



LUND UNIVERSITY

Automatic Control of a Road Vehicle

Projectwork in the Systems Techniques Course

Carlqvist, Pål; Due, Lars; Fabretto, Jan; Fogelberg, Lars; Kvist, Bo; Ljung, Thomas; Lundström, Mats; Strååt, Olle; Upadhyaya, Lalit; Walle, Per Olof

1977

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Carlqvist, P., Due, L., Fabretto, J., Fogelberg, L., Kvist, B., Ljung, T., Lundström, M., Strååt, O., Upadhyaya, L., & Walle, P. O. (1977). *Automatic Control of a Road Vehicle: Projectwork in the Systems Techniques Course*. (Technical Reports TFRT-7118). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:

10

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

AUTOMATIC CONTROL OF A ROAD VEHICLE
Projectwork in the Systems Techniques Course

P. CARLQVIST
L. DUE
J. FABRETTO
L. FOGELBERG
B. KVIST
T. LJUNG
M. LUNDSTRÖM
O. STRÅÅT
L. UPADHYAYA
P.O. WALLE

DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY
August 1977

Dokumentutgivare
 Lund Institute of Technology
 Dept of Automatic Control
 Händläggare
 0950 Pn Wittenmark
 Författare
 0870 Carlqvist
 L. Due
 J. Fabretto
 L. Fogelberg
 B. Kvist

Dokumentnamn
 REPORT
 Utgivningsdatum
 Aug 4 1977

Dokumentbeteckning
 LUTFD2/(TRAF 67118)/1-044/(1977)
 Ärendebeteckning
 06T6

T. Ljung
 M. Lundström
 O. Strååt
 L. Upadhyaya
 P.O. Walle

10T4

Dokumenttitel och undertitel

18T0
 Automatic Control of a Road Vehicle (Automatisk Styrning av Vägfordon)
 Projectwork in the Systems Techniques Course (Systemteknik) Spring 1977

Referat (sammandrag)

26T0
 This report contains an application of our knowledge from the Basic Course in Automatic Control, LTH. The problem is to find a control law which satisfies given specifications for automatic control of a road vehicle. The solution of the problem have involved computer simulation with the program package SIMNON. We tested different types of regulators, P, PD and state feedback. Our recommendation is the last mentioned.

Referat skrivet av

Autors

Förslag till ytterligare nyckelord

44T0

Klassifikationssystem och -klass(er)

50T0

Indextermer (ange källa)

0250
 Road Vehicle, Feedback control, Speed control, Computerized simulation
 (Thesaurus of Engineering and Scientific Terms, Engineers Joint Council, N.Y., USA).

Omfång

44 sidor

Övriga bibliografiska uppgifter

56T2

Språk

Swedish

Sekretessuppgifter

60T0

ISSN

60T4

ISBN

60T6

Dokumentet kan erhållas från

0950
 Department of Automatic Control
 Lund Institute of Technology
 P O Box 725, S-22007 Lund 7, Sweden

Mottagarens uppgifter

62T4

Pris

66T0

DOKUMENTTABLAD enligt SIS 62 10 12

SIS-DB 1

PROJEKTARBETE I REGLERTEKNIK - SYSTEMTEKNIK
Vårterminen 1977.

Författare:

Carlqvist, Pål
Due, Lars
Fabretto, Jan
Fogelberg, Lars
Kvist, Bo
Ljung, Thomas
Lundström, Mats
Strååt, Olle
Upadhyaya, Lalit
Walle, Per Olof

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

	<u>Sid.</u>
1. <u>INLEDNING</u>	4
2. <u>PROBLEMSITUATION</u>	5
3. <u>PROBLEMBESTÄMNING</u>	6
4. <u>AVGRÄNSNINGAR</u>	7
5. <u>SPECIFIKATIONER</u>	8
6. <u>MATEMATISK MODELL FÖR TRUCK OCH SERVO</u>	11
7. <u>TILLVÄGAGÅNGSSÄTT</u>	21
8. <u>SIMULERING</u>	25
<u>BILAGOR 1-5</u>	36
<u>BILAGA 6 (MOD.)</u>	41
<u>BILAGA 7 (MOD.)</u>	42
<u>BILAGA 8</u>	43
<u>LITTERATURFÖRTECKNING</u>	44

1. INLEDNING.

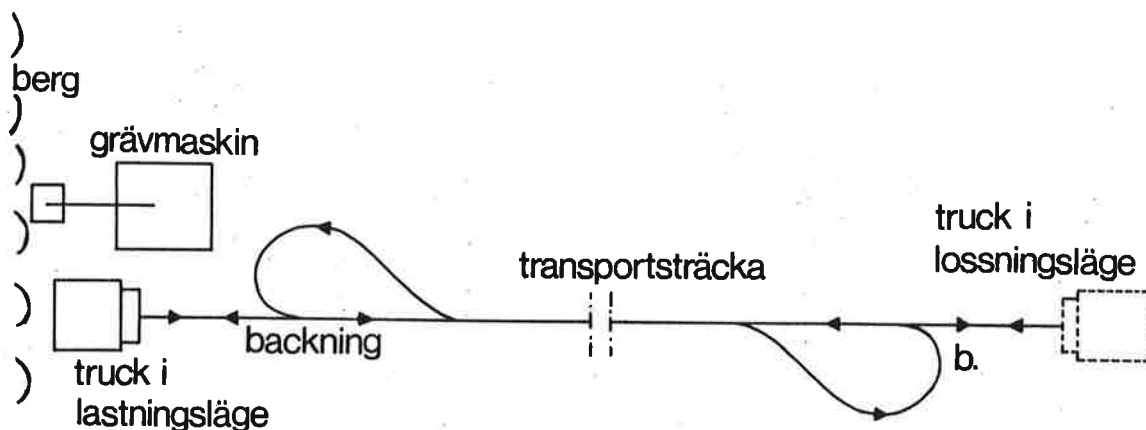
Rapporten sammanfattar projektarbetet i Reglerteknik-Systemteknik för M, som är en fortsättningskurs. Kursen syftar dels att illustrera hur kunskaper från Reglerteknik Allmän kurs kan användas för att lösa större problem och dels att ge kunskaper i olinjära, samplade, stokastiska system och automatik i system.

Projektarbetet är ett obligatoriskt moment och omfattar ca 14 lektionstimmar. Vårt reglerproblem i arbetet är automatisk styrning av fordon, som är en del av problemet automatisk framförning av vägfordon .

Problemet bygger på SABB-SCANIA's experiment tillsammans med Kockum-Landsverk, med förarlösa lasttruckar. Idag finns automatiska fordon bland annat i stora varulagersystem.

2. PROBLEMSITUATION.

Med hänsyn till bl.a. lönsamheten är det motiverat att försöka göra truckar för masstransporter, t.ex. inom gruv- och stenindustrin, förarlösa. Saab AB och Kockum-Landswerk har samarbetat vid projektering av ett förarlöst system för Kockums truck KL 440.



Man kan här tänka sig att ha en eller flera truckar i drift samtidigt. Totalsystemet måste innehålla följande fem delsystem:

1. Reglersystem för automatstyrning
2. Körprogramdon för kommandering av rörelsetillstånd (start, stopp, hastighet osv.)
3. Verkställande system för rörelsetillstånd (fartkontroll)
4. Växlingssystem mellan olika körslingsor
5. Allmänt säkerhetssystem.

Den tekniska prestationsförmågan hos systemet är bara en av de faktorer som måste beaktas vid projekteringsarbetet. Bland andra viktiga faktorer kan nämnas:

- Totala kostnaden för systemet
- Erforderlig tid för framtagning av systemet
- Tillförlitligheten hos systemet.

3. PROBLEMBESTÄMNING.

Åstadkomma en styrlag som ger truck-servosystemet önskade egenskaper och lämpligt uppträdande vid yttre störningar. Störningarna representeras av stegändringar i referenssignalen.

Se vidare avsnittet "SPECIFIKATIONER".

4. AVGRÄNSNINGAR.

I vårt projekteringsexempel skall vi endast behandla regler-systemet för automatstyrning av trucken.

För att ytterligare underlätta arbetet införs förenklingar, som leder till en linjär modell. Så antages t.ex. konstant fordons-hastighet, små vinkeländringar och att vägen är "normalt" rak.

5. SPECIFIKATIONER.

Den begränsade systemspecifikation, som behövs för delsystemet för automatisk styrning av trucken på en enkelkörslina, kan dock åstadkommas betydligt lättare än en specifikation för totalsystemet. I huvudsak är det följande frågeställningar som måste utredas och besvaras:

1. Flexibilitet
2. Körslingans utformning
 - a) Längd
 - b) Kurvradie
3. Truckhastighet
4. Noggrannhet
5. Stabilitet
6. Snabbhet
7. Tillförlitlighetsaspekter.

Genom att studera olika tänkbara användningsområden för det automatiska trucksystemet kan man få svar på dessa frågeställningar och fastställa lämpliga krav. Nedan anges kraven på styrsystemet punkt för punkt tillsammans med korta motiverande förklaringar.

1. Smärre banändringar skall kunna genomföras på ett fåtal minuter. Transportsystemet bör kunna klara av transporter med rörlig lastningsplats och fast lossningsplats, som fallet är i stenbrottet hos Sydsten i Dalby.
2.
 - a) Körslingans längd: 2 000 m
 - b) Kurvradie $R \geq 10$ m

Truckens minsta svängradie är 7,5 meter. Därutöver behövs en viss marginal för styrutslag.

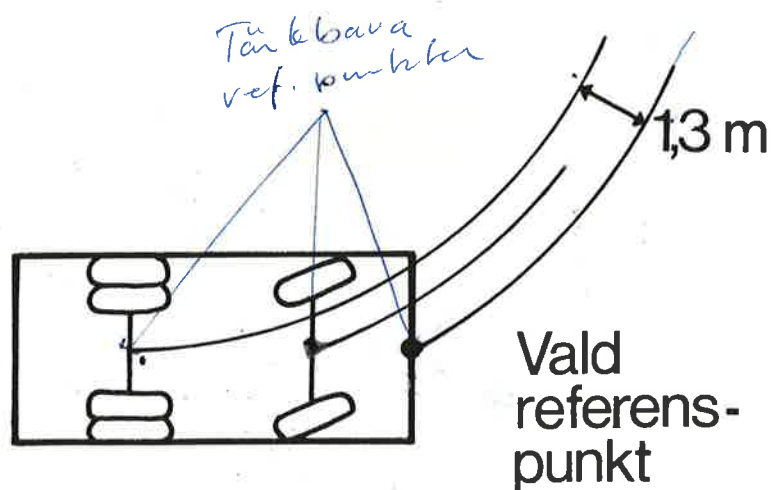
3.
 - a) Truckhastighet $v \leq 65$ km/tim.Truckens maximala hastighet är 65 km/tim. Det automatiska styrsystemet bör inte vara en begränsande faktor när det gäller truckhastigheten.

b) Max. sidacceleration: 0,2 g

Vid kurvtagning måste man ta hänsyn till att sidaccelerationen eller centrifugalkraften inte får bli för stor.

4. a) Allmänt noggrannhetskrav: $\pm 0,75$ m

Främre stötfångarens mittpunkt är den referenspunkt som ger bästa informationen om truckens rörelser. Av figuren nedan framgår, att det i en kurva med krökningsradien 10 meter blir ett avstånd på 1,3 meter mellan banorna för olika tänkbara referenspunkter. Av denna anledning sätts noggrannhetskravet för en allmänt kurvig körslina till $\pm 0,75$ m.



b) Noggrannhet på raksträcka: $\pm 0,3$ m.

I bl.a. gruvor är det väsentligt att ha så liten bredd på transportvägarna som möjligt. På en raksträcka bör man kunna innehålla ett snävare noggrannhetskrav än $\pm 0,75$ m.

5. Normala stabilitetsmarginaler.

Man har inga speciella krav på insvängningsförloppet utan kan tolerera normala översvängningar. Vi önskar översläng mellan 20-30 % och insvängningstid mellan 2-3 sekunder.

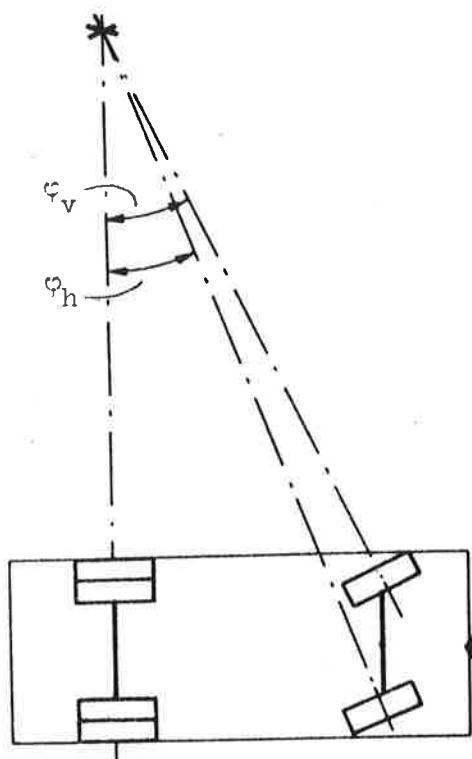
6. Max.hastighet hos styrdonet: 0,3 rad/s.
Man har inga primära krav på snabbheten i insvängningsförloppet. En intressant uppgift ur konstruktionssynpunkt är dock styrdonets och styrhjulens maximala utstyrningshastighet. För truckens inbyggda servostyrning är maximala hastigheten 0,3 rad/s. Detta värde kan preliminärt väljas även för automatstyrningen.
7. Säkerhetssystem måste finnas.
Automatstyrssystemet måste innehålla ett säkerhetssystem som bromsar in trucken om något fel uppstår inom det automatiska styrssystemet. Övriga tillförlitlighetsaspekter hänskjuts till specifikationen för totalsystemet.
8. Specifikationer för servosystemet.
Vi är begränsade till konventionella komponenter. För att undvika inverkan av högfrekventa störningar, mekaniska resonanser med åtföljande slitage, begränsar vi servodonets övre gränshastighet till ≤ 40 rad/s.
9. Specifikationer för regulator.
Regulatorns övre gränshastighet ska hållas lägre än servodonets.

6. MATEMATISK MODELL AV TRUCK OCH SERVO.

Rörelseekvationer för truck.

Med hjälp av en matematisk modell vill vi beskriva sambandet mellan styrhjulsutslag (rattutslag) och truckens rörelse (läge). Truckens läge definieras härvid som avståndet mellan en koordinatlinje i vägbanan och främre stötfångarens mittpunkt (referenspunkt).

Av figuren nedan framgår att styrhjulsutslagen vid kurvtagning är olika dvs. man har ett icke-linjärt samband mellan rattvridningen θ och styrhjulsvinklarna ϕ_v och ϕ_h .



Styrhjulsvinklar

Definierar man en ny styrhjulsvinkel ϕ , som utgör medelvärdet av ϕ_v och ϕ_h , får man approximativt sambandet

$$\phi = \frac{1}{M} \cdot \theta$$

där M är en konstant.

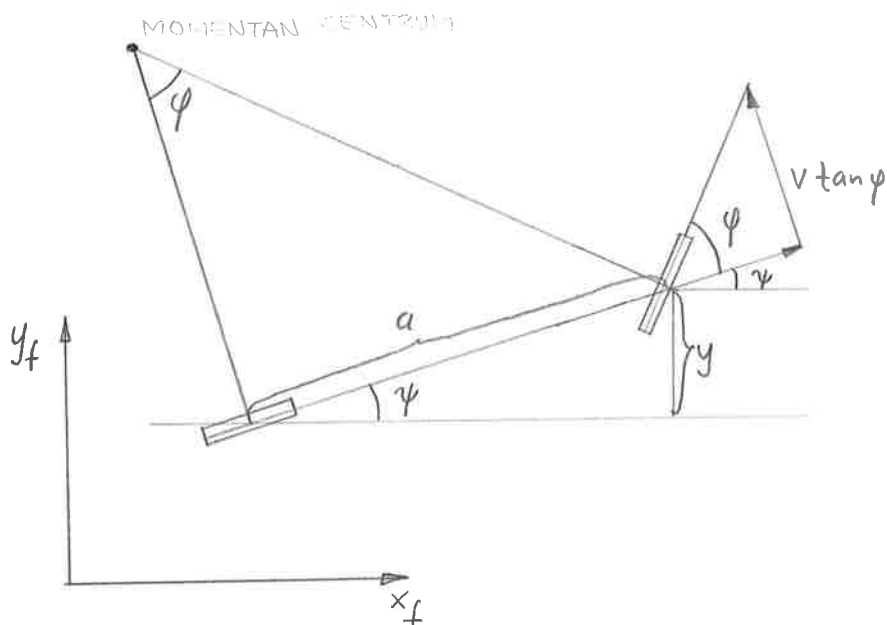
läge = x

hastighet = $v = \dot{x}$

avvikelse = y

vinkeln mellan truckens medellinje och referenslinje = ψ

hjulets utslagsvinkel = ϕ



$$\begin{cases} y = R \sin \psi \\ a \dot{\psi} = v \tan \phi \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{y} = R \cos \psi \dot{\psi} + \dot{R} \sin \psi \\ \dot{\psi} = \frac{v}{a} \tan \phi \end{cases} \quad \Rightarrow$$

där $R = a$ och $\dot{R} = v$

$$\begin{cases} \dot{y} = v \sin \psi + \dot{\psi} a \cos \psi \\ \dot{\psi} = \frac{v}{a} \tan \phi \end{cases}$$

$$\dot{y} = v \sin \psi + \frac{v}{a} \tan \phi a \cos \psi$$

$$\dot{y} = v(\sin \psi + \cos \psi \tan \phi)$$

antag ψ och ϕ är små

$$\sin \psi = \psi \quad \cos \phi = \phi$$

$$\dot{y} = v (\psi + \phi)$$

$$\dot{\psi} = \frac{v}{a} \phi \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\ddot{y} = v\dot{\psi} + v\dot{\phi} = v(\dot{\psi} + \dot{\phi})$$

$$\boxed{\ddot{y} = v(\dot{\psi} + \dot{\phi})}$$

insättning av (1) ger

$$\ddot{y} = v\left(\frac{v}{a}\dot{\phi} + \dot{\phi}\right)$$

$$y = \frac{v}{a}\phi + v\dot{\phi}$$

Laplacetransformering ger

$$s^2 Y = \frac{v^2}{a}\Phi + v\Phi s$$

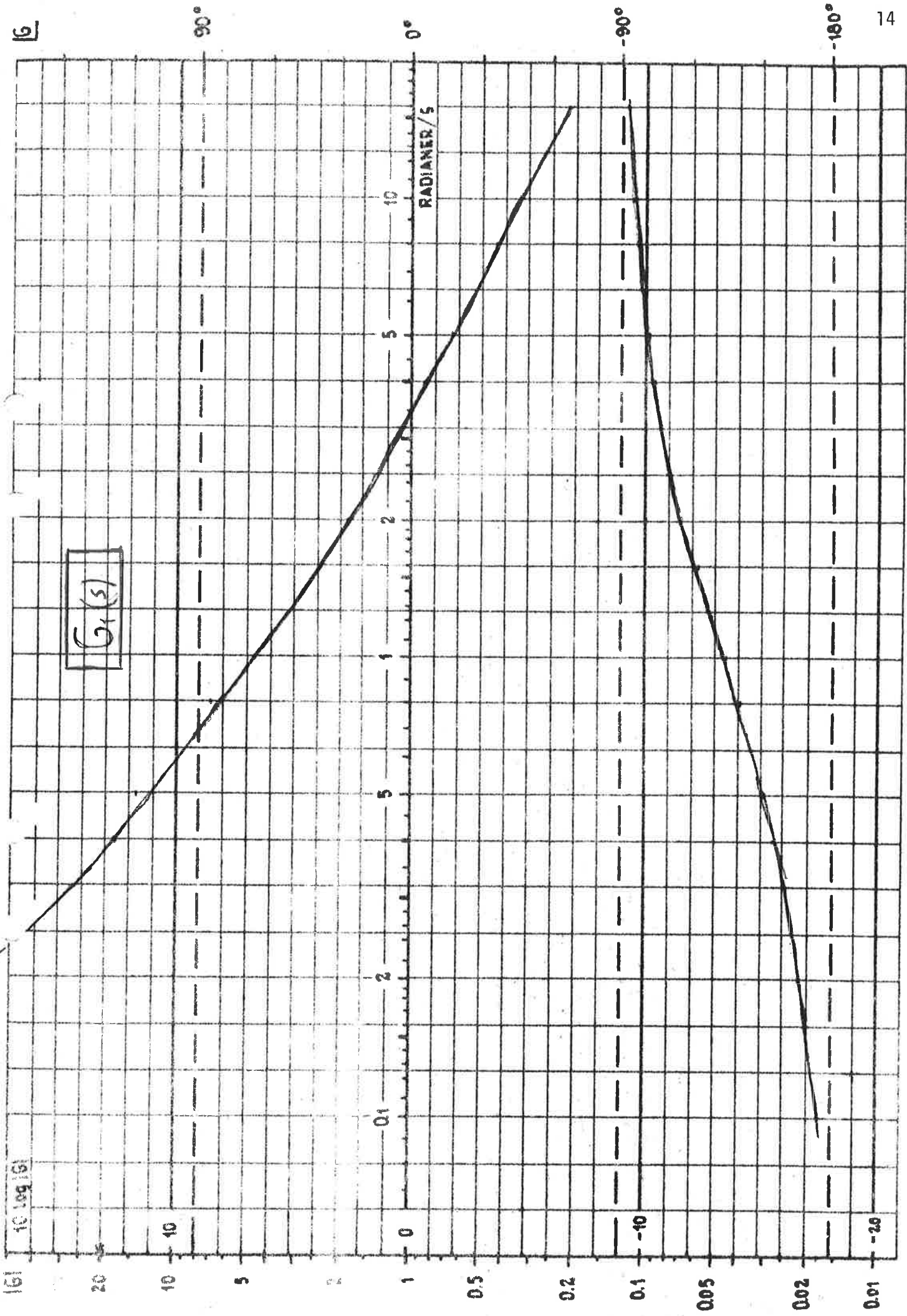
$$\frac{Y(s)}{\Phi(s)} = \frac{v\left(\frac{v}{a} + s\right)}{s^2}$$

Multipluera både täljare och nämnare med a^2/v^2

Överföringsfunktionen blir då

$$G_2(s) = \frac{a + a^2 \frac{s}{v}}{a^2 \frac{s^2}{v^2}} \quad \text{med } p = a \frac{s}{v}$$

$$\boxed{G_1(s) = a \frac{1+p}{p^2}}$$



16

90°

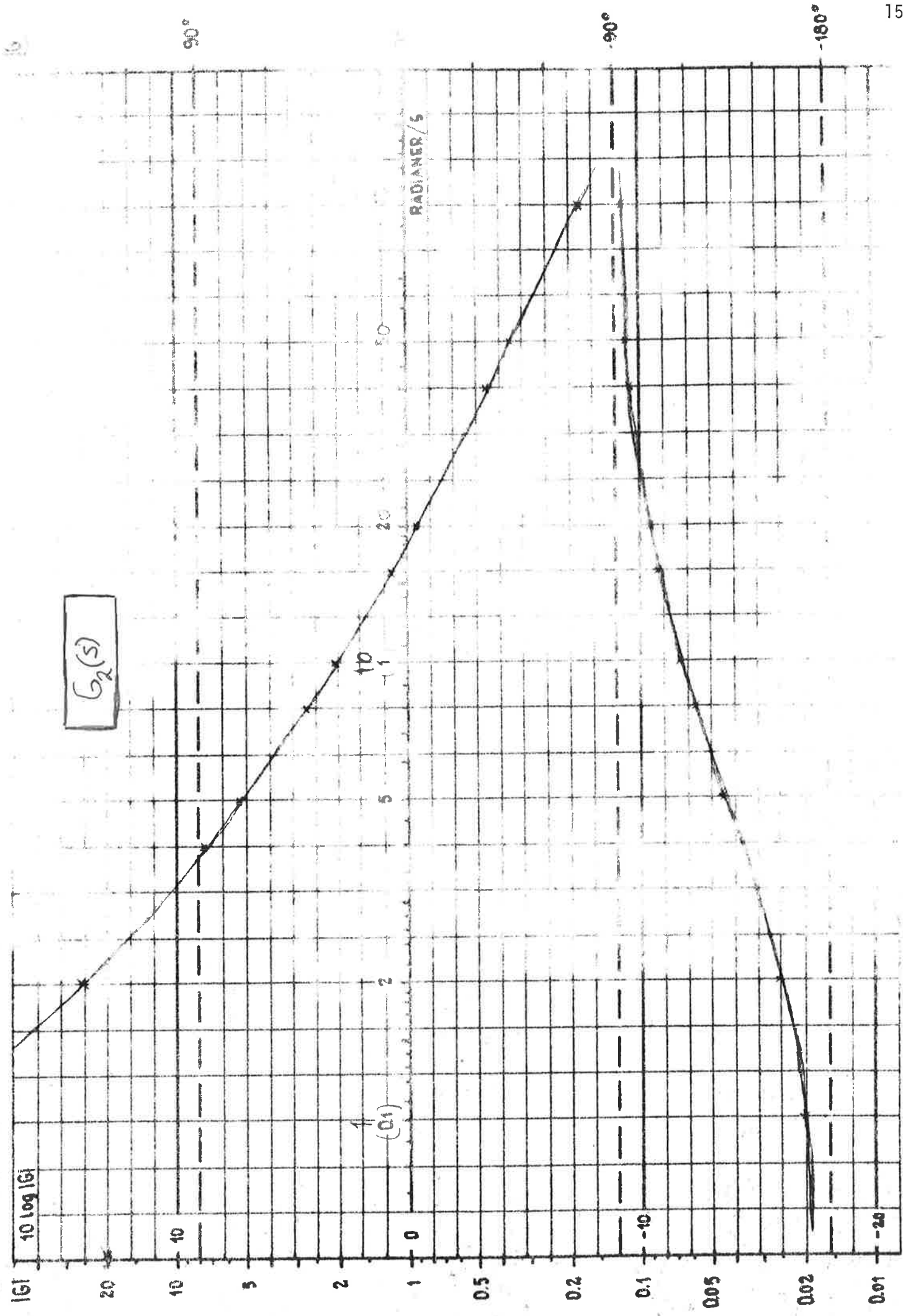
0°

-90°

-180°

14

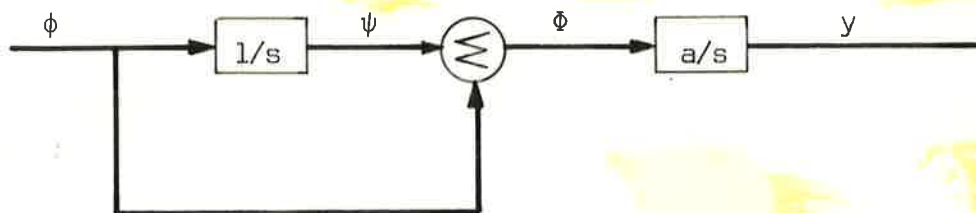
$G_1(s)$



$G_2(s)$

10:10 + 10 DECIBEL = + 20 DB

Blockschema över TRUCK

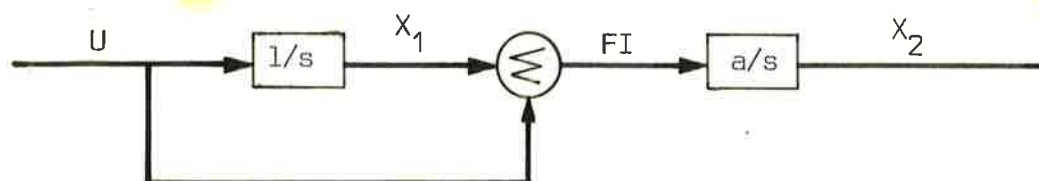


$$\Phi = \left(\phi + \frac{1}{s} \phi \right)$$

$$Y = \frac{a}{s} \Phi = \frac{a}{s} \frac{s+1}{s} \phi = \frac{a(s+1)}{s^2} \phi$$

$$Y = \frac{a(s+1)}{s^2} \phi$$

Införes tillstånd

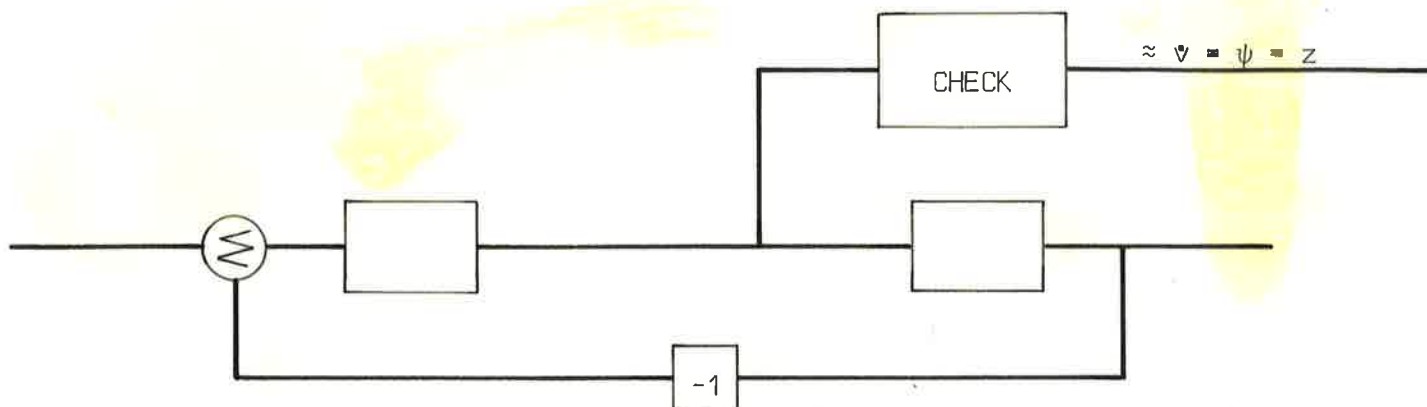


$$\dot{x}_1 = u$$

$$\dot{x}_2 = a(x_1 + u)$$

$$y = x_2$$

$$FI = \dot{x}_1 + u$$

CHECK¹⁾

$$v = \dot{\phi} = \dot{\psi}$$

$$G(s) = \frac{s}{1 + Ts} = \frac{1/T + s - 1/T}{1 + Ts} = \frac{1}{T} \left[1 - \frac{1}{1 + Ts} \right]$$

$$Z(s) = \frac{1}{T} \left[1 - \frac{1}{1 + Ts} \right] V(s)$$

$$Z(s) = \frac{1}{T} V(s) - \frac{1}{T} \left[\frac{1}{1 + Ts} \right] V(s)$$

$$Z(s) = X(s) + \frac{1}{T} V(s)$$

$$X(s) = - \frac{1}{T} \left[\frac{1}{1 + Ts} \right] V(s)$$

$$X(s) \quad T + T^2s = - V(s)$$

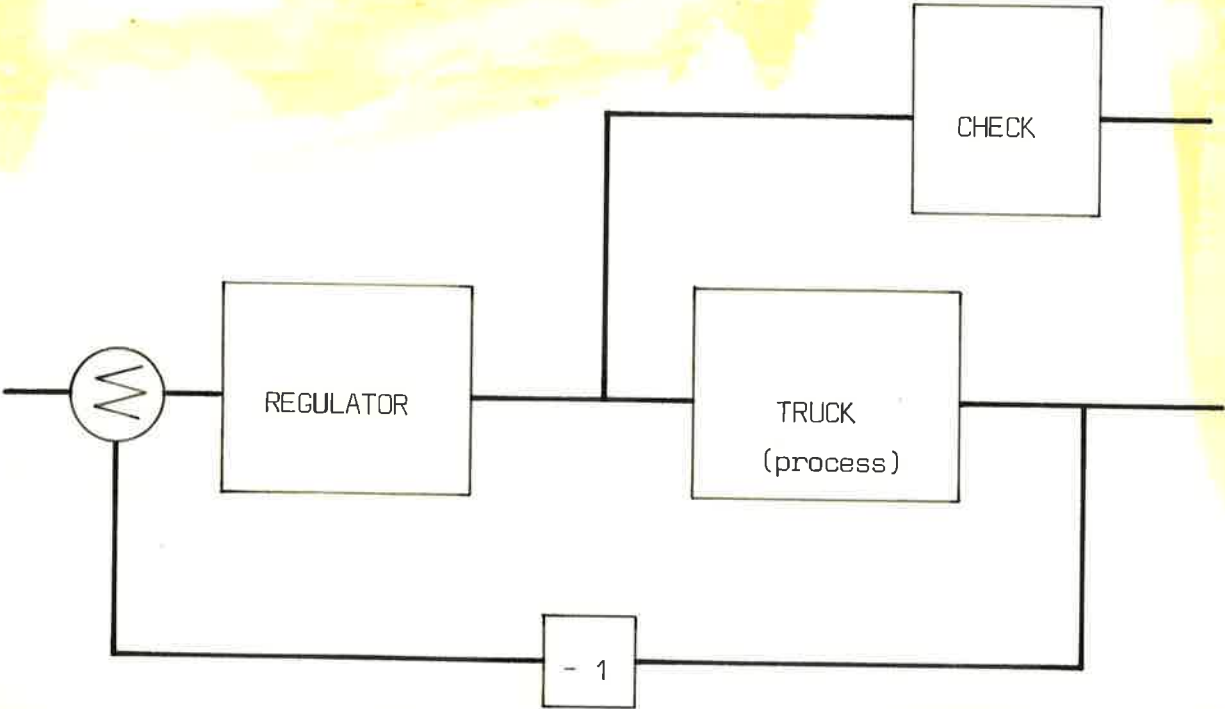
$$s X(s) = - \frac{1}{T} X(s) - \frac{1}{T^2} V(s)$$

$$z = x + v/T$$

$$\dot{x} = - (x + v/T) \frac{1}{T}$$

1) Användes för att mäta sidacceleration.

BLOCKSCHEMA.



SERVOSYSTEM.

Servo användes för att överföra styrsignalen till hjulutslag.

$$Y(s) \left[s^2 + 2 \xi \omega s + \omega^2 \right] = \omega^2 \cdot U(s)$$

INITIALVÄRDEN: $\dot{y}(0) = y(0) = 0 \implies$

$$\ddot{y} + 2 \xi \omega \cdot \dot{y} + \omega^2 \cdot y = u \omega^2$$

INFÖR TILLSTÄNDEN x_1 och x_2 :

$$\begin{cases} x_1 = y \\ \dot{x}_1 = x_2 = \dot{y} \end{cases}$$

$$\implies \dot{x}_2 = \ddot{y} = -2 \xi \omega \cdot x_2 - \omega^2 x_1 + u \omega^2$$

ALLTSÅ:

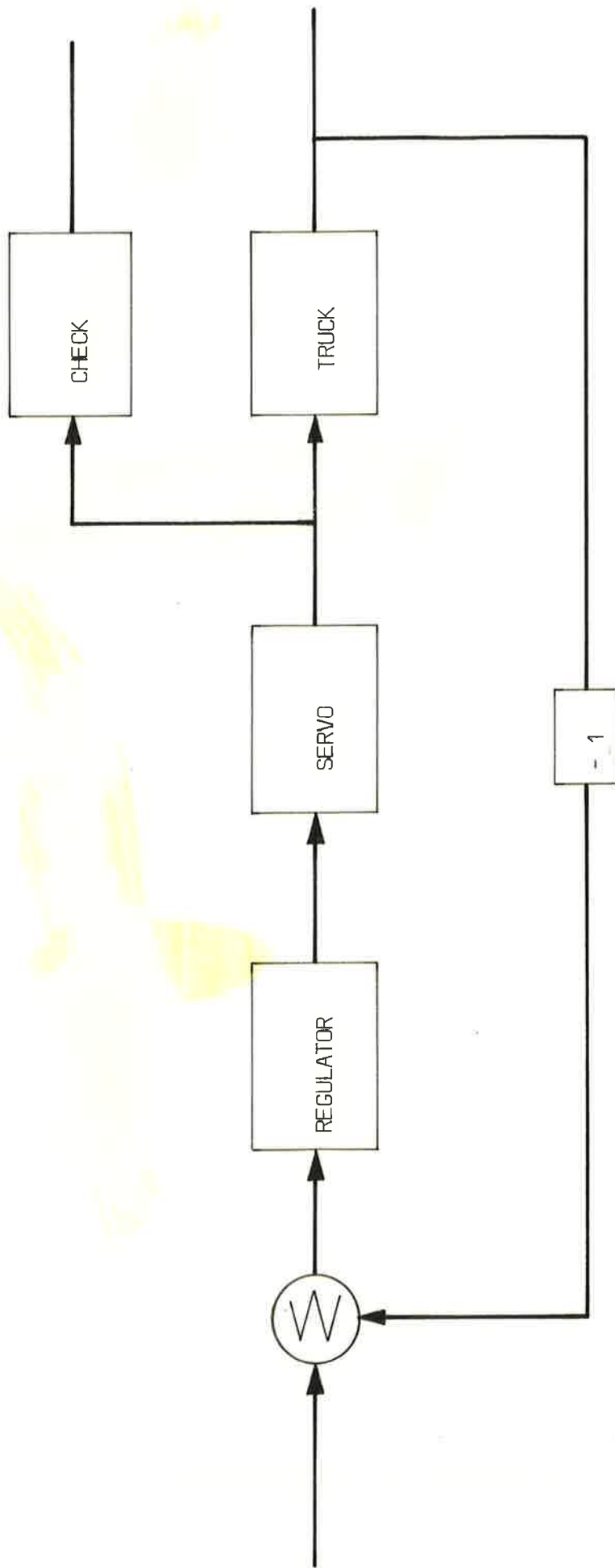
$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\omega^2 x_1 - 2 \xi \omega x_2 + u \omega^2 \\ y = x_1 \end{cases}$$

Dvs.

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -2\xi\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega^2 \end{bmatrix} U \\ y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \end{cases}$$

OM

$$G(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + 2 \xi \omega s + \omega^2}$$



7. TILLVÄGAGÅNGSSÄTT.

Vi använder dator (PDP-15) med programpaketet SIMNON som hjälpmedel för dimensionering och val av regulator typ. Detta bl.a. för att få en inblick och känsla för datorns möjligheter och begränsningar jämfört med analogmaskin.

Delsystemen truck, servo, check och regulator (2 st) skrivs som självständiga program och sammankopplas sedan på lämpligt sätt m.h.t. programmet "Conecting System".

Vi simulerar sedan med två regulator typer.

1. PID regulator med enkel negativ återkoppling
2. Återkoppling från samtliga tillstånd; läge (Y) och vinkeln mellan truck och referenslinje (ψ).

Stegsvar används sedan som testfunktion och justerar sedan regulatorparametrarna så att ett normalt stegsvar erhålles och att specifikationerna uppfylles.

Denna inställning av regulatorparametrarna görs först utan servo-systemet. Servosystemet kopplas sedan in i det totala systemet varvid dämpning och resonansfrekvens väljs så, att inverkan blir liten utan att resonansfrekvensen blir för hög.

ÅTERKOPPLING FRÅN SAMTLIGA TILLSTÄND.

Enligt tidigare:

$$\begin{cases} \dot{y} = v\psi + v\phi \\ \psi = \frac{v}{a} \cdot \phi \end{cases}$$

SÄTT: $x = \begin{bmatrix} y \\ \psi \end{bmatrix}$ och $u = \phi$

$$\Rightarrow \dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & v \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} v \\ \frac{v}{a} \end{bmatrix} u = Ax + Bu$$

ANSÄTT:

$$u = u_r - Lx \quad \text{DÄR } L = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 \end{bmatrix}$$

DÅ FÅR VI:

$$\dot{x} = (A - BL)x + Bu_r \quad (\text{ÅTERK.SYSTEM})$$

$$\det (\lambda I - (A - BL)) = 0 \quad \text{SÖKES.}$$

$$A - BL = \begin{bmatrix} -vl_1 & v - vl_2 \\ -\frac{vl_1}{a} & -\frac{vl_2}{a} \end{bmatrix}$$

$$\lambda I - (A - BL) = \begin{bmatrix} \lambda + vl_1 & -v(1-l_2) \\ \frac{v l_1}{a} & \lambda + \frac{v l_2}{a} \end{bmatrix}$$

$$\det (\lambda I - (A - BL)) = 0 \Rightarrow$$

$$(\lambda + vl_1) \left(\lambda + \frac{v l_2}{a} \right) + \frac{v^2}{a} l_1 (1 - l_2) = 0$$





$$\lambda^2 + \lambda v \left(l_1 + \frac{1}{a} l_2 \right) + \frac{v^2}{a} \cdot l_1 = 0$$



$$\lambda^2 + \lambda v \left(l_1 + \frac{1}{a} l_2 \right) + \frac{v^2}{a} l_1 = 0$$

JFR:

$$\lambda^2 + 2 \xi \omega \cdot \lambda + \omega^2 = 0$$

$$\xi = 0,7$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \omega^2 = \frac{v^2}{a} l_1 \\ 1,4 \omega = v l_1 + \frac{1}{a} l_2 \end{cases}$$

OCH ALLTSÅ:

$$\boxed{\begin{aligned} l_1 &= \frac{a \omega^2}{v^2} \\ l_2 &= 1,4 \omega - \frac{a \omega^2}{v} \end{aligned}}$$

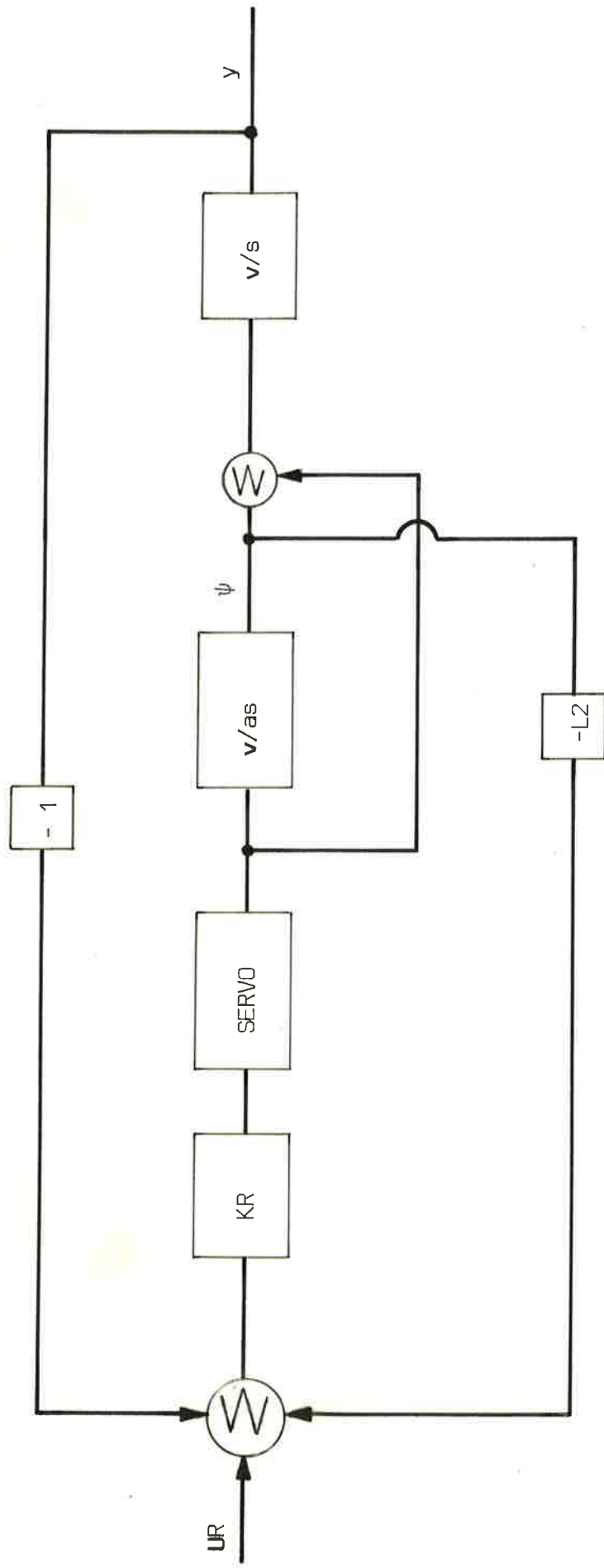
Vi vill att systemet ska ha den statiska förstärkningen 1, vilket innebär att konstanten framför x_1 måste sättas lika med 1.

Styrlagen parametriseras då som:

$$u = l_1 (u_r - x_1 - l_2/l_1 \cdot x_2)$$

i figur sid. 21 är $l_1 = KR$

$$l_2/l_1 = L2$$



8. SIMULERING.

Vi har kört tre olika uppställningar:

1. PD regulator återad på TRUCK
2. PD regulator återad på TRUCK + SERVO
3. Återkoppling från samtliga tillstånd återad på TRUCK + SERVO.

Vi valde att ej använda en integrerande regulator eftersom systemet själv innehåller integrationer och vi inte ville riskera instabilitet.

Vi beräknade tillåten stegstörning med hjälp av max. styrvinkelhastighet och sidacceleration. Styrvinkelhastigheten fås direkt medan sidaccelerationen beräknas med hjälp av styrvinkeln enligt följande samband (beteckningar enligt figur vid härledning av teoretisk modell):

$$\begin{aligned} \text{sidacc.} \quad ar &= \frac{v^2}{r} \\ \text{tg } \phi &= \frac{a}{r} \\ ar &= \frac{v^2}{a} \text{tg } \phi \approx \frac{v^2}{a} \cdot \phi = 96 - \phi \end{aligned}$$

Vid plottningen används följande beteckningar:

U (TRUCK) = styrvinkel
 Y (TRUCK) = sidavvikelse
 Z (CHECK) = styrvinkelhastighet
 W (CHECK) = sidacceleration

För att erhålla rätt tidsskala ska diagrammens x-axel multipliceras med $a/v = 3,4 \cdot 3,6/65 = 0,19$.

Det visar sig vid körning av alternativ 1 att sidaccelerationen utgör den begränsande faktorn. Max. sidacceleration avläses till 40, vilket medför att y-axeln ska divideras med 20 för att rätt storlek ska erhållas. Då fås vinkelsteget till $1/20 \text{ rad} \approx 3^\circ$ och sidsteget $\approx 5 \text{ cm}$.

Alternativ 2 ger identiskt resultat, vilket visar att servot är lämpligt utformat.

Alternativ 3 ger något bättre resultat. Max.sidasacceleration får värdet 18 vilket ger en skalfaktor på 1/9. Vinkelsteget blir $1/9 \text{ rad} \approx 6^\circ$ och sidosteget 11 cm.

Med fortsatta ansträngningar hade kurvorna förmodligen kunnat fås att överensstämma och även större stegstörningar kunnat tillåtas.

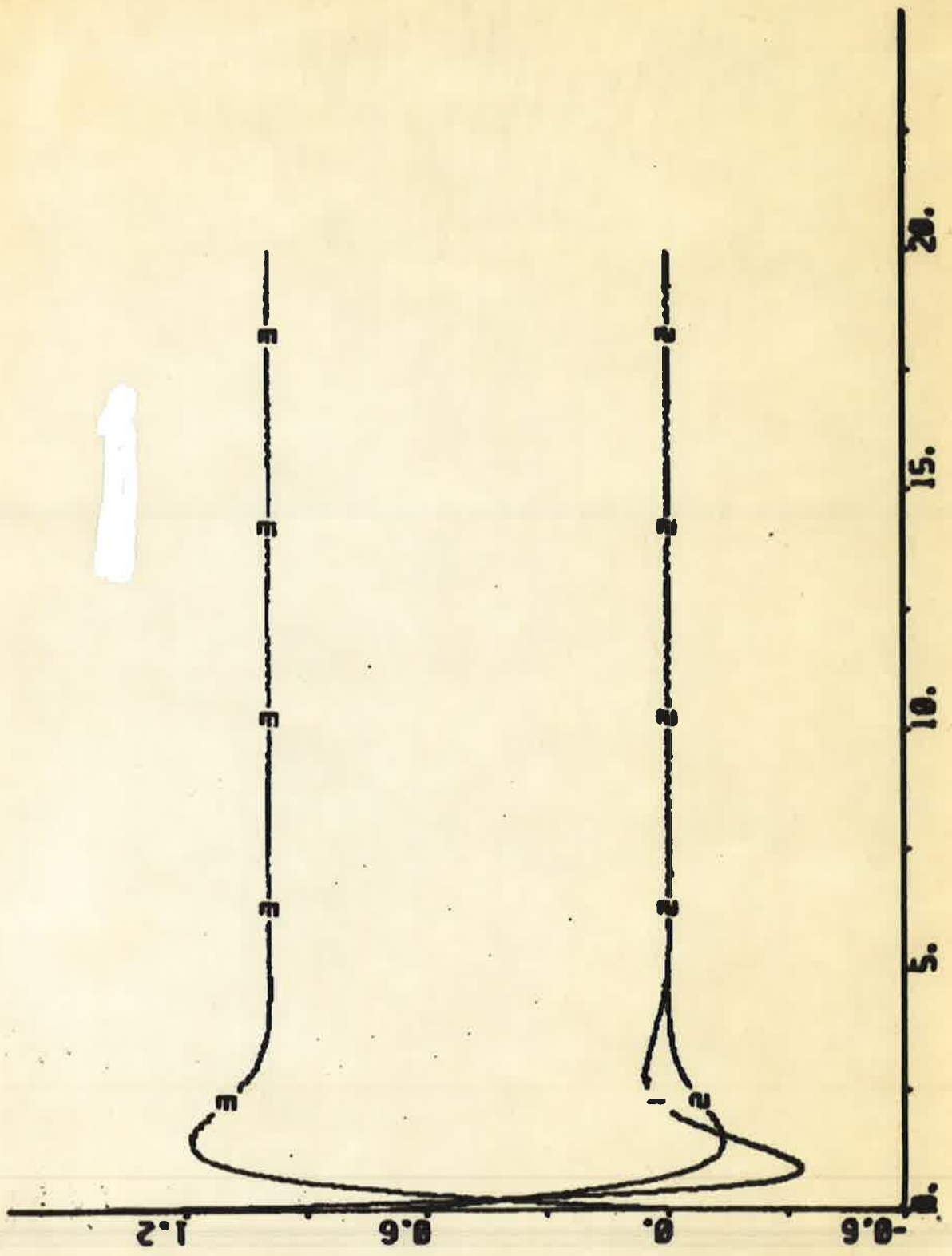
Program som använts:

1. TRUCK CPID CHECK CONNR
2. TRUCK CPID CHECK CONNR (MOD) SERVO
3. TRUCK (MOD) CHECK CONNA SERVO

Programmen finns listade i bilagedelen.

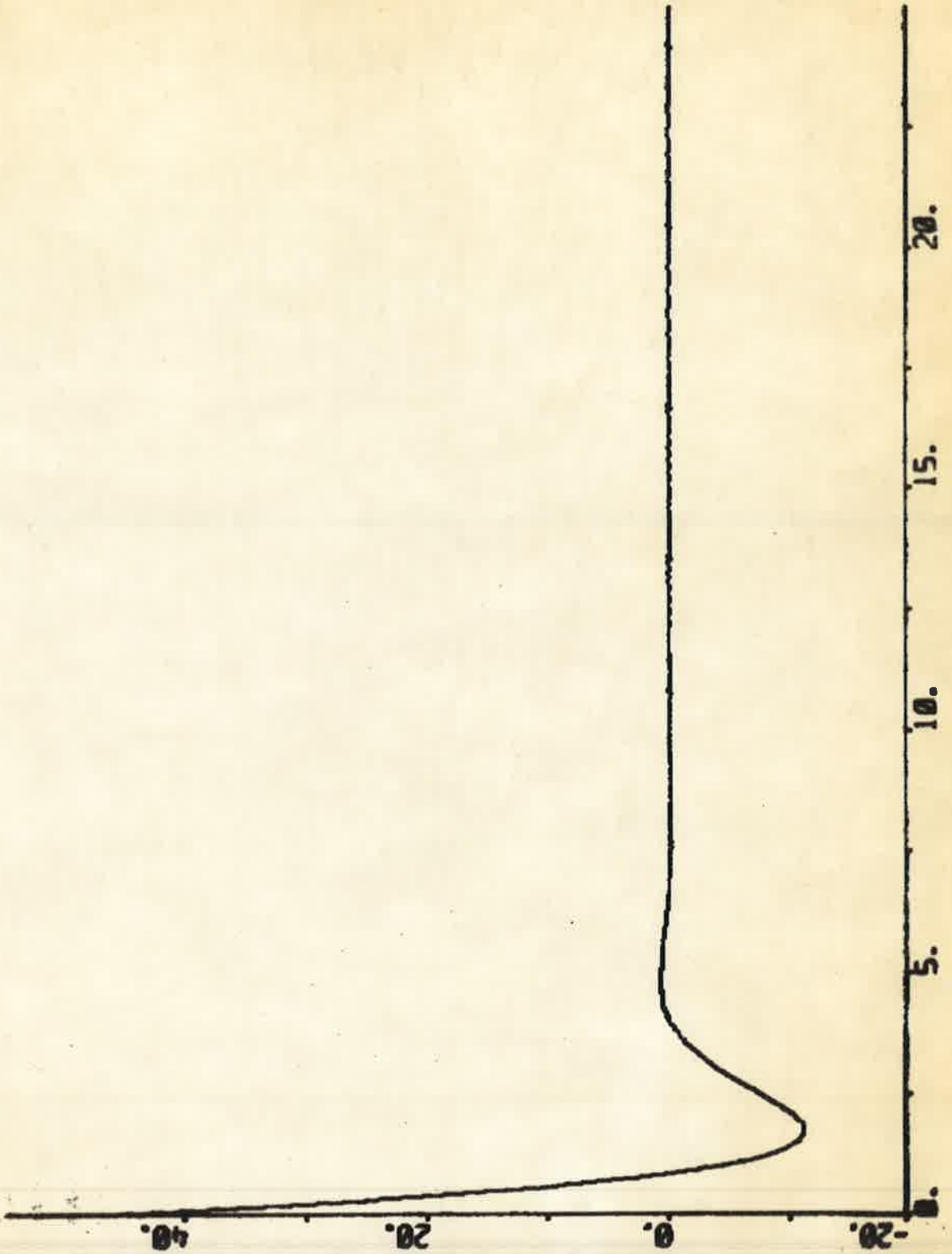
ALTERNATIV 1.

PLOT ZECKECKJ ULTRUCKJ YETRUCKJ
YR=1. C=0.7 T1=1.E10 GD=0. TD=1.



ALTERNATIV 1.

PLOT W/CHECKJ



ALTERNATIV 1.

```

CONTINUOUS SYSTEM TRUCK
STATE : X1      6.157052E-06
INIT  : X1      1.000001
DER   : DX1     0.000000
INPUT : U       -4.664063E-06
OUTPUT: Y       -4.664063E-06
PAR   : A       1.000001
VAR   : FI      3.400000
          1.492988E-06
    
```

```

CONTINUOUS SYSTEM CPID
STATE : I       1.224633E-15
INIT  : I       0.000000
DER   : DI      -9.328127E-16
INPUT : YREF    1.000000
OUTPUT: U       -4.664063E-06
PAR   : G       0.500000
          TD     0.100000
VAR   : E       -9.328127E-06
          GD     0.000000
          YI     1.000000E+10
          P     -4.664063E-06
          D     0.000000
    
```

```

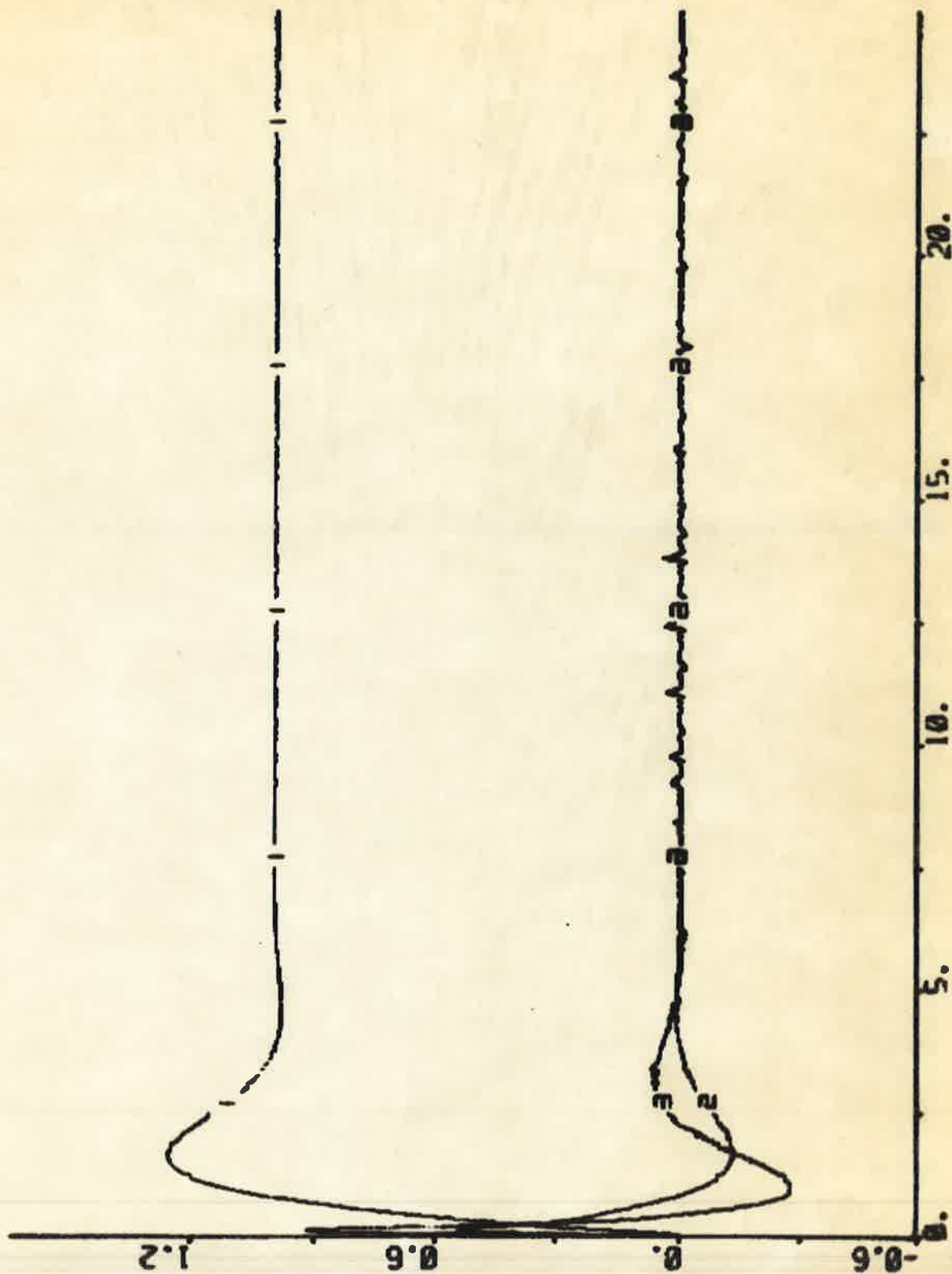
CONTINUOUS SYSTEM CHECK
STATE : X       -1.821945E-06
INIT  : X       0.000000
DER   : DX      2.230014E-05
INPUT : V       -4.664063E-06
OUTPUT: Z       -1.115007E-05
PAR   : K       95.8833
          W     -4.472056E-04
          T     0.500000
    
```

```

CONNECTING SYSTEM CONNR
TIME  : T      25.0000
PAR   : YR     1.00000
    
```

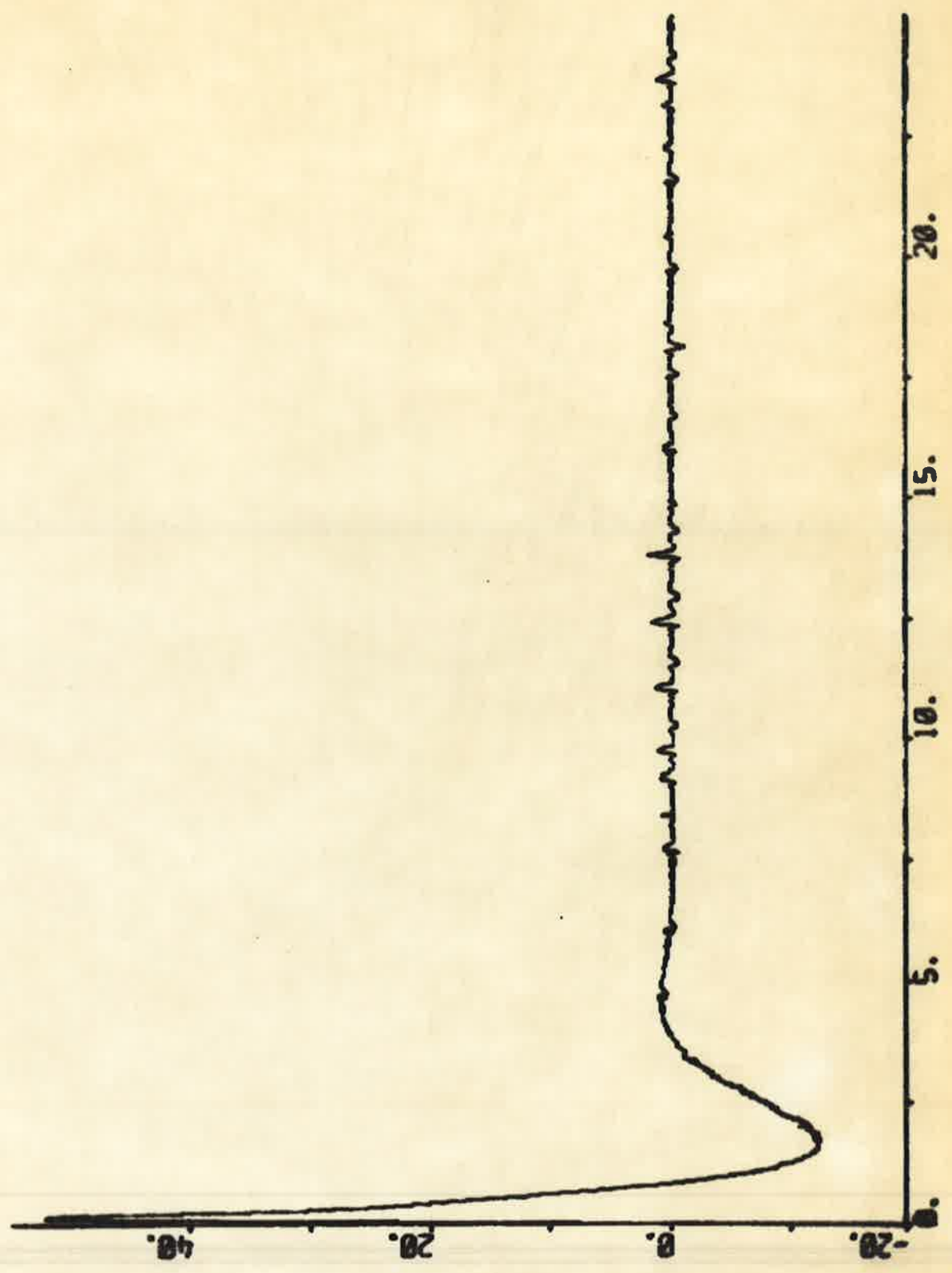
ALTERNATIV 2.

PLOT Y(TRUCK) U(TRUCK) Z(CHECK)
YR=1. C=0.5 GD=0. TD=0.1 T1=1.E10 OM=20.
DAMP=0.5 K(CHECK)=95.88



ALTERNATIV 2.

PLOT WICHECK]
YR=1. G=0.5 CD=0. TD=0.1 T1=1.E10 OM=20.
DAMP=0.5 K[CHECK]=95.88



ALTERNATIV 2.

		CONTINUOUS SYSTEM CPID			
STATE	: I	-6,577025E-15	R	0,000000	
INIT	: I	0,000000	R	0,000000	
DER	: DI	-3,892779E-14	DR	0,000000	
INPUT	: YREF	1,00000	Y	1,00039	
OUTPUT	: U	-1,946390E-04			
PAR	: G	0,500000	GD	0,000000	TI 1,000000E+10
	: TD	0,100000			
VAR	: E	-3,892779E-04	P	-1,946390E-04	D 0,000000

		CONTINUOUS SYSTEM TRUCK	
STATE	: X1	1,129538E-04	X2 1,00039
INIT	: X1	0,000000	X2 0,000000
DER	: DX1	-1,639080E-03	DX2 -5,188829E-03
INPUT	: U	-1,639080E-03	
OUTPUT	: Y	1,00039	
PAR	: A	3,40000	
VAR	: FI	-1,526126E-03	

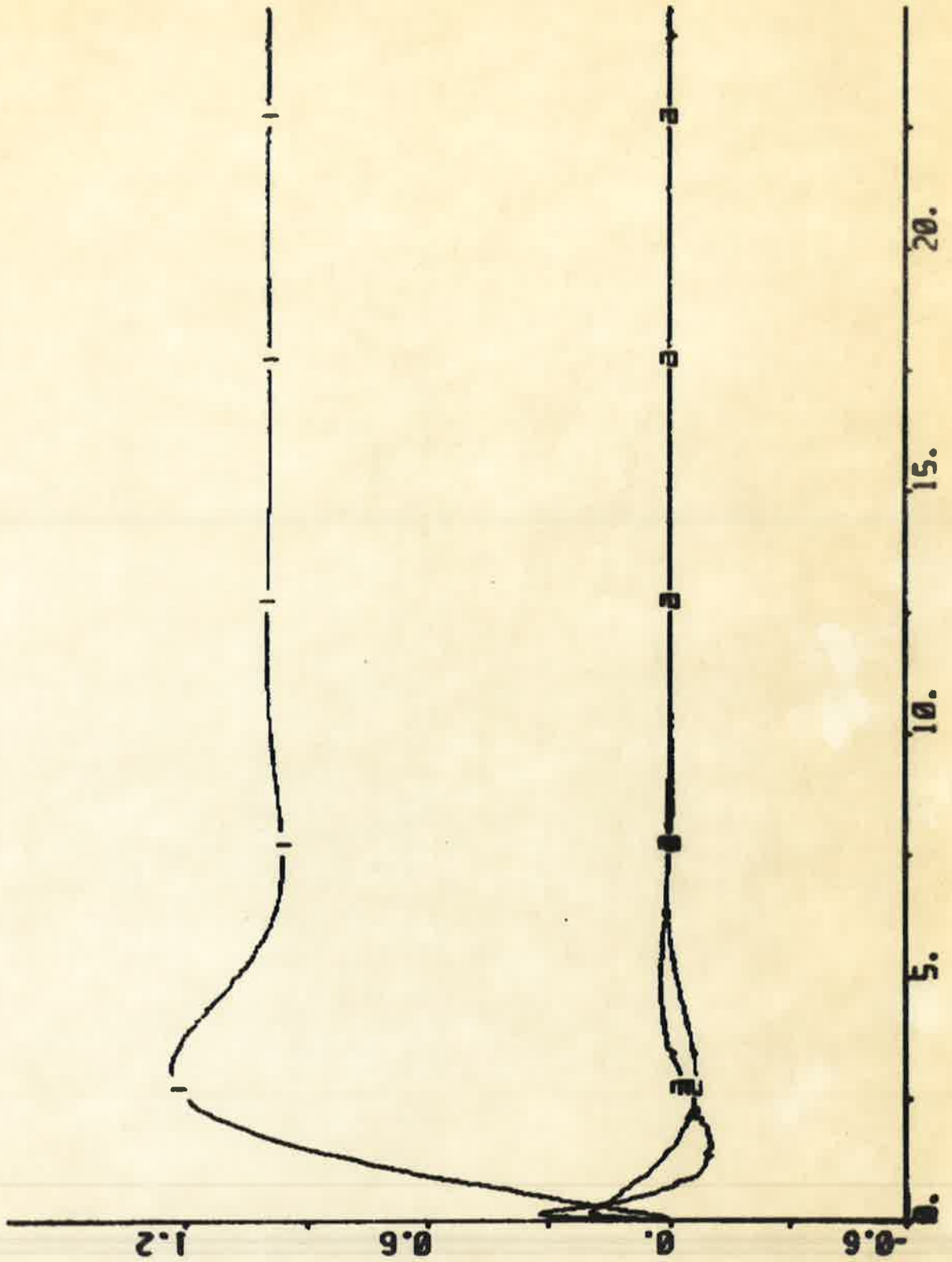
		CONTINUOUS SYSTEM CHECK	
STATE	: X	-4,704618E-04	
INIT	: X	0,000000	
DER	: DX	7,497243E-03	
INPUT	: V	-1,639080E-03	
OUTPUT	: Z	-3,748621E-03	W -0,157160
PAR	: K	95,8833	T 0,500000

		CONTINUOUS SYSTEM SERVO	
STATE	: X1	-4,097700E-06	X2 -6,387661E-05
INIT	: X1	0,000000	X2 0,000000
DER	: DX1	-6,387661E-05	DX2 2,721973E-03
INPUT	: U	-1,946390E-04	
OUTPUT	: Y	-1,639080E-03	
PAR	: OM	20,0000	DAMP 0,500000

		CONNECTING SYSTEM CONNR	
TIME	: T	25,0000	
PAR	: YR	1,00000	

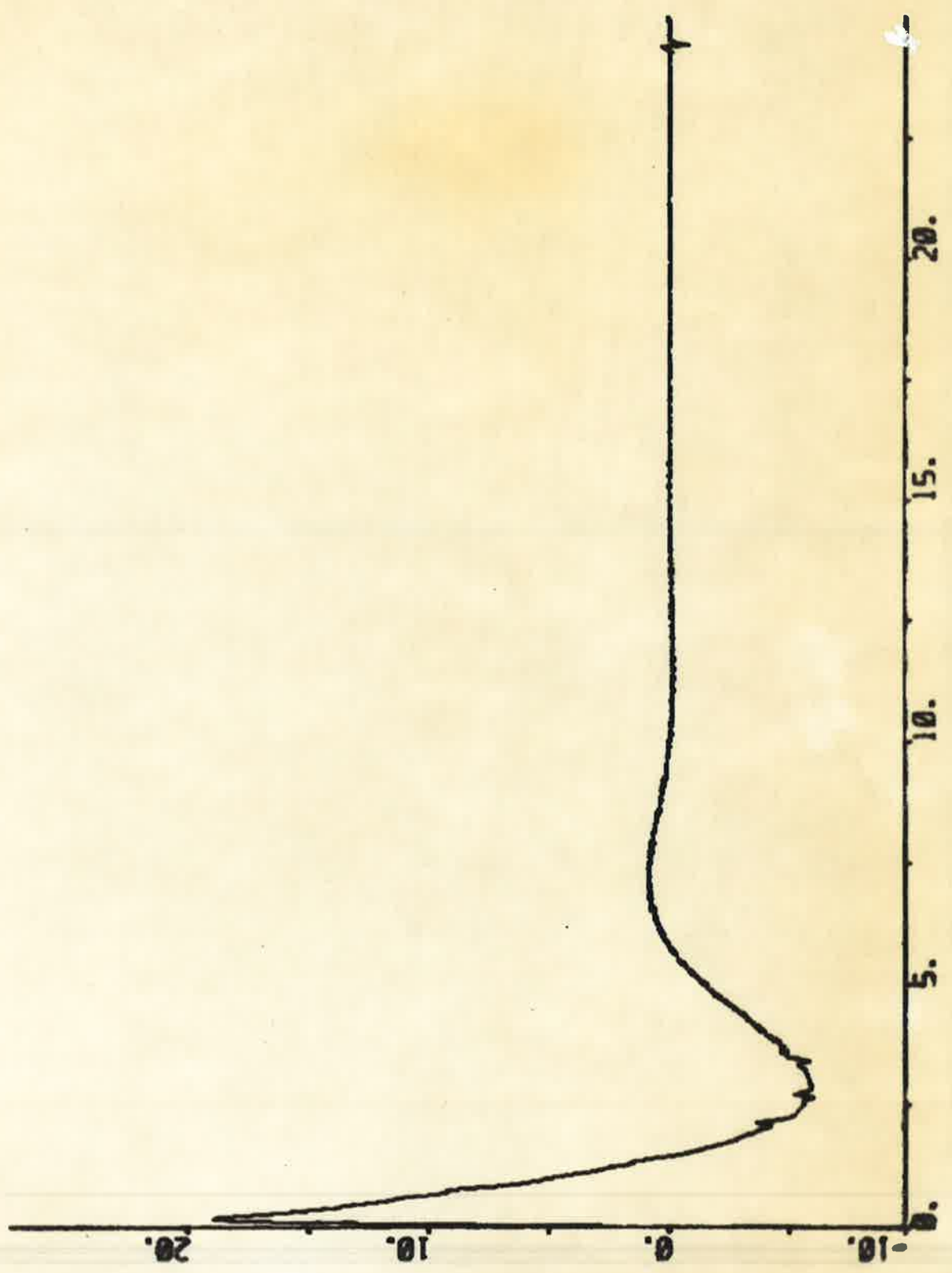
ALTERNATIV 3.

PLOT Y[TRUCK] U[TRUCK] Z[CHECK]
KR=0.2 UR=1. L2=1. OM=20.
K[CHECK]=95.88 DAMP=0.7



ALTERNATIV 3.

PLOT HECHECKJ



CONTINUOUS SYSTEM TRUCK

STATE : X1	-3,069709E-05	X2	0,999891
INIT : X1	0,000000	X2	0,000000
DER : DX1	6,275468E-04	DX2	2,029289E-03
INPUT : U	6,275468E-04		
OUTPUT : Y	0,999891	PS1	-3,069709E-05
PAR : A	3,40000		
VAR : FI	5,968498E-04		

CONTINUOUS SYSTEM SERVO

STATE : X1	1,568867E-06	X2	-1,643907E-05
INIT : X1	0,000000	X2	0,000000
DER : DX1	-1,643907E-05	DX2	-1,393908E-04
INPUT : U	2,786219E-05		
OUTPUT : Y	6,275468E-04		
PAR : OM	20,0000	DAMP	0,700000

CONTINUOUS SYSTEM CHECK

STATE : X	1,041975E-04		
INIT : X	0,000000		
DER : DX	-2,718582E-03		
INPUT : V	6,275468E-04		
OUTPUT : Z	1,359291E-03	W	6,017124E-02
PAR : K	95,8833	T	0,500000

CONNECTING SYSTEM CONNA

PAR : UR	1,00000	L2	1,00000	KR	0,200000
----------	---------	----	---------	----	----------

```
CONTINUOUS SYSTEM TRUCK
"
INPUT U           "U=HJUL VINKEL
OUTPUT Y         "Y=SID AVVIKELSE
STATE X1 X2
DER DX1 DX2
"
OUTPUT
Y=X2
FI=X1+U         "FI=MEDEL LINJENS LUTNING MOT X-AXELN
"
DYNAMICS
DX1=U
DX2=A*(X1+U)
A:3.4           "A=AXEL AVSTAND
"
END
```

```
CONTINUOUS SYSTEM CPID
"PID REGULÄTOR SOM KAN ANVANDAS SOM P,PI,PD.
"
INPUT YREF Y
OUTPUT U
STATE I R
DER DI DR
"
OUTPUT
E=YREF-Y
P=G*E
D=-GD*(Y-R)
U=P+I+D
"
DYNAMICS
DI=E/TI
DR=-GD/TD*(R-Y)
"
G:0.5
TI:1E10
GD:0
TD:0.1
"
END
```

```
CONTINUOUS SYSTEM CHECK
"
INPUT V      "V=HJULVINKEL
OUTPUT 2 W   "Z=HJULVINKELHASTIGHET
STATE X
DER DX
"
OUTPUT
W=K*V
Z=X+V/T
"
DYNAMICS
DX = -(X+V/T)/T
"
T:0,5
"
K:95,883261
END
```



```
CONNECTING SYSTEM CONNR  
"  
TIME T  
"  
U[TRUCK]=U[CPID]  
Y[CPID]=Y[TRUCK]  
YREF[CPID]=YR  
V[CHECK]=U[TRUCK]  
YR:1  
"  
END
```

```
CONTINUOUS SYSTEM SERVO
"
INPUT U
OUTPUT Y
STATE X1 X2
DER DX1 DX2
"
OUTPUT
Y=X1*OM*OM
"
DYNAMICS
DX1=X2
DX2=-OM*OM*X1-2*DAMP*OM*X2+U
"
OM:20
DAMP:0,5
"
END
```

BILAGA 6.

(MOD.)

```
CONNECTING SYSTEM CONNR
"
TIME T
"
U[SERVO]=U[CPID]
U[TRUCK]=Y[SERVO]
Y[CPID]=Y[TRUCK]
YREF[CPID]=YR
V[CHECK]=Y[SERVO]
YR:1
"
END
```

BILAGA 7.

(MOD.)

```
CONTINUOUS SYSTEM TRUCK
"
INPUT U                "U=HJUL VINKEL
OUTPUT Y PSI          "Y=SID AVVIKELSE
STATE X1 X2
DER DX1 DX2
"
OUTPUT
PSI=X1
Y=X2
FI=X1+U              "FI=MEDEL LINJENS LUTNING MOT X-AXELN
"
DYNAMICS
DX1=U
DX2=A*(X1+U)
A:3.4                "A=AXEL AVSTAND
"
END
```

```
CONNECTING SYSTEM CONNA
"
U(SERVO)=(UR-L2*PSI[TRUCK]-Y[TRUCK])*KR
U[TRUCK]=Y(SERVO)
V(CHECK)=Y(SERVO)
"
UR:1
KR:0.2
L2:1
"
END
```

LITTERATURFÖRTECKNING.

1. Elmqvist, Hilding
SIMNON
Lund 1975
2. Åström, Karl-Johan
Reglerteori
Stockholm 1976