EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR AV LINJÄRA OCH OLINJÄRA REGLERSYSTEM

BENGT HERNE

Rapport RE - 10 jan. 1967

ANALYTISK OCH EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING AV LINJÄRT RESP. OLINJÄRT POSITIONSSERVO

av

Bengt Herne

SAMMANFATTNING AV DEN LINJÄRA DELEN (AVD. I OCH II).

1. Undersökning av det öppna systemets dynamik

Det öppna systemets överföringsfunktion bestämdes med två metoder:

- Frekvensanalys
- Stegsvarsanalys

Resultaten voro (E-potentiometern sattes till 0.1)

$$Y_1 = \frac{29.4}{s(1 + 0.152s)}$$

$$Y_2 = \frac{28.2}{s(1 + 0.149s)}$$

Dessutom bestämdes hastighetskonstanten genom direkt mätning. Då erhölls

$$K_v = 289$$

vilket gäller när hela E-potentiometern är inkopplad.

2. Undersökning av det slutna systemet

Det slutna systemets dynamik med proportionell återkoppling undersöktes med frekvensanalys och transient analys för två parametrar

A. $K_v = 25$

B. $K_v = 12$

Frekvensanalysen gav:

K_v	25	12
resonansfrekvens	11.3	7.2
M-(resonanstopp)	1.97	1.42

Teoretisk analys baserad på det öppna systemets dynamik (enligt I. 4.1) ger:

K_v	25	12
resonansfrekven	12.0	7.6
M-(resonanstopp)	2.01	1.44

Vid mätning på stegsvaret erhölls följande värden på överslängen (se I. 4.2)

A (K_v = 25) 44.8%

B (K_v = 12) 27.6%

Teoretisk analys baserad på det öppna systemets dynamik ger:

A 43.1%

B 27.7%

Följdfelet för rampsvar undersöktes. Vi fann för inställningen

K_v = 25 felspänningen 7.5V

K_v = 12 -"- 15.0V

Teoretiskt (se I. 4.3) bör felspänningarna bli 7.8 resp. 16.3V.

3. Kompensering

a) I det slutna systemet introducerades ett fasavancerande nät med överföringsfunktionen

$$H(s) = 0.2 \frac{(1 + 0.15)}{(1 + 0.02s)^2}$$

För det okompenserade nätet med $K_v = 8.5$ erhölls $\omega_c = 5$.

För det kompenserade nätet med effektivt $K_v = 37$ erhölls $\omega_c = 21.5$

dvs bandbredden ökar med en faktör 4. Detta medförde också att stegsvaret blev mycket snabbare.

b) Genom att dessutom införa ett fasreducerande nät

$$H(s) = 10 \cdot \frac{(1 + 0.2s)}{(1 + 2.2s)}$$

kan den maximala hastighetskonstanten höjas från i förra fallet $K_v = 0.2 \cdot 289 = 57.8$ till $K_v = 2 \cdot 289 = 578$. Följdfelet kan härigenom göras 10 gånger mindre med bibehållen bandbredd.

c) Tackometeråterkoppling.

Det öppna systemets överföringsfunktion justeras till

$$Y_o(s) = \frac{1}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)}$$

vilket medförde att det slutna systemet blev instabilt för $K_v \approx 56.5$. Genom tackometeråterkoppling blev systemet åter stabilt. För $\tau_t = 0.040$ erhölls 30% översläng. Effektiva hastighetskonstanten blev dock liten eftersom

$$K_v = \frac{K}{1 + K\tau_t} \quad \text{(se II.3.1)}$$

$$K = 56.5 \qquad K_v = 15.5$$

Självsvängningsfrekvensen blev för

$$\tau_t = 0 \qquad \omega_o = 16.0$$

$$\tau_t = 0.026 \qquad \omega_o = 35.0$$

dvs bandbredden ökade med tackometeråterkopplingen.

d) Accelerationsåterkoppling

Om tackometersignalen filtreras så ger endast ändringar i hastigheten signal. Detta medför att effektiva hastighetskonstanten K_v = K dvs följdfelet minskar.

4. Fältstyrt system

Öppna systemets överföringsfunktion beräknades till

$$Y_{ö}(s) = \frac{1}{s^2(1 + 0.0147s)}$$

Det slutna systemet måste kompenseras för att vara stabilt, antingen med fasavancerande nät eller accelerationsåterkoppling.

I. EXPERIMENT MED LINJÄRT SYSTEM

1. Mätning av hastighetskonstanten K_v

Hastighetskonstanten beror av tre faktorer; K_e (felspänningen / radian fel) ; K_s (motorhastigheten / tillförd spänning till servo-förstärkaren) ; och N utväxlingen. Dvs

$$K_v = \frac{K_e K_s}{N}$$

1.1 Mätning av K_e

Tag ut spänningen mellan punkt 1 och jord, så att man får hela spänningsändringen.

-20°	-1.3V	
-10°	4.2V	
0°	9.7V	
10°	14.9V	
20°	20.3V	Se Diagram 1.

$$K_e = \frac{20.3 + 1.3}{40} = 0.54 \text{ V/grad} = \underline{\underline{30.9}} \text{ V/rad}$$

1.2 Mätning av K_s

E%	V_t	
		(E = felåterkopplingen)
0	0	V_t = tackometerspänningen
20	14	
40	30	
60	45	
80	60	
100	75	Se Diagram 1.

Tackometergeneratorn ger 21V/1000 rpm, vilket ger

$$\text{motorhast.} = \frac{75 \cdot 1000 \cdot 2\pi}{21 \cdot 60} = 374 \text{ rad/sek}$$

Tillförd spänning = 2.5V $\qquad K_s = \frac{374}{2.5} = \underline{\underline{150}}$

1.3 Beräkning av K_v

$$K_v = \frac{K_e \cdot K_s}{N} = \frac{30.9 \cdot 150}{16} = \underline{\underline{289}}$$

1.4 Direkt mätning av K_v

	V_t	
130°	65	
120°	54	
110°	33	
100°	18	
88°	0	
80°	-13	
70°	-30	
60°	-48	
50°	-62	Se Diagram 2.

Ur diagrammet fås:

$$K_v = \frac{129}{80} \text{ V/grad} = \frac{129 \cdot 1000 \cdot 2\pi \cdot 360}{80 \cdot 21 \cdot 60 \cdot 16 \cdot 2\pi} = 28.8$$

Återkopplingen kan göras 10 gånger större $\qquad K_v = \underline{\underline{288}}$

vid full återkoppling.

2. Frekvenssvar i den öppna kretsen θ_o/E

Spänningen anger amplituden

cps	Volt/(volt in)	grader
0.1	30.5	-6°
0.2	30.0	-12°
0.4	28.7	-22°
0.6	27.0	-32°
0.8	24.7	-39°
1.0	22.5	-44°
1.4	18.0	-54°
2.0	14.0	-62°
4.0	7.0	-75°
10.0	3.5	-83°

Signalen kopplades direkt i punkt 3. Enligt diagram 3 erhålles en halvcirkelbåge med ganska god precision. Insignalens amplitud behövde ej ändras eftersom motorn ändå inte blev överbelastad, vilket kontrollerades. Systemet har 45° fasförskjutning för $\nu \approx 1.05$ c/s. Tidskonstanten blir:

$$\tau_m = \frac{1}{1.05 \cdot 2\pi} = 0.152$$

$$K_v = \frac{K_e \cdot K}{D}$$

Där $K_e = 30.9$ V/rad enligt I.1.1.

$K = 30.5$ likspänningsförstärkningen enligt diagram 3

$D = 3.21$ V/rad är tackometerkonstanten enligt I.4.3

$$\therefore K_v = \frac{30.9 \cdot 30.5}{3.21} = 294$$

3. Bestämning av tidskonstanten med hjälp av stegsvaret

Se foto nr. 1

$y(0) = 0$ $\qquad$ $y(0.4) = 13.2$ $\qquad$ $y(0.8) = 14.0$

$y(0.1) = 7.6$ $\qquad$ $y(0.5) = 13.6$ $\qquad$ $y(0.9) = 14.05$

$y(0.2) = 10.3$ $\qquad$ $y(0.6) = 13.8$ $\qquad$ $y(1.0) = 14.1$

$y(0.3) = 12.1$ $\qquad$ $y(0.7) = 13.9$

Likströmsförstärkningen är $2 \times 14.1 = 28.2$

y(t) kan approximeras med: $y(k) = a\,\underbrace{(1 - e^{-\alpha k})}_{b_i}$

$y(t) = y(k) - \varepsilon \quad ; \quad \Sigma\,\varepsilon^2 = \Sigma\,(y(t) - y(k))^2$

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma \dfrac{d\varepsilon^2}{da} = \Sigma\, 2a\, b_i^2 - \Sigma\, 2b_i\, y(k) = 0 \\ \Sigma \dfrac{d\varepsilon^2}{db} = \Sigma\, 2a^2\, b_i - \Sigma\, 2a\, y(k) = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$a\,\Sigma\, b_i - \Sigma\, y(k) = 0$$

$y(\infty) = a \Rightarrow a = 14.15$

$\Rightarrow \quad \Sigma\, y(k) = 126.65 = 14.15\,\Sigma\, b_i$

$$\sum_{\tau=0}^{\tau=10} b_i = 1 - e^{0} + 1 - e^{-\alpha} + 1 - e^{-2\alpha} + \ldots\ 1 - e^{-10\alpha} = 10 - e^{-\alpha} - e^{-2\alpha} - \ldots\ e^{-10\alpha}$$

$$\frac{126.65}{14.15} = 10 - e^{-\alpha} - e^{-2\alpha} - \ldots\ e^{-10\alpha}$$

$$1.04947 = e^{-\alpha} + e^{-2\alpha} + \ldots\ e^{-10\alpha}$$

Ant.	$\alpha = 0.670$	$\alpha = 0.665$
	0.5117	0.5143
	0.2618	0.2645
	0.1352	0.1360
	0.06856	0.06995
	0.0351	0.0360
	0.0180	0.0185
	0.0092	0.0096
	0.00471	0.00490
	0.00241	0.00251
	0.00123	0.00130
	1.04791	1.05756

$\alpha = 0.669$

$\tau_m = 0.149$

De bägge bestämningarna av tidskonstanten ger alltså $\tau_m = 0.15$

4. Sluten krets

$K_v = 29$ med 100 x 0.1% återkoppling

$K_v = 25$ " 86 x 0.1% -"-

$K_v = 12$ " 41 x 0.1% -"-

4.1 Frekvenssvaret

$$K_v = 25 \Rightarrow Y_s(s) = \frac{\frac{25}{s(1 + 0.152s)}}{1 + \frac{25}{s(1 + 0.152s)}} = \frac{164}{s^2 + 6.6s + 164}$$

cps	Spänning	fasförskjutning
0.5	3.3	-9°
0.8	3.6	-15°
1.0	4.0	-21°
1.3	4.7	-32°
1.5	5.3	-44°
1.6	5.6	-50°
1.7	6.05	-59°
1.8	6.1	-70°
1.9	6.05	-80°
2.0	5.9	-94°
2.3	4.4	-130°
2.5	3.4	-131°
3.0	2.0	-149°
4.0	0.9	-162°

$K_v = 12$ $\qquad Y_s(s) = \dfrac{79}{s^2 + 6.6s + 79}$

cps	spänning	fasförskjutning
0.3	3.1	-12^{o}
0.5	3.3	-20^{o}
0.8	3.9	-37^{o}
0.9	4.1	-45^{o}
1.0	4.3	-56^{o}
1.1	4.4	-64^{o}
1.2	4.4	-73^{o}
1.3	4.2	-84^{o}
1.5	3.3	-108^{o}
1.8	2.3	-128^{o}
2.0	1.7	-137^{o}
3.0	0.7	-156^{o}
4.0	0.3	-165^{o}

Se Diagram 4.

Analytiskt erhålls maximum för ($K_v = 25$)

$$\omega = \sqrt{\frac{2K_v \tau_m - 1}{2\tau_m^2}} = \sqrt{\frac{6.5}{0.045}} = 12.0$$

$$\Rightarrow \quad f = \frac{12.0}{2\pi} = \underline{\underline{1.91}} \quad \text{cps}$$

vid mätning erhölls $\quad f = \underline{\underline{1.80}}$

$$M = \frac{2K_v \tau_m}{\sqrt{4K_v \tau_m - 1}} = \frac{7.5}{3.74} = \underline{\underline{2.01}}$$

enligt mätningarna $\quad M = \dfrac{6.1}{3.1} = \underline{\underline{1.97}}$

För det slutna systemet gäller

$$Y_s = \frac{K_v}{j\omega(1 + j\omega\,\tau_m) + K_v} = \frac{K_v}{K_v + j\omega - \omega^2\tau_m}$$

Y har maximum när nämnaren har minimum.

$$|N| = \sqrt{\omega^2 + (K_v - \omega^2\tau_m)^2} = \sqrt{\omega^2 + K_v^{\,2} + \omega^4\tau_m^{\,2} - 4\omega\,K_v\,\tau_m}$$

Minimera under rottecknet

$$\frac{d}{d\omega} = 2\omega + 4\omega^3\,\tau_m^{\,2} - 4\omega\,K_v\,\tau_m = 0$$

$$\omega = (\pm)\sqrt{\frac{2K_v\,\tau_m - 1}{2\tau_m^{\,2}}} \qquad (\omega = 0)$$

$$Y_m = M = \frac{K_v}{\sqrt{\dfrac{2K_v\,\tau_m - 1}{2\tau_m^{\,2}} + \left(K_v - \dfrac{2K_v\,\tau_m - 1}{2\tau_m}\right)^2}} = \frac{2\tau_m\,K_v}{\sqrt{4K_v\,\tau_m - 1}}$$

4.2 Transienta svaret

Se foto nr. 2.

Överslängen blir för

$$K_v = 12 \qquad \frac{3.7 - 2.9}{2.9}\cdot 100 = 27.6\% \qquad Y_s(s) = \frac{79}{s^2 + 66s + 79}$$

$$K_v = 25 \qquad \frac{4.2 - 2.9}{2.9}\cdot 100 = 44.8\% \qquad Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 6.6s + 164}$$

Teoretiskt erhålles:

$$G(s) = \frac{\omega_o^{\,2}}{s^2 + 2\zeta\omega_o s + \omega_o^{\,2}}$$

Inverstransformera $\frac{G(s)}{s}$ så erhålles stegsvaret (se III.3)

$$y(t) = 1 - e^{-\zeta\omega t}\ \{ \cos \omega \sqrt{1-\zeta^2}\, t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \omega_o \sqrt{1-\zeta^2}\, t \}$$

Överslängen är $y(t) - 1$ för $\omega t = \pi$

$K_v = 12$	$\zeta = 0.371$	27.7%
$K_v = 25$	$\zeta = 0.258$	43.1%

4.3 Följdfelet vid rampsvar

Eftersom tackometern ger 21V/1000 rpm så motsvarar 1 rps av

$$16 \cdot \frac{21 \cdot 60}{1000} = 19.55V$$ över tackometerutgångarna 20 och 21.

Felspänningen blir för $K_v = 25$, $e = 7.5V$

$K_v = 12$, $e = 15.0V$

dvs felet är omvänt proportionellt mot K_v. Teoretiskt skall spänningen vara:

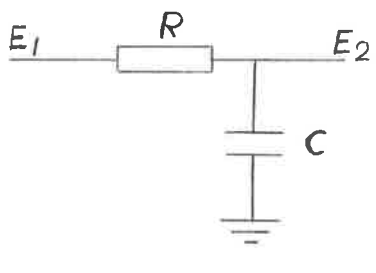
Vid hastigheten 1 rps och $K_v = 25$ blir stationära felet

$$\frac{2\pi}{25} = 0.252 \text{ radianer}$$

eftersom $K_e = 30.9$ V/rad (se I.1.1) blir spänningen $30.9 \cdot 0.252 = \underline{7.8V}$

5. Instabilitet på grund av extra tidskonstant i framåtriktningen

Tidskonstanten består av



Spänningsdelning ger

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{1}{s\,c}}{R + \frac{1}{sc}} = \frac{1}{1 + sRc}$$

$$\left.\begin{array}{l} R = 100 \cdot 10^3 \Omega \\ C = 0.2 \cdot 10^{-6} F \end{array}\right\} \Longrightarrow Y_ö(s) = \frac{K_v}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)} = \frac{K_v}{s(1 + \tau_1 s)(1 + \tau_2 s)}$$

Vilket ger:

$$Y_s(s) = \frac{K_v/\tau_1\tau_2}{s^3 + s^2\left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_1\tau_2}\right) + \frac{s}{\tau_1\tau_2} + \frac{K_v}{\tau_1\tau_2}}$$

Karakteristiska ekvationen blir:

$$s^3 + s^2\left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_1\tau_2}\right) + \frac{s}{\tau_1\tau_2} + \frac{K_v}{\tau_1\tau_2} = 0$$

Sök skärningen med imaginära axeln genom att sätta $s = i\omega$.

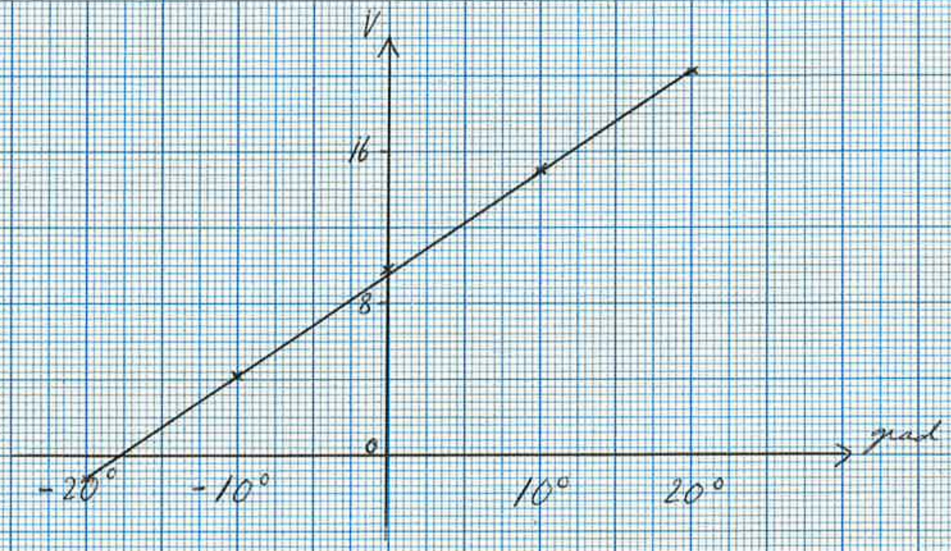
$$i\omega\left(\frac{1}{\tau_1\tau_2} - \omega^2\right) + \left(\frac{K_v}{\tau_1\tau_2} - \frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_1\tau_2}\omega^2\right) = 0$$

$$\underline{\omega} = \frac{1}{\tau_1\tau_2} = 18.25 \text{ rad/sek} = \underline{2.90 \text{ cps}}$$

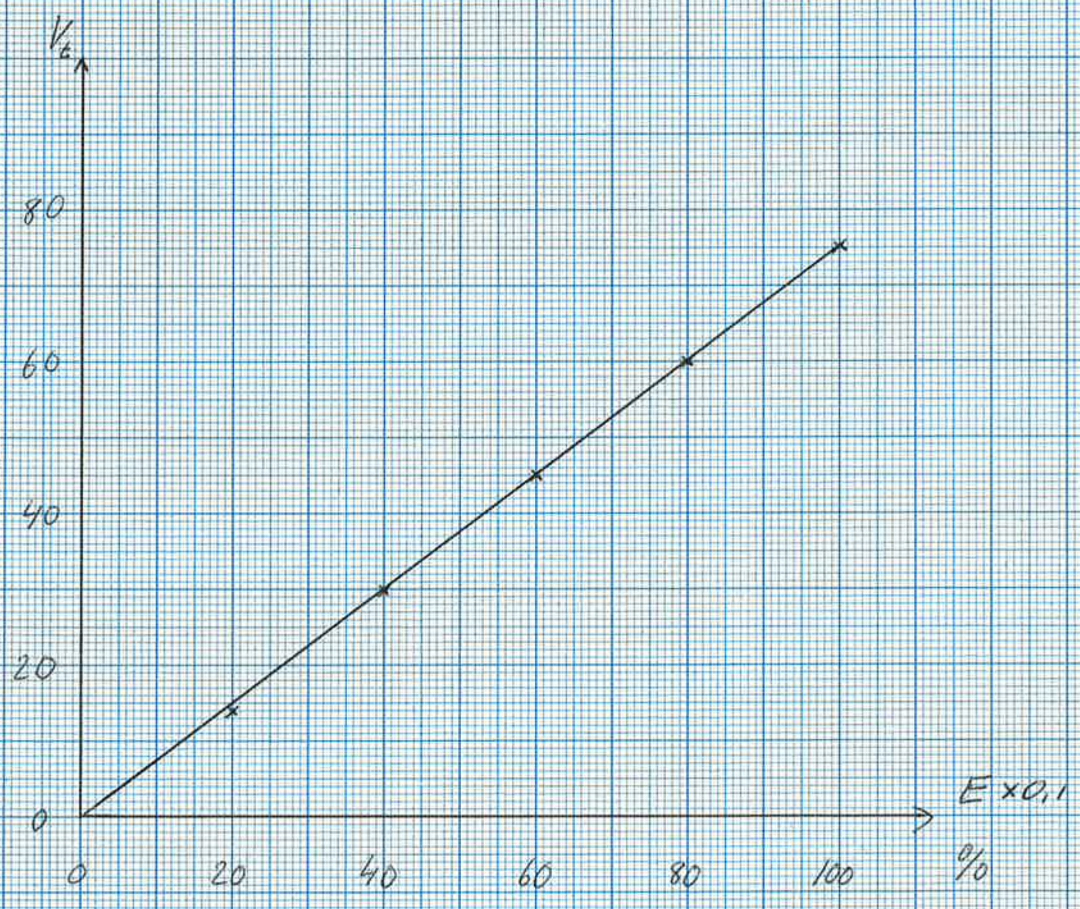
$$\underline{K_v} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{\tau_1\tau_2} = \underline{56.5}$$

Utan extra tidskonstant och med $K_v = 25$ tar det c:a 1.6 sek för systemet att dämpas. Med den extra tidskonstanten tar det c:a 2.3 sek. Med ökad återkoppling blir den oscillativa komponenten större och systemet blir till sist instabilt. Självsvängning uppstod för $\underline{\omega \approx 2.8 \text{ cps}}$ (överbelastning uppstod lätt, varvid frekvensen sjönk) och $\underline{K_v} = 0.20 \cdot 289 = \underline{58}$.

Diagram 1



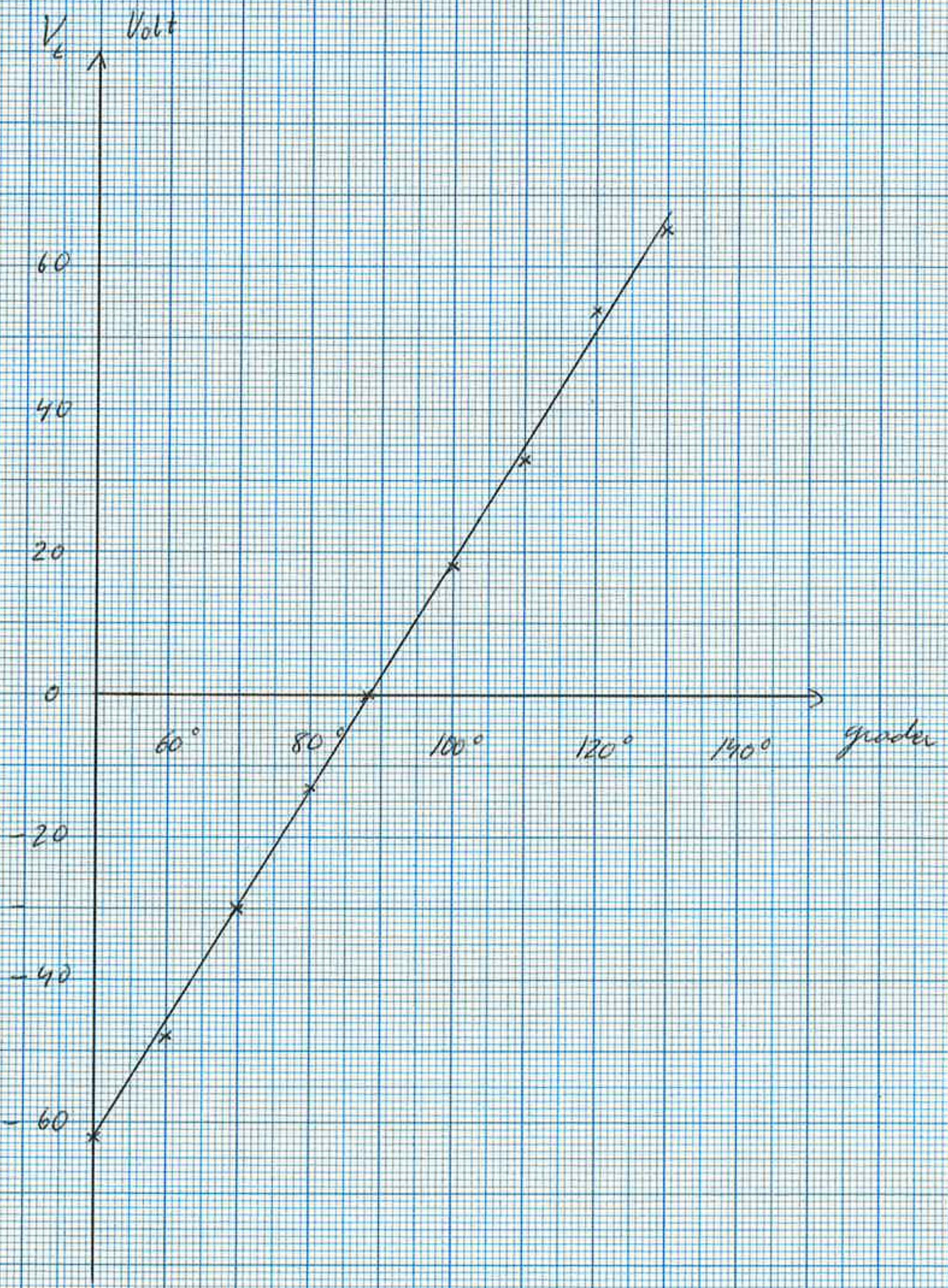
Felspänning som funktion av vinkeländring



Takometerspänning som funktion av återkoppling

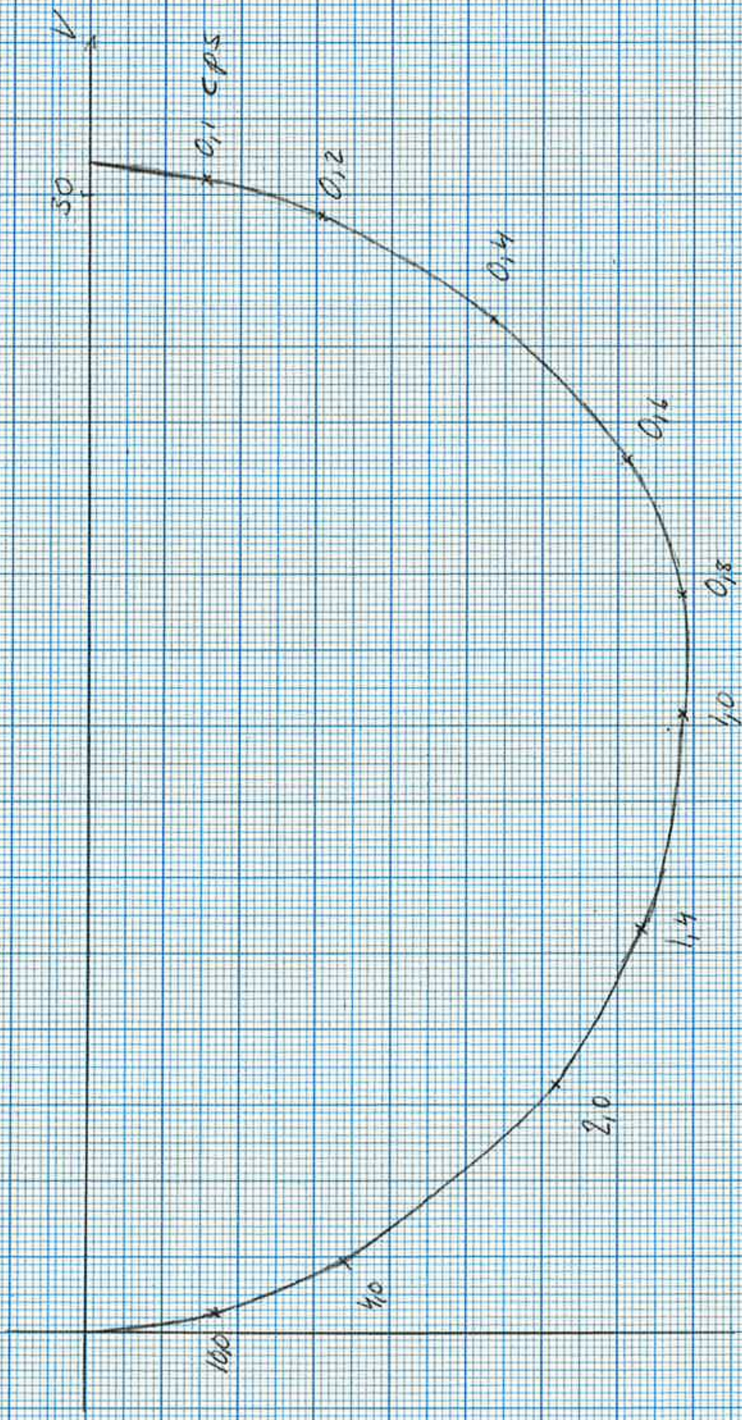
Tachometerspänning som funktion av inputaxelns vridning

Diagram 2



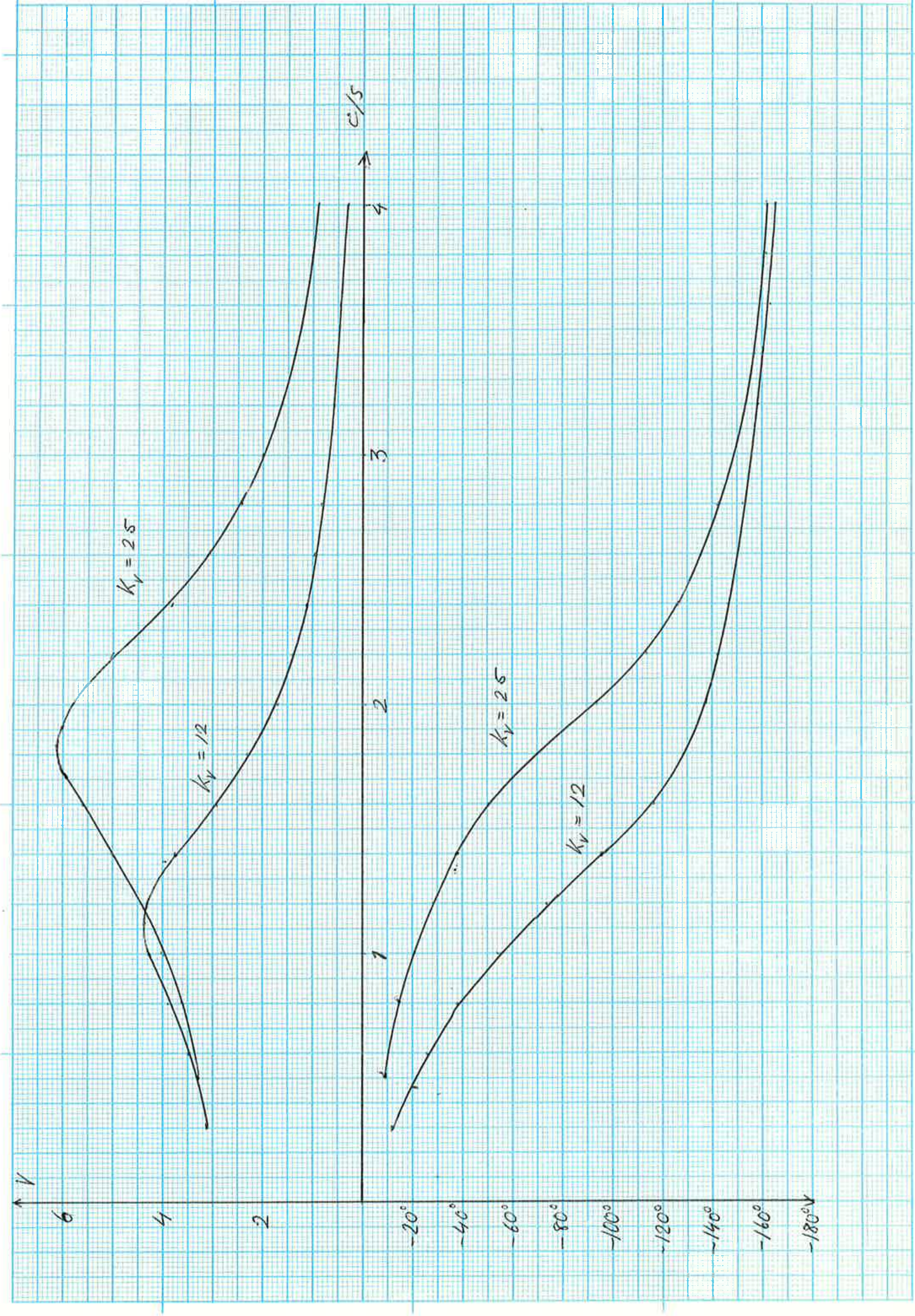
Frekvenssvaret för $\frac{k_v}{(1+j\omega T_m)}$

Diagram 3



Frekvenssvaret för den slutna kretsen

Diagram 4



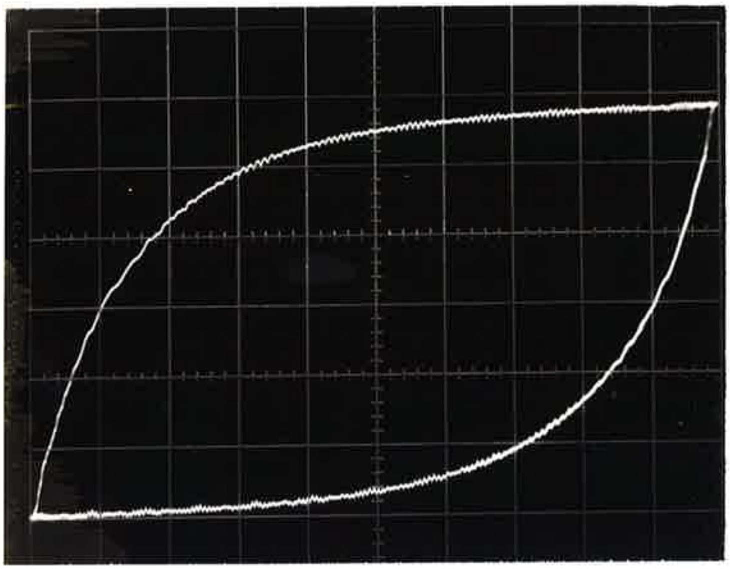


Foto 1 - Stegsvar för den öppna kretsen

$$Y_{ö}(s) = \frac{1}{1 + \tau_m s}$$

2V/cm i x-led, 0.5 cps , 5V/cm i y-led

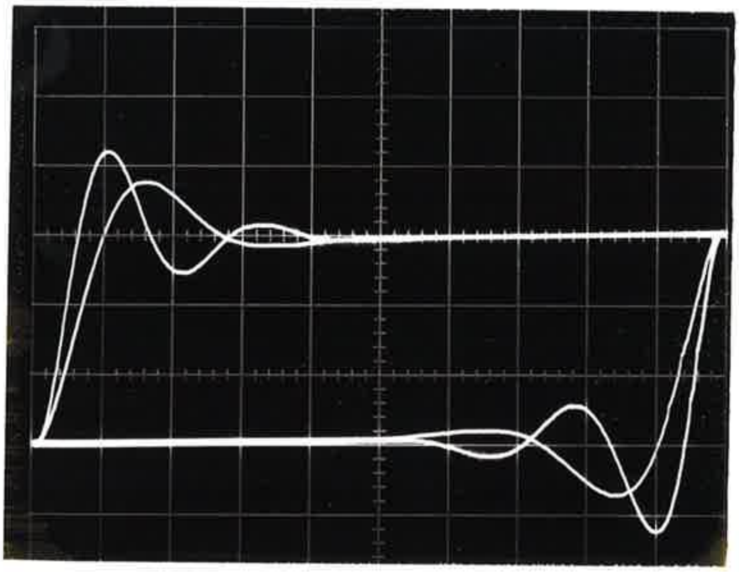


Foto 2 - Stegsvar för den slutna kretsen. Det snabba svaret

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 6.6s + 164}$$

Det långsamma svaret

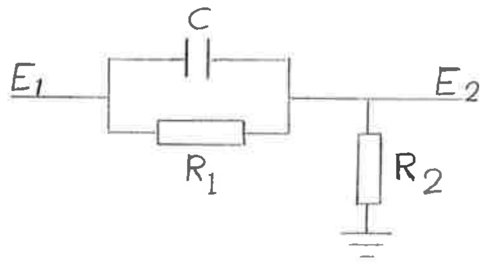
$$Y_s(s) = \frac{79}{s^2 + 6.6s + 79}$$

15 Volt input, 2V/cm x-led 0.2 cps, 1V/cm y-led

II. KOMPENSATIONSEXPERIMENT

1. Fasavancerande nät tillsammans med 2:a ordningens system

Det fasavancerande nätet är



Spänningsdelning ger:

$$E_2 = E_1 \frac{R_2}{R_2 + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + sc}} = E_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{(1 + sR_1c)}{(1 + sR_1c \frac{R_2}{R_1+R_2}})$$

$$K_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad \tau = R_1c$$

I vårt fall är $R_1 = 100\ k\Omega$, $R_2 = 25\ k\Omega$ och $c = 1\mu F$

Dvs $H(s) = \frac{0.2(1 + 0.1s)}{(1 + 0.02s)}$ med tidskonstanten $H(s) = \frac{0.2(1 + 0.1s)}{(1 + 0.02s)^2}$

Frekvenssvaret utan fasavancerande nät (se diagram 5) $K_v = 8.5$

cps	V	grader
0.1	1.9	-10^o
0.25	2.0	-16^o
0.5	2.25	-33^o
0.7	2.4	-50^o
0.8	2.5	-59^o
0.9	2.4	-71^o
1.0	2.3	-82^o
1.2	1.8	-102^o
1.5	1.2	-125^o
2.0	0.7	-142^o

$\Longrightarrow f_c = 0.8 \Longleftrightarrow \omega_c = 5$

Frekvenssvaret med fasavancerande nät (se diagram 5) $K_v = \frac{185}{5} = 37$

cps	V	grader
0.1	2.1	-4°
0.4	2.1	-5°
1.0	2.3	-13°
1.5	2.45	-21°
2.0	2.75	-30°
2.5	3.15	-42°
3.0	3.6	-62°
3.2	3.7	-70°
3.4	3.8	-80°
3.5	3.7	-85°
3.7	3.6	-98°
4.0	3.2	-113°
4.5	2.6	-136°

De sista punkterna är tagna med 5V input annars uppstår mättning.

$f_c = 3.4 \iff \omega_c = 21.4$, vilket visar att bandbredden har ökat.

Stegsvaret se foto nr. 3.

Dämpningen blev inte densamma i bägge fallen, som var avsikten med det speciella valet av hastighetskonstanter.

2. Förbättring av hastighetskonstanten

Introducera ett fasreducerande nät med hjälp av operationsförstärkaren

$$H(s) = \frac{10(1 + 0.2s)}{(1 + 2.2s)}$$

$$K_v \cdot G(s) = K \cdot 2 \cdot \frac{(1 + 0.2s)(1 + 0.1s)}{s(1 + 0.152s)(1 + 2.2s)(1 + 0.02s)^2}$$

Stegsvaret för olika hastighetskonstanter framgår av foto 4.

Med hastigheten 1 rps bör följdfelet bli (K_v = 250)

$$\frac{2\pi}{K_v} = \frac{2\pi}{250} = 0.0252 \text{ rad}$$

K_e = 30.9 V/rad $\Longrightarrow$ Spänningen i punkt 1 bör vara

$30.9 \cdot 0.0252 = 0.78V$

Mätning ger 0.82V.

3. Tackometeråterkoppling

K_e = 30.9 V/rad (se I.1.1)

$$K_g = \frac{21}{1000} \cdot \frac{60 \cdot 16}{2\pi \cdot 2} = 1.603 \text{ V/rad/sek}$$

$\tau_t = K_g/K_e = 0.052$ med 100% återkoppling

3.1 Inverst Nyquist diagram

$$Y_ö(s) = \frac{1}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)}$$

dvs extra tidskonstant (jämför I.5)

$$\frac{1}{Y_ö(j\omega)} = j\omega(1 + 0.152j\omega)(1 + 0.02j\omega)$$

$\omega = 5$	$\lvert A\rvert = 6.5$	$\measuredangle = 139.5^\circ$
$\omega = 10$	$\lvert A\rvert = 18.4$	$\measuredangle = 157.6^\circ$
$\omega = 15$	$\lvert A\rvert = 38.5$	$\measuredangle = 172.7^\circ$
$\omega = 17$	$\lvert A\rvert = 49.0$	$\measuredangle = 177.4^\circ$
$\omega = 20$	$\lvert A\rvert = 68.0$	$\measuredangle = 183.0^\circ$

Se diagram 6.

Addera termen $j\omega\tau_t$ i diagrammet. Detta ger en kurva som tangerar cirkeln M = 1.3 för τ_t = 0.048 (M = 1.3 ger systemet bra transienta egenskaper).

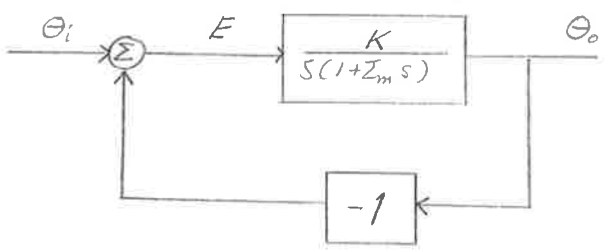
Mätning på systemet ger 30% översläng för τ_t = 0.040 (77% tackometeråterkoppling) vilket svarar mot M = 1.3. För τ_t = 0.048 fås 21% översläng.

Det kompenserade systemet tangerar M = 1.3 för ω = 17 $\Longleftrightarrow$ f = 17/2π = 2.7.

Upptagning av frekvenssvaret ger:

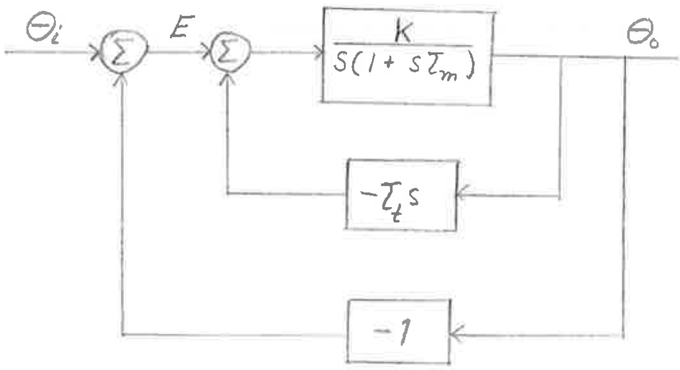
cps	Volt	grader
0.1	4.55	-3°
0.5	4.55	-12°
1.0	4.80	-23°
1.4	5.15	-33°
1.8	5.5	-45°
2.2	6.3	-61°
2.5	6.5	-76°
2.7	6.7	-87°
2.8	6.7	-96°
3.0	6.2	-110°
4.0	3.6	-158°
5.0	1.75	-183°
10.0	0.25	-228°

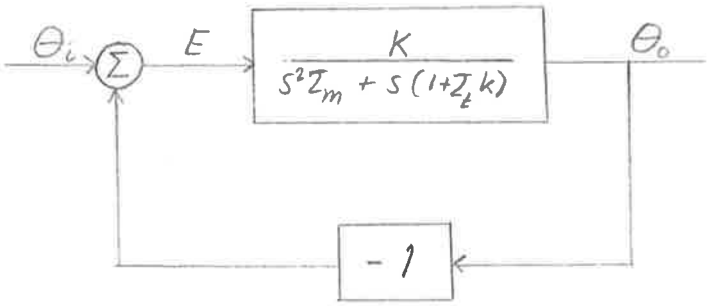
Dvs resonanstopp för f = 2.75cps, vilket stämmer bra med det teoretiska värdet. Blockschema ger:



$$\left.\begin{aligned} E &= \theta_i - \theta_o \\ \frac{\theta_o}{E} &= \frac{k}{s(1+\tau_m s)} \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \frac{\tau_m}{k}\,\frac{d^2\theta_o}{dt^2} + \frac{1}{k}\,\frac{d\theta_o}{dt} + \theta_o = \theta_i$$

Differentialekvationen för andra ordningens system utan tackometeråterkoppling.





$$\left.\begin{aligned} E &= \theta_i - \theta_o \\ \frac{\theta_o}{E} &= \frac{k}{s^2\tau_m + s(1+\tau_t k)} \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \frac{\tau_m}{k}\,\frac{d^2\theta_o}{dt^2} + \left(\frac{1}{k} + \tau_t\right)\frac{d\theta_o}{dt} + \theta_o = \theta_i$$

Differentialekvationen för andra ordningens system med tackometeråterkoppling.

Detta ger att $\frac{1}{k}$ motsvaras av $(\frac{1}{k} + \tau_t)$ vid tackometeråterkoppling.

$\therefore$ effektiva hastighetskonstanten blir $k_v = \dfrac{k}{1 + k\tau_t}$

Instabilitet inträffade i systemet med extra tidskonstant för återkopplingsraden $E = 19.5\% \Longrightarrow K = 289 \cdot 0.195 = 56.5$.

Med $\tau_t = 0.048$ blir effektiva hastighetskonstanten $k_v = 15.5$

Följdfelet blir $\dfrac{2\pi}{15.5} = 0.405$ rad ; eftersom $k_e = 30.9$ V/rad fås $0.405 \cdot 30.9 = 12.5$ V i punkt 1.

Mätning ger 12.4V vilket alltså stämmer bra. (jämför I.4.3).

3.2 Rotorten

$$\frac{\theta_o}{\theta_i} = \frac{k\,G}{1 + (1+s\tau_t)\,kG}$$

polerna bestäms av

$$(1 + s\tau_t)\,kG = -1 \qquad -1/\tau_t = s\,\frac{kG}{1 + kG}$$

Om vi varierar τ_t fås rotorten enligt diagram 6.

Att de komplexa polerna flyttar sig utåt nära den imaginära axeln är ekvivalent med att bandbredden ökar.

Mätning ger : $\tau_t = 0 \Longrightarrow \omega_o = 16.0$

$\tau_t = 0.026 \Longrightarrow \omega_o = 35.0$

Genom att multiplicera med hjälp av operationsförstärkaren kan tackometeråterkopplingen göras 10 gånger större.

Sätt $k_v = 56.5$ och $\tau_t = 0.26$ (motsvarar 19.5% felåterkoppling och 50% tackometeråterkoppling), varvid vi får stegsvar enligt foto 5.

Om vi tar hänsyn till det lilla glappet som orsakar en liten tidsförskjutning i stegsvaret fås: (jämför I.3)

$y(0) = 0$	$y(0.3) = 2.8$	$y(0.6) = 3.5$	$y(0.9) = 3.80$
$y(0.1) = 1.6$	$y(0.4) = 3.2$	$y(0.7) = 3.65$	$y(1.0) = 3.85$
$y(0.2) = 2.3$	$y(0.5) = 3.4$	$y(0.8) = 3.75$	

$y(\infty) = 4.0$

$\Sigma\ y(k) = 31.85$

$31.85/4.0 = 7.96 \implies 2.04 = e^{-\alpha} + e^{-2\alpha} + \ldots\ e^{-10\alpha}$

Ant $\alpha = 0.4$	$\alpha = 0.39$
0.6703	0.6771
0.4493	0.4584
0.3012	0.3104
0.2019	0.2101
0.1353	0.1423
0.0907	0.0963
0.0608	0.0652
0.0408	0.0458
0.0273	0.0305
0.0183	0.0202
1.9959	2.0563

$\alpha \simeq 0.392$

$\tau_t = 0.255$

Detta stämmer mycket bra med det uppskattade värdet.

$\tau_t = 0.045$ ger 31% översläng.

För små värden av $\tau_t(0 \sim 0.15)$ dominerar de komplexa polerna, vilket orsakar ett oscillativt svar. Ju större τ_t blir ju mer dominerar den reella polen, som ger ett långsamt exponentiellt svar. De komplexa polerna orsakar ett svagt rippel.

3.3 Accelerationsåterkoppling

För att förhindra minskningen av hastighetskonstanten inkopplas ett filter i tackometeråterkopplingen, så att endast ändringar i hastigheten ger signal. Detta medför att $k_v = k$. Överföringsfunktionen för återkopplingen blir

$$1 + \left(\frac{s\tau_b}{1 + s\,\tau_b} \right) s\tau_t = \frac{s^2\,\tau_b\,\tau_t + s\,\tau_b + 1}{s\,\tau_b + 1}$$

vilket ger en pol och två nollställen mot tidigare endast ett nollstället.

Diagram 7 visar rotortdiagram för olika tackometeråterkopplingar.

Fig. 1 Tackometeråterkoppling orsakar ett nollställe på reella axeln i $s = 1/\tau_t$. Nollstället närmar sig origo när τ_t växer, vilket lyfter rotortkurvan in i vänstra halvplanet.

Fig. 2 Accelerationsåterkoppling τ_b stort (~ 0.225) ger med lämpligt τ_t (~ 0.03) reella rötter och nollställen. Den ena polen och nollstället tar i det närmaste ut varandra, så att systemet verkar som en enkel tidskonstant med ett fasfördröjande nät. k kan hållas stort och vi får acceptabelt transient svar.

Fig. 3 Genom att minska τ_b till c:a 0.05 sek och τ_t till c:a 0.05 erhålls komplexa nollställen. De dominerande polerna kommer att låsas av dessa nollställen, så att vi erhåller ett i det närmaste invariant system vid stor återkoppling.

4. Fältstyrt system

Systemet karakteriseras av överföringsfunktionen

$$Y_ö(s) = \frac{1}{s^2(1 + s\tau_f)}$$

Rotorten för det återkopplade systemet visar att de bägge polerna i origo ger sig in i högra halvplanet, varför systemet måste kompenseras på något sätt för att bli stabilt.

Mätning av fälttidskonstanten τ_f

Introducera det fasavancerande nätet

$$H(s) = \frac{0.2(1 + 0.1s)}{(1 + 0.02s)}$$

Systemet självsvänger för $f_o \approx 7.5 \Longleftrightarrow \omega_o = 47$

Se diagram 8.

Geometriska överläggande ger:

$$\left.\begin{array}{l} tg\,\phi_1 = \frac{10}{47} \Longrightarrow \phi_1 = 12.0^o \\ tg(\phi_1 + \phi_2) = \frac{50}{47} \Longrightarrow \phi_1 + \phi_2 = 46.7^o \end{array}\right\} \Longrightarrow \phi_2 = 34.7^o$$

$$tg\ 34.7 = 0.6924 = \frac{47}{x} \Longrightarrow x = 68$$

Detta ger $\tau_f = \frac{1}{68} = 0.0147$

Självsvängning inträffar för relativt liten förstärkning.

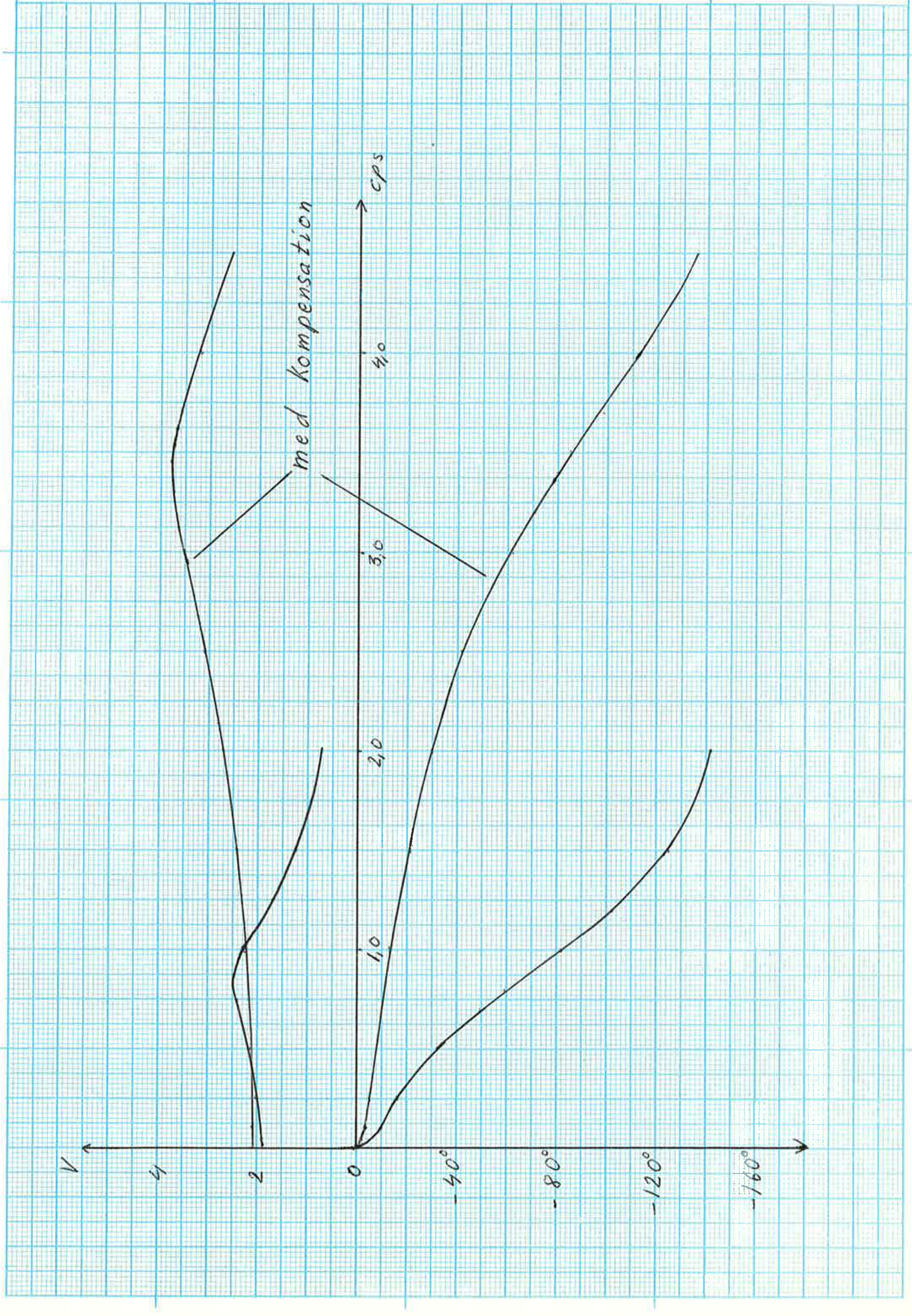
Alternativt kan accelerationsåterkoppling användas för att erhålla två komplexa nollställen, som kan låsa polerna så att man kan använda maximalförstärkning. Härigenom får man följdfelet mindre.

Frekvenssvar för återkopplat system

med $Y_{ö}(s) = \dfrac{8,5}{s(1+0,152s)(1+0,02s)}$

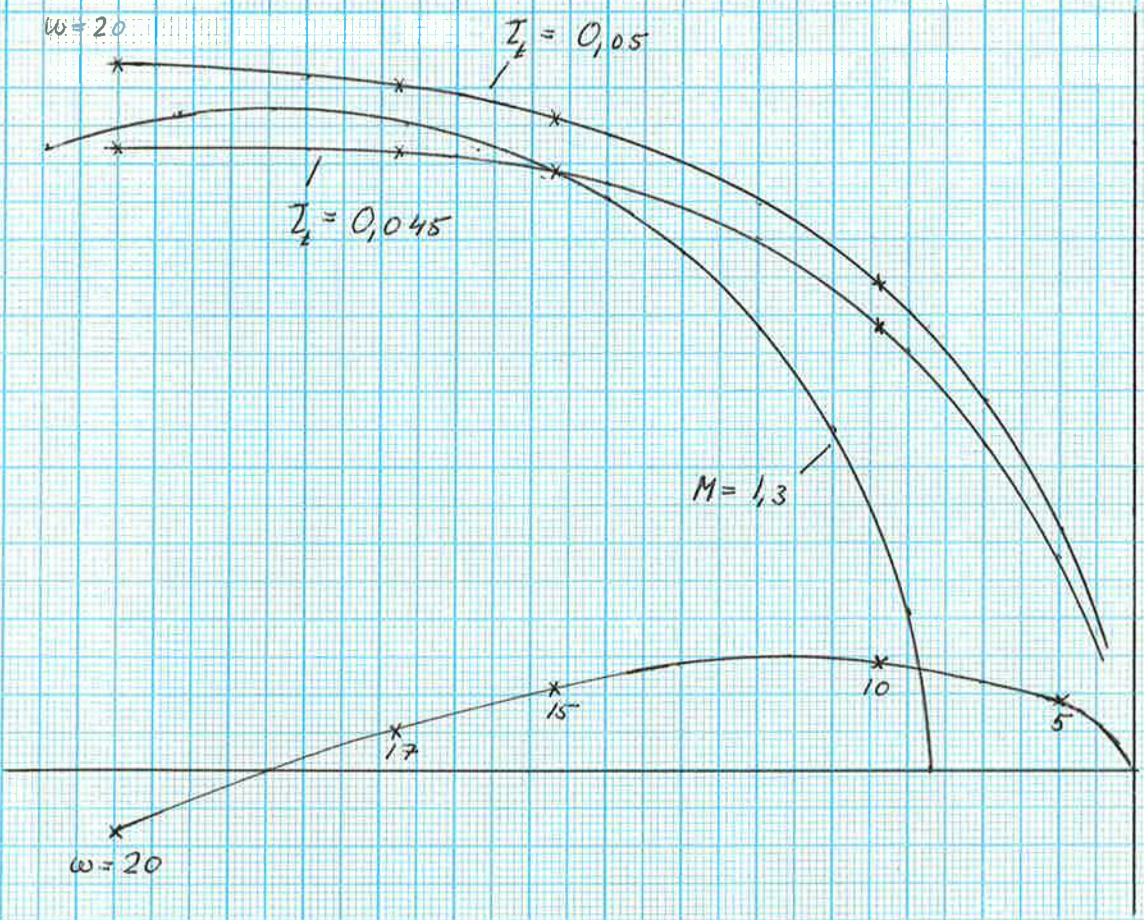
resp. $Y_{ö}(s) = \dfrac{37\,(1+0,1s)}{s(1+0,152s)(1+0,02s)^2}$

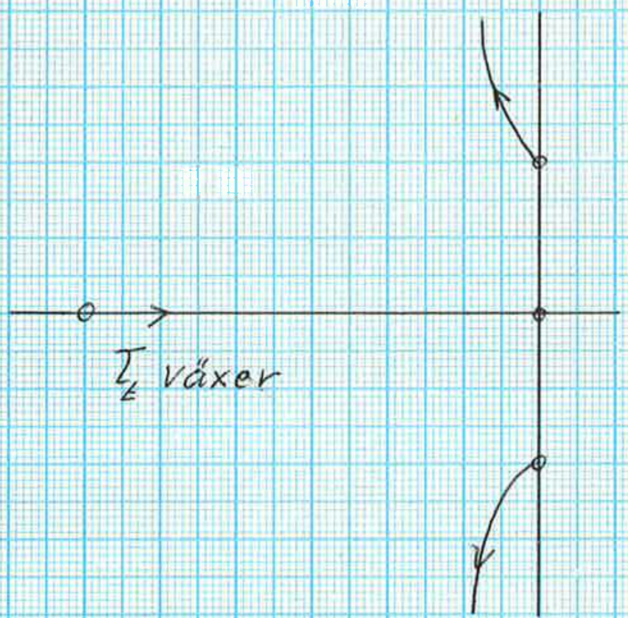
Diagram 5



Inverst Nyquistdiagram

Diagram 6





Rotorten för

$$-1/T_t = s \cdot \frac{k\,G(s)}{1 + k\,G(s)}$$

Rotortkurvor

Diagram 7

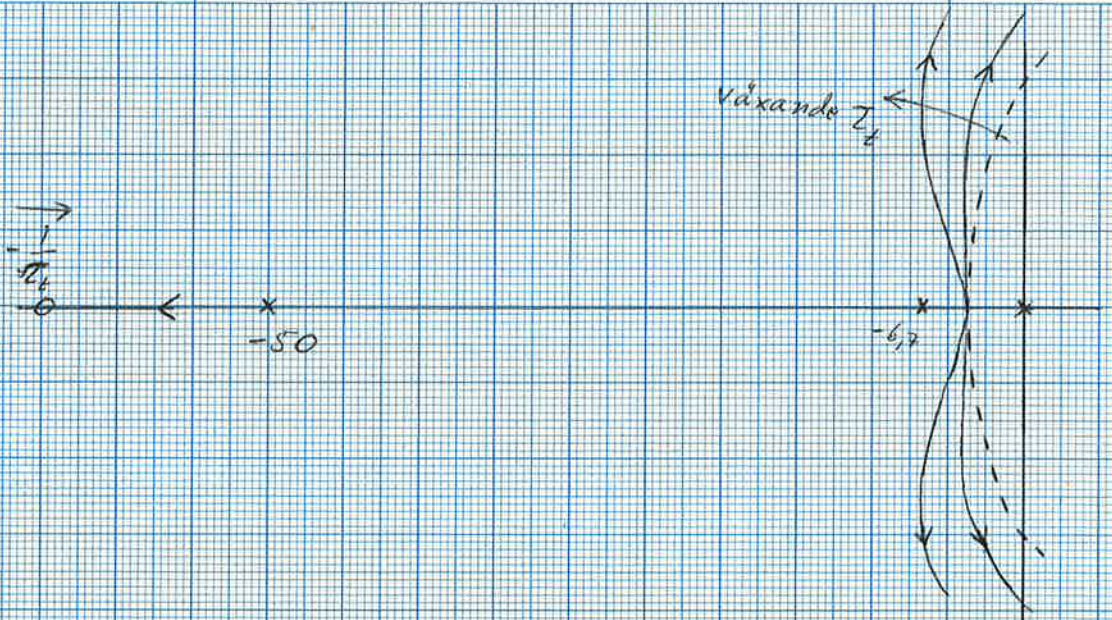
fig 1


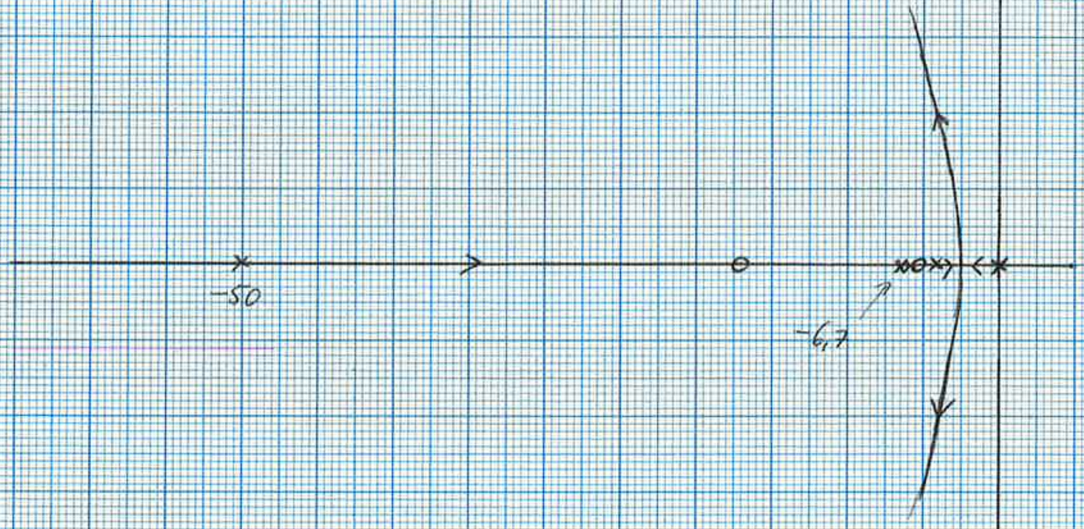
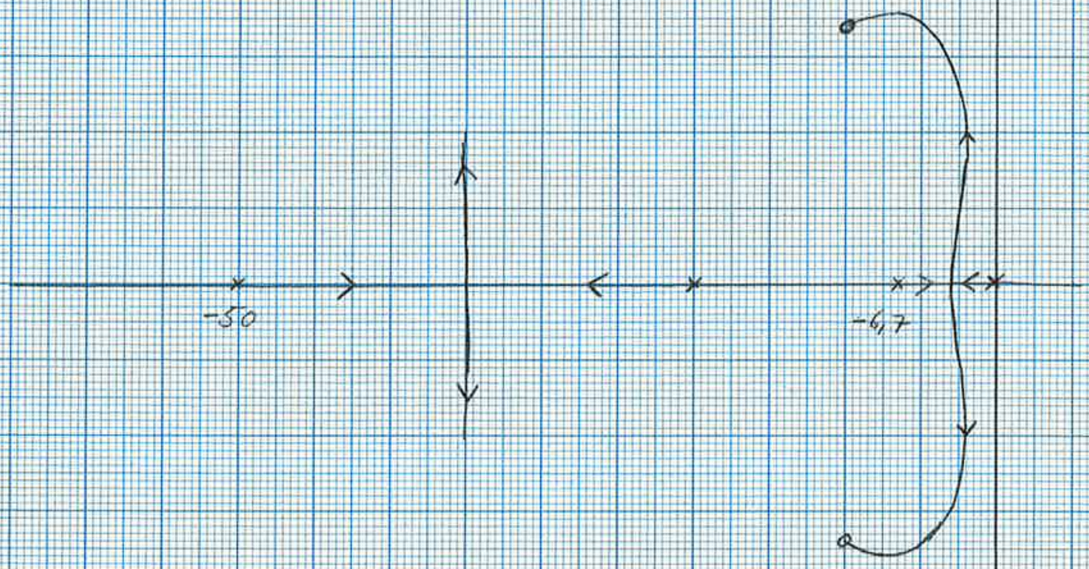
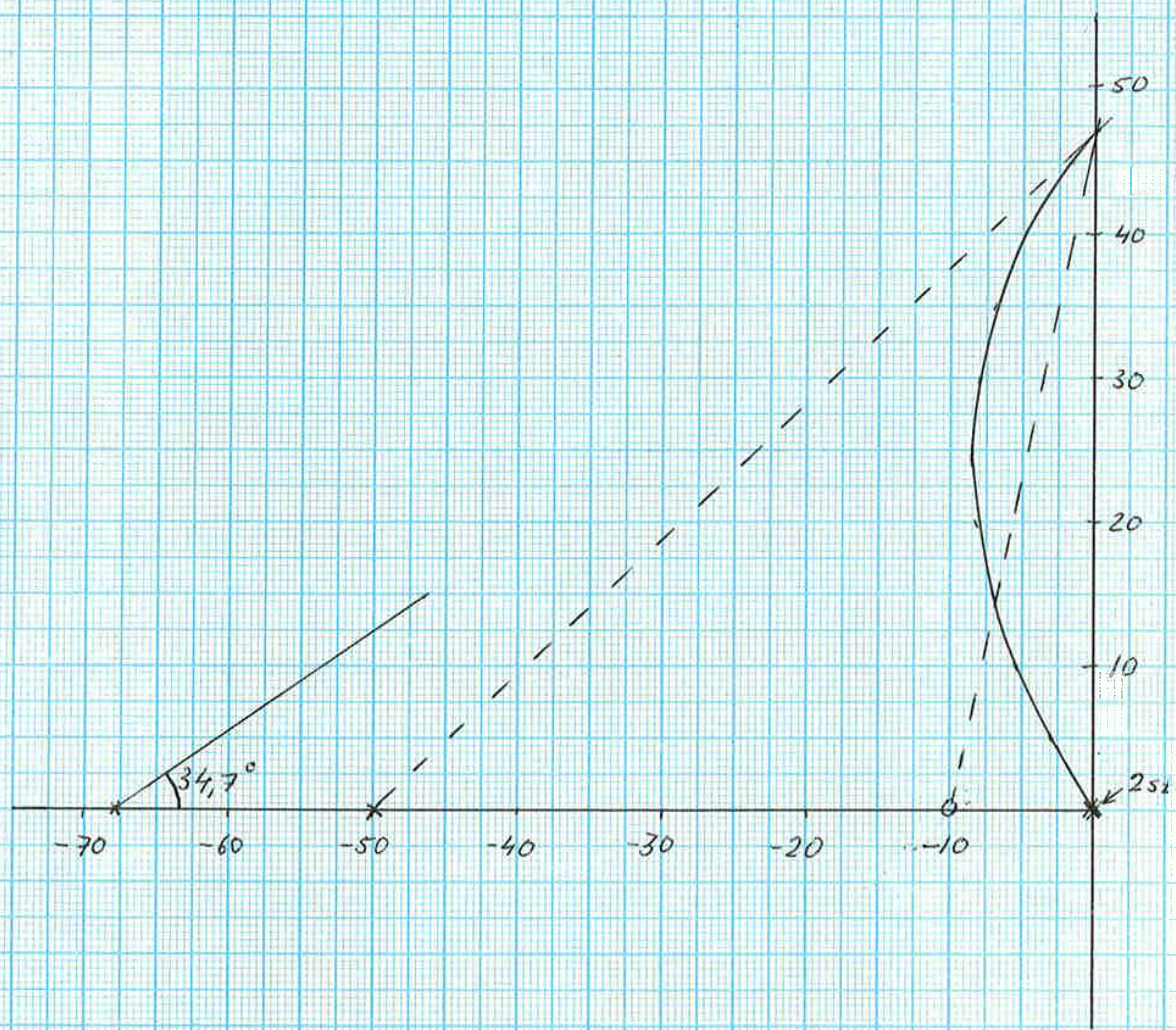
fig 2


fig 3


Rotortdiagram för fältstyrt system

Diagram 8



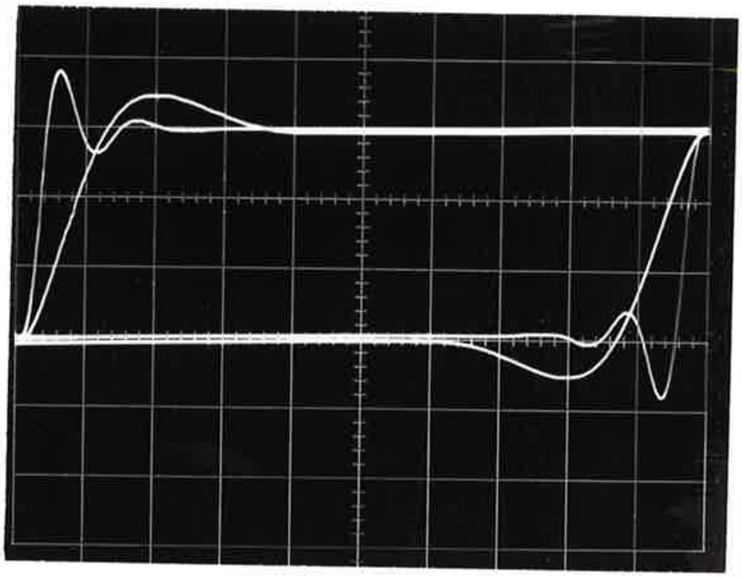


Foto 3 - Stegsvar för återkopplat system med $Y_s = \frac{Y_ö}{1 + Y_ö}$

$$Y_ö(s) = \frac{8.5}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)} \quad \text{(långsamma svaret)}$$

$$Y_ö(s) = \frac{37(1 + 0.1s)}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)^2} \quad \text{(snabba svaret)}$$

15 Volt input, 2V/cm i x-led, 0.2cps, 1V/cm i y-led.

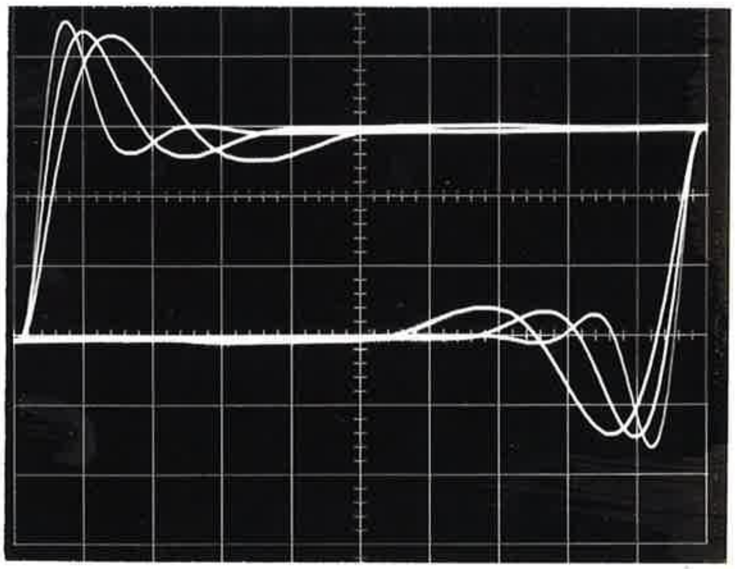


Foto 4 - Stegsvar för det slutna systemet där den öppna överföringsfunktionen är

$$Y_{ö}(s) = \frac{k \cdot 2(1 + 0.2s)(1 + 0.1s)}{s(1 + 0.152s)(1 + 2.2s)(1 + 0.02s)^2}$$

k = 250 snabbast

k = 150 mellersta

k = 100 långsammaste

15 Volt input, 2V/cm x-led, 0.2 cps, 1V/cm y-led

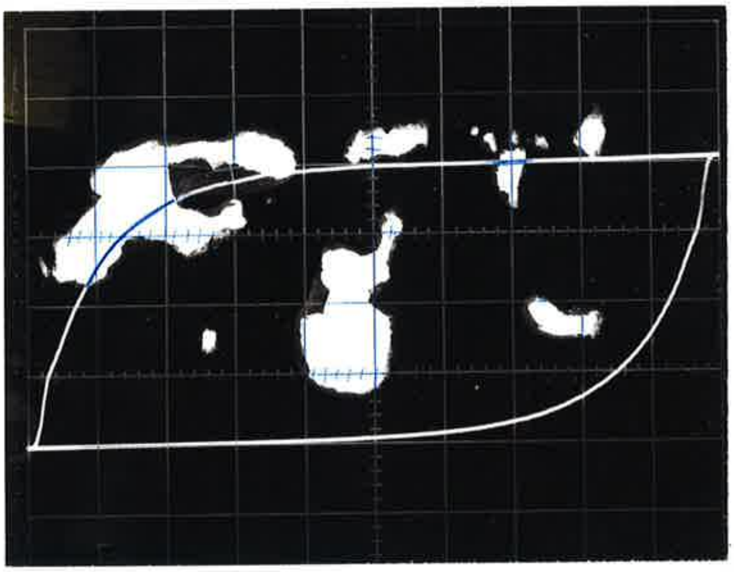


Foto 5 - Stegsvar för system med stor tackometeråterkoppling

$$G(s) = \frac{56.5}{s(1 + 0.152s)}$$

$$Y_s(s) = \frac{G(s)}{1 + (1 + 0.26s)G(s)}$$

20 Volt input, 2V/cm x-led, 0.2 cps, 1V/cm y-led.

III. FASPLANANALYS OCH BESKRIVANDE FUNKTIONEN

1. Linjära fasplantrajektorier

Genom att koppla felsignalen till x-plattorna på ett oscilloscop och tackometersignalen till y-plattorna erhålls en avbildning av fasplanet på oscilloscopet. Slutna systemets överföringsfunktion är

$$Y(s) = \frac{k_v}{s(1 + 0.152s) + k_v}$$

Karakteristiska ekvationen för systemet kan skrivas (se II.3.1)

$$\frac{\tau_m}{k}\frac{d^2\theta_o}{dt^2} + \frac{1}{k}\frac{d\theta_o}{dt} + \theta_o = \theta_i$$

2:a ordningens differentialekvation i normaliserad form skrivs:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\xi\,\omega_n\frac{dy}{dt} + \omega_n^2 y = 0$$

Sätt $y = x_1, \quad \frac{dy}{dt} = x_2$

$$\left.\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -\,2\xi\,\omega_n x_2 - \omega_n^2 x_1 \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \quad \frac{dx}{dt} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\xi\omega_n \end{vmatrix} X$$

$$\left.\begin{aligned} \text{tr}\quad A &= -\,2\xi\,\omega_n \\ \det\quad A &= \omega_n^2 \end{aligned}\right\}$$

$$\text{Om}\quad \xi > 0 \Longrightarrow \left.\begin{aligned} \text{tr } A &< 0 \\ \det A &> 0 \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \quad \text{systemet stabilt}$$

$$\det A < \frac{(\text{tr } A)^2}{4} \quad \Longrightarrow \quad \text{stabil nod}$$

$$\therefore \quad \omega_n^2 < \frac{4\xi^2 \omega_n^2}{4} = \xi^2 \omega_n^2 \Longrightarrow \xi > 1 \text{ ger stabil nod}$$

$0 < \xi < 1$ stabilt focus

Sök egenvärden:

$$\begin{vmatrix} -\lambda & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\xi\omega_n - \lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 + 2\xi\,\omega_n\lambda + \omega_n^2 = 0$$

$$\lambda_{0.1} = -\xi\,\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}$$

$\xi \geq 1$ ger reella egenvärden. Sök egenvektorerna:

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\xi\omega_n \end{vmatrix} \begin{vmatrix} e_1 \\ e_2 \end{vmatrix} = \omega_n \left(-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}\right) \begin{vmatrix} e_1 \\ e_2 \end{vmatrix}$$

$$\left.\begin{aligned} e_2 &= e_1\,\omega_n \left(-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}\right) \\ -\omega_n^2 e_1 - 2\xi\omega_n e_2 &= e_2\omega_n\left(-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}\right) \end{aligned}\right\} \Longrightarrow$$

$$e = \begin{vmatrix} 1 \\ -\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1} \end{vmatrix}$$

$$\frac{\dot{y}}{\ddot{y}} = \frac{1}{-\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}} = \frac{y}{\dot{y}} \qquad \text{om} \quad \xi < 1$$

Jämförelse mellan systemets differentialekvation och den normaliserande ekvationen ger:

$1/\tau_m = 2\xi\omega_n$

$k/\tau_m = \omega_n^2$

För stabilt focus erhålls alltså komplexa egenvärden, varigenom också egenvektorerna blir komplexa.

Karakteristiska ekvationen för systemet med tackometeråterkoppling kan skrivas (se II.3.1)

$$\frac{\tau_m}{k}\frac{d^2E}{dt^2} + \left(\frac{1}{k} + \tau_t\right)\frac{dE}{dt} + E = 0$$

Jämförelse med den normaliserade ekvationen ger

$$\frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{1}{k} + \tau_t \quad ; \quad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{\tau_m}}$$

Kritisk dämpning $\Longleftrightarrow$ $\xi = 1 \Longrightarrow \tau_t = 2\sqrt{\frac{\tau_m}{k}} - \frac{1}{k}$

För $\tau_m = 0.152$ och $k = 25$ fås $\underline{\tau_t = 0.116}$, $\omega_n = 12.8$ rad/sek.

Detta i sin tur ger $\frac{y}{\dot{y}} = \frac{1}{-12{,}8}$, y är uttryckt i radianer och skall omvandlas till volt.

ke = 30.9 V/rad $\Longrightarrow$ y = 30.9V

$\dot{y}$ är uttryckt i rad/sek och skall omvandlas till volt.

19.55 V $\Longleftrightarrow$ 2π rad/sek (se I.4.3) $\Longrightarrow$ $\dot{y} = -39.9$V

$$\frac{y}{\dot{y}} = \frac{1}{-1.29}$$

Mätningar på systemet ger fasplan enligt:

Foto 6. $k_v = 25$ $\quad Y_s(s) = \dfrac{164}{s^2 + 6.6s + 164}$ ger 45.3% översläng

Foto 7. $k_v = 12$ $\quad Y_s(s) = \dfrac{79}{s^2 + 6.6s + 79}$ ger 29.9% översläng

(jämför I.4.2)

För $k_v = 25$ erhölls kritisk dämpning för T = 20% dvs $\underline{\tau_t = 0.104}$, vilket nära överensstämmer med det teoretiska värdet.

Foto 8. $k_v = 25,\ \tau_t = 0.104 \Longrightarrow Y_s(s) = \dfrac{164}{s^2 + 23.6s + 164}$

Foto 9. $k_v = 25,\ \tau_t = 0.052 \Longrightarrow Y_s(s) = \dfrac{164}{s^2 + 15.1s + 164}$

2. Självsvängning

Om tackometeråterkopplingens polaritet ändras blir den dämpade termen i karakteristiska ekvationen:

$$\frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{1}{k} - \tau_t$$

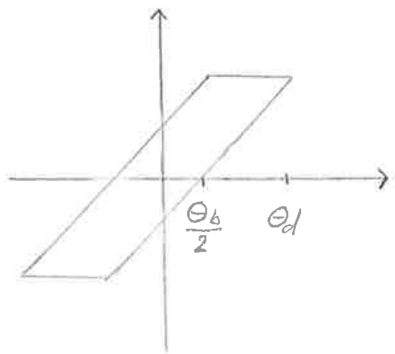
Dvs för $\frac{1}{k} = \tau_t$ är dämpningen noll och systemet självsvänger.

$k_v = 25 \Longrightarrow \underline{\tau_t = 0.104}$; $\omega_o = 12.8$ rad/sek

Mätning på systemet gav självsvängning för $\underline{\tau_t = 0.044}$ med $k_v = 25$.
Självsvängningsfrekvensen blev $\underline{\omega_o = 12.4}$

3. Introduktion av glapp

Beräkning av beskrivande funktionen för glapp:



Insignalen är $x(t) = \cos \omega t$
Utsignalen blir

$$y(t) = \begin{cases} 1 - \theta/2 & 0 < t < t_1 \\ \theta/2 + \cos \omega t & t_1 < t < \pi \end{cases}$$

Där $\theta = \theta_b/\theta_d$; $\cos \omega t_1 = \cos \theta_1 = 1 - \theta$

y(t) kan Fourierutvecklas

$$y(t) = \sum_{o}^{\infty} A_n \cos n\,\omega t + \sum_{o}^{\infty} B_m \sin m\,\omega t$$

Beskrivande funktionen är enligt definition: $N(\theta) = A_1 - i\,B_1$

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_{o}^{2\pi} y(t) \cos \omega t \, d(\omega t) =$$

$$= \frac{2}{\pi} \int_{o}^{\theta_1} (1 - \theta/2) \cos v \, dv + \frac{2}{\pi} \int_{\theta_1}^{\pi} (\theta/2 + \cos v) \cos v \, dv =$$

$$= \frac{2}{\pi} \{(1 - \theta/2)(\sin\theta_1 - \sin 0) + \theta/2(\sin\pi - \sin\theta_1) + \frac{\pi - \theta_1}{2} + \frac{\sin 2\pi - \sin 2\theta_1}{4}\} =$$

$$= \frac{1}{\pi} \{\pi - \arccos(1 - \theta) + (1 - \theta) \sqrt{2\theta - \theta^2}\}$$

$$\text{ty} \quad (1 - \theta) \sin \theta_1 - \frac{\sin 2\theta_1}{4} = (1 - \theta) \sin \theta_1 - \frac{\cos \theta_1 \sin \theta_1}{2} =$$

$$= \frac{1}{2} (1 - \theta) \sin \theta_1 = \frac{1}{2} (1 - \theta) \sqrt{2\theta - \theta^2}$$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_{o}^{2\pi} y(t) \sin \omega t \, d(\omega t) =$$

$$= \frac{2}{\pi} \int_{o}^{\theta_1} (1 - \theta/2) \sin v \, dv + \frac{2}{\pi} \int_{\theta_1}^{\pi} (\theta/2 + \cos v) \sin v \, dv =$$

$$= \frac{2}{\pi} \{(-\cos \theta_1 + \cos \theta)(1 - \theta/2) + \theta/2(-\cos \pi + \cos \theta_1) +$$

$$+ \left(\frac{-\cos 2\pi + \cos 2\theta_1}{4} \right) \} = -\frac{1}{\pi} \{ \theta^2 - 2\theta \}$$

$$N(\theta) = \frac{1}{\pi} \{\sqrt{2\theta - \theta^2}\,(1 - \theta) + \pi - \arccos (1 - \theta) + j(\theta^2 - 2\theta)\}$$

$-\dfrac{1}{N(\theta)}$ är inritat tillsammans med frekvenssvaret för $k_v = 50$ i diagram 9. Teoretiska oscillationsfrekvensen blir 14.5 rad/sek $\theta_d/\theta_b = 1.45$. Maximala felet blir $(\theta_d - \theta_b/2)$. Om $\theta_b = 31^\circ$ så är $\theta_d = 45^\circ$ och $\theta_o = 45^\circ - 15.5^\circ = 29.5^\circ$

Låt oss göra motsvarande beräkning med hjälp av fasplananalys.

Systemets linjära överföringsfunktion är:

$$Y_s(s) = \frac{k_v}{s(1 + \tau_s) + k_v}$$

normaliserad kan funktionen skrivas som:

$$Y_s(s) = \frac{\omega_o^2}{s^2 + 2\xi\omega_o s + \omega_o^2} \qquad \omega_o = \frac{k_v}{\tau} \quad ; \quad \xi = \frac{1}{2\tau\,\omega_o}$$

Polerna blir:

$$\sigma_{0.1} = -\xi\omega_o \pm i\omega_o\sqrt{1-\xi^2} \quad ; \quad \xi < 1 \implies \text{komplexa rötter.}$$

Genom att inverstransformera $y(s) = \dfrac{Y_s(s)}{s}$ erhålls stegsvaret:

$$y(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty} \frac{1}{s} Y_s(s)\, e^{st}\, ds = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty} \frac{\omega_o^2}{s(s-\sigma_o)(s-\sigma_1)}\, e^{st}\, ds =$$

transformeltabell ger:

$$= \omega_o^2 \left\{ \frac{1}{\sigma_o\,\sigma_1} + \frac{1}{\sigma_1 - \sigma_o}\left(\frac{e^{\sigma_1 t}}{\sigma_1} - \frac{e^{\sigma_o t}}{\sigma_o} \right) \right\} =$$

$$= \omega_o^2 \left\{ \frac{1}{(-\xi\omega_o - i\omega_o\sqrt{1-\xi^2})(-\xi\omega_o + i\omega_o\sqrt{1-\xi^2})} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2i\omega_o\sqrt{1-\xi^2}}\left(\frac{e^{(-\xi\omega_o + i\omega_o\sqrt{1-\xi^2})t}}{-\xi\omega_o + i\omega_o\sqrt{1-\xi^2}} - \frac{e^{(-\xi\omega_o - i\omega_o\sqrt{1-\xi^2})t}}{-\xi\omega_o - i\omega_o\sqrt{1-\xi^2}} \right) \right\} =$$

$$= 1 - e^{-\xi\omega_o t}\left\{\frac{e^{i\omega_o\sqrt{1-\xi^2}\,t} + e^{-i\omega_o\sqrt{1-\xi^2}\,t}}{2} + \right.$$

$$\left. + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\,\frac{e^{i\omega_o\sqrt{1-\xi^2}\,t} - e^{-i\omega_o\sqrt{1-\xi^2}\,t}}{2}\right\} =$$

$$= 1 - e^{-\xi\omega_o t}\left\{\cos\omega_o\sqrt{1-\xi^2}\,t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\omega_o\sqrt{1-\xi^2}\,t\right\}$$

$$\dot{y}(t) = \frac{\omega_o}{\sqrt{1-\xi^2}}\,e^{-\xi\omega_o t}\sin\omega_o\sqrt{1-\xi^2}\,t$$

Fortsätt nu med specialfallet $k_v = 50$ och $\tau_m = 0.152$. Detta medför att $\omega_o = 18.15$ rad/sek och $\xi = 0.1815$.

Beräkna tiden det tar att genomlöpa den del av limit cyclen då glappet är slutet, samt initialhastigheten. Först beräknar vi tidpunkten när hastigheten för andra gången blir 0. Detta är ekvivalent med skärningen av x-axeln (se Foto 10). Insatta värden ger:

$$\dot{y} = 18.45 \cdot e^{-3.29t}\sin 1021t = 0 \Longrightarrow 1021t = 0 \pm n \cdot 180^o$$

$\dot{y}$ skär x-axeln andra gången efter $180^o \Longrightarrow$

$$t_2 = \frac{180}{1021} = 0.176 \text{ sek}$$

Limitcyclen skär x-axeln två gånger med samma amplitud fast olika tecken. Den transienta amplituden med insatta värden blir

$$y = -e^{-3.29t}\{\cos 1021t + 0.1845 \sin 1021t\}$$

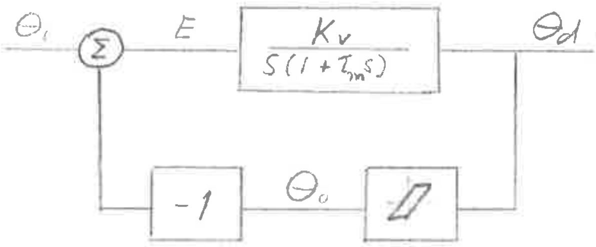
$y(0.176) = 0.561$ enheter.
Sök tidpunkten när $y = -0.561$ enheter.
Detta erhålls för $t_1 = 0.057$ sek
Tiden för den del, som har glappet slutet, blir alltså

$$t_L = t_2 - t_1 = 0.176 - 0.057 = 0.119 \text{ sek}$$

Initialhastigheten dvs hastigheten vid tidpunkten $t_1 = 0.057$ sek blir

$\dot{y} = 13.0$ enheter/sek

För delen med öppet glapp gäller att motorn startar med hela glappet öppet och hastigheten 0. Felet i systemet blir konstant så länge glappet är öppet. Felsignalen kommer att påverka motorn som en stegsignal och återkopplingen är bruten så länge glappet är öppet.



θ_d = motoraxelns amplitud

θ_o = utsignalens amplitud

θ_b = glappets amplitud

Med glappet öppet gäller

$$\theta_o = \theta_{d\ max} - \theta_b/2 = \text{konstant} = -E$$

Blockschemat ger stegsvaret

$$\frac{\theta_d}{E/s} = \frac{k_v}{s(1 + \tau s)} \Longrightarrow \dot{\theta}_d = \frac{E\,k_v}{s(1 + \tau s)} = E\,k_v(1 - e^{-t/\tau_m})$$

$$\theta_d = E\,k_v\,\{\,t - \tau_m(1 - e^{-t/\tau_m})\,\}$$

E = maximala amplituden för den linjära delen = 0.561 enheter.

Hastigheten skall vara 13.0 enheter/sek när glappet slutits

$$\Longrightarrow 13.0 = 0.561 \cdot 50(1 - e^{-t/0.152}) \Longrightarrow t_{OL} = 0.095 \text{ sek}$$

Detta ger tiden för ett helt varv

$T = 2(t_L + t_{OL}) = 2(0.119 + 0.095) = 0.428$ sek

$\Longrightarrow \omega_o = \underline{14.7 \text{ rad/sek}}$

$$\left.\begin{array}{l} \theta_b = \dfrac{31}{360} \cdot 2\pi = 0.541 \text{ rad} \\ \theta_d(0.095) = \theta_b = 0.687 \text{ enheter} \end{array}\right\} \Longrightarrow 1 \text{ enhet} = 0.787 \text{ rad}$$

$\Longrightarrow \theta_{o\ max} = 0.441 \text{ rad} = 25.3^o$

$\theta_{d\ max} = \theta_{o\ max} + {}^{\theta_b}/2 = 0.711$ rad

$\Longrightarrow {}^{\theta_d}/\theta_b = \underline{1.31}$ $\dot{\theta}_d(0.095) = 13.0 \cdot 0.787 = 10.25$ rad/sek

Vid direkt mätning erhölls (se Foto 10):

$\omega_o = 2.20 \cdot 2\pi = \underline{13.8 \text{ rad/sek}}$

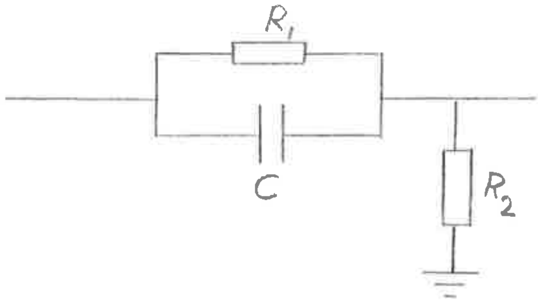
$K_e = 30.9$ V/rad $\Longrightarrow \theta_o = \dfrac{12.5}{30.9} \cdot \dfrac{360}{2\pi} = 23.2^o$

$\theta_d = \theta_o + {}^{\theta_b}/2 = 38.7^o$

$\Longrightarrow {}^{\theta_d}/\theta_b = {}^{38.7}/31.0 = \underline{1.25}$

3.11 V $\longleftrightarrow$ 1 rad/sek $\Longrightarrow \dot{\theta}_d = {}^{32}/3.11 = 10.3$ rad/sek

4. I stället för att använda rotortrepresentation använde jag frekvenssvaret (se diagram 10) för att åskådliggöra händelseförloppet vid introduktion av fasavancerande nät (jämför II.1)



$R_1 = 100\ \mathrm{k}\,\Omega$

$R_2 = 25\ \mathrm{k}\,\Omega$

$C = 7 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{F}$

$$\Longrightarrow \quad k_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.2$$

$$\tau = C \cdot R_1 = 7 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{5} = 0.7$$

dvs $$H(s) = 0.2 \cdot \frac{1 + 0.75}{1 + 0.145}$$

Diagram 10 ger lägsta möjliga K_v för limit cycle till $\underline{K_v = 19.5}$ och $\underline{\omega_o = 13 \text{ rad/sek}}$. Mätning ger $\underline{K_v = 18.5}$ och $\underline{\omega_o = 14.3 \text{ rad/sek}}$.

För $H(s) = 0.2 \cdot \dfrac{1 + 0.1s}{1 + 0.02s}$ och $K_v = 30$ erhålles trajektorier enligt fotografierna 12 och 13. Det transienta svaret är här bra. Frekvenssvaret för det linjära systemet kommer här aldrig i närheten av $- {}^{1}/N(\theta)$. Använd maximalt 5V pulser annars uppträder mättning i systemet.

<u>Tackometerspänningen</u>

Ge motorn konstant hastighet, och fotografera tackometerspänningen (foto 11).

1 sek/cm i x-led.

För de bägge nedre kurvorna gäller 1V/cm i y-led. Motorns hastighet är här 4 resp. 3 rad/sek.

För översta kurvan gäller 0.5 V/cm i y-led. Motorns hastighet är 2 rad/sek.

1. Motorns hastighet = 2 rad/sek

   Kurvan upprepar sig 5 ggr på 8.1 cm

$$\omega = \frac{5}{8.11} \cdot 2\pi = 3.88 \text{ rad/sek}$$

2. Motorns hastighet = 3 rad/sek

$$\omega = \frac{6}{6.4} \cdot 2\pi = 5.89 \text{ rad/sek}$$

3. Motorns hastighet = 4 rad/sek

$$\omega = \frac{5}{8.0} \cdot 2\pi = 3.93 \text{ rad/sek}$$

Dvs de långsamma variationerna är direkt beroende på varvtalet.

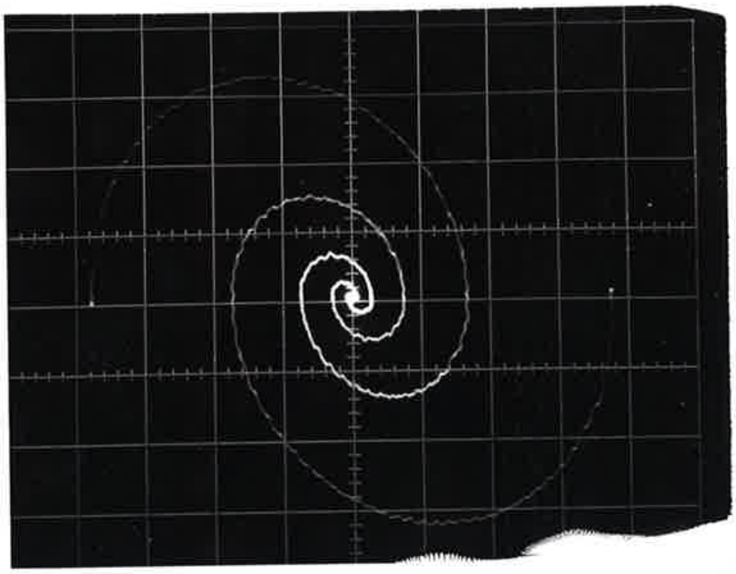


Foto 6 - Linjärt system med $K_v = 25$

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 6.6s + 164}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

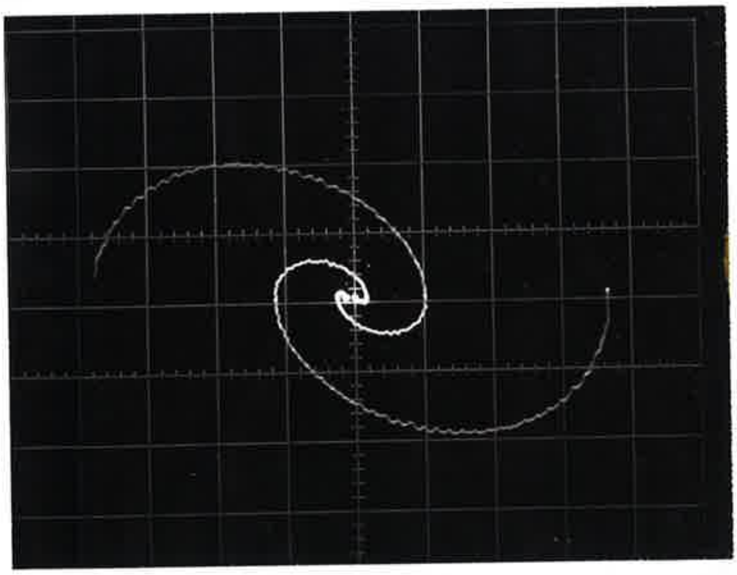


Foto 7 - Linjärt system med $K_v = 12$

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{79}{s^2 + 6.6s + 79}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

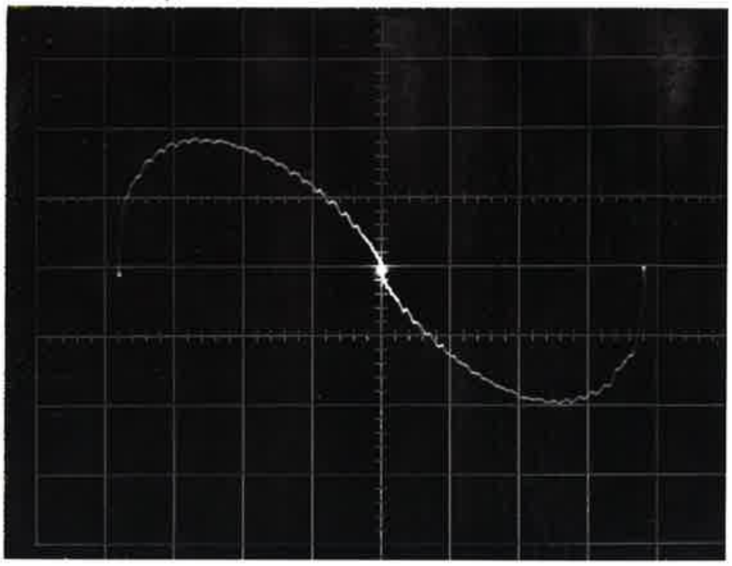


Foto 8 – Linjärt system med K_v = 25 och τ_t = 0.104

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 23.6s + 164}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

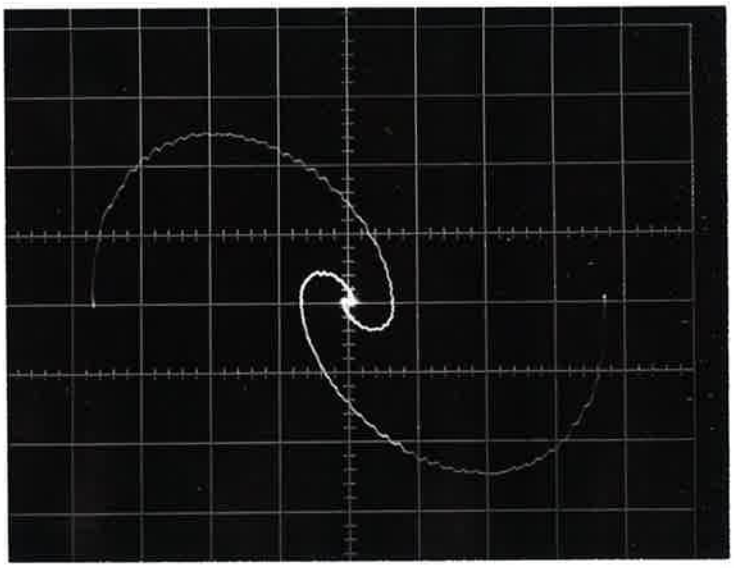


Foto 9 – Linjärt system med K_v = 25 och τ_t = 0.052

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 15.1s + 164}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

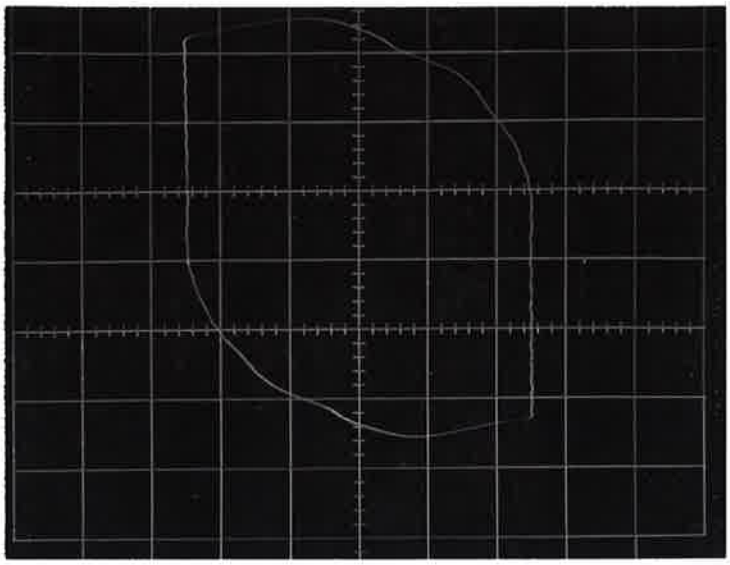


Foto 10 - Linjärt system med $K_v = 50$ $\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{328}{s^2 + 6.6s + 328}$$ och 31° glapp

5V/cm i x-led

10V/cm i y-led

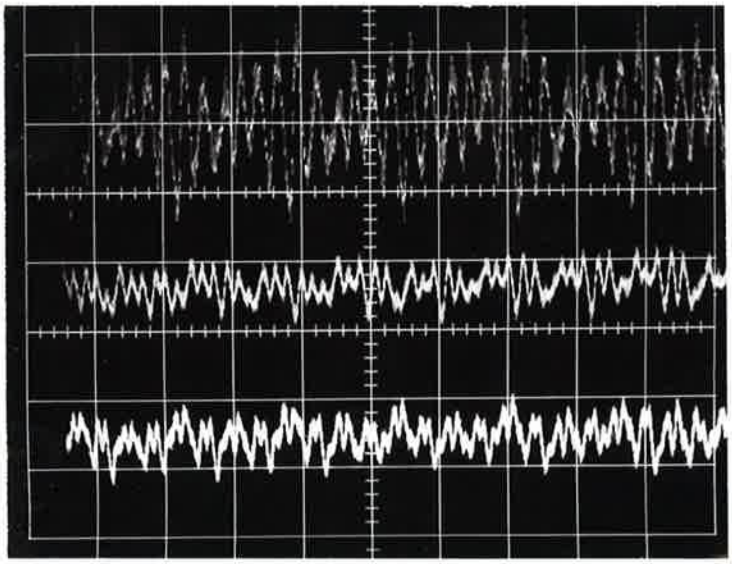


Foto 11 - Tackometerspänningen vid olika konstanta hastigheter.

Överst. Motorhast. 2rad/sek, 1 sek/cm i x-led, 0.5V/cm i y-led

Mitten Motorhast. 3 rad/sek, 1 sek/cm i x-led, 1V/cm i y-led

Underst Motorhast. 4 rad/sek, 1 sek/cm i x-led, 1 V/cm i y-led

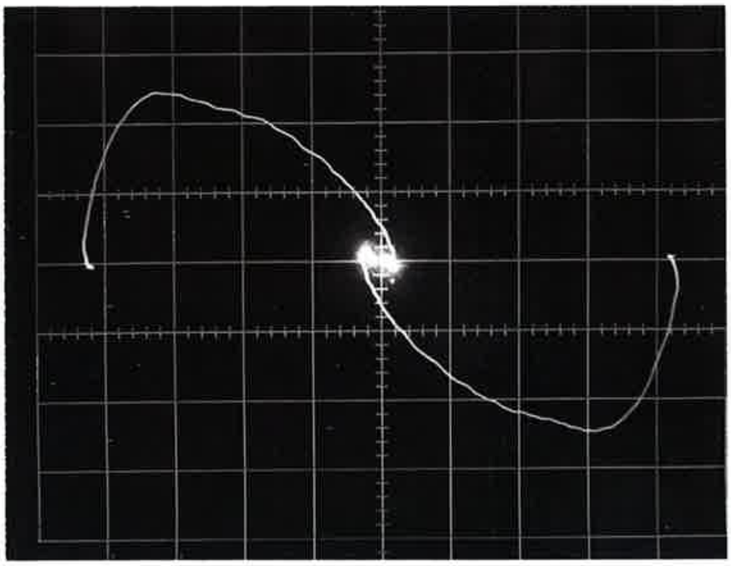


Foto 12 - Linjärt system med K_v = 30 och kompensation

$$Y_{ö}(s) = \frac{30(1 + 0.1s)}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)}$$

Motorn startar med glappet slutet.
5V/cm i x-led, 5V/cm i y-led.

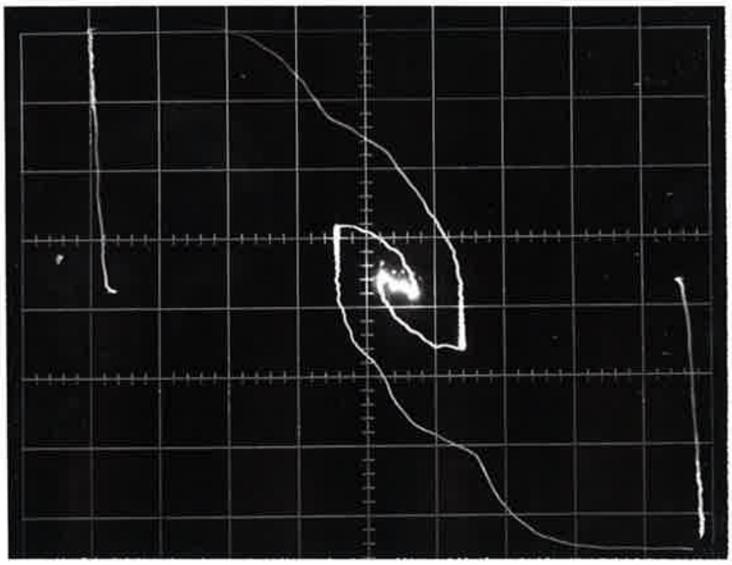
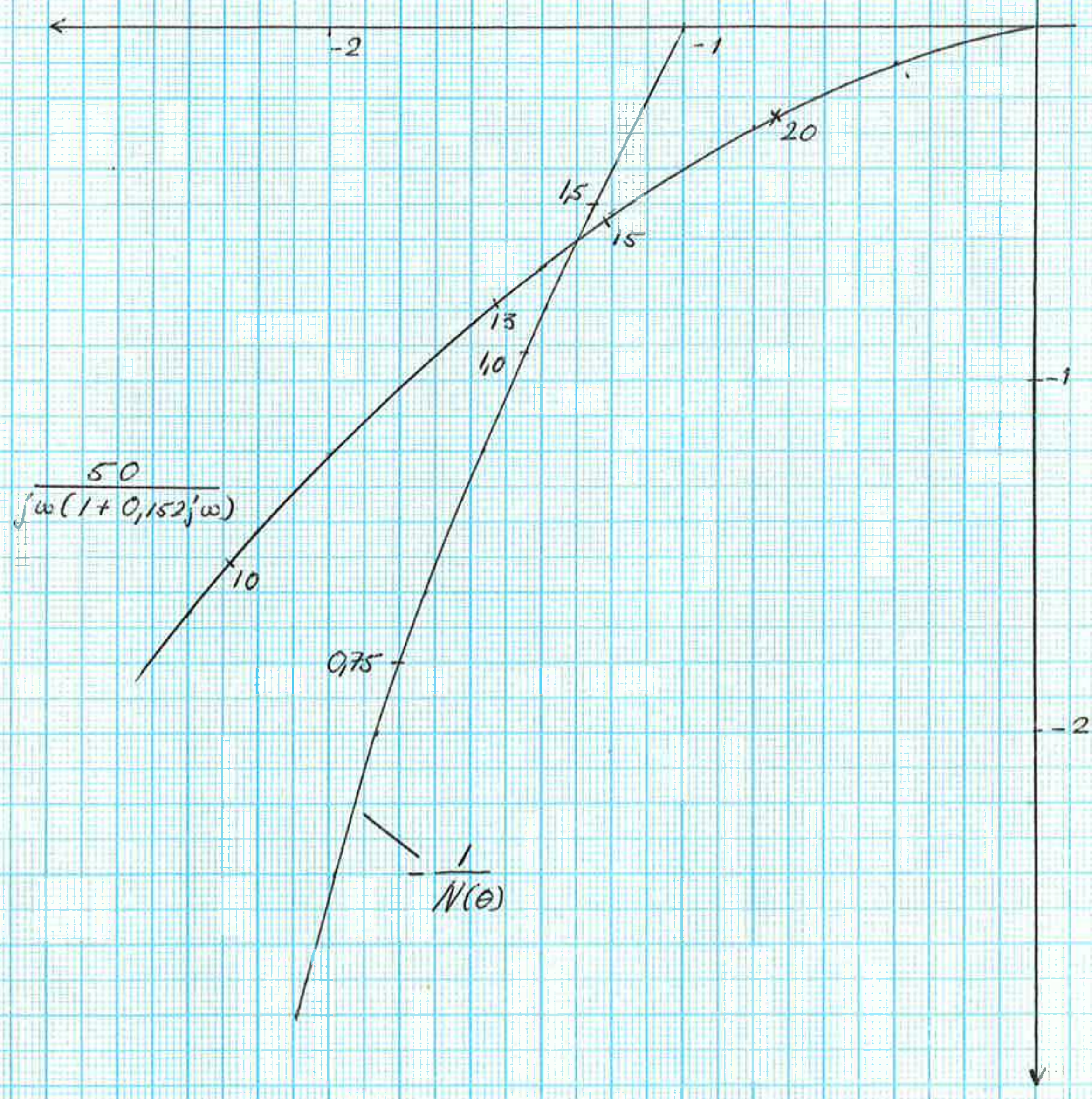


Foto 13 - Samma system som för foto 12 men motorn startar med glappet öppet.
5V/cm i x-led, 5V/cm i y-led.

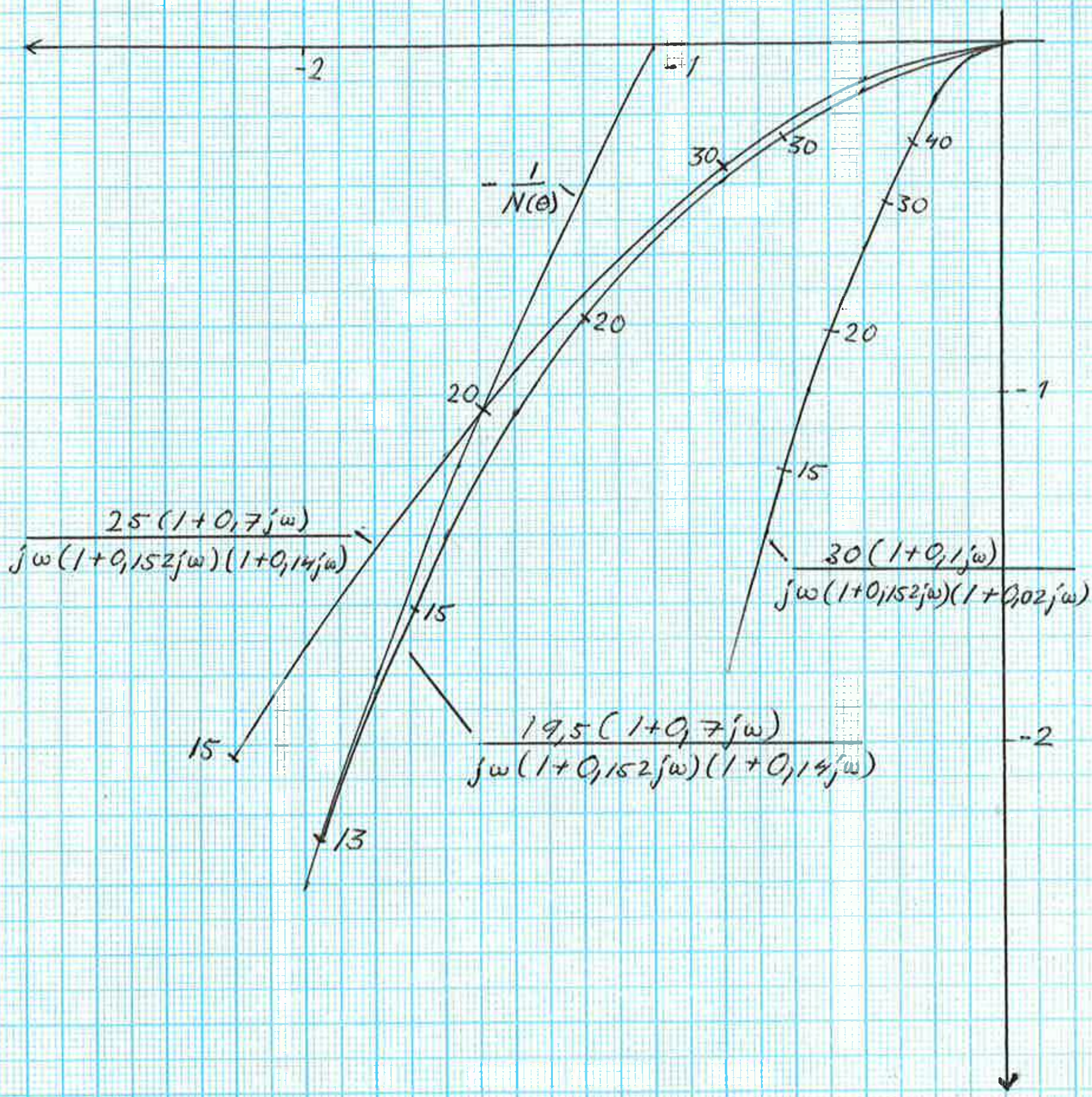
Beskrivande funktionen för glapp, samt frekvenssvar för linjärt system.

Diagram 9



Beskrivande funktionen för glapp, samt frekvenssvar för olika kompenserade system.

Diagram 10



IV. ÖVERBELASTNING

1. Ideell begränsning i öppna kretsen

Insignaler med amplitud $\leq a_o$ släpps igenom oförändrade, medan större signaler klipps bort. Se diagram 11.

$$x(t) = a \sin \omega t = a \sin \phi$$

$$y(t) = \begin{cases} a \sin \phi & 0 < \phi < \phi_o = \arcsin {}^{a_o}/a \\ a_o & \phi_o < \phi < \pi - \phi_o \end{cases}$$

Fourieruppdela y(t)

$$y = \sum_{o}^{\infty} a_n \sin n\phi$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_o^{2\pi} y(\phi) \sin n\phi \, d\phi$$

Beskrivande funktionen ges av ${}^{a_1}/a$

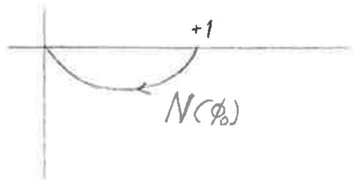
$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_o^{2\pi} y(\phi) \sin \phi \, d\phi = \frac{4}{\pi} \int_o^{\phi_o} a \sin^2 \phi \, d\phi + \frac{4}{\pi} \int_{\phi_o}^{\pi/2} a_o \sin \phi \, d\phi =$$

$$= a \left\{ \frac{2}{\pi} \phi_o + \frac{1}{\pi} \sin 2\phi_o \right\}$$

$$\therefore \begin{cases} N(\phi_o) = \frac{2}{\pi} \phi_o + \frac{1}{\pi} \sin 2\phi_o \\ \phi_o = \arcsin {}^{a_o}/a \end{cases}$$

2. Begränsning i servomotor

Extra fasförskjutning kan uppstå på grund av ökande hysteresis i de magnetiska kretsarna vid överbelastning eller på grund av överbelastning i förstärkare. Med ökande signalamplitud visar beskrivande funktionen ofta en växande fasfördröjning tillsammans med minskning i förstärkningen. I praktiken är överbelastningsförhållandena nästan alltid frekvensberoende, vilket ger ett antal olika kurvor.



Detta ger en situation, som i viss mån liknar den vi hade vid glapp (jämför diagram 9). Vid hög förstärkning i den slutna kretsen behövs endast liten överbelastning, för att beskrivande funktionen ska bli komplex och därmed orsaka självsvängning.

3. Cyklisk felkanal

Med ett system som har felkanal bestående av en cykliskt kontinuerlig potentiometer kan man få "run-away" oscillation där output axeln roterar kontinuerligt. Felsignalen fås som funktion av vinkeln enligt diagram 12a. Kanalen får alternerande stabila och instabila punkter med intervallet π. Låt oss utveckla principerna för denna typ av oscillaton, till att börja med för ett andra ordningens system utan dämpning.

För områdena kring 0, $\pm 2\pi$, $\pm 4\pi$ ... med en bredd för felet på $\pm\ \pi/2$ har systemet negativ återkoppling, och systemet kan enligt tidigare beskrivas av

$$\frac{d^2E}{dt^2} + 2\xi\omega_n \frac{dE}{dt} + \omega_n^{\ 2} E = 0$$

Om dämpningen är 0 erhålles

$$\frac{d^2E}{dt^2} + \omega_n^2 E = 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{E} \quad ; \quad \frac{d\dot{E}}{dt} = - \omega_n^2 E$$

Vilket ger representationen som fasplan

$$\frac{d\dot{E}}{dE} = - \frac{\omega_n^2 E}{\dot{E}} \qquad \text{eller}$$

$$\dot{E}d\dot{E} + \omega_n^2 EdE = 0 \qquad \text{eller integrerat}$$

$$\dot{E}^2 + \omega_n^2 E^2 = C^2$$

Dvs cirklar (om $\omega_n = 1$) med radien C enligt diagram 12b.

Kring de instabila punkterna $\pm\pi$, $\pm 3\pi$ ... blir ekvationen

$$\frac{d^2E}{dt^2} - \omega_n^2 E = 0$$

Vilket leder till ekvationen

$$\dot{E}^2 - \omega_n^2 E^2 = C^2$$

som ger hyperboliska trajektorier enligt diagram 12c.

Dessa två uppsättningar av trajektorier möts exakt vid $\pm\pi/2$ linjerna och ger på så sätt ett mönster som upprepas med intervall på 2π som i diagram 12d.

Om vi inför dämpning i systemet blir trajektorieekvationerna för de två områdena

$$\frac{d\dot{E}}{dE} = -\frac{(2\xi\omega_n\dot{E} + \omega_n^2 E)}{\dot{E}} \qquad -\pi/2 < E < +\pi/2$$

$$\frac{d\dot{E}}{dE} = \left(\frac{-2\xi\omega_n\dot{E} + \omega_n^2 E}{\dot{E}}\right) \qquad +\pi/2 < E < 3\pi/2$$

Villkoret för att trajektorierna skall vara horisontella är $d\dot{E}/dE = 0$ dvs

$$2\xi\omega_n \dot{E} + \omega_n^2 E = 0 \iff \dot{E}/E = -\omega_n/2\xi \qquad -\pi/2 < E < \pi/2$$

$$-2\xi\omega_n \dot{E} + \omega_n^2 E = 0 \iff \dot{E}/E = \omega_n/2\xi \qquad \pi/2 < E < 3\pi/2$$

Det allmänna utseendet framgår av diagram 13 ($\omega_n = 1$). Alla trajektorier konvergerar mot den stabila punkten.

Verkan av överbelastning:

Ovanstående gäller under förutsättning av att den öppna kretsen är linjär. I praktiken gäller detta endast för mycket små felsignaler och med överbelastning kan det hända att den verkliga effekten till motorn försenas och byter riktning efter det att felet är noll. Hastigheten får då också maximum efter det att felet är noll (se foto 15). Denna förskjutning beror på den extra fasfördröjningen orsakad av hysteres i motorn. Den extra effekt som motorn levererar på grund av det försenade hastighetsmaximat motverkar dämpningsförlusten. Systemet får negativ dämpning.

4. Extra fasförskjutning i öppna kretsen på grund av överbelastning

Gör samma experiment som i I.2 och jämför med diagram 3. Vid överbelastning ökar fasfördröjningen samtidigt som förstärkningen minskar.

	7 cps			5 cps	
Volt in	Volt ut/Volt in	grader	Volt in	Volt ut/Volt in	grader
2	4.0	-84°	2	6.0	-77°
4	4.0	-90°	4	6.0	-77°
5	3.4	-106°	5	5.7	-85°
6	2.8	-122°	6	5.0	-95°
8	2.0	-138°	8	3.6	-113°
10	1.6	-144°	10	2.7	-121°
15	1.0	-152°	15	1.7	-132°
20	0.8	-158°	20	1.3	-137°

	3 cps			2 cps	
2	8.5	-72°	2	12.7	-65°
6	7.8	-77°	6	11.3	-65°
8	6.3	-84°	8	9.7	-67°
10	4.9	-94°	10	7.7	-73°
12	4.0	-102°	12	6.4	-77°
15	3.2	-107°	15	5.1	-84°
20	2.4	-112°	20	3.9	-94°

Se diagram 14.

Eftersom kurvorna skär varandra är det besvärligt att göra noggranna förutsägelser av överbelastningstillstånd.

5. Limit Cycle på grund av överbelastning

Sätt hastighetskonstanten $K_v = 100$. Detta ger

$$Y_s(s) = \frac{658}{s^2 + 6.6s + 658}$$

Överföringsfunktionen har poler för

$S = 3.3 \pm j\ 25.4$

dvs det behövs endast en liten fasfördröjning för att rötterna skall passera imaginära axeln, varvid systemet blir instabilt. Det uppstår en instabil limit cycle och oscillationen växer tills något begränsar den. I den aktuella apparaten orsakas begränsningen av att potentiometeraxeln oscillerar mer än $\pm\pi/2$, i så fall minskar felsignalen på grund av de kontinuerliga rotationspotentiometrarna i felkanalen, varvid amplituden begränsas.

Om felsignalen kopplas till x-plattorna och hastigheten till y-plattorna fås ett fasplan enligt foto 14. Koppla spänningen från potentiometeraxelns potentiometer till x-plattorna i stället för felsignalen, varvid vi får foto 15. Här kommer vi ifrån felkanalens begränsade utsignal.

Man kan tydligt se att maximala hastigheten inträffar efter det att felet har bytt tecken, som beror på den försenade effektvändningen, som i sin tur beror på fasfördröjning orsakad av överbelastning.

6. Run-away oscillation

Om man ökar återkopplingen i systemet så ökar amplituden hos felet. Men eftersom felet avtar för värden större än $\pm\pi/2$, blir det verkliga resultatet en minskning för stora fel, Till sist möts de bägge återvändande halvorna av fasplanet, se foto 16. Foto 17 illustrerar samma fall, men här anslöts potentiometeraxelns läge för avlänkning i x-led. Potentiometeraxelns hastighet blir enkelriktad men med varierande hastighet.

7. Limiter inkopplad i den öppna kretsen

Sätt $K_v = 100$

Genom att koppla in en limiter i kretsen hindras servomotorn att bli överbelastad. Detta medför att den extra fasfördröjningen i systemet elimineras.

Lägg två olika pulser med amplituderna 5V resp. 20V på systemet. Tag upp stegsvaret, se foto 18, för dessa bägge fall och beräkna tiden till den andra korsningen av slutläget hos det transienta svaret.

Vid 5V insignal blir $\tau = 0.25$ sek. Insignalen är så liten att servomotorn inte överbelastas även utan limiter.

Vid 20V insignal blir $\tau = 0.36$. I detta fall skär limitern felsignalen, så att ingen överbelastning uppstår. Detta medför att motorn inte tillförs hela felsignalen, varför accelerationen proportionellt sett blir långsammare än för det första fallet. Härav följer att stegsvaret blir långsammare, men stabilt, vilket det inte blev utan limiter (se IV.5).

Av fasplanet för 20V insignal, foto 19, framgår att fasfördröjningen har blivit eliminerande, eftersom maximal hastighet inträffar strax innan felsignalen byter tecken.

8. Fasavancerande nät

Genom att koppla in ett fasavancerande nät, som flyttar fram punkten för maximal hastighet, får vi ett stabilt system utan att skära felsignalen med en limiter.

Koppla in

$$H(s) = \frac{0.2(1 + 0.1s)}{(1 + 0.02s)} \qquad \text{(se II.1)}$$

Ställ in återkopplingen så att K_v blir 100. Stegsvaret ger för 20V insignal $\tau = 0.25$ sek, enligt foto 20, och ett mycket bra transient svar. Fasplanet framgår av foto 21. Man ser att hastighetsmaximum kommer mycket tidigt, vilket är ekvivalent med ett system med stor dämpning.

9. Accelerationsåterkoppling med extra tidskonstant

För system med extra tidskonstant (se I.5) medför tackometeråterkoppling effektiv stabilisering men har nackdelen att den effektiva hastighetskonstanten K_v reduceras (se II.3.1). På grund av detta använder vi accelerationsåterkoppling, som inte påverkar K_v. Detta system kan få invariant transient svar men kan ha dålig stabilitet vid överbelastning eftersom rötterna ligger nära imaginära axeln. (se diagram 7 fig. 3). Genom att koppla in en limiter elimineras instabiliteten. Systemet har ganska långsamt transient svar oberoende av insignalen. $K_v = 300$ ger $\tau = 0.4$ sek men stor dämpning foto 20.

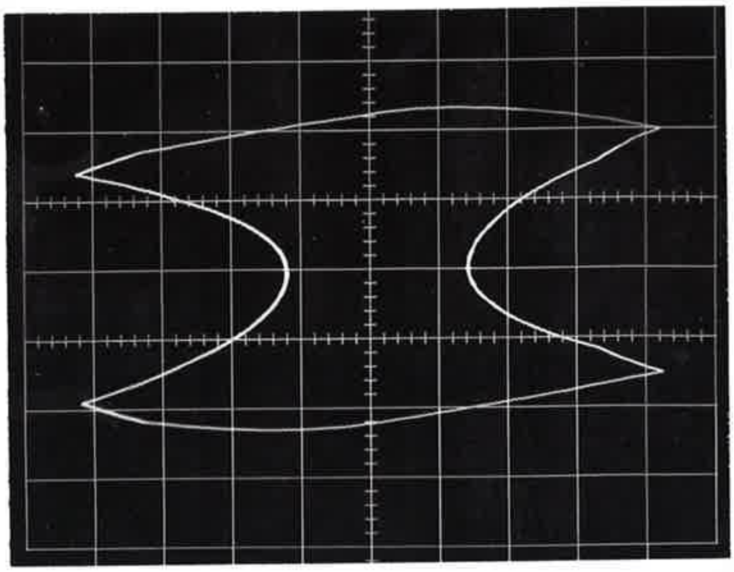


Foto 14 - Linjära överföringsfunktionen är

$$Y_s(s) = \frac{658}{s^2 + 6.6s + 658}$$

Överbelastning orsakar Limit cycle. Felet i x-led 10V/cm. Hastighet i y-led 20V/cm

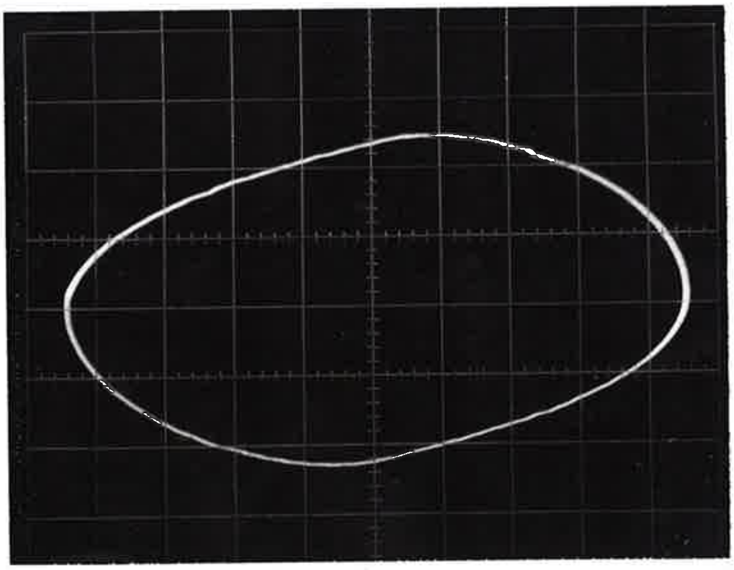


Foto 15 - Samma som foto 14 men positionen i x-led, 2V/cm i stället för felet

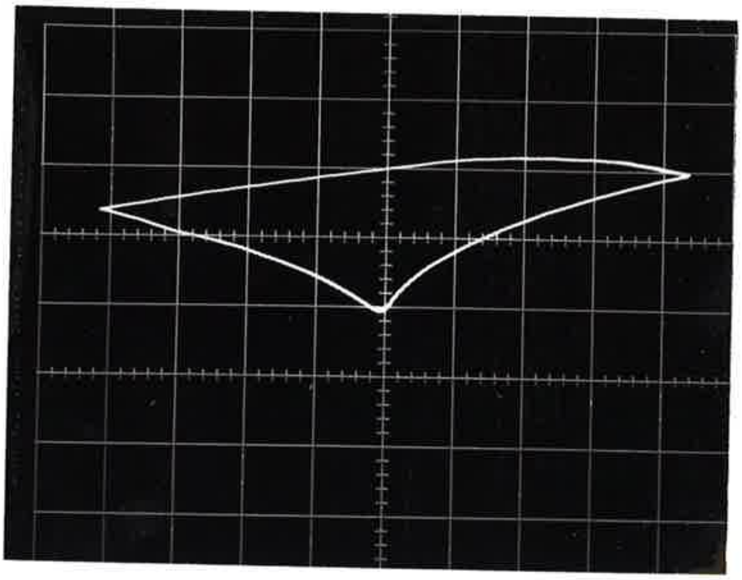


Foto 16 - Samma som foto 14 fast med större återkoppling

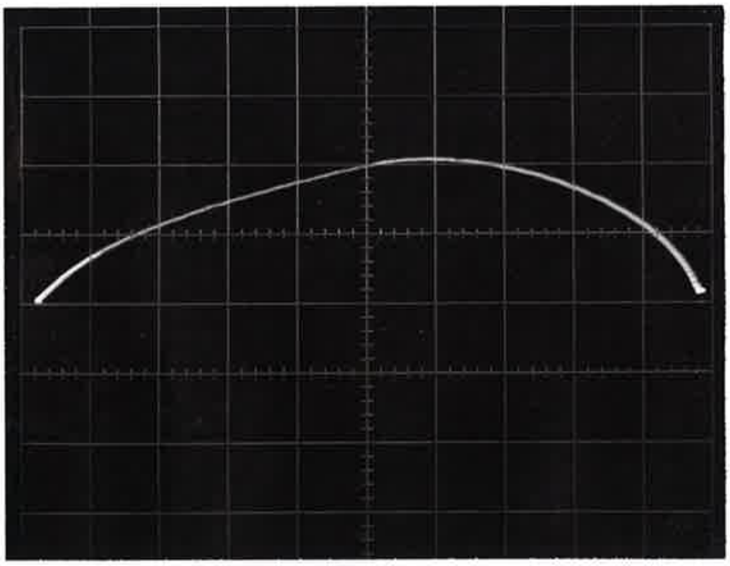


Foto 17 - Samma som foto 75 fast med större återkoppling

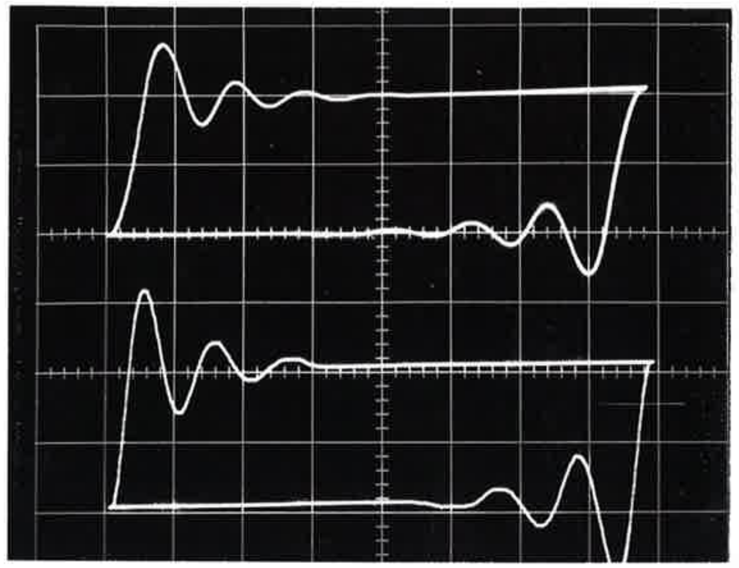


Foto 18 - Stegsvar för systemet

$$Y_s(s) = \frac{658}{s^2 + 6.6s + 658}$$ med Limiter:

Överst: 20V in, 0.2 cps ger τ = 0.36 2V/cm i x-led
2V/cm i y-led

Underst: 5V in, 0.2 cps ger τ = 0.25 2V/cm i x-led
0.5V/cm i y-led

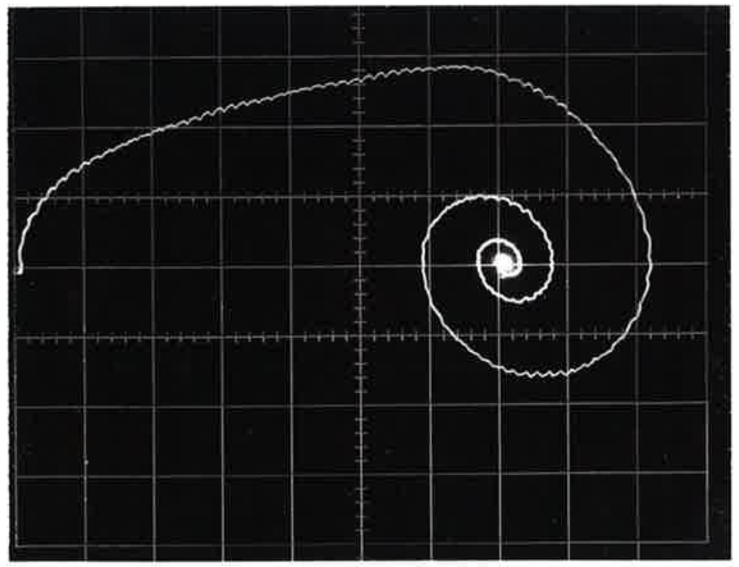


Foto 19 - Fasplan för samma system som foto 18 med $20V_{in}$,
5V/cm i x-led
5V/cm i y-led

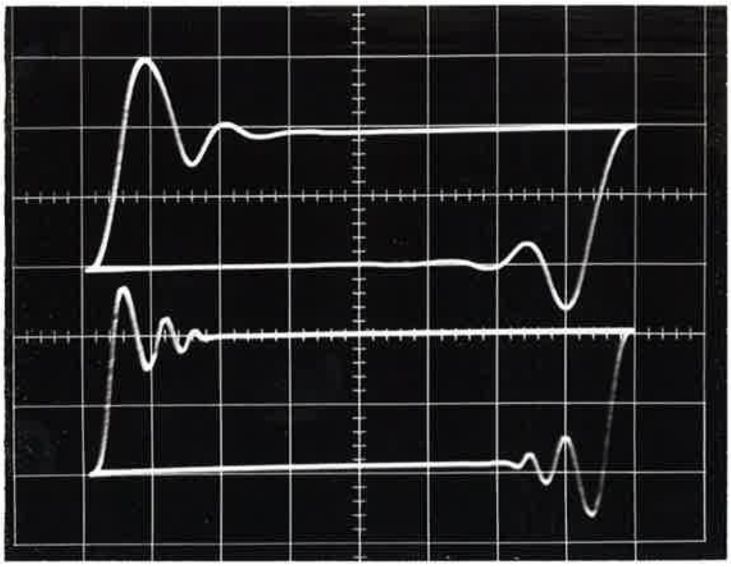


Foto 20 - Överst: Stegsvar för system med accelerationsåterkoppling. $20V_{in}$ $\tau = 0.4$ sek.
Underst: Stegsvar för system med fasavancerande nät $20V_{in}$ $\tau = 0.25$ sek
2V/cm x-led
2V/cm y-led
0.2 cps

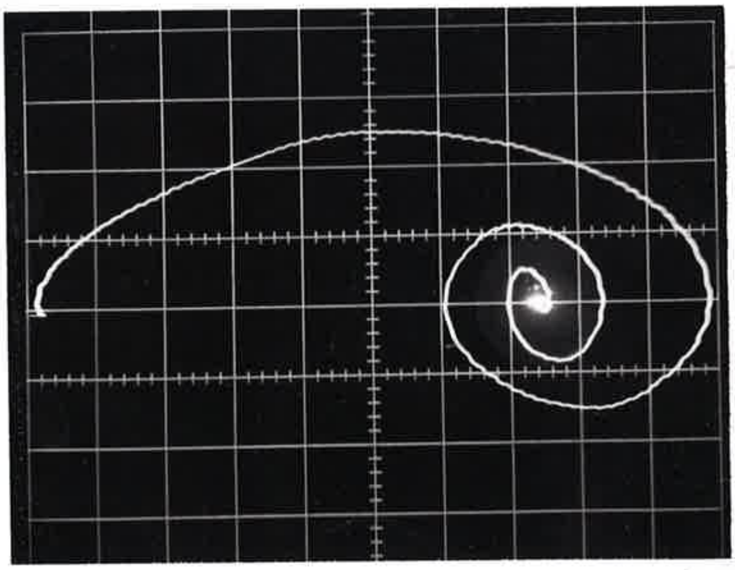
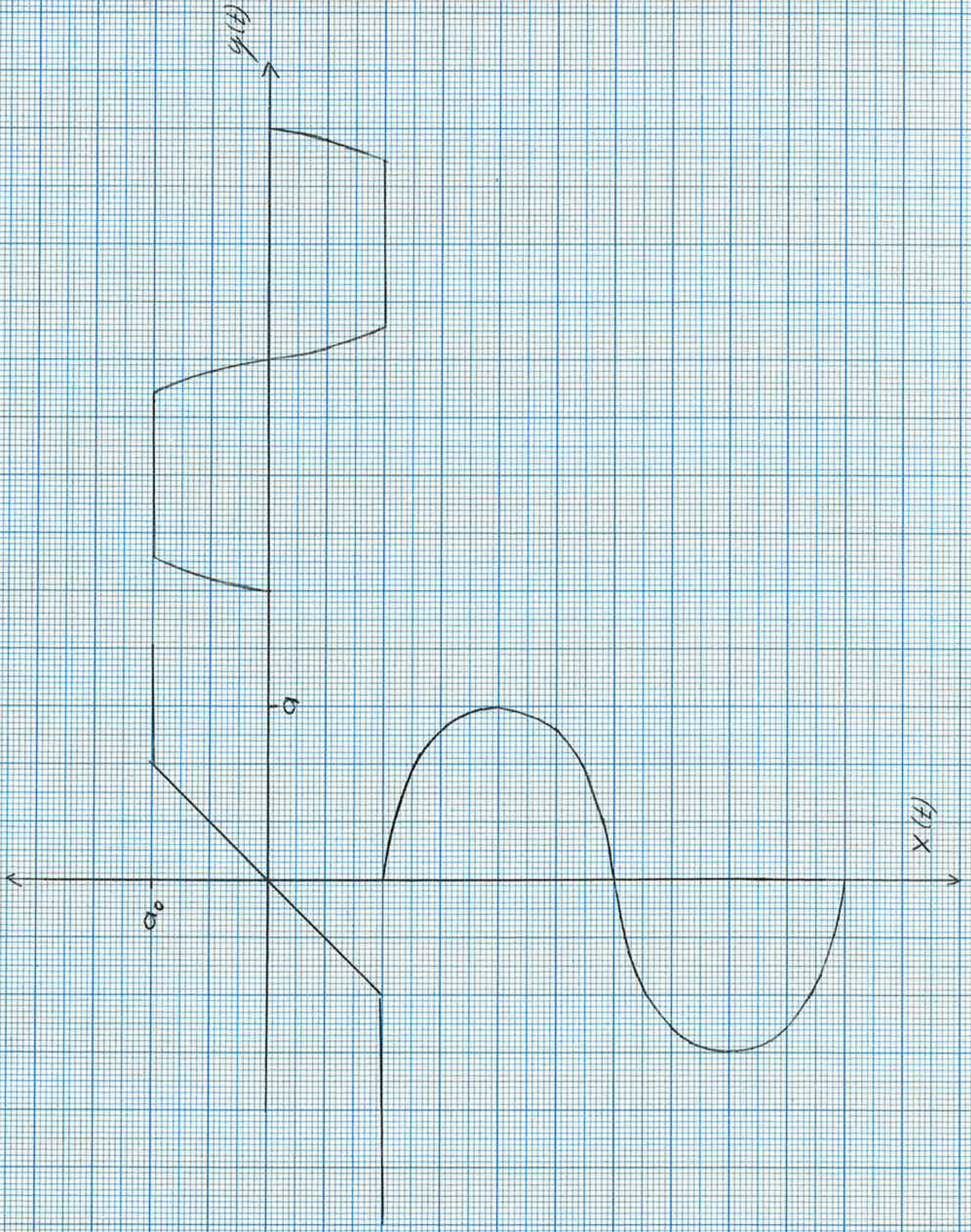


Foto 21 - Fasplan för system med fasavancerande nät 20 V_{in}
5V/cm i x-led
20V/cm i y-led

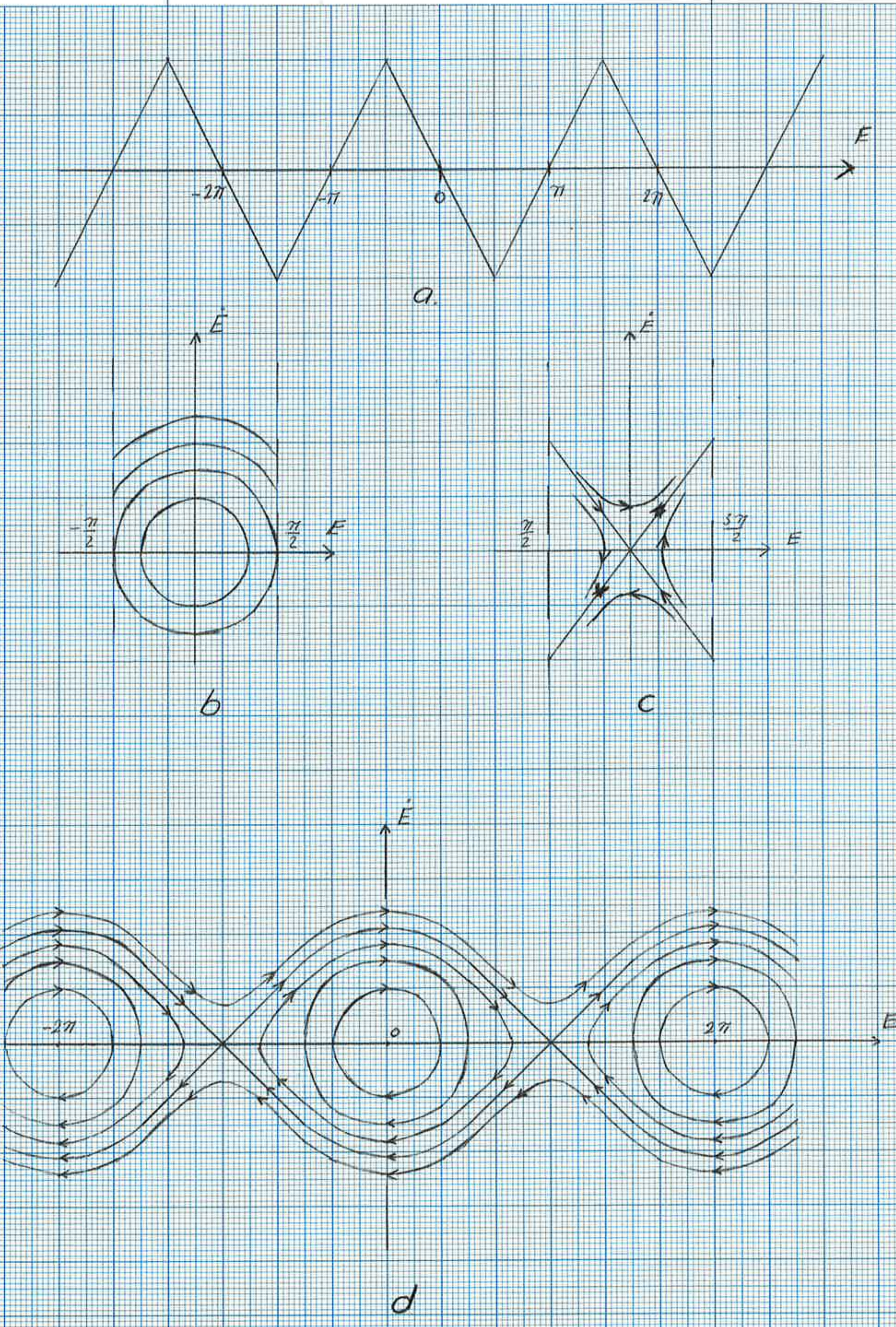
Ideell begränsning av signal

Diagram 11



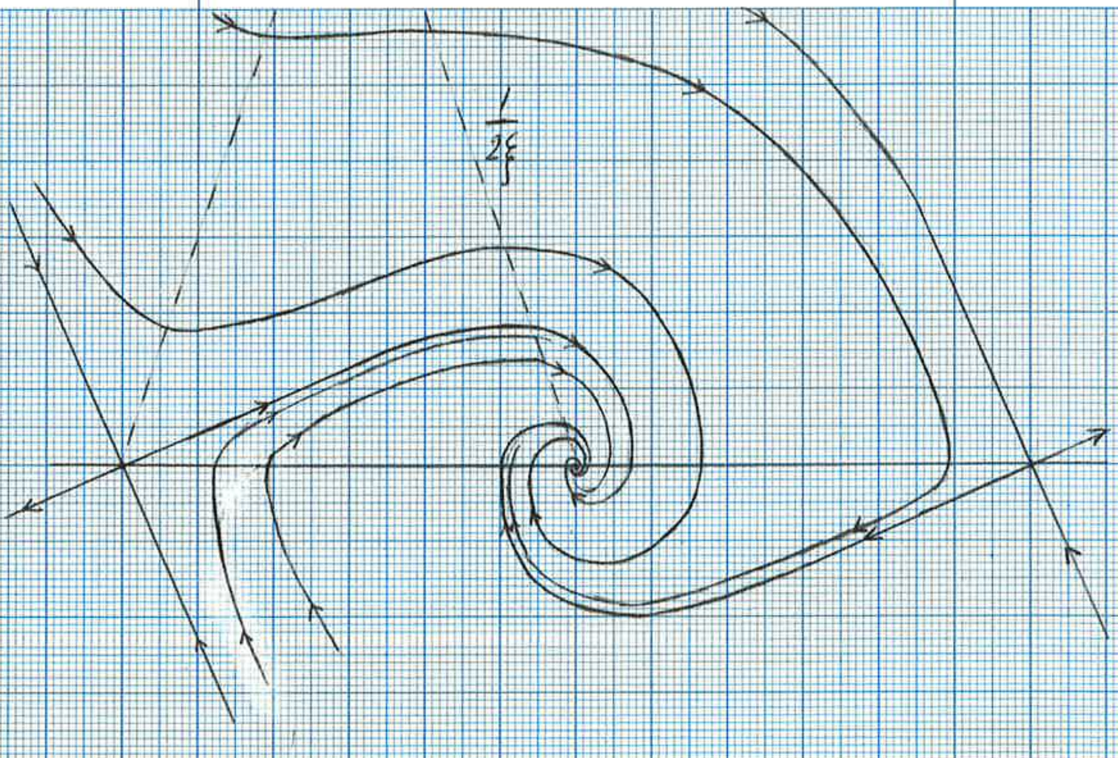
Trajektorier för odämpat system med kontinuerlig felkanal.

Diagram 12



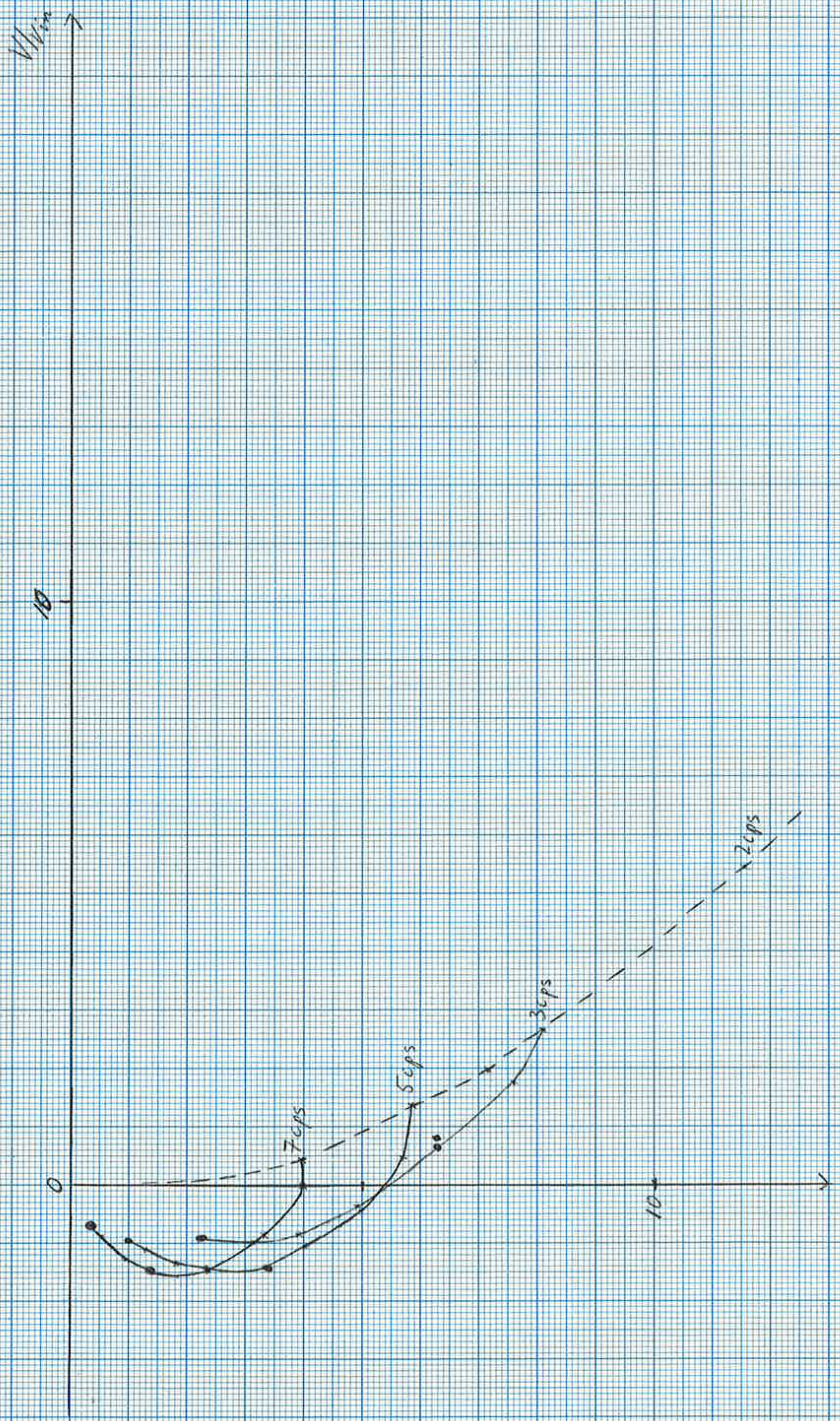
Trajektorier för dämpat system med kontinuerlig felsignal.

Diagram 13



Frekvenssvaret för $\frac{k_v}{(1+j\omega\tau_m)}$ vid överbelastning.

Diagram 14



LITTERATURFÖRTECKNING

1. ES130 Servo System
Provisional Instruction Book
Feedback LTD

2. Supplementary Instruction Book for ES130 Servo System
Feedback LTD

3. Instructional Servo System Type ES130
Maintenance Manual
Feedback LTD

4. Ahrendt & Savant, Servomechanism Practice, McGraw-Hill
Book Company, 1960

5. Gibson and Tuteur, Control System Components, McGraw-Hill
Book Company, 1958

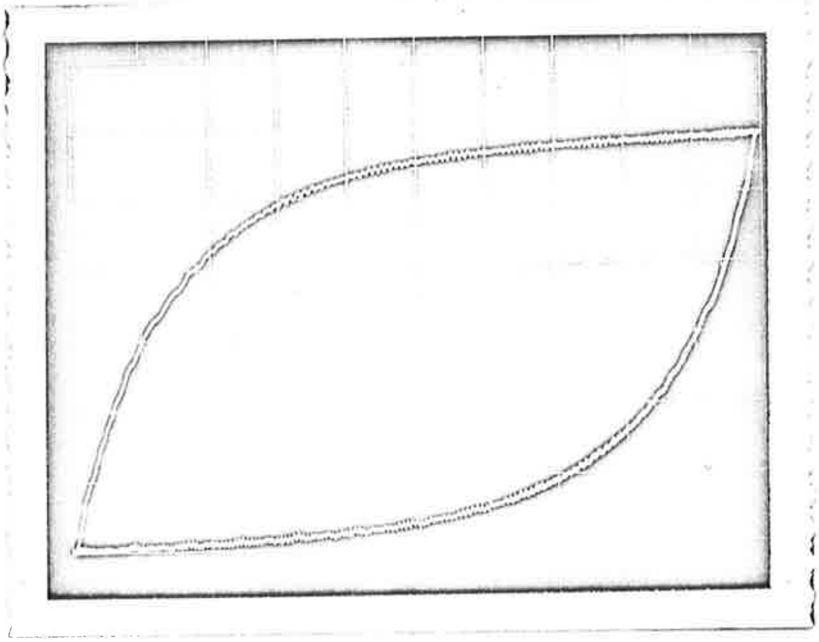


Foto 1 - Stegsvar för den öppna kretsen

$$Y_ö(s) = \frac{1}{1 + \tau_m s}$$

2V/cm i x-led, 0.5 cps , 5V/cm i y-led

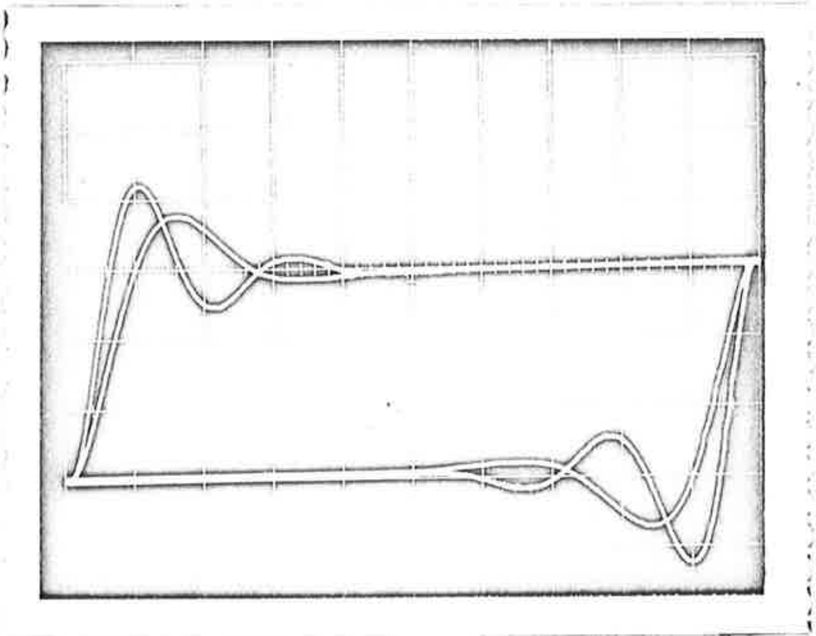


Foto 2 - Stegsvar för den slutna kretsen. Det snabba svaret

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 6.6s + 164}$$

Det långsamma svaret

$$Y_s(s) = \frac{79}{s^2 + 6.6s + 79}$$

15 Volt input, 2V/cm x-led 0.2 cps, 1V/cm y-led

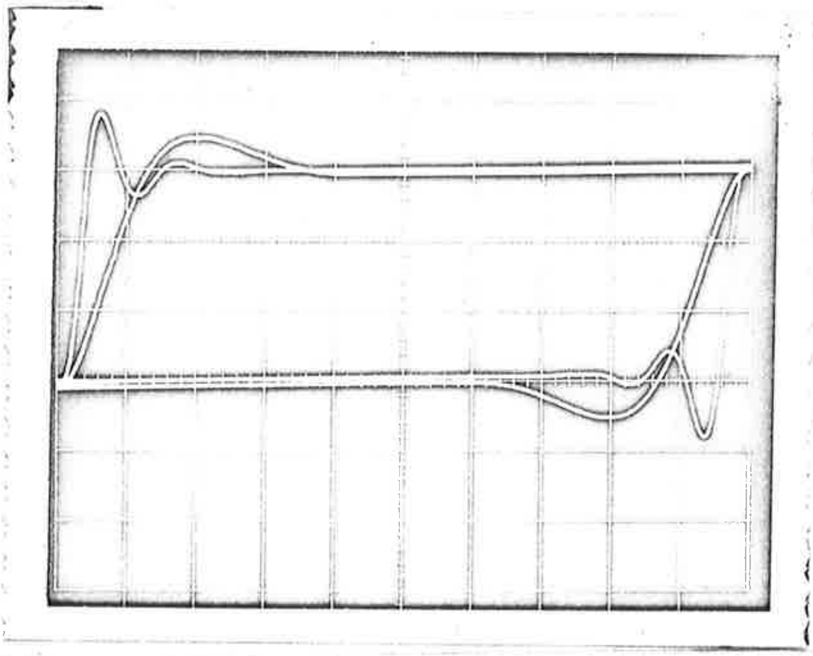


Foto 3 - Stegsvar för återkopplat system med $Y_s = \frac{Y_ö}{1 + Y_ö}$

$$Y_ö(s) = \frac{8.5}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)}$$ (långsamma svaret)

$$Y_ö(s) = \frac{37(1 + 0.1s)}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)^2}$$ (snabba svaret)

15 Volt input, 2V/cm i x-led, 0.2cps, 1V/cm i y-led.

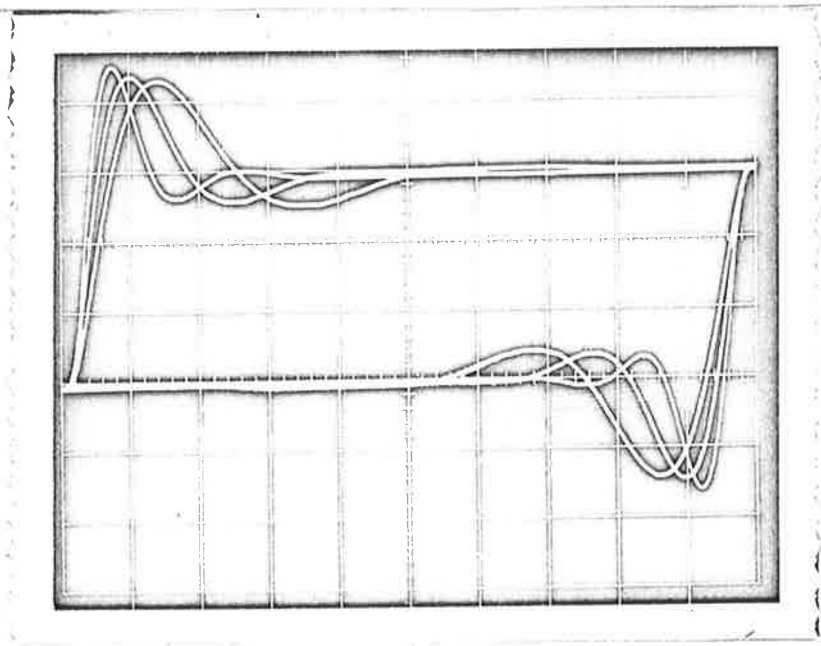


Foto 4 - Stegsvar för det slutna systemet där den öppna överföringsfunktionen är

$$Y_{ö}(s) = \frac{k \cdot 2(1 + 0.2s)(1 + 0.1s)}{s(1 + 0.152s)(1 + 2.2s)(1 + 0.02s)^2}$$

k = 250 snabbast

k = 150 mellersta

k = 100 långsammaste

15 Volt input, 2V/cm x-led, 0.2 cps, 1V/cm y-led

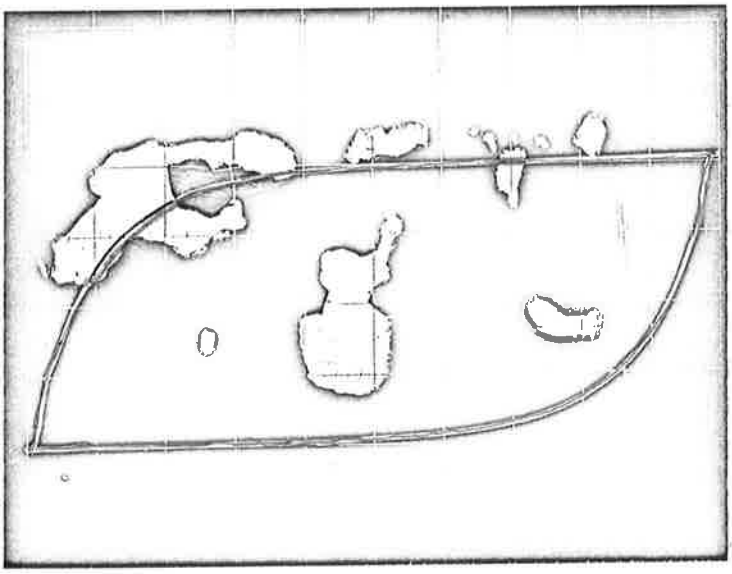


Foto 5 - Stegsvar för system med stor tackometeråterkoppling

$$G(s) = \frac{56.5}{s(1 + 0.152s)}$$

$$Y_s(s) = \frac{G(s)}{1 + (1 + 0.26s)G(s)}$$

20 Volt input, 2V/cm x-led, 0.2 cps, 1V/cm y-led.

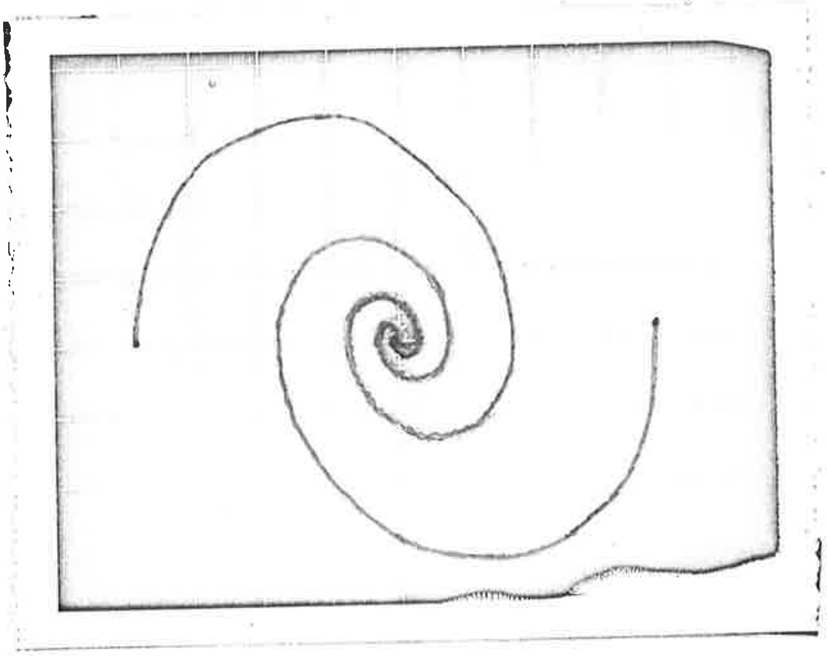


Foto 6 - Linjärt system med $K_v = 25$

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 6.6s + 164}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

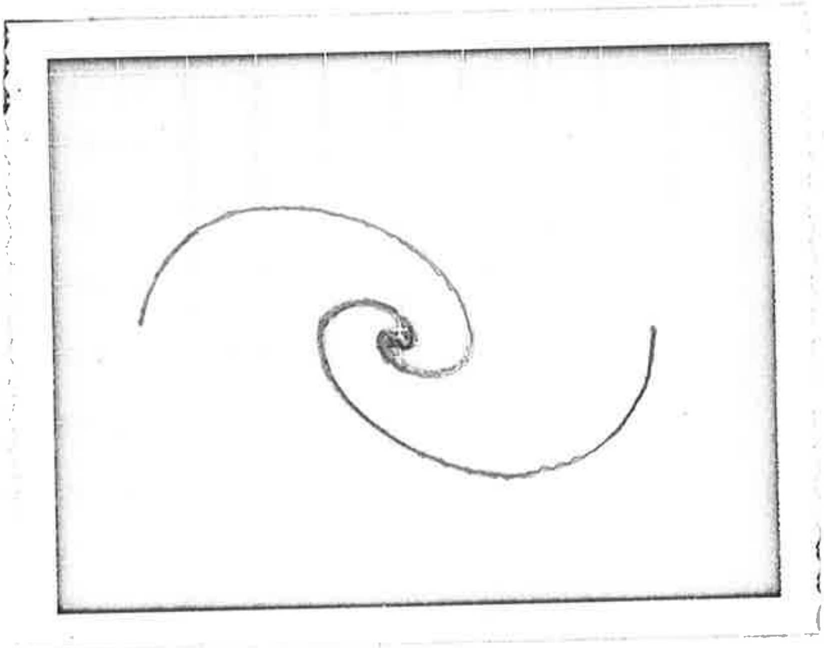


Foto 7 - Linjärt system med $K_v = 12$

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{79}{s^2 + 6.6s + 79}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

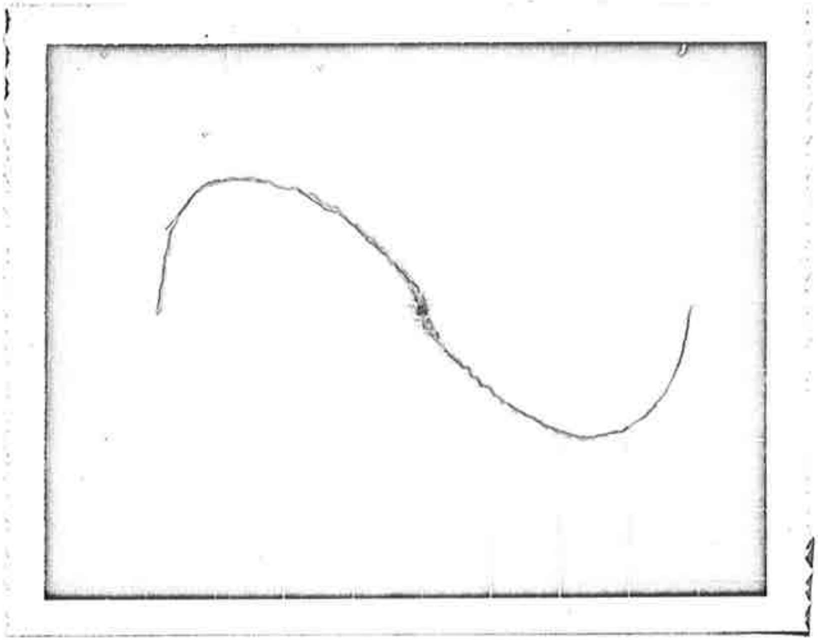


Foto 8 - Linjärt system med $K_v = 25$ och $\tau_t = 0.104$

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 23.6s + 164}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

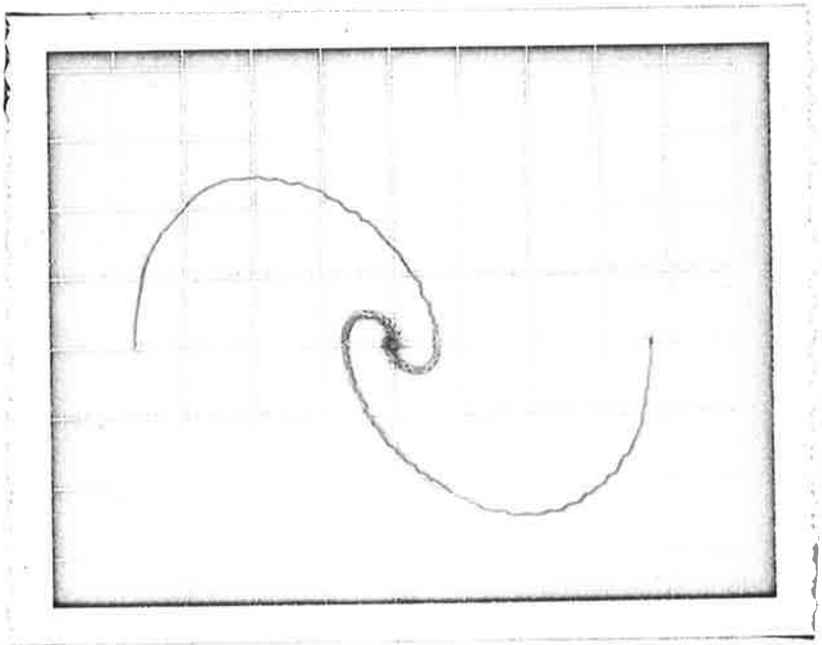


Foto 9 - Linjärt system med $K_v = 25$ och $\tau_t = 0.052$

$\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{164}{s^2 + 15.1s + 164}$$

5V/cm i x-led

5V/cm i y-led

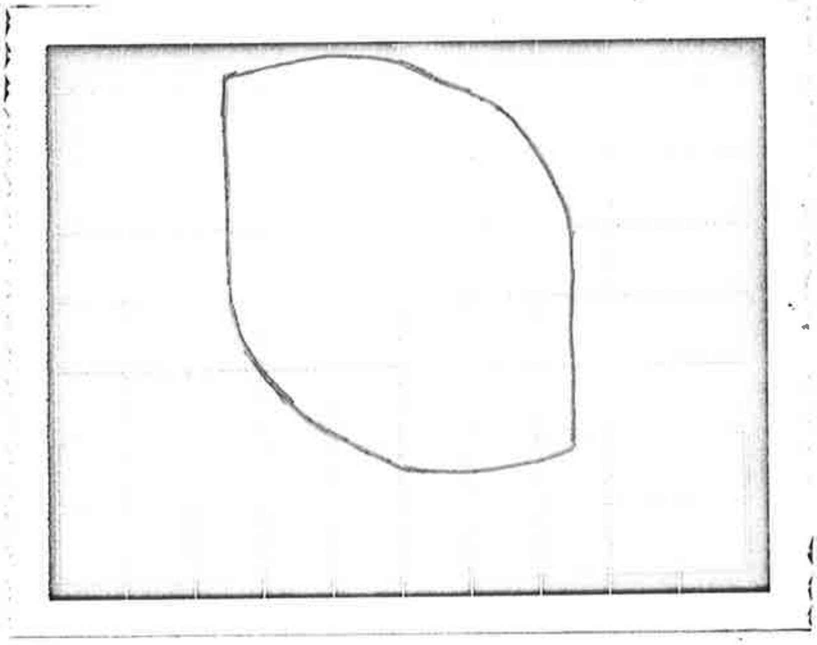


Foto 10 - Linjärt system med $K_v = 50$ $\Longleftrightarrow$

$$Y_s(s) = \frac{328}{s^2 + 6.6s + 328}$$ och 31° glapp

5V/cm i x-led

10V/cm i y-led

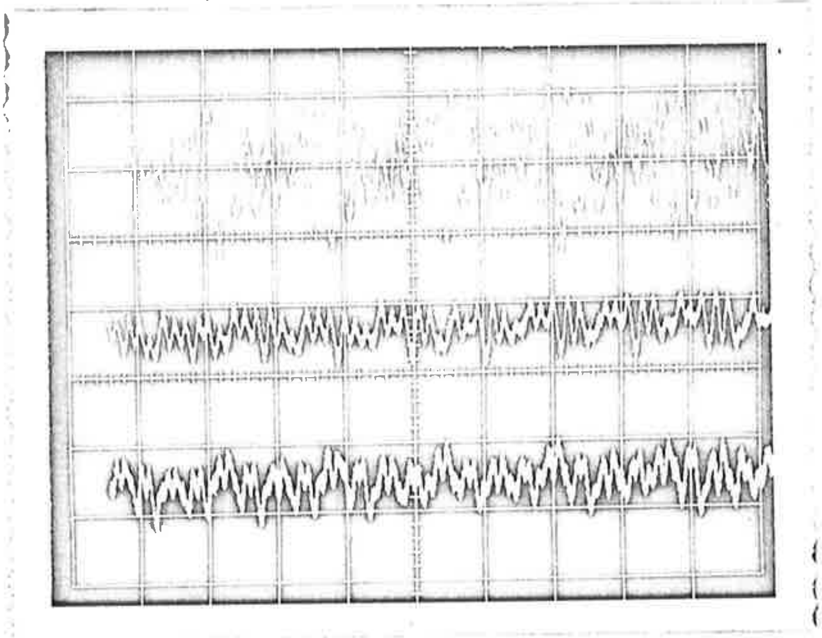


Foto 11 - Tackometerspänningen vid olika konstanta hastigheter.

Överst. Motorhast. 2rad/sek, 1 sek/cm i x-led, 0.5V/cm i y-led

Mitten Motorhast. 3 rad/sek, 1 sek/cm i x-led, 1V/cm i y-led

Underst Motorhast. 4 rad/sek, 1 sek/cm i x-led, 1 V/cm i y-led

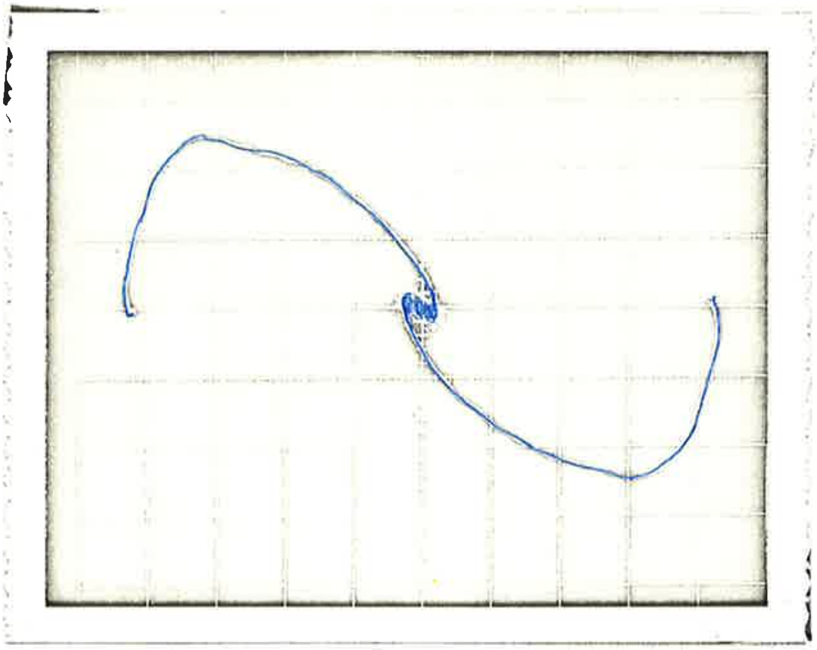


Foto 12 - Linjärt system med K_v = 30 och kompensation

$$Y_{ö}(s) = \frac{30(1 + 0.1s)}{s(1 + 0.152s)(1 + 0.02s)}$$

Motorn startar med glappet slutet.

5V/cm i x-led, 5V/cm i y-led.

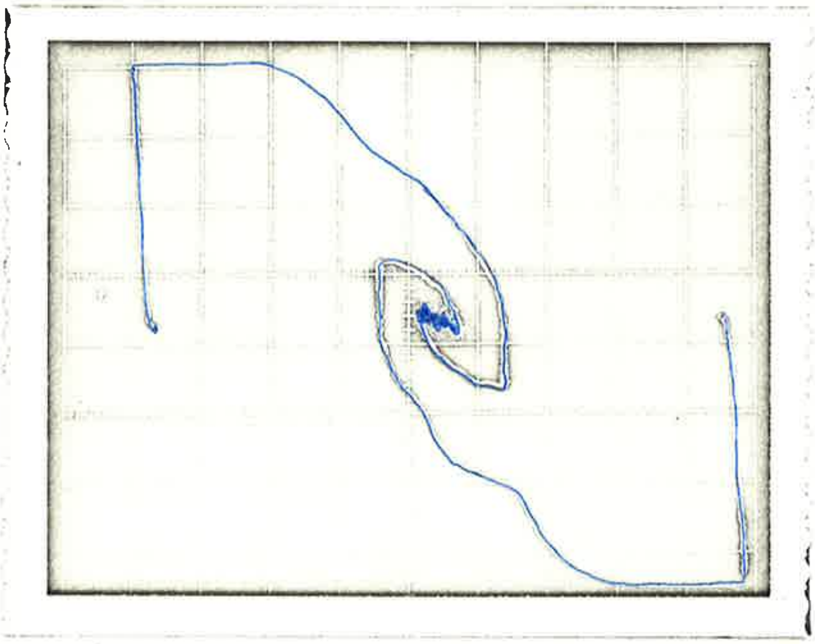


Foto 13 - Samma system som för foto 12 men motorn startar med glappet öppet.

5V/cm i x-led, 5V/cm i y-led.

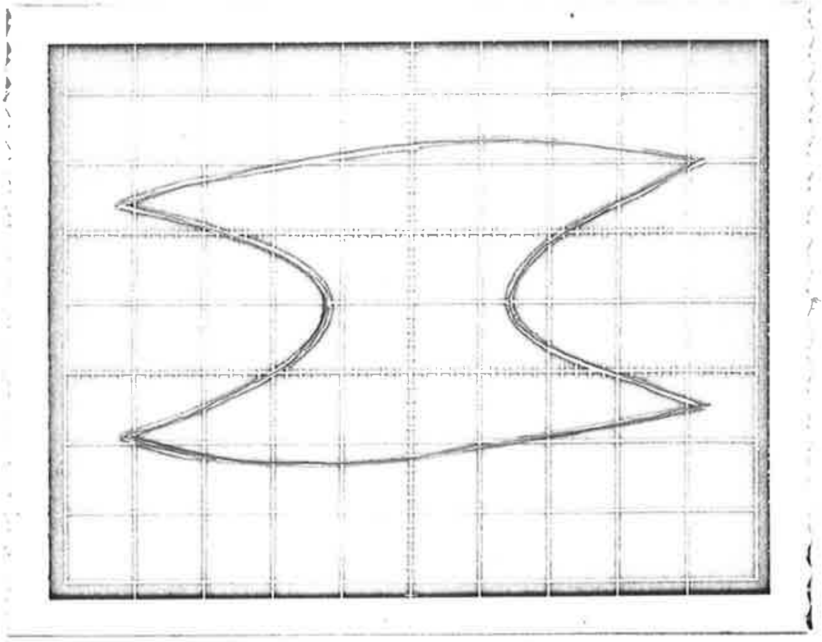


Foto 14 - Linjära överföringsfunktionen är

$$Y_s(s) = \frac{658}{s^2 + 6.6s + 658}$$

Överbelastning orsakar Limit cycle. Felet i x-led 10V/cm. Hastighet i y-led 20V/cm

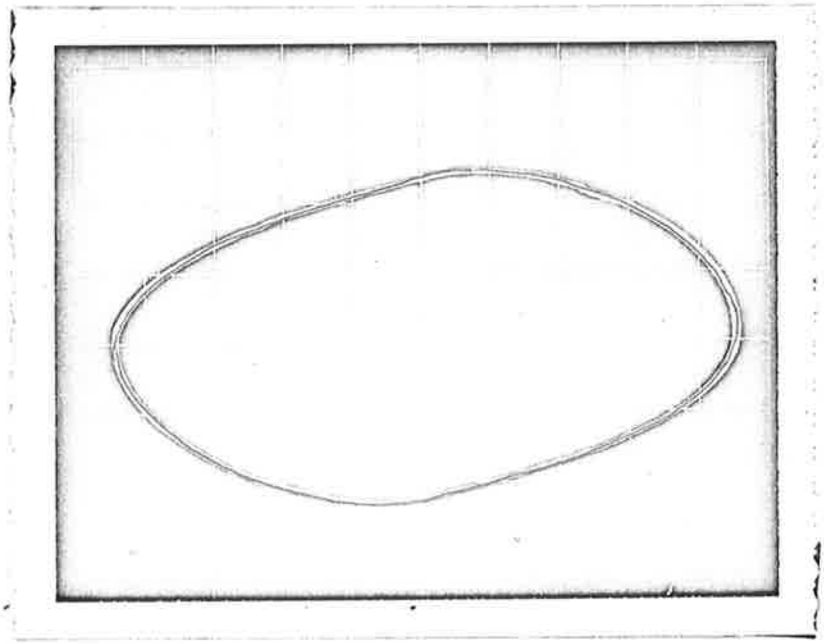


Foto 15 - Samma som foto 14 men positionen i x-led, 2V/cm i stället för felet

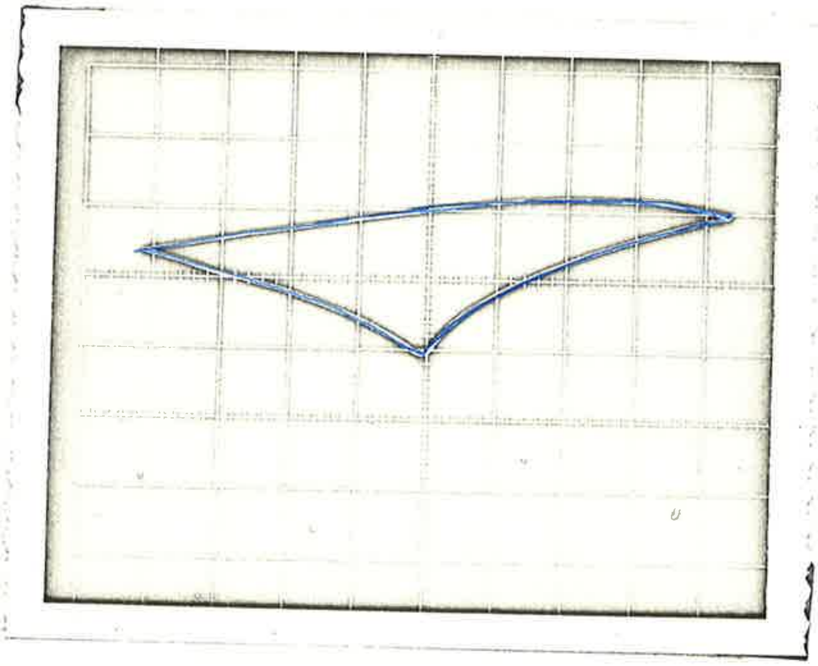


Foto 16 - Samma som foto 14 fast med större återkoppling

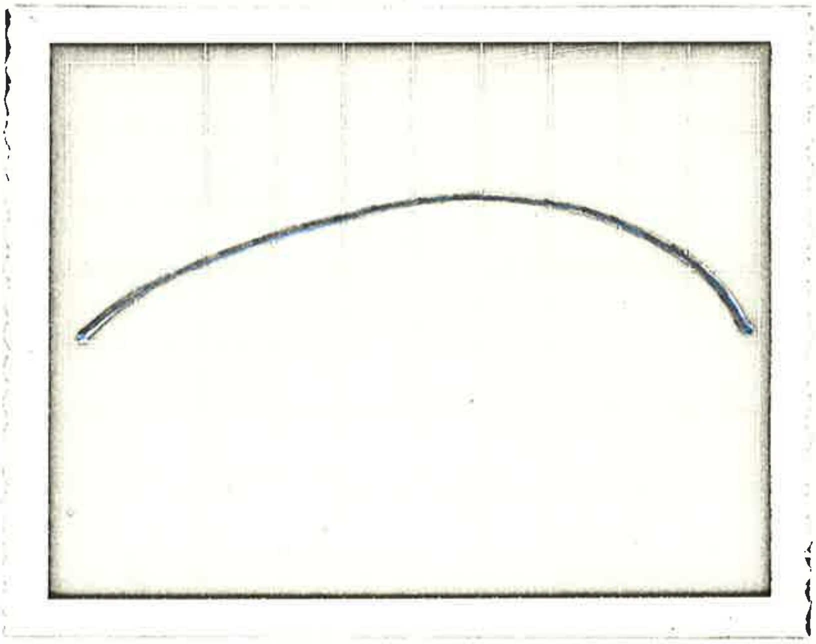


Foto 17 - Samma som foto 15 fast med större återkoppling

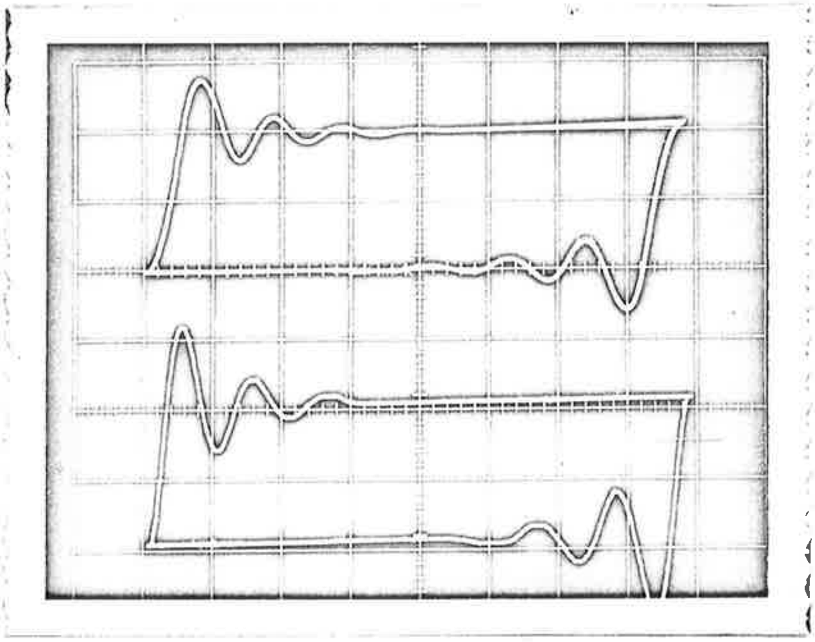


Foto 18 - Stegsvar för systemet

$$Y_s(s) = \frac{658}{s^2 + 6.6s + 658} \quad \text{med Limiter:}$$

Överst: 20V in, 0.2 cps ger τ = 0.36 2V/cm i x-led
2V/cm i y-led

Underst: 5V in, 0.2 cps ger τ = 0.25 2V/cm i x-led
0.5V/cm i y-led

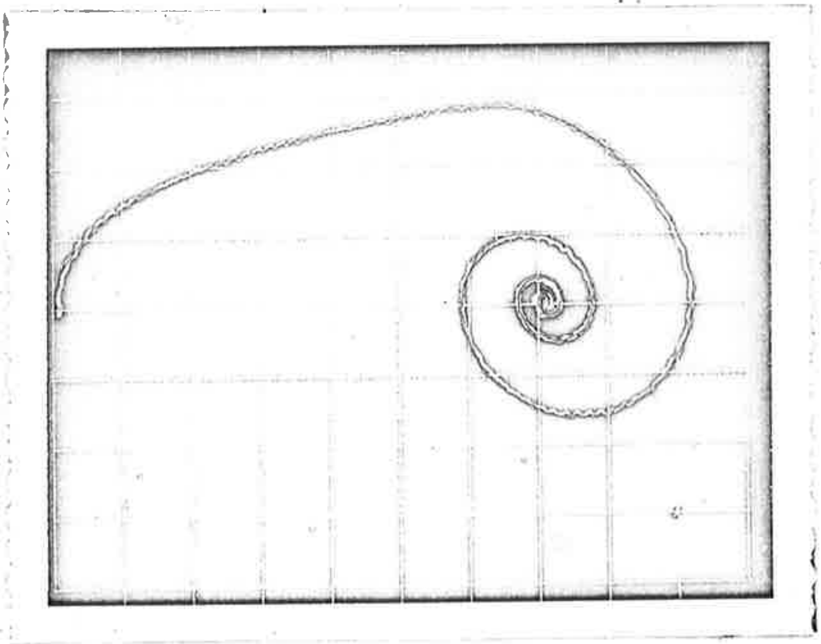


Foto 19 - Fasplan för samma system som foto 18 med $20V_{in}$,
5V/cm i x-led
5V/cm i y-led

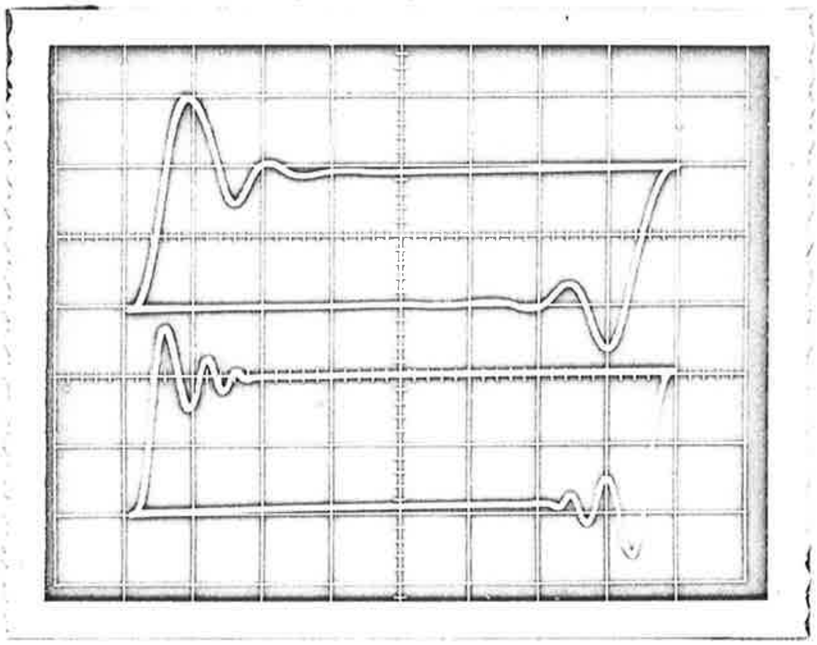


Foto 20 - Överst: Stegsvar för system med accelerationsåterkoppling. 20V_{in} τ = 0.4 sek.
Underst: Stegsvar för system med fasavancerande nät 20V_{in} τ = 0.25 sek
2V/cm x-led
2V/cm y-led
0.2 cps

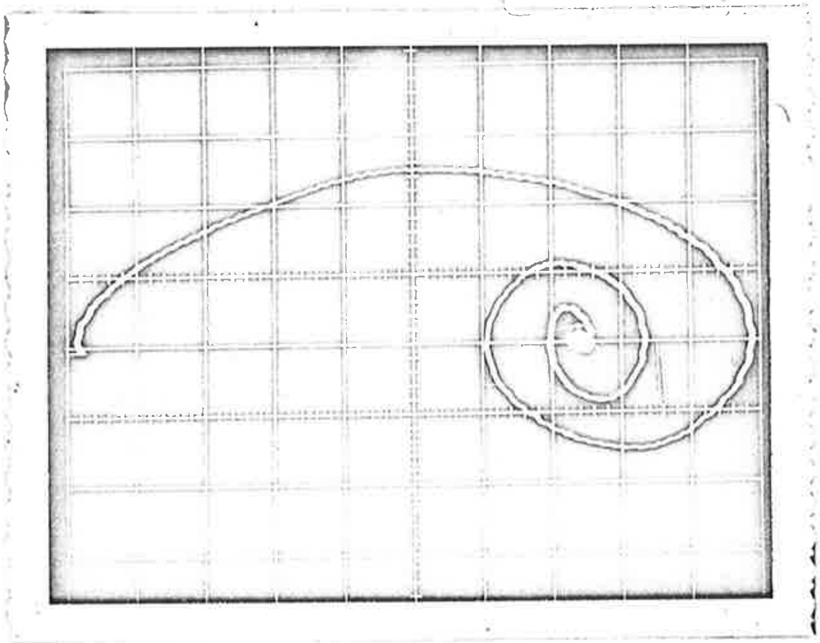


Foto 21 - Fasplan för system med fasavancerande nät 20 V_{in}
5V/cm i x-led
20V/cm i y-led

Herne 8.8.66 (1)

1. Undersökning av det öppna systemets dynamik.

Det öppna systemets överföringsfunktion bestämdes med två metoder

- Frekvensanalys
- Stegsvarsanalys.

Resultaten voro (Inställningar!)

Y_1 =

Y_2 =

Dessutom bestämdes känslighetskonstanten genom direkt analys. Då erhölls

Dessa resultat gäller för full fors (pot K_e i botten)

2. Undersökning av det slutna systemet

Det slutna systemets dynamik undersöktes med frekvensanalys och stegsvarsanalys för två parametrar

A.

B.

Frekvensanalysen gav

resonansfrekvens

M (resonanstopp)

Beräkningar av det öppna systemets dynamik enligt ( ) ger

{

Vid mätningar på stegsvaret erhölls följande värden på översläng

Om

A 25.8 %

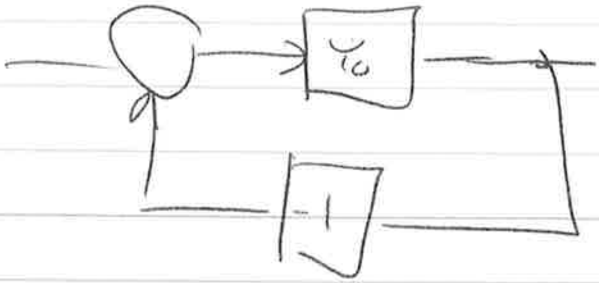
B 45,8 %

En teoretisk analys baserad på det öppna systemets dynamik ger

A

B

3



$$Y_S = \frac{Y_0}{1+Y_0} = \frac{k_v}{s(1+sT)\left(1+\frac{k_v}{s(1+sT)}\right)}$$

$$= \frac{k_v}{k_v + s + s^2 T}$$

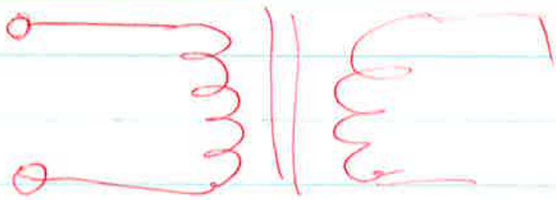
$$= \frac{k_v/T}{s^2 + \frac{1}{T}s + \frac{k_v}{T}} \equiv \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2}$$

$$\omega_0^2 = \frac{k_v}{T} = \frac{12}{0.15} = \frac{4 \cdot 20}{0.05 \cdot 20} = 80$$

$$2\zeta\omega_0 = \frac{1}{T}$$

$\omega_0 = 9$ rad/sek

$$\zeta = \frac{1}{2\omega_0 T} = \frac{1}{2 \cdot 9 \cdot 0.15} = \frac{1}{2.7} = 0.3[illegible]$$



Experiment med olinjärt servosystem

Arbetet omfattar experiment och beräkningar på ett elo

Arbetet ~~ta~~ består i att genomföra en serie experiment med ett befintligt elektromekaniskt servo-system. Följande ~~Experimenten~~

Bestäm av överföringsfunktion för det ~~detta~~ öppna systemet. med frekvensanalys