ing. M. Zirpel von der Hochschule Bremen gelungen, einen Analog-Computer in quasi Aktenaschenformat zu entwickeln. Die Leistungsfähigkeit ist vergleichbar mit herkömmlichen Analog-Computern. Trotz geringem Schaltungsaufbau wird eine hohe Rechengenauigkeit erzielt. Der Einsatz verschleißfreier kontaktloser Analogschalter gewährleistet eine große Betriebssicherheit, hohe Repeaterfrequenzen und eine lange Lebensdauer. Der Bedienungskomfort ist bestechend.

- Das Gerät verfügt über 6 Integrierer, 3 Summierer, 3 Differenzverstärker, 2 Multiplizierer, 12 Koeffizientenpotentiometer und 4 Dioden.
- 3-fach Kippschalter für Betriebsartenwahl:
 1. IC = Initial Condition (Anfangsbedingung einstellbar)
 2. OP = Operate (Rechnen)
 3. POT = Pot Set (Potentiometerabgleich)
- Ein Digitalvoltmeter zeigt die Einstellung der zehngängigen Koeffizientenpotentiometer an.
- In der Betriebsart „Repitierendes Rechnen“ lassen sich die Lösungskurven als flimmerfreie Oszillogramme darstellen.
- Zwei oder mehrere Analog-Computereinheiten können für komplexe Rechenprogramme zu einer Großrechnereinheit verknüpft werden. Dabei übernimmt ein Analog-Computer (Master) die Steuerfunktion der übrigen als Slaves geschalteten A-Computer. Dazu wird der Master-Slave-Schalter je Gerät in die entsprechende Position geschaltet (siehe S. 9).

- 3 Rechenglieder sind als Differenzverstärker ausgeführt. Mit ihnen lassen sich wichtige Operationsverstärker-Grundsaltungen einfacher realisieren als mit Summierern, wie z.B. nichtinvertierende Verstärker, Impedanzwandler und Schmitt-Trigger. Differenzverstärker lassen sich nach dem Verbinden des nichtinvertierenden Eingangs mit Masse natürlich auch als Summierer einsetzen.
- Alle Integrierer sind ohne zusätzliche Bauelemente auch als Summierer oder Inverter zu verwenden.
- Die Summierer können durch eine externe Beschaltung mit einem steckbar ausgeführten Kondensator in Integrierer umgewandelt werden.
- Alle Rechner-Bauelemente befinden sich auf einer einseitig bestückten Großplatine (siehe Abb. 2) – keine langen Leitungen bzw. Kabelbäume = stör-sicher.
- Die Versorgungsspannungen ± 8 Volt für die Operationsverstärker, ± 5 Volt für Referenz und ± 12 Volt für die Multiplizierer befinden sich auf einer separaten Netzteilplatine.
- Übersichtliches Steck- bzw. Programmierfeld (siehe Abb. 3).
- Das Programmierfeld enthält vergoldete 2 mm-Miniaturbuchsen.
- Der Lieferumfang enthält ein Laborkabelset mit 2 mm Büschelsteckern für insgesamt 55 Verbindungen.
- Ein Aluminium-Rahmen-Koffer mit Zahlenschlössern sorgt für eine sichere Verpackung

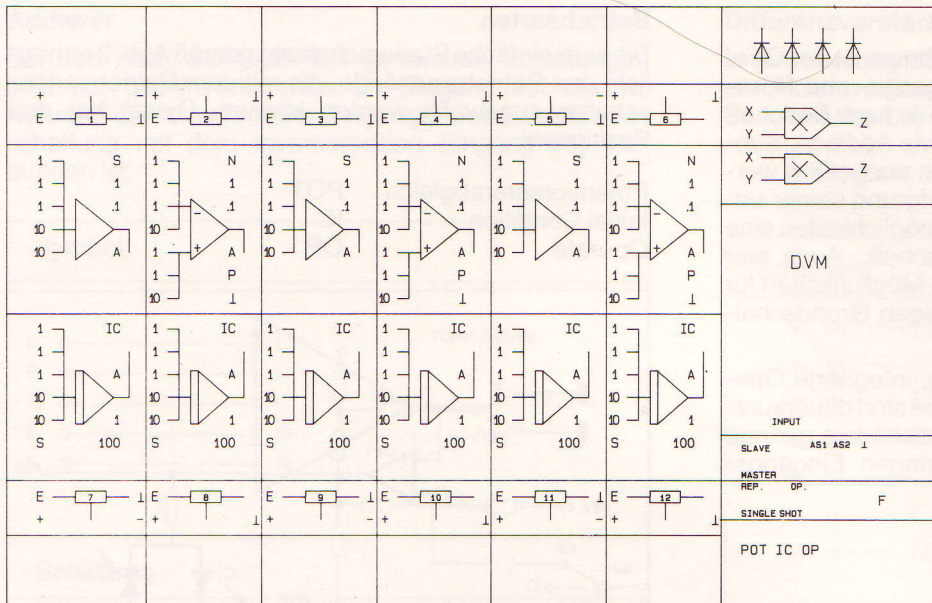


Abb. 3: Beschriftung: Frontplatte

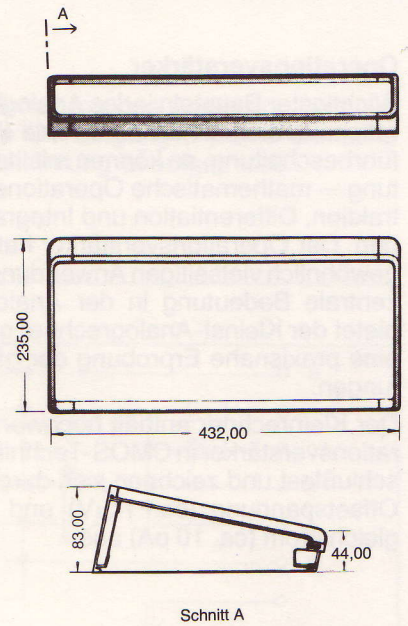


Abb. 4 Gehäuse

Technische Daten:

Stromversorgung

Netzanschluß: 220 V, 50 Hz
 Versorgung intern: ± 8 V, max. 100 mA, kurzschlußfest
 ± 5 V, 15 mA, kurzschlußfest (Line/Load Regulation besser 0,2 %, typisch 0,1 %).
 ± 12 V, max. 15 mA, kurzschlußfest

Leistungsaufnahme (voll bestückt): ca. 3 VA

Rechenverstärker

Versorgungsspannung: max. ± 9 V
 Ausgangsstrom: max. 6 mA
 Kurzschlußdauer: beliebig
 Eingangswiderstand: $10^{12} \Omega$
 Gleichspannungsverstärkung: min. 120 dB
 Input Offset: $< 10 \mu\text{V}$; typisch $1 \mu\text{V}$
 Slew Rate/Integrierer und Summierer: $2,5 \text{ V}/\mu\text{s}$
 Slew Rate/Differenzverstärker: $0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$

Rechenelemente

Toleranzen der Metallschichtwiderstände: max. 1 %
 Kondensatoren $1 \mu\text{F}$: besser 0,5 %; eingemessen

Mechanik

Abmessungen/Rahmen: $432 \times 235 \times 83 \text{ mm}^3$ (B x T x H)
 Material/Rahmen: Aluminium-Spritzguß
 Farbe Frontplatte: Aluminium, natur eloxiert
 Größe: $423 \times 217 \times 1,6 \text{ mm}^3$ (B x T x H)
 Bodenblech: Aluminium, natur eloxiert
 Größe: $423 \times 220 \times 1,15 \text{ mm}^3$

Lieferung:

1 Analog-Computer inklusiv 1 Verbindungskabelset und 1 Alu-Rahmen-Koffer.

Das Verbindungskabelset enthält Laborkabel mit 2 mm Bündelstecker in folgender Konfektion:

Pos.	Stück	Länge (cm)
1	30	7,5
2	15	15
3	5	30
4	5	60

Bezeichnung	Bestell-Code	VE
Analog-Computer AC 46093	144-46093 A	STK
Verbindungskabelset	144-46329 G	SZ

SZ = Satz, STK = Stück

Operationsverstärker

Wichtigster Baustein jedes Analogrechners ist der Operationsverstärker. Erhält er eine Eingangs- und Rückführbeschaltung, so können mit ihm – je nach Beschaltung – mathematische Operationen wie Addition, Subtraktion, Differentiation und Integration ausgeführt werden. Der Operationsverstärker hat aufgrund seiner ungewöhnlich vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten eine zentrale Bedeutung in der Analogtechnik. Auch hier bietet der Kleinst-Analogrechner gute Möglichkeiten für eine praxisnahe Erprobung der gängigen Grundschaltungen.

Der Kleinrechner enthält hochwertige, integrierte Operationsverstärker in CMOS-Technik. Sie sind dauerkurzschlußfest und zeichnen sich durch besonders geringe Offsetspannung (ca. 1 μ V) und geringen Eingangsstrom (ca. 10 pA) aus.

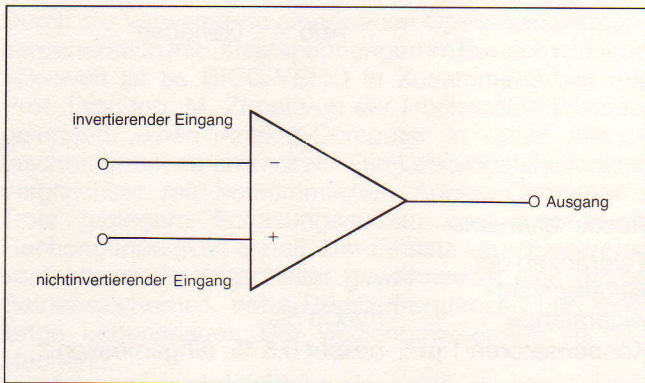


Abb. 1 Schaltungssymbol

Das Schaltungssymbol des Operationsverstärkers findet man in allen Grundschaltungen. Im Hinblick auf weitere Einzelheiten wird hier auf das umfassende Schrifttum zum Thema Operationsverstärker verwiesen.

Betriebsarten

Die sehr einfache Steuerschaltung gemäß Abb. 2 ermöglicht drei Betriebszustände, die mit dem Betriebsartenschalter angewählt werden können. Dieser hat drei Positionen:

- Potentiometerabgleich POT
- Initial Condition IC
- Operate OP

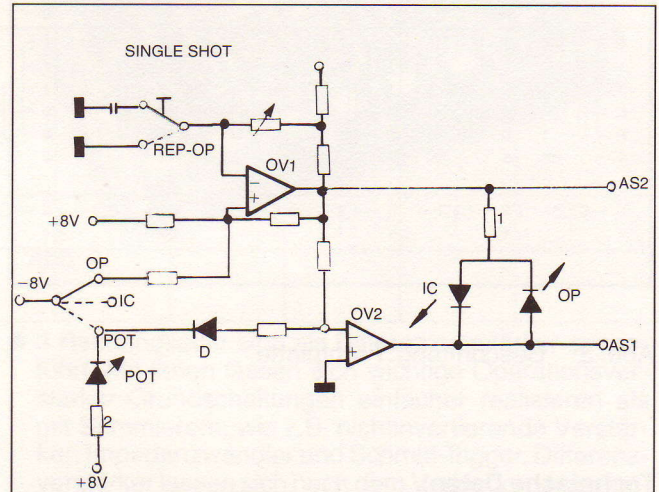


Abb. 2

In der Betriebsart „Operate“ kann mittels Schalter zwischen einem einmaligen Rechenvorgang (single shot) und Repetierbetrieb (REP) gewählt werden. Da sich auch sehr kleine Integrierzeiten (1 ms) einstellen lassen, kann man z. B. im Repetierbetrieb flimmerfreie Oszillogramme von Übergangsfunktionen erzeugen. Dabei werden Rechen- und Pausenzeit von einem astabilen Multivibrator (OV1) mit einem Puls-Pausen-Verhältnis von 5:1 und einer zwischen 1 und 100 Hz einstellbaren Frequenz vorgegeben.

In der Betriebsart „Initial Condition“ werden die Integrierer-Anfangswerte gesetzt (s. Integrierer). Außerdem werden die Rechenschaltungen in dieser Betriebsart aufgebaut.

Die genaue Einstellung der Koeffizientenpotentiometer erfolgt in der Betriebsart „Potentiometerabgleich“. Dabei wird der Potentiometereingang an die positive Referenzspannung, der Ausgang an das Digitalvoltmeter angeschlossen (s. Koeffizientenpotentiometer).

Zwischen den drei Betriebsarten und den Signalpegeln der zu den Analogschaltern führenden Signalbusse AS1 und AS2 besteht der folgende Zusammenhang:

Betriebsart	Signalpegel	
	AS1	AS2
POT	H	H
IC	L	H
OP	H	L

Addierer

Bei den auch SUMMIERER genannten Schaltungen liegt der nichtinvertierende OV-Eingang auf Masse, während die rein ohmsche Eingangs- und Rückführschaltung mit dem invertierenden Eingang (S) verbunden ist.

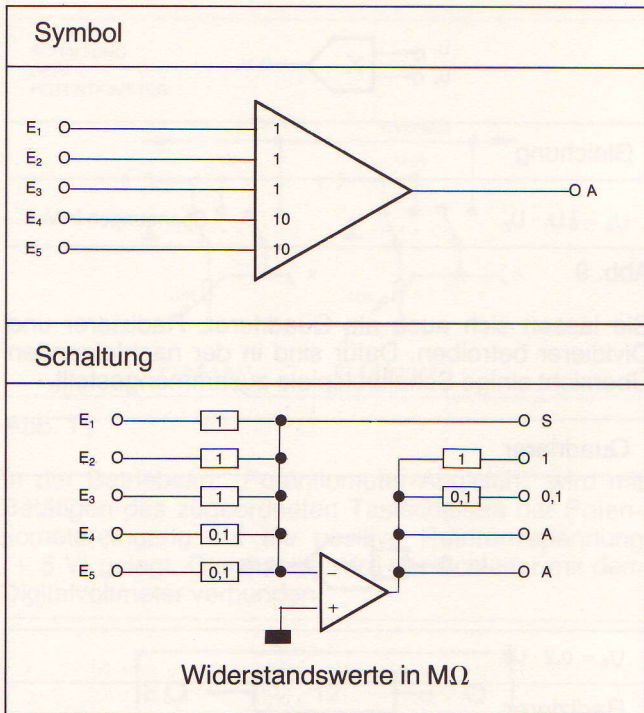


Abb. 3

Hohe Schaltungsflexibilität gewährleistet die aufgetrennte Rückführung und der auf die Buchse S herausgeführte Summierpunkt. Im folgenden Bild werden Beispiele dafür gezeigt, wie sich Grundschaltungen durch Verwendung von Brücken bzw. durch Hinzunahme eines Kondensators realisieren lassen. Die Buchsenanordnung im Bild entspricht der realen Buchsenanordnung des Kleinrechners.

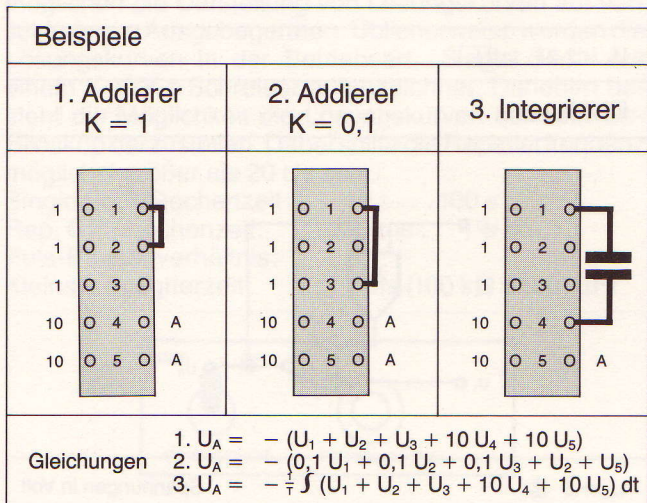


Abb. 4

Differenzverstärker

In Erweiterung der Schaltung des Addierers hat auch der nichtinvertierende OV-Eingang (P) eine ohmsche Beschaltung. Die Rückführung ist aufgetrennt.

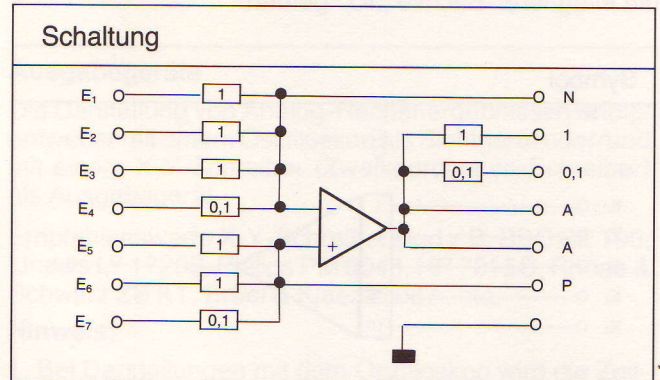


Abb. 5

Aus der Vielzahl der Schaltungsmöglichkeiten werden einige Beispiele herausgegriffen.

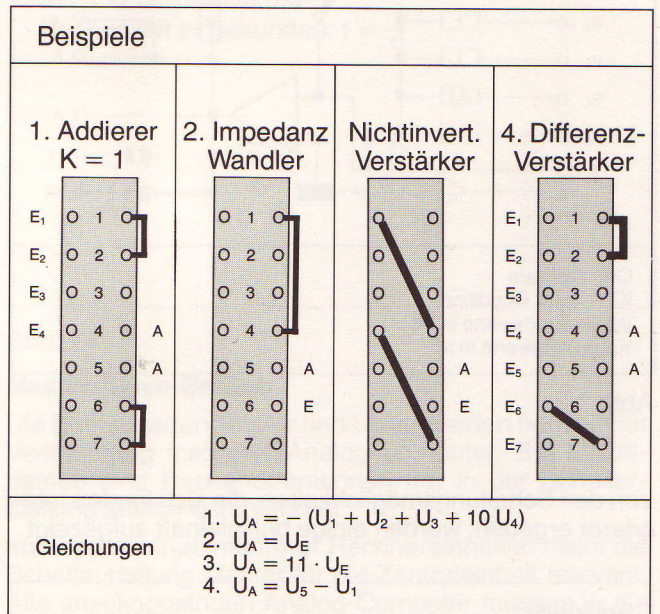


Abb. 6

Integrierer

Der Integrierer hat ohmsche Eingangsbeschaltung (Summiereingang) und einen Kondensator in der Rückführung. In der Betriebsart „Initial Condition“ (Schalterposition IC) wird die Kondensatorspannung vor Beginn jeder Rechnung auf einen bestimmten Anfangswert gesetzt. Hierzu wird die inverse Spannung $-U_A$ (o) auf die Integrierer-Buchse „IC“ geführt.

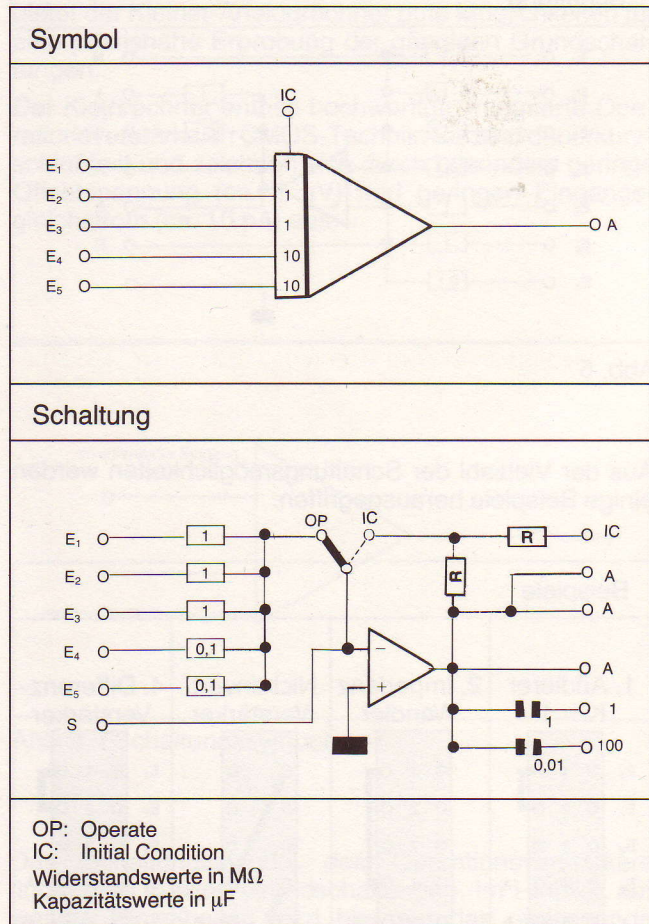


Abb. 7

Von den Schaltungsmöglichkeiten, die sich für den Integrierer ergeben, werden einige beispielhaft aufgezeigt.

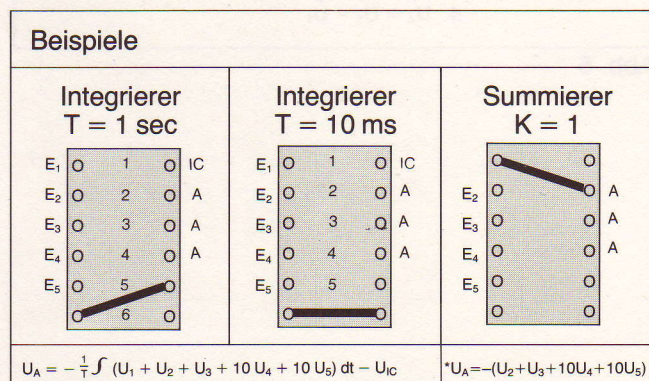


Abb. 8

Multiplizierer

Die integrierten Vierquadranten-Multiplizierer sind mit einer Zusatzbeschaltung auf den $\pm 5 \text{ V}$ -Signalpegel eingestellt.

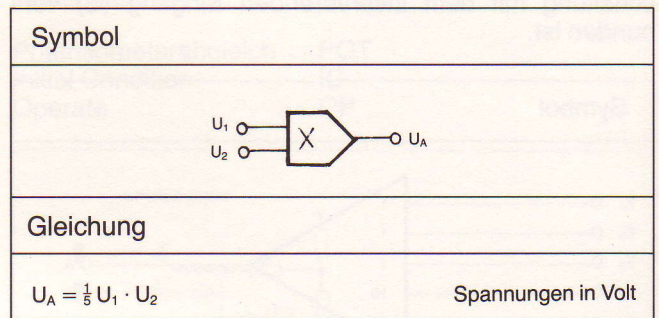


Abb. 9

Sie lassen sich auch als Quadrierer, Radizierer und Dividierer betreiben. Dafür sind in der nachfolgenden Übersicht einige Schaltbeispiele zusammengestellt.

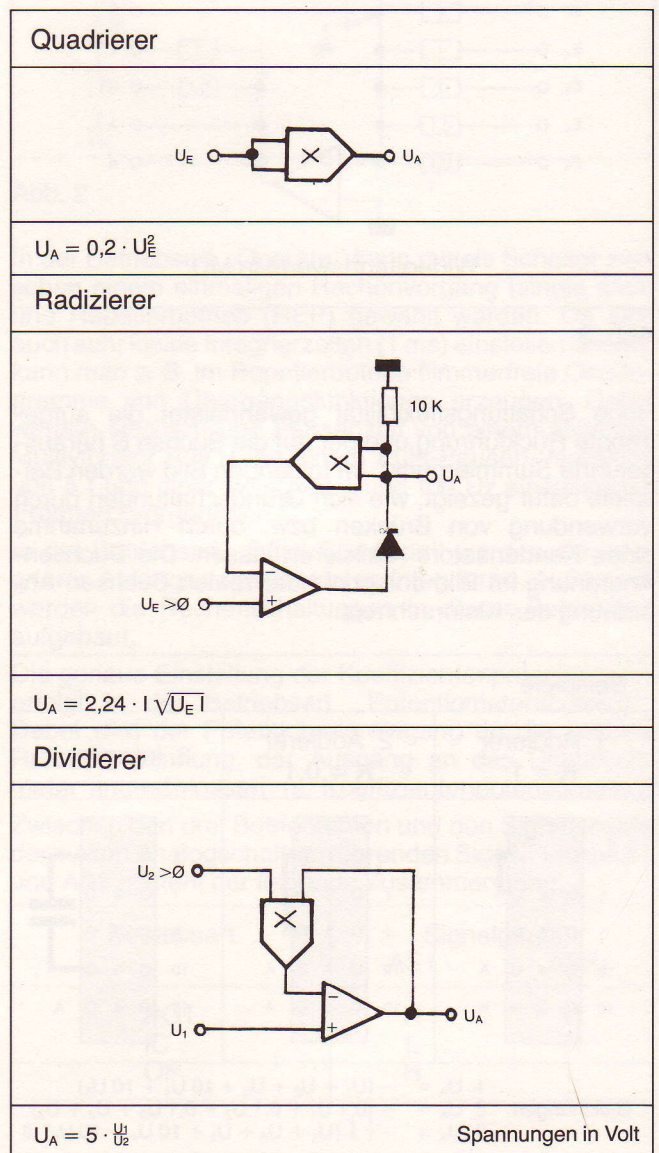


Abb. 10

Koeffizienten-Potentiometer

Die Koeffizienten werden mit zehngängigen Wendel-potentiometern eingestellt, deren hohes Auflösungsvermögen in Verbindung mit der dreistelligen Digitalanzeige gute Einstellgenauigkeit gewährleistet. Von den insgesamt 12 Potentiometern liegen 6 fest auf Masse-Potential, während die übrigen 6 potentialfrei sind.

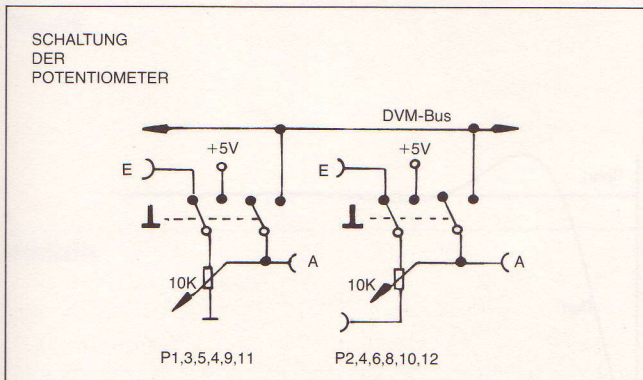


Abb. 11

In der Betriebsart „Potentiometer-Abgleich“ wird mit Betätigen des zugeordneten Tastschalters der Potentiometereingang auf die positive Referenzspannung (+ 5 V) gelegt. Gleichzeitig wird der Schleifer mit dem Digitalvoltmeter verbunden.

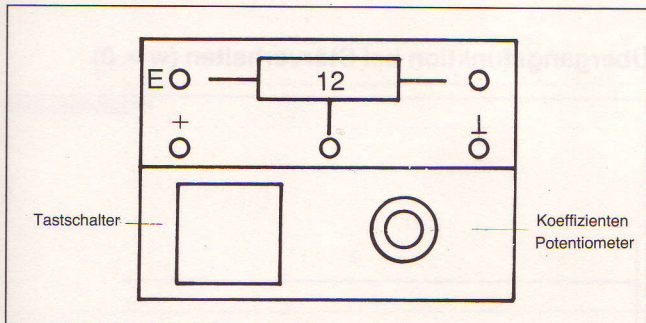


Abb. 12

Single Shot - Rep. OP.-Betrieb

Die Betriebsarten „Single Shot“ und „Rep. OP.“ ermöglichen die Darstellung von Lösungskurven auf verschiedenen Ausgabegeräten. Üblicherweise werden die Lösungskurven in der Betriebsart „Single Shot“ mit einem X-Y/Y-t-Schreiber aufgezeichnet. Daneben besteht die Möglichkeit die Lösungskurven auf dem Oszilloskop darzustellen. Dabei sollte die Repetierfrequenz möglichst größer als 20 Hz sein.

Single Shot/Rechenzeit:	10 s ... 100 s
Rep. OP./Rechenzeit:	10 ms ... 1 s
Puls-Pausenverhältnis:	5:1
Kleinste Integrierzeit:	1 ms (100 kΩ x 0,01 μF)

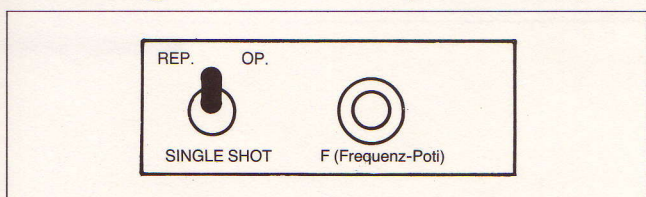


Abb. 13

Digitalvoltmeter (DVM)

Abhängig von der gewählten Betriebsart wird das DVM nicht nur zum Einstellen der Potentiometer (Betriebsart POT), sondern auch für allg. Spannungsmessungen (Betriebsarten IC, OP) verwendet. Dabei wird die interessierende Spannung auf die Buchse „DVM“ unterhalb der Digitalanzeige geführt. Die Anzeige 1,0 weist eine gemessene Spannung von 5,0 V aus.

Ausgabegeräte

Die Darstellung von Analog-Rechenergebnissen erfolgt entweder mit einem Oszilloskop als Sichtgerät oder/und mit einem X-Y-Schreiber (Zweikoordinaten-Schreiber) als Ausgabegerät.

Empfehlenswerte X-Y-Schreiber sind z.B. BBC SE 790, Linseis LY 17200, Philips PM 8043, HP 7015B, Rhode & Schwarz ZS KT, Brüel & Kjaer 2308 A, etc.

Hinweis:

1. Bei Darstellungen mit dem Oszilloskop wird die Zeitablenkung mit dem Rechtecksignal des Analog-Computers getriggert.
2. Bei Darstellung mit dem X-Y-Schreiber ist es üblich, die Zeitablenkung mit einem verfügbaren Integrierer vorzunehmen. Dieses Verfahren stellt sicher, daß mit dem Befehl Operate der Rechen- und Schreibvorgang synchron starten.

$$\text{Rechenzeit in Sekunden: } t = \frac{1}{\alpha}$$

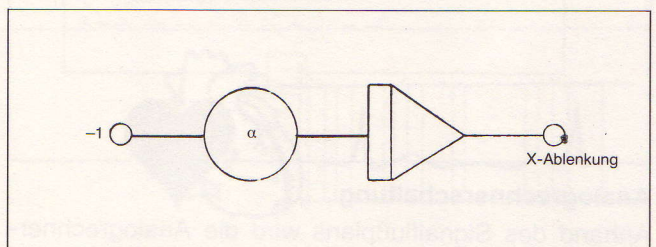


Abb. 14

Master-Slave-Betrieb

Die Betriebsarten Master und Slave werden benötigt für Verknüpfung mehrerer Analog-Computer. Bei Einzelbetrieb sind Rechenoperationen nur in der Schalterstellung Master durchführbar.

Im Koppelbetrieb mehrerer Rechereinheiten bleibt die Schalterstellung Master für die Zentraleinheit relevant. Alle anzukoppelnden Analog-Computer müssen in die Betriebsart Slave geschaltet werden. Anschließend werden alle Steuerausgänge entsprechend der Bezeichnung (AS1, AS2, Masse) miteinander verbunden.

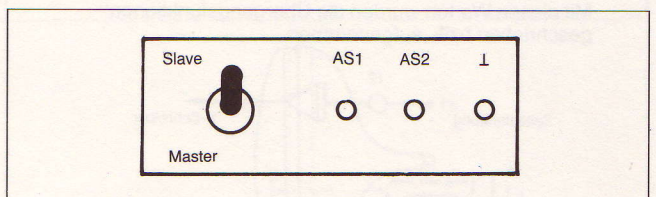
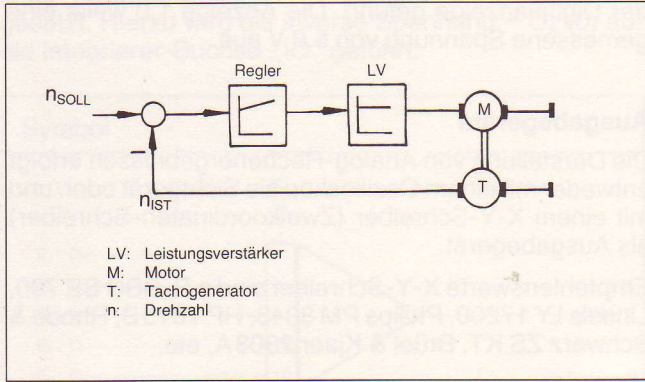


Abb. 15

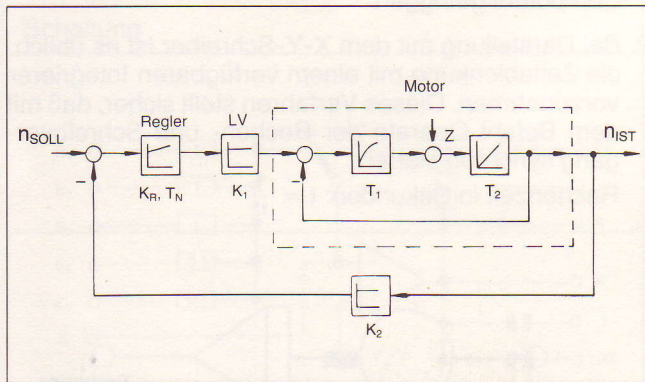
Drehzahlregelung eines fremderregten Gleichstrom-Nebenschluß-Motors.

Vorausgesetzt wird eine Linearisierung der Kennlinien im Arbeitspunkt.

Übersichtsbild

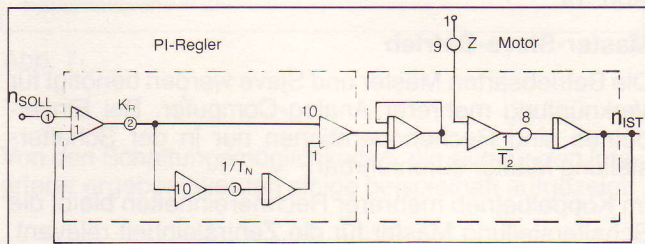


Signalflußplan



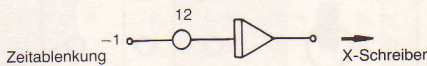
Analogrechnerschaltung

Anhand des Signalflußplans wird die Analogrechnerschaltung erstellt.



- | | |
|--------------------------|---------------------|
| $K_R = 2.62$ | $\alpha_1 = 0.2$ |
| $K_1 = K_2 = 1$ | $\alpha_2 = 0.262$ |
| $T_1 = 1 \text{ sec}$ | $\alpha_7 = 0.276$ |
| $T_2 = 5 \text{ sec}$ | $\alpha_8 = 0.2$ |
| $T_N = 3.62 \text{ sec}$ | $\alpha_9 = 1$ |
| | $\alpha_{12} = 0.1$ |

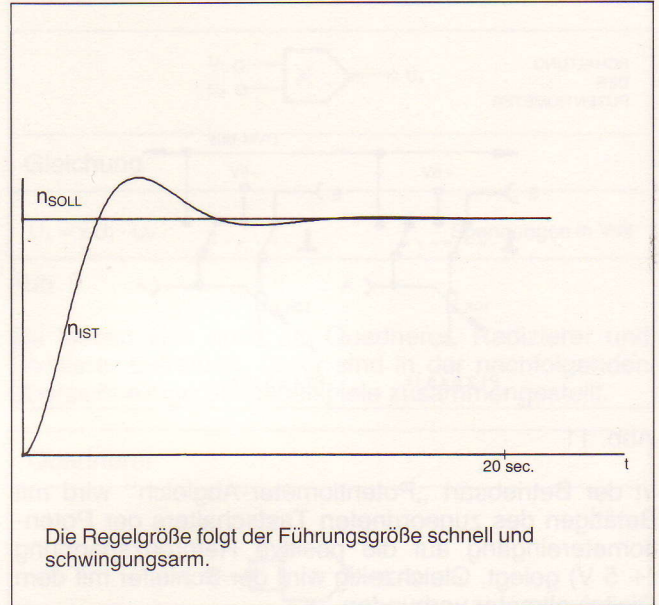
Mit diesen Werten wurden die Übergangsfunktionen geschrieben bzw. aufgenommen.



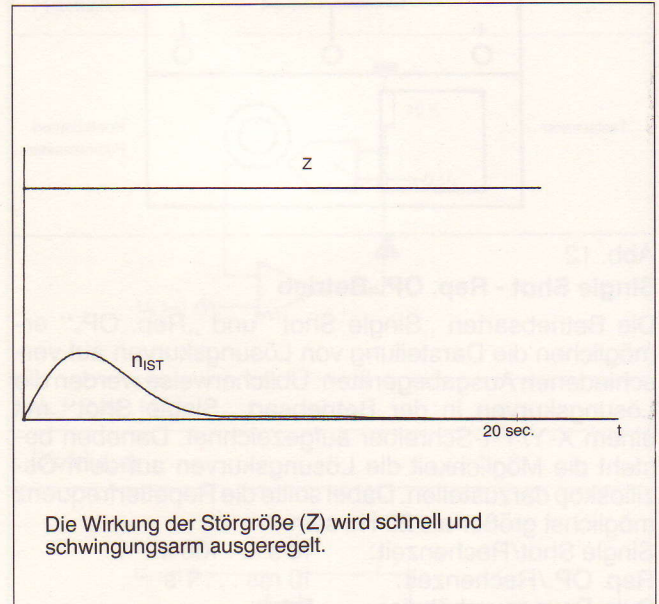
Übergangsfunktionen

Der Regelkreis wird auf sein Führungsverhalten und Störverhalten untersucht. Die Übergangsfunktionen wurden mit einem X-Y-Schreiber aufgezeichnet.

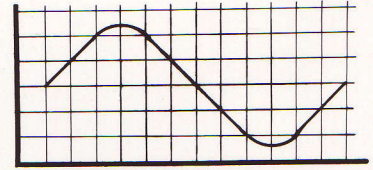
Übergangsfunktion bei Führungsverhalten ($Z = 0$)



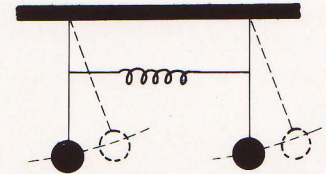
Übergangsfunktion bei Störverhalten ($w = 0$)



Mathematik



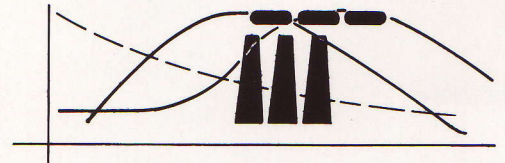
Physik



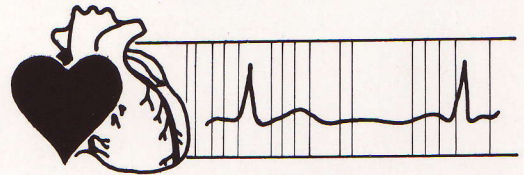
Medizin



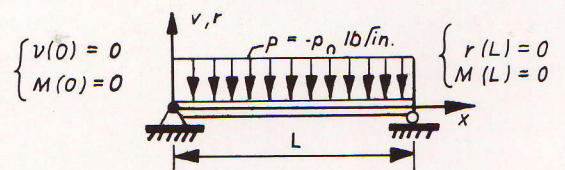
Ökologie



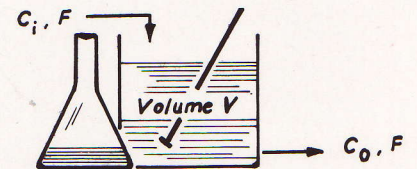
Bio-Medizin



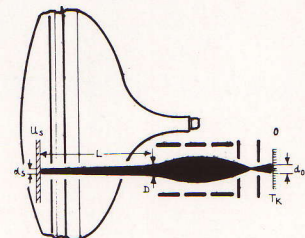
Statik



Chemie



Elektrotechnik



BICC-VERO ELECTRONICS GMBH

BICC-VERO ELECTRONICS GmbH in Bremen gehört zu der internationalen Firmengruppe BICC. In erster Linie entwickelt, produziert und liefert die BICC-Gruppe elektronische und mechanische Bauteile für die Elektroindustrie.

Langjährige Erfahrung und ständige Forschung ermöglichen BICC-VERO ELECTRONICS im Bereich der 19"-Technik, Laborkarten und Stromversorgungen eine führende Position einzunehmen. Weiterhin umfaßt unser Lieferprogramm Zubehör für Laborplatten, Steckverbinder, Stromschienen, ungenormte Gehäuse und Wire-Wrap-Werkzeuge, die für die Entwicklung und Fertigung von Elektronikbausteinen benötigt werden.

Mit 6 Unternehmen in Europa und den USA plus einer weltweiten Vertriebsorganisation bieten wir fortschrittliche Technologie, optimale Qualität und zuverlässigen Service.

BICC-VERO PACKAGING LTD.

Industrial Estate, Chandlers Ford,
Hampshire S 05 3ZR, England
Telephone Chandlers Ford (04215) 60211
Telex 47551 Veroel G Cables Vereolec.
Fax (04215) 65126
Southampton

BICC-VERO CONNECTORS LTD.

Parr, St. Helens, Merseyside WA9 1PR,
England,
Telephone St. Helens (0744) 24000
Telex 628811 Ref: BBY ST
Fax (0744) 34644

BICC-VERO ELECTRONICS GESMBH

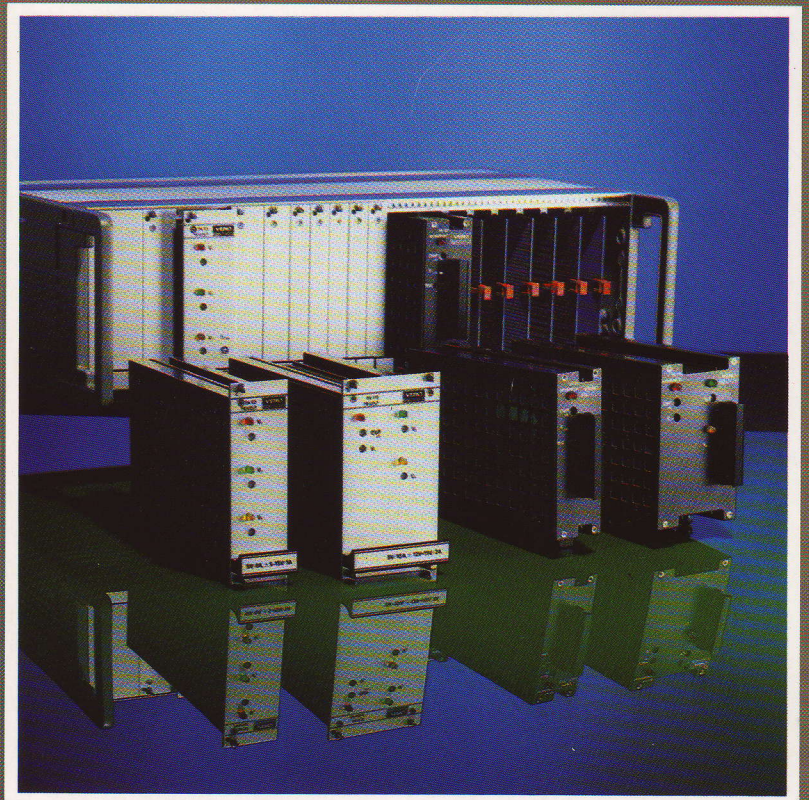
Schloßparkgasse 3
Postfach 79, A-3950 Gmünd
Telefon 02852 / 39 85
Telefax 02852 / 37 65 32
Telex 7 2 176

BICC-VERO ELECTRONICS S.A.

Rue de l'Industrie, B.P. 87,
60006 Beauvais, CEDEX, France.
Telephone (4) 4024674
Telex 145-145
Fax (4) 405 1677

BICC-VERO ELECTRONICS INC.

40, Lindeman Drive, Trumbull,
Connecticut 06611, U.S.A.
Telephone (203) 372-0038
Twx 510 227 8890
Fax (203) 372 6224



BICC-VERO ELECTRONICS GMBH



Carsten-Dressler-Straße 10 · Postfach 610340 · 2800 Bremen 61 · Telefon (0421) 828 18 · Telex 245570