



Automatische Aufzeichnung von Bode-Diagrammen für  
lineare Regelstrecken mit Hilfe eines Hybrid-Rechners

Einleitung

Dieser Bericht beschreibt die Methode und gibt eine Gebrauchsanweisung zur automatischen Aufzeichnung des Bode-Diagramms für lineare, auf einen Analog-Rechner simulierte, Regelstrecken.

Das Bode-Diagramm, welches durch die Übertragungsfunktion

$$F(j\omega) = |F(j\omega)| e^{-j\vartheta} \quad (1)$$

beschrieben wird, gibt mit Hilfe von zwei separaten Funktionen

$$|F| = f(\omega) \quad \text{oder} \quad f(f) \quad (2)$$

und

$$\vartheta = f(\omega) \quad \text{oder} \quad f(f) \quad (2)$$

die Stabilitätseigenschaften sowie die Randwerte für Amplituden- und Phasengang an.

Die Funktionen nach (2) werden im allgemeinen wie folgt beschrieben:

$$F \text{ [DB]} = 20 \log |F(j\omega)| = f(\log \omega) \quad (3)$$

$$\vartheta \text{ [}^\circ\text{]} = f(\log \omega) \quad (3)$$

Anstelle von  $\log \omega$  kann auch  $\log f$  verwendet werden mit  $\omega = 2\pi f$ .

**Inhalt:**

**Einleitung**

- I. Nachbildung eines frequenzvariablen Sinusgenerators**
- II. Nachbildung der beiden Regelstrecken für  $F_1$  und  $F_2$**
- III. Beschreibung der Rechenprozedur zur Gewinnung des Bode-Diagramms**
- IV. Bemerkungen zum Plotterprogramm**
- V. Allgemeine Hinweise**
- VI. Ergebnisse**

**Literatur**

**Anhang**

- A) Bedienungsanweisung für den Hybridrechner**
- B) Beschaltung von Bauteilen Bild 1 - 3**
- C) Flußdiagramm Bild 4**
- D) Digitalprogramm Bild 5**
- E) Bode-Diagramme Bild 6-7**

Zur automatischen Aufzeichnung der Funktionen (3) wurde auf dem Analogrechner eine lineare Regelstrecke nachgebildet, die mit einer Sinusspannung (vom Sinusgenerator ebenfalls auf dem Analogrechner dargestellt) konstanter Amplitude und veränderlicher Frequenz im Bereich von 5 Hz bis 10 kHz gespeist wird. Mit Hilfe des digitalen Teils des Hybrid-Rechners wurden folgende Operationen ausgeführt:

- a) Steuerung des Analogrechners einschließlich seines digitalen Programmierfeldes (DPF)
- b) Veränderung der Frequenz des Sinusgenerators
- c) Steuerung des Plotters.

In diesem Bericht wurden für die beiden unter stehenden Übertragungsfunktionen die Bode-Diagramme aufgezeichnet.

$$F_1 = \frac{K}{1+sT_L} \quad (4)$$

$$F_2 = \frac{K}{1 + \frac{2\zeta}{\omega_0} s + \frac{s^2}{\omega_0^2}} \quad (5)$$

mit  $T_L$  = Zeitkonstante  
 $\zeta$  = Dämpfung  
 $\omega_0$  = Resonanzfrequenz  
 $s$  =  $j\omega$   
 $K$  = Verstärkung

} der Regelstrecke

Im Anhang dieses Berichtes wird eine Gebrauchsanweisung zur Benutzung dieser Methode gegeben, wobei die zu untersuchende Regelstrecke nach den Gesetzen des Analogrechners selbst nachgebildet werden muß.

I. Nachbildung eines frequenzvariablen Sinusgenerators

Die hierfür erforderliche Beschaltung ist aus Bild 1 ersichtlich. Die Grundlage bildet [1] mit den nachfolgenden Abänderungen. Anstelle der Einstellpotentiometer für  $\omega^2$  wurden in diesem Falle 2 Stück D/A-Wandler (DAU), die als Multiplizierer funktionierten, verwendet. Die Variation der Frequenz wird durch Wahl der Zeitkonstanten  $T_I$  des Sinusgenerator-Integrators einerseits (Wertbereich), sowie durch vorprogrammierte Änderung des DAU Eingangssignals andererseits (Diskretwert) erreicht. Die  $T_I$ -Einstellung wurde dabei so vorgesehen, daß alle anderen nicht zum Sinusgenerator gehörenden aktiven Integratoren nicht beeinflusst wurden.

Die Wertbereichwahl geschieht über das DPF (siehe Bild 2).

Folgende Bereiche werden gewählt:

$T_I$ [sec]	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$
Frequenzbereich [ Hz ]	$10^0-10^1$	$10^1-10^2$	$10^2-10^3$	$10^3-10^4$

Die Zeitskalierung ist durch die gewählte Konstante  $\beta$  vorgegeben, wobei  $\beta = \frac{t}{\tau}$  ist, mit  $t$  = Realzeit,  $\tau$  = Maschinenzeit.

II. Nachbildung der beiden Regelstrecken für F1 und F2

Für die bereits in der Einleitung genannten Übertragungsfunktionen (4), (5) wurden die Regelstrecken auf dem Analogprogrammierfeld (APF) nachgebildet, wobei für den Faktor K der Wert 1 gewählt werden muß. Durch Umwandlungen der Gleichungen (4) und (5) in Differentialgleichungen kann F1 und F2 wie folgt dargestellt werden:

$$F_1 = \frac{U_{\text{Aus}}}{U_{\text{Ein}}} = \frac{1}{1+sT_L}$$

daraus folgt:

$$T_L \dot{U}_{\text{Aus}} + U_{\text{Aus}} - U_{\text{Ein}} = 0 \quad (6)$$

$$\text{mit } \dot{U}_{\text{Aus}} = \frac{dU_{\text{Aus}}}{dt}$$

Diese Gleichung (6) muß für den Analog-Rechner unter Beachtung der Skalierung wie folgt umgewandelt werden:

$$U_{\text{Aus}} = \frac{1}{T_L} \int (U_{\text{Ein}} - U_{\text{Aus}}) dt \quad (7)$$

$$\text{mit } dt = \beta d\tau$$

Bekanntlich muß man für eine Analogrechenschaltung (in diesem Falle: Sinusgenerator und Regelstrecke) nur einen Zeitskalierungsfaktor  $\beta$  verwenden. Da aus zweckmäßigen Erwägungen für den Sinusgenerator

$\beta = \frac{1}{100\pi}$  gewählt wurde, gilt für  $\beta$  in Gleichung (7) der selbe Wert.

In gleicher Weise wird  $F_2$  behandelt. Man erhält folgende Gleichungen:

$$F_2 = \frac{U_{\text{Aus}}}{U_{\text{Ein}}} = \frac{1}{1 + \frac{2s}{\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2}}$$

daraus folgt:

$$\ddot{U}_{\text{Aus}} + 2\zeta\omega_0 \dot{U}_{\text{Aus}} + \omega_0^2 (U_{\text{Aus}} - U_{\text{Ein}}) = 0 \quad (8)$$

$$\text{mit } \ddot{U}_{\text{Aus}} = \frac{d^2U}{dt^2}$$

Die skalierte Gleichung lautet dann:

$$U_{\text{Aus}} = \omega_0^2 \iint (U_{\text{Ein}} - U_{\text{Aus}}) dt^2 - \omega_0 2\mathcal{P} \int U_{\text{Aus}} dt \quad (9)$$

mit  $dt^2 = \beta^2 d\tau^2$

In Gleichung (7) wurde für  $T_L = 1$  ms, in Gleichung (9) für  $\omega_0 = 200\pi$  und  $\mathcal{P} = 0,1$  bis 1 gewählt.

Die zugehörige Schaltung auf dem APF ist in Bild 3 zu sehen.

### III. Beschreibung der Rechenprozedur zur Gewinnung des Bode-Diagramms

Die einzelnen Werte für das Bode-Diagramm wurden wie folgt ermittelt:

Durch Setzen der digitalen DAU-Eingänge erhält man eine diskrete Frequenz für den Sinusgenerator. Beim Starten des Analogrechners erhält man infolge der Eingangsspannung

$$U_{\text{Ein}} = A \sin \omega t$$

am Ausgang der Regelstrecke

$$U_{\text{Aus}} = B \sin (\omega t \pm \theta).$$

Für den weiter unten beschriebenen Vorgang ist es unbedingt erforderlich, daß sich die Regelstrecke im eingeschwungenen Zustand befindet. Dazu müssen zunächst n Perioden der Sinusschwingung abgewartet werden. Mit wachsender Frequenz muß n vergrößert werden, was im Digitalprogramm vorgegeben ist.

Der sich nun anschließende Vorgang besteht darin, daß für die Zeitpunkte:  $U_{\text{Ein}} = 0$  und  $U_{\text{Ein}} = \text{Maximum}$  (Abtasten mit Hilfe von 2 Komparatoren) die zugehörigen Werte  $U_{\text{Aus}}$  gemessen und gespeichert werden. Erst jetzt wird der Analogrechner automatisch in "Halt-Phase" gebracht und für die nächste Frequenz vorbereitet.

Sollten die gemessenen Werte bei höheren Frequenzen infolge großer Dämpfung für  $U_{\text{Aus}}$  kleiner als die Toleranz des A/D-Wandler (13 bits) sein, dann wird das Bode-Diagramm nur bis zu dieser Frequenz aufgezogen. (Diese Bedingung ist im Digitalprogramm vorgegeben).

Für die beiden o.g. Zeitpunkte gelten folgende Zusammenhänge:

$$\begin{aligned} U_{\text{Ein}} &= 0 \\ U_{\text{Aus}} &= B \sin(\pm\vartheta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{\text{Ein}} &= A & A &= U_{\text{max}} \\ U_{\text{Aus}} &= B \cos(\pm\vartheta) \end{aligned}$$

Die für eine Frequenz auf diese Weise erhaltenen Werte für  $U_{\text{Aus}}$  bezeichnet man mit  $V_1$  und  $V_2$ ,

$$\text{wobei} \quad V_1 = B \sin(\pm\vartheta) \quad (10)$$

$$V_2 = B \cos(\pm\vartheta) \quad (11) \quad \text{ist.}$$

Aus (10) und (11) ergibt sich:

$$B = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (12)$$

und

$$\vartheta = \arctan \left| \frac{V_2}{V_1} \right| \quad (13)$$

Der Wert für  $F$  nach (3) ist dann für die gewählte Frequenz

$$F \text{ [DB]} = 20 \log \frac{B}{A}.$$

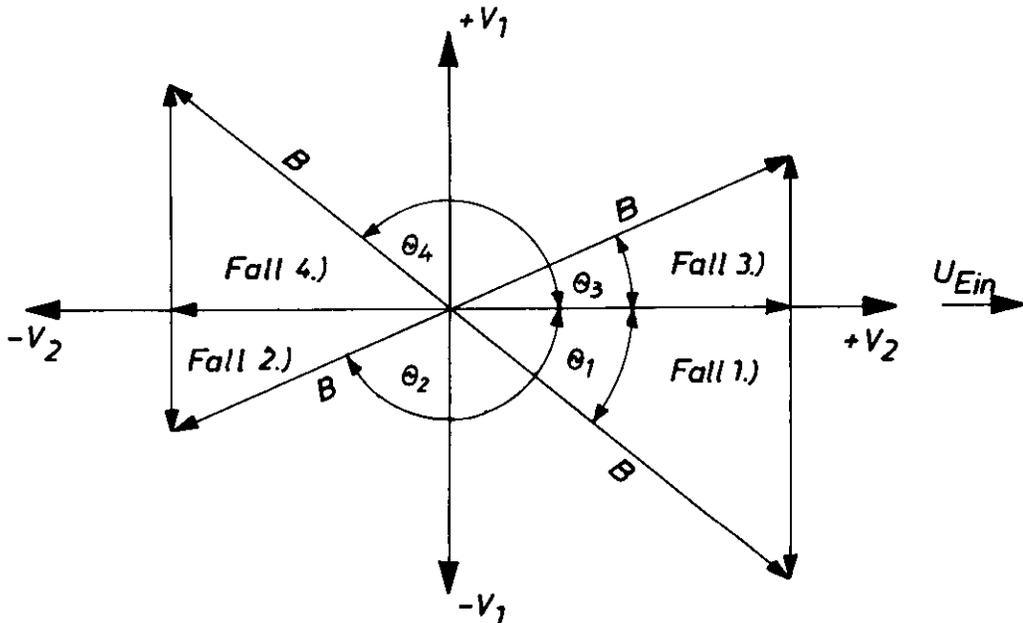
Die zweite Größe  $\vartheta$  des Bode-Diagramms wird nach (13) berechnet. Es ergeben sich für  $\vartheta$  nur Werte zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  wegen  $\left| \frac{V_2}{V_1} \right|$ .

Der richtige Wert aber für  $\vartheta$  wird aus dem in unten stehendem Zeigerdiagramm ablesbaren logischen Entscheidungskriterien gewonnen.

Im Bereich  $180^\circ \leq \Theta \leq +180^\circ$  ergeben sich folgende vier Fälle:

1.  $V_1 \leq 0$  und  $V_2 \geq 0$   
 $0^\circ \leq \Theta < 90^\circ$  gegenüber  $U_{\text{Ein}}$  nacheilend
2.  $V_1 \leq 0$  und  $V_2 \leq 0$   
 $90^\circ < \Theta \leq 180^\circ$  gegenüber  $U_{\text{Ein}}$  nacheilend
3.  $V_1 \geq 0$  und  $V_2 \geq 0$   
 $0^\circ \leq \Theta < 90^\circ$  gegenüber  $U_{\text{Ein}}$  voreilend
4.  $V_1 \geq 0$  und  $V_2 \leq 0$   
 $90^\circ < \Theta \leq 180^\circ$  gegenüber  $U_{\text{Ein}}$  voreilend.

Diese Kriterien gelten für Regelstrecken mit  $\pm 180^\circ$  Phasenverschiebung.



Zeigerdiagramm zur Bestimmung von  $\Theta$

#### IV. Bemerkungen zum Plotterprogramm

Mit Hilfe von Hybrid-Unterprogrammen wurden das Zeichenformat, das Koordinatensystem sowie die zugehörigen Dimensionen festgelegt. Für den Ablauf des Programms war es nötig, spezielle Verbindungen sowohl auf dem APF (Bild 1) als auch auf dem DPF (Bild 2) zu schaffen. Will man die nach (12) und (13) errechneten Werte auf einen X-Y-Plotter aufzeichnen, so muß durch einen frei wählbaren Maßstab eine Skalierung vorgenommen werden.

In diesem Fall wurden folgende Maßstäbe gewählt:

$$\text{für } F \text{ [DB]} = f(f)$$

Nullpunkt des Koordinatensystems gemessen von der unteren linken Ecke des Zeichenformats:

$$\begin{aligned} x_0 &= 1,7 \text{ cm} \\ y_0 &= 29 \text{ cm} \\ 10 \text{ DB} &= 1 \text{ cm} \\ \text{für } \vartheta [^\circ] &= f(f) \\ x_0 &= 1,7 \text{ cm} \\ y_0 &= 11,5 \text{ cm} \\ 10^\circ &= 0,5 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Für beide Diagramme betrug das Zeichenformat 53 cm x 41 cm. Da man zweckmäßigerweise auf dem gleichen Papier der besseren Übersicht wegen die Bode-Diagramme für die verschiedenen Regelstreckenparameter aufzeichnet, mußte die Möglichkeit des Überspringens von logischen Plotterbefehlen per Taste auf dem Digitalzusatz (DZ) geschaffen werden, um zwar die einzelnen Diagramme jedesmal, jedoch die Achsenbezeichnung nur einmal zu schreiben. Die hierfür nötige Schaltung ist in Bild 2 zu sehen.

#### V. Allgemeine Hinweise

In Bild 4 ist das Flußdiagramm für dieses gesamte Hybrid-Programm wiedergegeben. Aufgrund dieses Flußdiagramms wurde ein Hybrid-FORTRAN-Programm geschrieben, was in Bild 5 dargestellt ist.

#### IV. Ergebnisse

In Bild 6 und 7 sind sowohl die nach dieser Methode ermittelten als auch die theoretisch errechenbaren Bode-Diagramme für die Regelstrecken mit Übertragungsverhalten nach  $F_1$  und  $F_2$  aufgezeichnet.

Ein Vergleich zwischen beiden Bode-Diagrammen ergibt eine sehr gute Übereinstimmung. Damit ist die Brauchbarkeit der in diesem Bericht beschriebenen Methode zur automatischen Aufzeichnung von Bode-Diagrammen bewiesen.

Wir möchten Fräulein Borchardt und ihren Mitarbeitern für ihre Anregungen, praktische Hinweise und sonstige Hilfeleistungen herzlich danken. H. Jänel möchte sich besonders bei Herrn Bothe dafür bedanken, daß er als Praktikant die Möglichkeit zur Mitarbeit an diesem Bericht erhielt. M. Levy möchte Herrn Bothe für sein an dieser Arbeit gezeigtes Interesse und Herrn Neumann für die tatkräftige Unterstützung bei der deutschen Abfassung dieses technischen Berichtes danken.

#### Literatur

- [1] W. Ammon: Schaltung der Analogrechentechnik.

Anhang A)

Bedienungsanweisung für den Hybridrechner, Typ HRS 860 von AEG/Telefunken.  
Zur Aufzeichnung der Bode-Diagramme müssen die in unten stehender  
Reihenfolge angegebenen Anweisungen ausgeführt werden:

- 1.) Schalte den Sinusgenerator einschließlich Hilfsverbindungen auf den APF gemäß Bild 1.
- 2.) Schalte das DPF nach Bild 2.
- 3.) Bilde die Regelstrecke auf dem APF nach.
- 4.) Stelle die für diese Regelstrecke errechneten Konstanten an den Potentiometern ein.

Für die Konstantenberechnung ist folgendes unbedingt zu beachten:

- a) die Zeitskalierung  $t = \beta \cdot \tau$  ( $\beta = \frac{1}{100\pi}$ )
  - b) die normierte Regelstreckenverstärkung muß immer 1 betragen.  
Die tatsächliche Regelstreckenverstärkung muß durch eine Extra-Datenkarte eingegeben werden.
- 5.) Da hier mit repetierendem Analogrechnerbetrieb gearbeitet wird, muß die Rechenzeit durch Zeitgeber 2 auf 100 Sekunden und die Pausenzeit durch Zeitgeber 1 auf 3 Sekunden eingestellt werden.
  - 6.) Schalte den Plotter ein und stelle den ARM 1 mit Hilfe der Parallaxe-Knöpfe auf die Mitte des Plotterfeldes ein.
  - 7.) Starte das Digital-Programm. Dadurch werden alle Potentiometer automatisch eingestellt.
  - 8.) Betätige Taste 1 und 3 des DZ. Beide Tasten müssen aufleuchten.
  - 9.) Beachte, daß vor Beginn des Plotter-Programms folgende auf dem Sichtgerät abgebildete Prozedur automatisch abläuft:

FRAGE	ANTWORT	BEMERKUNG
PL.	2;	das bedeutet ein Schreibformat von 64 cm x 64 cm
JU	1;	Bedeutung: diesen Befehl benutzt man, um ein Feld von 68 cm x 68 cm einzustellen. Mit 4 von diesen Befehlen kann man die Kanten des Quadrats 68 cm x 68 cm im Uhrzeigersinn nacheinander umschreiben und bei jeder Kante falls erforderlich, eine Nachstellung von Arm 1 vornehmen. Je mehr man solche Befehle gibt, um so öfter wird das genannte Quadrat umfahren.

Nach beendeter Eichung muß der Befehl "Z:" eingegeben werden.  
Erst dadurch wird der nächste Digital-Befehl weiter verarbeitet.

- 10.) Zeigt die aufgezeichnete Kurve einen logischen Verlauf, betätige Taste 4 (Aufleuchten) sowie Taste 1 und 3 (Erlöschen der Anzeige). Damit wird die Beschriftung des gesamten Schreibformats vorgenommen.  
Bei unlogischem Kurvenverlauf kann man durch Betätigung von Taste 5 (Aufleuchten) und Taste 3 (Erlöschen der Anzeige) das gesamte Programm stoppen.
- 11.) Will man auf dem selben Blatt noch eine zweite Kurve aufzeichnen, und ist die Beschriftung bereits vorgenommen, dann muß man nach Änderung der Regelstreckenparameter die einzelnen Tasten in der Reihenfolge:  
Taste 2 und 3 (Aufleuchten), sodann Taste 4 (Erlöschen) und danach Taste 1 (Aufleuchten) betätigen, um eine Doppelbeschriftung zu vermeiden.
- 12.) Für alle weiteren Kurven auf dem selben Blatt muß man die Tasten in der Reihenfolge:  
Taste 1 und 3 (Erlöschen) - jetzt Parameteränderung vornehmen - anschließend die Tasten wie in Anweisung 11.) betätigen.

- 13.) Zur Programmbeendigung betätige Taste 5 (Aufleuchten) und Taste 3 (Erlöschen).

Das Programm gehört zur Service-Bibliothek des Hybriden Rechenzentrums HRS 860.

Anhang B)

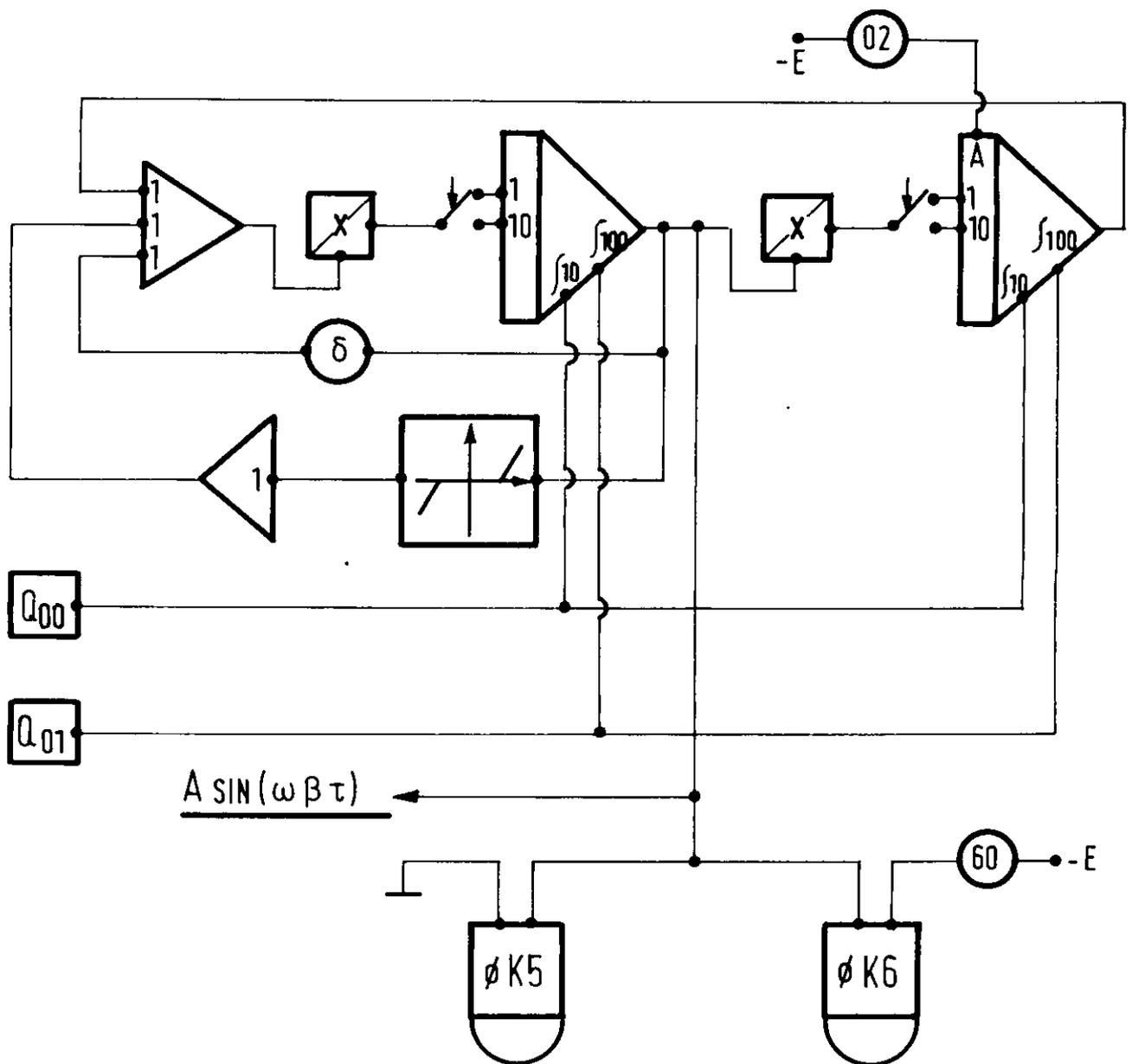


BILD 1 : APF-BESCHALTUNG FÜR SINUSGENERATOR

Anhang B )

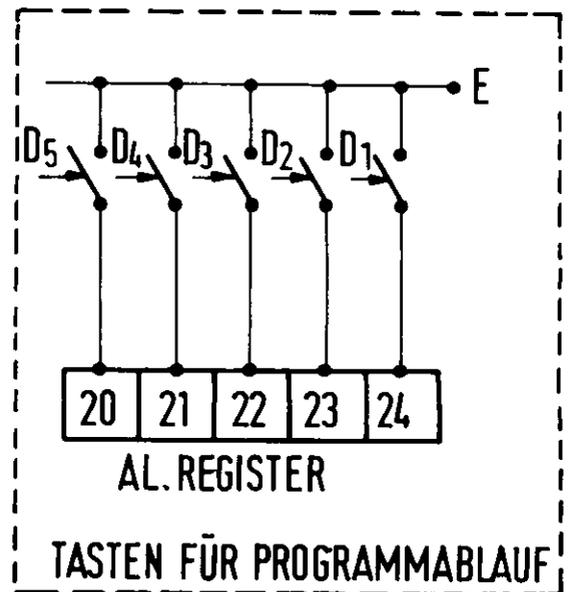
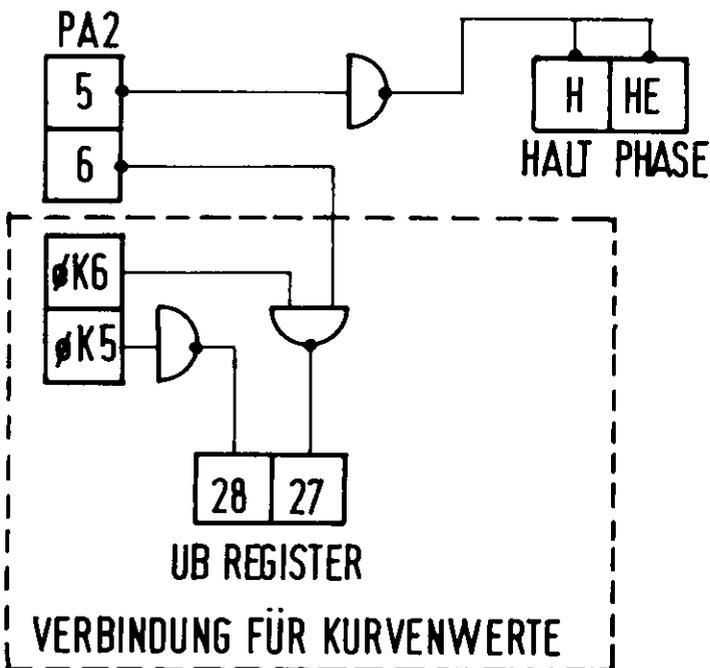
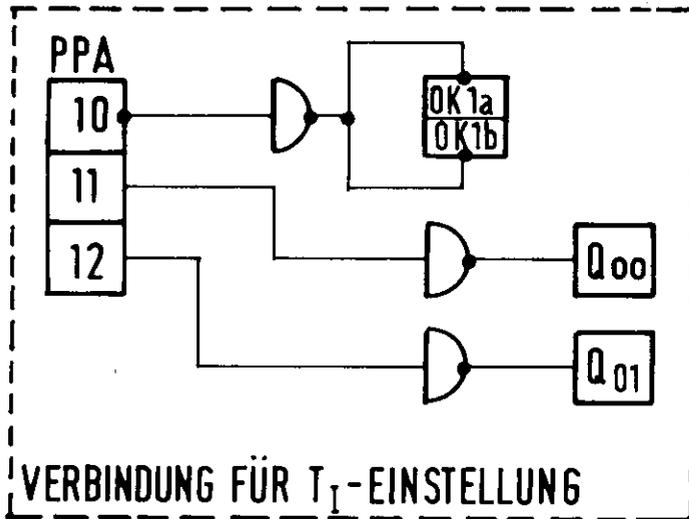
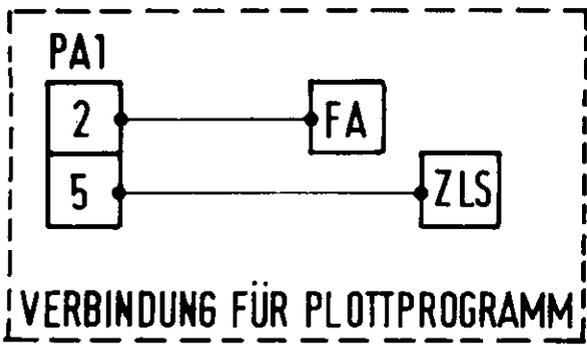
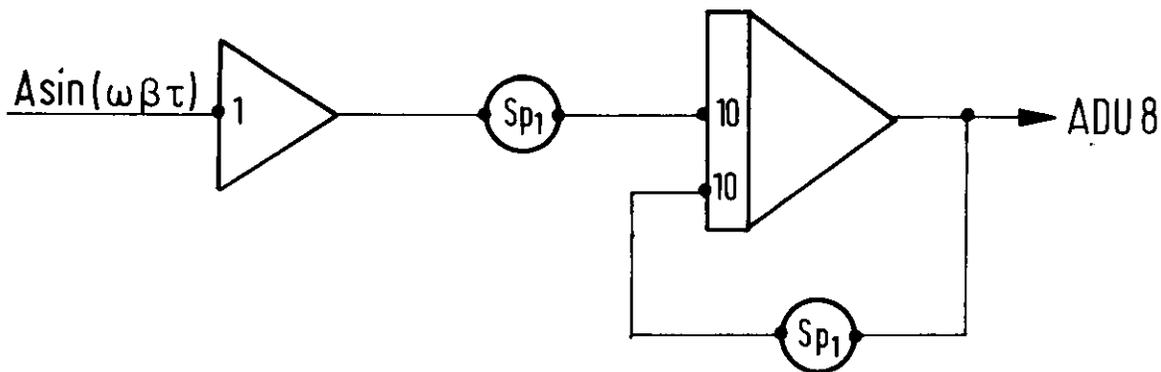


BILD 2: DPF BESCHALTUNG

Anhang B )

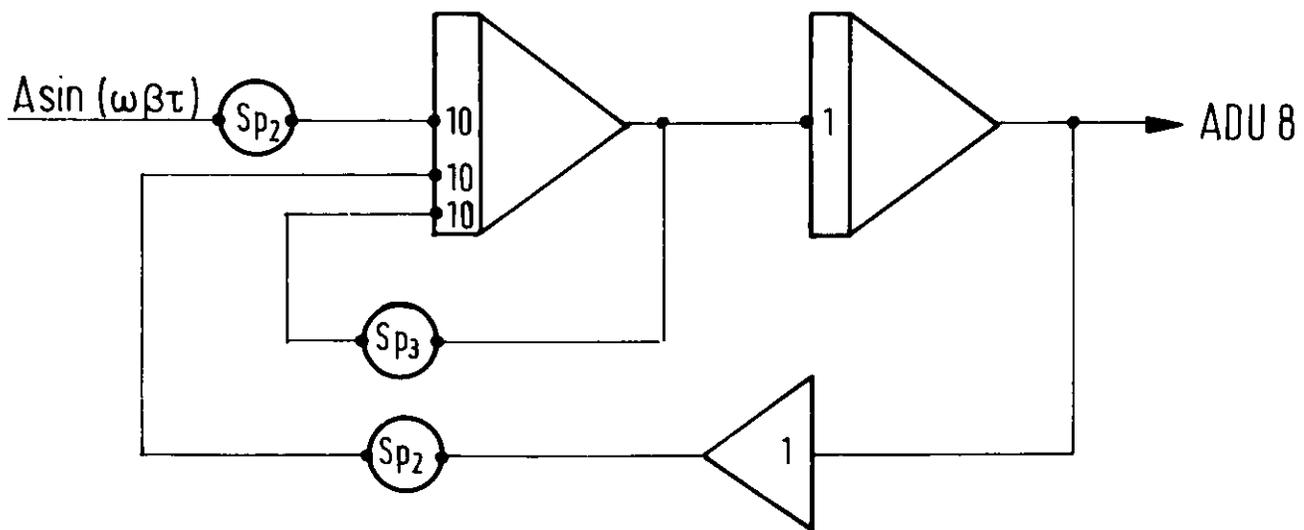


ÜBERTRAGUNGSFUNKTION  $\frac{K}{1 + S T_L}$

$T_L = 1/600 \pi [\text{sec}]$

$K = 10.$

$S p_1 = \frac{\beta}{T_L}$



ÜBERTRAGUNGSFUNKTION  $\frac{K}{1 + \frac{2\zeta}{\omega_0} s + \frac{s^2}{\omega_0^2}}$

$\omega_0 = 200 \pi [\text{sec}^{-1}]$

$\zeta = \langle 0 \dots 1.0 \rangle$

$K = 10.$

$S p_2 = \beta^2 \omega_0^2$

$S p_3 = 2\zeta \omega_0$

Bild 3: APF BESCHALTUNG

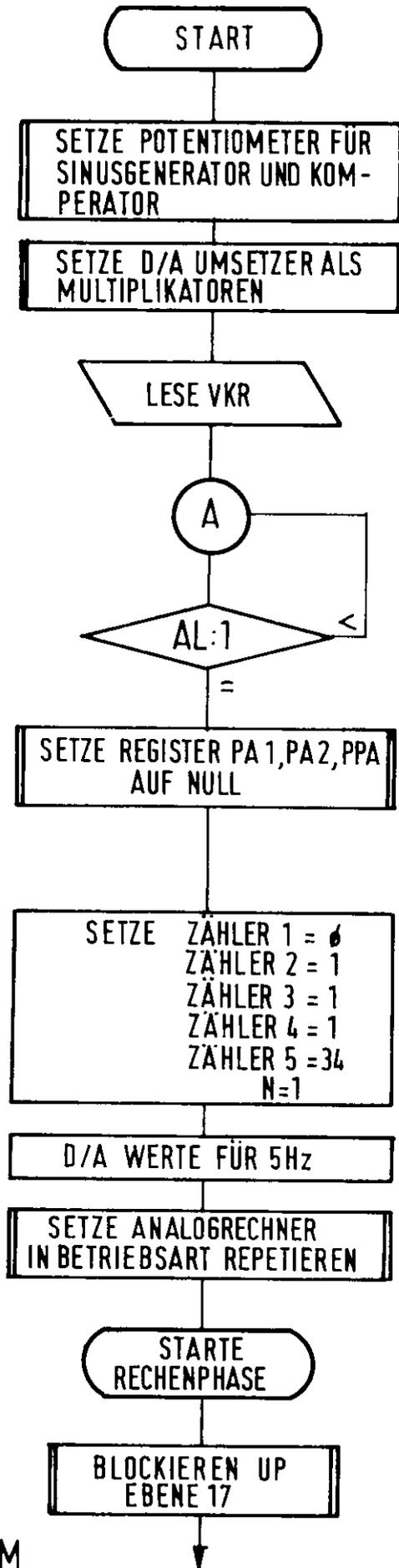
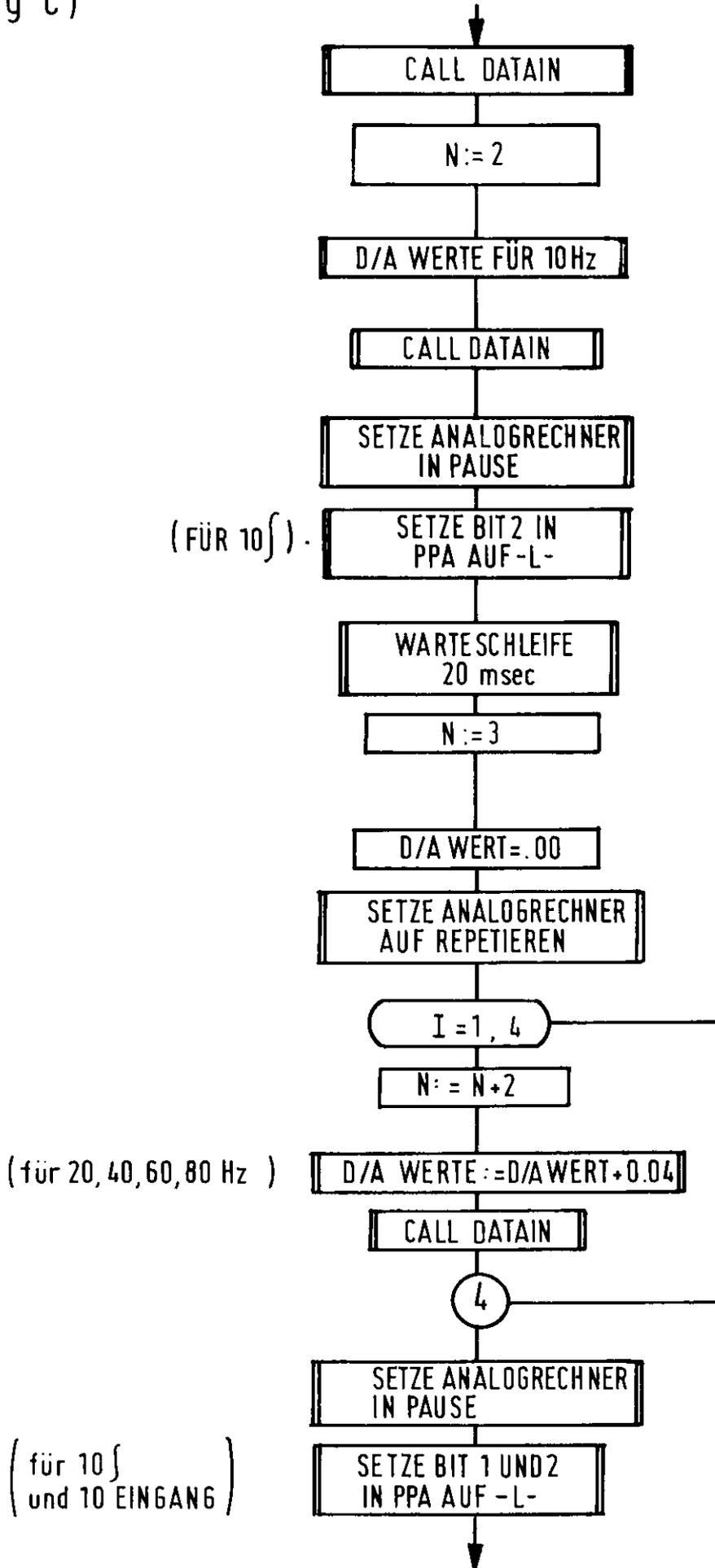
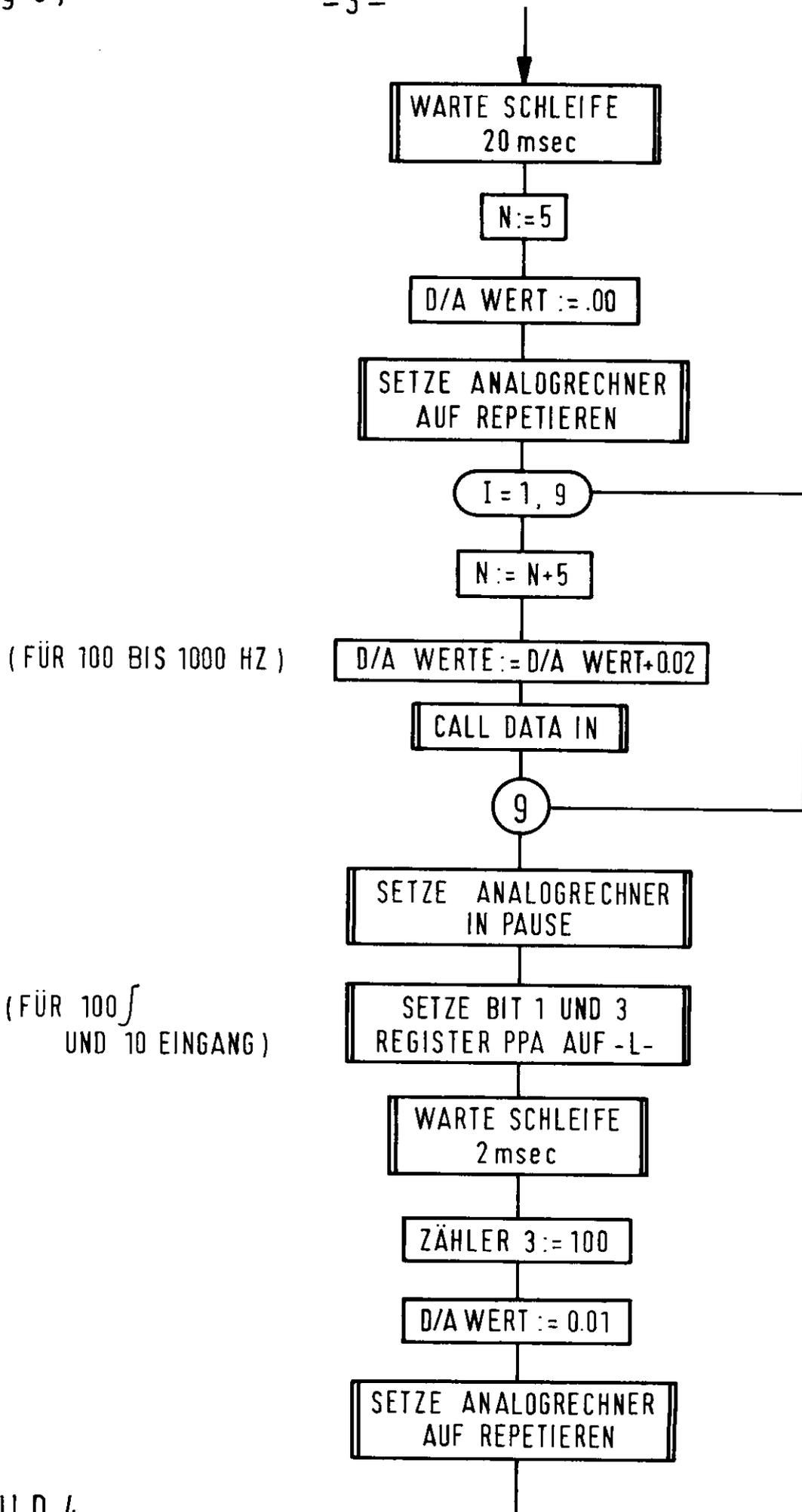
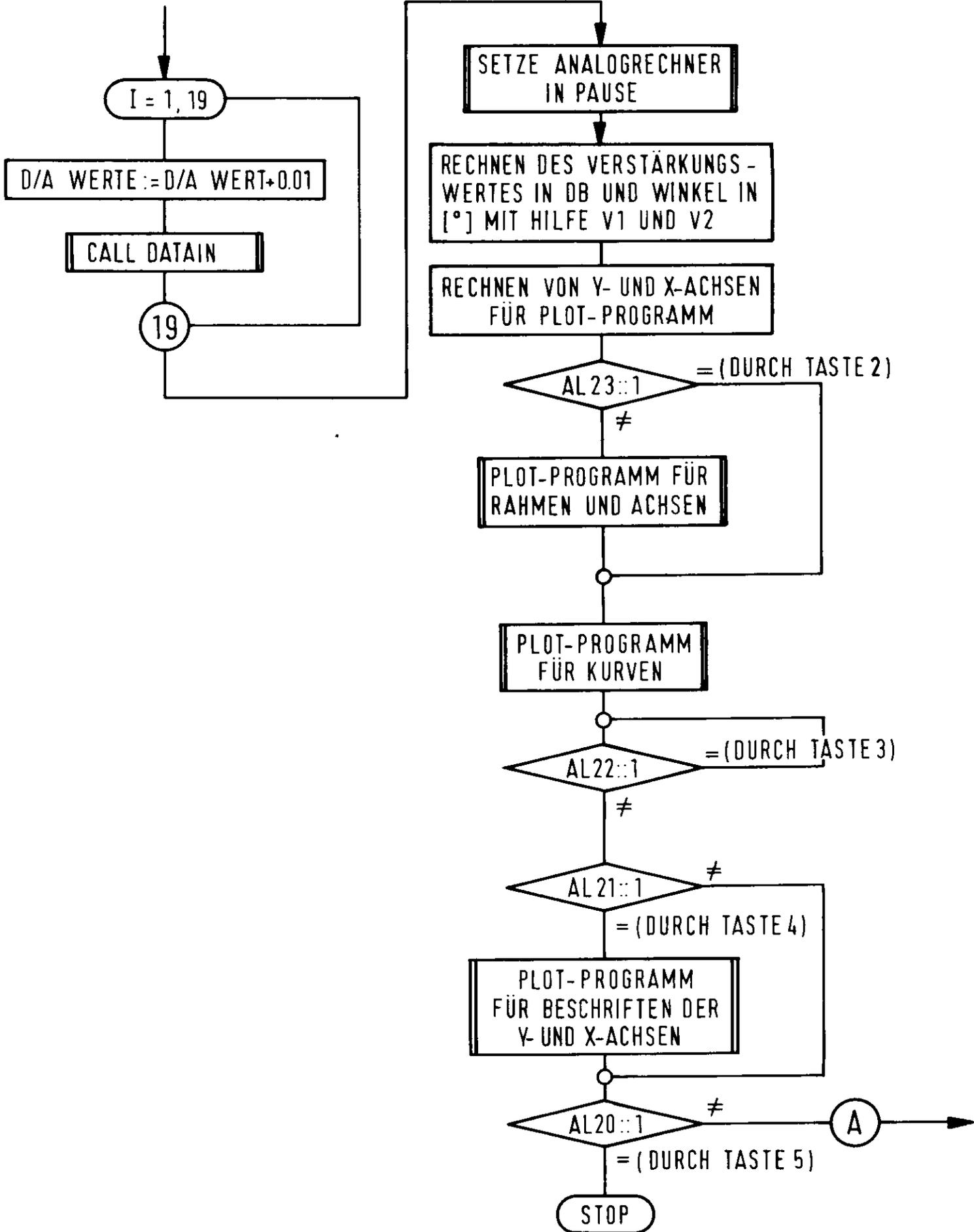


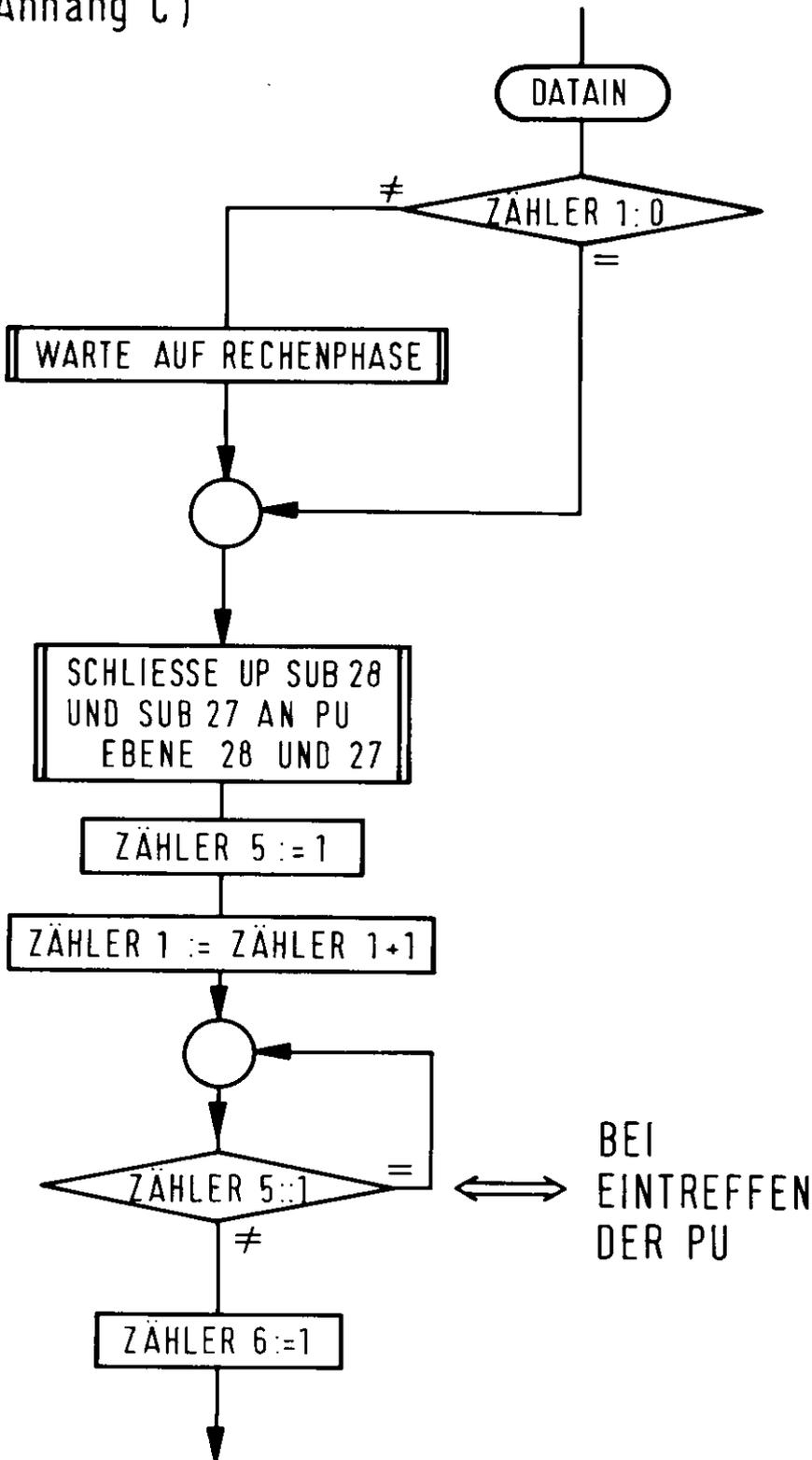
BILD 4: FLUSSDIAGRAMM







Anhang C)



BEI EINTREFFEN DER PU

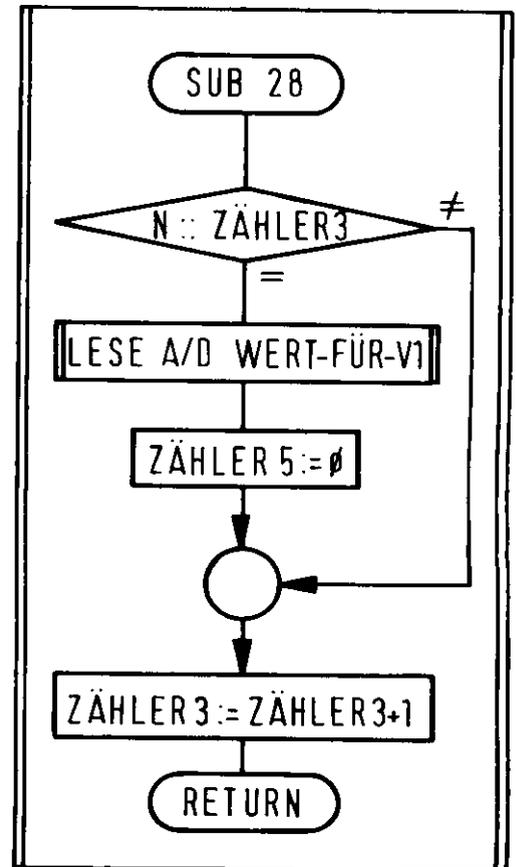


BILD 4

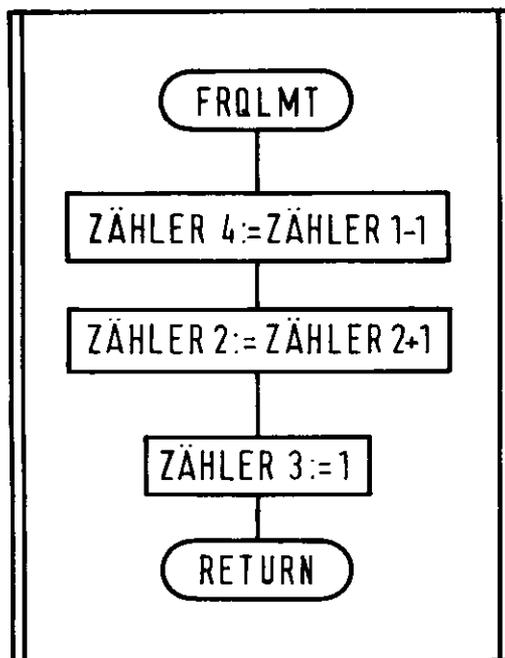
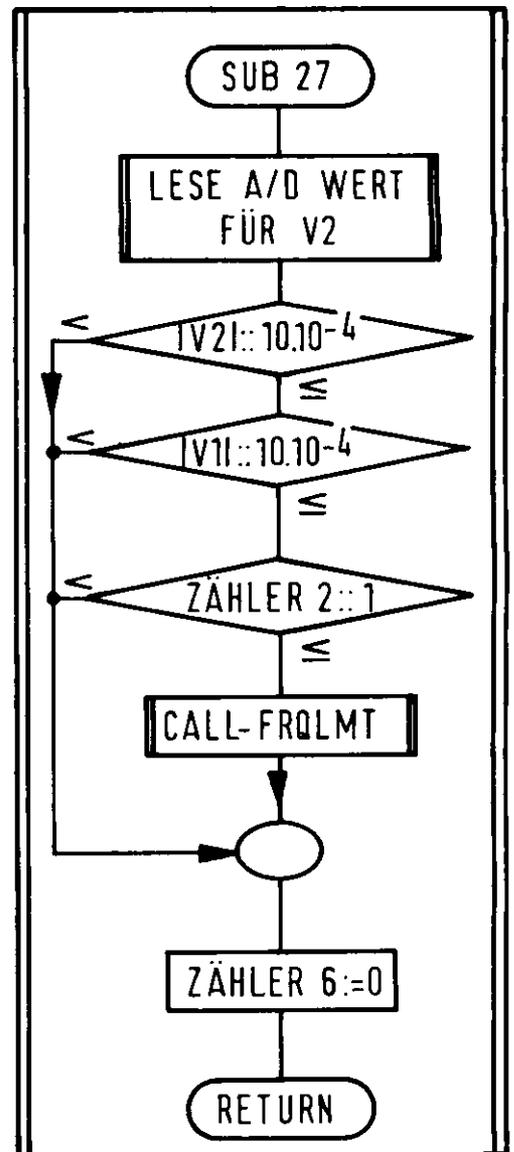
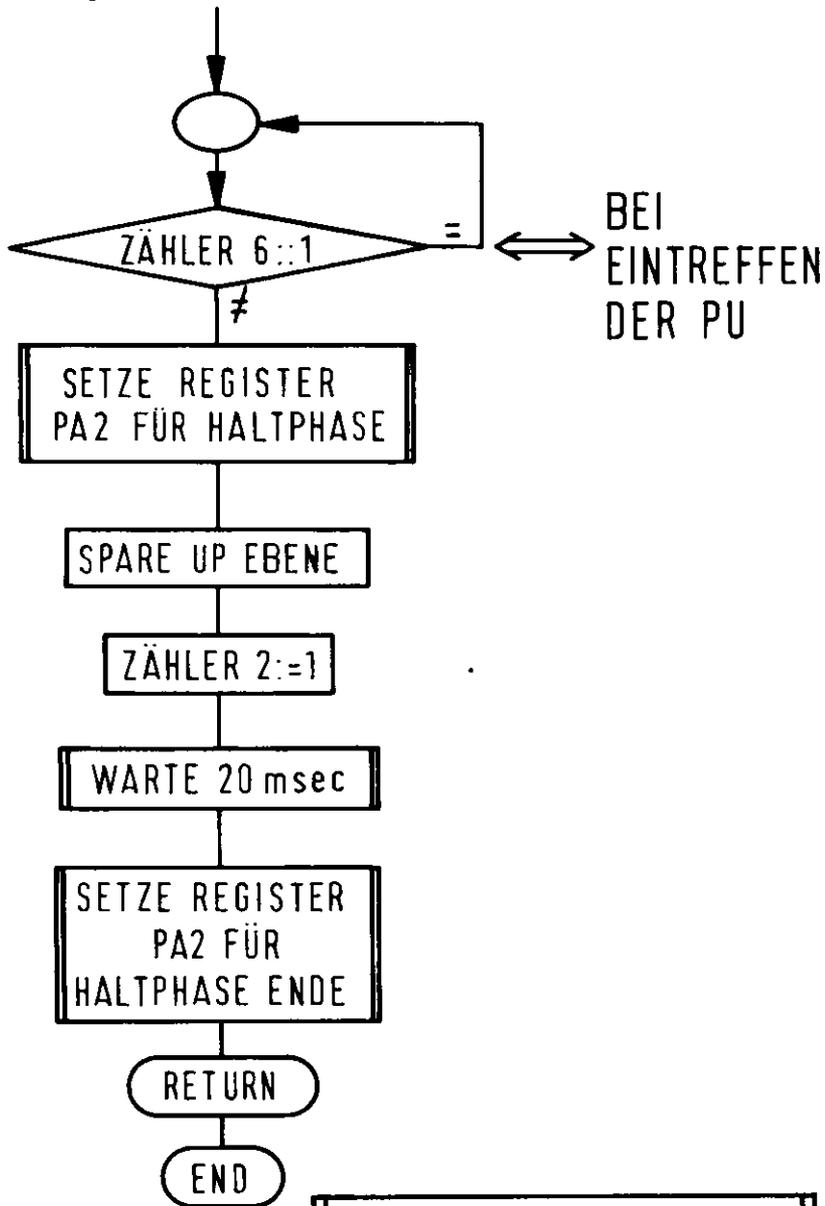


BILD 4

Anhang D

TR 86 FORTRAN COMPILER MV 072 (7C) HYBRID FOKA.

```
C C HAUPT PROGRAMM

  FLOATSHORT XM, YM
  FLOATSHORT VKR
  FLOATSHORT YKP( 35), YTP( 35), XP( 35)
  FLOATSHORT B( 34), YK( 34), YTR( 34), YTW( 34), XF( 34), XFO, FRO, DFRO
  FLUATSHORT NJ, FR
  INTEGER*2 KZ, II, WH, JJ, N, KY, KK, MM
  INTEGER*2 M(4), WINK(5), GRAD(3), VER(6), DB(2), LOG(6), HZ(4), V, BODE(7)
  1, DAT(10)
  FRACTIONAL DAF(2), POTWRT(2)
  FRACTIONAL V1, V2, VA
  DIMENSION LL(23)
  DIMENSION IADR(2)
  COMMON/BDGF/ KZ, II, WH, JJ, N, KY, KK, MM, V1(34), V2(34), VA
  DATA IADR/4HP002, 4HP060/
  DATA POTWRT/.5V, .4980V/
  DATA M/1H1, 1H-, 1H+, 1H0/, WINK/10HWINKEL PHI/, GRAD/6H[GRAD]/, VER/12H
  1VERSTAERKUNG/, DB/4H[DB]/, LOG/12HLOG FREQUENZ/, HZ/4H[HZ]/, V/1HV/, B0
  2DE/13HBODE-DIAGRAMM/, LL/3H180, 3H160, 3H140, 3H120, 3H100, 2H80, 2H60, 2H
  340, 2H20, 2H10, 2H30, 2H50, 2H70, 2H90, 2H10, 2H20, 2H30, 2H40, 2H50, 2H60, 2H7
  40, 2H80, 2H90, 2H10, 3H100, 4H1000, 5H10000/

C C SETZE POT. WERT FUR SINUS GENERATOR UND KOMPERATOR

  CALL*POTSET(IADR, POTWRT, 2I)

C C ANALOG WERT LESSEN UP

  CALL*AD1DEF(8I, VA, 1I)

C C VER. WERT MIT DATA KARTE

  READ(5, 100) VKR
  100 FORMAT(F10.5)

C C SETZE DAU 2 UND 3 ALS MULTIPLIKATOREN

  CALL*DAUVOR(2I, .25V, 2I, 3I)

C C WARTE AUF PARAMETERANDRUNG

  91 IF(ALAND('1'H)) 91, 91, 101
  101 CONTINUE

C C SETZE REGISTER PA1 AUF NULL

  CALL*R1SET(0I)

C C SETZE REGISTER PA2 AUF NULL

  CALL*R2SET(0I)

C C SETZE REGISTER PPA AUF NULL

  CALL*R3SET(0I)

C C JJ=ZAHLER 1
```

```
JJ=0I

C CMM= ZAHLER 2
      MM=1I

C C II= ZAHLER 3
      II=1I

C C KK = ZAHLER 4
      KK=34I

C C N=ZAHL DER PERIODEN VON SINUSGENERATOR
      N=1I

C C DAF(I)= DIGITAL EINGANG DES DAU
      DAF(1)=.1V
      DAF(2)=DAF(1)

C C SETZE DAU FUR 5 HZ
      CALL*DABLOC(2I,DAF,2I)

C C SETZE ARBEITSART REPETIEREN
      CALL*AREPET

C C ANALOG RECHNER IN RECHEN PHASE
      CALL*ASTART
      CALL*PUNOP(17I)

C C UP FUR DATEN ERFASSEN
      CALL DATAIN
      N=2I
      DAF(1)=.2V
      DAF(2)=DAF(1)
      CALL*DABLOC(2I,DAF,2I)
      CALL DATAIN

C C ANALOG RECHNER IN PAUSE
      CALL*SPRSET('30'H)

C C DURCH PPA SINUS GENERATOR AUF 10 BIS 100 HZ BEREICH
      CALL*R3SET(2I)
      CALL*WARTE(20000I)
      N=3I
      DAF(1)=.00V
      CALL*SPRSET('31'H)
      DO 32 I=1,4
      N=N+2I
      DAF(1)=DAF(1)+.04V
      DAF(2)=DAF(1)
```

```

CALL*DABLOC(2I,DAF,2I)
CALL DATAIN
32 CONTINUE
   CALL*SPRSET('30'H)

C C DURCH PPA SINUSGENERATOR AUF 100 BIS 1000 HZ BEREICH

   CALL*R3SET(6I)
   CALL*WARTE(20000I)
   N=5I
   DAF(1)=.00V
   CALL*SPRSET('31'H)
   DO 33 I=1,9
   N=N+5I
   DAF(1)=DAF(1)+.02V
   DAF(2)=DAF(1)
   CALL*DABLOC(2I,DAF,2I)
   CALL DATAIN
33 CONTINUE
   CALL*SPRSET('30'H)

C C DURCH PPA SINUSGENERATOR AUF 1000 BIS 10000 HZ

   CALL*R3SET(5I)
   CALL*WARTE(20000I)
   N=100I
   DAF(1)=.01V
   CALL*SPRSET('31'H)
   DO 34 I=1,19
   DAF(1)=DAF(1)+.01V
   DAF(2)=DAF(1)
   CALL*DABLOC(2I,DAF,2I)
   CALL DATAIN
34 CONTINUE

C C ANALOG RECHNER IN PAUSE

   CALL*APAUSE
   CALL*PUNORM
   DO 72 JJ=1,KK
   R(JJ)=SQRTFL(KFRFL(V1(JJ))*KFRFL(V1(JJ))+KFRFL(V2(JJ))*KFRFL(
1 V2(JJ)))

C C YK(I)= VER. IN DB

   YK(JJ)=20.WO*LOGFL(B(JJ)*2.WO*VKR)

C C YTR(I)= WINKEL IN RAD.

   YTR(JJ)=KR4FL(ARCOS(KFLR4(ABSFL(KFRFL(V2(JJ)))/B(JJ))))))

C C YTW(I) =WINKEL IN GRAD

   YTW(JJ)=360.WO*YTR(JJ)/6.28WO

C C LOGIC FUR WINKEL BERESCHNUNG

   IF(KFRFL(V1(JJ)).LE.O.WO) GO TO 70
   IF(KFRFL(V2(JJ)).LE.O.WO) GO TO 72
   YTW(JJ)=180.WO-YTW(JJ)

```

```

      GO TO 72
70 IF(KFRFL(V2(JJ)).GE.0.WO) GO TO 73
      YTW(JJ)=180.WO-YTW(JJ)
73 YTW(JJ)=-YTW(JJ)
72 CONTINUE

```

## C C BERECHNUNG DES X WERTE FUR DIE KURVEN

```

      JJ=1I
      XF(JJ)=12.5WO*LOGFL(5.WO)
      XFO=1.7WO
      XF(JJ)=XFO+XF(JJ)
      JJ=2I
      XF(JJ)=12.5WO
      XF(JJ)=XFO+XF(JJ)
      FRO=1.WO
      XFO=XF(2)
      DO 80 JJ=3,7
      NJ =KI2FL(JJ*2I)-4.0WO
      FR=FRO*NJ
      XF(JJ)=12.5WO*LOGFL(FR)
80   XF(JJ)=XFO+XF(JJ)
      DFR0=1.0WO
      XFO=XF(7)
      DO 81 JJ=8,15
      NJ =KI2FL(JJ)-7.WO
      FR=FRO+DFR0*NJ
      XF(JJ)=12.5WO*LOGFL(FR)
81   XF(JJ)=XFO+XF(JJ)
      DFR0=0.5WO
      XF(16)=1.7WO+12.5WO*LOGFL(1000.WO)
      XFO=XF(16)
      DO 82 JJ=17,34
      NJ =KI2FL(JJ)-16.WO
      FR=FRO+DFR0*NJ
      XF(JJ)=12.5WO*LOGFL(FR)
82   XF(JJ)=XFO+XF(JJ)
      YKP(1)=29.WO+20.WO*LOGFL(VKR)/10.WO
      YTP(1)=11.5WO
      XP(1)=1.7WO
      DO 90 JJ=1,KK
      XP(JJ+1I)=XF(JJ)

```

## C C BERECHNUNG DES Y WERTE FUR DIE KURVE WINKEL=F(FREQ.)

```

      YTP(JJ+1I)=YTP(1)+0.5WO*YTW(JJ)/10.WO

```

## C C WERTE FUR DIE KURVE VER.=F(FREQ.)

```

90   YKP(JJ+1I)=29.WO+YK(JJ)/10.WO

```

## C C NORMIEREN DER ZEICHENEBENE

```

      CALL*PLOTJU

```

## C C AKTUELLE ZEICHENEBENE FESTLEGEN

```

      CALL*PLDTEB(OWO, 54.7WO, OWO, 36WO)

```

## C C RELATIVEN MASSTAB IN X,Y FESTLEGEN

```

CALL*PLOTSK(-1.7WO, 53WO, 0WO, 36WO)

C C DURCH TASTE 2 ACHSEN ZEICHNEN UBERSPRINGEN

    IF(ALAND('2'H)) 92,92,93
92 CALL*PLOTXY(1.7WO,27.0WO,1)
    CALL*PLOTXY (1.7WO, 11.5WO, 0)
    XM=2.0WO
    DO 10 I=1,28
    XM=XM+0.5WO
10 CALL*PLOTSY(M(1),1,1.7WO,XM,0.6WO,90.0WO)
    XM=18.0WO
    DO 11 I=1,16
    XM=XM+1.0WO
11 CALL*PLOTSY(M(1),1,1.7WO,XM,0.6WO,90.0WO)
    XM=1.7WO
    DO 12 I=1,4
    XM=XM+12.5WO
12 CALL*PLOTSY(M(1),1,XM,11.5WO,0.6WO,0.0WO)
    XM=1.7WO
    DO 13 I=1,4
    XM=XM+12.5WO
13 CALL*PLOTSY(M(1),1,XM,27.0WO,0.6WO,0.0WO)
    CONTINUE

C C PLOT PROGRAMM FUR KURVEN

    KK=KK+1I
93 DO 1000 I=1,KK
1000 YKP(I) = YKP(I) - 2WO
    CALL*PLOTK2(XP(1),YTP(1), KK,1,1)
    CALL*PLOTK2(XP(1),YKP(1), KK,1,1)

C C WARTE SCHLEIFE DURCH TASTE 3

95 IF(ALAND('4'H)) 94,94,95

C C DURCH TASTE 4 BESCHRIFTEN PROGRAMM UBERSPRINGEN

94 IF(ALAND('8'H))97,97,96

C C BESCHRIFTEN DER Y-ACHSE

C C PLUS- UND MINUSZEICHEN

96 XM = 0.5WO
    DO 14 I = 1,5
    XM = XM + 2WO
14 CALL*PLOTSY (M(2), 1, -1.2WO, XM, 0.5WO, 0WO)
    XM = 10WO
    DO 15 I=1,3
    XM = XM + 2WO
15 CALL*PLOTSY (M(3), 1, -1.2WO, XM, 0.5WO, 0WO)
    XM=18.0WO
    DO 16 I=1,4
    XM = XM + 2WO
16 CALL*PLOTSY (M(2), 1, -1.2WO, XM, 0.5WO, 0WO)
    XM = 26WO

```

```

DD17 I=1,4
XM = XM + 2W0
17 CALL*PLOTSY (M(3), 1, -1.2W0, XM, 0.5W0, 0W0)

C C   ZAHLEN AN DER UNTEREN Y-ACHSE

XM = 0.5W0
DD18 I=1,5,2
XM = XM + 2W0
18 CALL*PLOTSY (LL(I), 3, -0.7W0, XM, 0.6W0, 0W0)
DD19 I=7,9,2
XM = XM + 2W0
19 CALL*PLOTSY (LL(I), 2, -0.1W0, XM, 0.6W0, 0W0)
XM = 10.0W0
DD20 I=10,14,2
XM = XM + 2W0
20 CALL*PLOTSY (LL(I), 2, -0.1W0, XM, 0.6W0, 0W0)

C C   ZAHLEN AN DER OBEREN Y-ACHSE

YM = 26W0
XM = 28W0
DD21 I=15,21,2
XM = XM - 2W0
YM = YM + 2W0
CALL*PLOTSY (LL(I), 2, -0.1W0, XM, 0.6W0, 0W0)
21 CALL*PLOTSY (LL(I), 2, -0.1W0, YM, 0.6W0, 0W0)

C C   ZEICHNEN DER HOCHGESTELLTEN NULLEN

XM = 0.7W0
DD22 I=1,5
XM = XM + 2W0
22 CALL*PLOTSY (M(4), 1, 1.1W0, XM, 0.3W0, 0W0)
XM = 10.2W0
DD23 I=1,3
XM = XM + 2W0
23 CALL*PLOTSY (M(4), 1, 1.1W0, XM, 0.3W0, 0W0)

C C   BESCHRIFTEN DER X-ACHSE

XM = 1.7W0
J=1
DD24 I=24,25
J=J+1
XM=XM+12.5W0
CALL*PLOTSY(LL(I),J,XM,10.7W0,0.6W0,0.0W0)
24 CALL*PLOTSY(LL(I),J,XM,26.2W0,0.6W0,0.0W0)
XM = 25W0
DD25 I = 26,27
J = J + 1
XM = XM + 12.5W0
CALL*PLOTSY (LL(I), J, XM, 10.7W0, 0.6W0, 0W0)
25 CALL*PLOTSY (LL(I), J, XM, 26.2W0, 0.6W0, 0W0)

C C   WINKEL PHI

CALL*PLOTSY (WINK, 10, 2.5W0, 16.5W0, 0.6W0, 0W0)
CALL*PLOTSY (GRAD, 6, 3.7W0, 15.5W0, 0.6W0, 0W0)

```

```
C C   VERSTAERKUNG
      CALL*PLOTSY (VER, 12, 2.5W0, 34W0, 0.6W0, 0W0)
      CALL*PLOTSY (DB, 4, 4.9W0, 33W0, 0.6W0, 0W0)

C C   LOG FREQUENZ
      CALL*PLOTSY (LOG, 12, 45.8W0, 29W0, 0.6W0, 0W0)
      CALL*PLOTSY (HZ, 4, 48.2W0, 28W0, 0.6W0, 0W0)
      CALL*PLOTSY (LOG, 12, 45.8W0, 13.5W0, 0.6W0, 0W0)
      CALL*PLOTSY (HZ, 4, 48.2W0, 12.5W0, 0.6W0, 0W0)

C C   PFEILE
      CALL*PLOTSY (V, 1, 1.7W0, 16.8W0, 0.6W0, 180W0)
      CALL*PLOTSY (V, 1, 1.7W0, 34.8W0, 0.6W0, 180W0)
      CALL*PLOTSY (V, 1, 52.4W0, 11.5W0, 0.6W0, 90W0)
      CALL*PLOTSY (V, 1, 52.4W0, 27W0, 0.6W0, 90W0)

C C   BODE
      CALL*PLOTSY (BODE, 13, 22.1W0, 35W0, 1W0, 0W0)

C C   DURCH TASTE 5 STOP HYBRID PROGRAMM
      97  IF(ALAND('10'H)) 91,91,98
      98  CONTINUE
          CALL*APAUSE
          CALL*PUNORM
          STOP
          END
```

```

SUBROUTINE DATAIN
  INTEGER*2   KZ,II,WH,JJ,N,KY,KK,MM
  FRACTIONAL V1,V2,VA
  COMMON/BDGF/ KZ,II,WH,JJ,N,KY,KK,MM,V1(34),V2(34),VA
  EXTERNAL SUB28,SUB27
  IF(JJ.EQ.0I) GO TO 10

C C  WARTEN AUF RECHEN PHASE
      CALL*PHSYN(WH)
  10 JJ=JJ+1I

C C  UP SUB28 AUF EBNE 28
      CALL*PU28D(SUB28)

C C  UP SUB27 AUF EBNE 27
      CALL*PU27D(SUB27)

C C  KZ=ZÄHLER 5
      KZ=1I
  42 IF(KZ.EQ.1I) GO TO 42
      CALL*R2SET(1I)

C C  KY= ZÄHLER 6
      KY=1I
  47 IF(KY.EQ.1I) GO TO 47

C C  DURCH PA2 HALT PHASE
      CALL*R2SET(3I)

C C  SPEREN DES UP EBNE
      CALL*PUNOP(27I,28I)
      II=1I
      CALL*WARTE(20000I)

C C  DURCH PA2 HALT PHASE ENDE
      CALL*R2SET(0I)
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE SUB28

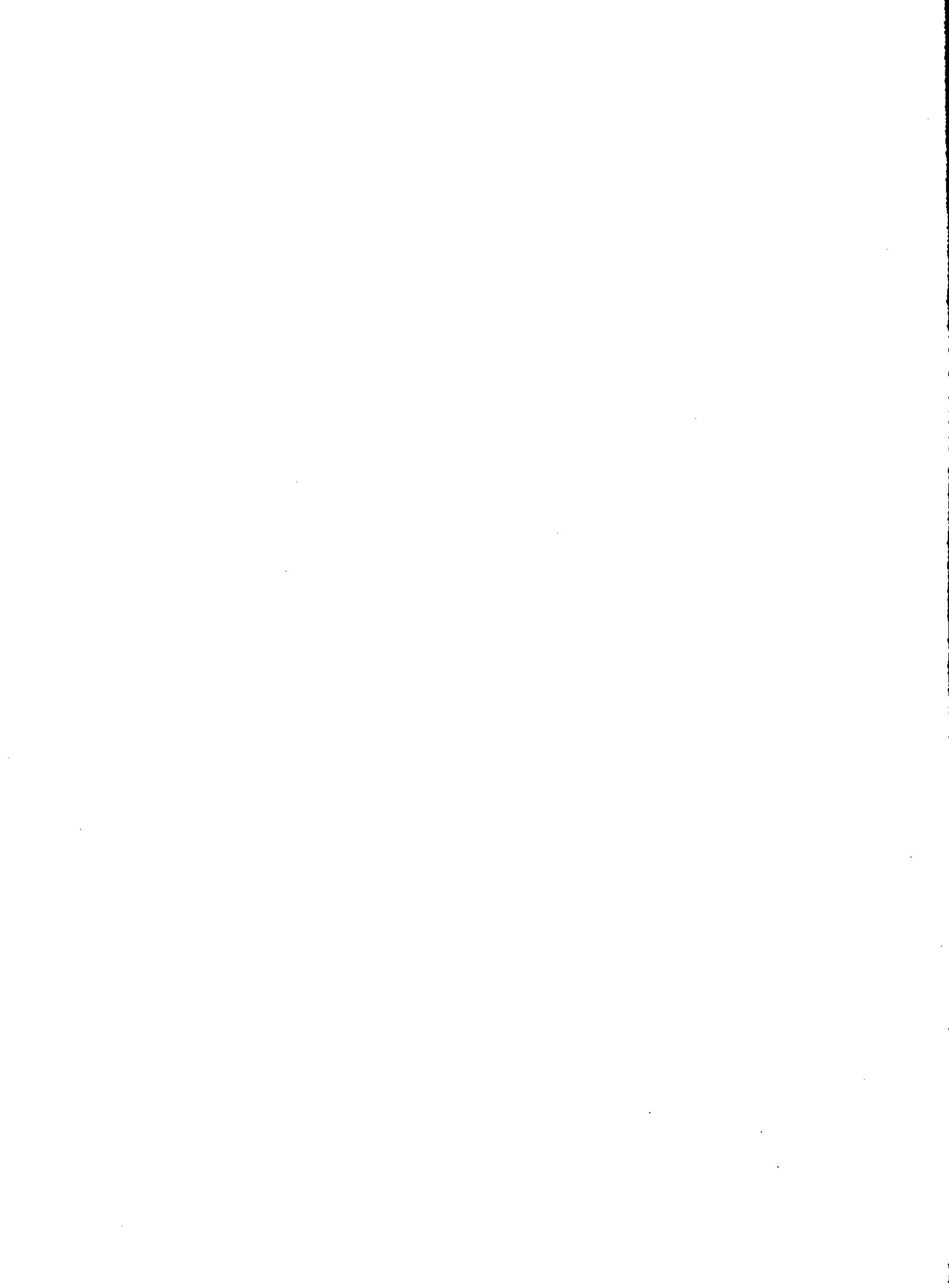
```
SPECIAL 28
INTEGER*2   KZ,II,WH, JJ,N,KY, KK, MM
FRACTIONAL   V1,V2,VA
COMMON/BDGF/ K7,II,WH, JJ,N,KY, KK,MM,V1(34),V2(34),VA
IF(N-II) 3,2,3
2 CALL*AD1ST
  V1(JJ)=VA
  KZ=OI
3  II=II+1I
  RETURN
END
```

SUBROUTINE SUB27

```
SPECIAL 30
INTEGER*2  KZ,II,WH, JJ,N,KY, KK,MM
FRACTIONAL  V1,V2,VA
COMMON/BDGF/ KZ,II,WH, JJ,N,KY, KK,MM,V1(34),V2(34),VA
CALL*ADIST
V2(JJ)=VA
IF(ABSFR(V2(JJ))-0.0010V) 1,1,2
1 IF(ABSFR(V1(JJ))-0.0010V) 3,3,2
3 IF(MM-1I) 4,4,2
4 CALL FRQLMT
2 KY=0I
RETURN
END
```

## SUBROUTINE FRQLMT

```
INTEGER*2   KZ,II,WH, JJ,N,KY, KK, MM
FRACTIONAL  V1,V2,VA
COMMON/BDGF/ KZ,II,WH, JJ,N,KY, KK, MM, V1(34), V2(34), VA
KK=JJ-1I
MM=MM+1I
II=1I
  RETURN
END
```



# BODE-DIAGRAMM

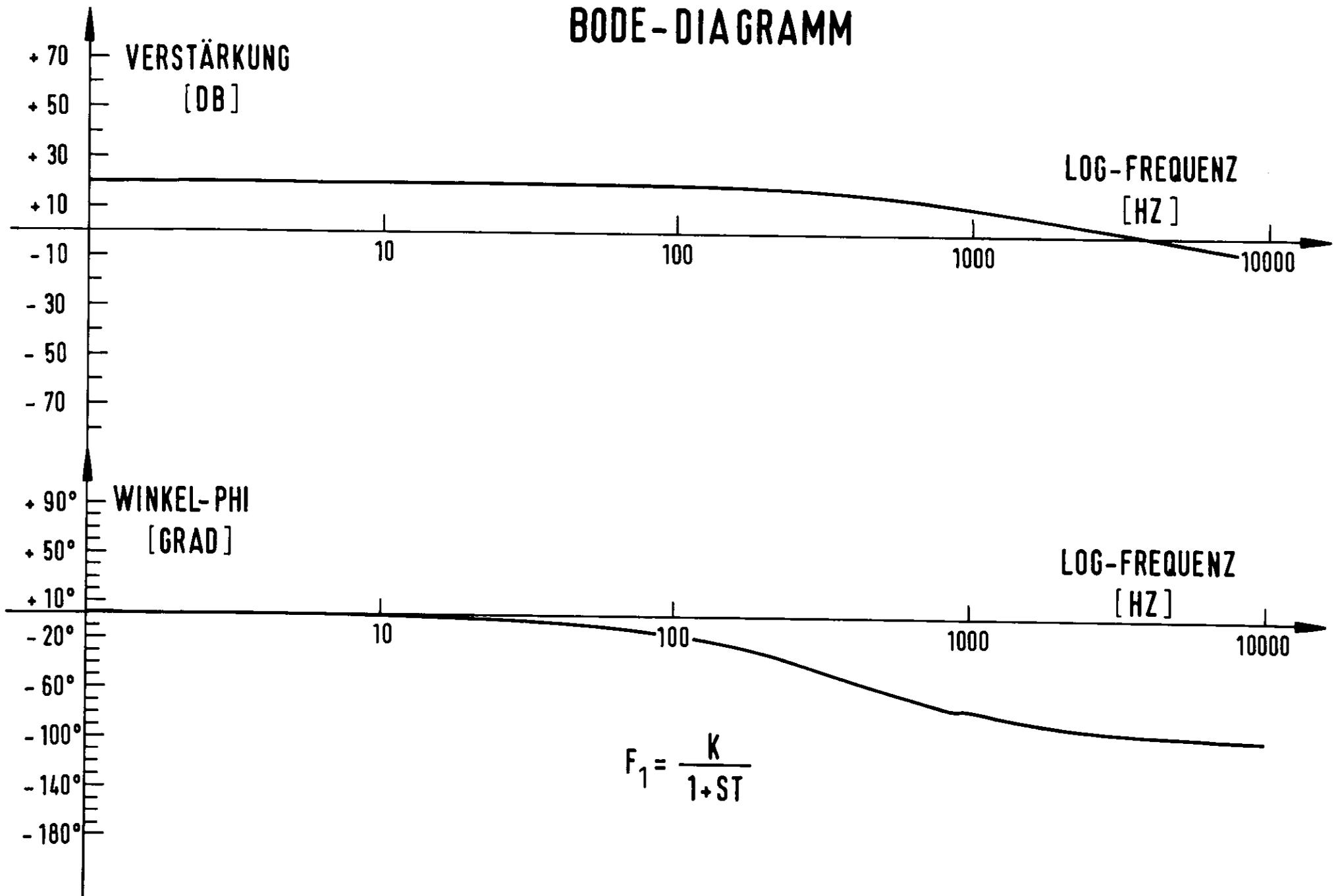


BILD 6

## BODE-DIAGRAMM

