

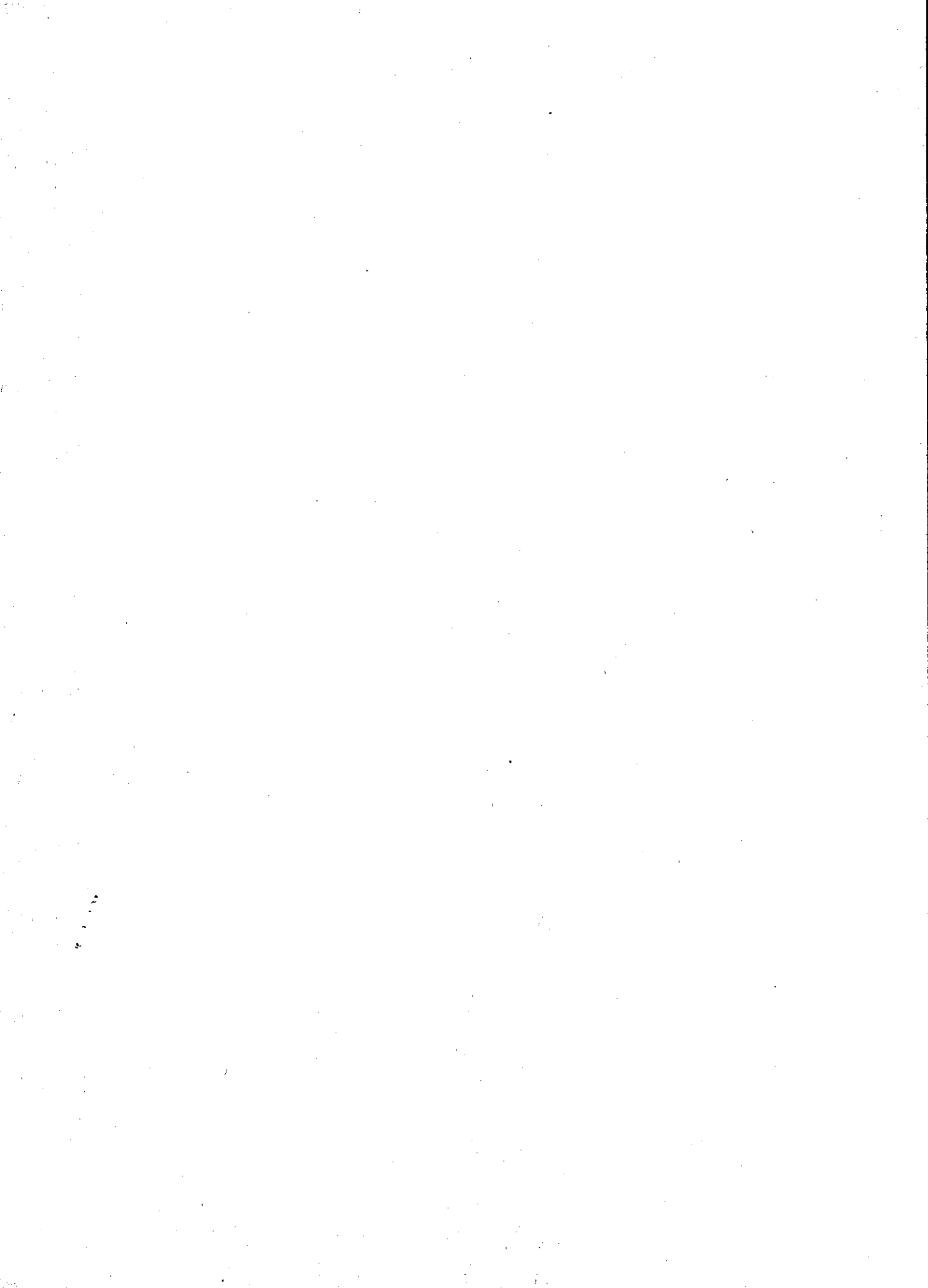
Interner Bericht  
DESY K-70/2  
Dezember 1970

Sendergleichrichter-dynamische Berechnung

von

Petr Zajiček

DESY-Bibliothek  
12. FEB. 1971



## INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Technische Daten
3. Einfache Beschreibung des Wechselstromstellers
4. Möglichkeiten der Problembehandlung
5. Wahl der Berechnungsmethode
6. Beschreibungsfunktionen des Sendergleichrichters
  - 6.1 Gittersteuersätze
  - 6.2 Ersatztransformatorkreis
  - 6.3 Magnetisierungskennlinie
  - 6.4 Glättungsglied
  - 6.5 Laständerungen
7. Optimierungskriterium im Zeitbereich
8. Das korregierende Netzwerk
9. PID-Regler
10. Anhang

## 1. Einleitung

Für den Betrieb von Klystronsendern des Speicherringes werden 6 Sendergleichrichter mit einer Nennspannung 45 kV und einem Nennstrom von 17A<sub>arithm.</sub> gebraucht. Die Gleichrichter für den Speicherring werden nach dem Bild 1 geschaltet.

Im Bereich zwischen 40-45 kV (Stellbereich) müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- a) Ein eingestellter Wert wird unabhängig von Netz- oder Lastschwankungen sowie unabhängig von Regelvorgängen auf  $\pm 0.5\%$  eingehalten, bezogen auf den eingestellten Wert.
- b) Diese Forderung bedeutet, daß die dargestellten Grenzen auch dann nicht überschritten werden, wenn sich alle Einflüsse summieren.  
Es ist berücksichtigt, daß die Amplituden der verketteten Spannungen von Phase zu Phase um  $\pm 0.5\%$  abweichen können und daß Laständerungen mit einer Änderungsgeschwindigkeit von max. 1,6 A/ms auftreten. Die Netzspannung schwankt um  $\pm 3\%$  in langen Zeiträumen. Kurzzeitig können Sprünge von  $\pm 1\%$  vorkommen.
- c) Das Stellglied soll auf schnelle Änderungen entsprechend rasch antworten können.
- d) Die Oberschwingungen auf der Gleichspannungsseite sollten möglichst klein sein.

Alle diese Punkte lassen sich durch die Wahl einer 12-pulsigen Schaltung erfüllen.

Die vorgesehene Schaltung des Sendergleichrichters ist der symmetrische Drehstromsteller mit verbundenem Nulleiter. Der Transformator wird durch einen symmetrischen Drehstromsteller betrieben. Die Sekundärseite des Transformators ist als Dreieck geschaltet und mit einer Gleichrichterbrückenschaltung verbunden. In dieser Arbeit wird die dynamische Berechnung des vorliegenden Systems mit Rücksicht auf den Entwurf eines passenden Reglers durchgeführt.

## 2. Technische Daten

Anpassungstransformator	$Tr_1, Tr_2$
Nennleistung:	535kVA
Leerlaufübersetzung:	0,68/21,6 kV
Schaltung:	Dy 5 mit voll belastbarem herausgeführten Sternpunkt
Induktion:	12 k Gauß, warm gewalztes Blech
Verluste $F_{e/Cu}$ :	ca. 2,1/15 kW

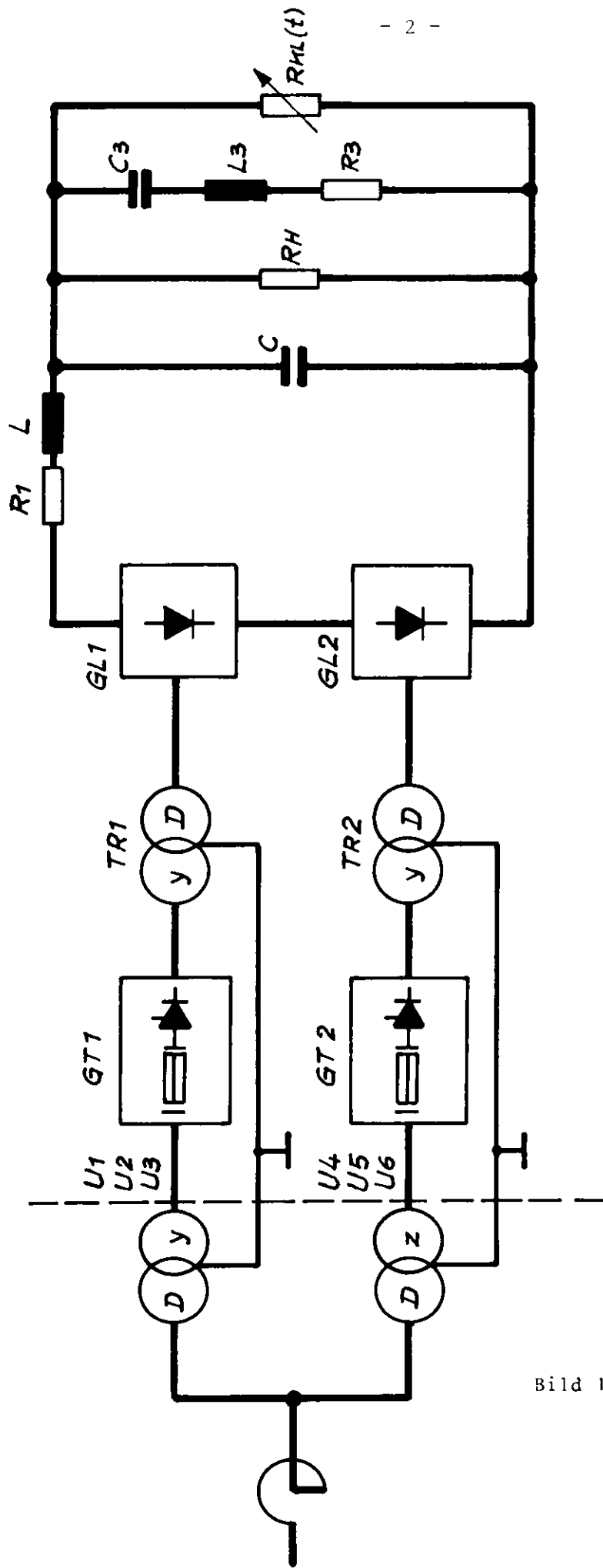


Bild 1

Glättungsglied:

$$L = 1,8 \text{ [4]}$$

$$R_1 = 8,0 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$L_3 = 1,21 \text{ [H]}$$

$$R_3 = 19,0 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$C_3 = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ [F]}$$

$$R_M = 100 \cdot 10^3 \text{ [}\Omega\text{]}$$

$$C = 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ [F]}$$

$$R_{KL} = f(t)$$

Annahmen zur Berechnung:

Netz und Leitungseinduktivitäten und Widerständen werden vernachlässigt.  
 Der Durchlaßwiderstand der Gleichrichter und Thyristoren wird vernachlässigt.  
 Die Thyristoren werden einfach kommutierend angenommen.

### 3. Einfache Beschreibung des Wechselstromstellers

Für das Verständnis der Funktion des Sendergleichrichters müssen einige Erläuterungen gegeben werden:

Wenn man zwei antiparallele Thyristoren auf der Wechselstromseite eines Gleichrichtertransformators anordnet, erhält man einen Wechselstromsteller (Bild 2), der die Grundlage des Sendergleichrichters ist.

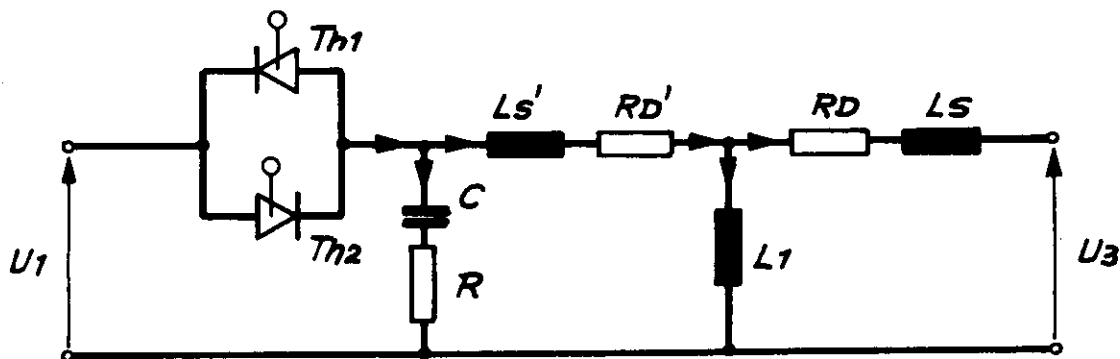


Bild 2

Die anliegende Wechselspannung  $U_1$  tritt über beide Thyristoren Th1 und Th2 als Sperr- oder Kippspannung auf. Durch Verschieben des Zündzeitpunktes kann die am Transformator entstehende Spannungszeitfläche stufenlos geändert werden (Bild 3).

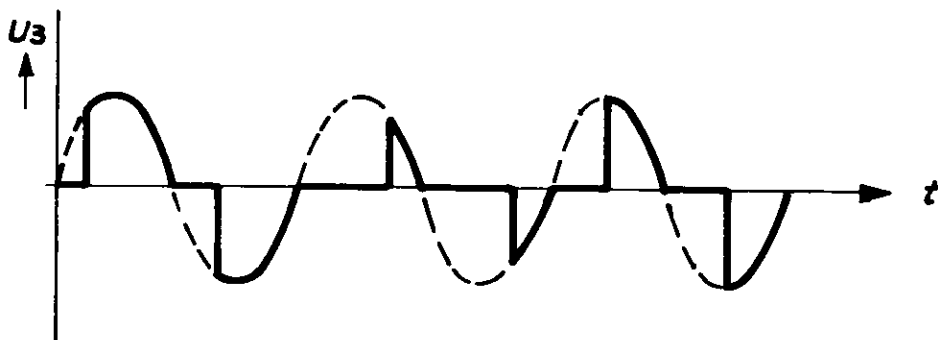


Bild 3

Diese Darstellung kann nur stimmen, wenn man zunächst die dabei fließenden Magnetisierungsströme vernachlässigt. Wenn dem Transformator eine unsymmetrische Spannungsfläche zugeführt wird, wie es in der Praxis häufig vorkommt, dann tritt eine Gleichstromvormagnetisierung ein, die den Transformator einseitig in die Sättigung treibt. Das bedeutet, daß der Magnetisierungsstrom in der einen Halbwelle zunimmt und praktisch nur durch den ohmschen Widerstand der Wicklung und durch die in Serie liegenden Reaktanzen begrenzt wird, die auf die unsymmetrische Spannungszeitfläche stabilisierend wirken. Deswegen schaltet man einen Kondensator C mit Dämpfungswiderstand R parallel zu den primären Transformator клемmen und stellt folgende Theorie auf [4].

Die vom Wechselstromsteller herrührende Spannung bewirkt im leerlaufenden Transformator einen induktiven Strom. Der Transformator wird auch von der anliegenden Spannung aufgeladen, jedoch tritt auf Grund des Widerstandes R eine Phasenverschiebung auf. In dem Augenblick, in dem die Netzspannung gleich der Kondensatorspannung ist, fließt der Strom vom Kondensator zum Netz bzw. zum Transformator. Wenn dann der Langimpuls zu Ende ist und der negative Kondensatorstrom gleich dem Magnetisierungsstrom des Transformators ist, wird der Thyristorstrom Null und verlöscht. In der vorgesehenen Anordnung ist die RC-Beschaltung für die Aufrechterhaltung des Magnetisierungsstroms nicht enthalten, weil die Funktion der Thyristoren durch genügend lange Zündimpulse gewährleistet werden soll.

#### 4. Möglichkeiten der Problembehandlung

Das vorliegende System muß als nichtlinear betrachtet werden. Systeme mit nichtlinearen bzw. unstetig wirkenden Gliedern haben vielfach andere Eigenschaften als lineare Glieder. Die Stabilität des Regelkreises kann nicht nur von der Grösse der Signalamplitude abhängen.

Der stationäre Zustand eines nichtlinearen Systems kann durch das Auftreten stabiler Dauerschwingungen mit gleichbleibender Amplitude gekennzeichnet sein, die nicht nur als Stabilitätsgrenze Bedeutung haben.

Ich möchte hier auf zwei nichtlineare Methoden hinweisen, die sehr oft in der Regelungstechnik Verwendung finden.

- a) Die Methode der harmonischen Linearisierung ist ein Näherungsverfahren zur Ermittlung von Dauerschwingungen in Regelkreisen mit beliebig vielen linearen Gliedern und einem nichtlinearen Glied. Bei dieser Methode wird angenommen, daß das möglicherweise existierende periodische Ausgangssignal des nichtlinearen Gliedes von den nachfolgenden linearen Gliedern gefiltert wird und daher nur die sinusförmige Grundwelle des Signals von Bedeutung ist.
- b) Die Methode, die Übertragungsfunktion in der Phasenebene darzustellen, läßt sich zur Untersuchung von Systemen mit einem Glied zweiter Ordnung anwenden, sofern in der Differentialgleichungen die Zeit nicht explizit vorkommt. Im Gegensatz zur harmonischen Linearisierung ist sie ein exaktes Verfahren, das auch Auskunft über Übergangsvorgänge gibt. Für die Beschreibung eines Systems  $n$ -ter Ordnung sind die Variablen  $y, \frac{dx}{dt}, \dots, \frac{dx^{n-1}}{dt^{n-1}}$  nötig, zu deren Veranschaulichung ein  $n$ -dimensionaler Raum benötigt wird.

Die Nachteile und Vorteile dieser Methoden sind sofort erkennbar. Allgemein kann man sagen, daß die Behandlung jeder nichtlinearen Aufgabe weit über die Grenzen der üblichen technischen Berechnungen hinausgeht.

#### 5. Wahl der Berechnungsmethode

Für das Beispiel des Sendergleichrichters ist es praktisch unmöglich eine bekannte Methode zur Berechnung zu benutzen, weil die Eigenschaften des Systems die Bedingungen der Methoden nicht erfüllen. Für einen Analogrechner ist die Berechnung zu umfangreich.

Deswegen ist die Programmiersprache CSMP/360 benutzt worden, die zur Simulation dynamischer Systeme besonders geeignet ist.



CSMP/360 baut auf der Programmiersprache FORTRAN IV auf. Das bedeutet, daß alle Möglichkeiten, die FORTRAN zur Formulierung algebraischer und logischer Zusammenhänge bietet, auch in CSMP gegeben sind.

Die Vorteile von CSMP gegenüber FORTRAN treten bei der Simulation der dynamischen Systeme klar zutage. Diese Systeme sind dadurch gekennzeichnet, daß ihre Größen sich kontinuierlich als Funktion einer unabhängigen Variablen ändern. Die Veränderungen erfolgen simultan für alle Größen des Systems und werden in der Regel durch ein System gekoppelter Differentialgleichungen beschrieben. Das bedeutet für die Simulation, daß parallele Strukturen in eine seriell arbeitende Folge von Rechenanweisungen umgesetzt werden müssen. Das muß der FORTRAN-Programmierer selbst lösen, während dem Benutzer von CSMP mehr Zeit für das tatsächliche Problem bleibt.

## 6. Beschreibungsfunktionen des Sendergleichrichters

### 6.1 Gittersteuersätze

Die Funktion der Gittersteuersätze ist nach dem Bild 4 programmiert worden. Für die MACRO-Funktion in CSMP gilt:

```
MACRO UA = GSATZ (H,Z,UCX,TN,UYX,UT,U)
      UD = INSW(U,H,Z)
      D = INTGRL(UCX,UD)
      UX = D/TN
      UK = ABS(UX - UYX)
      UU = COMPAR (UK,UT)
      UA = UU*U
ENDMARCO
```

Das MARCO mit dem Namen GSATZ kann nun im folgenden Programm mehrfach durch Anweisungen angerufen werden wie etwa:

```
U6A = GSATZ(H,Z,0.5E - 0 2, TN,UY6,UT,U6)
```

Dabei sind:

```
H = -1., Z = 1., TN = 1.E -02, A1 = 393., OM = 314.159, T5 = 1.5708.
UY6 = NOT(U6)
UG = A1*SIN(OM*TIME + T5)
UT = Steuerspannung.
```

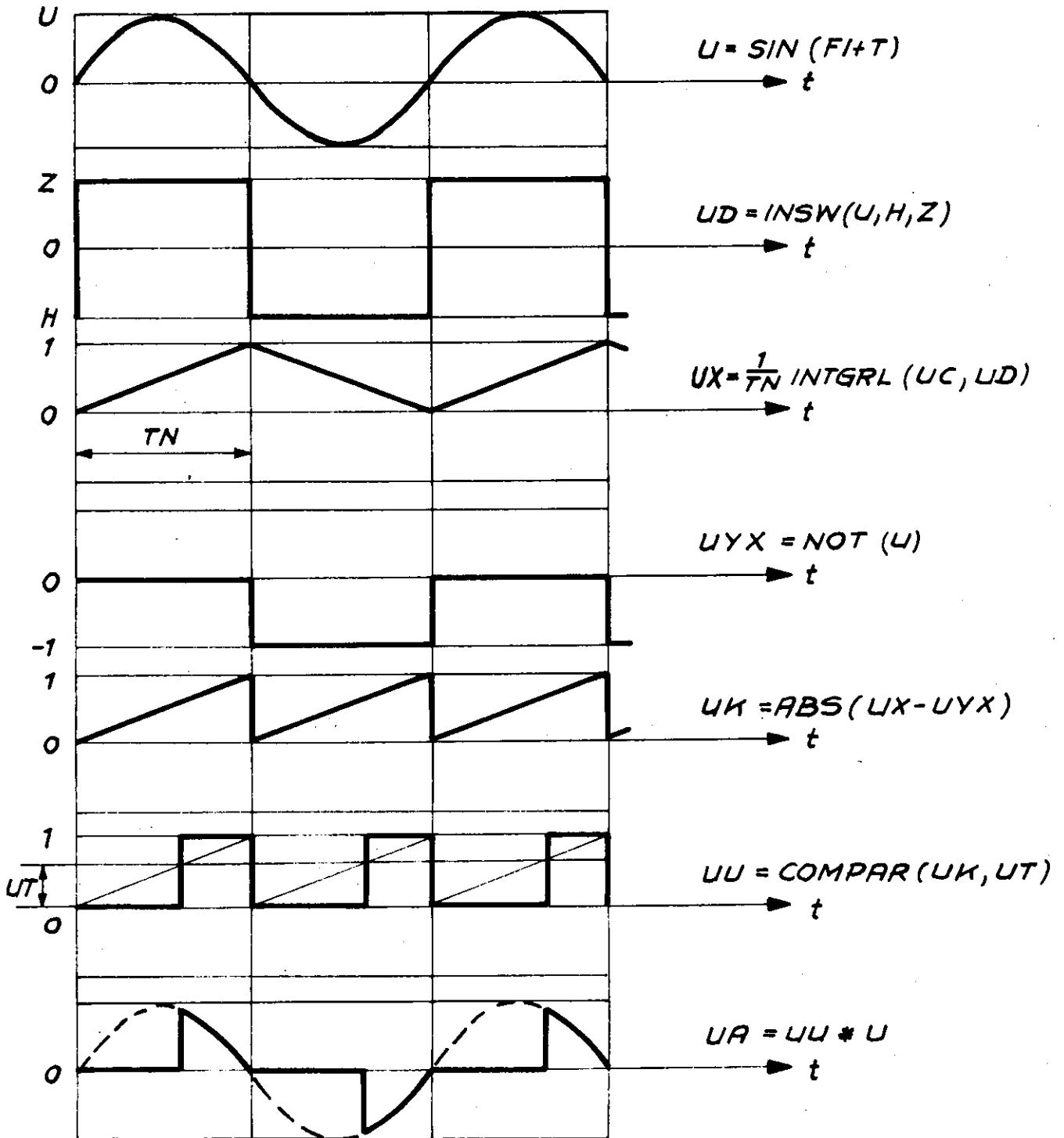


Bild 4

und für die anliegende Wechselspannung gilt:

$$\begin{aligned} U_1 &= A_1 \cdot \sin(FI) \\ U_2 &= A_1 \cdot \sin(FI - T_2) \\ U_3 &= A_1 \cdot \sin(FI + T_2) \\ U_4 &= A_1 \cdot \sin(FI - T_3) \\ U_5 &= A_1 \cdot \sin(FI - T_4) \\ U_6 &= A_1 \cdot \sin(FI + T_5) \end{aligned}$$

$$\text{mit: } FI = 314.159 \cdot \text{TIME}, T_2 = 2.0944, T_3 = 0.5236, T_4 = 2.618$$

Die an den Transformatoren entstehenden Spannungzeitflächen sind dann folgendermaßen definiert:

$$\begin{aligned} U_{1A} &= \text{GSATZ}(H, Z, D, TN, UY; , UT, U_1) \\ U_{2A} &= \text{GSATZ}(H, Z, -0.3333E - 02, TN, UY_{22}, UT, U_2) \\ U_{3A} &= \text{GSATZ}(H, Z, 0.6666E - 02, TN, UY_3, UT, U_3) \\ U_{4A} &= \text{GSATZ}(H, Z, -0.8333E - 02, TN, UY_{44}, UT, U_4) \\ U_{5A} &= \text{GSATZ}(H, Z, -0.1666E - 02, TN, UY_{55}, UT, U_5) \end{aligned}$$

und für die Hilfsfunktionen gilt:

$$\begin{aligned} U_{Y1} &= \text{NOT}(U_1) \\ U_{Y22} &= - \text{INSW}(U_2, 0., 1.) \\ U_{Y3} &= \text{NOT}(U_3) \\ U_{Y44} &= - \text{INSW}(U_4, 0., 1.) \\ U_{Y55} &= - \text{INSW}(U_5, 0., 1.) \end{aligned}$$

## 6.2 Ersatztransformatorkreis

Nach dem Ersatzbild (5) kann man folgenden Gleichungen aufstellen, die das System vollständig beschreiben:

Für eine Phase des Ersatztransformatorkreises gilt:

$$\frac{U_{1A}(p)}{R_{11+pL_{11}}} = \frac{U_{3R}(p)}{pL_{M1}(\text{imagr})} + I_{2R}(p) \quad (6.2.1)$$

mit

$$I_{2R}(p) = \frac{1}{pL} (U_{3R}(p) - U_y(p) - I_{2R}(p) \cdot R_1) + I_{2RO}(p) \quad (6.2.1)$$

ist dann

$$U_{3R}(p) = [U_{1A}(p) \cdot L_{M1}(\text{imagr}) - R_{11} \cdot \frac{U_{3R}(p)}{p} - I_{2R}(p) \times \quad (6.2.2)$$

$$\times (L_{M1}(\text{imagr})R_{11} - R_1 \cdot L_{K1}) + U_y \cdot L_{K1}] \frac{1}{L_{11} + L_{M1}(\text{imagr}) + L_{K1}} \quad (6.2.3)$$

dabei

$$L_{K1} = \frac{L_{M1}(\text{imagr}) \cdot L_{11}}{L}$$

Den Primärstrom kann man beschreiben

$$I_{1R}(p) = \frac{1}{pL_{11}} (U_{1A}(p) - U_{3R}(p) - R_{11} \cdot I_{1R}(p)) + I_{1RO}(p) \quad (6.2.4)$$

und der Magnetisierungsstrom ist dann

$$I_{\text{magr}}(p) = I_{1R}(p) - I_{2R}(p) \quad (6.2.5)$$

Identisch gilt für die anderen Spannungen:

$$U_{3S}(p) = [U_{2A}(p) \cdot L_{M2}(\text{imags}) - R_{11} \cdot \frac{U_{3S}(p)}{p} - I_{2S}(p) \cdot L_{M2}(\text{imags}) \times \quad (6.2.6)$$

$$\times R_{11} - R_1 \cdot L_{K2} + U_y(p)L_{K2}] \cdot \frac{1}{L_{11} + L_{M2}(\text{imags}) + L_{K2}}$$

$$U_{3T}(p) = [U_{3A}(p) \cdot L_{M3}(\text{imagt}) - R_{11} \cdot \frac{U_{3T}(p)}{p} - I_{2T}(p) \cdot L_{M3}(\text{imagt}) \times \quad (6.2.7)$$

$$\times R_{11} - R_1 \cdot L_{K3} - U_y(p)L_{K3}] \cdot \frac{1}{L_{11} + L_{M3}(\text{imagt}) + L_{K3}}$$

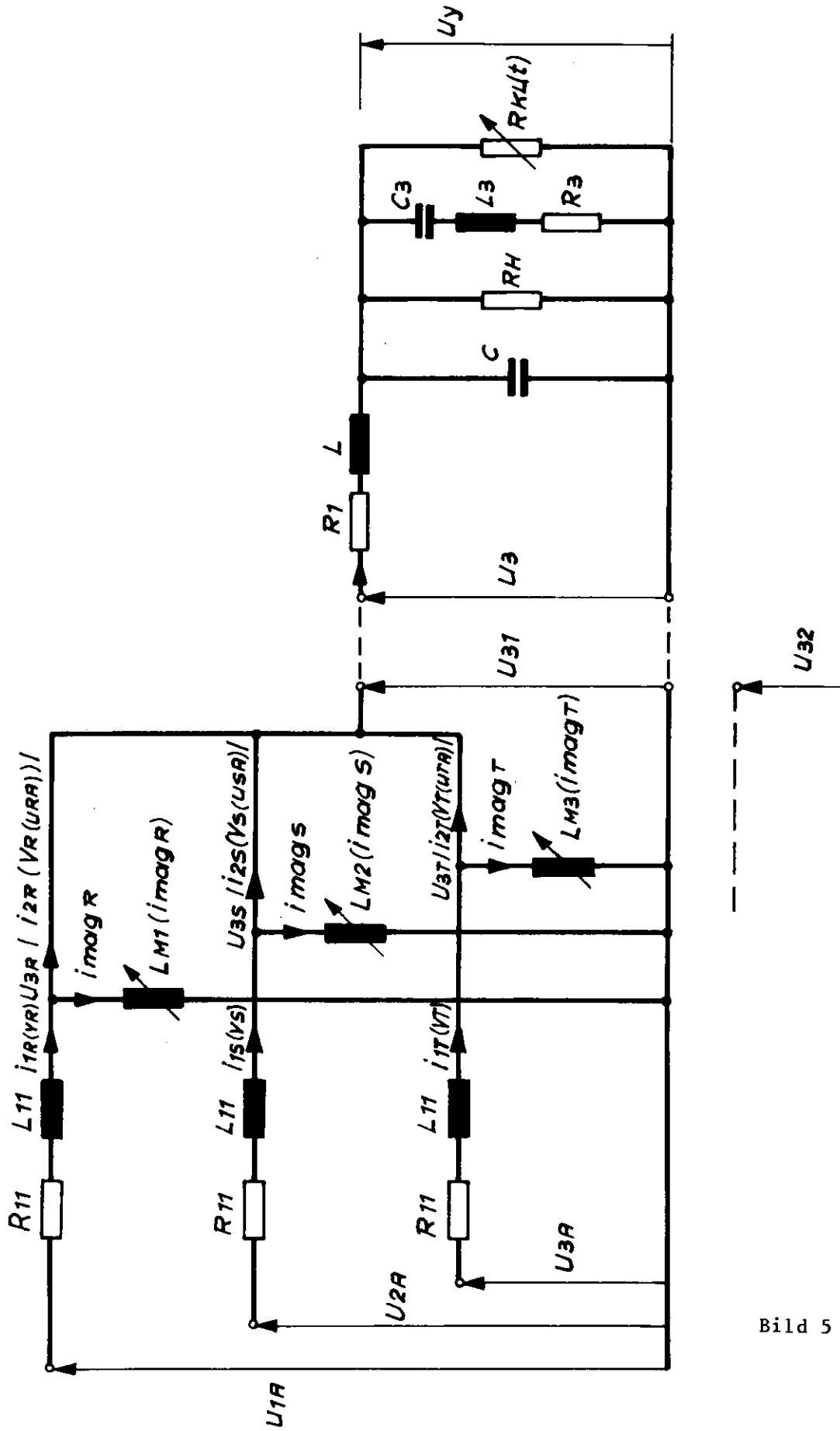


Bild 5

Für die Phasenströme kann man weiter schreiben:

$$I_2 S(p) = \frac{1}{pL} (U_3 S(p) - U_y(p) - I_2 S(p) \cdot R_1) + I_2 SO(p) \quad (6.2.8)$$

$$I_2 T(p) = \frac{1}{pL} (U_3 T(p) - U_y(p) - I_2 T(p) \cdot R_1) + I_2 TO(p) \quad (6.2.9)$$

$$I_1 S(p) = \frac{1}{pL_{11}} (U_2 A(p) - U_3 S(p) - R_{11} \cdot I_1 S(p)) + I_1 SO(p) \quad (6.2.10)$$

$$I_1 T(p) = \frac{1}{pL_{11}} (U_3 A(p) - U_3 T(p) - R_{11} \cdot I_1 T(p)) + I_1 TO(p) \quad (6.2.11)$$

In CSMP wurden die Gleichungen 6.2.3, 6.2.6 und 6.2.7 folgendermaßen programmiert:

$$U3R = (U1A*LM1 - R11*N7 - I2R*(LM1*R11 - R1*LK1) + UF*LK1)/(L11 + LM1 + Lk1)$$

$$N7 = \text{INTGRL}(0., U3R)$$

$$LK1 = LM1*L11/L$$

$$U3S = (U2A*LM2 - R11*M7 - I2S*(LM2*R11 - R1*LK2) + UF*LK2)/(L11 + LM2 + LK2)$$

$$M7 = \text{INTGRL}(0., U3S)$$

$$LK2 = LM2*L11/L$$

$$U3T = (U3A*LM3 - R11*S7 - I2T*(LM3*R11 - R1*LK3) + UF*LK3)/(L11 + LM3 + LK3)$$

$$S7 = \text{INTGRL}(0., U3T)$$

$$LK3 = LM3*L11/L$$

Dabei sind  $R_{11} = 0.018 [\Omega]$  und  $L_{11} = 0.00011 [H]$

Die Phasenströme müssen bestimmte Bedingungen erfüllen, die in der Tabelle 1 nach Bild 6 eingetragen sind (für volle Aussteuerung). Für den ganzen Aussteuerungsbereich sind die Steuerungswerte VR, VS, ....., VW im Flußdiagramm im Bild 7 zu sehen.

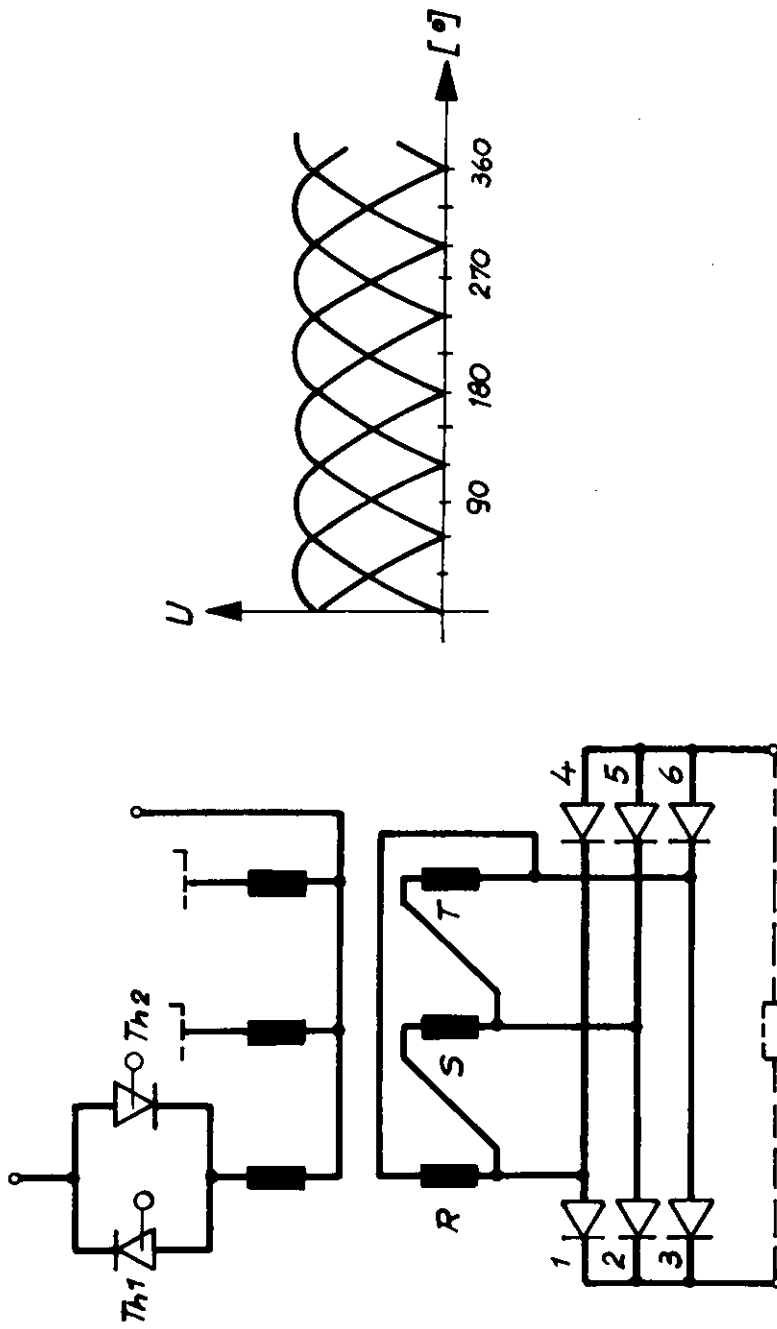


Bild 6

Tabelle 1

V im Bereich [°]	Strom fließt von	Stromrichtung
0° - 60°	1 - 5	iS ↑
60° - 120°	1 - 6	iR ↓
120° - 180°	2 - 6	iT ↑
180° - 240°	2 - 4	iS ↓
240° - 300°	3 - 4	iR ↑
300° - 360°	3 - 5	iT ↓

Man kann für die Phasenströme folgende MACRO-Funktion schreiben

```

MACRO I = KOST (VX, ZX)
      ZZ1 = FCNSW(1., I, I, 0.)
      I = FCNSW(VX, ZZ1, ZZ1, I)
      I = INTGRL(0., ZZ2)
      ZZ2 = FCNSW(VX, 0., 0., ZX)
ENDMAC.

```

In Wirklichkeit erfüllt diese MACRO-Funktion die gesteuerte Integralfunktion

$$I = \int_0^t ZX \, dt + IC \quad \text{für } VX > 0$$

$$I = IC \quad \text{für } VX \leq 0$$

mit  $IC = 0$ .



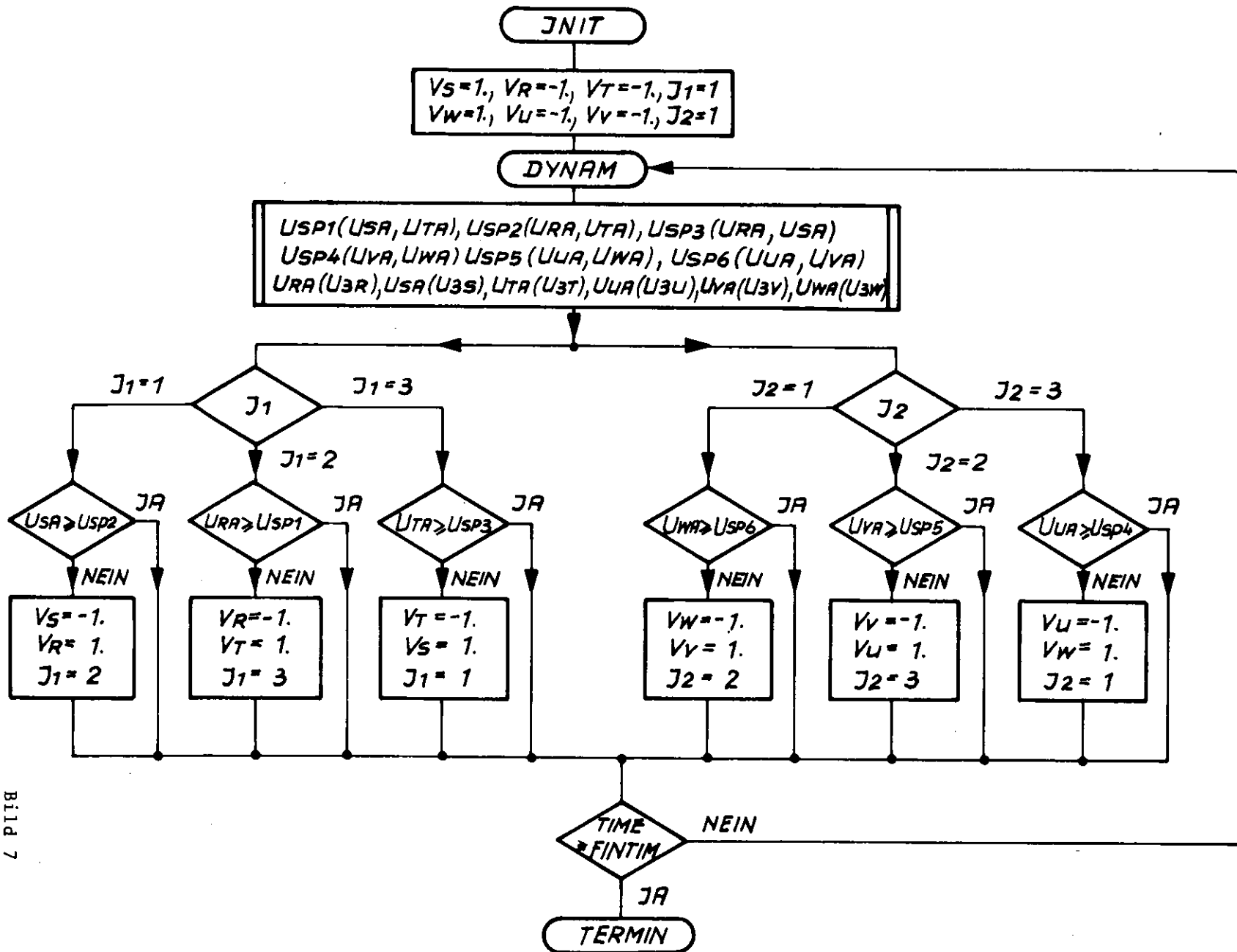


Bild 7

Für die Phasenströme in CSMP nach 6.2.4, 6.2.10 und 6.2.11 gelten folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} ZR &= (U1A - U3R - R11 \cdot I1R) / L11 \\ I1R &= \text{KOST}(VR, ZR) \\ ZS &= (U2A - U3S - R11 \cdot I1S) / L11 \\ I1S &= \text{KOST}(VS, ZS) \\ ZT &= (U3A - U3T - R11 \cdot I1T) / L11 \\ I1T &= \text{KOST}(VT, ZT) \end{aligned}$$

und für die Sekundärströme nach 6.2.2, 6.2.8 und 6.2.9 gilt:

$$\begin{aligned} N6 &= (URA - UF - I2R \cdot R1) / L \\ I5R &= \text{KOST}(VR, N6) \\ M6 &= (USA - UF - I2S \cdot R1) / L \\ I5S &= \text{KOST}(VS, M6) \\ S6 &= (UTA - UF - I2T \cdot R1) / L \\ I5T &= \text{KOST}(VT, S6) \end{aligned}$$

Dabei ist:

$$\begin{aligned} I2R &= \text{ABS}(I5R), & URA &= \text{ABS}(U3R) \\ I2S &= \text{ABS}(I5S), & USA &= \text{ABS}(U3S) \\ I2T &= \text{ABS}(I5T), & UTA &= \text{ABS}(U3T) \end{aligned}$$

und die Hilfsfunktionen sind definiert:

$$\begin{aligned} \text{USP1} &= \text{AMAX1}(USA, UTA) \\ \text{USP2} &= \text{AMAX1}(URA, UTA) \\ \text{USP3} &= \text{AMAX1}(URA, USA) \end{aligned}$$

Die Beschreibung des zweiten Transformatorkreises erfolgt nach dem gleichen Prinzip.

### 6.3 Magnetisierungskennlinie

Die Magnetisierungskennlinie des Transformators muß als nichtlineare Funktion betrachtet werden Bild 8 . Für die Berechnung ist es vorteilhaft, die Funktion  $B(imag)$  durch die Funktion  $L_M(imag)$  zu ersetzen. Es gilt:

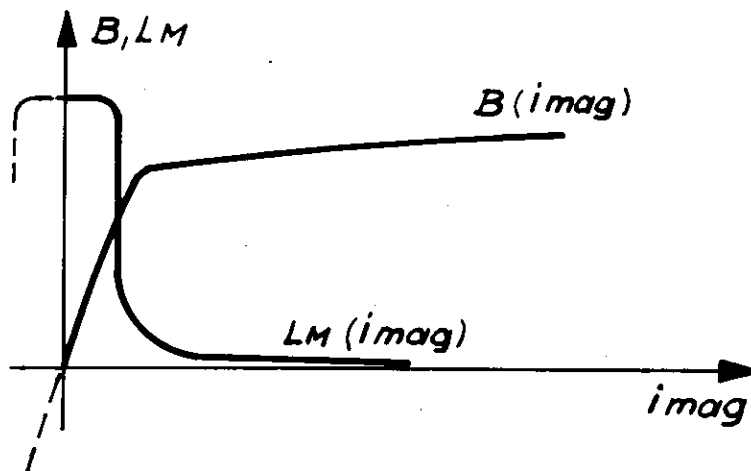


Bild 8

$$\frac{B}{B_n} = \frac{\phi}{\phi_n} \cdot \frac{S}{S} = \frac{L_M}{L_{Mn}} = \frac{d(\phi/\phi_n)}{d(I_{mag}/I_{magn})} \approx \frac{\Delta(B')}{\Delta(I'_{mag})}$$

Die Kurve  $L_M(imag)$  läßt sich in erster Näherung am besten durch die Funktion

$$L_M = L_{MAX} \cdot e^{-k|imag|} + L_0 \quad [H, A]$$

darstellen.

Die Konstanten  $L_{MAX}$ ,  $K$  und  $L_0$  sind von der Magnetisierungskennlinie abhängig.

Mit den Konstanten  $L_{MAX} = 8$  [H],  $K = 3$  und  $L_0 = 0.3$  [H] ist die MACRO-Funktion aufgebaut worden.

```

MACRO LM = MAGN(IMAG)
      IM = ABS(IMAG)
      KRX = - IM*K
      KRY = EXP(KRX)
      LM = LMAX*KRY + L0
ENDMACRO

```

#### 6.4 Glättungsglied

Die Übertragungsfunktion des Glättungsgliedes nach Bild 5 ist:

(6.4.1)

$$\frac{U_y(p)}{U_3(p)} = \frac{p^2 L_3 C_3 + p C_3 R_3 + 1}{(R_1 + pL)(p^3 C L_3 C_3 + p^2 C C_3 R_3 + pC + p^2 L_3 C_3 Y + p C_3 R_3 Y + Y + p C_3) + p^2 L_3 C_3 + p C_3 R_3 + 1}$$

Für die Berechnung ist es viel günstiger die Übertragungsfunktion 6.4.1 folgendermaßen umzuschreiben:

$$U_3(p) = (pL + R_1) \cdot [pU_y(p) \cdot C + U_y(p) \cdot \left( \frac{R_H + R_{KL}}{R_H \cdot R_{KL}} \right) + I_3(p)] + U_y(p) \quad (6.4.2)$$

Wenn man die Gleichung (6.4.2) nach  $p^2 U_y(p)$  auflöst, erhält man:

$$p^2 U_y(p) = (U_3(p) - pU_y(p)(L \cdot Y + C \cdot R_1) - U_y(p)(R_1 \cdot Y + 1) - pI_3(p) \cdot L - I_3(p) \cdot R_1 + pU_{y0}(p) + U_{y0}(p)) \cdot \frac{1}{L \cdot C}$$

Dabei ist

$$Y = \frac{R_H + R_{KL}}{R_H \cdot R_{KL}}$$

und für den Strom  $i_3$  gilt:

$$p^2 I_{3(p)} = (p U_{y(p)} - R_3 \cdot p I_{3(p)} - I_{3(p)} \cdot \frac{1}{C_3} + p I_{30(p)} + I_{30(p)}) \cdot \frac{1}{L_3}$$

Die Beschreibung in CSMP

$$UY = \text{INTGRAL}(UYO, X)$$

$$X = \text{INTGRL}(XO, W)$$

$$W = (U3 - X*(L*Y+C*R1) - UY*(R1*Y+1.) - V*L - I3*R1)/(L*C)$$

$$I3 = \text{INTGRL}(I3O, V)$$

$$V = \text{INTGRL}(VO, S)$$

$$S = (X - R3*V - I3/C3)/L3$$

### 6.5 Laständerungen

Es wurde berücksichtigt, daß Laständerungen des Klystrons mit einer Geschwindigkeit von max. 1,6A/ms nach Bild 9 auftreten. Der Strom ändert sich stetig maximal um 1,6A, während eines ms, dann bleibt er für 19ms konstant.

Für den Widerstand des Klystrons gilt folgende Gleichung:

$$R_{KL(p)} = R_{KLO} - x_{10} \cdot \frac{e^{-t1p}}{p} - x_{20} \cdot \frac{e^{-t2p}}{p} - x_{30} \cdot \frac{e^{-t3p}}{p} - x_{40} \cdot \frac{e^{-t4p}}{p} -$$

$$- x_{50} \cdot \frac{e^{-t5p}}{p} - x_{60} \cdot \frac{e^{-t6p}}{p} - x_{70} \cdot \frac{e^{-t7p}}{p} - x_{80} \cdot \frac{e^{-t8p}}{p} - x_{90} \cdot \frac{e^{-t9p}}{p} - x_{100} \cdot \frac{e^{-t10p}}{p}$$

In CSMP kann man schreiben:

$$RKL = RKLO - XK1 - XK2 - XK3 - XK4 - XK5 - XK6 - XK7 - XK8 - XK9 - XK10$$

$$XK1 = X10 * \text{STEP}(P1)$$

$$XK2 = X20 * \text{STEP}(P2)$$

$$XK3 = X30 * \text{STEP}(P3)$$

$$XK4 = X40 * \text{STEP}(P4)$$

$$XK5 = X50 * \text{STEP}(P5)$$

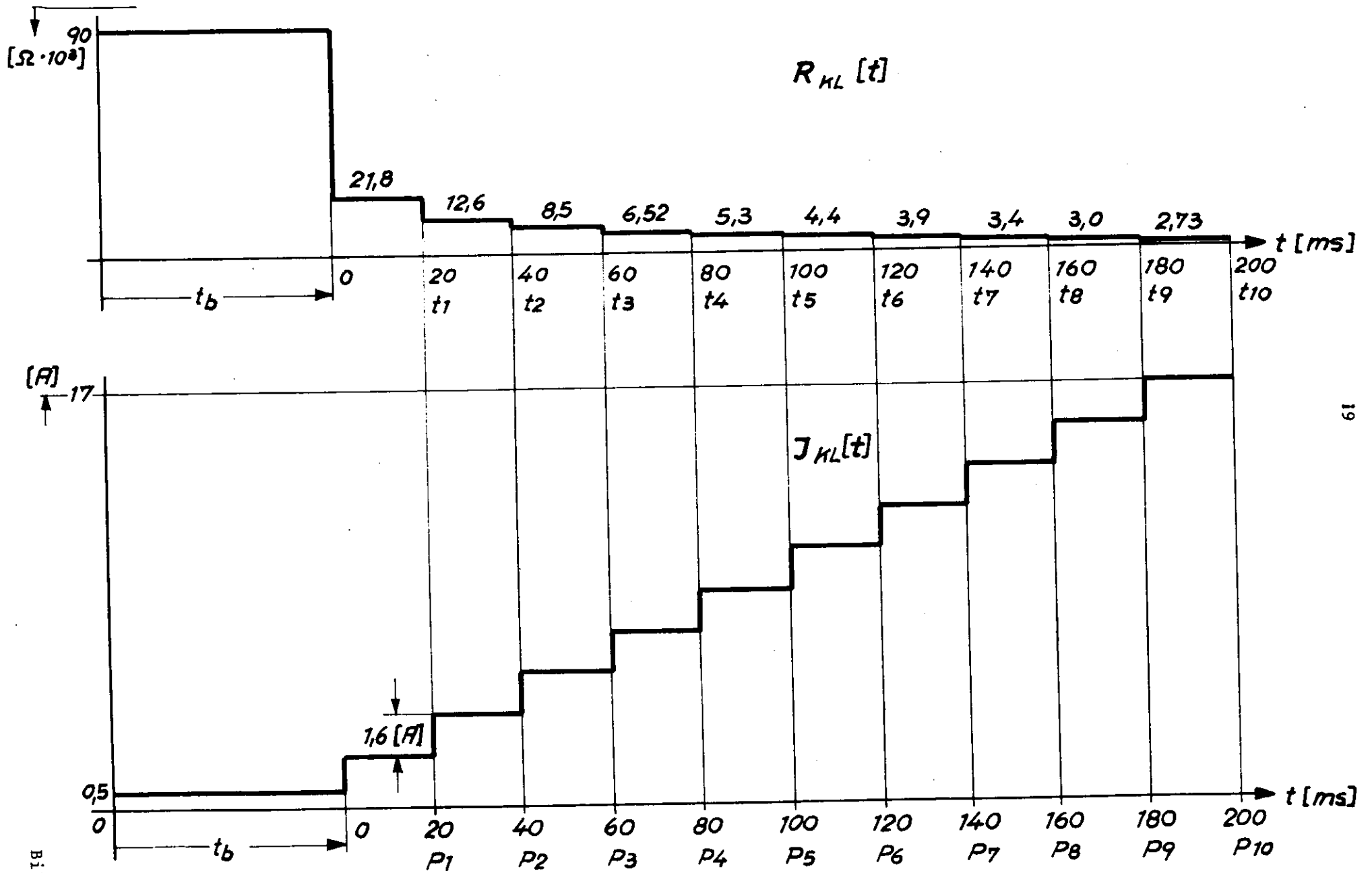


Bild 9

$$XK6 = X60 * STEP(P6)$$

$$XK7 = X70 * STEP(P7)$$

$$XK8 = X80 * STEP(P8)$$

$$XK9 = X90 * STEP(P9)$$

$$XK10 = X100 * STEP(P10)$$

TABELLE 2: Parameterwerte

n	10	20	30	40	50	60	70	80
$x_n \cdot 10^3 [\Omega]$	68,2	9,2	4,1	1,98	1,22	0,9	0,5	0,5
m	1	2	3	4	5	6	8	8
$P_m$ [ms]	50	70	90	110	130	150	170	190

n	90	100	RKLO = $9 \cdot 10^4 [\Omega]$
$x_n \cdot 10^3 [\Omega]$	0,4	0,27	
m	9	10	
$P_m$ [ms]	210	230	

### 7. Optimierungskriterium im Zeitbereich

Die Aufgabe der Optimierung besteht im allgemeinen darin, freie Parameter eines Systems so zu bestimmen, daß das System sich in einer noch zu definierenden Weise optimal verhält.

Die Wahl eines geeigneten Gütekriteriums ist eine etwas problematische Angelegenheit, da die Frage nach einem guten Verlauf der Sprungantwort nicht ohne weiteres beantwortet werden kann. Der Grund dafür liegt darin, daß für die Beurteilung der Regelgüte sehr verschiedene Gesichtspunkte massgebend sind. Sie verlangen manchmal Regeleinstellungen, die sich zum Teil widersprechen. Der Überschwingweite, Regelzeit, Dämpfung und Regelfläche muß je nach Art der vorliegenden Aufgaben eine unterschiedliche Bedeutung beigemessen werden.

Das Optimierungskriterium ITAE (integral of time-multiplied absolute value of error) lautet

$$\int_0^{t_g} t \cdot |U_{ABW}| dt \rightarrow \text{Minimum}$$

und weist gegenüber den üblichen Kriterien  $\int_0^{t_g} |U_{ABW}| dt \rightarrow \text{Minimum}$ ,

$\int_0^{t_g} |U_{ABW}^2| dt \rightarrow \text{Minimum}$  ein wesentlich schärferes Minimum (Bild 10) auf, was die Optimierung erleichtert. Die Regelabweichung wird unabhängig von ihrem Vorzeichen mit der zugehörigen Zeit multipliziert, und dieses Produkt wird über die Zeit integriert. Wobei  $t_g$  eine frei wählbare Zeit ist

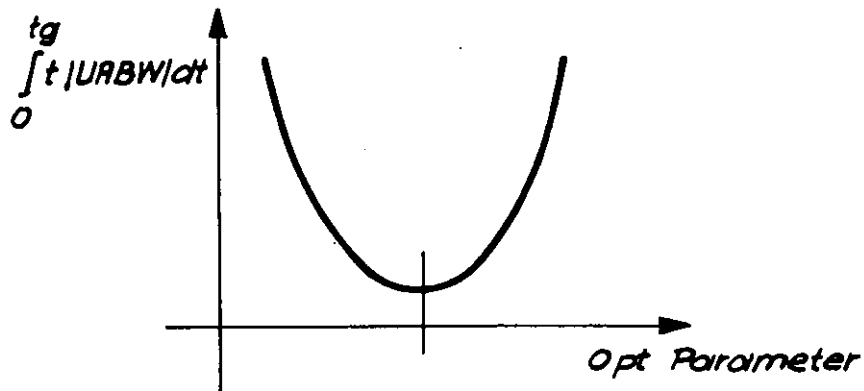


Bild 10

die angibt, über welchem Zeitbereich uns der Einschwingvorgang interessiert. Die meisten Parameter des korrigierenden Netzwerkes und des PID Reglers sind mit diesem Kriterium optimiert worden.

Für die Gütefunktion in CSMP gilt:

$$\text{INT1} = \text{ABS}(U_{ABW})$$

$$U_{ABW} = U_Y - U_{\text{SOLL}}$$

$$\text{INT2} = \text{INT1} * \text{TIME}$$

$$Q = \text{INTGRL}(0., \text{INT2})$$



Man muß jetzt festlegen, nach welcher Strategie die Rechenmaschine die optimale Parameterwerte suchen soll. Dazu kann man zum Beispiel die sogenannte Gradientenmethode wählen, die wie folgt arbeitet: Die Gütefunktion sei  $Q(V_{XS}, T_{I1}, T_{D1})$ , dabei setzt man voraus, daß die Funktion  $Q$  nur ein einziges Minimum hat und daß dieses Minimum ein echter Extremwert ist. (Die Parameter  $V_{XS}, T_{I1}, T_{D1}$  sind z.B. dem PID-Regler entnommen).

Es wird zunächst ein vernünftiger Startpunkt  $V_{XS} = V_{XS0}$ ,  $T_{I1} = T_{I10}$  und  $T_{D1} = T_{D10}$  festgelegt, der Funktionswert  $Q_0(V_{XS0}, T_{I10}, T_{D10})$  berechnet und gespeichert. Weiter sind die Funktionen zu berechnen:

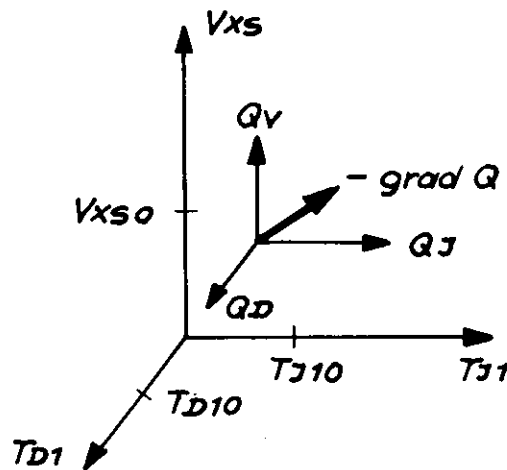


Bild 11

$$Q_1(V_{XS0} + \Delta V_{XS}, T_{I10}, T_{D10})$$

$$Q_2(V_{XS0}, T_{I10} + \Delta T_{I1}, T_{D10})$$

$$Q_3(V_{XS0}, T_{I10}, T_{D10} + \Delta T_{D1})$$

Der auf  $\Delta$  bezogene Zuwachs der Gütefunktion ist:

$$Q_V = \frac{\Delta Q_1}{\Delta V_{XS}} = \frac{Q_1 - Q_0}{\Delta V_{XS}}$$

$$Q_I = \frac{\Delta Q_2}{\Delta T_{I1}} = \frac{Q_2 - Q_0}{\Delta T_{I1}}$$

$$Q_D = \frac{\Delta Q_3}{\Delta T_{D1}} = \frac{Q_3 - Q_0}{\Delta T_{D1}}$$

Dann sind die neuen Parameterwerte:

$$V_{XS1} = V_{XS0} - \frac{\Delta Q_1}{\Delta V_{XS}}$$

$$T_{I11} = T_{I10} - \frac{\Delta Q_2}{\Delta T_{I1}}$$

$$T_{D11} = T_{D10} - \frac{\Delta Q_3}{\Delta T_{D1}}$$

Diese gewonnenen Parameterwerte betrachtet man nun als Startpunkt für den nächsten Punkt. Jeder Schritt führt näher an das Minimum von  $Q$  heran. Diese Gradientenmethode ist für die Parameterberechnung versucht worden, aber der Rechenaufwand war für das vorliegende System zu groß, um die Berechnung ganz durchzuführen. Da für die zu optimierenden Parameter gute Näherungswerte abgeschätzt werden können, bietet sich ein Probierversfahren an: Mit Hilfe von linearer Interpolation kommt man in ca. 5 Rechenzyklen zu Ergebnissen, die trotzdem nur mit kleinen Fehler belastet sind.

### 8. Das korregierende Netzwerk

Die Regelungseigenschaften eines Systems lassen sich entscheidend verbessern, wenn man das Zeitverhalten der vorgegebenen Regelkreisglieder durch Einfügen von Netzwerken abändert und es damit zur Regelung besonders geeignet werden läßt. Es könnte gesagt werden, daß man die Grenzfrequenz eines Systems zu beliebig hohen Frequenzen hin verschieben kann, wenn man den Aufwand immer weiter steigert. Dieser ist jedoch begrenzt wegen des bei hoher Grenzfrequenz und hoher Kreisverstärkung sich immer stärker bemerkbar machenden Rauschens und wegen der Tatsache,

daß alle technischen Regelkreise letztlich doch aus ausgedehnten Kontinua bestehen, die in hohen Frequenzbereichen ein nichtreguläres Verhalten zeigen. In der Praxis kann man sich darauf beschränken, einige gut bemessene Netzwerken einzufügen. Das bringt bereits einen großen Gewinn an Regelgüte, wie gezeigt wird.

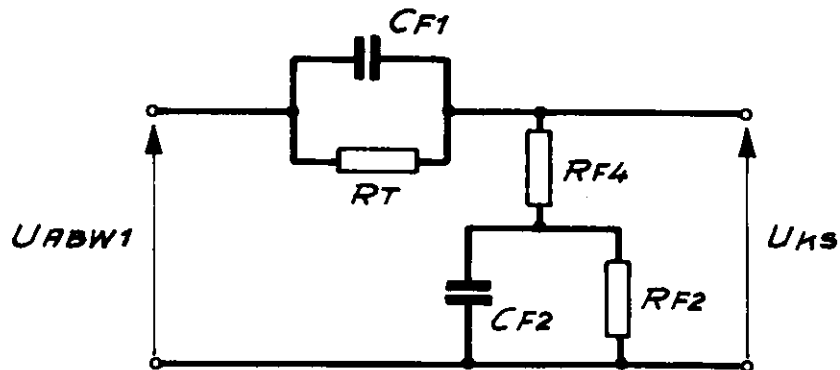


Bild 12

Nach Bild 12 kann man folgende Übertragungsfunktion schreiben:

$$\frac{U_{KS}(p)}{U_{ABW1}(p)} = \frac{R_{F2} + R_{F4} + (R_T \cdot R_{F4} \cdot C_{F1} + R_{F2} \cdot R_{F4} \cdot C_{F2} + R_T \cdot R_{F2} \cdot C_{F1})p + R_T \cdot R_{F2} \cdot R_{F4} \cdot C_{F1} \cdot C_{F2} p^2}{R_T + R_{F2} + R_{F4} + (R_T \cdot R_{F2} \cdot C_{F1} + R_T \cdot R_{F2} \cdot C_{F2} + R_{F2} \cdot R_{F4} \cdot C_{F2})p + R_T \cdot R_{F2} \cdot R_{F4} \cdot C_{F1} \cdot C_{F2} p^2} \quad (8.1)$$

Gegeben sind:  $\alpha_1, \alpha_2, \tau_1, \tau_2$ , bei der Lösung setzen wir  $C_{F1}$  voraus.

Setzt man:

$$R_T = \frac{\alpha_1 \tau_1}{C_{F1}} \quad (8.2)$$

$$a = \alpha_2 \tau_2 (\alpha_1 - 1) - \alpha_1 \tau_1 (\alpha_2 - 1) \quad (8.3)$$

$$b = \alpha_2 \alpha_1^2 \tau_1 (\alpha_2 - 1) (\tau_2 - \tau_1) \quad (8.4)$$

$$R_{F2} = \frac{b}{a(\alpha_1 - \alpha_2) C_{F1}} \quad (8.5)$$

$$R_{F4} = \frac{\alpha_1 \tau_1 \alpha_2 \tau_2}{a C_{F1}} \quad (8.6)$$

$$C_{F2} = \frac{a^2 C_{F1}}{b} \quad (8.7)$$

$$K_F = \frac{R_{F2} + R_{F4}}{R_T + R_{F2} + R_{F4}} \quad (8.8)$$

dann gilt allgemein:

$$\frac{U_{KS}(p)}{U_{ABW1}(p)} = K_F \frac{(1 + \alpha_1 \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}{(1 + \tau_1 p)(1 + \alpha_2 \tau_2 p)} \quad (8.9)$$

Dabei wird angenommen, daß der Faktor des Vorhaltes  $\alpha_1$  größer als der Faktor der Verzögerung  $\alpha_2$  ist. Die Frequenzcharakteristik ist im Bild 13 gezeichnet.

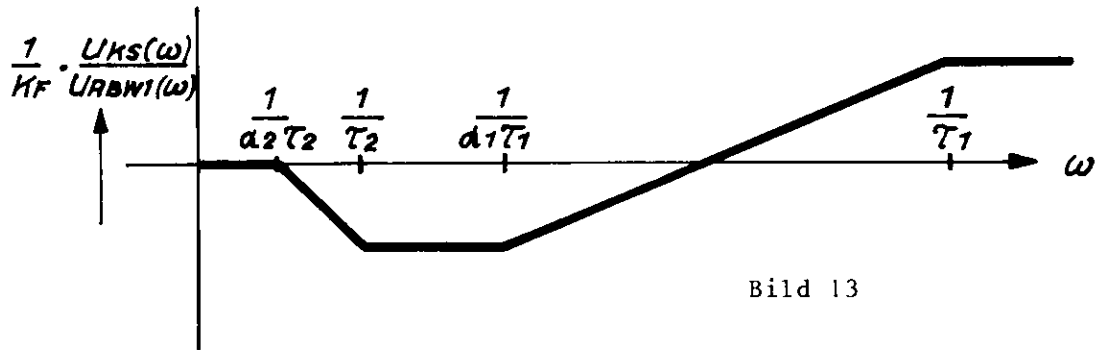


Bild 13

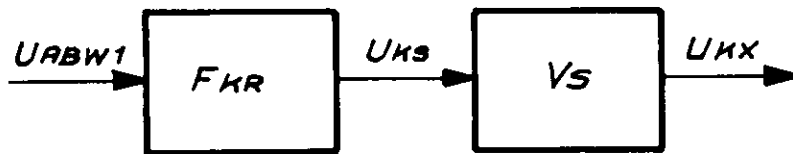


Bild 14

Es wurden folgende Werte mit Rücksicht auf die Frequenzcharakteristik der Regelstrecke gewählt:

$$\frac{1}{\alpha_2 \tau_2} = 50$$

$$\tau_2 = 0,01 ; \alpha_2 = 2$$

$$\frac{1}{\tau_2} = 100$$

$$\frac{1}{\alpha_1 \tau_1} = 200$$

$$\tau_1 = 0,002 ; \alpha_1 = 2,5$$

$$\frac{1}{\tau_1} = 500$$

Aus den Gleichungen 8.2 bis 8.8 wurden die Zahlenwerte des korregierenden Netzwerkes berechnet:

$$R_T = 5 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega]$$

$$C_{F1} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ } [F]$$

$$R_{F2} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ } [\Omega]$$

$$C_{F2} = 3,125 \cdot 10^{-6} \text{ } [F]$$

$$R_{F4} = 4 \cdot 10^3 \text{ } [\Omega]$$

$$K_F = 0,8$$

Durch die Optimierungsberechnung nach dem ITAE-Kriterium ergab sich die Verstärkung  $V_S \approx 30$ . (Bild 14)

Nach der Übertragungsfunktion (8.9) stellt man folgende Gleichungen auf:

$$U_{KS}(p) = (1 + \tau_1 p + \alpha_2 \tau_2 p + \alpha_2 \tau_1 \tau_2 p^2) = U_{ABW1}(p) \cdot K_F (1 + \alpha_1 \tau_1 p + \tau_2 p + \alpha_1 \tau_1 \tau_2 p^2)$$

$$U_{KS}(p) = K_F \left( \frac{1}{\alpha_2 \tau_1 \tau_2} \cdot \frac{U_{ABW1}(p)}{p^2} + \left( \frac{\alpha_1}{\tau_2 \alpha_2} + \frac{1}{\alpha_2 \tau_1} \right) \frac{U_{ABW1}(p)}{p} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} U_{ABW1}(p) - \right. \\ \left. - \frac{1}{\alpha_2 \tau_1 \tau_2} \cdot \frac{U_{KS}(p)}{p^2} - \left( \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\alpha_2 \tau_2} \right) \frac{U_{KS}(p)}{p} \right)$$

Dabei sind die Anfangsbedingungen für  $t = 0$  alle  $\emptyset$ . In CSMP schreibt man:

$$U_{ABW1} = UY - USOLL$$

$$UP1 = \text{INTGRL} (0., UP2)$$

$$UP2 = \text{INTGRL} (0., U_{ABW1})$$

$$UP4 = \text{INTGRL} (0., UP5)$$

$$UP5 = \text{INTGRL} (0., UKS)$$

$$UKX = VS * KF * (AF1 * UP1 + AF2 * UP2 + AF3 * U_{ABW1}) - AF1 * UP4 - AF4 * UP5$$

und für die INIT-Phase gilt:

$$TU1 = 0.002, TU2 = 0.01, AL1 = 2.5, AL2 = 2., RT = 5.E03, RF2 = 1.6E04,$$

$$RF4 = 4.E03$$

$$AF1 = 1. / (AL2 * TU1 * TU2)$$

$$AF2 = 1./(\text{AL2} \cdot \text{TU1}) + \text{AL1}/(\text{AL2} \cdot \text{TU2})$$

$$AF3 = \text{AL1}/\text{AL2}$$

$$AF4 = 1./\text{TU1} + 1./(\text{AL2} \cdot \text{TU2})$$

$$\text{KF} = (\text{RF2} + \text{RF4})/(\text{RT} + \text{RF2} + \text{RF4})$$

## 9. PID-Regler

Der PID-Regler hat folgende Vorteile: a) Eine hohe Regelgüte ist erreichbar, falls nicht viele Totzeitglieder im Regelkreis sind. b) Keine bleibende Regelabweichung. Man muß aber die Nachteile - komplizierter Aufbau und schwierigere Einstellung - in Kauf nehmen.

Für den PID-Regler mit Verzögerung 1. Ordnung kann man folgende Differentialgleichung schreiben:

$$p^T_{V1} U_{KS}(p) + U_{KS}(p) = v_{XS} (U_{ABW1}(p) + \frac{1}{p^T_{I1}} U_{ABW1}(p) + p^T_{D1} U_{ABW1}(p)) \quad (9.1)$$

und für den Frequenzgang gilt:

$$F(p) = \frac{U_{KS}(p)}{U_{ABW1}(p)} = v_{XS} \cdot \frac{p^{2T_{I1}} \cdot T_{D1} + p^{T_{I1}} + 1}{p^{T_{I1}} (p^{T_{V1}} + 1)} \quad (9.2)$$

dabei ist  $T_{I1}$  die Nachstellzeit und  $T_{D1}$  die Vorhaltzeit.

Die Frequenzcharakteristik läßt sich leicht finden, wenn der Ausdruck  $p^{2T_{I1}} \cdot T_{D1} + p^{T_{I1}} + 1$  in die Produktform  $(1 + T_a p)(1 + T_b p)$  gebracht wird. Es ergibt sich dann:

$$T_a = \frac{1}{2} \left( T_{I1} + \sqrt{T_{I1} (T_{I1} - 4T_{D1})} \right)$$

$$T_b = \frac{1}{2} \left( T_{I1} - \sqrt{T_{I1} (T_{I1} - 4T_{D1})} \right)$$

Die Sprungantwort des PID-Reglers ist im Bild 15 dargestellt.

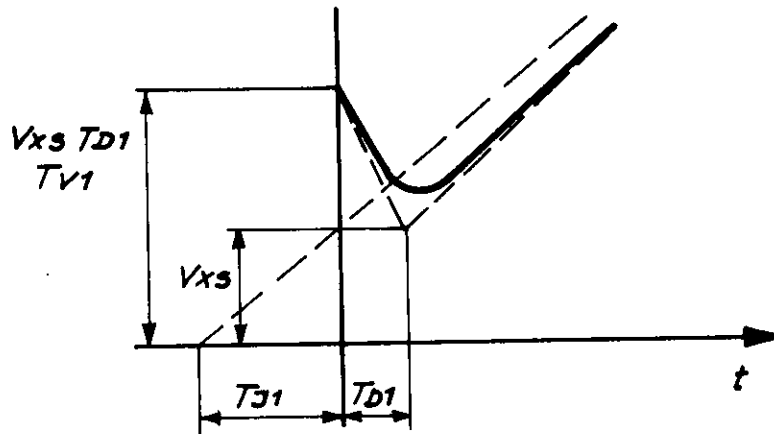


Bild 15

Gl.9.2 kann man weiter nach  $pU_{ks}$  auflösen:

(9.3)

$$pU_{KS(p)} = [V_{XS}(U_{ABW(p)} + \frac{1}{pT_{I1}} U_{ABW(p)} + pT_{D1} U_{ABW(p)}) - U_{KS(p)}] / T_{V1}$$

und in CSMP gilt dann:

$$ZAA = \text{INTGRL}(0., U_{ABW1})$$

$$ZBB = \text{INTGRL}(0., ZAA)$$

$$ZCC = \text{INTGRL}(0., U_{KS})$$

$$U_{KS} = (V_{XS} (ZAA + ZBB/T_{I1} + T_{D1} U_{ABW1}) - ZCC) / T_{V1}$$



Für die Optimierungsberechnung ist am Anfang die Verstärkung  $V_{XS} = 1$  eingesetzt worden, und die Zeitkonstanten des Reglers  $T_{I1}$  und  $T_{D1}$  variiert, bis das System eine optimale Einstellung aufzuweisen hat. Beim Verwenden eines PID-Reglers ergab sich durch die Berechnung eine optimale Einstellung für einen Wert von  $T_{I1}/T_{D1} \approx 4$ . Bei der Kenntnis von  $T_{I1}$  und  $T_{D1}$  ist dann nur noch die Verstärkung zu optimieren.

Es ist zu beachten, daß die Differentialgleichung für den PID-Regler durch Parallelschalten von P-, I-, und D-Gliedern erzeugt wird, das Reglerverhalten dagegen nicht allein durch Parallelschalten, sondern durch Rückführungen gebildet wird.

Bei solchen Reglerkonstruktionen sind dann die Reglerparameter  $V_{XS}$ ,  $T_{I1}$  und  $T_{D1}$  in ihrer Einstellung nicht mehr voneinander unabhängig. Bei den meisten PID-Regler nach [L3] gilt:

$$V'_{XS} = V_{XS}(1 + T_{D1}/T_{I1}), \quad T'_{I1} = T_{I1} + T_{D1}, \quad T'_{D1} = T_{D1}/(1 + T_{D1}/T_{I1}).$$

Dabei bedeuten die Größen mit Strich die tatsächlich wirksamen Werte, die ohne Strich an den Reglerskalen eingestellten Werte. Durch die Berechnung haben sich folgende Ergebnisse ergeben:

$$V'_{VS} = 10 \quad ; \quad T'_{I1} = 0.45 \quad ; \quad T'_{D1} = 0.11$$

und für die tatsächlich eingestellten Werte an den Reglerskalen:

$$V_{XS} = 12.5 \quad ; \quad T_{I1} = 0.258 \quad , \quad T_{D1} = 0.192 \quad .$$

Die Parameterberechnung des PID-Reglers.

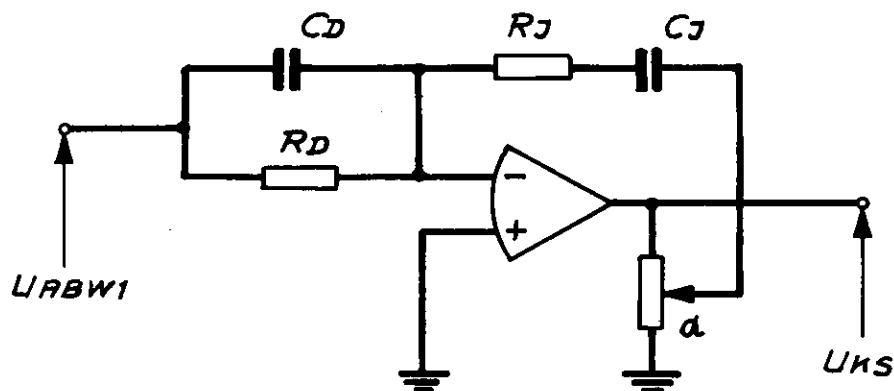


Bild 16

Nach dem Bild 16 gilt:

$$\alpha \frac{U_{KS}}{Z_A} = \frac{U_{ABW1}}{Z_B} = 0$$

dabei ist  $Z_A = \frac{1 + pR_I C_I}{p C_I}$  und  $Z_B = \frac{R_D}{1 + pC_D R_D}$ .

Für die Übertragungsfunktion gilt:

$$\frac{U_{KS}(p)}{U_{ABW1}(p)} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{pC_I R_D} + \frac{R_I C_I + R_D C_D}{C_I R_D} + p R_I C_D \right)$$

Durch den Vergleich den Koeffizienten bekommt man:

$$T_{II} = C_I \cdot R_D, \quad T_{DI} = R_I \cdot C_D, \quad 1 = \frac{R_I C_I + R_D C_D}{C_I R_D}$$

Die Berechnung ergab folgende Zahlenwerte:

$$R_I = 1 \cdot 10^5 [\Omega] \quad R_D = 2 \cdot 10^5 [\Omega]$$

$$C_I = 1,29 \cdot 10^{-4} [F] \quad C_D = 1,92 \cdot 10^{-6} [F]$$

## 10. Anhang

In dieser Arbeit wurde die dynamische Berechnung des Sendergleichrichters mit einem passenden Regler durchgeführt. Es wurde gezeigt, wie man den Digitalrechner sinnvoll in der Regelungstechnik benutzen kann. Es hat sich ergeben, daß für dieses System, in dem das Glättungsglied eine Dämpfung um 0.05 hat und die Genauigkeitsforderungen groß sind, auf keinen Fall ein Regler mit PI-Charakter benutzt werden kann. Bei einem Sprung der Speisespannung von +2% erhöht sich die Lastspannung um 2.7%.

Beim Verwenden eines Korrektionsgliedes überschreitet die Abweichung ( $U_{ist} - U_{soll}$ ) der Ausgangsspannung die Grenze von 0.45% nicht. (Abb.1) Mit PID-Regler bleibt die Abweichung unter 0.25% (Abb.2). Bei allen diesen Berechnungen wurde eine genau nach 50 ms um 2% erhöhte Speisespannung angenommen und Laständerungen nach Abschnitt 6.5. Im Bild 17 ist der Blockschaltplan des Systems gezeichnet. Bei der praktischen Realisierung muß noch mit einem Regler ( $F_{CR}$ -Charakter P- oder

PI-) eine Unterschleife gebaut werden, die nicht mit der Verzögerung des Glättungs-  
gliedes belastet wird. Das Programm ist noch einmal zusammengestellt in Abb.3.  
Für PID-Regler muß man die entsprechenden Gleichungen gemäß Abschnitt 9 umschreiben.  
Manche der hier ausgerechneten Werte muß man für die praktische Realisierung  
richtig anpassen (je nach dem Typ der Fühler usw.)

Ich danke Herrn Bothe und Frl. Borchard für die Unterstützung.

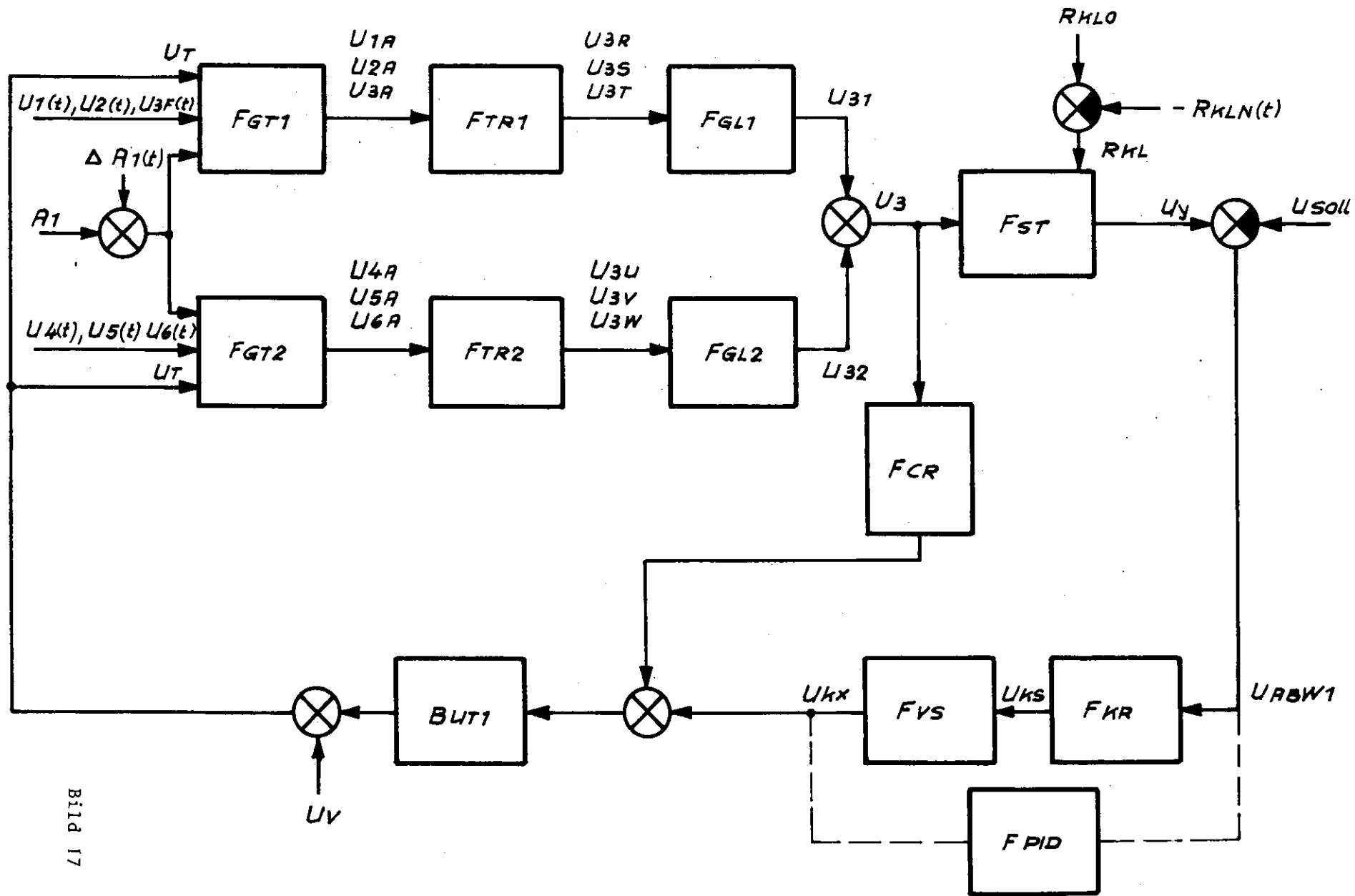


Bild 17

Literaturhinweise

- I L1 I H. Narciß - Sender-Gleichrichter mit Thyristoren als Stellglied-  
schaltung und Kurzschlußbetrachtung.  
Interner Bericht DESY K2-1969.
- I L2 I F. E. Nixon-Principles of Automatic Controls. (1960)
- I L3 I E. Samal - Grundriß der praktischen Regelungstechnik.  
Band II. (1970).
- I L4 I N. Bardahl - Anschnittsteuerung durch Thyristoren.  
(TR 34,35,36 - 1968)
- I L5 I O. Föllinger - Nichtlineare Regelungen I,II,III (1970)
- I L6 I Chr. Landgraf - Elemente der Regelungstechnik (1970)  
G. Schneider
- I L7 I - System/360 CSMP Users Manual (1969)

TIME	UABW2	MINIMUM	UABW2	VERSUS TIME	MAXIMUM	UY	UT	INT3
		-6.4953E 01	K	= 3.0000E-01	2.1368E 02			
		I			I			
5.1000E-02	3.9355E 01	-----+				4.3039E 04	5.0483E-01	2.0536E-06
5.2000E-02	3.1559E 01	-----+				4.3032E 04	5.0520E-01	2.0909E-06
5.3000E-02	1.1205E 02	-----+				4.3112E 04	5.2497E-01	2.1615E-06
5.4000E-02	1.2215E 02	-----+				4.3122E 04	5.2455E-01	2.2975E-06
5.5000E-02	1.2487E 02	-----+				4.3125E 04	5.2350E-01	2.4364E-06
5.6000E-02	8.9883E 01	-----+				4.3090E 04	5.1524E-01	2.5462E-06
5.7000E-02	5.9770E 01	-----+				4.3060E 04	5.0885E-01	2.6392E-06
5.8000E-02	7.1223E 01	-----+				4.3071E 04	5.1333E-01	2.7094E-06
5.9000E-02	5.7160E 01	-----+				4.3057E 04	5.1081E-01	2.7820E-06
6.0000E-02	8.7234E 01	-----+				4.3087E 04	5.1810E-01	2.8728E-06
6.1000E-02	4.9313E 01	-----+				4.3049E 04	5.0929E-01	2.9488E-06
6.2000E-02	5.1445E 00	-----+				4.3005E 04	5.0000E-01	2.9920E-06
6.3000E-02	-8.5156E-01	-----+				4.2999E 04	5.0121E-01	2.9953E-06
6.4000E-02	-1.5523E 01	-----+				4.2984E 04	4.9969E-01	3.0131E-06
6.5000E-02	2.5551E 01	-----+				4.3025E 04	5.0989E-01	3.0311E-06
6.6000E-02	-1.7578E 00	-----+				4.2998E 04	5.0323E-01	3.0417E-06
6.7000E-02	-1.7152E 01	-----+				4.2983E 04	5.0008E-01	3.0522E-06
6.8000E-02	4.6375E 01	-----+				4.3046E 04	5.1520E-01	3.0771E-06
6.9000E-02	4.5488E 01	-----+				4.3045E 04	5.1261E-01	3.1489E-06
7.0000E-02	5.2117E 01	-----+				4.3052E 04	5.1274E-01	3.2226E-06
7.1000E-02	7.2750E 01	-----+				4.3073E 04	5.1701E-01	3.2955E-06
7.2000E-02	9.1910E 01	-----+				4.3092E 04	5.1927E-01	3.4285E-06
7.3000E-02	1.2064E 02	-----+				4.3121E 04	5.2450E-01	3.5769E-06
7.4000E-02	8.7344E 01	-----+				4.3087E 04	5.1484E-01	3.7387E-06
7.5000E-02	6.7559E 01	-----+				4.3068E 04	5.1050E-01	3.8595E-06
7.6000E-02	7.0332E 01	-----+				4.3070E 04	5.1268E-01	3.9461E-06
7.7000E-02	8.1102E 01	-----+				4.3081E 04	5.1490E-01	4.0771E-06
7.8000E-02	1.1008E 02	-----+				4.3110E 04	5.2158E-01	4.2182E-06
7.9000E-02	8.3285E 01	-----+				4.3083E 04	5.1419E-01	4.3789E-06
8.0000E-02	7.2859E 01	-----+				4.3073E 04	5.1214E-01	4.5087E-06
8.1000E-02	2.6953E 00	-----+				4.3003E 04	4.9754E-01	4.5594E-06
8.2000E-02	-3.3766E 01	-----+				4.2966E 04	4.9250E-01	4.5895E-06
8.3000E-02	3.4887E 01	-----+				4.3035E 04	5.1108E-01	4.6212E-06
8.4000E-02	7.6277E 01	-----+				4.3076E 04	5.1948E-01	4.7111E-06
8.5000E-02	1.5451E 02	-----+				4.3154E 04	5.3453E-01	4.9146E-06
8.6000E-02	8.4285E 01	-----+				4.3084E 04	5.1439E-01	5.1306E-06
8.7000E-02	-1.6559E 01	-----+				4.2983E 04	4.9214E-01	5.1983E-06
8.8000E-02	-3.9691E 01	-----+				4.2960E 04	4.9122E-01	5.2548E-06
8.9000E-02	-3.1195E 01	-----+				4.2969E 04	4.9683E-01	5.3385E-06
9.0000E-02	4.9285E 01	-----+				4.3049E 04	5.1581E-01	5.3821E-06
9.1000E-02	1.3940E 02	-----+				4.3139E 04	5.3414E-01	5.5347E-06
9.2000E-02	2.1087E 02	-----+				4.3211E 04	5.4444E-01	5.8823E-06
9.3000E-02	1.8479E 02	-----+				4.3185E 04	5.3350E-01	6.2425E-06
9.4000E-02	8.9488E 01	-----+				4.3089E 04	5.0984E-01	6.5108E-06
9.5000E-02	1.3008E 01	-----+				4.3013E 04	4.9529E-01	6.6091E-06
9.6000E-02	4.3547E 01	-----+				4.3043E 04	5.0716E-01	6.6403E-06
9.7000E-02	8.5902E 01	-----+				4.3086E 04	5.1743E-01	6.7840E-06
9.8000E-02	1.4864E 02	-----+				4.3149E 04	5.3102E-01	7.0036E-06
9.9000E-02	1.4219E 02	-----+				4.3142E 04	5.2632E-01	7.3094E-06
1.0000E-01	1.3111E 02	-----+				4.3131E 04	5.2250E-01	7.5885E-06
1.0100E-01	5.9965E 01	-----+				4.3060E 04	5.0679E-01	7.7679E-06

TIME	MINIMUM -8.7320E 01		UABW2 VERSUS TIME		MAXIMUM 8.2695E 01		UY	UT	INT3
	UABW2	I		I					
5.1000E-02	5.5219E 01		-----	+			4.3055E 04	6.0749E-01	6.0738E-07
5.2000E-02	1.1176E 01		-----	+			4.3011E 04	5.0332E-01	6.5432E-07
5.3000E-02	-3.0613E 01		-----	+			4.2969E 04	4.1789E-01	6.7970E-07
5.4000E-02	3.7746E 01		-----	+			4.3038E 04	5.6622E-01	7.0950E-07
5.5000E-02	-3.5098E 01		-----	+			4.2965E 04	4.0897E-01	7.3284E-07
5.6000E-02	5.0660E 01		-----	+			4.3051E 04	5.9928E-01	7.5871E-07
5.7000E-02	-5.8516E 00		-----	+			4.2994E 04	4.6780E-01	8.0888E-07
5.8000E-02	-3.5668E 01		-----	+			4.2964E 04	4.1164E-01	8.5444E-07
5.9000E-02	2.7559E 01		-----	+			4.3028E 04	5.4887E-01	8.8351E-07
6.0000E-02	-1.9191E 01		-----	+			4.2981E 04	4.4642E-01	8.9860E-07
6.1000E-02	4.3273E 01		-----	+			4.3043E 04	5.8448E-01	9.1916E-07
6.2000E-02	-2.7383E 00		-----	+			4.2997E 04	4.7726E-01	9.6501E-07
6.3000E-02	-1.5437E 01		-----	+			4.2985E 04	4.5595E-01	9.9789E-07
6.4000E-02	1.3844E 01		-----	+			4.3014E 04	5.1875E-01	1.0175E-06
6.5000E-02	1.9492E 00		-----	+			4.3002E 04	4.9135E-01	1.0336E-06
6.6000E-02	5.4297E-01		-----	+			4.3000E 04	4.9125E-01	1.0458E-06
6.7000E-02	1.1523E 00		-----	+			4.3001E 04	4.9181E-01	1.0580E-06
6.8000E-02	3.3008E 01		-----	+			4.3033E 04	5.6029E-01	1.0763E-06
6.9000E-02	-1.5762E 01		-----	+			4.2984E 04	4.5062E-01	1.1075E-06
7.0000E-02	1.4121E 01		-----	+			4.3014E 04	5.2160E-01	1.1373E-06
7.1000E-02	8.3867E 00		-----	+			4.3008E 04	5.0387E-01	1.1822E-06
7.2000E-02	1.5234E-01		-----	+			4.3000E 04	4.8942E-01	1.2030E-06
7.3000E-02	3.5008E 01		-----	+			4.3035E 04	5.5964E-01	1.2572E-06
7.4000E-02	-4.1133E 01		-----	+			4.2959E 04	3.9619E-01	1.2928E-06
7.5000E-02	2.5789E 01		-----	+			4.3026E 04	5.4635E-01	1.3247E-06
7.6000E-02	1.0859E 01		-----	+			4.3011E 04	5.1130E-01	1.3503E-06
7.7000E-02	1.2500E 00		-----	+			4.3001E 04	4.9048E-01	1.3596E-06
7.8000E-02	6.4594E 01		-----	+			4.3065E 04	6.2419E-01	1.4144E-06
7.9000E-02	-2.2133E 01		-----	+			4.2978E 04	4.2992E-01	1.4672E-06
8.0000E-02	3.9844E-01		-----	+			4.3000E 04	4.8751E-01	1.5173E-06
8.1000E-02	4.7266E 00		-----	+			4.3005E 04	4.9480E-01	1.5472E-06
8.2000E-02	-4.2773E 00		-----	+			4.2996E 04	4.7858E-01	1.5658E-06
8.3000E-02	4.8012E 01		-----	+			4.3048E 04	5.8782E-01	1.6258E-06
8.4000E-02	-2.2562E 01		-----	+			4.2977E 04	4.3225E-01	1.6623E-06
8.5000E-02	6.8008E 00		-----	+			4.3007E 04	5.0256E-01	1.6985E-06
8.6000E-02	1.4145E 01		-----	+			4.3014E 04	5.1749E-01	1.7203E-06
8.7000E-02	6.8242E 00		-----	+			4.3007E 04	5.0034E-01	1.7420E-06
8.8000E-02	7.1164E 01		-----	+			4.3071E 04	6.3641E-01	1.8045E-06
8.9000E-02	1.8742E 01		-----	+			4.3019E 04	5.1020E-01	1.9244E-06
9.0000E-02	-6.9074E 01		-----	+			4.2931E 04	3.3340E-01	2.0078E-06
9.1000E-02	5.1434E 01		-----	+			4.3051E 04	5.9920E-01	2.0727E-06
9.2000E-02	-1.2898E 01		-----	+			4.2987E 04	4.5049E-01	2.1576E-06
9.3000E-02	-2.5625E 01		-----	+			4.2974E 04	4.3228E-01	2.2328E-06
9.4000E-02	3.6156E 01		-----	+			4.3036E 04	5.6392E-01	2.2940E-06
9.5000E-02	-4.4980E 01		-----	+			4.2955E 04	3.9046E-01	2.3465E-06
9.6000E-02	5.3668E 01		-----	+			4.3054E 04	6.0945E-01	2.3980E-06
9.7000E-02	-1.3293E 01		-----	+			4.2987E 04	4.5613E-01	2.4716E-06
9.8000E-02	-1.9027E 01		-----	+			4.2981E 04	4.5157E-01	2.5396E-06
9.9000E-02	9.6055E 00		-----	+			4.3010E 04	5.1257E-01	2.5722E-06
1.0000E-01	-1.9051E 01		-----	+			4.2981E 04	4.5130E-01	2.5879E-06
1.0100E-01	4.3301E 01		-----	+			4.3043E 04	5.8725E-01	2.6284E-06

TIME	MINIMUM		UABW2 VERSUS TIME		MAXIMUM		UY	UT	INT3
	-6.4953E 01	01	K	= 3.0000E-01	1	2.1368E 02			
1.0200E-01	1.0961E 01	01	-----+		4.3011E 04	04	4.9834E-01	7.8412E-06	
1.0300E-01	5.0859E 01	01	-----+		4.3051E 04	04	5.1084E-01	7.8950E-06	
1.0400E-01	6.6238E 01	01	-----+		4.3066E 04	04	5.1476E-01	8.0119E-06	
1.0500E-01	1.2252E 02	02	-----+		4.3122E 04	04	5.2668E-01	8.2188E-06	
1.0600E-01	5.6441E 01	01	-----+		4.3056E 04	04	5.0953E-01	8.4124E-06	
1.0700E-01	-1.1852E 01	01	-----+		4.2988E 04	04	4.9555E-01	8.4646E-06	
1.0800E-01	1.2613E 01	01	-----+		4.3013E 04	04	5.0440E-01	8.4824E-06	
1.0900E-01	2.6094E 00	00	-----+		4.3003E 04	04	5.0310E-01	8.4968E-06	
1.1000E-01	2.8730E 01	01	-----+		4.3029E 04	04	5.0947E-01	8.5415E-06	
1.1100E-01	6.2375E 01	01	-----+		4.3062E 04	04	5.1698E-01	8.6197E-06	
1.1200E-01	8.6254E 01	01	-----+		4.3086E 04	04	5.1997E-01	8.8109E-06	
1.1300E-01	1.1138E 02	02	-----+		4.3111E 04	04	5.2398E-01	9.0259E-06	
1.1400E-01	6.7422E 01	01	-----+		4.3067E 04	04	5.1183E-01	9.2437E-06	
1.1500E-01	3.2504E 01	01	-----+		4.3032E 04	04	5.0442E-01	9.3669E-06	
1.1600E-01	4.7836E 01	01	-----+		4.3048E 04	04	5.1015E-01	9.4333E-06	
1.1700E-01	7.0277E 01	01	-----+		4.3070E 04	04	5.1490E-01	9.5941E-06	
1.1800E-01	1.1127E 02	02	-----+		4.3111E 04	04	5.2376E-01	9.7964E-06	
1.1900E-01	9.7805E 01	01	-----+		4.3098E 04	04	5.1857E-01	1.0057E-05	
1.2000E-01	1.0274E 02	02	-----+		4.3103E 04	04	5.1904E-01	1.0305E-05	
1.2100E-01	5.6184E 01	01	-----+		4.3050E 04	04	5.0719E-01	1.0474E-05	
1.2200E-01	2.1676E 01	01	-----+		4.3022E 04	04	5.0246E-01	1.0562E-05	
1.2300E-01	8.2848E 01	01	-----+		4.3083E 04	04	5.1840E-01	1.0679E-05	
1.2400E-01	8.6879E 01	01	-----+		4.3087E 04	04	5.1784E-01	1.0903E-05	
1.2500E-01	1.0112E 02	02	-----+		4.3101E 04	04	5.2006E-01	1.1148E-05	
1.2600E-01	4.5695E 01	01	-----+		4.3046E 04	04	5.0707E-01	1.1319E-05	
1.2700E-01	4.4922E-01	01	-----+		4.3000E 04	04	4.9836E-01	1.1382E-05	
1.2800E-01	3.1742E 01	01	-----+		4.3032E 04	04	5.0811E-01	1.1414E-05	
1.2900E-01	2.8043E 01	01	-----+		4.3028E 04	04	5.0761E-01	1.1487E-05	
1.3000E-01	5.8609E 01	01	-----+		4.3059E 04	04	5.1439E-01	1.1612E-05	
1.3100E-01	9.3730E 01	01	-----+		4.3094E 04	04	5.2175E-01	1.1785E-05	
1.3200E-01	1.1536E 02	02	-----+		4.3115E 04	04	5.2392E-01	1.2091E-05	
1.3300E-01	1.3448E 02	02	-----+		4.3134E 04	04	5.2654E-01	1.2414E-05	
1.3400E-01	8.1141E 01	01	-----+		4.3081E 04	04	5.1252E-01	1.2720E-05	
1.3500E-01	3.4477E 01	01	-----+		4.3034E 04	04	5.0300E-01	1.2886E-05	
1.3600E-01	3.6891E 01	01	-----+		4.3037E 04	04	5.0662E-01	1.2952E-05	
1.3700E-01	5.2824E 01	01	-----+		4.3053E 04	04	5.1100E-01	1.3095E-05	
1.3800E-01	1.1312E 02	02	-----+		4.3113E 04	04	5.2491E-01	1.3310E-05	
1.3900E-01	1.1809E 02	02	-----+		4.3118E 04	04	5.2355E-01	1.3646E-05	
1.4000E-01	1.3945E 02	02	-----+		4.3139E 04	04	5.2677E-01	1.4015E-05	
1.4100E-01	5.2945E 01	01	-----+		4.3053E 04	04	5.0593E-01	1.4288E-05	
1.4200E-01	-2.8711E 01	01	-----+		4.2971E 04	04	4.9010E-01	1.4358E-05	
1.4300E-01	-1.4766E 01	01	-----+		4.2985E 04	04	4.9796E-01	1.4435E-05	
1.4400E-01	1.7930E 00	00	-----+		4.3002E 04	04	5.0396E-01	1.4473E-05	
1.4500E-01	7.9316E 01	01	-----+		4.3079E 04	04	5.2140E-01	1.4602E-05	
1.4600E-01	8.7074E 01	01	-----+		4.3087E 04	04	5.2068E-01	1.4830E-05	
1.4700E-01	8.0664E 01	01	-----+		4.3081E 04	04	5.1683E-01	1.5101E-05	
1.4800E-01	9.9457E 01	01	-----+		4.3099E 04	04	5.2040E-01	1.5358E-05	
1.4900E-01	4.3055E 01	01	-----+		4.3043E 04	04	5.0626E-01	1.5591E-05	
1.5000E-01	-1.3668E 01	01	-----+		4.2986E 04	04	4.9489E-01	1.5655E-05	
1.5100E-01	-3.1309E 01	01	-----+		4.2969E 04	04	4.9459E-01	1.5754E-05	
1.5200E-01	-1.7109E 01	01	-----+		4.2983E 04	04	5.0009E-01	1.5832E-05	



TIME	MINIMUM		UABW2 VERSUS TIME		MAXIMUM		
	-8.7320E 01	I	I		I	UY	UT
1.0200E-01	-2.1445E 01	01	-----+-----		4.2978E 04	4.4385E-01	2.6694E-06
1.0300E-01	2.4336E 00	00	-----+-----		4.3002E 04	4.9969E-01	2.6963E-06
1.0400E-01	8.6211E 00	00	-----+-----		4.3009E 04	5.1376E-01	2.7032E-06
1.0500E-01	6.0684E 01	01	-----+-----		4.3061E 04	6.2119E-01	2.7861E-06
1.0600E-01	-3.2594E 01	01	-----+-----		4.2967E 04	4.1342E-01	2.8515E-06
1.0700E-01	5.2852E 00	00	-----+-----		4.3005E 04	5.0448E-01	2.9232E-06
1.0800E-01	2.3473E 01	01	-----+-----		4.3023E 04	5.3706E-01	3.0150E-06
1.0900E-01	-4.6004E 01	01	-----+-----		4.2954E 04	3.9025E-01	3.0776E-06
1.1000E-01	3.5074E 01	01	-----+-----		4.3035E 04	5.7032E-01	3.1294E-06
1.1100E-01	-1.4988E 01	01	-----+-----		4.2985E 04	4.5780E-01	3.1748E-06
1.1200E-01	3.3594E 01	01	-----+-----		4.3034E 04	5.6638E-01	3.2136E-06
1.1300E-01	1.4402E 01	01	-----+-----		4.3014E 04	5.1982E-01	3.2740E-06
1.1400E-01	3.5391E 00	00	-----+-----		4.3003E 04	4.9751E-01	3.2890E-06
1.1500E-01	5.6203E 01	01	-----+-----		4.3056E 04	6.0766E-01	3.3688E-06
1.1600E-01	-3.3855E 01	01	-----+-----		4.2966E 04	4.0813E-01	3.4374E-06
1.1700E-01	2.7727E 01	01	-----+-----		4.3028E 04	5.4889E-01	3.4985E-06
1.1800E-01	1.7629E 01	01	-----+-----		4.3018E 04	5.2224E-01	3.5681E-06
1.1900E-01	2.1562E 00	00	-----+-----		4.3002E 04	4.9004E-01	3.5842E-06
1.2000E-01	4.9109E 01	01	-----+-----		4.3049E 04	5.8885E-01	3.6575E-06
1.2100E-01	-4.6684E 01	01	-----+-----		4.2953E 04	3.7893E-01	3.7270E-06
1.2200E-01	1.6875E 01	01	-----+-----		4.3017E 04	5.2698E-01	3.8138E-06
1.2300E-01	1.0219E 01	01	-----+-----		4.3010E 04	5.0574E-01	3.9119E-06
1.2400E-01	-4.7203E 01	01	-----+-----		4.2953E 04	3.8722E-01	3.9928E-06
1.2500E-01	1.9141E-01	01	-----+-----		4.3000E 04	4.9625E-01	4.0448E-06
1.2600E-01	3.6238E 01	01	-----+-----		4.3036E 04	5.7276E-01	4.0871E-06
1.2700E-01	7.5078E 00	00	-----+-----		4.3007E 04	5.0401E-01	4.1707E-06
1.2800E-01	-1.6588E 01	01	-----+-----		4.2983E 04	4.5295E-01	4.1943E-06
1.2900E-01	2.5008E 01	01	-----+-----		4.3025E 04	5.4500E-01	4.2385E-06
1.3000E-01	-1.4289E 01	01	-----+-----		4.2986E 04	4.5858E-01	4.2676E-06
1.3100E-01	5.5555E 01	01	-----+-----		4.3055E 04	6.1109E-01	4.3175E-06
1.3200E-01	9.0742E 00	00	-----+-----		4.3009E 04	5.0076E-01	4.4451E-06
1.3300E-01	-2.9777E 01	01	-----+-----		4.2970E 04	4.2246E-01	4.5197E-06
1.3400E-01	2.2527E 01	01	-----+-----		4.3022E 04	5.3611E-01	4.5778E-06
1.3500E-01	-5.9375E 00	00	-----+-----		4.2994E 04	4.7286E-01	4.6091E-06
1.3600E-01	5.2812E 01	01	-----+-----		4.3053E 04	6.0083E-01	4.6553E-06
1.3700E-01	1.3141E 01	01	-----+-----		4.3013E 04	5.0534E-01	4.7954E-06
1.3800E-01	-4.0879E 01	01	-----+-----		4.2959E 04	3.9509E-01	4.8878E-06
1.3900E-01	5.2762E 01	01	-----+-----		4.3053E 04	5.9924E-01	4.9796E-06
1.4000E-01	-3.0434E 01	01	-----+-----		4.2970E 04	4.1654E-01	5.0461E-06
1.4100E-01	2.6520E 01	01	-----+-----		4.3026E 04	5.4566E-01	5.1003E-06
1.4200E-01	6.6504E 01	01	-----+-----		4.3066E 04	6.2318E-01	5.2731E-06
1.4300E-01	-6.1809E 01	01	-----+-----		4.2938E 04	3.4386E-01	5.3763E-06
1.4400E-01	-3.2969E 00	00	-----+-----		4.2997E 04	4.8364E-01	5.5148E-06
1.4500E-01	3.7551E 01	01	-----+-----		4.3037E 04	5.6584E-01	5.6445E-06
1.4600E-01	-4.8289E 01	01	-----+-----		4.2952E 04	3.8227E-01	5.7293E-06
1.4700E-01	5.3301E 01	01	-----+-----		4.3053E 04	6.0699E-01	5.8197E-06
1.4800E-01	-2.4332E 01	01	-----+-----		4.2976E 04	4.3288E-01	5.9091E-06
1.4900E-01	1.5805E 01	01	-----+-----		4.3016E 04	5.2622E-01	5.9747E-06
1.5000E-01	1.8207E 01	01	-----+-----		4.3018E 04	5.2438E-01	6.1001E-06
1.5100E-01	-3.2520E 01	01	-----+-----		4.2967E 04	4.1823E-01	6.1684E-06
1.5200E-01	1.6332E 01	01	-----+-----		4.3016E 04	5.2613E-01	6.2186E-06

```

***PROBLEM INPUT STATEMENTS***
MACRO I=KOST(VX,ZX)
  ZZ1=FCNSW(1.,I,1,0.)
  I=FCNSW(VX,ZZ1,ZZ1,1)
  I=INTGRL(0.,ZZ2)
  ZZ2=FCNSW(VX,0.,0.,ZX)
ENDMAC
MACRO LM=MAGN(IMAG)
  IM=ABS(IMAG)
  KRX=-IM*K
  KRY=EXP(KRX)
  LM=LMAX*KRY+LO
ENDMAC
MACRO UA=GSATZ(H,Z,UC,TN,UYX,UT,U)
  UD=INSW(U,H,Z)
  O=INTGPL(JC,UD)
  UX=D/TN
  UK=ABS(UX-UYX)
  UU=CCMPAR(UK,UT)
  UA=UU*U
ENDMAC
INIT
  AF1=1./(AL2*TU1+TU2)
  AF2=1./(AL2*TU1)+AL1/(AL2*TU2)
  AF3=AL1/AL2
  AF4=1./TU1+1./(AL2*TU2)
CONST TU1=0.002,TU2=0.01,AL1=2.5,AL2=2.,RT=5.E03,RF2=1.6E04
CONST H=-1.,Z=1.,CM=314.159,TN=1.E-02,X22=0.,Y22=1.
CONST T3=0.5236,T4=2.618,T5=1.5708,T2=2.0944
CONST R1=8.0,L=1.8,C=16.7E-06,C3=8.3E-06,L3=1.21,R3=15.
CONST R11=18.E-03,L11=0.11E-03,RK10=9.E04,RH=1.E05
CONST C4=50.E03,K11=-0.1666,K12=0.48,UV=0.5,RF4=4.E03
CONST X10=6.82E04,X20=9.2E03,X30=4.1E03,X40=1.98E03,X50=1.22E03
CONST X60=9.E02,X70=5.E02,X80=5.E02,X90=4.E02,X100=2.7E02
PARAM RF4=4.E03,K=2.,VXS=10.,LSOLL=43.E03
PARAM LMAX=8.,LO=0.3,SK1=109.,SK2=68.,KZ=40.
PARAM P1=5.E-02,P2=7.E-02,P3=5.E-02,P4=11.E-02,P5=13.E-02,P6=15.E-02
PARAM P7=17.E-02,P8=15.E-02,P9=21.E-02,P10=23.E-02
PARAM T11=0.45,TU1=0.11,TU2=0.01
PARAM A=393.,TS1=0.02,PS1=0.05
INCGN UY0=43.E03
FIXED J1,J2
  VS=1.
  VR=-1.
  VT=-1.
  VW=1.
  VU=-1.
  VV=-1.
  J1=1
  J2=1
DYNAM
  LM1=MAGN(IMAGR)
  LM2=MAGN(IMAGS)
  LM3=MAGN(IMAGT)
  LM4=MAGN(IMAGU)
  LM5=MAGN(IMAGV)
  LM6=MAGN(IMAGW)
  F1=CM*TJME
  TA1=STEP(PS1)
  A1=A*(1.+TS1*TA1)
  U1=A1*SIN(F1)
  U2=A1*SIN(F1-T2)
  U3=A1*SIN(F1+T2)
  U4=A1*SIN(F1-T2)
  U5=A1*SIN(F1-T4)
  U6=A1*SIN(F1+T5)
  UY1=NOT(U1)
  UY2=INSW(U2,X22,Y22)
  UY3=NOT(U3F)
  UY4=INSW(U4,X22,Y22)
  UY5=INSW(U5,X22,Y22)
  UY6=NOT(U6)
  UY22=-1.*UY2
  UY44=-1.*UY4
  UY55=-1.*UY5

```

```

U1A=GSATZ(H,Z,0.,3N,UY1,UT,U1)
U2A=GSATZ(H,Z,0.3333E-02,TN,UY2,UT,U2)
U3A=GSATZ(H,Z,0.6666E-02,TN,UY3,UT,U3F)
U4A=GSATZ(H,Z,-0.3333E-02,TN,UY4,UT,U4)
U5A=GSATZ(H,Z,0.1666E-02,TN,UY5,UT,U5)
U6A=GSATZ(H,Z,0.5E-02,TN,UY6,UT,U6)
UF=UY/SK1
U3R=(U1A*LM1-R11*N7-I2R*(LM1*R11-R1*LK1)+UF*LK1)/(L11+LM1+LK1)
N7=INTGRL(0.,U3F)
LK1=L*P1*L11/L
U3S=(U2A*LM2-R11*M7-I2S*(LM2*R11-R1*LK2)+UF*LK2)/(L11+LM2+LK2)
M7=INTGRL(0.,U3S)
LK2=L*M2*L11/L
U3T=(U3A*LM3-R11*S7-I2T*(LM3*R11-R1*LK3)+UF*LK3)/(L11+LM3+LK3)
S7=INTGRL(0.,U3T)
LK3=L*M3*L11/L
U3U=(U4A*LM4-R11*N3-I2U*(LM4*R11-R1*LK4)+UF*LK4)/(L11+LM4+LK4)
N3=INTGRL(0.,U3U)
LK4=L*M4*L11/L
U3V=(U5A*LM5-R11*N4-I2V*(LM5*R11-R1*LK5)+UF*LK5)/(L11+LM5+LK5)
N4=INTGRL(0.,U3V)
LK5=L*M5*L11/L
U3W=(U6A*LM6-R11*N5-I2W*(LM6*R11-R1*LK6)+UF*LK6)/(L11+LM6+LK6)
N5=INTGRL(0.,U3W)
LK6=L*M6*L11/L
URA=ABS(U3R)
USA=ABS(U3S)
UTA=ABS(U3T)
UUA=ABS(U3U)
UVA=ABS(U3V)
UWA=ABS(U3W)
RKL=RKL0-XK1-XK2-XK3-XK4-XK5-XK6-XK7-XK8-XK9-XK10
XK1=X10*STEP(P1)
XK2=X20*STEP(P2)
XK3=X30*STEP(P3)
XK4=X40*STEP(P4)
XK5=X50*STEP(P5)
XK6=X60*STEP(P6)
XK7=X70*STEP(P7)
XK8=X80*STEP(P8)
XK9=X90*STEP(P9)
XK10=X100*STEP(P10)
U31=AMAX1(URA,USA,UTA)
U32=AMAX1(UUA,UVA,UWA)
U3=SK2*(U31+U32)
Y=(RH+RKL)/(RH+RKL)
UY=INTGRL(UY0,X)
X=INTGRL(0.,W)
W=(U3-X*(L*Y+C*R1))-UY*R1*Y-UY-V*L-[3*R1]/(L*C)
I3=INTGRL(0.,V)
V=INTGRL(0.,S)
S=(X-R3*V-I3/C3)/L3
USP1=AMAX1(USA,UTA)
USP2=AMAX1(URA,UTA)
USP3=AMAX1(URA,USA)
USP4=AMAX1(UVA,UWA)
USP5=AMAX1(UUA,UWA)
USP6=AMAX1(UUA,UVA)
I2R=ABS(I5R)
I2S=ABS(I5S)
I2T=ABS(I5T)
I2U=ABS(I5U)
I2V=ABS(I5V)
I2W=ABS(I5W)
IMAGR=I1R-I5R
IMAGS=I1S-I5S
IMAGT=I1T-I5T
IMAGU=I1U-I5U
IMAGV=I1V-I5V
IMAGW=I1W-I5W
UABW1=(UY-USOLL)/C4
UP1=INTGRL(0.,UP2)
UP2=INTGRL(0.,UABW1)
UP4=INTGRL(0.,UP5)
UP5=INTGRL(0.,UKX)

```

```

UKX=KZ*(AF1*UP1+AF2*UP2+AF3*UABW1)-AF1*UP4-AF4*UP5

```

```

UTA2=LIMIT(KT1,KT2,UKX)

```

```

UT=UV+UTA2

```

```

INT1=ABS(UABW1)
INT2=INT1*TIME
INT3=INTGRL(0.,INT2)
UABW2=UY-USQLL
NOSORT
ZR=(U1A-U3R-R11*I1R)/L11
I1R=KOST(VR,ZR)
ZS=(U2A-U3S-R11*I1S)/L11
I1S=KOST(VS,ZS)
ZT=(U3A-U3T-R11*I1T)/L11
I1T=KOST(VT,ZT)
N6=(U4A-UF-I2R*R1)/L
I5R=KOST(VR,N6)
M6=(U5A-UF-I2S*R1)/L
I5S=KOST(VS,M6)
S6=(U4A-UF-I2T*R1)/L
I5T=KOST(VT,S6)
ZU=(U4A-U3U-R11*I1U)/L11
I1U=KOST(VU,ZU)
ZV=(U5A-U3V-R11*I1V)/L11
I1V=KOST(VV,ZV)
Zw=(U6A-U3W-R11*I1W)/L11
I1W=KOST(VW,ZW)
N2=(UUA-UF-I2U*R1)/L
I5U=KOST(VU,N2)
M5=(UVA-UF-I2V*R1)/L
I5V=KOST(VV,M5)
S5=(UWA-UF-I2W*R1)/L
I5W=KOST(VW,S5)
GOTO(12,13,14),J1
12 IF(USA.GE.USP2) GOTO 10
VS=-1.
VR=1.
J1=2
GOTO 10
13 IF(URA.GE.USP1) GOTO 10
VR=-1.
VT=1.
J1=3
GOTO 10
14 IF(UTA.GE.USP3) GOTO 10
VT=-1.
VS=1.
J1=1
10 CONTINUE
GOTO(15,16,17),J2
15 IF(UWA.GE.USP6) GOTO 20
VW=-1.
VV=1.
J2=2
GOTO 20
16 IF(UVA.GE.USP5) GOTO 20
VV=-1.
VU=1.
J2=3
GOTO 20
17 IF(UUA.GE.USP4) GOTO 20
VU=-1.
VW=1.
J2=1
20 CONTINUE
SORT
METHOD RKSF
PRTPLT UABW2(UY,UT,INT3),U3R(LIA,UF,ZR),I5R(I1R,N6,I1T)
TIMER FINTIM=0.002,DELTA=2.E-04,OUTDEL=1.E-03,PRODEL=1.E-03
END
STOP

```