

Elektronischer Langzeitrechner

endim 2000

Programmier-
und
Bedienungsanleitung



veb rechenelektronik glashütte

Nr. 7

Elektronischer Langzeitrechner

endim 2000

Programmier-
und
Bedienungsanleitung



veb rechenelektronik glashütte

V o r w o r t

Die vorliegende Druckschrift will allen, die sich mit der Programmierung von Aufgaben auf dem Analogrechner endim 2000 und der zur Durchführung der Programme erforderlichen Kenntnisse vertraut machen wollen oder die am endim 2000 bereits arbeiten, eine zusammengefaßte Darstellung des benötigten Stoffes geben.

Zur Aufbereitung und optimalen Programmierung von vorgegebenen Problemen muß natürlich auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen werden (z.B. H. Adler: Elektronische Analogrechner, Giloi/Lauber: Analogrechnen), die Abschnitte "Optimale Programmierung", "Programmierbeispiele" und "Testschaltungen" der vorliegenden Arbeit dürften jedoch einem mathematisch entsprechend vorgebildeten Leser genügen, ihn in diese Materie so weit einzuführen, daß er leichtere Probleme für den Analogrechner programmieren kann. Die mit der Vorbereitung und Durchführung eines Programmes verbundenen, mehr technischen Seiten sind dagegen ausführlich genug beschrieben, natürlich zugeschnitten auf den Analogrechner endim 2000.

Dem 1. Kapitel kann man die in einem Analogrechner von der Art des endim 2000 vorhandenen Rechenbausteine, Ein- und Ausgabemöglichkeiten und Bedienungs- und Steuervorrichtungen entnehmen. Die Steuerung der als Integratoren oder Summatoren programmierbaren Verstärker innerhalb des Rechenablaufes, die Schalt- und Steuermöglichkeiten für die Eingabe und Durchführung sowie zur Prüfung und Auswertung der Rechnung und die dafür vorgesehenen Bedienungsvorrichtungen werden im Kapitel 3 beschrieben. Ein weiteres Kapitel befaßt sich speziell mit der Auswertung. Außer den schon oben erwähnten Abschnitten über die Ausarbeitung des Programmes und die "Testschaltungen" vermittelt Kapitel 5 die für das Stecken und Einstellen (Potentiometer, Funktionsgenerator) des Programmes benötigten Kenntnisse. In dem Abschnitt 5.6 sind eine Anzahl von Testschaltungen zusammengestellt, die geeignet sind, die wichtigsten Aussagen über Genauigkeit und Betriebsverhalten elektronischer Analogrechner zu geben.

Die beim Analogrechner notwendigen Eich- und Abgleicharbeiten sind, im letzten Kapitel zusammengefaßt, hier ebenfalls enthalten, da sie zur Bedienung des Gerätes gerechnet werden müssen und auch oft vom Programmierer selbst übernommen werden. Die Wartungs- und Kontrollarbeiten, die in größeren Zeitabständen ausgeführt werden müssen und die Fehler- und Störmöglichkeiten und deren Ermittlung und Beseitigung sind dagegen hier nicht abgehandelt (dazu siehe "endim 2000 - Technische Ergänzungen und Störungsbeseitigung" in Verbindung mit dem Zeichnungssatz - endim 2000).

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Aufbau der Rechenanlage	6
2. Inbetriebnahme	12
2.1 'Vorheizen'	12
2.2 'Ein'	14
2.3 'Aus'	14
3. Steuerung	15
3.1 Steuerung der Betriebszustände	15
3.2 Wahl der Zeitkonstanten der Integratoren	16
3.3 Anwahl der Betriebszustände	17
3.4 Rechenzeiteinstellung am Funktionsempfänger endim 2100	18
3.5 Rechenzeiteinstellung, Schalt- und Steuermöglichkeiten an der elektronischen Uhr	18
3.5.1 Zeitvorwahl	18
3.5.2 Auswahl der Betriebsarten	18
3.5.3 Auswahl der Zeitabläufe	19
Tab.3.5 Schalt- und Steuermöglichkeiten der elektronischen Uhr	20
3.6 Anwahl der Testmöglichkeiten	22
3.6.1 Stabilitäts-Test	22
3.6.2 Einstellen bzw. Messen des Übertragungsfaktors der Summatoren (Statischer Test)	22
3.6.3 Einstellen bzw. Messen der Zeitkonstante der Integratoren (Dynamischer Test)	22
3.7 Übersteuerung	23
3.7.1 Übersteuerungsanzeige	23
3.7.2 Halt bei Übersteuerung	24
3.8 Anschluß eines zweiten Rechners	24
4. Auswertung	25
4.1 Auswertung mit dem Oszillografen (Funktionsempfänger endim 2100)	25
4.2 Meßauswertung	27
4.3 Auswertung mit Zusatzgeräten	28

5.	Programmierung	29
5.1	Programmiertafel	29
5.1.1	Wechsel der Programmiertafel	29
5.1.2	Stecken des Programmes	30
5.1.3	Aufteilung des Programmierfeldes	31
5.1.4	Farbcode der Programmiertafel	32
5.1.5	Schaltung der Rechenverstärker	35
5.1.6	Schaltung der Koeffizientenpotentiometer	37
5.1.7	Schaltung der allgemeinen Nichtlinearitäten	38
5.1.8	Schaltung der speziellen Nichtlinearitäten	38
5.1.9	Komparatoren	39
5.1.10	Anschluß der Auswertegeräte	40
5.1.11	Programmierbare Schalt- und Steuervorgänge, Referenz- und Steuerspannungen, Hilfsleitungen, freie Rechenimpedanzen . . .	40
5.2	Abgleich der Koeffizientenpotentiometer	43
5.3	Einstellung des Funktionsgenerators	44
5.4	Optimale Programmierung	54
5.5	Programmierbeispiele	60
5.6	Testschaltungen	69
6.	Wartung und Abgleich	82
6.1	Netzteile SpG+, SpG-, SpR 100	82
6.2	Operationsverstärker	83
6.3	Funktionsmultiplikator	84
6.4	Komparator	
6.5	Elektronische Uhr	

1. Aufbau der Rechenanlage

Zur Anlage gehört der Analogrechner endim 2000 und der Oszillograf endim 2100 mit Wagen. Digitalvoltmeter (mit Meßwertdrucker) und xy-Schreiber sind als Zusatzgeräte anschließbar. Die Kopplung zweier Anlagen ist möglich. Die nullpunktstabilisierten Röhrenverstärker arbeiten mit Rechenspannungen zwischen - 100 V und + 100 V.

Fast alle Einheiten des Rechners sind in leicht austauschbaren Einschüben untergebracht. Beim Austausch sind keine Eingriffe in das Innere der Anlage nötig. Im linken Teil befinden sich die aktiven Rechenelemente. Die Numerierung der Zentraleinschübe Z_i ($i = 1, 2, \dots, 16$), die jeweils 4 Verstärkerplätze enthalten ($4i-4, 4i-3, 4i-2, 4i-1$), erfolgt in Mäanderform von unten links beginnend (s. Abb. 1.1). Eine Nichtlinearität (Multiplikator oder Funktionserzeuger) erfordert 2 Plätze, wobei der linke Platz stets eine gerade Nummer haben muß. Für die Bestückung eines Zentraleinschubes sind deshalb die folgenden Kombinationen möglich:

1. 4 Verstärker
2. 2 Nichtlinearitäten
3. 2 Verstärker und eine Nichtlinearität .

Dabei ist zu beachten, daß Nichtlinearitäten nur in die Zentraleinschübe 9 bis 16 eingeschoben werden dürfen und daß die Plätze 32, 36, 40 und 44 für Multiplikatoren verboten sind. Die Multiplikatoren arbeiten nach der Viertelquadratmethode, wobei die Parabeläste mit Hilfe von je 10 Diodenstrecken approximiert werden. Die Eingangsgrößen müssen deshalb mit beiderlei Vorzeichen eingegeben werden, auch wenn bekannt ist, daß sie das Vorzeichen nicht wechseln.

Die Funktionsgeneratoren dienen zur angenäherten Darstellung einer vorgegebenen Funktion $y=f(x)$ einer beliebigen Variablen x . Die Funktion wird durch Geradenstrecken approximiert, die durch Überlagerung von 10 Diodenstrecken, einer konstanten und einer x -proportionalen Spannung erzeugt werden. Knickpunkte, Lage in den Quadranten und Anstiege sind durch Schalter bzw. Potentiometer einstellbar.

Für die Bestückung des Rechners gelten mit V = Verstärkeranzahl, M = Multiplikatorenanzahl und F = Funktionserzeugeranzahl die Beziehungen

$$\begin{aligned} V+2(M+F) &\leq 64 \\ F &\leq 16 \\ M &\leq 12 \\ F+M &\leq 16 \end{aligned}$$

32 der maximal 64 Verstärker können auf der Programmiertafel wahlweise als Integrator oder Summator gesteckt werden, die übrigen sind stets als Summatoren

Abb. 1.2 Abb. 1.3

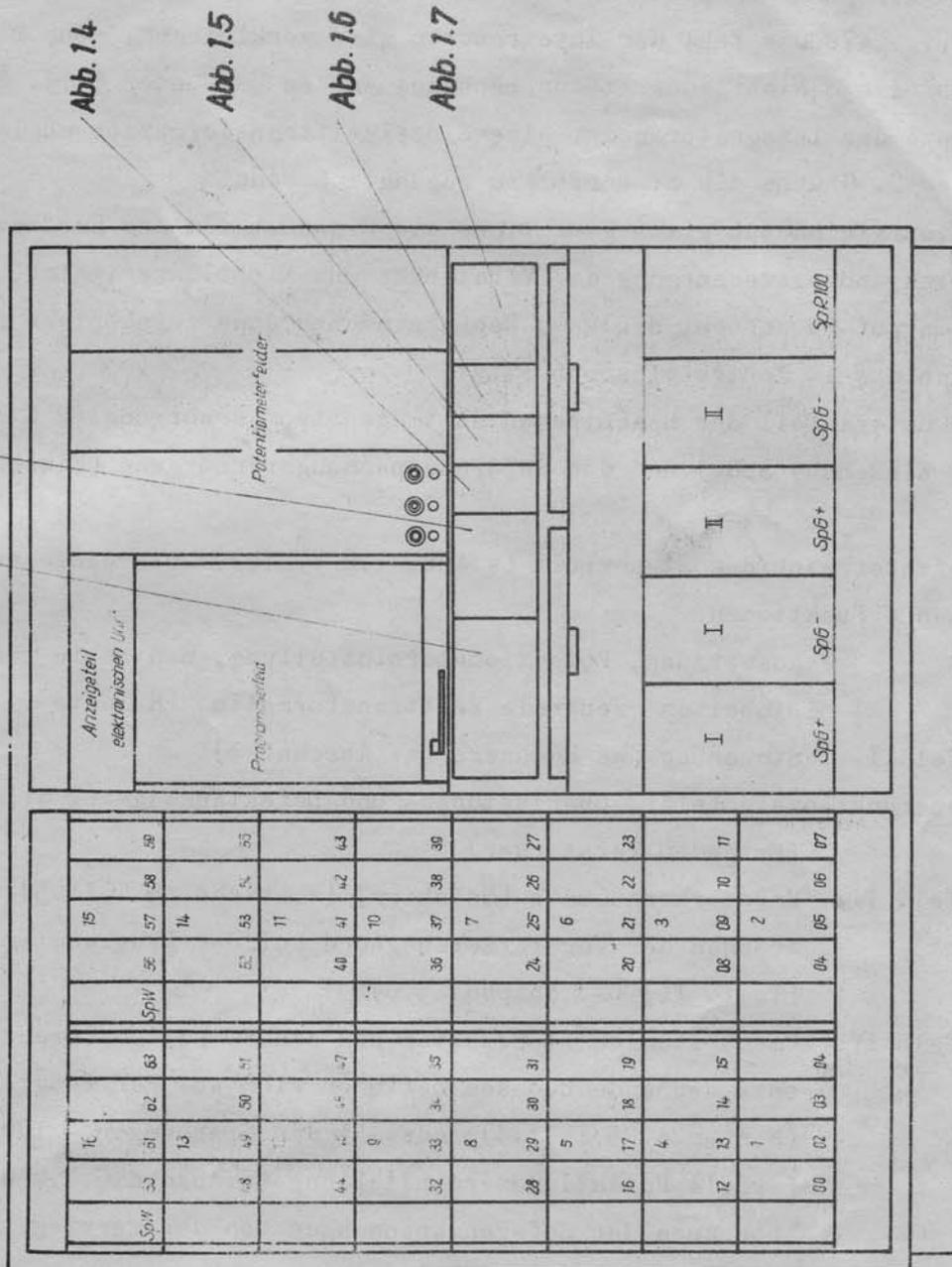


Abb. 1.1 endim 2000 Vorderansicht

geschaltet. Integratoren befinden sich auf den Plätzen $2i$ ($i=0, \dots, 15$) und den Plätzen $32, \dots, 47$. Die Zahl der Integratoren wird verkleinert, wenn bei einer Aufgabe mehr als 8 Nichtlinearitäten benötigt werden (s. unter 5.1). Bei der ersten Gruppe der Integratoren ist eine Einzelzeittransformation möglich, während bei der 2. Gruppe die Steuerrelais zugänglich sind.

In jedem Zentraleinschub sitzt ganz links ein Einschub mit der Kurzbezeichnung SpW zur Heizspannungsversorgung der Verstärker und Nichtlinearitäten. Es ist besonders darauf zu achten, daß kein Recheneinschub ohne zugehörigen funktionsfähigen SpW im Zentraleinschub sitzt!

Der rechte untere Teil der Maschine enthält die Stromversorgung (2 Einschübe SpG+ und 2 Einschübe SpG-) und die Referenzspannungsversorgung (Einschub SpR 100).

Darüber befindet sich das Steuerpult (s. Abb. 1.2 ... 1.7). Die einzelnen Felder haben folgende Funktionen:

1. Meßfeld : Auswertung, Potentiometereinstellung, Kontrolle von Recheneinheiten, zentrale Zeittransformation (K-Taste).
2. Steuerfeld I : Steuerung des Rechners (s. Abschn. 3)
3. Übersteuerungsanzeigefeld: Überlastungs- und Defektanzeige (1 Glimmlampe für jeden Verstärker)
4. Steuerfeld III: Verstärkerauswahl (Selektor) (s. Abschn. 5.1.11.3) und Abtrennen der Verstärkerausgänge auf der Programmiertafel (Taste TA) (s. Abschn. 3.6)
5. Steuerfeld IV: Umschaltungen (4 Schalter und ein 10-poliger Drehschalter, entsprechende Buchsen befinden sich auf der Programmiertafel) (s. Abschn. 5.1.11.4); Auswahl der Spannungen ± 100 V, ± 10 V für die Potentiometereinstellung (s. Abschn. 5.1.6 und 5.2) Abtrennen der Referenzspannungen von der verriegelten Programmiertafel (Taste TR)
6. Steuerfeld II : Ein- und Ausschaltvorgang.

Über dem Steuerpult sind das zentrale Programmierfeld mit auswechselbarer Programmiertafel, darüber das Uhranzeigefeld und rechts daneben 3 Potentiometerfelder mit je 30 Koeffizientenpotentiometern untergebracht. Die Numerierung der Potentiometer erfolgt wiederum in Mäanderform von unten links beginnend für jedes Feld und über die 3 Felder hinweg, wobei jeweils die obersten 3 Potentiometer von der Numerierung ausgeschlossen sind. Die oberen Potentiometer sind ertdfrei und werden mit den Buchstaben A, B, ..., I bezeichnet. Hinter dem Programmierfeld und den Potentiometerfeldern sind 2 von der Rückseite des Rechners zugängliche, ausschwenkbare Einschubträger eingebaut (s. Abb. 1.3). Der linke

Einschubträger enthält Niederspannungsnetzteile, Steuereinschübe, Diodeneinschübe, Komparatoreinschübe und den Referenzspannungseinschub SpR 10. Die Dioden werden zur Erzeugung spezieller Nichtlinearitäten (Tote Zone, Betrag, Hysterese usw.) benötigt. Bei den 6 Komparatoren (je 3 in einem Einschub) wird der einpolige Umschaltkontakt eines Relais in Abhängigkeit von der Polarität der Differenz zweier Eingangsspannungen gesteuert. Komparatoren werden zur Steuerung (Rechnen mit Halt, Rechnen mit periodischem Halt) und zur Funktionserzeugung (Signumfunktion, Impulsfunktionen u.a.) verwendet. Der rechte Einschubträger dient zur Aufnahme des Kompensationseinschubes, des Kapazitätseinschubes, des Uhreinschubes, des Netzteiles SpG12 für die Uhr, des Drehwählereinschubes, des Selektoreneinschubes und der Impedanzeinschübe. Die freien Kapazitäten können zum Aufbau spezieller Übertragungsfunktionen (PID-Glied, zweifache Integration u.a.) benutzt werden. Die Uhr dient zur Messung der unabhängigen Variablen, zur Steuerung und zur Zeitkonstantenmessung der Integratoren. In den Impedanzeinschüben sind die Rechenkondensatoren und die Steuerrelais untergebracht. Mit dem Drehwähler können bei repetierender Arbeitsweise Parametervariationen (verschiedene Anfangsbedingungen) oder Schaltungsänderungen (verschiedene Störfunktionen) für die einzelnen Rechentakte durchgeführt werden.

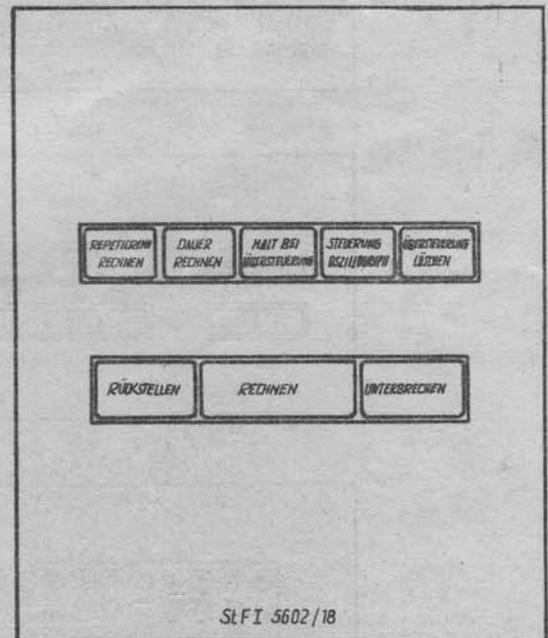
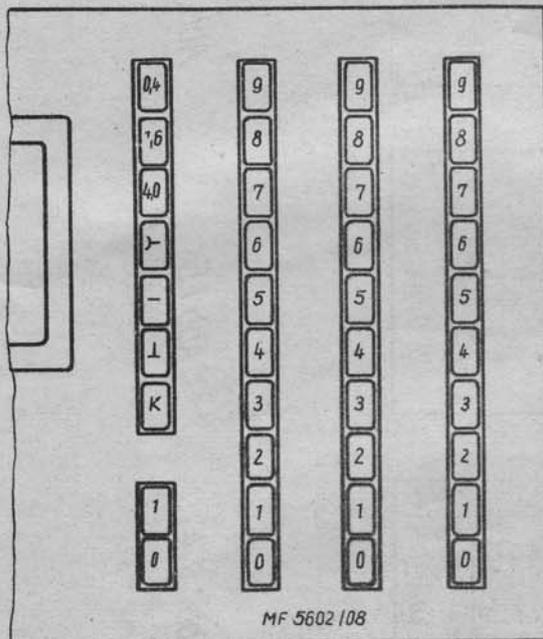


Abb. 1.2

Abb. 1.3

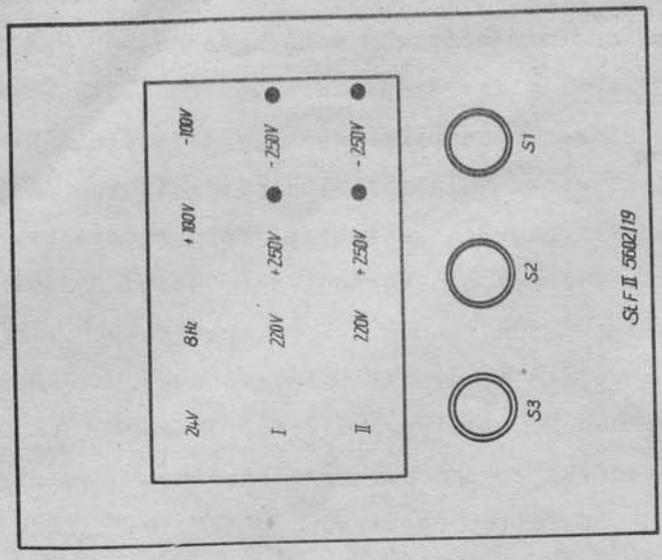


Abb. 1.7

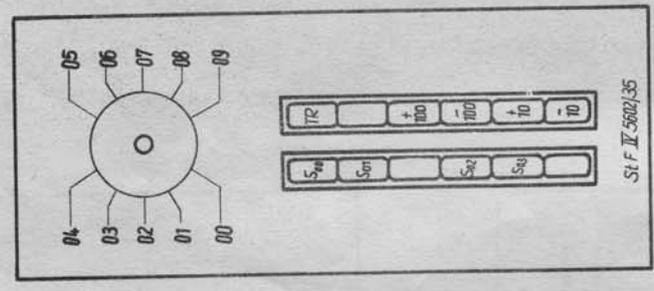


Abb. 1.6

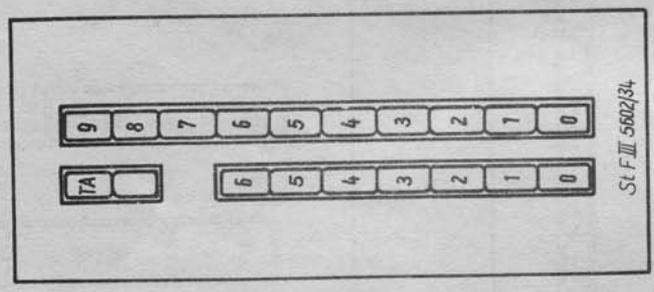


Abb. 1.5

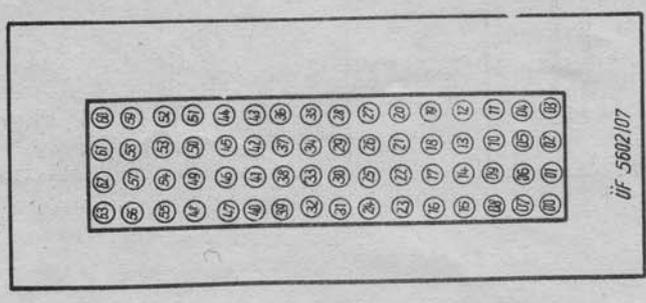


Abb. 1.4

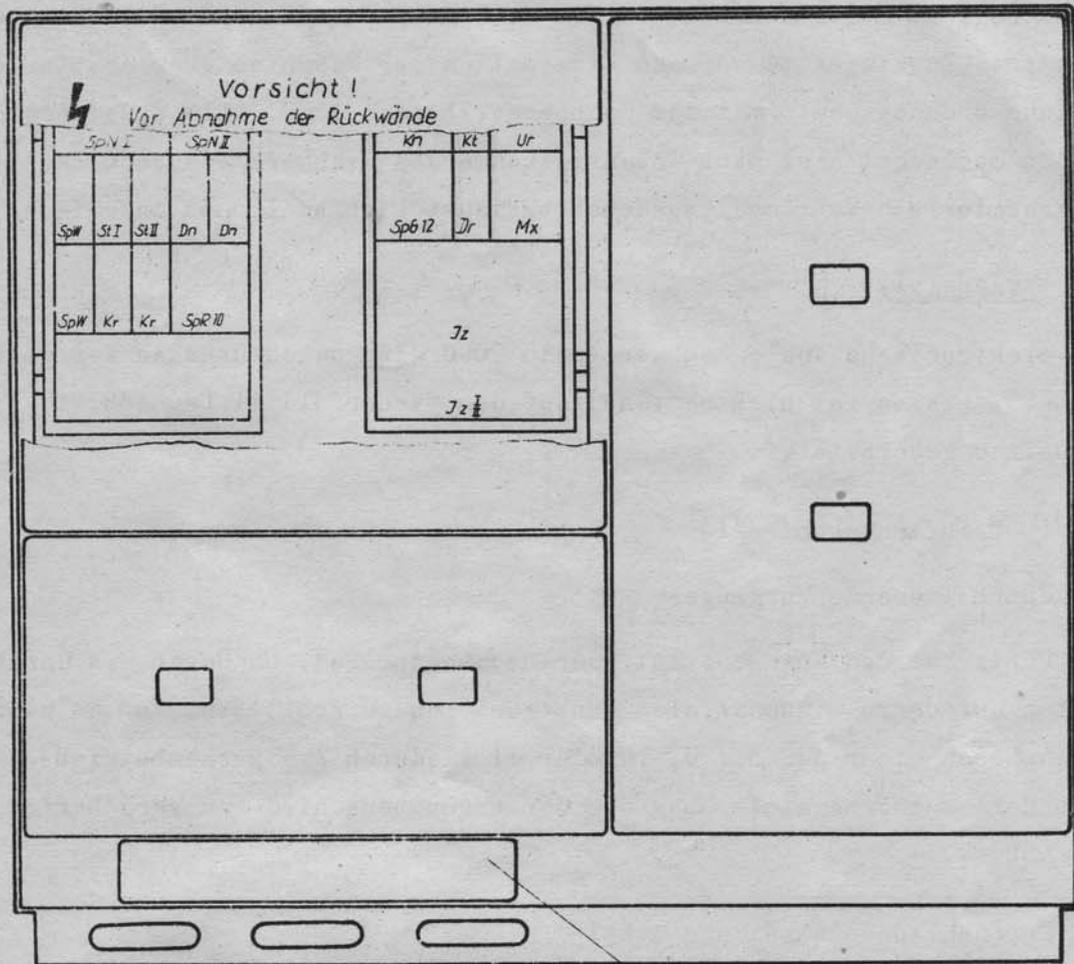


Abb. 2.1

Abb. 1.8 endim 2000 Rückansicht

2. Inbetriebnahme

Bevor der Rechner endim 2000 in Betrieb genommen werden kann, muß kontrolliert werden, ob alle lösbaren Elemente am Anschlußteil und am endim 2100 ordnungsgemäß Kontakt haben. Es ist darauf zu achten, daß alle vorgesehenen externen Zusatzgeräte vor dem Einschalten der Maschine über Adapter und Erdleitung ordnungsgemäß mit dem Rechner verbunden sind. Alle Zusatzaggregate werden möglichst erst nach Inbetriebnahme des Rechners eingeschaltet. Der Programmierfeld-Verriegelungshebel befindet sich am linken Anschlag.

2.1 'Vorheizen'

Der elektronische Analogrechner endim 2000 wird durch Drücken der gelben Taste S3 (Taste ist nicht leuchtend) auf dem Steuerfeld II (s. Abb. 1.7) auf Vorheizen geschaltet.

2.1.1 Belüftungskontrolle

Zu kontrollierende Vorgänge:

Die Lüfter werden zugeschaltet (Geräuschkontrolle). Um durch das Geräusch der Lüfter auf deren einwandfreies Funktionieren zu schließen, ist es zweckmäßig, durch Lösen einer der Si. 9, 10 oder 11 (dadurch Zweiphasenbetrieb) sich die erforderliche Erkenntnis über die Geräuschunterschiede zu verschaffen (s. Abb. 2.1).

2.1.2 Funktionsrückmeldung StF I

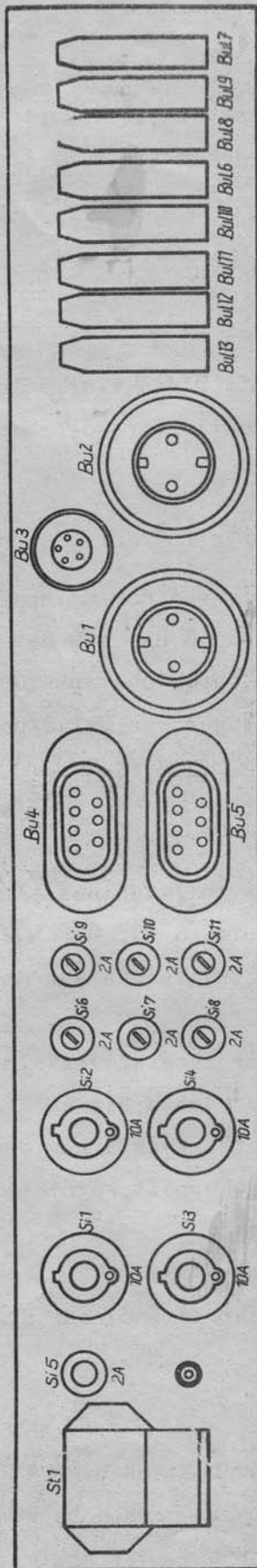
Auf dem Steuerfeld I (StF I, s. Abb. 1.3) wird die Taste 'Halt bei Übersteuerung' gedrückt. Es leuchten die Tasten 'Halt bei Übersteuerung' und 'Rückstellen'.

2.1.3 Funktionsrückmeldung SpW, SpG+, SpG-, SpR 100

Auf den Einschüben SpG+, SpG-, SpR 100 leuchtet die rechte Glühlampe, auf den Einschüben SpW beide.

2.1.4 Funktionsrückmeldung StF II

Auf dem Steuerfeld II leuchten die Felder 'I' '220' und 'II' '220' auf. Nach Ablauf von ca. 30 sec., vom Zeitpunkt des Einschaltens an gerechnet, leuchtet auf dem Steuerfeld II das Feld '24 V' auf. Das Aufleuchten des Feldes '24V' ist gleichzeitig das Signal zum endgültigen Einschalten der Maschine.



- Bul 6 endlim 2100
- Bul 7 Digitalvoltmeter, Mehrkanalschnellschreiber
- Bul 8 } Nebenschrank
- Bul 9 }
- Bul 10-13 ist nicht beschaltet
- Bu 3 xy-Schreiber
- Bu 1 } xy-Schreiber
- Bu 2 }
- Bu 4 endlim 2100
- Bu 4 Spk sin 750/220
- Bu 5 Spk sin 750/220
- St 1 Netzstecker

Abb. 2.1 Anschlussplatte des Rechners

2.2 ' Ein '

Nachdem das Signal (Feld '24 V' auf dem Steuerfeld II leuchtet) zum Weiter-schalten automatisch gegeben wurde, kann die grüne Taste S2 (Taste nicht-trastend) des Steuerfeldes II gedrückt werden.

2.2.1 Funktionsrückmeldung StF II -Schutzschaltung

Zu kontrollierende Vorgänge:

Auf dem Steuerfeld II leuchten vier Punkte auf. Diese vier beleuchteten Punkte stellen die Rückmeldung der einwandfrei funktionierenden Schutzschaltung in den Netzteilen SpG+ und SpG- dar.

2.2.2 Funktionsrückmeldung StF II und Netzteile

Nach ca. 1 Minute werden die Felder, unabhängig von der Reihenfolge, ' + 250V ' (2x), '- 250 V' (2x), ' + 100 V', '- 100 V' und '8 Hz' auf dem Steuerfeld II zur Anzeige gebracht. Auf den Einschüben SpG+, SpG- und SpR 100 leuchten alle Glimmlampen und die Instrumente zeigen eine geringe Belastung, beziehungsweise den Spannungswert an.

2.2.3 Zuschalten der Netzteilbelastung

Nach Ablauf von ca. 30 sec., vom Zeitpunkt des Aufleuchtens aller 'Spannungsfelder' an gerechnet, schaltet hörbar ein Schütz (S 4). Durch diesen Schütz werden die Betriebsspannungen ± 250 V an die SpW, Verstärker und Nichtlinearitäten geschaltet.

Nachdem der Schütz S 4 geschaltet hat, kann der Programmierfeld-Verriegelungshebel nach Einsatz einer Programmiertafel nach rechts bis zum Anschlag geschwenkt werden. (Dabei müssen alle umschaltbaren Verstärker durch entsprechende Steckung auf der Programmiertafel rückgekoppelt sein! (s. Abschn. 5.1.2)).

2.3 ' Aus '

Durch Betätigen der roten Taste (Taste ist nicht-trastend) auf dem Steuerfeld II wird die Maschine abgeschaltet.

Achtung !

Das thermische Gleichgewicht wird im Rechner frühestens nach 45 min., vom Zeitpunkt des Einschaltens an gerechnet, erreicht. Die Einschübe sind also in diesem Zeitraum noch nicht voll einsatzbereit (Drift!). Der Abgleich darf erst nach Ablauf der angegebenen Zeitspanne erfolgen.

3. Steuerung

3.1 Steuerung der Betriebszustände

Die Betriebszustände der Integratoren werden durch die Steuerrelais R und S bestimmt. Die Integratoren werden auf die Anfangswerte aufgeladen, wenn beide Relais erregt sind. Integriert wird, sobald kein Relais erregt ist und die Spannung wird gespeichert, wenn nur das S-Relais erregt ist.

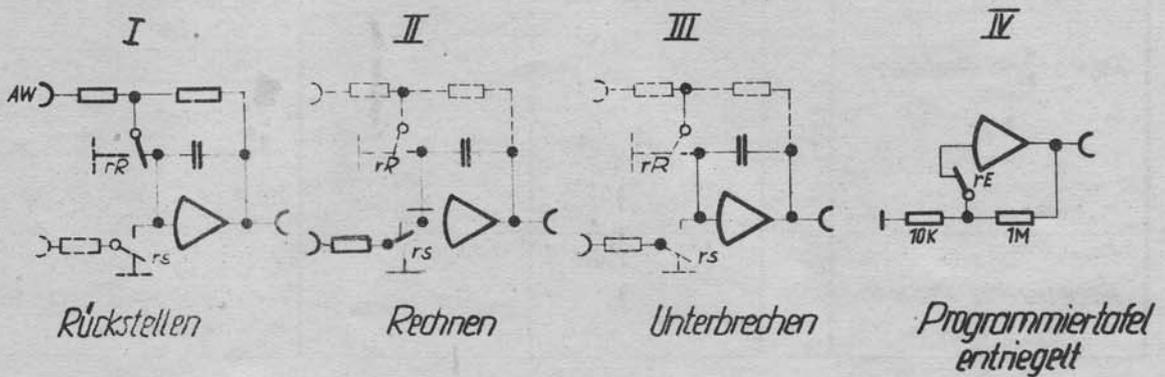


Abb. 3.1.1

Es gelten die folgenden Zuordnungen:

	Relais		
	BS	RR	
Rückstellen (Anfangswertaufschaltung)	x	x	x: Relais erregt Tabelle 3.1
Rechnen (Integration)			
Unterbrechen (Speichern)	x		

Siehe hierzu auch Abb. 5.1.5 !

Bei den Integratoren 32,33,...,47 sind die Wicklungen der Steuerrelais zugänglich. Sie können deshalb für spezielle Zwecke verwendet werden. Beim Entriegeln der Programmiertafel (Hebel von rechts nach links) werden die Integratoren automatisch zu Summatoren mit dem Übertragungsfaktor 100. Übergänge zwischen den einzelnen Betriebszuständen können durch die Tasten 'Rückstellen', 'Rechnen', 'Unterbrechen' des StF I (s. Abschn. 3.2), durch Programmierung (Buchsen Rü, Re, Un) (s. Abschn. 5.1), durch Ent- oder Verriegeln der Programmiertafel, durch die Taste 'Halt bei Übersteuerung' (s. Abschn. 3.2) und durch repetierendes Rechnen bewirkt werden.

Kurzschlußstecker	programmiert		gezogen
	auf 1	auf 0,1	
ohne K-Taste	1 μ F	0,1 μ F	1 μ F
mit K-Taste	0,1 μ F	0,1 μ F	1 μ F

Die zentrale Umschaltung ist demnach nur wirksam, wenn der Kurzschlußstecker auf 1 programmiert ist.

3.3 Anwahl der Betriebszustände

Die Steuerung der Anlage wird manuell über das Steuerfeld I und halbautomatisch (s. Abschn. 5.1.11.5; Programmierbare Steuerung der Betriebszustände und Abschn. 5.1.5.3; Verstärker 32,33,...,46,47) über die Programmiertafel durchgeführt. Bei repetierender Arbeitsweise steuert der Oszillograf bzw. die elektronische Uhr den ständigen Wechsel zwischen Rückstell- und Rechen-takt während des Rechenvorganges.

Die obere Tastenreihe des Steuerfeldes I enthält die folgenden rastenden Leuchttasten:

1	2	3	4	5
Repetierend Rechnen	Dauer-rechnen	Halt bei Übersteuerung	Steuerung Oszillograf	Übersteuerung löschen

Die unteren nichtrastenden Leuchttasten kennzeichnen den Betriebszustand der Integratoren:

Rückstellen	Rechnen	Unterbrechen
-------------	---------	--------------

Die folgenden Kombinationen der oberen Tastenreihe sind sinnvoll:

	Tasten	leuchtende Taste außer den gedrückten Tasten
Tab. 3.3	1.) 2	'Rückstellen'
	2.) 2,3	
	3.) 1,4	
	4.) 1,4,3	
	5.) 1	'Rückstellen' nur bei Maschinen mit Uhr
	6.) 1,3	
	7.) 5	'Dauerrechnen'
	8.) keine	

Das Leuchten der Taste 'Rückstellen' ist das Kennzeichen dafür, daß der Rechen-
vorgang ausgelöst werden kann, wenn eine Programmiertafel eingesetzt und ord-
nungsgemäß verriegelt ist.

3.4 Rechenzeiteinstellung am Funktionsempfänger endim 2100

Bei Fall 3 und 4 von Tab. 3.3 kann die Rechenzeit am Funktionsempfänger ge-
wählt werden, während die Rückstellzeit einen festen Wert hat. Die Rechen-
zeit wird am Funktionsempfänger mit Tasten (s. Abb. 4.1 Nr. 5) grob und mit
einem Regler (s. Abb. 4.1 Nr. 6) fein eingestellt. Die auf den Tasten eingra-
vierten Zahlen entsprechen den Rechenzeiten in Sekunden, wenn der Regler
auf der Markierung 1 steht (Genauigkeit $\pm 10\%$).

Durch Aufdrehen des Reglers kann die jeweilige Rechenzeit maximal um den
Faktor 5,3 vergrößert werden, so daß ein Bereich von 1 ... 500s lückenlos
überstrichen werden kann. Der Zusammenhang zwischen der eingestellten Markie-
rung 1 und dem Vergrößerungsfaktor ist nichtlinear. Es gilt

Markierung:	1	2	3	4	5	6	7	7,5	8	8,5	9	10
Vergröße- rungs- faktor :	1	1	1,15	1,35	1,5	1,8	2,2	2,4	2,85	3,6	5,0	5,3

3.5 Rechenzeiteinstellung, Schalt- und Steuermöglichkeiten an der elektronischen Uhr

3.5.1 Zeitvorwahl

Am Anzeigeteil der elektronischen Uhr lassen sich Zeiten in Schritten von 0,1s
über zwei getrennte Schalterreihen zu je 4 Schaltern vorwählen. Die kleinste
vorwählbare Zeit ist somit $t = 0,1s$; die maximale $t = 1000s$. Für Zeiten $< 100s$
ist zur Auslösung einer Schaltfolge nach der vorgewählten Zeit der Vorwahl-
schalter der nächsthöheren Dekade in die Stellung 'R' zu bringen. Die Zeit-
vorwahl kann auf beiden Schalterreihen erfolgen.

3.5.2 Auswahl der Betriebsarten

Mittels der Druckdrehtaste auf dem Anzeigeteil wird zwischen 'Dauerrechnen' und
'Repetierend Rechnen' entschieden; gleichzeitig ist die entsprechende Taste
auf dem Steuerfeld StF I zu drücken.

Im Fall 1. und 2. von Tabelle 3.5 wird der Rechner nach Ablauf der Zeit t_1
bzw. t_2 automatisch auf 'Unterbrechen' geschaltet; er kann dann erst, nachdem
die Tasten 'Rückstellen' auf dem StF I und 'Null' am Anzeigeteil gedrückt
worden sind, durch Betätigen der Taste 'Rechnen' wieder in Betrieb gesetzt
werden.

In Stellung 'Repetierend Rechnen' läuft die vorgewählte Zeit fortwährend ab, dazwischen liegt jeweils eine 2 bis 3 sec. währende Rückstellzeit.

3.5.3 Auswahl der Zeitabläufe

Nach erfolgter Auswahl der Betriebsart und Einstellung der gewünschten Rechenzeit wird die Taste 'Null' am Anzeigeteil kurzzeitig betätigt. Damit gelangen alle Dekaden für die Zeitanzeige in die Stellung '0' sowie sämtliche, für Schaltzwecke vorhandene Relaiskontakte in ihre Ausgangslage. Eine Übersicht über die auswählbaren Schalt- und Steuermöglichkeiten gibt Tabelle 3.5 .

Tab. 3.5 : Schalt- und Steuermöglichkeiten der elektronischen Uhr

Betriebsart	Lfd. Nr.	am Anzeigeteil gedrückte Tasten	zeitlicher Ablauf	Stellung der Relaiskontakte
Dauer-rechnen	1.		Zeit t_1 läuft ab - Rechner schaltet auf Unterbrechen	
	2.	$t_1 + t_2$	Zeit t_1 läuft ab - Zeitanzeige springt auf Null - Zeit t_2 läuft ab - Rechner schaltet auf Unterbrechen	<i>Hand</i> U ₀₂ schließt) U ₀₃ öffnet) <i>schließt</i> nach Ablauf von t_1
	3.	$t_1 + t_{\infty}$	Zeit t_1 läuft ab - Schalten eines Relais - Zeitanzeige und Zustand Rechnen läuft weiter bis von außen her (d.h. per Hand oder durch das Programm) Umschaltung in anderen Zustand erfolgt ('Unterbrechen' oder 'Rückstellen' oder 'Programmierfeld entriegelt')	U ₀₀ öffnet) U ₀₁ schließt) nach Ablauf von t_1
	4.	$t_1 + t_2/t_1 + t_{\infty}$	Zeit t_1 läuft ab - Zeitanzeige springt auf Null - Zeit t_2 läuft ab - Zeitanzeige und Zustand Rechnen läuft weiter bis Umschaltung von außen her wie unter 3.	U ₀₀ öffnet) U ₀₁ schließt) <i>Hand</i> U ₀₂ schließt) U ₀₃ öffnet) <i>schließt</i> nach Ablauf von $t_1 + t_2$ nach Ablauf von t_1

Tab. 3.5 : (Fortsetzung)

Betriebsart	Lfd. Nr.	am Anzeigeteil gedrückte Tasten	zeitlicher Ablauf	Stellung der Relaiskontakte
Repetierend Rechnen	5.		<p>Zeit t_1 läuft ab - Rechner schaltet auf Rückstellen - 2...3 sec Rückstellzeit - Rechner schaltet auf Rechnen - Zeit t_1 läuft ab - setzt sich in dieser Weise periodisch fort bis Umschaltung von außen wie unter 3.</p>	
Dauerrechnen	6.	$t_1 + t_2$	<p>Zeit t_1 läuft ab - Zeitanzeige springt auf Null - repetierend mit Zeit t_2 weiter wie in 5.</p>	<p><i>offen</i> U₀₂ schließt) einmalig nach U₀₃ öffnet) Ablauf von t_1 <i>schließt</i></p>
Dauerrechnen	7.	T	<p>Z e i t k o n s t a n t e n m e s s u n g der Integratoren Vorwahlschalter d. 1. Reihe auf '0' " " beliebig (s.hierzu unter Abschn. 3.6) $0 \leq UK \leq -100 V$ beachten!</p>	
Dauerrechnen oder Repetierend Rechnen	8.	10 s 1 s 0,1 s	<p>Z e i t m a r k e n (Bei sämtlichen Tastenkombinationen außer T, d.h. für 1.bis 6., bewirkt eine gedrückte Zeitmarkentaste nebenstehende Betätigung des Zeitmarkenrelais)</p>	<p>Zeitmarkenrelais einige ms erregt nach jeweils 10 s, bzw. 1 s, bzw. 0,1 s</p>

t_1 = Stellung der 1. Schalterreihe
 t_2 = Stellung der 2. Schalterreihe

U₀₀ bis U₀₃ : s. Abschn. 5.1.11.6
 : s. Abschn. 5.1.10

3.6 Anwahl der Testmöglichkeiten

3.6.1 Stabilitäts-Test

Das Drücken der Taste 'TR' auf dem STF IV bewirkt das Abschalten der Referenzspannung ± 100 V von der Programmiertafel. Der Rechenvorgang kann aber weiterhin ausgelöst werden. Dadurch ist es möglich, einen Test durchzuführen, mit dem die Stabilität von Schaltungen leicht geprüft werden kann. Bei Schaltungen ohne Funktionsgeneratoren dürfen beim Rechnen nur Fehlergrößen auftreten. (So bewirkt z.B. die Schaltung zur Erzeugung von $y(t) = e^t$ trotz $y(0) = 0$ nach kurzer Zeit Übersteuerung).

3.6.2 Einstellen bzw. Messen des Übertragungsfaktors der Summatoren (Statischer Test)

Weiterhin ergibt sich durch die Taste 'TR' die Möglichkeit, den Übertragungsfaktor der Summatoren im gesteckten Programm bezüglich eines bestimmten Einganges einschließlich des vorgeschalteten Potentiometers genau, insbesondere unter Berücksichtigung des Fehlers des Bewertungsfaktors (d.h. des Verhältnisses von Rückkoppelwiderstand zu dem betreffenden Eingangswiderstand) einzustellen. Durch Drücken des zu dem Potentiometer gehörigen Potentiometerschalters (s. Abschn. 5.1.6) liegt ausschließlich an diesem Eingang eine Referenzspannung an. Mit Hilfe der Matrix wird der Ausgang des betreffenden Verstärkers auf das Meßinstrument geschaltet und darauf der richtige Übertragungsfaktor am Potentiometer eingestellt.

3.6.3 Einstellen bzw. Messen der Zeitkonstanten der Integratoren (Dynamischer Test)

Das Einstellen der Zeitkonstante der Integratoren erfordert zusätzlich die Abtrennung der Integratorausgänge von der Schaltung und eine Zeitmeßeinrichtung in Verbindung mit einem Komparator. Die Abtrennung der Ausgänge sämtlicher Verstärkerplätze wird bewirkt durch die Taste 'TA' auf dem StF III. Die Zeitmeßeinrichtung einschließlich des zugehörigen Komparators ist durch die elektronische Uhr gegeben. Dazu sind die Zeitvorwahlschalter der oberen Schalterreihe für t_1 des Anzeigeteiles in die Stellung '0' zu bringen; (Stellung der unteren Schalterreihe für t_2 beliebig); die Druckdrehtaste auf 'Dauerrechnen'. In der angegebenen Reihenfolge sind weiterhin folgende Tasten zu betätigen: StF I : 'Dauerrechnen' ('Rückstellen' leuchtet); Anzeigeteil: 'T', 'NULL'. Zum Messen oder Einstellen der Zeitkonstante von Integratoren, einschließlich des evtl. vorgeschalteten Potentiometers, führt man eine Integration über eine Referenzspannung aus, und zwar so, daß die an den Komparatoreingang der elektronischen Uhr (Buchse UK auf Programmierfeld) gelegte Ausgangsspannung des betreffenden

Integrators von 0 nach -100 V läuft. Man integriert also eine positive Referenzspannung (+ 10 V, + 100 V). Es ist zu beachten, daß auf die Buchse UK keine Spannung außerhalb des Bereiches 0... -100 V gelangen darf! Beim Druck auf die Taste 'Rechnen' des StF I beginnt die Integration und gleichzeitig beginnt die Uhr zu zählen. Erreicht die an UK gelegte Integratorausgangsspannung den Schwellwert des Komparators - 100 V, dann stoppt die Uhr und der Rechner geht in den Zustand 'Unterbrechen'. An der Zeitanzeige ist die Zeitkonstante direkt in Sekunden abzulesen, wenn über + 10⁰ V integriert wurde; bei Integration über die Referenzspannung + 10 V ist die abgelesene Zeit durch 10 zu teilen.

Zu beachten ist, daß bei jeder Zeitkonstantenmessung von der angezeigten Zeit ein fester Betrag abgezogen werden muß, der sich aus dem verzögerten Stoppen der Uhr infolge der Relaischaltzeiten ergibt. Dieser Betrag kann aus dem Unterschied zwischen eingestellter und angezeigter Zeit bei einer Zeitmessung, wie z.B. unter lfd. Nr. 1 der Tab. 3.5, ermittelt werden (im allgemeinen ca. 30 ms).

Eine Eichung des zur elektronischen Uhr gehörigen Komparators (s. Wartungsvorschrift Abschn. 6.5) macht sich vor Zeitkonstantenmessungen und bei einer Nachstellung der Referenzspannung ± 100 V nötig.

3.7 Übersteuerung

3.7.1 Übersteuerungsanzeige

Im Übersteuerungsanzeigefeld ist jedem Verstärkerplatz eine Glühlampe zugeordnet. Sie ist an den Ausgang des Hilfsverstärkers angeschlossen und meldet durch Aufleuchten das Auftreten einer unnormal großen Fehlerspannung am Summationspunkt des jeweiligen Verstärkers. Durch eine derartige Anzeige wird nicht das Überschreiten der Maschineneinheit am Ausgang der Rechenverstärker erfaßt, sondern prinzipiell deren ungenügendes Arbeiten infolge Überlastung (die durch zu große Belastung schon bei weniger als 100 V oder durch entsprechend kleine Belastung auch bei größerer als 100 V Ausgangsspannung erfolgen kann) oder infolge des Ausfalles des Hauptverstärkers. Die Übersteuerung wird außerdem zentral durch Aufleuchten der Taste 'Übersteuerung löschen' angezeigt. Die Übersteuerung kann durch kurzzeitiges Drücken der Taste 'Übersteuerung löschen' beseitigt werden, dabei werden die Hilfsverstärkerausgänge zentral geerdet. Danach müssen die vorher gedrückt gewesenen Tasten der oberen Reihe von StF I wieder betätigt werden, falls sie nicht während der Betätigung der Taste 'Übersteuerung löschen' in ihrer Arbeitsstellung festgehalten wurden. Nach Beheben der Übersteuerung muß die Lampe der Taste 'Übersteuerung löschen' durch kurzzeitiges Drücken der Taste 'Unterbrechen' gesondert gelöscht werden.

Die Verstärker im SpR 10 und SpR 100 werden nicht durch die oben beschriebene

Übersteuerungsanzeige und die Betätigung der Taste 'Übersteuerung löschen' erfaßt; die Funktion 'Übersteuerung löschen' wird für diese Verstärker durch gleichzeitiges Drücken der Tasten 'Repetierend Rechnen' und 'Dauerrechnen' bewirkt.

3.7.2 'Halt bei Übersteuerung'

Wenn die Taste 'Halt bei Übersteuerung' gemeinsam mit der Taste 'Repetierend Rechnen' oder 'Dauerrechnen' gedrückt ist (Fall 2., 4. und 6. von Tab. 3.3), wird der Rechenvorgang unterbrochen, sobald eine Übersteuerung auftritt. Dadurch kann die Ursache der Übersteuerung leichter ermittelt werden.

Eine Vorrangschaltung der jeweils linken der drei Tasten 'Rückstellen', 'Rechnen', 'Unterbrechen' erlaubt es, die Rechnung zwangsweise für die Zeit der Betätigung der Taste 'Rechnen' fortzusetzen.

3.8 Anschluß eines zweiten Rechners

Reicht die Kapazität eines Rechners nicht aus, so besteht eine leichte Kopplungsmöglichkeit mit einer zweiten Anlage. Hierzu sind beide Maschinen über ein Adapterkabel (Anschluß an Rechnerrückseite, BuL 8 und 9; s. Abb. 2.1) zu verbinden. Die Rechenschaltungen können über 29 Meßleitungen miteinander verkoppelt werden. Die Steuerung kann jede der beiden Maschinen übernehmen. Sobald keine der ersten vier Tasten der oberen Reihe von Steuerfeld StF I gedrückt ist, wird die betreffende Maschine von der zweiten gesteuert. Die Referenzspannungen werden in diesem Fall ebenfalls von der Leitmaschine übernommen.

4. Auswertung

4.1 Auswertung mit dem Oszillografen (Funktionsempfänger endim 2100)

Der Oszillograf erlaubt die Darstellung von 2 Funktionen

$$y_{Ii}(t) \text{ und } y_{IIk}(t) \quad (i,k = 1,2,\dots,5)$$

(interne x-Auslenkung) oder die Darstellung von 2 Funktionen

$$y_{Ii}(x_1) \text{ und } y_{IIk}(x_1) \quad (i,k = 1,2,\dots,5; \quad l = 1,\dots,4)$$

(externe x-Auslenkung). Die Funktionen werden durch Tasten (7 und 8 in Abb.4.1) gewählt. Die Spannungen y_{Ii} , y_{IIk} und x_1 ($i,k = 1,2,\dots,4$) ($l = 1,2,3$) werden auf der Programmiertafel programmiert, während die Spannungen y_{I5} , y_{II5} und x_4 direkt auf den Oszillografen gegeben werden müssen (9,...,12 in Abb. 4.1). x_4 ist wirksam, wenn keine Taste für die x-Auslenkung gedrückt ist. Wenn 2 Funktionen dargestellt werden sollen (y_{Ii} und y_{IIk}) schaltet ein Relais (50 Hz) abwechselnd y_{Ii} und y_{IIk} auf den y-Verstärker. Wird nur eine der Tasten y_{Ii} gedrückt, so arbeitet das Relais nicht, und y_{Ii} gelangt auf den y-Verstärker. Mit der linken Taste 'A' (14 in Abb. 4.1) wird die interne Zeitbasisspannung auf den x-Verstärker geschaltet und die Eingänge für die externe x-Auslenkung vom Eingangsspannungsteiler abgetrennt. Die rechte Taste 'A' ist im Zusammenhang mit dem endim 2000 ohne Bedeutung.

Im Rechentakt können Zeitmarken durch Dunkelsteuerung geschrieben werden. Die Abstände der Marken sind durch Tasten (0,1 s, 1 s und 10 s) wählbar. Ein Schalter an der Seitenfront bewirkt die Halbierung der Abstände. Im oberen Teil des Oszillografen befinden sich Regler für Helligkeit, Schärfe, Verschiebung (x und y-Richtung) und Verstärkung (x und y-Richtung). (In der aufgezählten Reihenfolge ist das 1,2,15,16,4,3 in Abb. 4.1). Zur Schonung des Oszillografenschirmes soll der Helligkeitsregler bei Nichtbenutzung des Oszillografen möglichst zuge dreht werden.

Die Auslenkverstärker können mit Hilfe der Eichspannung ± 100 V (vom Rechner) geeicht werden. Während des Eichens sind die übrigen Eingangsgrößen abgetrennt. Beim Eichen für interne x-Auslenkung sind folgende Schritte nötig:

1. Beide Verstärkungsregler auf Null stellen.
2. Strahl mit den Verschiebungsreglern auf die rechte Begrenzung der Nulllinie des Rasters bringen.
3. y-Verstärkung wählen (1,2,10) und gemeinsam mit 'E+' drücken, den Strahl mit dem y-Verstärkungsregler in die obere rechte Ecke des Rasters regeln.
4. Beim Drücken von 'E-' muß der Strahl in die untere rechte Ecke springen.
5. Den x-Verstärkungsregler so einstellen (ungefähr auf Markierung 5), daß der Strahl bei repetierender Arbeitsweise genau das Raster durchläuft.

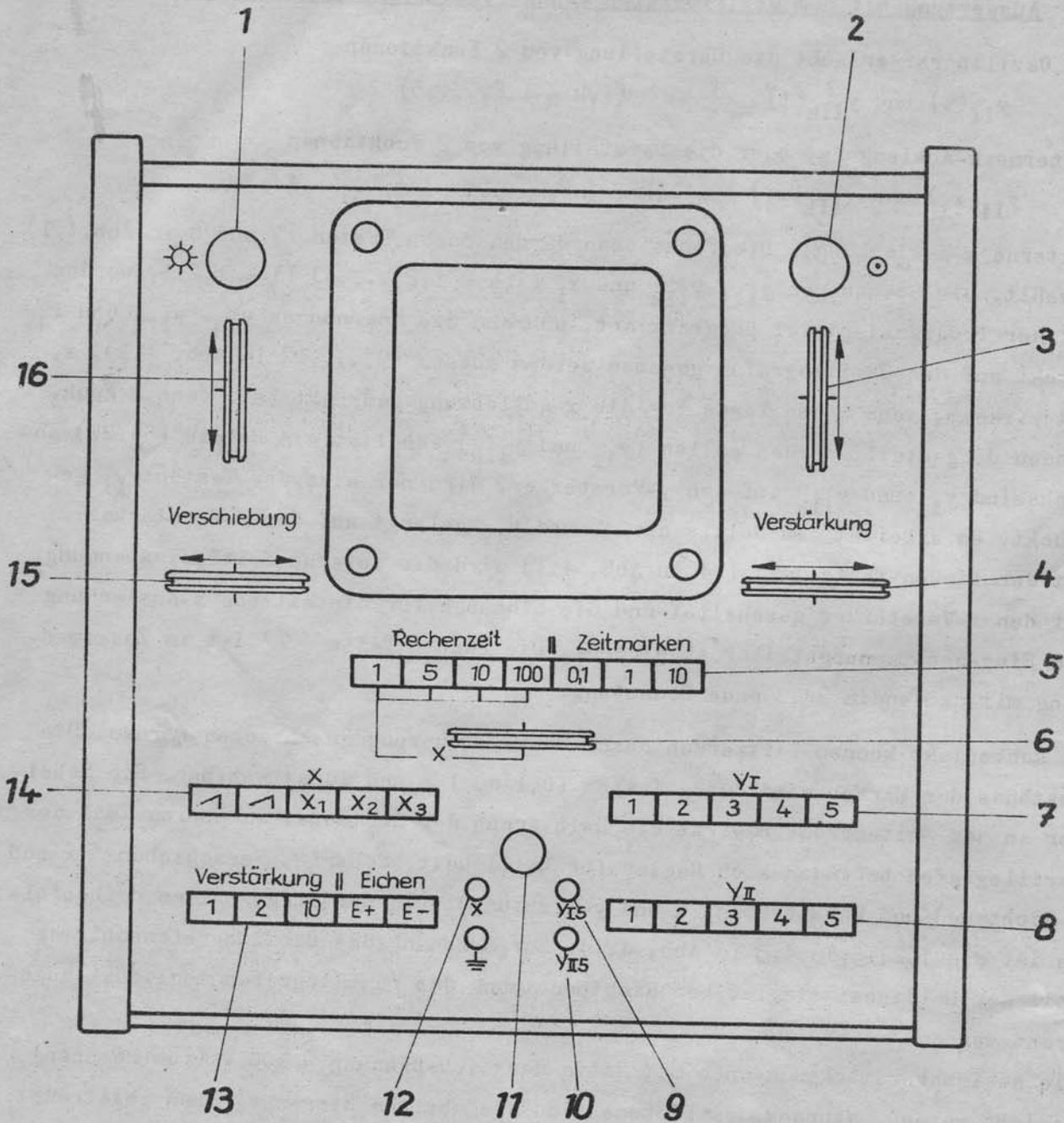


Abb. 4.1

Bei Beenden des Rechenvorganges (Rückstellen) muß der Strahl in seine Ausgangslage, die rechte Begrenzung der Nulllinie, zurückspringen, und bei Unterbrechung des Rechenvorganges muß der Strahl stehenbleiben. Die Rechnung beginnt mit einer Rückstellzeit, der Strahl läuft zum linken Rand. Bei Dauerrechnen muß zusätzlich eine x-Verschiebung durchgeführt werden. Der Rücklauf ist verkürzt.

Beim Betrieb mit externer x-Auslenkung muß die Taste '↖' gelöst sein. Dadurch ist die interne Zeitablenkung vom x-Verstärker abgeschaltet; außerdem wird jetzt der Eingangsspannungsteiler und die Eichspannung über den Tastensatz "Verstärkung/Eichen" (13 in Abb. 4.1) sowohl für den y- als auch für den x-Verstärker geschaltet, so daß beide Ablenkrichtungen gleichzeitig geeicht werden können. Beim Eichen für externe x-Auslenkung sind folgende Schritte nötig:

1. Verstärkungsregler auf Null stellen.
2. Strahl mit den Verschiebungsreglern auf die Rastermitte einstellen.
3. Verstärkung (1,2,10) wählen und mit 'E+' drücken, den Strahl mit den Verstärkungsreglern in die obere linke Ecke des Rasters bringen.
4. Beim Drücken von 'E-' muß der Strahl in die rechte untere Ecke springen.

4.2 Meßauswertung

4.2.1 Direkte Messung

Man verbinde den betreffenden Verstärker-Ausgang mit der Buchse 'MI' [44;00] des Programmierfeldes. Nach Drücken der Tasten '↗' und '⊥' auf dem Meßfeld MF (s. Abb. 1.2) kann man die Ausgangsspannungen des Verstärkers am eingebauten Meßinstrument des Meßfeldes auf etwa $\pm 10\%$ genau ablesen. Für Spannungen über 100 V wird die Anzeige begrenzt. Bei kleinen Spannungen kann der Meßbereich durch die nichttrastenden Tasten '4,0', '1,6' und '0,4' (s. Abb. 1.2), deren Aufschrift den jeweiligen Meßbereichsendwert in Volt angibt, stufenweise erweitert werden. (Man beachte bei älteren Ausführungen andere Meßbereiche!) Die Erweiterung darf nur unter größter Vorsicht erfolgen und nach Abschätzung, daß eine Meßbereichserweiterung zulässig ist. Im Meßbereich '4 V' ist die Begrenzung nur noch schwach wirksam, im Meßbereich 0,4 V gar nicht.

4.2.2 Meßauswertung nach dem Kompensationsverfahren

Man verfähre ähnlich 4.2.1, drücke jedoch nur die Taste '↗'. Anschließend kompensiere man die Spannung durch systematischen Abgleich mit der Zehner-tastatur, bis das Meßinstrument 0 V anzeigt. Eine Erweiterung des Meßbereiches ist nicht erforderlich, da das Meßinstrument auf einen empfindlicheren Meßbereich unter Einschaltung eines elektronischen Überlastungsschutzes geschaltet wird, sobald die Taste '⊥' nicht gedrückt ist.

Die größte zu kompensierende Spannung ist die Maschineneinheit von 100 V. Ist die zu kompensierende Spannung negativ, so ist zusätzlich die Taste ' - ' zu drücken.

4.2.3 Meßauswertung bei Koeffizientenpotentiometern

Hat z.B. eine Optimierungsaufgabe bestimmte Werte für ein oder mehrere Koeffizientenpotentiometer ergeben, so lassen sich deren Werte analog dem Vorgehen nach 5.2 ermitteln, jedoch kompensiere man die am Schleifer abgegebene Spannung durch systematischen Abgleich der Zehnertastatur wie bei 4.2.2 .

4.3 Auswertung mit Zusatzgeräten

Man schalte die zu messenden Ausgänge auf die entsprechenden Eingangsbuchsen der Auswertegeräte auf dem Programmierfeld unter Beachtung der Bedienungshinweise für diese Geräte.

4.3.1 xy-Schreiber

Der xy-Schreiber ermöglicht die Registrierung der Rechenergebnisse mit hoher Genauigkeit. Er wird an eine 5-polige Buchse an der Rückseite des Rechners angeschlossen (s. Abb. 2.1). Die Steuerung der Schreibfeder erfolgt vom Rechner aus. Soll der x-Vorschub zeitlinear erfolgen, so ist mit Hilfe eines Integrators eine entsprechende linear ansteigende Spannung bereitzustellen. Die Programmierfeldanschlüsse für x bzw. y liegen an den Buchsen [44,24] bzw. [44,25] .

Bei Verwendung des xy-Schreibers ist die eingebaute Normalspannungsquelle des Schreibers als normal für die ganze Rechenanlage zu verwenden.

4.3.2 Digitalvoltmeter

Der Anschluß eines Digitalvoltmeters zur genauen Einstellung der Koeffizienten sowie zur Meßauswertung erfolgt an einer Anschlußleiste an der Rückseite des Rechners (s. Abb. 2.1). Die zu messende Spannung wird an die Programmierfeldbuchse [44,01] gelegt. Der Anschluß der -100 V-Spannung ermöglicht es, das Voltmeter mit externer Referenzspannung zu betreiben.

An die BuL 7 können auch andere externe Geräte angeschlossen werden, insbesondere weitere Auswertegeräte, so z.B. ein Mehrkanalschnellschreiber. Zu diesem Zweck sind 10 Verbindungen vom Programmierfeld zu der Anschlußleiste BuL 7 vorhanden, wovon 7 frei beschaltbar sind und die übrigen mit den Kontakten des Zeitmarkenrelais der elektronischen Uhr verbunden sind (s. unter 5.1.10). Im folgenden sind sämtliche Anschlüsse der BuL 7 zusammengestellt:

BuL 7

+ 24 V			- 1a 1b - Masse
PrF-Buchse [44;01]	'DV'		- 2a 2b - -100 V
+ 100 V			- 3a
PrF-Buchse [44;26]			- 5a 5b - PrF-Buchse [44;27]
	[44;28]		- 6a 6b - [44;29]
	[44;30]		- 7a 7b - [44;31]
	[44;32]		- 8a 8b - [44;33]
	[44;34]		- 9a 9b - [44;35]

5. Programmierung

Allgemeines Vorgehen

Die Eingabe eines Programmes beschränkt sich auf die Arbeitsgänge:

- 1) Stecken des Programmes auf der Programmiertafel und Einhängen in das Programmierfeld,
- 2) Einstellen der Koeffizientenpotentiometer,
- 3) Einstellen der eventuell im Programm verwendeten Funktionsgeneratoren.

Zur Vermeidung von Belastungsfehlern sind die Potentiometer grundsätzlich erst nach Einsetzen der fertig gesteckten Programmiertafel in den Rechner einzustellen.

Die Möglichkeit von Fehlbedienungen ist weitgehend ausgeschlossen, sofern die gegebenen Hinweise beachtet werden.

5.1 Programmiertafel

5.1.1 Wechsel der Programmiertafel

Im betriebsbereiten Zustand sind sowohl die Programmiertafel als auch sämtliche Programmierschnüre und Kurzschlußstecker verriegelt. Dieser Zustand ist äußerlich durch den nach rechts geschwenkten Verriegelungshebel unterhalb der Programmiertafel erkenntlich.

Man beachte: Jeder Versuch der gewaltsamen Entfernung oder des nachträglichen Einsteckens von Programmierschnüren oder Kurzschlußsteckern bei verriegelter Programmiertafel kann zur Zerstörung des Verriegelungsmechanismus oder der Kontaktelemente führen und ist zu unterlassen.

Zur Entriegelung ist der Verriegelungshebel nach Drücken der rechten Entarretierklinke vom rechten zum linken Anschlag zu schwenken. Hierdurch werden folgende Vorgänge ausgelöst:

- 1) Die Referenz- und Steuerungsspannungen werden vom Programmierfeld abgeschaltet.
- 2) Die als Integratoren verwendbaren Rechenverstärker werden automatisch auf Summation geschaltet und in eine für einen bequemen Driftabgleich besonders geeignete Schaltung gebracht.

- 3) Die Programmiertafel, -schnüre und Kurzschlußstecker werden mechanisch entriegelt, so daß bereits ohne Herausnehmen der Programmiertafel ein Programmwechsel oder Programmänderungen möglich sind.
- 4) Ein eventuell laufender Rechenvorgang wird unterbrochen, der Rechner wird in den Betriebszustand "Rückstellen" geschaltet.

Zum Aushängen der Programmiertafel sind die am Programmierfeld etwas oberhalb der Griffe der Programmiertafel angebrachten geriffelten Riegel leicht nach unten zu drücken, worauf sich die Tafel einschließlich der seitlichen Führungsschienen um etwa 20° nach vorn klappen läßt. Die Tafel ist nunmehr etwas anzuheben, zunächst aus ihrer unteren Halterung auszuschwenken und schließlich durch weiteres Anheben auch aus ihrer oberen Halterung auszuheben.

Beim Einhängen und Verriegeln ist in umgekehrter Reihenfolge zu verfahren.

Man beachte:

Beim Wechsel der Programmiertafel ist grundsätzlich mit äußerster Sorgfalt zu verfahren; beim Einhängen achte man besonders darauf, daß die Programmiertafel nicht verkantet wird.

Tritt während des Umlegens des Verriegelungshebels (unterhalb des Programmierfeldes) plötzlich ein Widerstand auf, so läßt dies auf nicht sachgemäß eingeführte Programmierschnüre oder Kurzschlußstecker schließen. Der Verriegelungshebel ist dann unverzüglich wieder in die linke Endstellung zu bringen und der Fehler zu beseitigen.

Sollten durch unsachgemäße Behandlung Kontaktfedern im Programmierfeld beschädigt oder verbogen werden, so sind eigenmächtige Justierversuche auf jeden Fall zu unterlassen.

Wird durch einen Programmierfehler eine der Referenzspannungen kurzgeschlossen, so wird der ganze Rechner beim Verriegeln auf die Stellung "Vorheizen" zurückgestellt. Vor einem Wiedereinschalten der Betriebsspannungen, das erst nach Ablauf von mindestens 30 sec. erfolgen kann, prüfe man die Feinsicherungen des Referenzspannungseinschubes und erneure sie gegebenenfalls.

5.1.2 Stecken des Programmes

Als Normalbestückung gehören zu jeder Programmiertafel

200	Kurzschlußstecker	
80	Programmierschnüre	20 cm lang
80	Programmierschnüre	40 cm lang
5	Programmierschnüre	75 cm lang

Bei der Programmierung empfiehlt sich die weitgehende Verwendung von Kurzschlußsteckern oder kurzen Programmierschnüren in Verbindung mit den vorhandenen Ringleitungen.

Man beachte:

- 1) Schnüre und Kurzschlußstecker sind bis zum Anschlag in die Programmier-tafel einzuführen.
- 2) Programmierschnüre sind stets mit beiden Enden in die Tafel einzu-stecken (Berührungsschutz).
- 3) Um jede Überlastung der Rechenverstärker zu vermeiden, ist bei jedem als Integrator schaltbaren Verstärker stets zumindest der die Summator-Rückkopplung besorgende Kurzschlußstecker einzustecken (s. Abschn. 5.1.5), wenn der betreffende Verstärker nicht im Rechenprogramm verwendet wird.

- 4) Wird die Programmiertafel außerhalb der Maschine gesteckt, so ist sie auf eine genügend große ebene Unterlage aufzulegen.

5.1.3 Aufteilung des Programmierfeldes

Das Programmierfeld enthält Anschlußbuchsen für

Ein- und Ausgänge sämtlicher Rechenelemente, alle programmierbaren Schalt- und Steuervorgänge, Referenz- und Steuerspannungen, Auswertegeräte, Hilfsleitungen.

Die Rechenverstärker V 00 bis V 31 sind zu je vier Funktionsgruppen zusammengefaßt, wobei stets ein als Summator oder Integrator umschaltbarer Verstärker und ein reiner Summator aufeinanderfolgen. Die Eingangswiderstände der Verstärker sind jeweils bis auf einen abtrennbar. Zwischengelagerte Koeffizientenpotentiometer ermöglichen die Aufschaltung der Anfangswerte und die Verbindung benachbarter Rechenverstärker (über Potentiometer) lediglich unter Verwendung von Kurzschlußsteckern. Jede Funktionsgruppe enthält die Anschlüsse von vier Nichtlinearitäten. Bei den Integratoren sind die Rechenkondensatoren einzeln oder zentral von $1 \mu\text{F}$ auf $0,1 \mu\text{F}$ umschaltbar. Über und unter den Funktionsgruppen angeordnete Ringleitungen A, B, ..., H ermöglichen die Verwendung kurzer Programmierschnüre. Dem gleichen Zweck dienen die rund um das Programmierfeld laufenden Ringleitungen 00, 01, ..., 30.

Die Rechenverstärker V 32 bis V 47 sind als Summatoren oder Integratoren schaltbar. Die über den zur Einstellung der Anfangswerte vorgesehenen Potentiometern P 64 bis P 71 und P 73 bis P 80 befindlichen Buchsen führen zu den Steuerrelais des betreffenden Integrators. Sie ermöglichen die Steuerung dieser Verstärker unabhängig vom Hauptprogramm und sind im Normalfall mit den jeweils darüberliegenden, jeweils mit R oder S bezeichneten Buchsen zu verbinden.

Die Rechenverstärker V 48 bis V 63 sind als Summatoren geschaltet. Die äußerste rechte Spalte enthält die Anschlüsse zu den Auswertegeräten.

Die Bewertungsfaktoren der Eingänge sind unmittelbar an der betreffenden Buchse ablesbar. Sind auf den Plätzen V 32 bis V 63 Funktionsmultiplikatoren oder -generatoren anstelle der Rechenverstärker eingesetzt, so beachte man, daß die bisherigen Eingänge der betreffenden Rechenverstärker außer Betrieb sind. Die Multiplikatoreingänge erscheinen im oberen Teil des Programmierfeldes (Orientierung anhand der Bezeichnung der Ausgangsbuchsen). Die dort gelegenen Ausgangsbuchsen sind mit den gleichbenummerten Rechenverstärkerausgängen der unteren Programmierfeldhälfte verbunden.

Der in der Mitte gelegene senkrechte Streifen enthält Anschlüsse zu Schaltern, Verteilerleitungen, Dioden, Komparatoren, freien Rechenimpedanzen, Relais, ungeerdeten Potentiometern usw.

Rund um das Programmierfeld sind in fünf Gruppen 29 Anschlüsse zu einer Nachbarmaschine verteilt.

5.1.4 Farbcode der Programmiertafel

rot	Ausgänge aktiver Rechenelemente (mit gleicher Bezeichnung versehene Buchsen sind miteinander verbunden)
grün	hochohmige Eingänge aktiver Rechenelemente oder der Auswertegeräte
grün schraffiert	hochohmige Eingänge aktiver Rechenelemente, die stets fest mit dem Rechenverstärker ver- bunden sind.
blau schraffiert	Anfangswertbuchsen
gelb	passive Rechenelemente (Potentiometer, Dioden, einzelne Widerstände und Kondensatoren)
schwarz	Erde
dunkelblau	Referenzspannung - 100 Volt
purpur	Referenzspannung + 100 Volt
braun	Buchsen für Schalt- und Steuerfunktionen
braun schraffiert	Anschlüsse zu Relaiswicklungen
rosa	Anschlüsse zur Nachbarmaschine
rosa schraffiert	Ringleitungen
rot schraffiert	Buchsen für Sonderzwecke
weiß	Ringleitungen, Verteilerbuchsen bzw. noch nicht belegte Buchsen

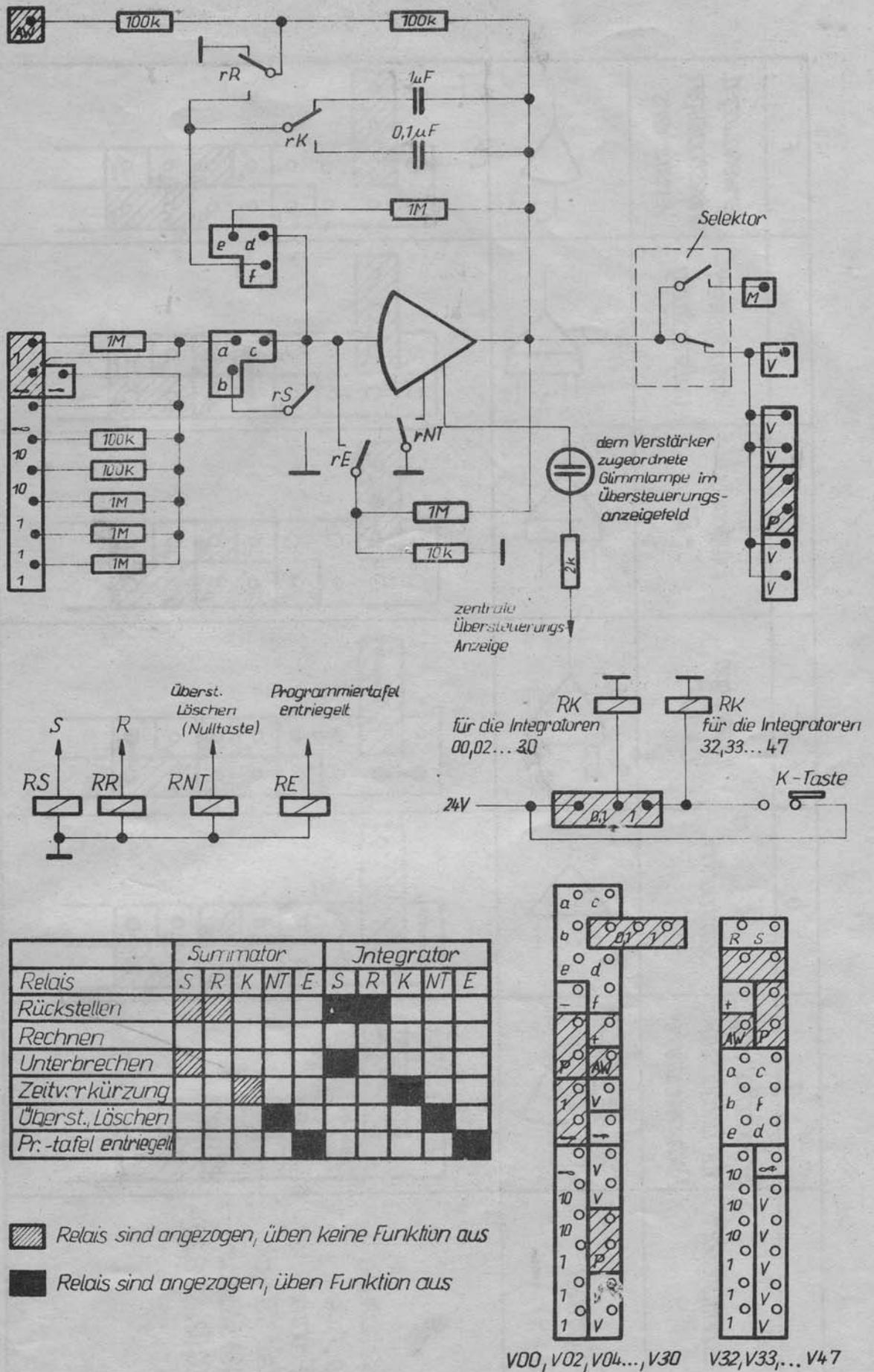
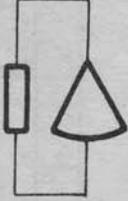
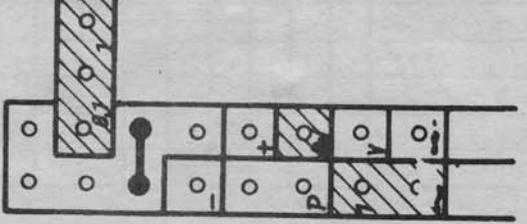
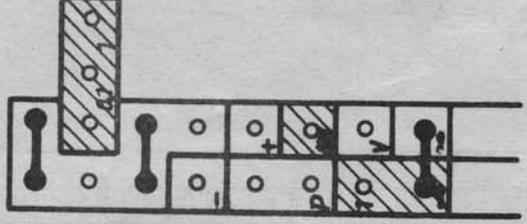
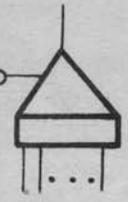
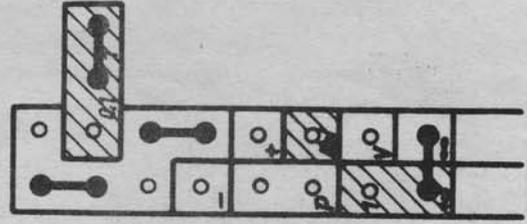
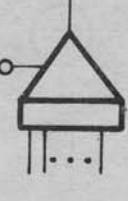
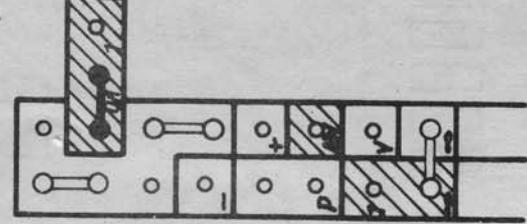
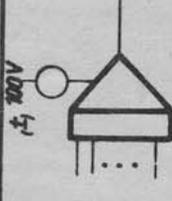
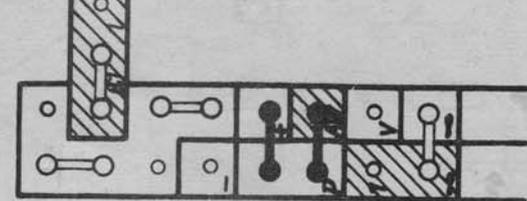
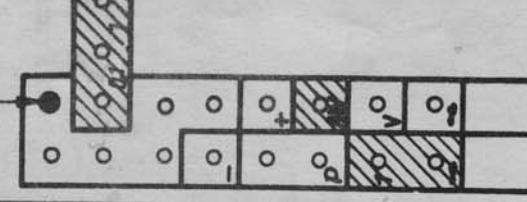


Abb. 5.15. Steuerung Summator - Integrator

	Schaltungsart	Symbol	Schaltung auf dem Programmierfeld für die Verstärker 00,02... 28,30
a	Grundschialtung für unbenutzte Rechenverstärker		
b	Summation		
c	Integration C = 1 μF		
d	Integration C = 0,1 μF		
e	Anfangswertaufschaltung		
f	Verwendung d. unbeschalteten Verstärkers		

Tab. 5.15.1

5.1.5 Schaltung der Rechenverstärker

Es sind vier unterschiedliche Schaltungsarten zu beachten:

5.1.5.1 Verstärker 00, 02, ..., 28, 30

Die Schaltung dieser Verstärker ist aus Abb. 5.1.5 ersichtlich.

Die verschiedenen Arten der Steuerung sind aus Tabelle 5.1.5.1 ersichtlich.

Alle nicht im Programm benötigten Verstärker sind grundsätzlich nach a) zu schalten, um Überlastung der Verstärker zu vermeiden.

Wird in Abänderung von Schaltung c) kein Stecker in die Anwahlbuchsen des Integrationskondensators eingesteckt, so ist der Kondensator $1 \mu\text{F}$ eingeschaltet, beim betreffenden Integrator aber keine zentrale Umschaltung auf $0,1 \mu\text{F}$ möglich.

Zur Aufschaltung von Anfangswerten, die e) zeigt, benutze man tunlichst das neben der Anfangswertbuchse befindliche Potentiometer. Je nachdem, ob der Anfangswert positiv oder negativ sein soll, ist das obere Ende des Potentiometers mit -100 V oder $+100 \text{ V}$ zu verbinden. (Umkehr der Polarität beachten!)

Die in f) gezeigte Schaltung als offener Verstärker ist nur sinnvoll, wenn eine äußere Rückkopplung erfolgt, etwa durch besondere RC-Netzwerke, einen Multiplikator (implizite Funktionstechnik) usw.

Die Abtrennbarkeit der Eingangswiderstände gibt die Möglichkeit, sie auch anderen Rechenverstärkern zuzuordnen, wenn dort mehr als die unmittelbar vorhandene Anzahl Eingänge benötigt werden. Der (oberste) fest mit jedem Verstärker verbundene Widerstand erhält jedem Verstärker seine Verwendbarkeit als Vorzeicheninverter oder einfacher Integrator.

5.1.5.2 Verstärker 01, 03, ..., 29, 31

Diese Verstärker sind nur als Summatoren verwendbar. Eine Abtrennung der Eingangswiderstände ist möglich, die Schaltung zeigt Abb. 5.1.5.2

Bei den Verstärkern 19, 23, 27, 31 sind zusätzlich je zwei Eingänge mit den Bewertungsfaktoren 0,1 verfügbar.

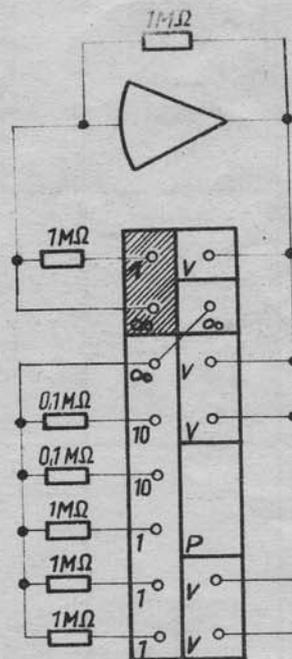


Abb. 5.1.5.2

Schaltungsart	a	b	c	d	e	f
Symbol						
Schaltung auf dem Programmierfeld für die Verstärker 32,33... 47.						

Tab. 5.1.5.3

5.1.5.3 Verstärker 32, 33, ..., 46, 47

Die Schaltung dieser Verstärker zeigt Abb. 5.1.5.

Neben der Umschaltung Summation - Integration lassen sich diese Integratoren getrennt von denen der Gruppe 5.1.5.1 steuern. Zu diesem Zweck sind die Verbindungen zu den Steuerrelais S und R auf dem Programmierfeld steckbar ausgeführt.

Tab. 3.1 zeigt die Funktionen des als Integrator programmierten Verstärkers je nach dem Schaltzustand der Relais S und R (Impulse S und R).

Eine Umschaltung des Rechenkondensators von $1 \mu\text{F}$ auf $0,1 \mu\text{F}$ ist nur zentral möglich.

Die verschiedenen Arten der Steuerung sind aus Tabelle 5.1.5.3 ersichtlich.

5.1.5.4 Verstärker 48, 49, ..., 62, 63

Ähnlich den Verstärkern der Gruppe 5.1.5.2 sind diese Verstärker als Summatoren verwendbar, es besteht jedoch keine Möglichkeit, die Eingangswiderstände abzutrennen.

Beachtung verdient die Frage der Verwendbarkeit der Eingangswiderstände der Verstärker 32 bis 63, sofern Nichtlinearitäten an den betreffenden Plätzen verwendet werden. Die Widerstände der Verstärker 32 bis 47 lassen sich in einem solchen Fall über den ∞ -Punkt an andere Verstärker anschalten, sofern kein Kurzschlußstecker gesteckt ist (Tabelle 5.1.5.3, f). Bei den Verstärkern 48 bis 63 lassen sich nur die Widerstände der Verstärker 49, 51, ... 61, 63 an andere Verstärker anschalten.

5.1.6 Schaltung der Koeffizientenpotentiometer

Man unterscheidet im Rechner geerdete und ungeerdete Potentiometer. Erstere sind mit Zahlen, letztere mit Buchstaben gekennzeichnet. Die Darstellung auf dem Programmierfeld zeigt die Abb. 5.1.6.

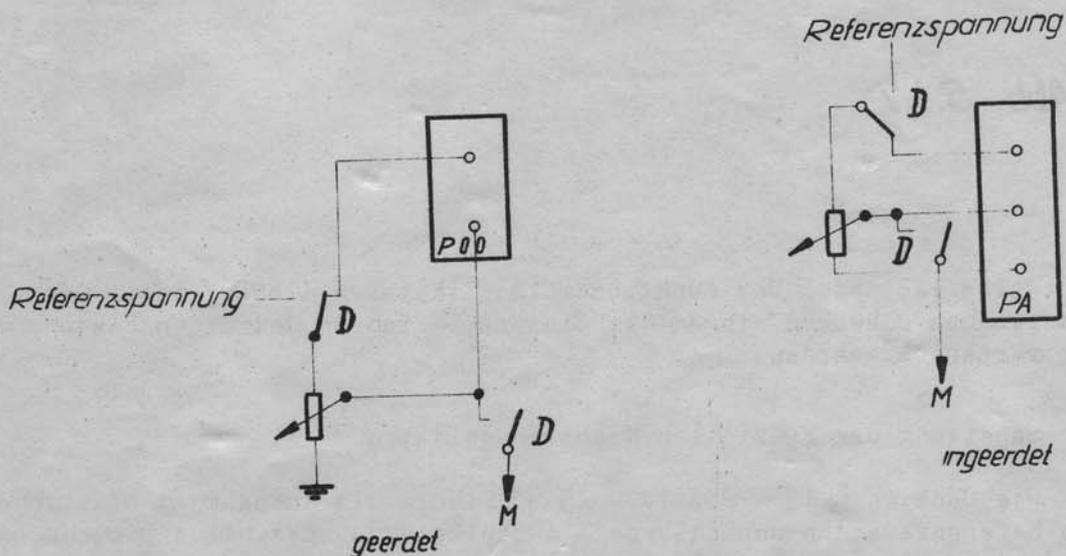


Abb. 5.1.6

Der Druckdrehschalter D dient zum bequemen Einstellen der Potentiometer in Verbindung mit dem Meßfeld MF (s. Abschnitt 5.2). Beim Drücken von D wird das obere Ende des Potentiometers aus der Rechenschaltung getrennt und an eine der Referenzspannungen + 100 V, - 100 V, + 10 V, - 10 V (je nach Anwahl auf dem StF IV) geschaltet. Der Schleifer des Potentiometers wird auf die zum Meßfeld führende Meßleitung M geschaltet, verbleibt aber außerdem in der Rechenschaltung.

Man beachte: Der Schleifer der Potentiometer darf nie mit Potentialen beschaltet werden.

5.1.7 Schaltung der allgemeinen Nichtlinearitäten

Die Eingänge und Ausgänge für Funktionsmultiplikatoren- und generatoren befinden sich im oberen Teil des Programmierfeldes innerhalb der Funktionsgruppen. Die Eingangsvariablen sind jeweils mit beiderlei Vorzeichen einzugeben. Bei Funktionsgeneratoren sind die Eingänge an die $\pm x$ -Buchsen anzuschließen, wie aus Abb. 5.1.7 ersichtlich.

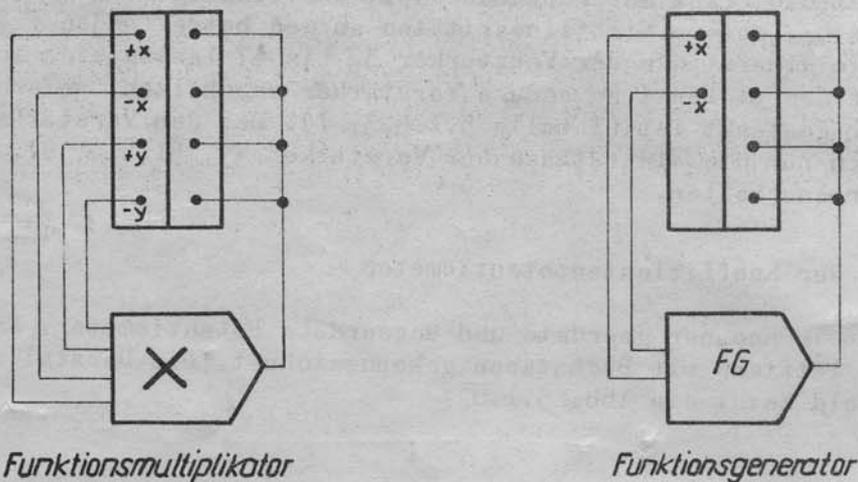


Abb. 5.1.7

Trivialerweise läßt sich bei Funktionsmultiplikatoren die Polarität der Ausgangsspannung umkehren, indem die Eingangsleitungen des einen Faktors miteinander vertauscht werden.

5.1.8 Schaltung der speziellen Nichtlinearitäten

5.1.8.1 Die Buchsen [18 - 25; 10 - 15] sind - mit Ausnahme der zwischengelagerten Referenzspannungsanschlüsse - Anschlüsse zu speziellen Diodenschaltungen, deren Schaltung die Abb. 5.1.8.1 zeigt.



Abb. 5.1.8.1

Die Verwendung der mit T bezeichneten speziellen Diodenschaltungen für den Aufbau von speziellen Nichtlinearitäten kann folgenden Büchern entnommen werden:

Johnson : "Analog Computer Techniques"
Giloi/Lauber: "Analogrechnen" ,

wobei aber im letztgenannten Buch die angegebenen Schaltungen dahingehend abzuändern sind, daß der auf den Summationspunkt S führende Diodenzweig auch auf einen 1-er Eingang geschaltet wird. Für jedes Diodenpaar einschließlich der zugehörigen zwei Eingangswiderstände kann dann eine solche mit T bezeichnete Schaltung verwendet werden. Eine entsprechende Schaltung für die Bildung des Absolutbetrages ist auch in den Büchern

Winkler : "Elektronische Analoganlagen"
Fifer : "Analog Computation"

angegeben.

5.1.8.2 An die Buchsen [17 - 25; 24 - 25] und [24 - 25; 26 - 29] sind weitere Dioden angeschlossen; ihre Schaltung geht unmittelbar aus dem Aufdruck auf der Programmiertafel hervor.

Als Dioden werden Röhrendioden EAA 91 (auch bei 5.1.8.1) verwendet, die in den Diodeneinschüben Dn untergebracht sind. Für ihre Belastbarkeit beachte man die vom Röhrenhersteller angegebenen technischen Daten.

5.1.9 Komparatoren

Die je drei der in zwei Komparatoreinschüben Kr untergebrachten Komparatoren K 00 bis K 05 sind an die Buchsen [17 - 26; 16 - 18] angeschlossen. Die beiden hochohmigen Eingänge, an welche die zu vergleichenden Meßspannungen angelegt werden, sind jeweils grün gezeichnet, der einpolig umschaltende Relaiskontakt braun (Relaisanker in der Mitte).

Beim Vergleich einer Spannung mit Nullpotential empfiehlt es sich, die unbenutzte Eingangsbuchse zu erden.

Das Schaltverhalten der Komparatoren geht aus folgender Übersicht hervor:

Bezeichnung : Spannung an linker Eingangsbuchse : U_1
Spannung an rechter Eingangsbuchse : U_2

Schaltverhalten:

$U_1 > U_2$ Dargestellte Kontaktstellung
 $U_2 > U_1$ Entgegengesetzte Kontaktstellung

5.1.10 Anschluß der Auswertegeräte

Dem Anschluß der Auswertegeräte dienen die grünen Buchsen der Spalte 44 (rechts außen) des Programmierfeldes:

- [44; 00] : Meßfeld MF
- [44; 01] : Digitalvoltmeter (an Rückseite des Rechners anschließbar).
- [44; 13-23] : Eingänge des Funktionsempfängers endim 2100
- [44; 24] : x-Eingang des xy-Schreibers endim 2200
- [44; 25] : y-Eingang des xy-Schreibers endim 2200
- [44; 26-35] : Buchsen für beliebige andere, an der Rückseite des Rechners BuL 7 anschließbare Auswertegeräte, wovon die Buchsen
- [44; 26-32] freibeschaltbar sind, während die Buchse
- [44; 33] zum Ruhkontakt
- [44; 34] zum Anker
- [44; 35] zum Arbeitskontakt

} Zeitmarken

des Zeitmarkenrelais der Elektronischen Uhr gehen und somit sowohl auf dem Programmierfeld als auch über die Ausgabe an der Rechnerrückseite BuL 7 zur Verfügung stehen.

(Anschlüsse an der BuL 7 : s. unter 4.3.2)

5.1.11 Programmierbare Schalt- und Steuervorgänge, Referenz- und Steuerungsspannungen, Hilfsleitungen, freie Rechenimpedanzen

5.1.11.1 Drehwähler

Zur automatischen Variation von Parametern sind an den Buchsen [17-23; 26-29] die Anschlüsse eines Drehwählers verfügbar.

Dieser Drehwähler schaltet in der Betriebsstellung "Repetierend Rechnen" bei jedem Übergang von "Rechnen" auf "Rückstellen" einen Schritt weiter, sobald die Buchsen [29; 27-28] miteinander verbunden sind. Zwei Schleiferbahnen des Drehwählers sind an die übrigen Buchsen gelegt, dabei gehören die oberen beiden Buchsenreihen zur ersten, die unteren beiden Buchsenreihen zur zweiten Bahn. Die Schleifer selbst sind mit 0 bezeichnet, die Reihenfolge der Schalterschritte geht aus der Bezeichnung hervor.

5.1.11.2 Freie Relais

Drei frei verfügbare, im Drehwählereinschub untergebrachte Relais sind an die Buchsen [19-24; 45-48] angeschlossen; die Anschlüsse und Kontaktanordnungen gehen unmittelbar aus dem Aufdruck hervor.

5.1.11.3 Selektorausgang

Die mit "M" bezeichnete Buchse [19; 44] ist der Ausgang des Selektros Mx. Soll ein bestimmter der Ausgänge V 00 ... V 63 ausgewählt, d.h. mit der Buchse "M" verbunden werden, so ist die entsprechende Zahl auf dem Steuerfeld III einzutasten.

5.1.11.4 Funktionsschalter

An die mit S 00, S 01, S 02, S 03 bezeichneten Buchsen [18-20; 08], [18-20; 09], [24-26; 08], [24-26; 09] sind vier auf dem Steuerfeld IV angeordnete, mit den gleichen Symbolen bezeichnete Tastenschalter angeschlossen, um während des Rechenvorganges Verbindungen manuell auftrennen oder schließen zu können. Anschlüsse und Kontaktanordnungen gehen unmittelbar aus dem Aufdruck hervor, die gezeichnete Kontaktstellung entspricht dem ungedrückten Zustand der entsprechenden Taste auf dem Steuerfeld IV.

Dem gleichen Zweck dienen die Buchsen [44; 02-12], an die ein 10-poliger Umschalter des Steuerfeldes IV angeschlossen ist.

5.1.11.5 Programmierbare Steuerung der Betriebszustände:

Rechnen, Rückstellen, Unterbrechen

Durch Verbinden der Buchsen [26; 45-47] mit Erde ist es möglich, den Rechner auf die Betriebsstellungen Rückstellen (Buchse "Rü"), Rechnen (Buchse "Re") oder Unterbrechen (Buchse "Un") zu schalten.

5.1.11.6 Zeitkonstantenmessung und Uhrschaftkontakte

Die mit UK, U 00 bis U 03 bezeichneten Buchsen [17-18; 44-48] sind im Zusammenhang mit der elektronischen Uhr von Bedeutung und wurden in Abschn. 3.5 und 3.6.3 abgehandelt.

5.1.11.7 R- und S-Relaiskontakte

Jeweils zwei Umschaltkontakte von je einem im Drehwählereinschub untergebrachten S- und R-Relais sind auf dem Programmierfeld verfügbar [23-25; 20-23]. Die Relais arbeiten im Takte der Integratorrelais RS und RR (siehe hierzu Abb. 5.1.5, Tabelle 3.1. und Erläuterungen). Die Anschlüsse und Kontaktanordnungen gehen unmittelbar aus dem Aufdruck hervor.

5.1.11.8 R- und S-Schaltspannungen

An je 17 Buchsen [01-16; 31], [27-42; 31], [25; 47-48] sind die für die Steuerung des Integratorrelais erforderlichen Schaltspannungen (+ 24 V) R und S verfügbar. Analog Tabelle 3.1 gilt folgende Zuordnung

Schaltspannungen	S	R
Rückstellen	x	x
Rechnen		
Unterbrechen	x	

x: Schaltspannung (+ 24 V)
liegt an.

5.1.11.9 Referenzspannungen

Die Referenzspannung + 100 V ist an 48, mit "+" bezeichneten, die -100 V Referenzspannung an 47, mit "-" bezeichneten, auf dem Programmierfeld verteilten Buchsen entnehmbar.

An den Buchsen "PR" 23-24; 44 ist die Potentiometer-Referenzspannung (s. Abschn. 5.1.6 und 5.2) entnehmbar. Diese beträgt je nach Anwahl auf dem Steuerfeld IV +100V, -100V, +10V oder -10V (siehe Kapitel 1). Sie wird durch die Taste TR von StF IV nicht abgeschaltet (im Gegensatz zu den Referenzspannungen + 100 V an den übrigen Buchsen).

Bei jedem Anschluß an eine Referenzspannung vergewissere man sich, daß die betreffende Verbindung zulässig ist und nicht zu einer Überlastung oder zu einem Kurzschluß führen kann.

5.1.11.10 Ungeschaltene +24 V-Spannung kann an den Buchsen [25; 45-46] abgenommen werden.

5.1.11.11 Ringleitungen

Miteinander verbundene Buchsen von

- 8 Ringleitungen innerhalb der Programmiertafel sind mit A, B, ... H,
- 31 Ringleitungen am Rande der Programmiertafel sind mit 00, 01, ... 29, 30 bezeichnet.

5.1.11.12 Verteilerbuchsen

Der Mittelstreifen des Programmierfeldes enthält 13 Streifen mit drei bis sieben Buchsen, die jeweils miteinander verbunden sind, so wie es der Aufdruck unmittelbar angibt.

5.1.11.13 Freie Rechenimpedanzen

An die Buchsen [26; 20-25] und [24-25; 29] sind zusätzliche Rechenwiderstände angeschlossen:

[26; 20-21]	:	0,1 M Ω
[26; 22-23]	:	0,1 "
[26; 24-25]	:	1 "
[24-25; 29]	:	1 "

An den Buchsen [18-22; 20-23] sind im Kapazitätseinschub untergebrachte zusätzliche Rechenkondensatoren angeschlossen:

C 00	:	1	/ μ F
C 01	:	1	"
C 02	:	0,1	"
C 03	:	0,1	"
C 04	:	0,1	"

5.2 Abgleich der Koeffizientenpotentiometer

5.2.1 Schichtpotentiometer

Mit Hilfe der Kompensationseinrichtung lassen sich alle Koeffizientenpotentiometer belastungsunabhängig mit einem Fehler von weniger als 0,1 % einstellen. Man verfähre hierzu wie folgt:

- 1) Nach Einhängen und Verriegeln der fertiggesteckten Programmiertafel drücke man auf dem Steuerfeld I die Tasten "Dauerrechnen" oder "Repetierend Rechnen" und auf Steuerfeld IV die Taste '+100 V'.
- 2) Man achte darauf, daß auf dem Meßfeld keine der Tasten "0-", "1" oder "-" des linken Tastenstreifens gedrückt ist (siehe Abb. 1.2).
- 3) Man taste auf dem Meßfeld in der dreistelligen Zehnertastatur (siehe Abb. 1.2) den einzustellenden Koeffizientenwert ein (Komma vor den drei rechts gelegenen Dekadenschaltern).
- 4) Man betätige auf dem Potentiometerfeld den unter dem einzustellenden Potentiometer befindlichen Druckdrehschalter. Das Meßinstrument des Meßfeldes muß hierauf ausschlagen, sofern sich das betreffende Potentiometer nicht zufällig im abgeglichenen Zustand befand.
- 5) Man verstelle das Potentiometer so lange, bis das Meßinstrument 0 Volt anzeigt.
- 6) Man bringe den Druckdrehschalter unter dem Potentiometer wieder in die Ruhestellung.

Eine im Potentiometerfeld eingebaute Schutzschaltung verhindert, daß gleichzeitig mehr als ein Potentiometerschleifer auf die zum Meßfeld führende Sammelleitung geschaltet werden können. Schlägt das Meßinstrument bei Drücken des Abgleichknopfes unter dem Potentiometer nicht aus, so läßt das darauf schließen, daß der Druckdrehschalter eines früher eingestellten Potentiometers nicht wieder richtig in die Ruhestellung gebracht wurde.

5.2.2 Wendelpotentiometer

Die Einstellung der (10-gängigen) Wendelpotentiometer ohne Anzeigevorrichtung erfolgt genauso wie die der Schichtpotentiometer. Bei Vorhandensein einer Anzeigevorrichtung ergibt sich die Möglichkeit, den gewünschten Koeffizientenwert an Hand der Skala einzustellen. Allerdings ist dabei zu beachten, daß bei einer bestimmten Ohmschen Belastung nur dann ein linearer Verlauf der Abgriffsspannung zum eingestellten Skalenwert zu erwarten ist, wenn das Potentiometer für diese Belastung (Nennwert) korrigiert ist, das heißt bei der Belastung Null einen solchen nichtlinearen Funktionsverlauf zeigt, daß durch Belastung im Nennwert gerade ein linearer Verlauf entsteht.

Ein unkorrigiertes Potentiometer oder ein korrigiertes, das nicht mit dem Nennwert belastet wird, kann numerisch eingestellt werden mit Hilfe von Korrektur-Tabellen oder Nomogrammen, die für jeden gewünschten Koeffizientenwert den einzustellenden Skalenwert abzulesen gestatten. Bei den mit dem Nennwert belasteten korrigierten Potentiometern hingegen ist der Skalenwert gleich dem Koeffizientenwert, so daß hier die Einstellung besonders einfach ist.

Aufteilung der verschieden korrigierten Wendelpotentiometer auf die Potentiometerplätze:

Unkorrigierte Wendelpotentiometer	: PA, ..., PJ
Auf 0,1 M Belastung korrigierte Wendelpotentiometer	: P00, ..., P08 P36, ..., P44 P63 P64, P66, P63, P70 P73, P75, P77, P79
Auf 1 M Belastung korrigierte Wendelpotentiometer	: P09, ..., P35 P45, ..., P62 P65, P67, P69, P71 P72 P74, P76, P78, P80

5.3 Einstellung des Funktionsgenerators

Mit dem Funktionsgenerator kann eine vorgegebene Funktion $y=f(x)$ durch einen Polygonzug

$$\bar{y} = \sum_{k=1}^{10} d_k (x) + bx + a$$

approximiert werden. Der Polygonzug wird mit Hilfe von 10 Diodenstrecken (d_k), einer konstanten Spannung (additive Konstante a) und einer x-proportionalen Spannung (Nullpunktgerade bx) erzeugt. Die Diodenstrecken können von einander unabhängig eingestellt werden. Zu jeder Diodenstrecke gehören

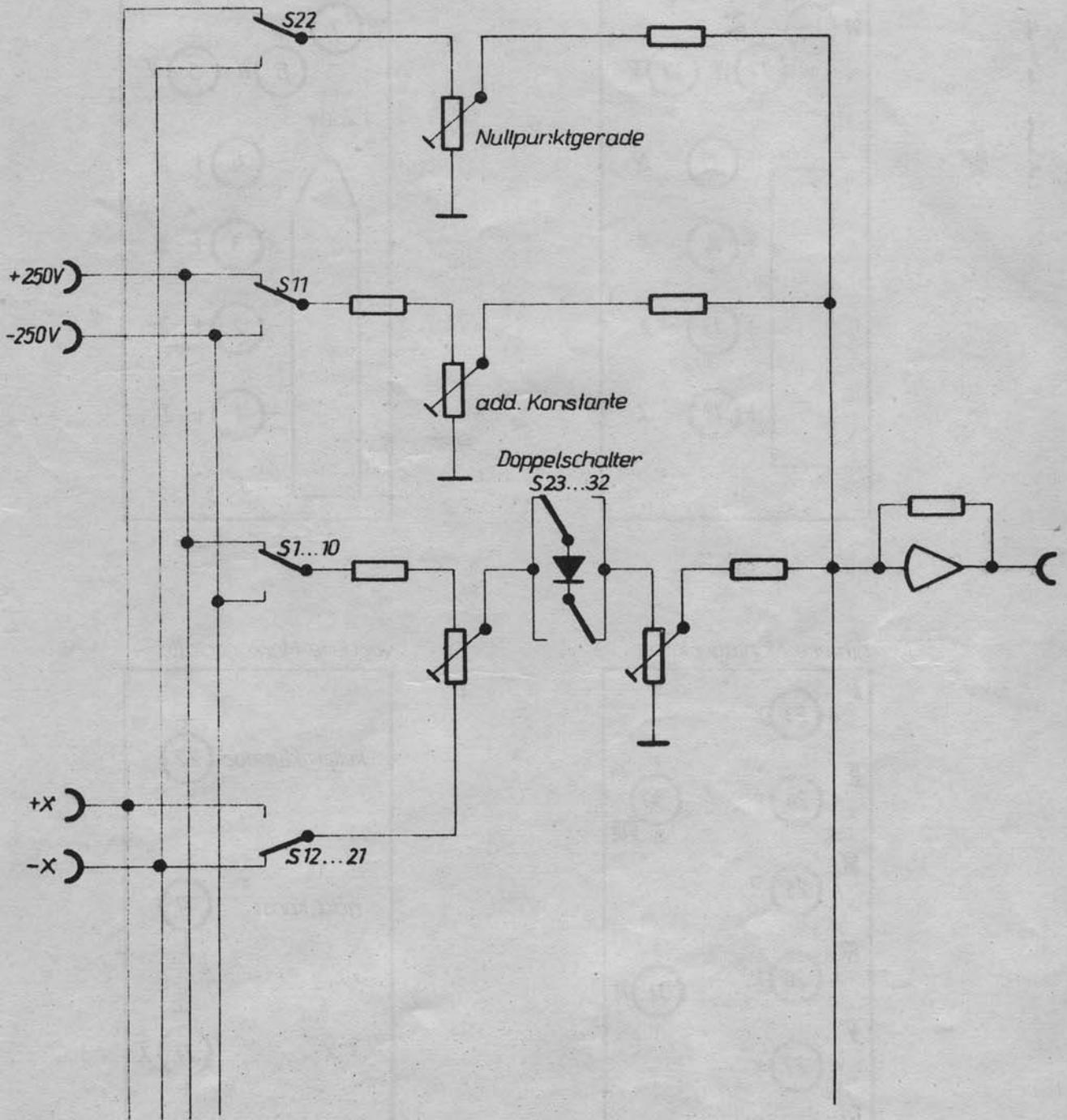


Abb. 5.3.1 Prinzipschaltbild des Funktionsgenerators

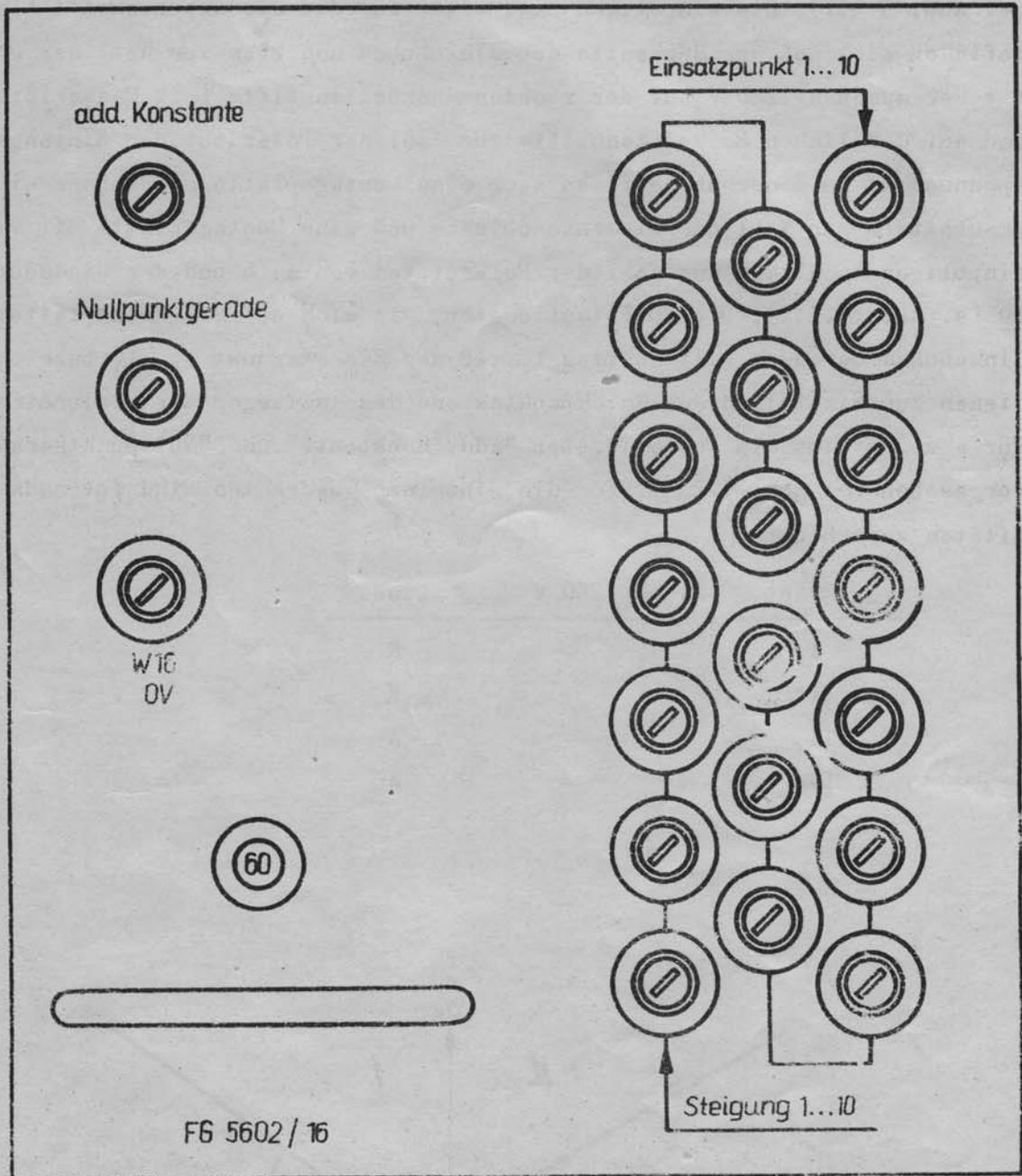


Abb. 5.3.3. Frontansicht des Funktionsgenerators

zwei einpolige Umschalter; ein zweipoliger Umschalter und zwei Potentiometer (s. Abb. 5.3.1). Die einpoligen Umschalter für die Diodenstrecken 1 bis 9 befinden sich auf der Rückseite des Einschubes und zwar zur Wahl der Polarität der Spannung 250 V auf der rechten Rückseitenhälfte (mit Messerleiste) und auf der linken Rückseitenhälfte zur Wahl der Polarität der Eingangsspannung x . Im Einschub befinden sich eine Montageplatte mit zehn zweipoligen Umschaltern zur Wahl der Diodenanschlüsse und eine Montageplatte mit vier einpoligen Schaltern zur Wahl der Polaritäten von a , b und der Diodenstrecke 10 (s. Abb. 5.3.2). Die 20 Potentiometer, die sich auf der Frontplatte des Einschubes befinden (mit Anstieg 1...10 und Einsatzpunkt 1...10 bezeichnet) dienen zum Einstellen des Knickpunktes und des Anstieges der Diodenstrecken. Für a und b sind die Potentiometer "add. Konstante" und "Nullpunktgerade" vorgesehen (s. Abb. 5.3.3). Für die einzelnen Quadranten sind folgende Polaritäten zu wählen:

Quadrant	x	250 V	Diode
I.	-	+	K
II.	+	+	K
III.	-	-	A
IV.	+	-	A

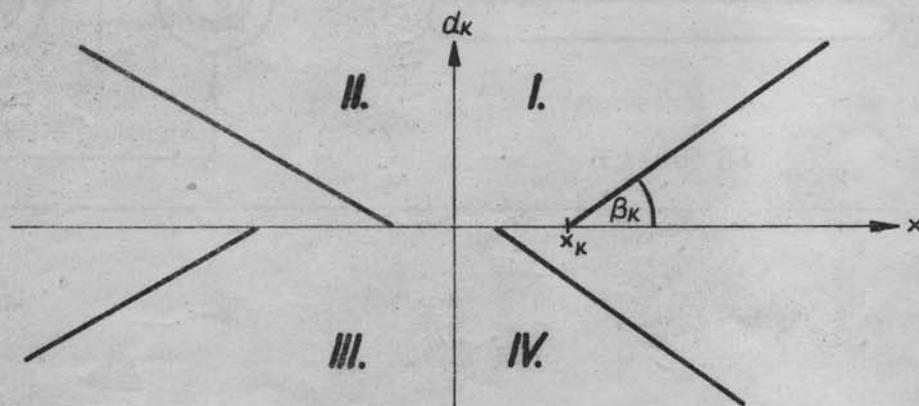


Abb. 5.3.4. Diodenstrecken in den einzelnen Quadranten

K bzw. A bedeutet, daß die Kathode bzw. Anode dem Eingang des Systems zuge-
wendet ist.

Die Knickpunkte sind so festzulegen, daß die Funktion möglichst gut durch den
Geradenzug approximiert wird. Graphisch kann die bestmögliche Approximation
für eine bestimmte Genauigkeit dadurch erreicht werden, daß man einen ξ -
Streifen symmetrisch zur Funktion zeichnet ($f \pm \xi$) und den Geradenzug mit den
wenigsten Knickstellen in den ξ -Streifen zeichnet. Der Approximationsfehler
ist dann betragsmäßig stets kleiner als ξ . Zum Festlegen der Anstiege ver-
längere man die einzelnen Geradenstücke und bringe sie mit der Geraden $x = +1$
(für $x_k > 0$) bzw. $x = -1$ (für $x_k < 0$) zum Schnitt. Die Ordinaten der Schnitt-
punkte können abgelesen oder numerisch berechnet werden. Man ordnet zunächst
den Geradenstücken mit positiven Abszissenwerten vom Nullpunkt beginnend und
anschließend den Geradenstücken mit negativen Abszissenwerten (wiederum vom
Nullpunkt ausgehend) Dioden zu (s. Abb. 5.3.5). Die nach der Knickpunktsein-
stellung mit den Anstiegsreglern nacheinander einzustellenden Werte lauten

$y_0(1) = a$	add. Konstante
$y_1(1) = a+b$	Nullpunktgerade
$y_2(1) = a+b+d_1(1)$))))
⋮	
$y_i(1) = a+b + \sum_{k=1}^{i-1} d_k(1)$	
bei $x = 1$ und	
$y_{i+1}(-1) = a-b+d_i(-1)$))))
⋮	
$y_{11}(-1) = a-b + \sum_{k=i}^{10} d_k(-1)$	
bei $x = -1$.	

Für die bequeme Einstellung eines Funktionsgenerators fertige man sich zweck-
mäßig eine Tabelle mit den erforderlichen Daten an (s. Abb. 5.3.6). Nach
dieser Tabelle werden die Schalter an dem herausgezogenen Einschub einge-
stellt. Die Schalter aller nicht benötigten Diodenstrecken bleiben in einer
beliebigen Stellung. Die Knickpunkteinstellung geschieht folgendermaßen:
Alle Anstiegsregler werden gegen den Uhrzeigersinn zum Anschlag gedreht,
ebenso die Regler "add. Konstante" und "Nullpunktgerade". Unter Verwendung
eines Potentiometers und zweier Verstärker (zur Vermeidung von Belastungs-
fehlern) wird der in der Tabelle angegebene Knickpunkt x_k auf den Funktions-
generator geschaltet. Der der Diode zugeordnete Anstiegsregler wird im Uhr-
zeigersinn zum Anschlag gedreht. Die Ausgangsbuchse des Funktionsgenerators

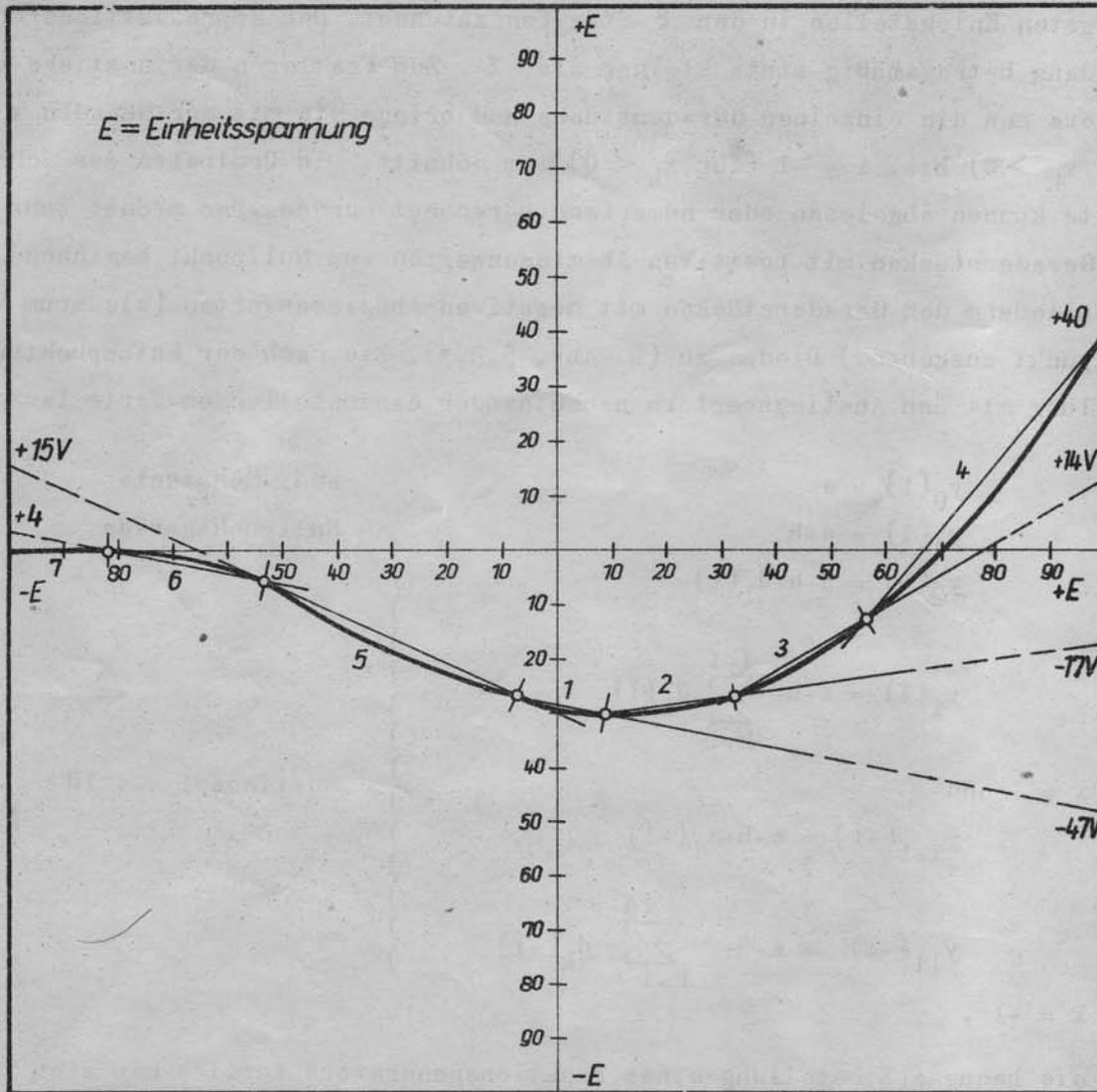


Abb. 5.3.5 Zur Einstellung einer vorgegebenen Funktion auf dem Funktionsgenerator

		Diodenstrecken									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quadrant		I	I	I	II	III	III				
$\pm 250 V$		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
$\pm X$		+	+	+	+	-	-				
Diodenpolarität		S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21
		-	-	-	+	-	-				
Knickpunkt		S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
		K	K	K	K	A	A				
bezogene Anstiege		0,08	0,32	0,56	-0,08	-0,54	-0,84				
		$y_2(1)$	$y_3(1)$	$y_4(1)$	$y_5(-1)$	$y_6(-1)$	$y_7(-1)$				
		-0,17	+0,14	+0,40	+0,15	+0,04	0				
		$y_6(1)$	$y_7(1)$	$y_1(1)$							
		-0,28	-0,47								

Abb. 5.3.6. Tabelle zur Kurve der Abb. 5.3.5.

auf der Programmiertafel wird mit der Buchse MI verbunden. Das Instrument im Meßfeld wird als Nullinstrument möglichst im empfindlichsten Bereich verwendet. Nun wird der Einsatzpunktregler der Diodenstrecke so verstellt, daß der Ausschlag des Instrumentes gerade zu Null wird. Der Anstiegsregler wird nach Beendigung dieser Messung gegen den Uhrzeigersinn zum Anschlag gedreht. Auf diese Weise sind alle Knickpunkte festzulegen. Anschließend müssen mit den Anstiegsreglern nacheinander die Werte $y_n(+1)$ ($n = 0, \dots, i$) und $y_n(-1)$ ($n = i+1, \dots, 11$) eingestellt werden. Zur genauen Einstellung wird das Meßinstrument als Kompensationsinstrument verwendet. Eine Kontrolle der eingestellten Funktion mit der Funktion $x(t)=t-1$ ($0 \leq t \leq 2$) ist zweckmäßig.

Für die verschiedenen Arbeitsgänge bei der Einstellung des Funktionsgenerators gibt es selbstverständlich verschiedene Methoden und Wege mit verschiedenen Vor- und Nachteilen. So ist z.B. das oben beschriebene Verfahren der Einstellung der Anstiege bei $x = \pm 1$ im allgemeinen nicht anwendbar bei Anstiegen größer als 1. Im folgenden soll noch ein Verfahren skizziert werden, das sich einfacher und schneller durchführen läßt als das oben beschriebene. Die Approximation der vorgegebenen Kurve durch Geradenstrecken kann in gleicher Weise erfolgen. Es ist hier aber auch möglich, ohne vorbereitende Arbeiten, die Kurve einzustellen, indem man die Knickpunkte und Anstiege gleich aus der graphisch oder tabellarisch dargestellten Funktion abliest, allerdings nur dann, wenn man darauf verzichten kann, durch optimalste Lage der Diodenstrecken größtmögliche Genauigkeit zu erzielen.

Zur Einstellung verfahren man wie folgt:

- 1) Für eine bequeme Einstellung mit dem Kompensationsmeßgerät wird die Buchse "MJ" mit dem Wechselkontakt einer der Schalter S00, ..., S03, z.B. S00 verbunden, der Arbeits- bzw. Ruhekontakt mit einem der beiden Eingänge + und - x bzw. dem Ausgang des Funktionsgenerators.
(Dieselbe Möglichkeit bietet sich selbstverständlich über die freibeschaltbaren R- und S-Relaiskontakte an, wobei dann statt der Tasten S00 auf StFIV die Tasten "Rückstellen", "Rechnen" auf StFI zu betätigen sind).
- 2) Einstellung der Schalter des Funktionsgenerators wie oben beschrieben.
- 3) Sämtliche Einsatzpunktregler und der Regler "Nullpunktgerade" werden gegen den Uhrzeigersinn zum Anschlag, sämtliche Anstiegsregler im Uhrzeigersinn zum Anschlag gebracht.
- 4) Erzeugung und Aufschaltung der Knickpunktspannungen x_k wie oben beschrieben.

- 5) Mit dem Regler "additive Konstante" wird am Ausgang $\bar{y}(0) = a$ eingestellt.
 - 6) Taste S00 drücken, die dem Nullpunkt in einer bestimmten Richtung benachbarte Knickpunktspannung x_1 einstellen, Taste S00 lösen und am Ausgang mit dem Regler "Nullpunktgerade" $\bar{y}(x_1)$ einstellen.
 - 7) Den Einsatzpunktregler der zum Knickpunkt x_1 gehörigen Diodenstrecke im Uhrzeigersinn langsam aufdrehen, bis das auf $\bar{y}(x_1)$ kompensierte MeBinstrument gerade ausschlagen will. Knickpunkt x_2 einstellen und mit dem zur ersten Diodenstrecke gehörigen Anstiegsregler $\bar{y}(x_2)$ einregeln. In der gleichen Weise wird in der einmal eingeschlagenen Richtung der nächste Knickpunkt eingestellt usw.
- Ebenso verfährt man in der anderen x-Richtung.

5.4 Optimale Programmierung

Die mathematischen Operationen werden von den Recheneinheiten nur innerhalb eines bestimmten Spannungsbereiches durchgeführt. Daher müssen alle in dem Differentialgleichungssystem bzw. in der Differentialgleichung auftretenden Variablen in sogenannte Maschinenvariable überführt werden. Die durch eine solche Transformation aus dem vorgelegten System entstandenen Gleichungen werden Maschinengleichungen genannt. Die Maßstabtransformationen sind so zu wählen, daß einerseits die Arbeitsbereiche für die Maschinenvariablen nicht überschritten und andererseits weitgehend genutzt werden, um Genauigkeitsverluste zu vermeiden. Der Rechenspannungsbereich beträgt beim Analogrechner endim $2000 - 100 \text{ V} \leq U \leq + 100 \text{ V}$. In der Programmierskizze und in den Maschinengleichungen treten keine Spannungswerte auf, wenn man die maximale Arbeitsspannung 1 setzt (Maschineneinheit). Der Arbeitsbereich liegt somit zwischen -1 und +1.

Bei Schaltungen mit linearen Recheneinheiten läßt sich durch Maßstabtransformationen stets erreichen, daß der Arbeitsbereich sämtlicher Verstärker voll ausgenutzt wird. Eine volle Aussteuerung der Multiplikatoren ist im allgemeinen nicht möglich (siehe Beispiel 1).

Zur optimalen Aussteuerung aller Verstärker müssen die Lösungsfunktionen und deren Ableitungen außer den jeweils höchsten transformiert werden. Die höchsten Ableitungen treten nur an Integratoreingängen auf und können deshalb beliebige Werte annehmen.

Man unterscheidet Amplitudentransformation (für die abhängigen Variablen) und Zeittransformation (für die unabhängige Variable). Während also durch die Amplitudentransformation bezweckt werden soll, daß die Maschinenvariablen den Arbeitsbereich möglichst voll durchlaufen, ihn aber nicht überschreiten, dient die Zeittransformation dazu, die Koeffizienten der Maschinengleichungen größenordnungsmäßig in der Nähe von Eins, also etwa zwischen 0,1 und 10 zu erhalten.

Der Einfachheit halber wollen wir festlegen, daß die Variablen einer vorgelegten Aufgabe, die sogenannten Problemvariablen, mit kleinen Buchstaben bezeichnet seien, und annehmen, daß als unabhängige Variable stets die Zeit t auftrete. Im Unterschied dazu sollen die Maschinenvariablen mit großen Buchstaben bezeichnet werden. Mit den Problemvariablen sind sie durch lineare Beziehungen der Gestalt

$$x = m_x X, \quad y = m_y Y, \quad \dots$$

verknüpft, wobei die konstanten, dimensionsbehafteten Faktoren m_x, m_y, \dots als Maßstabsfaktoren bezeichnet werden. Sie werden bestimmt aus

$$m_x = |x|_{\max}, \quad m_y = |y|_{\max}, \quad \dots,$$

wobei die Maximalbeträge der Problemvariablen $x_{\max}, y_{\max}, \dots$

aus Abschätzungen oder aus einer am Rechner durchgeführten Ausgangsprogrammierung bekannt sein müssen. Für die Maschinenvariable X gilt daher wegen

$$X = \frac{x}{|x|_{\max}} \quad \text{stets } |X| \leq 1.$$

In gleicher Weise sind auch die Ableitungen zu transformieren. Allgemein soll für die i -te (außer der höchsten) Ableitung gelten:

$$x^{(i)} = m_x^{(i)} \cdot X^{(i)} \quad \text{mit } m_x^{(i)} = \frac{|x^{(i)}|}{\max} \quad (i = 1, 2, \dots, n-1).$$

Für die höchste, die n-te Ableitung, verwendet man zweckmäßigerweise folgende Substitution

$$x^{(n)} = m_x^{(n-1)} X^{(n)},$$

womit erreicht wird, daß die einzustellenden Koeffizienten direkt der amplitudentransformierten Maschinengleichung entnommen werden können.

Um die oben erläuterte Veränderung in der Größenordnung der Gleichungskoeffizienten zu bewirken, wird der Zeitmaßstab M_t eingeführt und man erhält für die Maschinenzeit T die Beziehung

$$T = M_t \cdot t.$$

Ist $M_t < 1$, so liegt eine Zeitraffung vor, während $M_t > 1$ einer Zeitdehnung entspricht. Bei der Einführung der Maschinenzeit T in die Differentialgleichung sind die Ableitungen nach der unabhängigen Variablen t entsprechend zu transformieren.

Für die erste Ableitung erhält man

$$\frac{d}{dt} = M_t \frac{d}{dT}.$$

Allgemein ergibt sich für die i-te Ableitung

$$\frac{d^i}{dt^i} = M_t^i \frac{d^i}{dT^i} \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Zu beachten ist, daß die vorgegebenen Anfangsbedingungen auch der Amplitudentransformation zu unterwerfen sind, während eine Zeittransformation keinen Einfluß auf die Anfangsbedingungen hat.

Zur Erläuterung des geschilderten Sachverhaltes soll die Differentialgleichung der gedämpften Schwingung

$$\ddot{y} + a\dot{y} + ky = 0,$$

$$\text{speziell } \ddot{y} + 9\dot{y} + 225y = 0$$

Maßstabtransformationen unterworfen werden.

Die Anfangsbedingungen seien

$$y(0) = y_0 = 4, \quad \dot{y}(0) = \dot{y}_0 = 45.$$

Um die Maximalbeträge m_y und $m_{\dot{y}}$ abzuschätzen, betrachten wir die Lösung der ungedämpften Schwingung

$$y = \frac{\dot{y}_0}{k} \sin kt + y_0 \cos kt = \sqrt{\left(\frac{\dot{y}_0}{k}\right)^2 + y_0^2} \cos \left(kt - \arctan \frac{\dot{y}_0}{ky_0}\right).$$

Es ist also

$$m_y = |y|_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\dot{y}_0}{k}\right)^2 + y_0^2} = \sqrt{\frac{2025}{225} + 16} = 5$$

und entsprechend

$$m_{\dot{y}} = |\dot{y}|_{\max} = 75.$$

Im Normalfall steht die Lösung zur Berechnung der Maximalwerte natürlich nicht zur Verfügung. In vielen Fällen wird aber der Bearbeiter die Maximalbeträge der Lösungsfunktion und ihrer Ableitungen größenordnungsmäßig aus der Aufgabenstellung heraus kennen. Sind jedoch keinerlei Anhaltspunkte über diese Werte vorhanden, muß versuchsweise eine Ausgangsprogrammmierung durchgeführt werden. Diese Ausgangsprogrammmierung ist dann brauchbar, wenn im interessierenden Zeitintervall keine der verwendeten Recheneinheiten übersteuert wird. Die Maximalwerte der Lösungsfunktionen werden gemessen, wobei eine grobe Bestimmung völlig ausreicht. Mit Hilfe dieser Maximalwerte kann eine optimale Programmierung durchgeführt werden.

Mit den Substitutionen

$$y = m_y Y = 5 Y \quad \text{und} \quad \dot{y} = m_{\dot{y}} \dot{Y} = 75 \dot{Y}$$

sowie der sich als zweckmäßig erweisenden Substitution

$$\ddot{y} = m_{\ddot{y}} \ddot{Y} = 75 \ddot{Y}$$

erhält man die Maschinengleichung

$$75 \ddot{Y} = -9 \cdot 75 \dot{Y} - 225 \cdot 5 Y$$

bzw. nach Division durch $m_{\ddot{y}} = 75$

$$\ddot{Y} = -9 \dot{Y} - 15 Y. \tag{1}$$

Zusätzlich gilt die sich aus den Substitutionen ergebende Beziehung

$$Y = \frac{1}{m_y} (y_0 + m_{\dot{y}} \int_0^t \dot{Y} dt) = Y_0 + 15 \int_0^t \dot{Y} dt, \tag{2}$$

und die neuen Anfangsbedingungen lauten

$$Y_0 = \frac{y_0}{m_y} = 0,8 \quad \text{und} \quad \dot{Y}_0 = \frac{\dot{y}_0}{m_{\dot{y}}} = 0,6. \tag{3}$$

Aus den Relationen (1), (2) und (3) läßt sich in sehr einfacher Weise eine vorläufige Programmierskizze ableiten (s. Abb. 5.4.1).

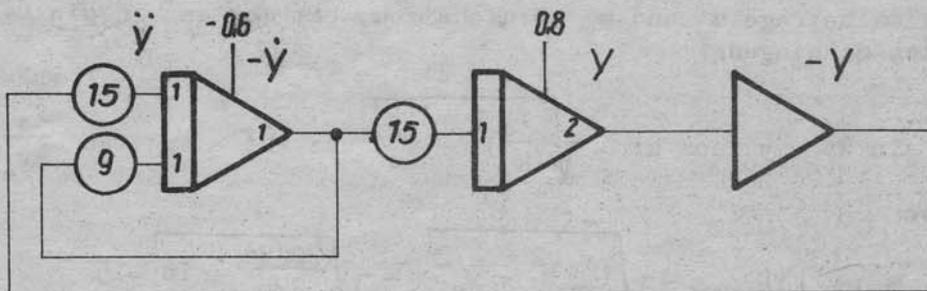


Abb. 5.4.1

Während die Rückführungskoeffizienten vor dem ersten Integrator direkt aus der Maschinengleichung (1) übernommen werden können, sind die Koeffizienten innerhalb der Integratorkette den Beziehungen (2) (bei Differentialgleichungen höherer Ordnung erhält man entsprechend mehr derartige Beziehungen) zu entnehmen.

Die Forderung über die Größenordnung der Koeffizienten soll mit Hilfe der Zeittransformation erfüllt werden. Mit

$$T = M_t \cdot t$$

geht die Maschinengleichung (1) in

$$M_t^2 \frac{d^2 Y}{dT^2} = -9 M_t \frac{dY}{dT} - 15 Y$$

über. Die dieser Gleichung entsprechende Programmierskizze zeigt Abb. 5.4.2, die sich gegenüber der in Abb. 5.4.1 lediglich dadurch unterscheidet, daß vor jedem Integrator zusätzlich der Faktor $\frac{1}{M_t}$ eingefügt wurde.

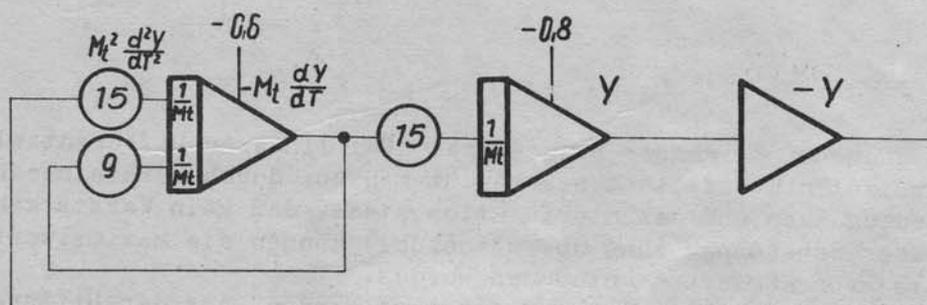


Abb. 5.4.2

Zum Zeitpunkt $t = T = 0$ stimmen die Einstellwerte für die Anfangsbedingungen mit denen der keiner Zeittransformation unterworfenen Schaltung überein, denn es gilt beispielsweise

$$M_t \frac{d}{dT} Y(0) = M_t \frac{1}{M_t} \frac{d}{dt} Y(0) = \dot{Y}_0$$

Man braucht also die Maschinenzeit T und die Ableitungen $\frac{d^n}{dT^n}$ nicht in die Maschinengleichung zu übernehmen, sondern berücksichtigt den Zeitmaßstab, indem man die Koeffizienten vor jedem Integrator mit dem Faktor $\frac{1}{M_t}$ multipliziert.

Die Einstellwerte für die Anfangsbedingungen bleiben dabei unverändert.

Die Wahl des Zeitmaßstabes M_t hat anschließend so zu erfolgen, daß alle Koeffizienten einstellbar werden und möglichst weitgehend die Forderung erfüllen, Werte in der Nähe von Eins anzunehmen.

In obigem Beispiel wird mit $M_t = 15$ dieser Forderung am besten entsprochen, denn zwei Koeffizienten nehmen den optimalen Wert 1 und der dritte den Wert 0,6 an. Man erhält also die in Abb. 5.4.3 gezeigte optimale Rechenschaltung, zu deren Realisierung insgesamt nur 3 Potentiometer benötigt werden.

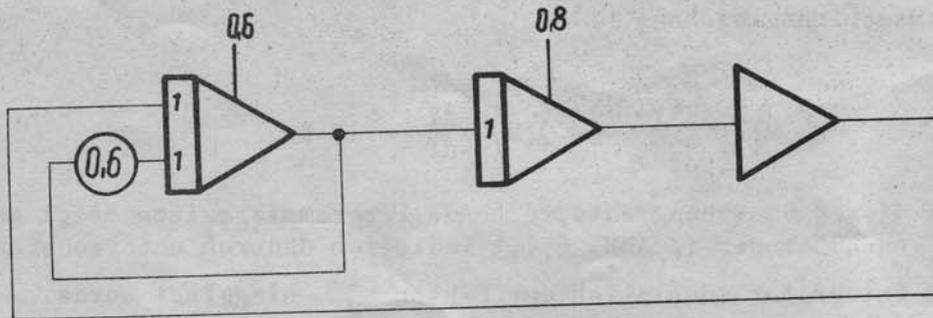


Abb. 5.4.3

Es sei noch auf folgendes hingewiesen: Bei linearen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten erreicht man nur durch Verkleinerung der Anfangsbedingungen und der Störfunktion stets, daß kein Verstärker übersteuert. Aus dieser Schaltung (ohne Übersteuerung) können die Maximalwerte für die optimale Programmierung entnommen werden. Diese Behauptung soll formelmäßig belegt werden. Aus der Differentialgleichung

$$y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = f(t)$$

erhält man mit $y^{(i)} = m_i Y^{(i)}$, $m_i = \left| y^{(i)} \right|_{\max}$ ($i = 0, 1, \dots, n-1$)

die normierte Differentialgleichung

$$\frac{y^{(n)}}{m_{n-1}} = Y^{(n)} = - (a_{n-1} Y^{(n-1)} + a_{n-2} \frac{m_{n-2}}{m_{n-1}} Y^{(n-2)} + \dots + a_1 \frac{m_1}{m_{n-1}} Y' + a_0 \frac{m_0}{m_{n-1}} Y) + \frac{f(t)}{m_{n-1}}$$

Wählt man jetzt $m_i = m$ ($i = 0, 1, \dots, n-1$) ergibt sich:

$$Y^{(n)} = - (a_{n-1} Y^{(n-1)} + a_{n-2} Y^{(n-2)} + \dots + a_1 Y' + a_0 Y) + \frac{f(t)}{m}$$

$$Y^{(i)}(0) = \frac{y^{(i)}(0)}{m} \quad (i = 0, 1, \dots, n-1)$$

Aus dieser Gestalt der Differentialgleichung ist ersichtlich, daß man sie in der ursprünglichen Form programmieren kann und nur die Anfangsbedingungen und die Störfunktion solange verkleinern muß, bis sämtliche Rechenspannungen zwischen -100 V und +100 V liegen.

Im folgenden sei noch kurz auf Gründe verwiesen, die gegen eine generelle Anwendung der optimalen Programmierung sprechen.

So ist es nicht in jedem Falle sinnvoll, alle Verstärker voll auszusteuern. Bei Parametervariationen (siehe Beispiel 4) interessieren oft die Größenverhältnisse der Lösungen untereinander, die durch volle Aussteuerung verwischt werden und erst durch nachträgliche Auswertung wieder zugänglich sind. Des weiteren kann sich die Zahl der einzustellenden Koeffizienten pro Parameterwert und damit die Potentiometerzahl derart unnötig vergrößern, so daß der Mehraufwand der optimalen Programmierung in keinem Verhältnis zum Genauigkeitsgewinn steht.

Bei reinen Simulationen, das heißt bei Rechnungen in der Echtzeit, engen sich die Möglichkeiten, um günstige Einstellwerte für die Koeffizienten zu erhalten, weitgehend ein. Lediglich durch die umschaltbaren Integrationskondensatoren verfügt man über einen kleinen Spielraum, um die Forderung nach einstellbaren Koeffizienten zu erfüllen.

5.5 Programmierbeispiele

Beispiel 1: Erzeugung der Störfunktion $f(t) = e^{-t}t$

Die häufig benötigte Störfunktion $f(t) = e^{-t}t$ kann durch Multiplikation der Funktionen $u(t) = e^{-t}$ und $v(t) = t$ oder durch Lösen der Differentialgleichung

$$\ddot{f} + 2\dot{f} + f = 0 \quad \text{mit} \quad f(0) = 0 \quad \text{und} \quad \dot{f}(0) = 1$$

gewonnen werden.

Im ersten Fall gewinnt man die Funktionen $u(t)$ bzw. $v(t)$ jeweils als Lösung der Differentialgleichungen

$$\dot{u} + u = 0 \quad \text{mit} \quad u(0) = 1$$

bzw. $\dot{v} = 1 \quad \text{mit} \quad v(0) = 0$

Mit $|u|_{\max} = 1$, $|v|_{\max} = t_{\max}$ ergibt sich die Schaltung a) der Abb. 5.5.1.

Für den zweiten Fall erhält man nach der Amplitudentransformation mit

$|f|_{\max} = e^{-1}$ und $|\dot{f}|_{\max} = 1$ die Maschinengleichung

$$\ddot{F} = -2\dot{F} - \frac{1}{e} F,$$

und die zugehörige Schaltung zeigt Abb. 5.5.1 b).

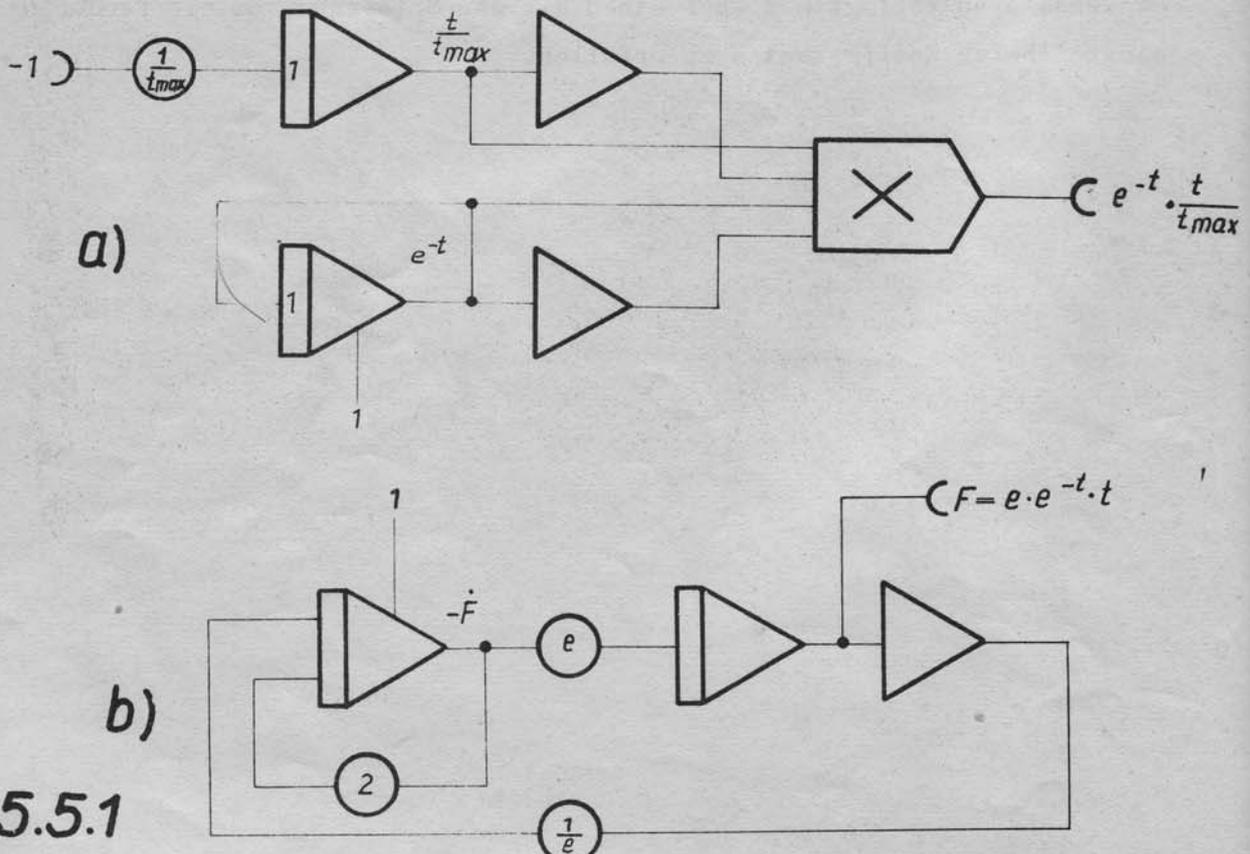


Abb. 5.5.1

Die Schaltung a) benötigt eine größere Zahl von Recheneinheiten und erlaubt keine Aussteuerung des Multiplikators (die Maximalwerte der Funktionen $u(t)$ und $v(t)$ fallen zeitlich nicht zusammen). Außerdem ist der Maximalwert der Funktion $v(t)$ von der Rechenzeit abhängig. Die Schaltung b) besitzt nur lineare Recheneinheiten, die voll angesteuert werden. Sie ist demnach die vorteilhaftere Schaltung zur Erzeugung der Störfunktion $f(t) = e^{-t}$.

Beispiel 2: Rechnen mit periodischem Halt

Diese Betriebsart für Analogrechner kann auf der Programmiertafel programmiert werden. Neben den üblichen Elementen sind dafür 2 Komparatoren, ein steuerbarer Integrator und zwei R-Relaiskontakte erforderlich. Die Steuerungsspannungen sind bei beiden Komparatoren gleich, so daß nur ein Komparator mit zwei Kontakten nötig wäre. Mit Hilfe der R-Relaiskontakte und der zugänglichen Steuerrelais des Integrators wird erreicht, daß sich nach dem Verriegeln alle Integratoren auf die Anfangswerte aufladen und daß nach Betätigung der Rechentaste (R-Relais schaltet) ein ständiger Wechsel zwischen Rechnen und Unterbrechen stattfindet. Im linken Teil der Schaltung (s. Abb. 5.5.2) werden eine Rechteckschwingung (Komparator- oder Inverterausgang) und Dreieckschwingung (Integratorausgang) zur Steuerung des rechten Komparators erzeugt. Dieser verbindet abwechselnd die Buchsen Re und Un der Programmiertafel mit Masse und erzwingt dadurch die Betriebszustände Rechnen und Unterbrechen. Der Rechenvorgang wird mit der Taste Rückstellen beendet (R-Relais schaltet). Die Zeitdauer für den Rechen- bzw. Halttakt ist mit Potentiometern einstellbar.

Es gilt:

$$t_R = \frac{2}{\beta + a} \text{ sec} \quad , \quad t_H = \frac{2}{\beta - a} \text{ sec} \quad .$$

Bei vorgegebenen t_R und t_H erhält man für die an den Potentiometern einzustellenden Werte:

$$\beta = \frac{1}{t_R} + \frac{1}{t_H} \quad , \quad a = \frac{1}{t_R} - \frac{1}{t_H} \quad .$$

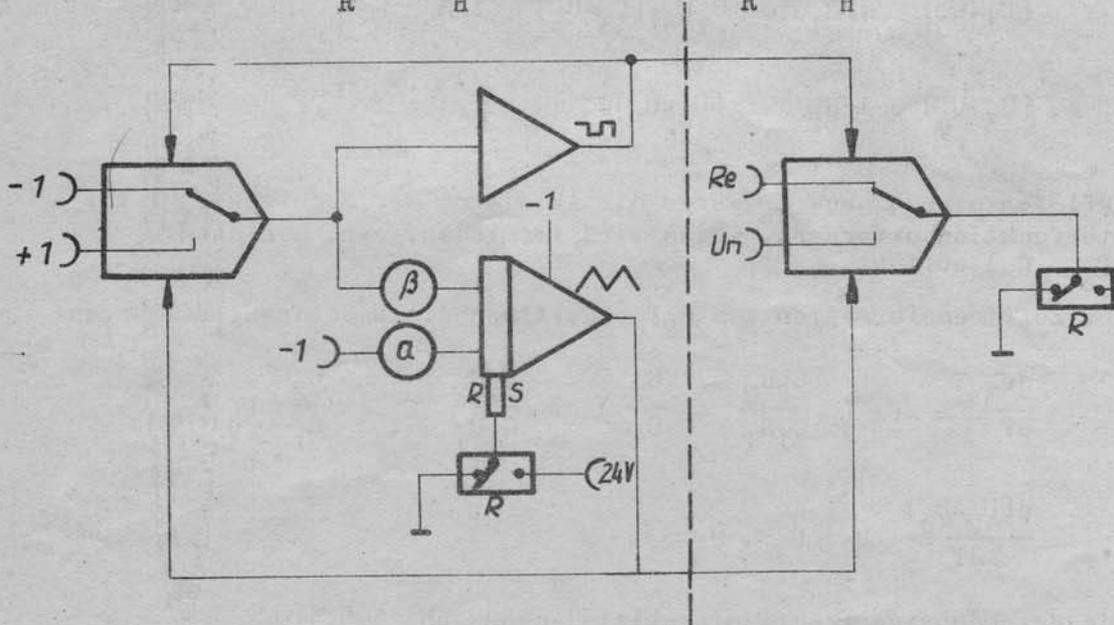


Abb. 5.5.2

Beispiel 3: Nachbildung eines elektrischen Netzwerkes

Die folgende Schaltung (s. Abb. 5.5.3) soll mit dem Analogrechner simuliert werden:

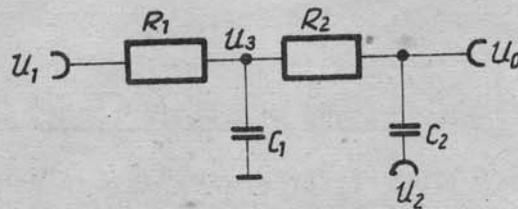


Abb. 5.5.3

$$U_1 = \begin{cases} -1 & \text{für } 2nT_1 \leq t < (2n+1)T_1 \\ 0 & \text{für } (2n+1)T_1 \leq t < (2n+2)T_1 \end{cases}$$

$$U_2 = \begin{cases} +1 & \text{für } nT_1+a \leq t < nT_1+T_2+a \\ 0 & \text{für } nT_1+T_2+a \leq t < (n+1)T_1+a \end{cases}$$

$$n=0, 1, \dots ; \quad 0 \leq a \leq T_2/2 ; \quad 6T_2=T_1=6\mu\text{s}$$

Es interessieren nur die positiven Lösungsanteile von U_0 .

Die Impulse der Impulsfolge U_2 sollen bei Anliegen einer negativen Spannung am Eingang U_1 möglichst vollständig übertragen, bzw. bei Nichtanliegen einer Spannung unterdrückt werden. Bei Anliegen einer Impulsfolge U_1 am Eingang U_1 soll also jeder Impuls der Folge U_2 mit geradem n möglichst vollständig übertragen werden, während jeder mit ungeradem n unterdrückt werden soll. Deshalb werden die Differentialgleichungen für das Problem aufgestellt:

$$(U_1 - U_3) \cdot 1/R_1 = C_1 \dot{U}_3 + (U_3 - U_0) \cdot 1/R_2$$

$$(U_3 - U_0) \cdot 1/R_2 = (\dot{U}_0 - \dot{U}_2)C_2$$

Ein Auflösen nach \dot{U}_3 und \dot{U}_0 würde die Ableitung der Rechteckimpulsfolge U_2 als Störfunktion erfordern. Dies wird vermieden, wenn man nach \dot{U}_3 und $(\dot{U}_0 - \dot{U}_2)$ auflöst.

Mit der Zeittransformation $t=R_2C_2T$ erhält man die Maschinengleichungen

$$\frac{dU_3}{dT} = -U_3 \left(\frac{C_2R_2}{C_1R_1} + \frac{C_2}{C_1} \right) + \frac{C_2R_2}{C_1R_1} U_1 + \frac{C_2}{C_1} U_0$$

$$\frac{d(U_2 - U_0)}{dT} = U_0 - U_3$$

und die dazugehörige Programmierskizze gemäß Abb. 5.5.4.

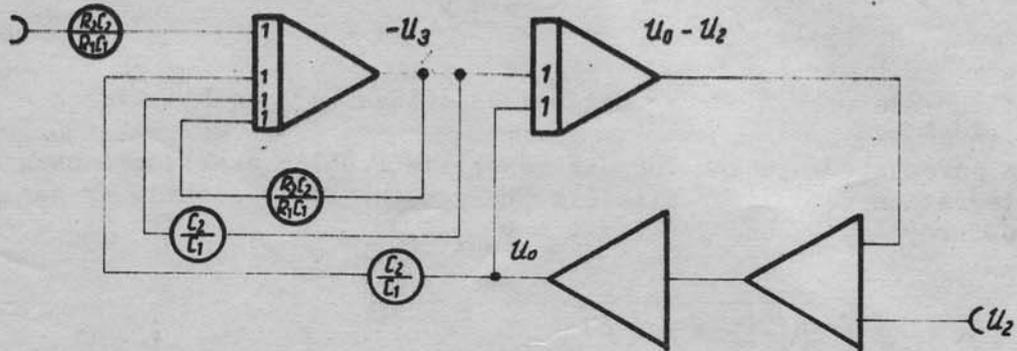


Abb. 5.5.4

Die Anfangsbedingungen sind für die beiden Integratoren Null. Eine Amplitudentransformation ist wegen der fast ausgesteuerten Verstärker überflüssig. Durch die Zeittransformation wird das Problem in den Frequenzbereich des Rechners transformiert. Beim Analogrechner endim 2000 muß besonders darauf geachtet werden, daß die Rechenfrequenzen den zulässigen Bereich nicht überschreiten.

Die Impulsfunktionen U_1 und U_2 werden mit Hilfe von Komparatoren erzeugt, die von Sinusfunktionen gesteuert werden (s. Abb. 5.5.5). Die Sinusfunktionen werden mit zwei Schwingkreisen gebildet.

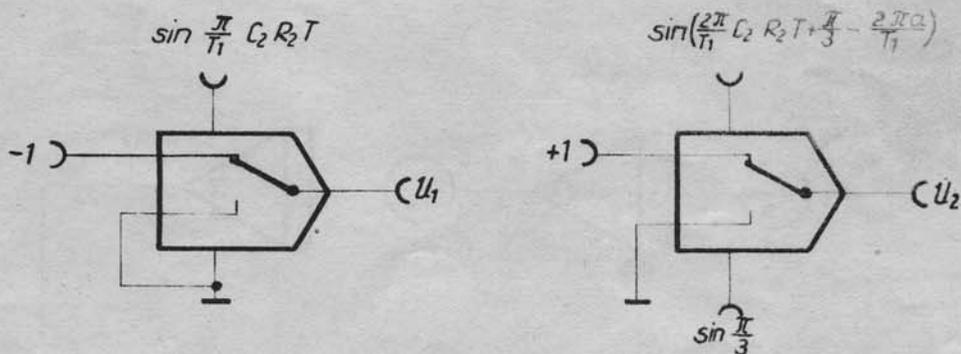


Abb. 5.5.5

Zur qualitativen Auswertung können die Integrale über den erwünschten und den unerwünschten Impuls mit einem Integrator und einem Komparator bestimmt werden.

Dabei ist zu beachten, daß die Integration nur über positive Lösungsanteile von U_0 geführt wird, da nur diese interessieren (Abblockung der negativen Anteile durch Dioden oder Komparatoren).

Beispiel 4 : Pendelschwingung

Die Schwingungsgleichung

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = - \sin y$$

ist für die verschiedenen Maximalausschläge ($y_{\max} = k\pi/12$; $k = 1, 2, \dots, 12$) zu lösen.

Die Anfangsbedingungen für das gestellte Problem erhält man nach einmaliger Integration der Differentialgleichung unter Berücksichtigung der Beziehungen $y=0$ für $\dot{y} = \dot{y}_{\max}$ und $\dot{y}=0$ für $y = y_{\max}$.

$$\dot{y} = \sqrt{2(\cos y + A)}$$

$$A = - \cos y_{\max} = - \cos k\pi/12$$

$$y(0)=0 \quad \dot{y}(0) = m_1 = \sqrt{2-2 \cos k\pi/12}$$

Die Maximalwerte für y und \dot{y} sind demnach in Abhängigkeit von k bekannt. Es gilt:

$$m_{0k} = k\pi/12$$

$$m_{1k} = \sqrt{2-2 \cos k\pi/12}$$

Zur Lösung kann ein Funktionserzeuger für $\sin y$ oder die Differentialgleichung $z'' + z(y) = 0$ mit $z(0) = 1$ und $z'(0) = 0$, die $\sin y$ liefert ($z' = - \sin y$), verwendet werden. Für beide Möglichkeiten werden die Programmskizzen angegeben (s. Abb. 5.5.6 und Abb. 5.5.7).

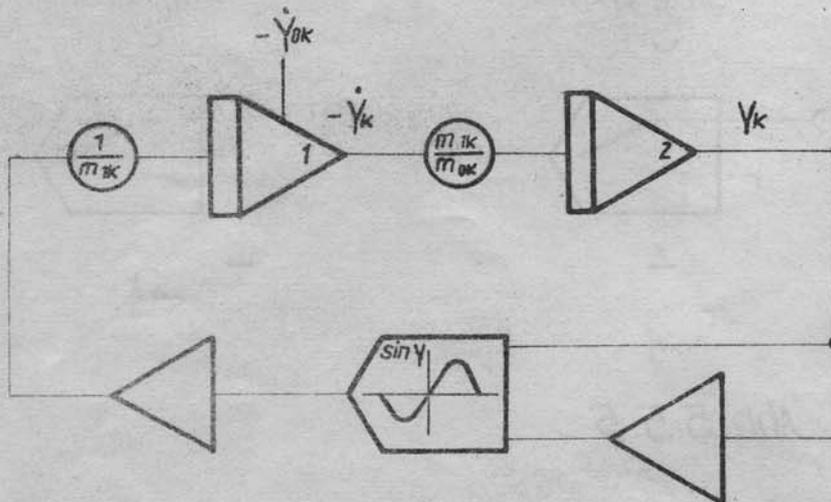


Abb. 5.5.6

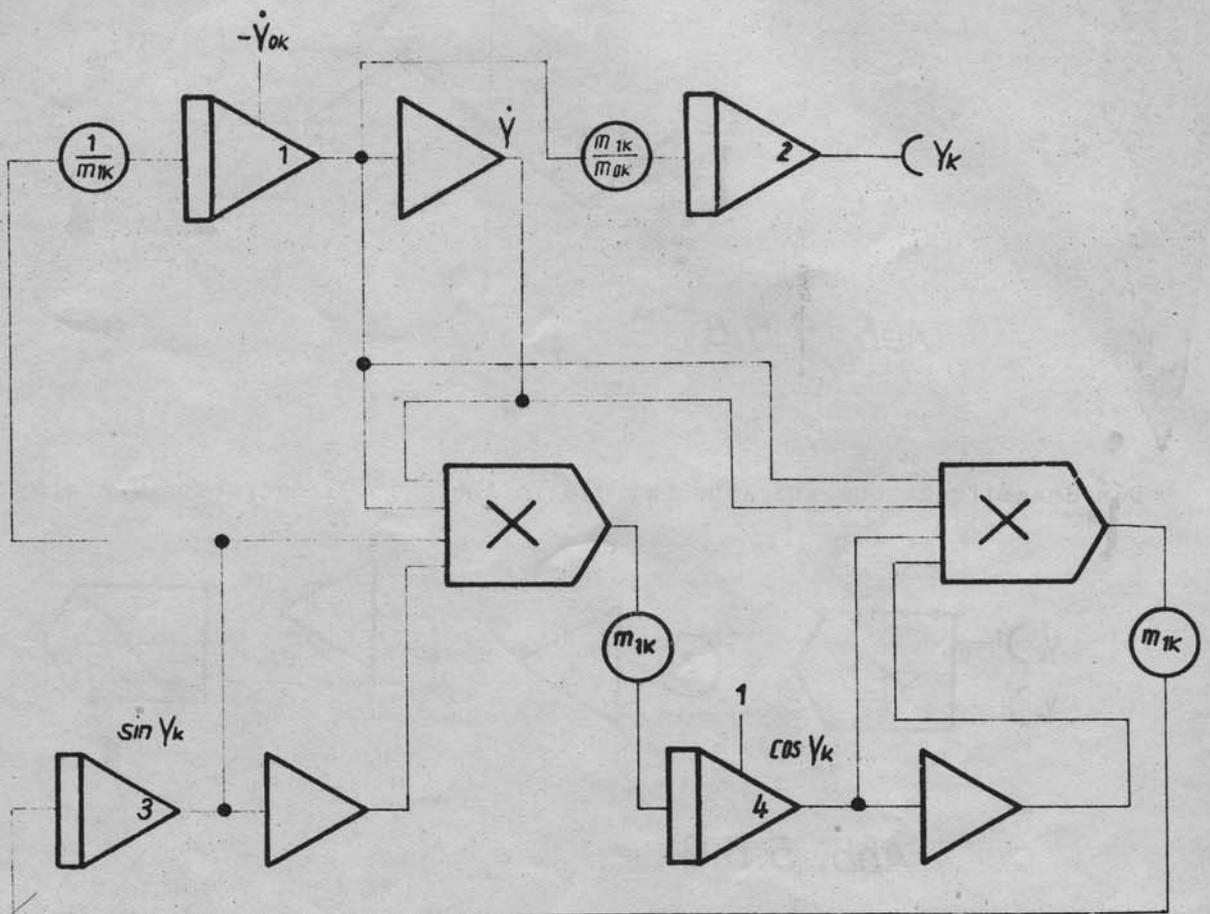


Abb 5.5.7

Die 1. Schaltung benötigt weniger Recheneinheiten und ist in sich geschlossen. Es sind beliebige Anfangsbedingungen möglich. Der Funktionserzeuger setzt allerdings eine Grenze für den Maximalausschlag. Mit genügender Genauigkeit kann mit einem Funktionserzeuger nur $\sin y$ mit $-\pi/2 \leq y \leq \pi/2$ gebildet werden. Durch Vorschalten eines weiteren Funktionserzeugers mit der in Abb. 5.5.8 dargestellten Charakteristik kann diese Schwierigkeit beseitigt werden.

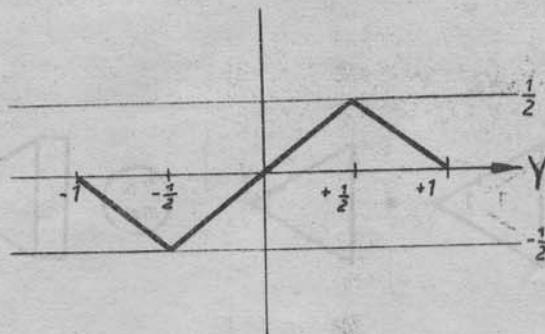


Abb. 5.5.8

Der Gesamtfunktionsgenerator hat die in Abb. 5.5.9 angegebene Gestalt:

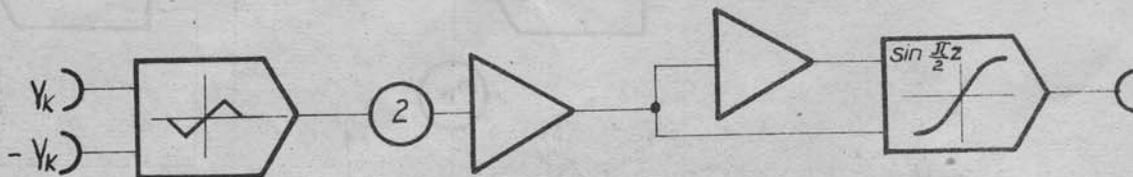


Abb. 5.5.9

Bei der 2. Schaltung unterliegt der Maximalausschlag keinen einschränkenden Bedingungen und neben $\sin y$ wird gleichzeitig noch $\cos y$ geliefert. $\dot{y}(0)$ muß unbedingt verschieden von Null sein. Der Integrator 2 ist in der Schaltung nicht rückgekoppelt und bedingt dadurch ein ungünstiges Fehlerverhalten. Die 2. Schaltung stellt außerordentlich große Anforderungen an die Genauigkeit der Multiplikatoren. Die 1. Schaltung liefert deshalb für das gestellte Problem genauere Resultate. Bei einer optimalen Programmierung für jedes k müßte man in der 1. Schaltung 2 Potentiometer und die Funktionsgeneratoren und in der 2. Schaltung 4 Potentiometer für jeden Parameterwert einstellen. Die Einstellung der Funktionsgeneratoren in Abhängigkeit von k wird man wegen des Zeitaufwandes in jedem Falle vermeiden. Um bei der gestellten Aufgabe Vergleichsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Lösungen zu erhalten, wird man die Variablen auf die "maximalen" Maximalbeträge ($m_{0kmax} = \pi$, $m_{1kmax} = 2$) normieren und auf die optimale Programmierung der einzelnen Lösungen verzichten. In Abhängigkeit von k ist dann nur noch ein Potentiometer zu variieren ($Y_k(0)$).

Beispiel 5 : Die van der Polsche Differentialgleichung - Fourieranalyse

Für die stationäre Lösung der van der Polschen Differentialgleichung

$$\ddot{y} - a(1-y^2)\dot{y} + y = 0 \quad (a=2)$$

soll eine Fourieranalyse durchgeführt werden.

Während man bei linearen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten, wie bereits im Abschnitt 5.4 gezeigt wurde, stets durch Verkleinerung der Anfangsbedingungen und der Störfunktion eine übersteuerungsfreie Schaltung erhält, aus der die Maximalwerte für die optimale Programmierung entnommen werden können, gelangt man bei nichtlinearen Differentialgleichungen auf diese Weise im allgemeinen zu keiner optimalen Schaltung.

Da die stationäre Lösung der van der Polschen Differentialgleichung unabhängig von den Anfangsbedingungen ist, müssen die Maßstabsfaktoren direkt am Rechner variiert werden.

Mit $\dot{Y} = \frac{\dot{y}}{m_1}$ und $Y = \frac{y}{m_0}$ erhält man die Maschinengleichung

$$\frac{\ddot{Y}}{m_1} = \ddot{Y} = a \dot{Y} - a m_0^2 Y^2 \dot{Y} - \frac{m_0}{m_1} Y,$$

aus der sich die Rechenschaltung (s. Abb. 5.5.10) ableiten läßt.

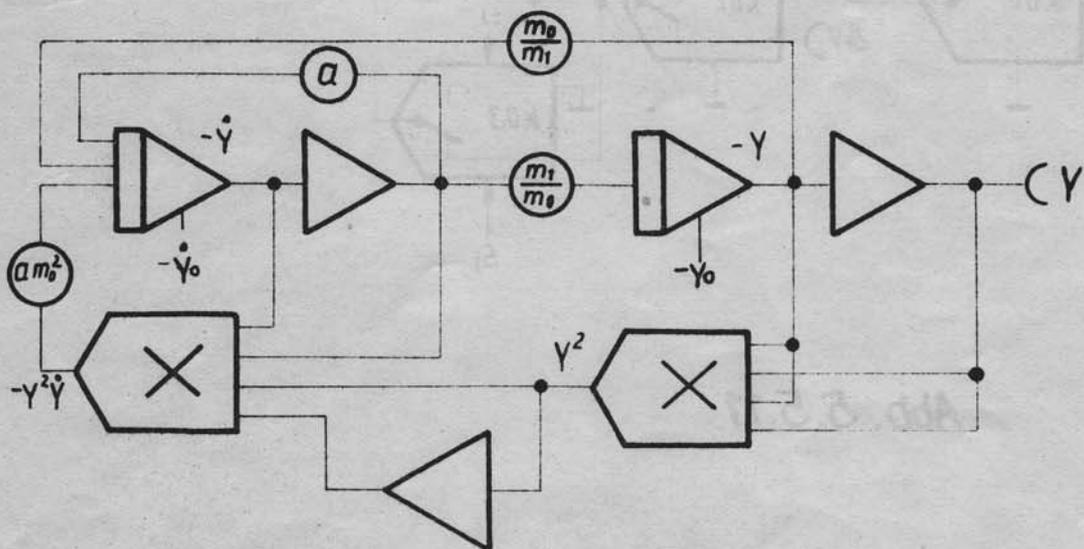


Abb. 5.5.10

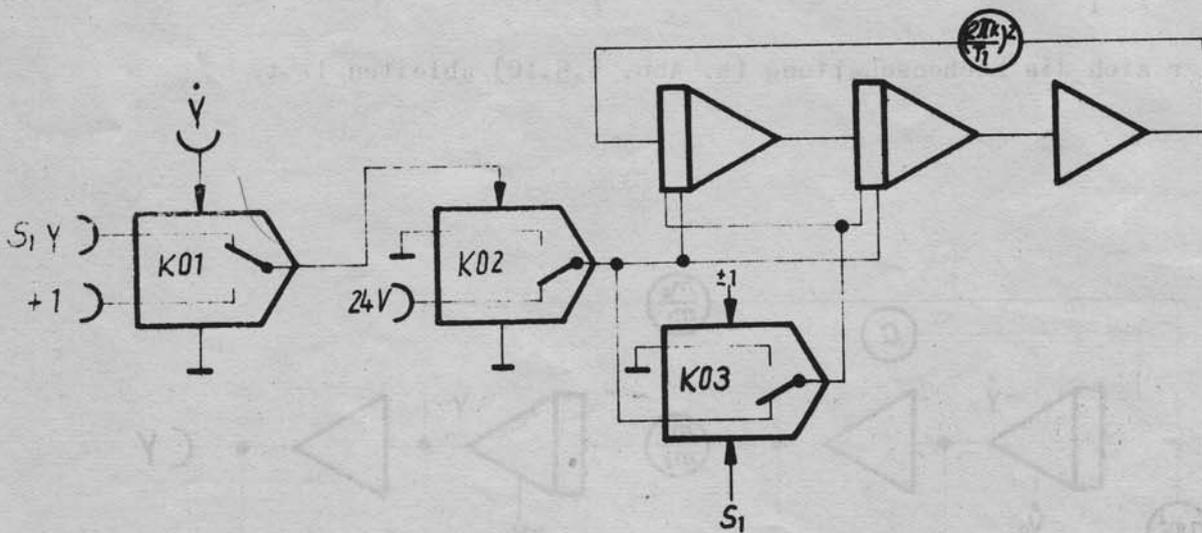
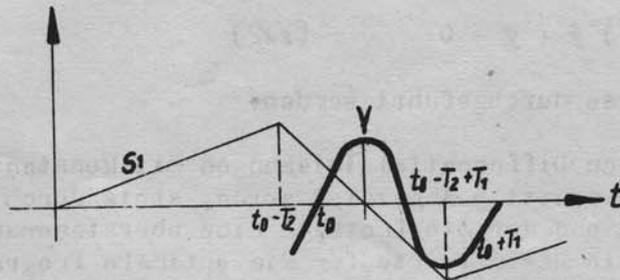


Abb. 5.5.11

Aus der Gleichung ist ersichtlich, daß die Maßstabsfaktoren durch Gleichsetzen nicht wie bei linearen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten aus der Maschinengleichung verschwinden. Bei bekanntem m_0 ($= 2$) ist m_1 so zu verändern, daß keine Übersteuerung auftritt.

Die Fourierkoeffizienten gewinnt man durch Lösen der Differentialgleichung

$$\frac{d^2 f}{dt^2} + \left(\frac{2\pi k}{T_1}\right)^2 f = Y \quad \text{mit } \dot{f}(0) = f(0) = 0$$

Über eine Periode ($t_0 \leq t \leq t_0 + T_1$) der stationären Lösung.

Die Endwerte $\dot{f}(t_0 + T_1)$ und $f(t_0 + T_1)$ sind den Fourierkoeffizienten proportional. Um aus der Gesamtlösung nur eine Periode der stationären Lösung auszublenzen, ist eine besondere Steuerschaltung nötig. Die hier benutzte Steuerschaltung benötigt 4 Komparatoren (s. Abb. 5.5.11). Der Komparator K 00 erzeugt einen Sägezahn S_1 . Mit Hilfe des Produktes $S_1 Y$ und des Komparators K 01 wird erreicht, daß der Schwingkreis zum Zeitpunkt $t = t_0$ mit der Rechnung beginnt und zum Zeitpunkt $t = t_0 + T_1$ die Rechnung beendet. Der Komparator K 03 wird durch die Sägezahnschaltung gesteuert und bewirkt, daß die Integratoren des Schwingkreises zum Zeitpunkt $t = t_0 + T_1$ auf Halt gestellt werden. Die Endwerte stehen kurzzeitig zur Verfügung. Bei repetierender Arbeitsweise kann die Rechenzeit so gewählt werden, daß der Rechentakt beendet ist, bevor der Komparator K 02 erneut schaltet. Die Endwerte können von einem Taktspeicher übernommen werden und stehen im nächsten Rechentakt noch zur Verfügung. Schaltet man mit Hilfe des Drehwählers für jeden Rechentakt ein neues Potentiometer in den Schwingkreis ($(2\pi k/T_1)^2$), so können nacheinander die Fourierkoeffizienten bestimmt und bei Vorhandensein eines Digitalvoltmeters mit angeschlossenem Meßwertdrucker ausgedruckt werden.

5.6 Testschaltungen

Im folgenden sind eine Anzahl von Testschaltungen zusammengestellt, die geeignet sind, die wichtigsten Aussagen über Genauigkeit und Betriebsverhalten elektronischer Analogrechner zu geben.

Testschaltung 1 : Ermittlung der relativen mittleren Genauigkeit der Bewertungsfaktoren bei linearen Rechenelementen

Literatur: A. Kley, Testschaltungen zur Beurteilung von Rechenverstärkern, Elektronische Rundschau 14 (1960) 10, S.403-404.

Theoretische Grundlagen:

Die nebenstehend angegebene Rechenschaltung hat die Maschinengleichung

$$\ddot{U} + w^2 U = 0 \quad \text{mit}$$

$w = \sqrt{k_1 k_2 a}$, wobei die Istwerte der Bewertungsfaktoren k_{i0} bzw. a_0 um die Fehler ξ_i abweichen:

$$k_i = k_{i0} (1 + \xi_i), \quad i = 1, 2$$

$$a = a_0 (1 + \xi_3).$$

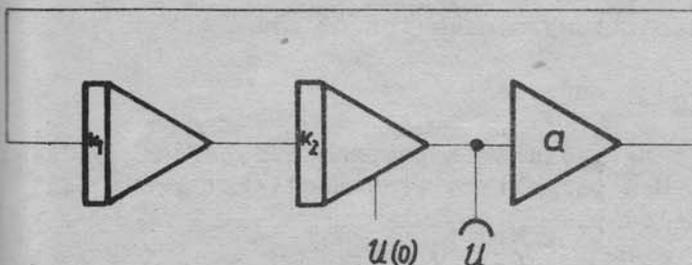


Abb. 1

Mit $k_1 = k_2$, $a = 1$ und $\xi_i \ll 1$ ergibt sich als Frequenzfehler

$$|\Delta w| = w - |w_0| \leq \frac{w_0}{2} (|\xi_1| + |\xi_2| + |\xi_3|) \leq \frac{w_0}{2} \cdot 3\xi,$$

mit

$$\xi = \max_{(i)} |\xi_i|.$$

Betrachtet man eine zweite gleichwertige Rechenschaltung, so erhält man als maximale gegenseitige Frequenzabweichung

$$2|\Delta w| \leq 3w_0 \xi.$$

Betrachtet man die beiden Funktionen $U_1(t)$ und $U_2(t)$ als $U_1(U_2)$ auf einem Registriergerät, so läßt sich ansetzen

$$U_1(t) = U(0) \cdot \cos w_1 t$$

$$U_2(t) = U(0) \cdot \cos (w_1 + 2w) t, \text{ dabei gilt}$$

$$|\delta w| \leq |\Delta w|$$

Man ermittelt nunmehr die kleinste Zeit t' , die zwischen dem Erscheinen zweier Geraden vergeht unter Vertauschung möglichst aller Eingänge und aller Verstärker. Für die Verstärkerkombination, die t' liefert, gilt näherungsweise

$$|\delta w'| \approx |\Delta w|$$

Für t' gilt bei U_1 und U_2 :

$$w_1 t' = n \cdot \pi \quad n = 1, 2, \dots$$

$$(w_1 + 2\Delta w) t' = (n + 1)\pi$$

$$t' = \frac{\pi}{2\Delta w} \quad \text{und}$$

$$\xi \geq \frac{\pi}{3w_0} \cdot \frac{1}{t'} \quad \text{bzw.}$$

$$\xi \geq \frac{1.05}{w_0} \cdot \frac{1}{t'}$$

Testvorschrift:

Man schalte zwei identische Rechenschaltungen nach Abb. 1 mit

$$U_1(0) = 1, \quad \text{bilde } U_1(U_2) \quad \text{auf dem}$$

Oszillografen ab und messe die Zeit t_j , die zwischen dem Erscheinen von zwei (sich kreuzenden) Geraden vergeht. Man permutiere eine möglichst große Zahl von Verstärkereingängen und ermittle

$$t' = \min_{(j)} t_j.$$

Für dieses t' erhält man im Diagramm 1 eine untere Schranke für die maximale Abweichung der Bewertungsfaktoren voneinander.

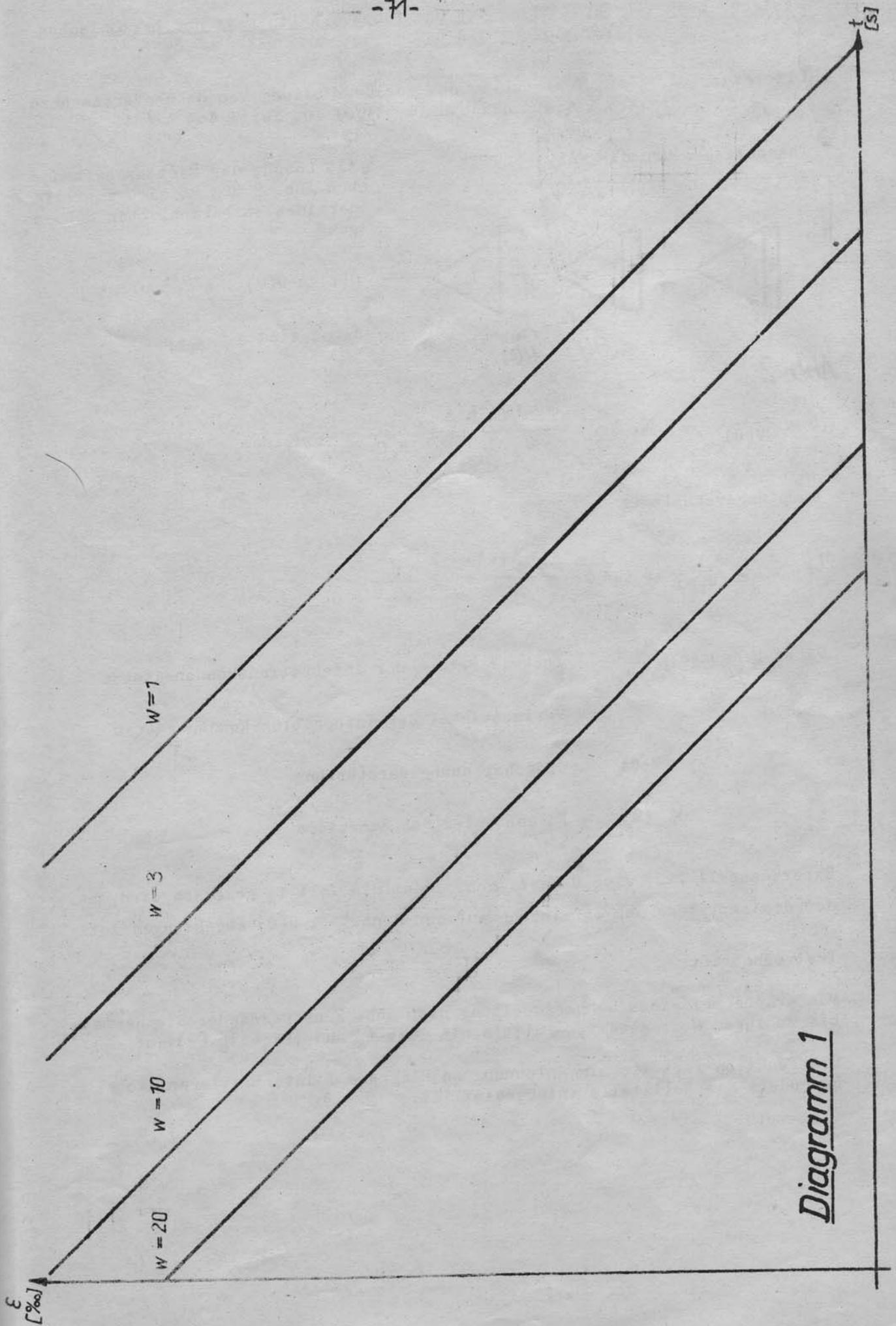
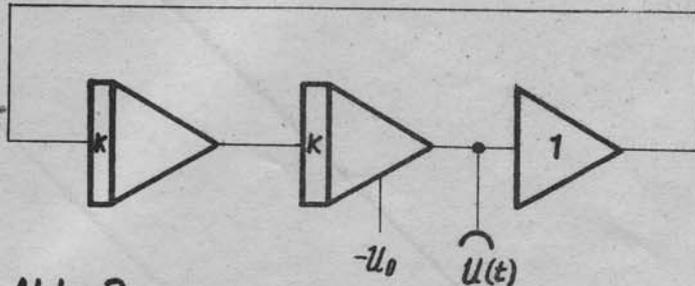


Diagramm 1

Testschaltung 2 : Ermittlung des Dämpfungsverhältnisses der harmonischen Schwingung

Literatur: A. Kley, Testschaltungen zur Beurteilung von Rechenverstärkern, Elektronische Rundschau 14 (1960) 10, Seite 403 - 404.

Theoretische Grundlagen:



Als Lösung der Rechenschaltung von Abb. 2 ergibt sich anstelle der idealen harmonischen Schwingung

$$U(t) = U(0) \cdot e^{-\beta t} \cos \omega t,$$

dabei sind $\omega = k$ und

Abb. 2

$$\beta = \frac{\omega}{V(0)} + \omega \left(\tan \delta - \frac{\varphi_s(\omega)}{2} \right) + \frac{1}{R_L C} \quad \text{bzw. das}$$

Dämpfungsverhältnis

$$\eta = \frac{\beta}{\omega} = \frac{1}{V(0)} + \tan \delta - \frac{\varphi_s(\omega)}{2} + \frac{1}{\omega R_L C}$$

Dabei bedeuten: R_L = Leckwiderstand der Integrationskondensatoren

= Verlustwinkel der Integrationskondensatoren

$V(0)$ = Gleichspannungsverstärkung

$\varphi_s(\omega)$ = Phasenfehler des Summators

Experimentell läßt sich β bestimmen, indem die Zeit t_e gemessen wird, bei der die Amplitude der Schwingung auf den Wert $\frac{1}{e} \cdot U(0)$ abgeklungen ist.

Testvorschrift:

Man erhöhe bei einer Rechenschaltung nach Abb. 2 nacheinander die Werte k bis zu ihrem Maximalwert, ermittle die Zeit t_e und trage $\eta(\omega)$ auf.

Die Funktion läßt sich in Anlehnung an Diagramm 1 interpretieren, wobei besonders die Nullstelle interessant ist.

Testschaltung 3a: Direkte Messung des Nullpunktfehlers mit kleinem Eingangswiderstand

Literatur: A. Kley; Die Fehlerwirkung des Operationsverstärkers im Analogrechner; Telefunken Zeitung Jg 30 (Juni 1957) Heft 116.

Theoretische Grundlagen:

Es seien :

u_D : Driftspannung

U_o : Ausgangsspannung

R_o : Rückkopplungswiderstand

R_g : Gitterableitwiderstand

R : Meßwiderstand

$$R_1 = \frac{R \cdot R_g}{R + R_g}$$

$$k = \frac{R_o}{R_1}$$

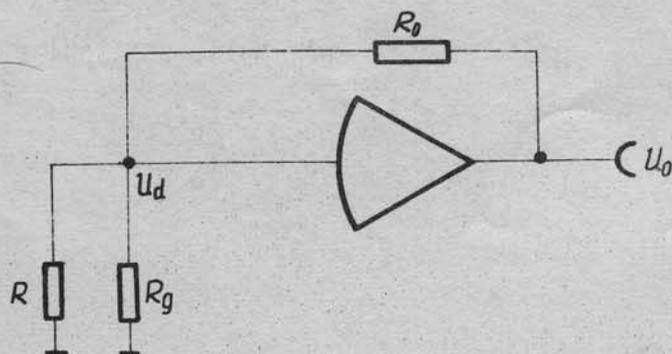


Abb. 3a

Infolge der Driftspannung erhält man aus nebenstehender Schaltung am Ausgang

$$U_o \approx - u_D (1 + k) .$$

Wählt man k genügend groß, kann die Driftspannung mit dem im Analogrechner eingebauten Meßinstrument gemessen werden.

Testvorschrift:

Nach Schaltung 3a wird ein Eingangswiderstand $R = 10 \text{ k}\Omega$ gegen Masse an das Gitter des Verstärkers geschaltet, dessen Drift bestimmt werden soll. Die Ausgangsspannung U_o wird mit einem Meßinstrument (Bereich 100 mV) gemessen.

Nach $u_D \approx - \frac{U_o}{k}$ ($k \gg 1$) kann die Drift

berechnet werden.

Testschaltung 3b : Messung des Nullpunktfehlers durch Integration

Theoretische Grundlagen: Unter Annahme eines während der Meßperiode konstanten Langzeitnullpunktfehlers ergibt sich als Ausgangsspannung $U(t)$ bei nebenstehender Rechenschaltung für große t :

$$|U(t)| \approx U_D \cdot t \cdot k$$



Abb. 3b

Ermittelt man die Zeit t_0 , bei der eine Ausgangsspannung von $U_0(t_0)$ erreicht wird, ergibt sich als Nullpunktfehler

$$U_D = \frac{U_0(t_0)}{t_0 \cdot k}$$

Testvorschrift:

Den Verstärker, dessen Drift bestimmt werden soll, schalte man als Integrator mit $k = 10$ (Abb. 3b) und messe die Zeit t_0 , die bis zum Erreichen der Ausgangsspannung von 100 mV vergeht.

Aus dem Diagramm 3b ist für diese Zeit die zugehörige Fehlerspannung zu entnehmen. Die Messung ist mehrmals zu wiederholen.

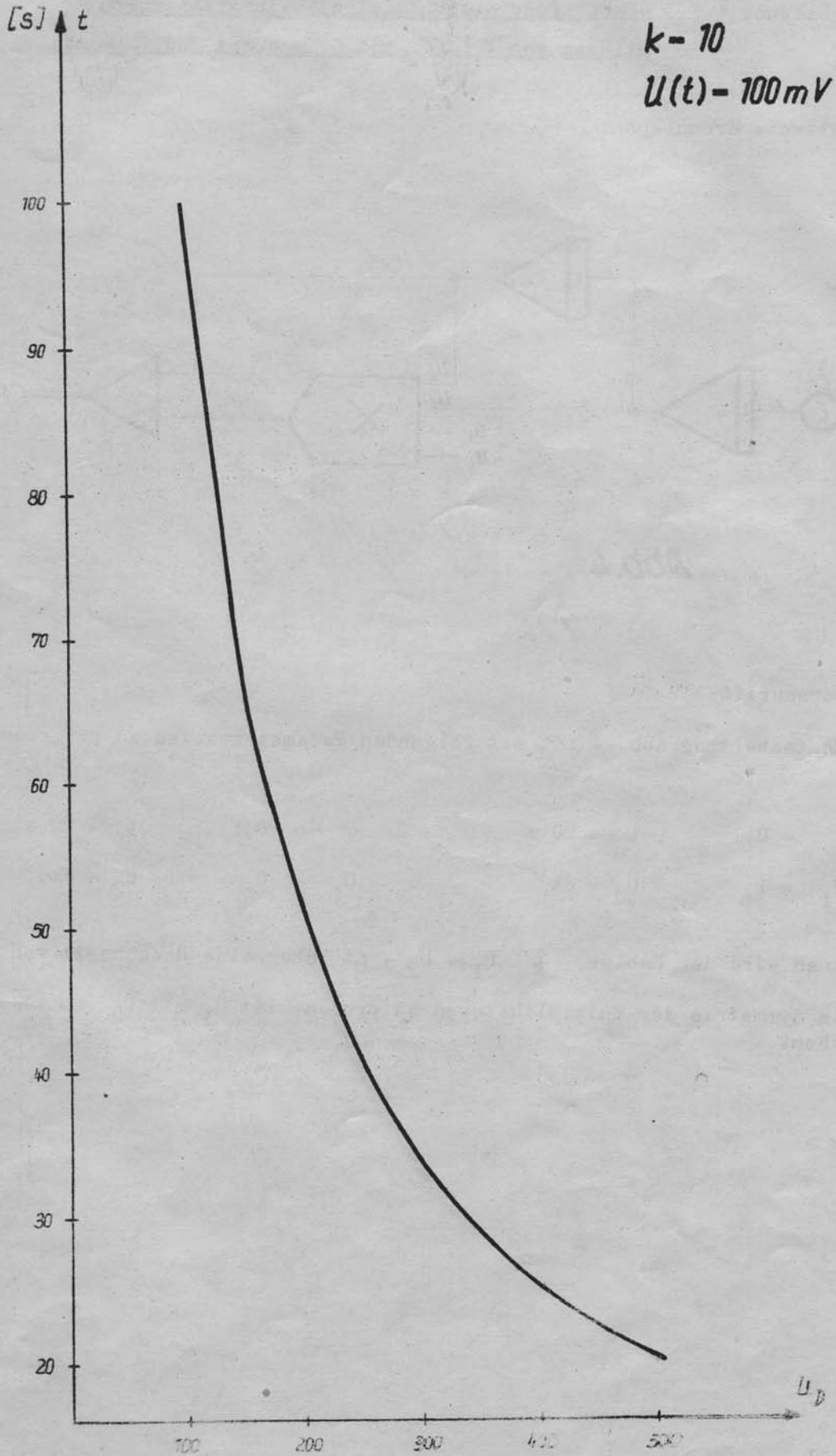


Diagramm 3b

Testschaltung 4 : Überprüfung der Multipliziereinheiten durch
Bildung von $U_1 \cdot U_2$ mit $U_1 = \text{const}$ und $U_2 = ct$.

Theoretische Grundlagen:

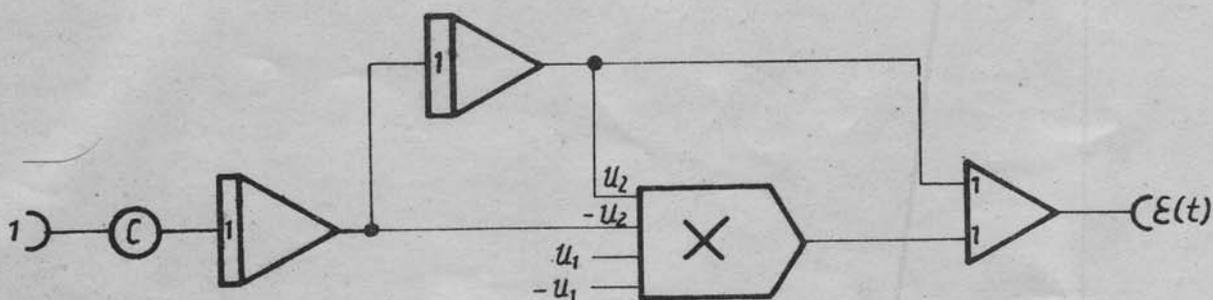


Abb. 4

Testvorschrift:

Die Testschaltung Abb. 4 ist mit folgenden Parameterwerten zu programmieren:

- | | | | |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| 1. $c = 0,1$ | $t = 20 \text{ s}$ | 2. $c = 0,1$ | $t = 20 \text{ s}$ |
| $U_1 = 1$ | $U_2 = ct$ | $U_1 = 0$ | $U_2 = ct$ |

Gemessen wird der Fehler $\xi = U_1 \cdot U_2 - ct$ über eine Rechenzeit von 20 s.

Um die Symmetrie der Multiplikatoren zu prüfen, ist U_1 mit U_2 zu vertauschen.

Testschaltung 5 : Überprüfung der Multipliziereinheiten
durch Bildung der Identität $\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t = 1$
über mehrere Perioden bei verschiedenen Fre-
quenzen

Theoretische Grundlagen:

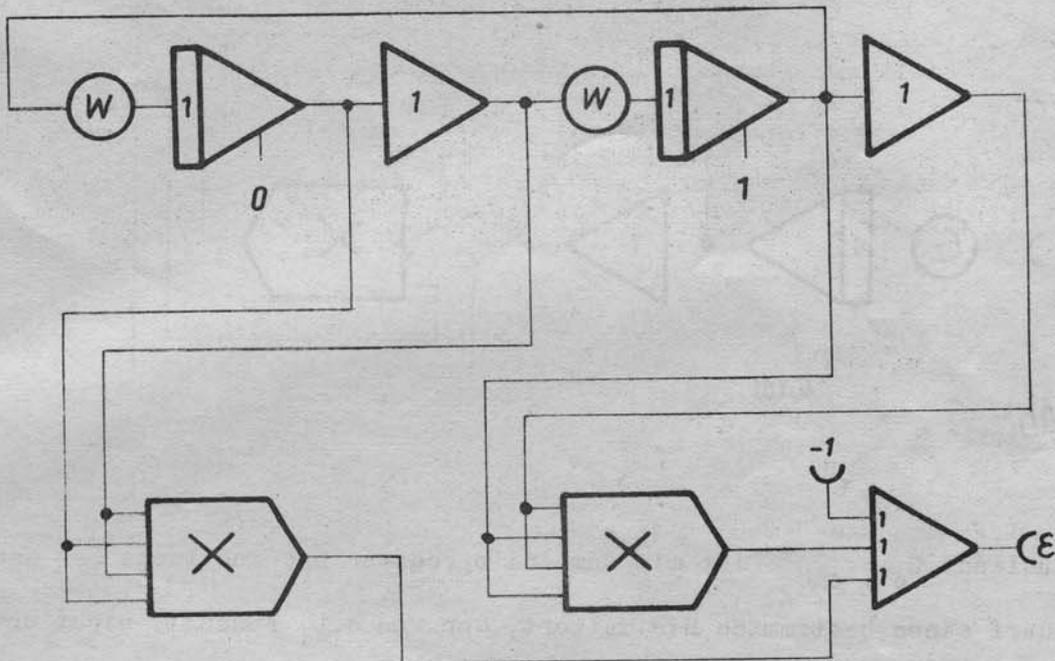


Abb. 5

Mit Hilfe der Schwingungsgleichung

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad x(0) = 1 ; \quad \dot{x}(0) = 0$$

werden die beiden Funktionen $\sin t$ und $\cos t$ erzeugt. Die Quadrate $\sin^2 t$ und $\cos^2 t$ werden mit Multiplikatoren erzeugt.

Testvorschrift:

Für die Schaltung Abb. 5 sind für verschiedene Frequenzen ($\omega = 1, 2, 5, 10, 20 \text{ s}^{-1}$) die Fehlerkurven ϵ bei einer Rechenzeit $t \geq 20 \text{ s}$ aufzunehmen.

$$\epsilon = \cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t - 1$$

Testschaltung 6 : Dividierschaltung in verschiedenen Quadranten

Literatur: Winkler, Elektronische Analogieanlagen, Akademie-Verlag, Berlin.

Theoretische Grundlagen:

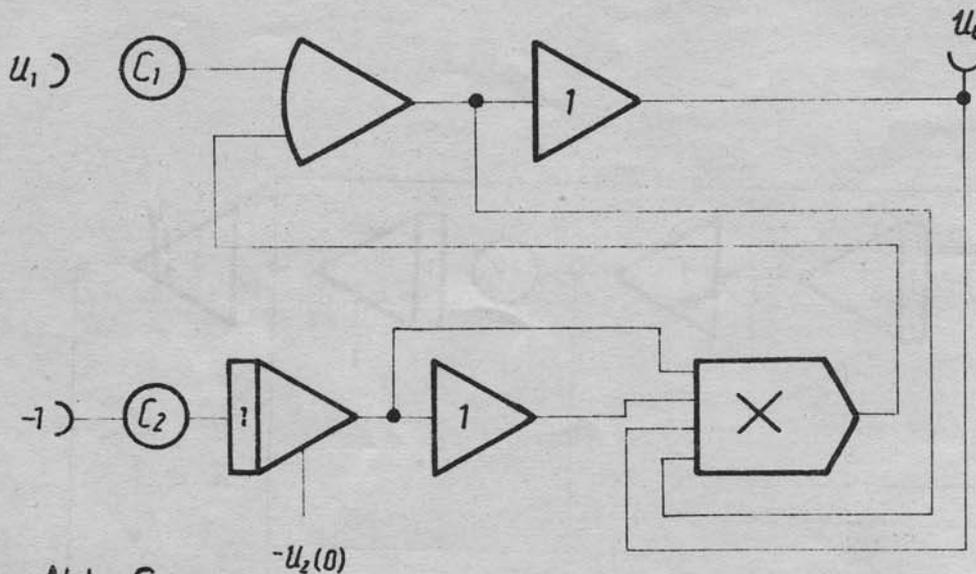


Abb. 6

Der Quotient $U_0 = \frac{c_1 U_1}{c_2 U_2}$ ist mit dem Analogrechner nachzubilden. Der Nenner $c_2 U_2$ darf einen bestimmten Minimalwert, der von $c_1 U_1$ abhängt, nicht unterschreiten, da sonst die Verstärker übersteuert werden.

Durch obenstehende Abbildung kann die Division realisiert werden. Die Schaltung ist jedoch nur dann stabil, wenn $U_2 > 0$ ist. Die Eingangsspannung kann beide Vorzeichen annehmen.

Testvorschrift:

Die Schaltung (Abb. 6) ist für $U_1 \geq 0$ auf Stabilität zu prüfen. Dabei sind folgende Parameter zu verwenden:

$U_1 = \pm 100 \text{ V}$	$c_1 = 0,1$
$U_2 = c_1 t + U_2(0)$	$c_2 = 0,1$
$U_2(0) = 10 \text{ V}$	$t = 9 \text{ s}$

Für U_0 erhält man das Intervall $100 \text{ V} \geq U_0 \geq 10 \text{ V}$.

Testschaltung 7 : Erzeugung der Kugelfunktionen $P_1 \dots P_6$ für $0 \leq t \leq 1$

Literatur: Jahnke - Emde, Tafeln höherer Funktionen, Leipzig 1960

Theoretische Grundlagen: Die Legendresche Differentialgleichung

$$(1-t^2)\ddot{x} - 2t\dot{x} + n(n+1)x = 0$$

ist für ganzzahlige n mit dem Analogrechner zu lösen. Sie kann folgendermaßen umgeformt werden:

$$\frac{d}{dt} \left[(1-t^2)\dot{x} \right] = -n(n+1)x$$

$$(1-t^2)\dot{x} = -n(n+1) \int x dt + \dot{x}(0)$$

$$\dot{x} = t^2 \dot{x} - n(n+1) \int x dt + \dot{x}(0)$$

Daraus erhält man die Maschinengleichung

$$\left[\frac{\dot{x}}{\dot{x}_{\max}} \right] = t^2 \left[\frac{\dot{x}}{\dot{x}_{\max}} \right] - \frac{1}{\dot{x}_{\max}} n(n+1) \left(\int x dt \right)_{\max} \left[\frac{\int x dt}{\left(\int x dt \right)_{\max}} \right] - \dot{x}(0)$$

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
n	$\dot{x}_{n\max}$	$\frac{1}{\left(\int x_n dt \right)_{\max}}$	$\frac{n(n+1) \left(\int x_n dt \right)_{\max}}{\dot{x}_{n\max}}$	$x_n(0)$	$-\frac{\dot{x}_n(0)}{\dot{x}_{n\max}}$
1	1	2	1	0	+1
2	3	5,181	0,386	+0,500	0
3	6	4,444	0,450	0	-0,250
4	10	12,151	0,165	-0,375	0
5	15	8,339	0,240	0	+0,125
6	21	20,920	0,0956	+0,313	0

Tabelle 7

Es werden folgende Bezeichnungen eingeführt :

$$R_1 : = \dot{x}_{n\max} ;$$

$$R_2 : = \frac{1}{(\int x_n dt)_{\max}} ;$$

$$R_3 : = \frac{1}{\dot{x}_{n\max}} \cdot n(n+1) (\int x_n dt)_{\max}$$

$$R_4 : = x_n(0) ;$$

$$R_5 : = - \frac{\dot{x}_n(0)}{\dot{x}_{n\max}}$$

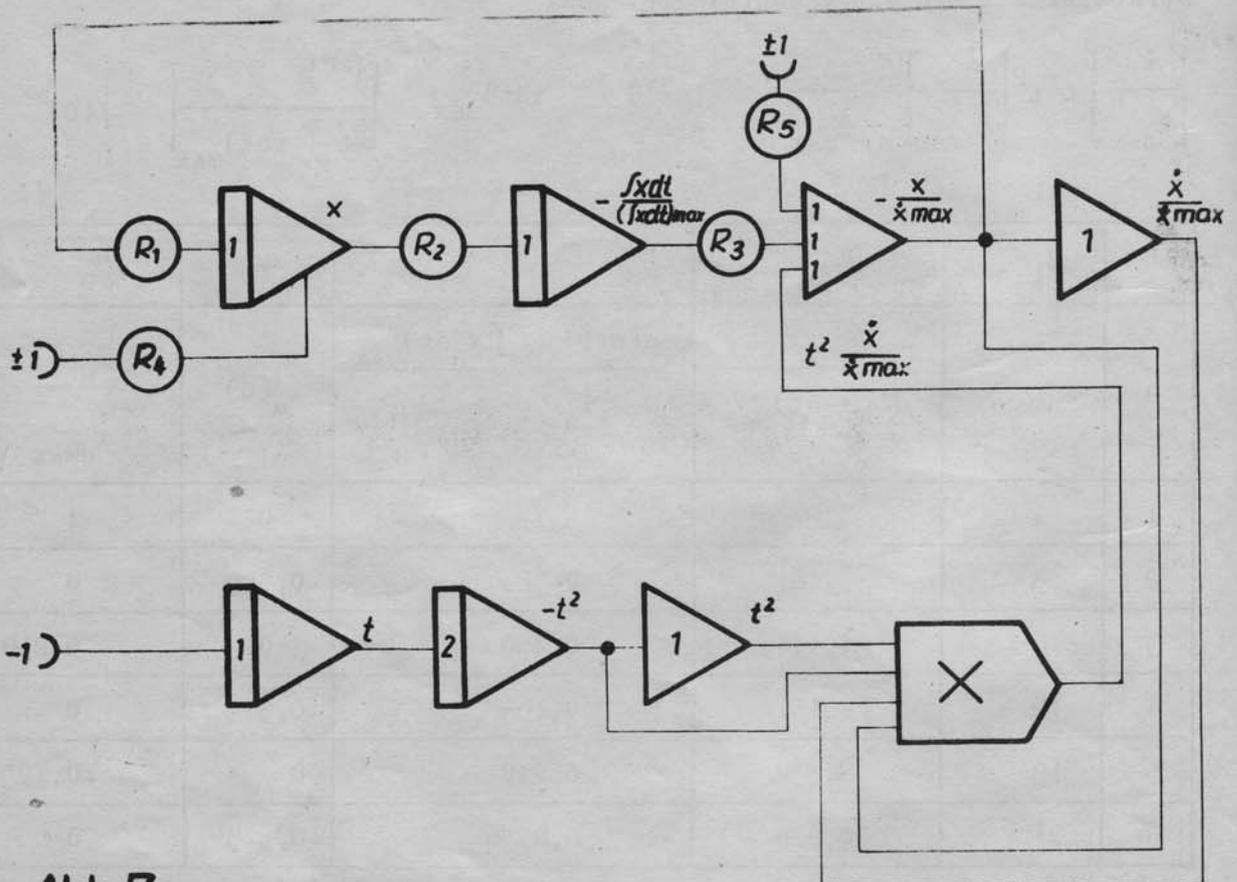


Abb. 7

6. Wartung und Abgleich

6.1 Netzteile

6.1.1 Netzteil SpG- (I. und II. Kreis)

Der Abgleich muß, wenn beide Kreise in Betrieb genommen werden sollen, für beide Netzteile getrennt vorgenommen werden. Die Reihenfolge, ob SpG- I oder SpG- II zuerst genommen wird, ist hierbei belanglos. Die Buchsen Bu 2 und Bu 3 des Adapters werden mit einem Instrument I (z.B. Vielfachmesser III vom VEB Gerätewerk Karl-Marx-Stadt) verbunden. Es wird die Taste '-250 V' des Schalters S 1 gedrückt. Durch vorsichtiges Verstellen des Einstellreglers an der Frontplatte des SpG- wird die Ausgangsspannung eingestellt und mit dem Instrument I kontrolliert. Diese Kontrolle ist während des Abgleiches und der Erprobung der Maschine öfters vorzunehmen.

6.1.2 Netzteil SpG+ (I. und II. Kreis)

Es wird die Taste '+250 V' des Adapterschalters gedrückt.

Das Instrument I wird schrittweise auf den kleinsten Spannungsbereich eingeschaltet. Durch Verstellen des Einstellreglers an der Frontplatte des SpG+ wird der Zeigerausschlag auf Null eingestellt.

(Brückenschaltung im Adapter eingebaut)

Diese Kontrolle ist während des Abgleiches und der Erprobung der Maschine öfters vorzunehmen.

6.1.3 Netzteil SpR 100

Es wird die Taste + 100 V bzw. - 100 V des Adapters gedrückt.

Durch vorsichtiges Verstellen des Einstellreglers an der Frontplatte wird die Ausgangsspannung eingestellt und mit Instrument I kontrolliert (Meßbereich des Instrumentes + 250 V). Diese Kontrolle ist während des Abgleiches und der Erprobung der Maschine öfters vorzunehmen.

6.2 Operationsverstärker

Zur Wartung des Rechners gehört eine regelmäßige Kontrolle der Störspannung und des Driftverhaltens der Operationsverstärker.

Zu diesem Zwecke wird der zu untersuchende Verstärker über ein Adapter mit dem Rechner verbunden. Über das Programmierfeld wird dieser Verstärker als Summator mit einem Bewertungsfaktor von 100 beschaltet. Sein Eingang wird geerdet und der Ausgang mit dem Meßinstrument (Buchse 'MI') verbunden. Auf dem Meßfeld müssen die Tasten '0-' und '1' gedrückt werden. Die Taste "Übersteuerung löschen" darf nicht gedrückt sein.

6.2.1 Kontrolle der Störspannung

Mit Hilfe des Reglers W 29 wird die Störspannung auf ein Minimum eingeregelt.

(In älteren Ausführungen des Operationsverstärkers ist außerdem noch W 30 als Regler eingebaut; es ist zu beachten, daß dessen Schleifer ungefähr in Mittelstellung steht).

6.2.2 Kontrolle des Driftverhaltens

Die Schwankungen der Ausgangsspannung werden mit dem Regler W 42 so eingerichtet, daß diese symmetrisch um 0 liegen.

Für Verstärker, die als Integrator betrieben werden können, wird auch die Integratordrift nachgeprüft. Dazu wird der Verstärker als Integrator mit einer Zeitkonstante von 1 s ($1\text{ M}\Omega$, $1\text{ }\mu\text{F}$) geschaltet .

6.3 Funktionsmultiplikator

Vor genaueren Rechnungen müssen die Multiplikatoren nachgeprüft bzw. nachgestellt werden. Der Abgleich erfolgt für die beiden Parabeläste getrennt.

a) Abgleich $(x\bar{y})^2$:

Mit einer Laborschnur wird Buchse II (entspricht Bu 3 des Wirkschaltplanes) mit der Massebuchse (entspricht Bu 2 des Wirkschaltplanes) verbunden (siehe auch Abb. 6.3).

Die Programmierfeldbuchsen $+x$, \bar{y} werden mit -100 V beschaltet.

Der Ausgang des Multiplikators wird mit dem Meßfeld (Programmierfeldbuchse "MI" verbunden (Kompensationsschaltung).

Mit dem Regler I, "Eichen 1" wird am Ausgang die Spannung $+100$ V eingestellt.

Danach wird mit dem Regler I "Eichen 2", nachdem die Eingänge $+x$ und \bar{y} mit je -40 V beschaltet wurden, am Ausgang die Spannung $+16$ V eingestellt. Eine Kontrolle mit -100 V und eventuell noch mit -70 V (Ausgang $+49$ V) zeigt, ob der Abgleich noch einmal wiederholt werden muß. Ist das nicht der Fall, dann kann die Verbindung Buchse II - Massebuchse aufgehoben werden.

Beim Abgleich erkennt man, daß die Regler "Eichen 1" und "Eichen 2" nicht unabhängig voneinander eingestellt werden können. Wenn die großen Quadrate (1×1) zu klein bzw. die kleinen ($0,4 \times 0,4$) zu groß ausfallen, so muß der Regler "Eichen 1" nach links und als Ausgleich dazu Regler "Eichen 2" nach rechts gedreht werden.

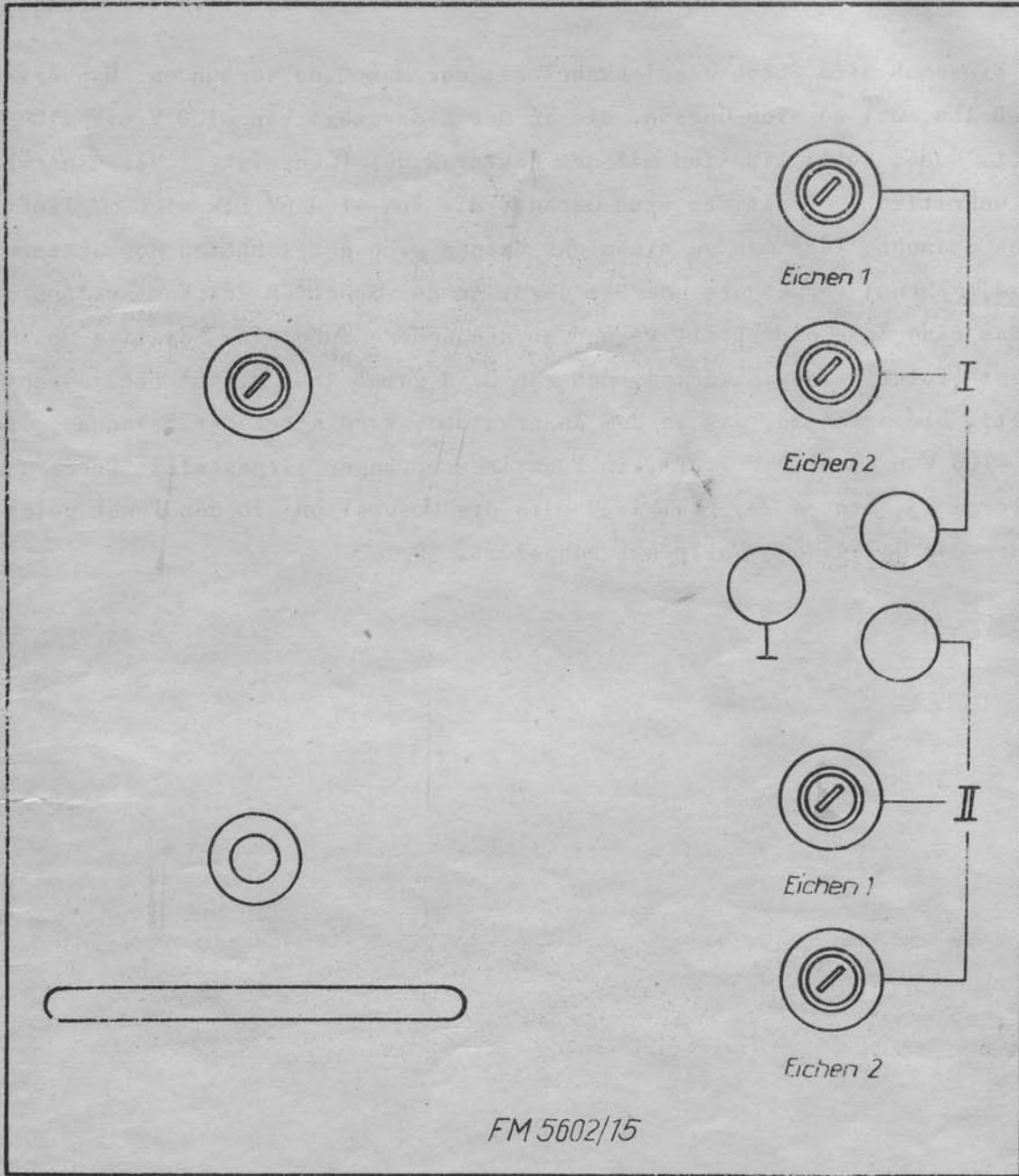
b) Abgleich $(x\bar{y})^2$:

Jetzt wird Buchse I mit der Massebuchse verbunden. Der Abgleich erfolgt in gleicher Weise wie unter a), nur daß jetzt die Eingänge $+x$ und \bar{y} mit $+100$ V bzw. $+40$ V oder $+70$ V beschaltet werden, daß an Stelle von Regler I, Eichen 1 und 2, jetzt Regler II, Eichen 1 und 2 tritt und daß die Ausgangsspannung jetzt negativ ist.

W15 DV

W76

W73



W29

W32

Abb. 6.3

6.4 Komparator

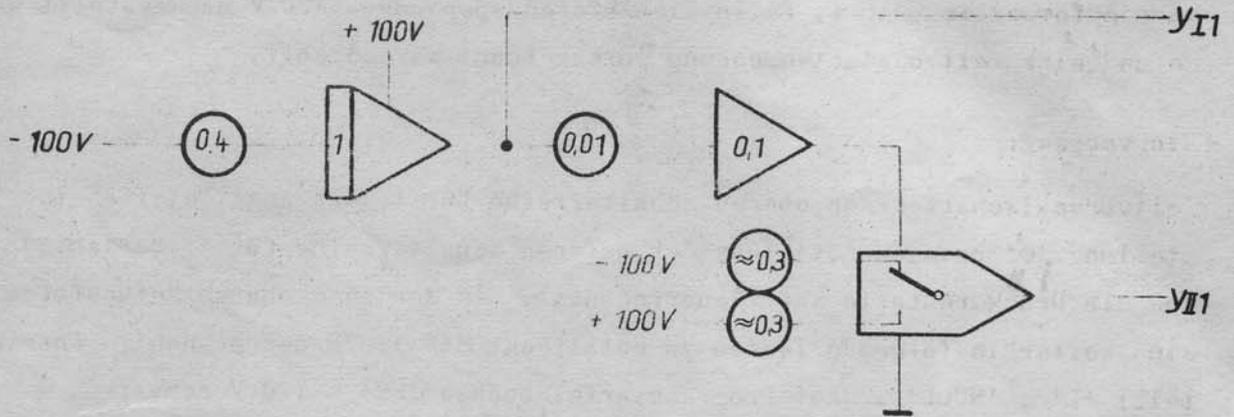
In einem Einschub sind drei Komparatoren untergebracht. Je nachdem, ob StL 2 des Komparators in BuL 46 oder 47 der Kontaktwanne I steht, sind die Regler W 13 dem Komparator 00 oder 03

W 26 dem Komparator 01 oder 04

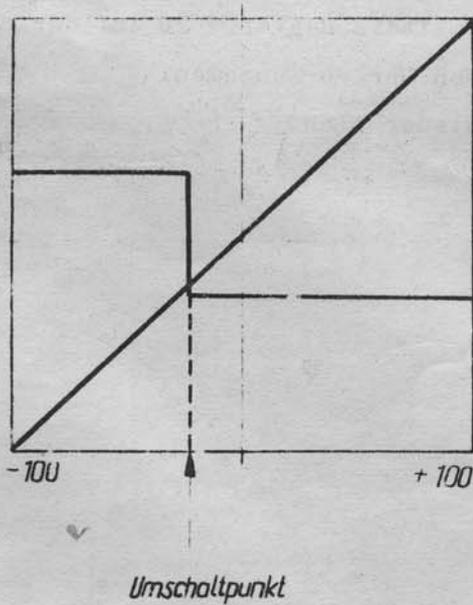
W 39 dem Komparator 02 oder 05 auf dem Programmierfeld zugeordnet.

Der Einschub wird durch Adapterkabel mit der Maschine verbunden. Man erzeuge gemäß Abb. 6.4 a) eine Gerade, die in der Rechenzeit von -100 V bis $+100\text{ V}$ läuft. Durch Multiplikation mit dem Faktor $0,001$ (Genauigkeit der Einstellung ist unkritisch) erhält man eine Gerade, die von -100 mV bis $+100\text{ mV}$ läuft. Diese Spannung lege man an einen der beiden grün gezeichneten Komparatoreingänge, während der andere geerdet wird. An den Schalter des Komparators wird an das eine Ende eine positive und an das andere Ende eine negative Spannung gelegt (Polaritäten so wählen, daß ein Bild gemäß Abb. 6.4 b) bzw. c) entsteht). Die Spannung, die an dem Anker steht, wird neben der Spannung, die von -100 V nach $+100\text{ V}$ läuft, am Funktionsempfänger dargestellt. Durch den Regler W 13, bzw. W 26, bzw. W 39 wird die Umschaltung in den Punkt gelegt, in dem die Gerade den Nullpunkt schneidet.

a) Programmierskizze (Rechenzeit: 5 sec.)



b) unabgeglichener Komparator



c) abgeglichener Komparator

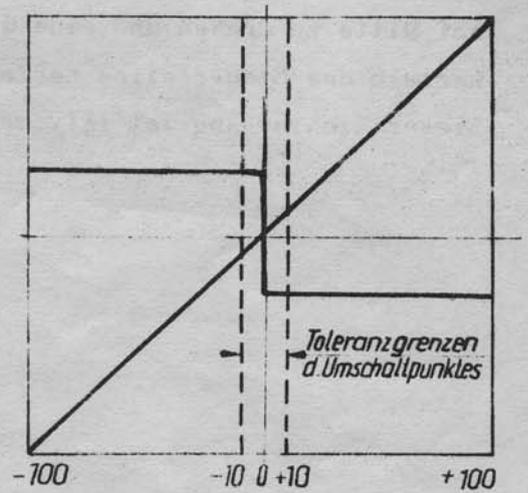


Abb. 6.4

6.5 Elektronische Uhr

Die Wartung bezieht sich einzig auf die Eichung des Komparators, die sich dann erforderlich macht, falls die Referenzspannung ± 100 V nachgestellt wurde und eine Zeitkonstantenmessung durchgeführt werden soll.

Eichvorgang:

Zeitvorwählschalter der oberen Schalterreihe für t_1 des Anzeigeteiles in Stellung 'C' bringen (Stellung der unteren Schalterreihe für t_2 beliebig) und die Druckdrehtaste auf 'Dauerrechnen'. In der angegebenen Reihenfolge sind weiterhin folgende Tasten zu betätigen: StF I: 'Dauerrechnen'; Anzeigeteil: 'T', 'NULL'. Auf Programmierfeldbuchse 'UK' - 100 V schalten. Bei Druck auf die Taste 'Rechnen' können zwei Fälle eintreten: 1.) Der Rechner wird in Zustand 'Rechnen' versetzt; die Uhr beginnt zu zählen. 2.) Der Rechner wird sofort in Zustand 'Unterbrechen' versetzt; die Uhr beginnt nicht zu zählen. Im Fall 2.) ist der auf dem Anzeigeteil oberhalb der Taste 'T' befindliche Regler stark zu verdrehen, und zwar so, daß Fall 1.) erzwungen wird. Daraufhin wird der Schwellwert eingestellt, d.h. der Regler in die Stellung gebracht, bei der der Rechner gerade in den Zustand 'Unterbrechen' geht.

Liegt die Ansprechschwelle nicht in dem Regelbereich, so ist der Regler auf Mitte zu drehen und eine Grobeichung mittels Regler W 20 auf der Steckkarte 6 des Steuerteiles der elektronischen Uhr vorzunehmen.

Dieser Eichvorgang ist ggf. mehrmals zu wiederholen.