

**STUDIER AV DIGITALISERADE
YTTERLOOPSFUNCTIONER VID
AUTOMATSTYRNING AV
FLYGPLAN.**

KENNETH ANDERINI

RAPPORT RE-98, oktober 1971

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET

UTLÄNAS EJ

Fördelning Se nedan	Datum sept 1971	Utgåva	Sida INLEDNING
	Utfärdare K. Anderini/ Kenneth Anderini		

Arende

EXAMENSARBETE. STUDIER AV DIGITALISERADE YTTERLOOPSFUNCTIONER VID AUTOMATSTYRNING AV FLYGPLAN.

Sammanfattning

Denna rapport behandlar egenvärdesstudier av ett styrautomat-system där ytterlooparna kopplats via dator. Resultaten ansluter sig väl till simulatorstudier i SIM37T som utförts tidigare.

Egenvärdena synes inte påverkas nämnvärt av måttliga fördröjningar i den digitala delen av systemet.

Brief summary

This report deals with eigenvalue studies of an automatic flight control system.

The results from the eigenvalue studies do not show any differences from studies in SIM 37-T.

The eigenvalues do not show any dependance of timedelays in the digital part of the system.

Resultat

Resultat och underlag för egenvärdesstudien återfinns i appendix 1 och 2.
Resultaten har sammanställts och återfinnes under rubriken resultatsammanfattning.

Fördelning: Lunds tekniska högskola, Institutionen för reglerteknik/3

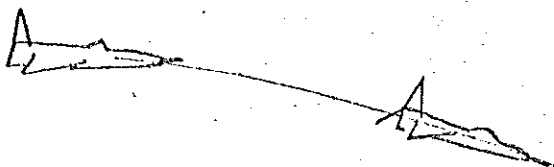
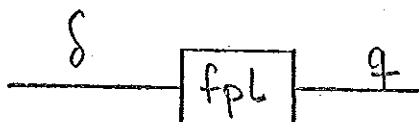
FS/FSR FSRA/2 FSRB PSRD FSS FSSC FSSQ-2/3 FSSH

FKLA-5 K. Anderini/4

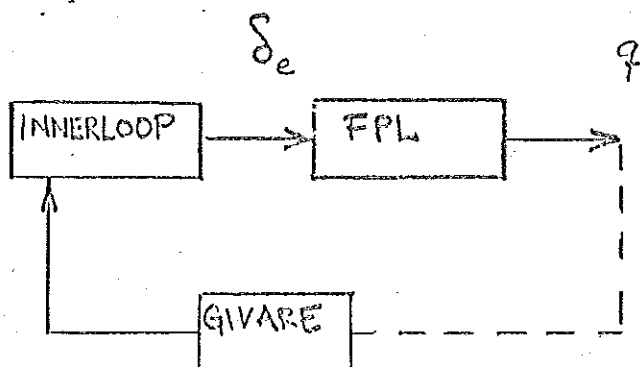
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	SID
PRESENTATION AV PROBLEMEN	1
Egenvärdesstudier	2
Teori	2
Egenvärdesprogrammet från Honeywell	4
UPPSTÄLLNING AV MATRISPOLYNOM OCH BERÄKNING AV EGENVÄRDEN	11
<u>Tipp</u> led, innerloop	11
Beräkningsmetodik	12
<u>Tipp</u> led, ytterloop	17
Linjärisering	18
Omvandling samplad kontinuerlig form	19
Beräkningsmetodik	20
<u>Gir-rolled</u>	26
Blockschema	26
Uppställning av matrispolynom	26
DIGITALISERINGENS INVERKAN	31
RESULTATSA'MMANFATTNING	36
APPENDIX 1 <u>Tipp</u> kanal Egenvärden, blockschema, ekvationsunderlag, matrispolynom.	A
APPENDIX 2 <u>Girroll</u> kanal Egenvärden, blockschema, ekvationsunderlag, matrispolynom.	B
REFERENSER	C
VARIABELLISTA	D

PRESENTATION AV PROBLEMEN

Betrakta ett flygplan som för enkelhets skull flyger i planflykt. Om man ändrar på ett eller flera roder (δ) på flygplanet kommer flygplanets läge eller bana att ändras. Det kan t ex vara så att man ändrar på höjdrodret, man faller det neråt; flygplanet kommer då inte bara att flyga rakt fram utan röra sig med en vinkelhastighet kring y-axeln (q) och få en bana, så att det flyger mot marken.

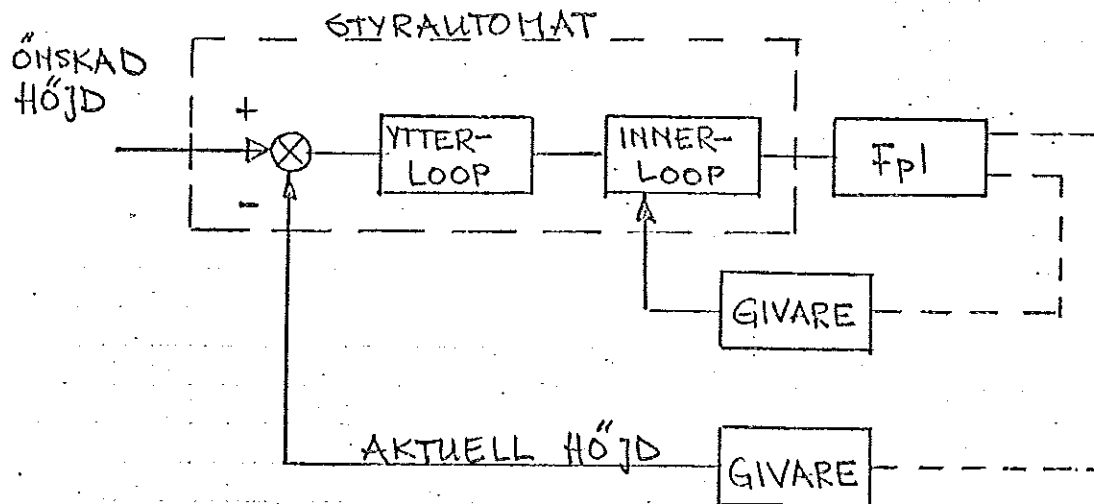


Genom att placera en mätanordning (givare) i flygplanet kan man mäta t ex ändringen i flygplanets vinkelhastighet och skicka in den i någon form av styranordning, som talar om, hur man bör styra höjdrodret för att förbättra flygplanets flygegenskaper.



Det är kanske önskvärt att man vill hålla flygplanet på en viss bestämd höjd (automatstyrning av höjden).

Det är naturligt att man på samma sätt med hjälp av givare försöker mäta storheter, som skickas in i någon form av styranordning.



Om man kopplar ytterloopen via en dator kan man säga att man har digitaliserade ytterloopar.

På Saab-Scania har man gjort simuleringar för att studera digitaliserade ytterloopsfunktioner. För att få en fullständig bild av sådana system kan man göra egenvärdesstudier.

Egenvärdesstudier

Saab-Scania har köpt ett digitalt egenvärdesprogram från Honeywell, Minneapolis, USA. Med hjälp av programmet har man möjlighet att studera poler och nollställen hos överföringsfunktioner, rotorter, frekvenssvar och rötter till karakteristiska ekvationer hos återkopplade system.

Egenvärdesprogrammet är lagrat i dator CDC 6600, i Stockholm och körningar kan göras från terminal i Linköping.

Teori

En linjär ordinär differentialekvation med konstanta koefficienter kan skrivas

$$\frac{d^3x}{dt^3} + \varphi_2 \frac{d^2x}{dt^2} + \varphi_1 \frac{dx}{dt} + \varphi_0 x = f(t)$$

Den homogena ekvationen kan i operatorform skrivas

$$(s^3 + \varphi_2 s^2 + \varphi_1 s + \varphi_0) x = 0$$

Sätt karakteristiska polynomet i s lika med noll och lös den karakteristiska ekvationen

$$\lambda^3 + c_2 \lambda^2 + c_1 \lambda + c_0 = 0$$

Rötterna kan vara reella eller komplexa men totala antalet måste vara lika med graden hos karakteristiska ekvationen.

Varje reell rot svarar mot en term i transienta lösningen av typen $Ae^{\lambda t}$ och varje komplext par svarar mot en term av typen $Be^{at} \cos(\omega t + \varphi)$. Den fullständiga transienta lösningen är summan av alla sådana termer. Den totala lösningen är summan av transienta och stationära lösningarna.

Om man vill undersöka huruvida det finns icke-stabila rötter kan man alltså lösa den karakteristiska ekvationen och se om någon av rötterna är positiv eller har positiva realdelar.

Om det system man undersöker beskrivs med flera differential-ekvationer i fler än en variabel kan de olika ekvationerna reduceras till en enda som löses enligt angivet sätt ovan. Det kan ofta vara lämpligt att använda sig av matriser och determinanter.

Exempel: Ett system beskrivs av

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} + A \frac{dx}{dt} + B y = 0 \\ \frac{dy}{dt} + C y + D x = f(t) \end{cases}$$

På operatorform

$$\begin{cases} (s^2 + As) x + B y = 0 \\ D x + (s + C) y = f(t) \end{cases} \quad (x)$$

Om man tillämpar Cramers regel får man

$$x = \frac{\begin{vmatrix} 0 & B \\ f(t) & s+C \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} s^2 + As & B \\ D & s+C \end{vmatrix}}$$

$$x = \frac{-B f(t)}{(s^2 + As)(s + C) - BD}$$

$$\frac{x}{f(t)} = \frac{-B}{(s^2 + As)(s + C) - BD}$$

$$(s^3 + (A + C)s + ACs - BD)x = -B f(t)$$

Det framgår här tydligt att genom att lösa determinanten på vänstra sidan i (x) får man direkt den karakteristiska ekvationen.

Egenvärdesprogrammet från Honeywell

I egenvärdesprogrammet räknar man fram egenvärdena till matrispolynomet

$$A(s) = A_0 + A_1s + A_2s^2 + \dots + A_ms^m \quad (1)$$

genom att lösa

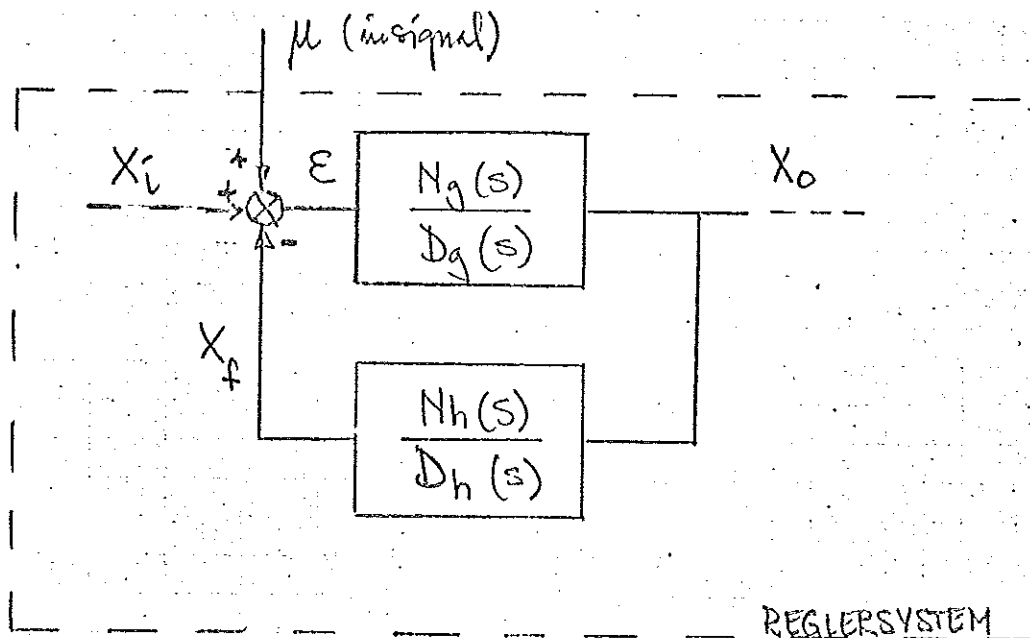
$$\det A(s) = 0 \quad (2)$$

I (1) är matriserna A_R konstanta och av ordningen n, ett matrispolynom såsom (1) har graden m och ordningen n.

Lösningarna till (2) får man genom att reducera $A(s)$ till motsvarande klassiska egenvärdesproblem. Det klassiska problemet löses genom Q-R transformation (ref 1).

För att definiera en överföringsfunktion i programmet måste man alltså skriva det på matrisform av typen (1).

Exempel



N = numerator, täljare

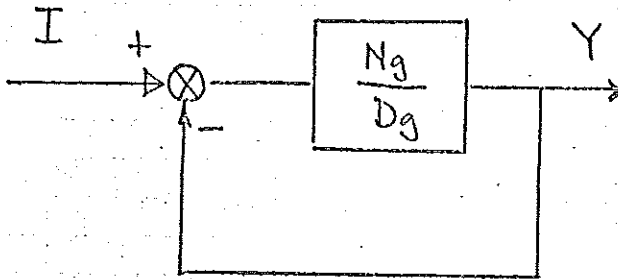
D = denominator, nämnare

Motsvarande matris (egentligen matrispolynom) blir

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\
 -N_g(s) & D_g(s) & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots \\
 0 & -N_h(s) & 0 & D_h(s) & \dots & \dots & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \varepsilon \\
 x_o \\
 x_i \\
 x_f \\
 \vdots \\
 \vdots
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 \mu \\
 0 \\
 0 \\
 \vdots \\
 \vdots
 \end{bmatrix}
 \quad (3)$$

Genom att lösa $\det [A(s)] = 0$ får man alltså rötterna till karakteristiska ekvationen för ett slutet system.

Antag nu att vi har ett system som ser ut på följande sätt:

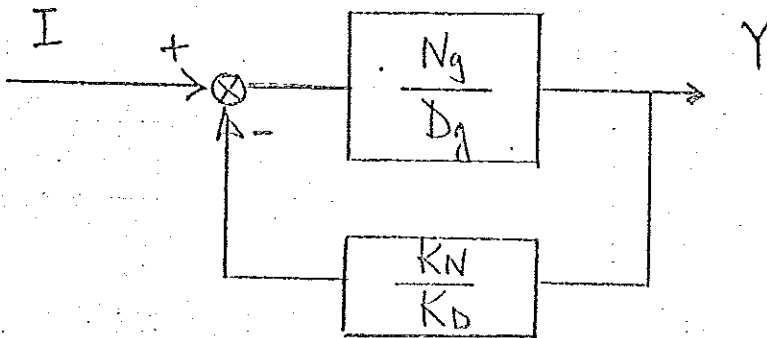


$$\frac{Y}{I} = \frac{\frac{N_g}{D_g}}{1 + \frac{N_g}{D_g}}$$

Vill man få reda på egenvärdena löser programmet den karakteristiska ekvationen dvs

$$1 + \frac{N_g}{D_g} = 0$$

Om man modifierar systemet på följande sätt



blir den karakteristiska ekvationen

$$1 + \frac{N_g}{D_g} \cdot \frac{K_N}{K_D} = 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$D_g \cdot K_D + N_g \cdot K_N = 0$$

Genom att sätta

$$\left. \begin{array}{l} K_N = 0 \\ K_D = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow Dg \text{ känd}$$

och

$$\left. \begin{array}{l} K_N = 1 \\ K_D = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow Ng \text{ känd}$$

Här finns alltså möjlighet att bestämma överföringsfunktionen till ett öppet system genom att sluta med en loop som har förstärkningen

$$\frac{K_N}{K_D}$$

och ena gången välja $\left\{ \begin{array}{l} K_N = 0 \\ K_D = 1 \end{array} \right.$

och andra gången $\left\{ \begin{array}{l} K_N = 1 \\ K_D = 0 \end{array} \right.$

Detta kan lätt visas med matrisräkning. Betrakta ekvation (3). Vi kan för enkelhets skull skriva den såsom

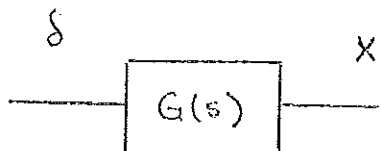
$$\begin{bmatrix} p_{11}(s) & p_{12}(s) \\ p_{21}(s) & p_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \delta \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

Överföringsfunktionen $\frac{x}{\delta}$ erhålls omedelbart genom tillämpning av Cramers regel enligt nedanstående.

$$\frac{x}{\delta} = \frac{D_x}{D}$$

$$D = \det \begin{bmatrix} p_{11}(s) & p_{12}(s) \\ p_{21}(s) & p_{22}(s) \end{bmatrix}$$

$$D_x = \det \begin{bmatrix} U_1(s) & p_{12}(s) \\ U_2(s) & p_{22}(s) \end{bmatrix}$$



När man gör återkoppling med $-\frac{K_N}{K_D}$ har man

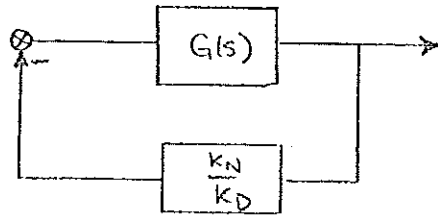
$$\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & -U_1 \\ p_{21} & p_{22} & -U_2 \\ K_N & 0 & K_D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \delta \end{bmatrix} = 0$$

Sätter vi nu $\begin{cases} K_N = 0 \\ K_D = 1 \end{cases} \Rightarrow$

$$\det \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & -U_1 \\ p_{21} & p_{22} & -U_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \det \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} = D$$

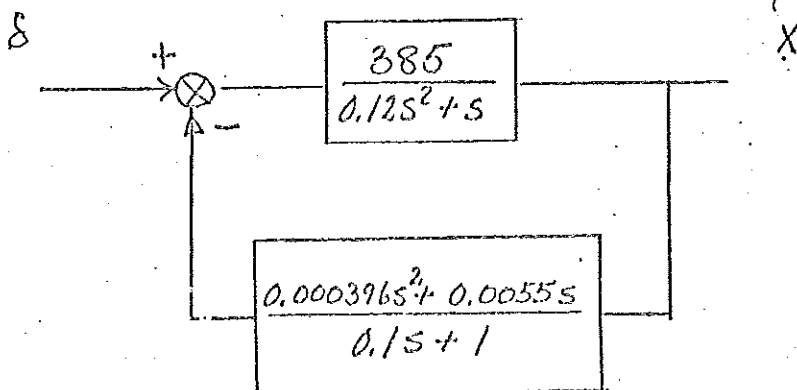
$$\begin{cases} K_N = 1 \\ K_D = 0 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\det \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & -U_1 \\ p_{21} & p_{22} & -U_2 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \det \begin{bmatrix} U_1 & p_{12} \\ U_2 & p_{22} \end{bmatrix} = D_x$$

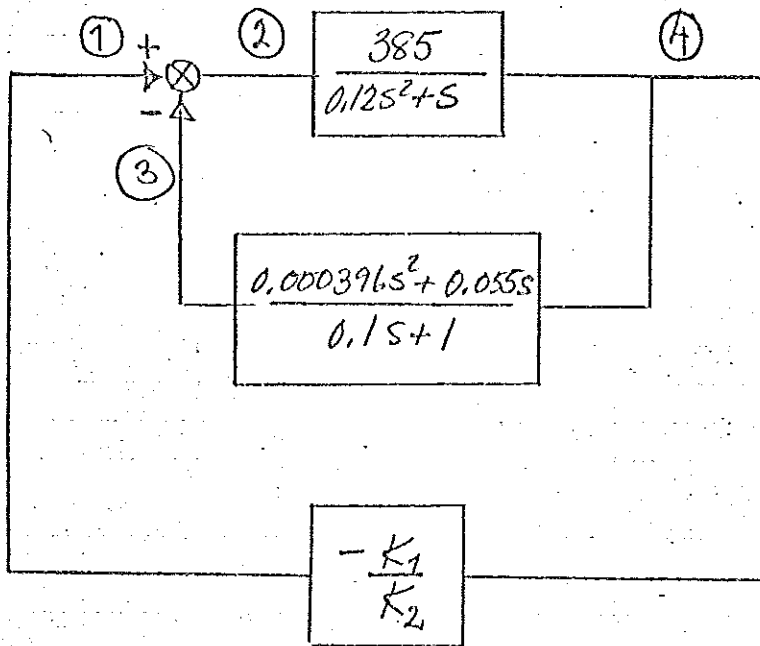


Exempel

Man vill få reda på hur överföringsfunktionen $\frac{x}{\delta}$ ser ut



Inför då den slutna loopen med förstärkningen $-\frac{K_1}{K_2}$.



Följande ekvationssamband gäller:

EKV. 1

$$\textcircled{1} - \textcircled{3} - \textcircled{2} = 0$$

EKV. 2

$$(0.12s^2 + s) \textcircled{4} - 385 \textcircled{2} = 0$$

EKV. 3

$$(0.1s + 1) \textcircled{3} - (0.000396s^2 + 0.0055s) \textcircled{4} = 0$$

EKV. 4

$$\textcircled{1} K_2 + \textcircled{4} K_1 = 0$$

Man sätter upp följande matrispolynom:

	①	②	③	④
1.	1	-1	-1	
2.		-385		$0.12s^2$ s
3.			0.1s 1	$-0.000396s^2$ $-0.0055s$
4.	K_2			K_1

MATRISORDNING

```

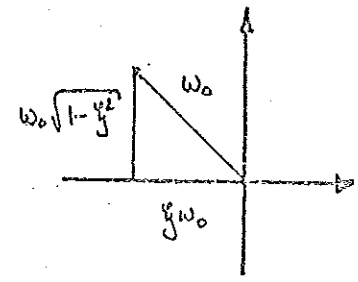
/MATRIX 4 2 ← HÖGSTA GRAD PÅ S
X EQUATION ONE
0 1 1 1.0 1 2 -1.0 1 3 -1.0
X EQUATION TWO
2 2 4 0.12
1 2 4 1.0
0 2 2 -385.0
X EQUATION THREE
2 3 4 -0.000396
1 3 3 0.1 3 4 -0.0055
0 3 3 1.0
X DENOMINATOR (= NÄMNARE)
0 4 1 1.0 4 4 0.0
/EIGENVALUES REALDEL IMAGINÄRDEL
1 0.000000 0.000000
3 -15.519167 4.352830 .962844 16.118054

LEAD COEFFICIENT -.120000000E-01

X NUMERATOR (= TÄLJARE)
0 4 1 0.0 4 4 1.0
/EIGENVALUES
1 -10.000000 0.000000

LEAD COEFFICIENT -.385000000E+02

STOP .679 SECONDS
    
```



Övertörföringsfunktionen blir

$$\frac{X}{\delta} = \frac{-38.5 (s+10)}{0.012 s (s^2 + 2 \cdot 0.962844 \cdot 16.118054 s + 16.118054^2)}$$

$$= \frac{38.5 (s+10)}{0.012 s (s^2 + 30.8 s + 260)}$$

UPPSTÄLLNING AV MATRISPOLYNOM, LÖSNING AV EGENVÄRDEN

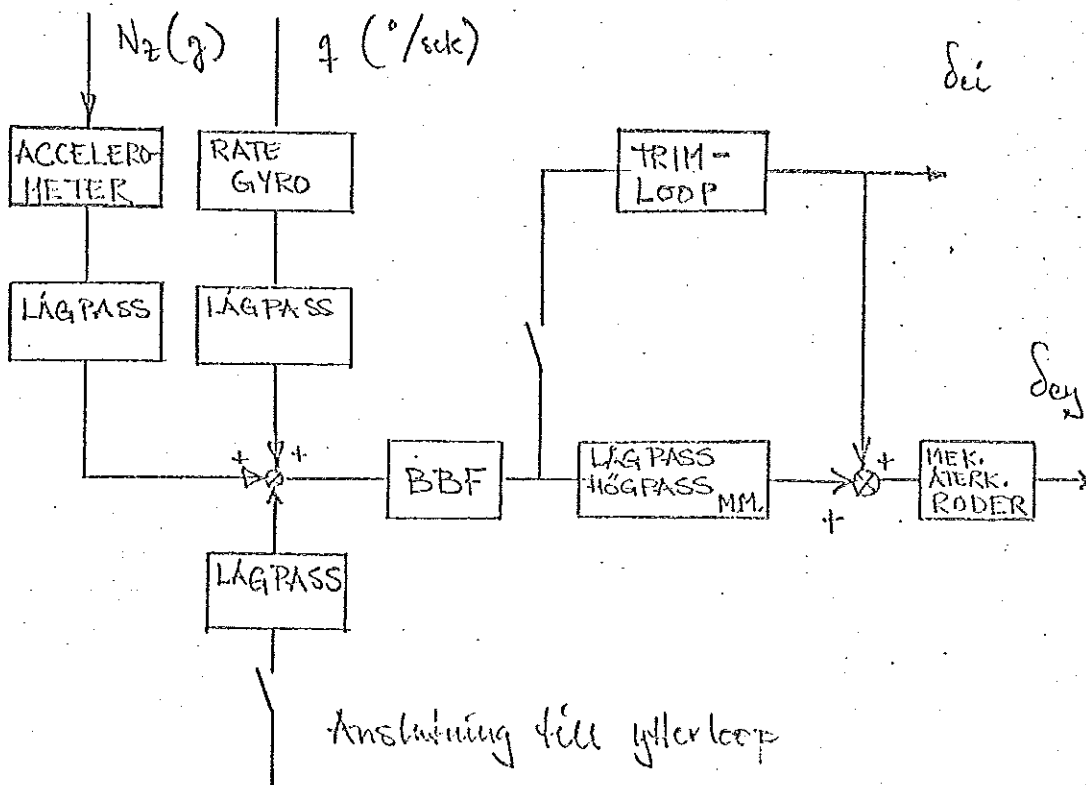
Allmänt

Undersökningen är gjord så, att man studerar tippkanal för sig och gir-rollkanal för sig. Det förekommer visserligen koppling mellan tipp- och rollkanal i de digitala ytterlooparna, men för att kunna räkna på systemet i egenvärdesprogrammet, måste man linjärisera och då får man automatiskt en uppdelning i dels tipped, dels gir-rolled.

Egenvärdesstudien har utförts för ett flygfall med relativt hög underljudfart och låg höjd. Linjäriseringen har utförts kring ett jämviktsläge, där flygplanet förutsätts flyga i planflykt med konstant hastighet utan snedanblåsning, och att det därvid utsätts för små störningar.

Tipped. Innerloop

Ett kraftigt förenklat blockschema av innerlooparna ser ut enligt följande:



BBF = body bending filter

 δ_{ei} = höjdrodervinkel innerroder

 δ_{ey} = höjdrodervinkel ytterroder

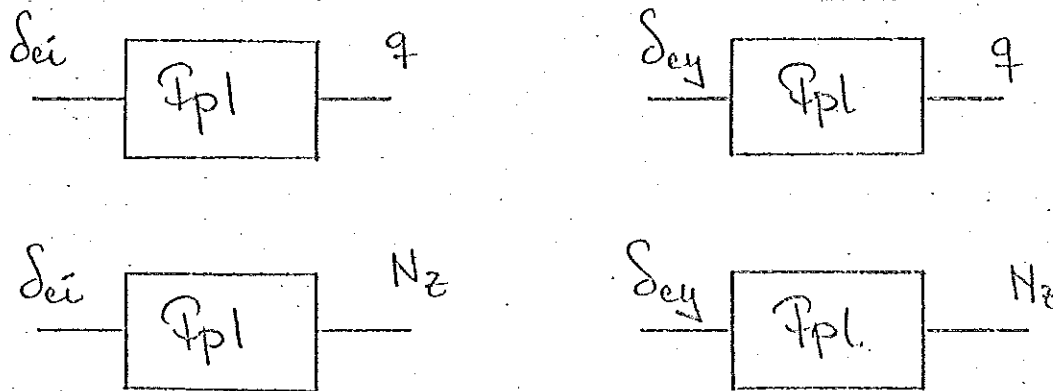
Innerlooparna svarar mot innerloopar i styrautomat SA06 revision 6.

För att erhålla precis samma system som vid simuleringar i SIM 37T har följande ändringar gjorts

- Högpasfiltern på q och N_z ingången har borttagits
- Statiska förstärkningen i trimloopen har ökats till 150%
- Statiska förstärkningen vid q -ingången 0.19 (g/grad/s)

Beräkningsmetodik

Det är lämpligt att först studera överföringsfunktionerna



Med hjälp av kraft- och momentekvationer för flygplanet erhålls:

EKV 1

$$\dot{\alpha} = q - \frac{\bar{q}s}{mV_T} \left[C_{N\alpha} \cdot \alpha + C_{N\delta_{ei}} \cdot \delta_{ei} + C_{N\delta_{ey}} \cdot \delta_{ey} + \frac{c}{2V_T} \left\{ C_{N\dot{\alpha}} \cdot \dot{\alpha} + C_{Nq} \cdot q \right\} \right]$$

EKV 2.

$$\dot{q} = \frac{\bar{q}sc}{I_y} \left[C_{m\alpha} \cdot \alpha + C_{m\delta_{ei}} \cdot \delta_{ei} + C_{m\delta_{ey}} \cdot \delta_{ey} + \frac{c}{2V_T} \left\{ C_{m\dot{\alpha}} \cdot \dot{\alpha} + C_{mq} \cdot q \right\} + \frac{\Delta x}{c} C_N \right]$$

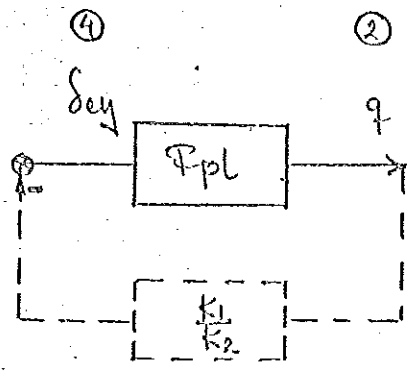
EKV 3.

$$C_N - \frac{mV_T}{\bar{q}s} \dot{\alpha} + \frac{mV_T}{\bar{q}s} q = 0$$

Med insatta värden erhålls följande matrispolynom

	α ①	q ②	δ_{ei} ③	δ_{ey} ④	C_N ⑤
EKV 1	0.978832s 1.85375	-0.942983	0.306008	0.113299	
EKV 2	-1.43190s 26.3498	s 4.69497	46.1384	19.6288	-0.257195
EKV 3	-s	1.0			1.0
EKV 4		K_1		K_2	
EKV 5			1.0		

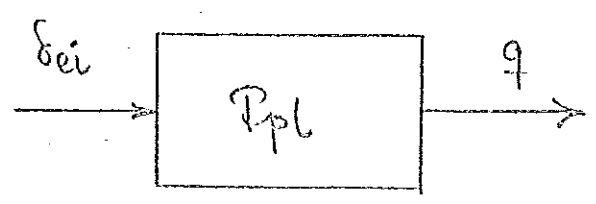
Fortsättningsblad



$$\left. \begin{aligned} K_1 &= 0.0 \\ K_2 &= 1.0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Poler}$$

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= 1.0 \\ K_2 &= 0.0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Nollställen}$$

På motsvarande sätt kan man få överföringsfunktionen

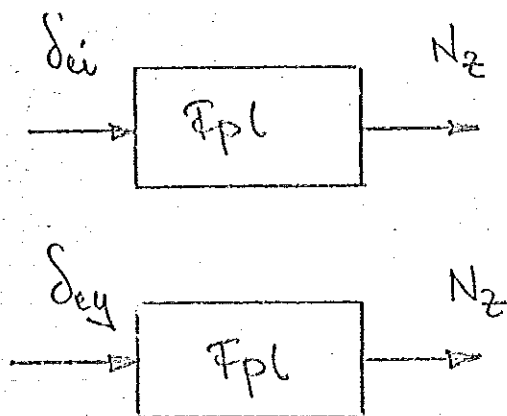


Av föregående ekvationer och ekvationen

EKV 4.

$$N_z = \frac{U_0}{57,3g} \cdot q + \frac{1_{xA}}{57,3g} q - \frac{U_0 \dot{\alpha}}{57,3g}$$

erhåller man med samma metodik överföringsfunktionerna



Fortsättningsblad

Grundläggande flygmekaniska samband ger

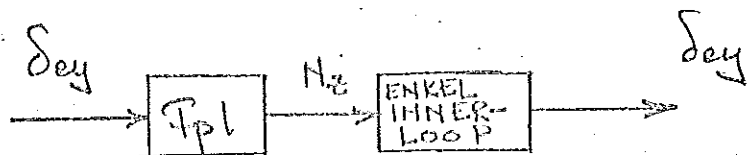
EKV 5.

$$q - s\theta = 0$$

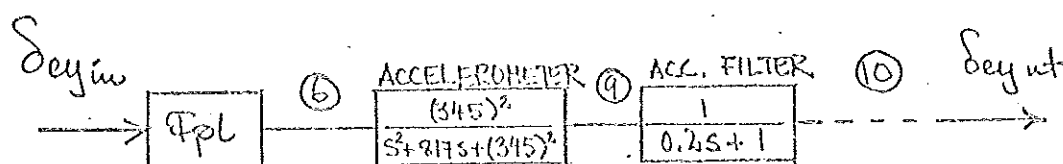
EKV 6.

$$\theta - \alpha - \gamma = 0$$

Därför är det lämpligt att lägga in ekvationer för en enkel innerloop, dvs att studera överföringsfunktionen



eller något mer detaljrikt



Man får då ekvationerna

$$\text{EKV 7. } \left[s^2 + 817s + (345)^2 \right] \textcircled{9} - 345^2 \textcircled{6} = 0$$

$$\text{EKV 8. } (0.2s + 1) \textcircled{10} - \textcircled{9} = 0$$

..... etc

Genom att nu räkna fram poler och nollställena för överföringsfunktionen

$$\frac{\delta_{ey} \text{ ut}}{\delta_{ey} \text{ in}}$$

med samma teknik som tidigare, kan man lätt kontrollera att ekvationer och tidskonstanter är riktiga. På resultatutskrift erhålls:

NOLLSTÄLLEN

REALDEL	IMAGINÄRDEL	ζ	ω_0
-3.864339	18.764960	0.201701	19.158728

från flygplanekvationerna

POLER

- 2.610162	5.284523	0.442851	5.893991
-189.956385	0.000000	}	från accelerometer
-626.710285	0.000000		
- 5.000000	0.000000	←	från acc. filter

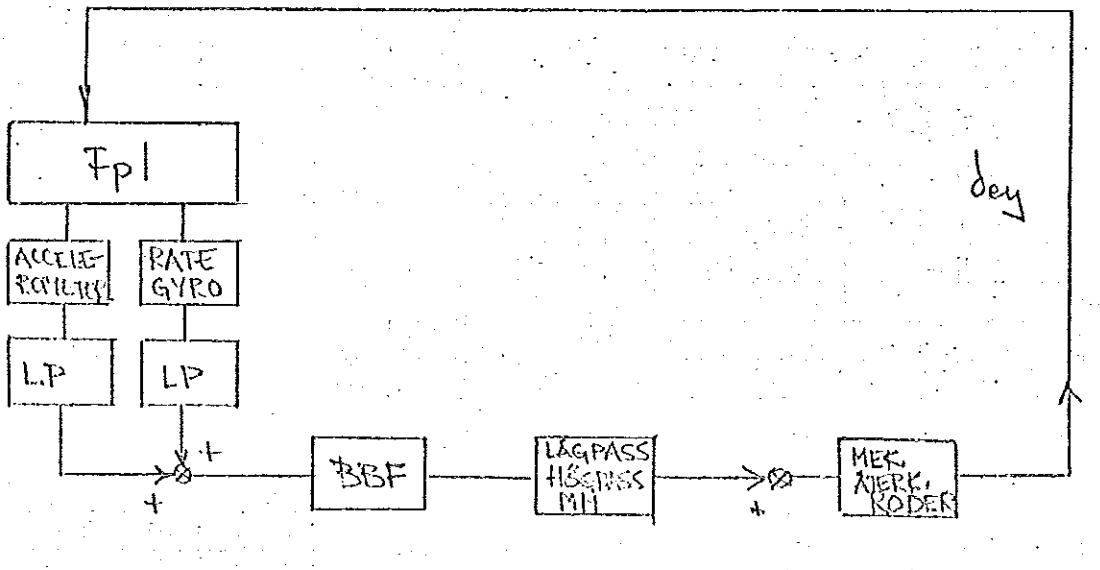
$$\text{Observera att } (s + 190) (s + 627) = s^2 + 817s + 345^2$$

$$(s + 5) = 5 (0.2s + 1)$$

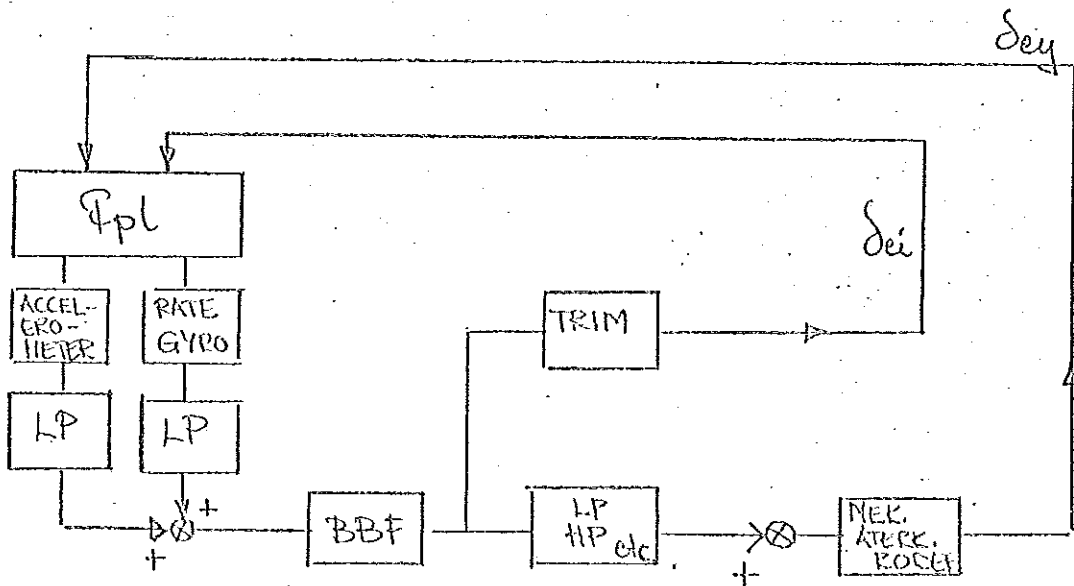
På samma sätt undersöker man metodiskt överföringsfunktionerna

$$\frac{\delta_{ey} \text{ ut}}{\delta_{ey} \text{ in}} \text{ via rate-gyro, och överföringsfunktionen i trimloopen.}$$

Därefter kan man börja sluta olika grenar, först δ_{ey}



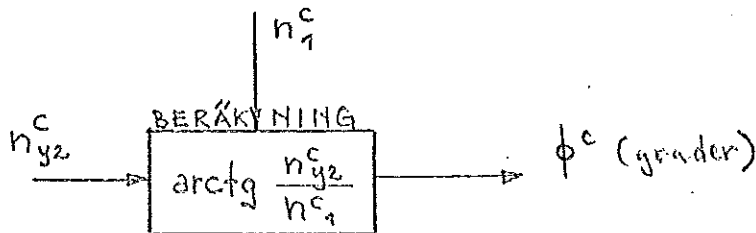
Sedan δ_{ei}



Linjärisering

I ytterloopen och fartvektorprogrammet förekommer många olinjära funktioner. Det har därför varit nödvändigt att göra linjäriseringar.

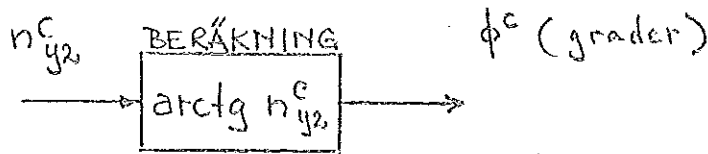
Exempel på linjärisering



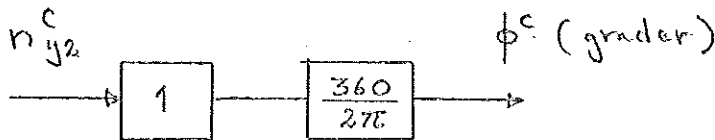
Här sker en beräkning av kommanderad rollvinkel med hjälp av lastfaktorerna

$$n_1^c \text{ och } n_{y2}^c.$$

Vid planflykt gäller att $n_1^c = 1g$. Beräkningen kan då tecknas som



Linjärisering av $\arctg n_{y2}^c \approx n_{y2}^c$ medför att man kan skriva



där blocken 1 respektive $\frac{360}{2\pi}$ kan tolkas som vanliga överföringsfunktioner.

Omvandling mellan samplad och kontinuerlig form

I fartvektorprogrammet har de flesta filter funnits angivna på analog form. I en del fall har det emellertid varit nödvändigt att utnyttja omvandlingsformler mellan samplade och kontinuerliga system.

Exempel Sök tidskonstanten T i lågpasfiltret $\frac{1}{Ts + 1}$.

För samplade system gäller (referens 2).

$$H(q) = \sum_{i=1}^k \frac{q^{-i}}{1 - q^{-i} e^{p_i T_s}} \quad \text{Res} \frac{e^{sT_s} - 1}{s} G.(s)$$

Ansätt ett lågpasfilter $\frac{1}{1 + Ts} = \frac{\frac{1}{T}}{s + \frac{1}{T}}$

$$H(q) = \frac{q^{-1}}{1 - q^{-1} e^{-\frac{T_s}{T}}} \cdot \frac{e^{-\frac{T_s}{T}} - 1}{-\frac{1}{T}} \cdot \frac{1}{T}$$

$$\frac{Y}{I} = \frac{q^{-1}}{1 - q^{-1} e^{-\frac{T_s}{T}}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{T_s}{T}} \right]$$

$$Y(t) - Y(t-1) e^{-\frac{T_s}{T}} = I(t-1) \left[1 - e^{-\frac{T_s}{T}} \right]$$

$$Y(t) = I(t-1) + Y(t-1) e^{-\frac{T_s}{T}} - I(t-1) e^{-\frac{T_s}{T}}$$

$$Y(t) = I(t-1) \left[1 - e^{-\frac{T_s}{T}} \right] - Y(t-1) \left[1 - e^{-\frac{T_s}{T}} \right] + Y(t-1)$$

$$Y(t) = \left[I(t-1) - Y(t-1) \right] \left[1 - e^{-\frac{T_s}{T}} \right] + Y(t-1)$$

Den form som lågpasfiltret finns angivet på är

$$Y(t) = \left[I(t - 1) - Y(t - 1) \right] K + Y(t - 1) \quad \text{där}$$

$$K = 1 - e^{-\frac{T_s}{T}} = 1 - \left(1 - \frac{T_s}{T} \dots \right) \quad \text{om } T_s \ll T$$

$$K = \frac{T_s}{T} \quad T = \frac{T_s}{K}$$

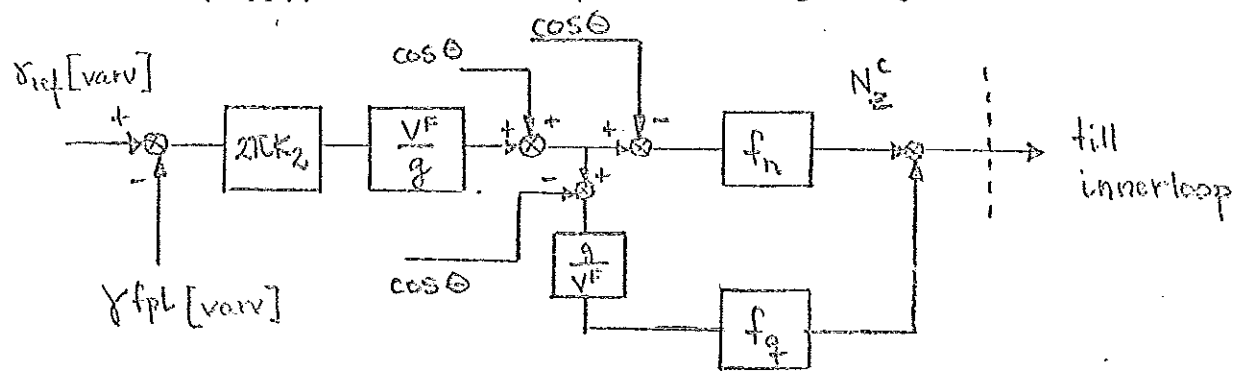
T_s , samplingstiden är känd

K, konstant är känd

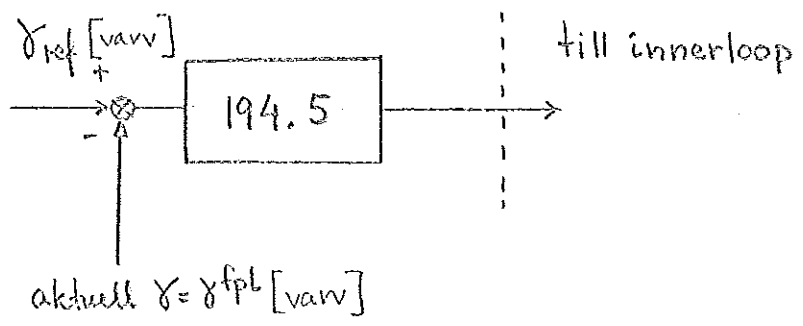
⇒ T känd

Beräkningsmetodik, ytterloopar, tipped

Vid studium av ytterloopar (tipped) är det lämpligt att arbeta metodiskt på samma sätt som tidigare. Den enklaste ytterloopsfunktionen (tipp), rollvinkel = 0, ser ut enligt följande:

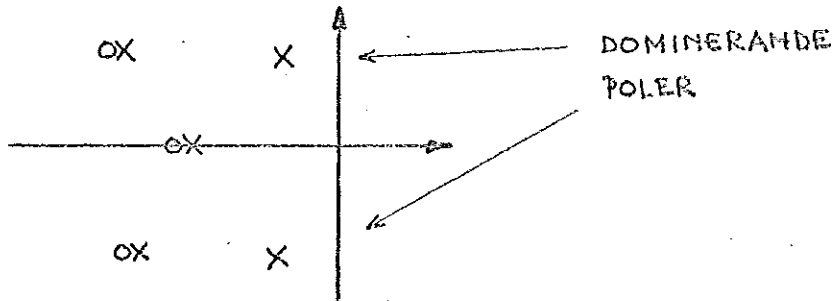


Med insatta värden på konstanter erhålls



Fortsättningsblad

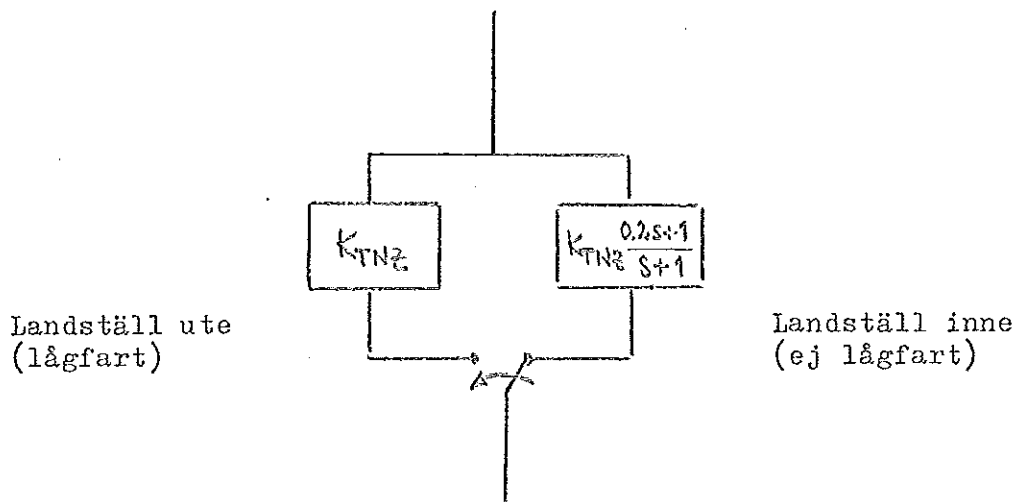
Vid slutning med ovanstående enkla ytterloop erhöles dominerande poler (ref. 3) med mycket låg dämpning.



Ett sådant system är otänkbart i en styrautomat, det skulle ta lång tid innan det svängt in sig vid en störning. Resultatet stämde inte heller överens med vad man fått vid simulering i SIM 37 T.

Det ligger nära till hands att misstänka att man har en alltför förenklad ytterloop, men vid körning av fullständig modell blev systemet instabilt. En sänkning av förstärkningen K_2 med en faktor 20 eller en faktor 10 gav ett stabilt system ehuru fortfarande med icke tillfredsställande dämpning.

De aktuella dominerande polerna dök upp i systemet, när man kopplade in trimmen i innerloopen. Genom att successivt koppla ur olika filter i trimmen (med förenklad ytterloop inkopplad) gick det att bestämma vilket filter som gav den låga relativa dämpningen hos systemet. Det visade sig vara ett filter, som skulle vara urkopplat då flygplanet flög i lågfart med landningsställ ute.



En egenvärdesundersökning av systemet i lågfart - koef-
ficienter i flygplansekvationerna och vissa förstärk-
ningar i ytter- och innerloopar fick ändras - visade
att det var svårt att avgöra om filtret vid simulering
i SIM 37 T varit ur- eller inkopplat.

För att ytterligare belysa frågan om det aktuella filtret
varit ur- eller inkopplat gjordes en digital simulering.

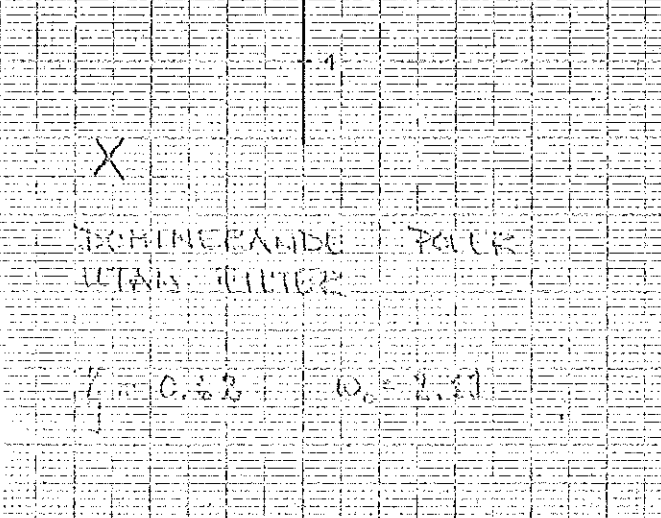
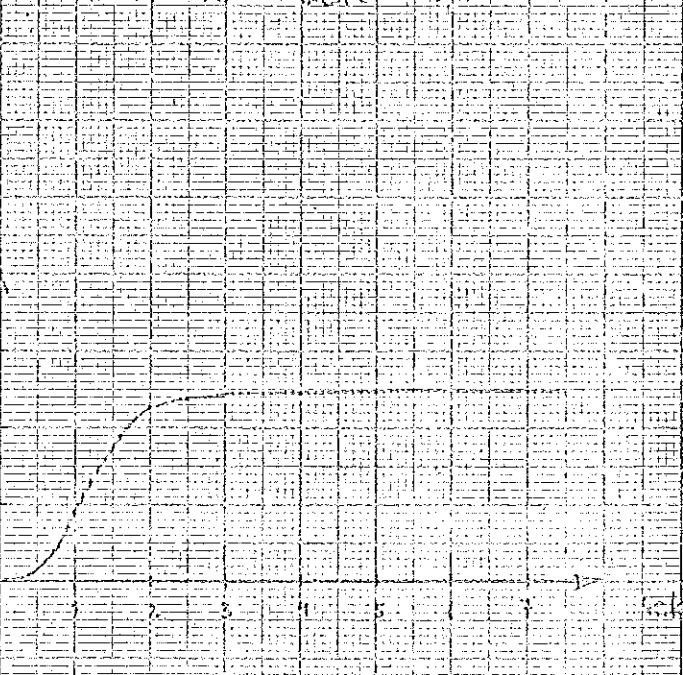
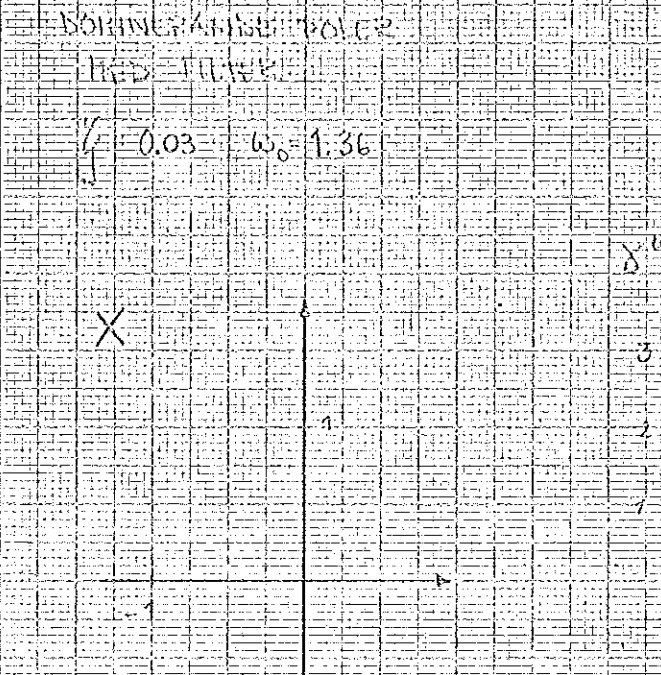
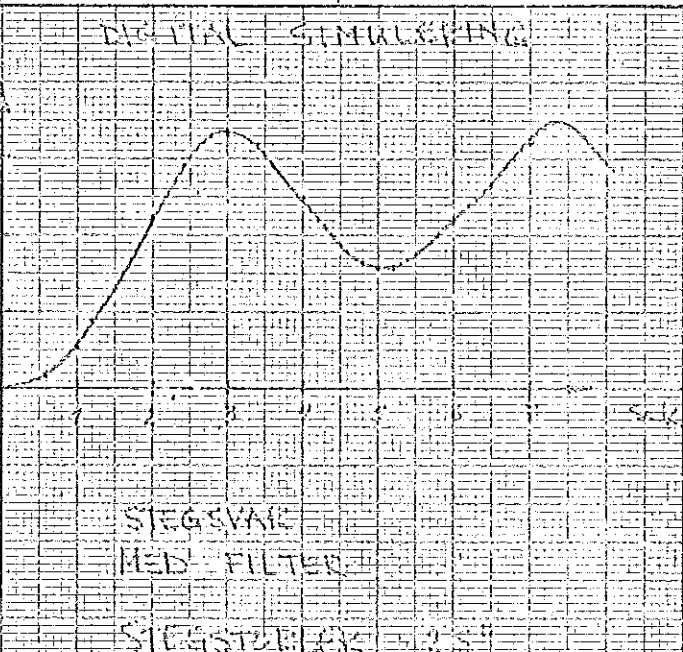
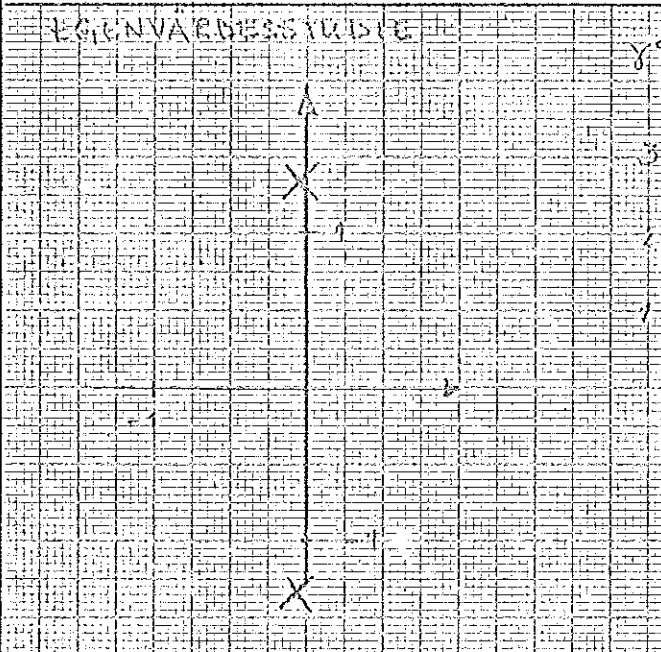
Stegsvaren hos γ visade god överensstämmelse mellan egen-
värdesundersökningen och den digitala simuleringen.

Allt tyder således på att man vid de ursprungliga simule-
ringarna - åtminstone i fallet hög hastighet låg höjd -
haft filtret urkopplat.

Diagramblad

Avser
 RESULTAT FRÅN DIGITAL SIMULERING OCH
 EGENVÄRDESSTUDIE, FÖRENKLAD DIGITAL
 YTTERLOOP.
 RELATIVT HÖG, UNDERLJUDFART.
 LÅG HÖJD

Datum	Beordrad / datum, sign.
Utförd av K. ANDERINI	Kontrollerad / datum, sign.
Godkänd	

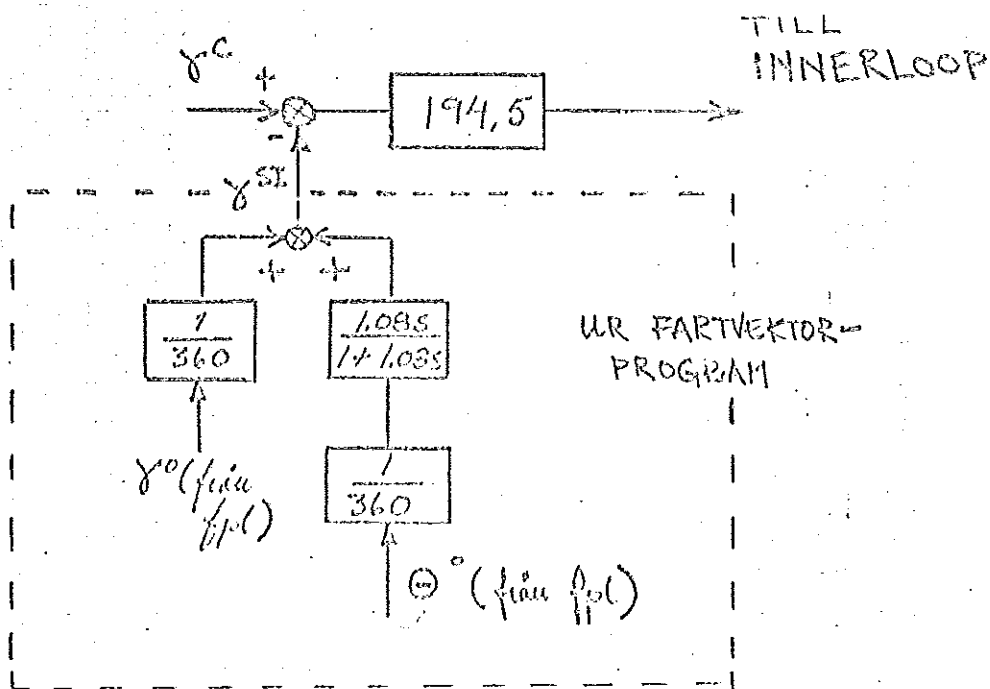


Man kan fråga sig varför man överhuvud har tänkt sig att ha med filtret, det ser ju bra ut om det är bortkopplat. När man byggde upp den fullständiga analoga styrautomaten fick man problem med ett annat egenvärdespar (svängning $\omega \approx 5$, ofta kallad short period) om man flög på högre höjd och därför var man tvungen att införa filtret.

En egenvärdesstudie i fallet med hög höjd (5-6 km) kan kanske visa sig vara värdefull. Det kan kanske tänkas att relativa dämpningen i detta fall är mycket större än man fått vid de analoga simuleringarna.

I senare revisioner av SA06 har filtret och trimloopen omarbetats.

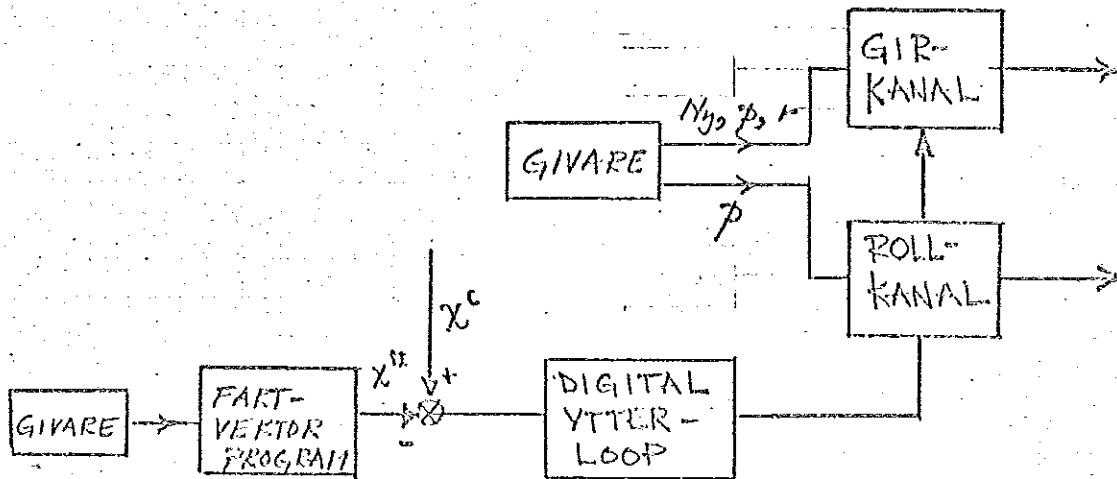
Med filtret $\frac{0.2s+1}{s+1}$ bortkopplat fortsattes egenvärdesstudien med allt mer komplicerade ytterloopar.



Gir- rolled

Blockschema

I stort ser styrautomatsystemet i gir- rolled ut på följande sätt:



Uppställning av matrispolynom - gir- rolled

När man tänker studera egenvärdena i gir- och rolled är det lämpligt att även här arbeta på samma metodiska sätt som i tippled. Man studerar först de så kallade flygplansekvationerna:

EKV. 1

$$\dot{p} = \left[C_{lp} \cdot \beta + C_{lr} \cdot \delta_r + C_{l\delta_{ay}} \cdot \delta_{ay} + C_{l\delta_{ai}} \cdot \delta_{ai} + \frac{b}{2V_T} (C_{lp} \cdot p + C_{lr} \cdot r + C_{l\dot{\beta}} \cdot \dot{\beta}) \right] \frac{\bar{q} s t}{I_x}$$

EKV. 2

$$\dot{r} = \left[C_{rp} \cdot \beta + C_{rr} \cdot \delta_r + C_{r\delta_{ay}} \cdot \delta_{ay} + C_{r\delta_{ai}} \cdot \delta_{ai} + \frac{b}{2V_T} (C_{rp} \cdot p + C_{rr} \cdot r + C_{r\dot{\beta}} \cdot \dot{\beta}) \right] \frac{\bar{q} s t}{I_z}$$

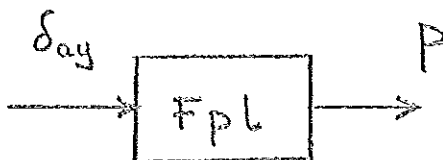
EKV. 3

$$\dot{\beta} = -\frac{q_s}{mV_T} \left[C_{c\beta} \cdot \beta + C_{c\delta r} \cdot \delta_r + C_{c\delta ay} \cdot \delta_{ay} + C_{c\delta ai} \cdot \delta_{ai} + \right. \\ \left. + \frac{b}{2V_T} (C_{c\dot{p}} \cdot \dot{p} + C_{c\dot{r}} \cdot \dot{r} + C_{c\dot{\beta}} \cdot \dot{\beta}) \right] + \frac{q\phi}{V_T} - r + \frac{p\alpha_0}{573}$$

EKV. 4

$$p - s\phi = 0$$

och söker överföringsfunktionen

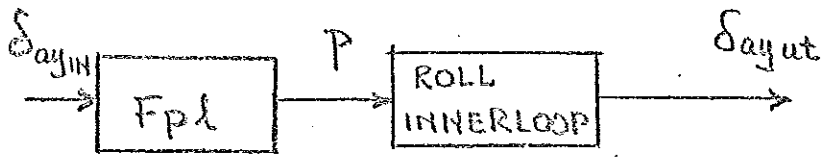


Med hjälp av flygplansekvationerna får man lätt ett matrispolynom, som lämpligen sättes upp som en matris

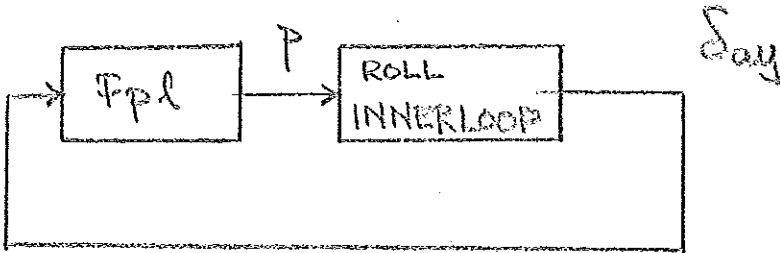
	p	β	δ_{ay}	r	ϕ
1	s a_{11}	$b_{12} s$ a_{12}	a_{13}	a_{14}	
2	a_{21}	$b_{22} s$ a_{22}	a_{23}	s a_{24}	
3	a_{31}	$b_{32} s$ a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}
4	1.0				-s
5	K_1		K_2		

Genom att sätta $\begin{cases} K_1 = 0 \\ K_2 = 1 \end{cases}$ får man polerna och genom att sätta
 $\begin{cases} K_1 = 1 \\ K_2 = 0 \end{cases}$ får man nollställena

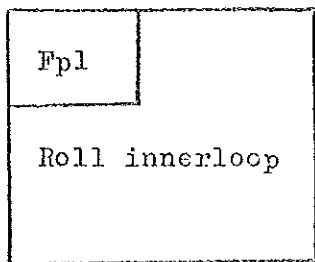
Därefter lägger man till en enkel innerloop



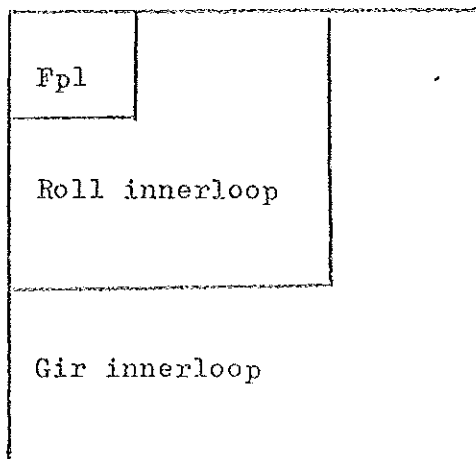
och studerar dels överföringsfunktionen $\frac{\delta_{ayut}}{\delta_{ayin}}$ och dels egenvärdena till den slutna loopen



Man får en matris av följande typ

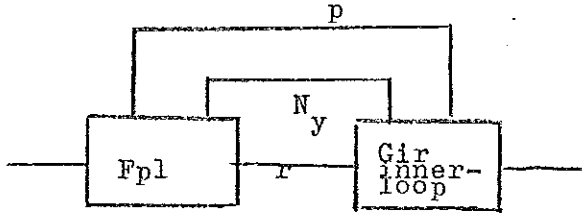


Sedan studerar man

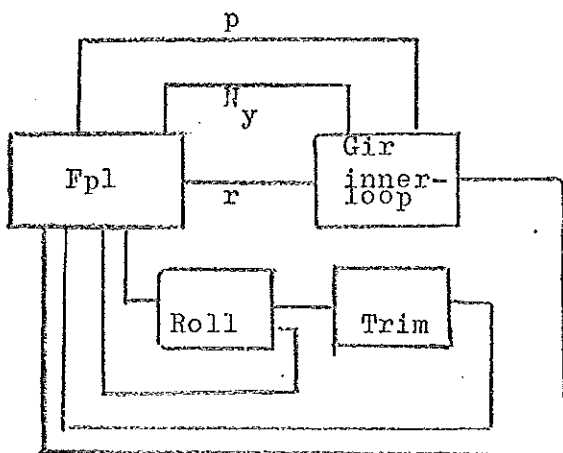


För att man inte ska få med egenvärdena från rollkanalen kan man sätta koefficienterna framför s^2 och s lika med noll, så länge inte en rad eller kolonn får alla koefficienter noll.

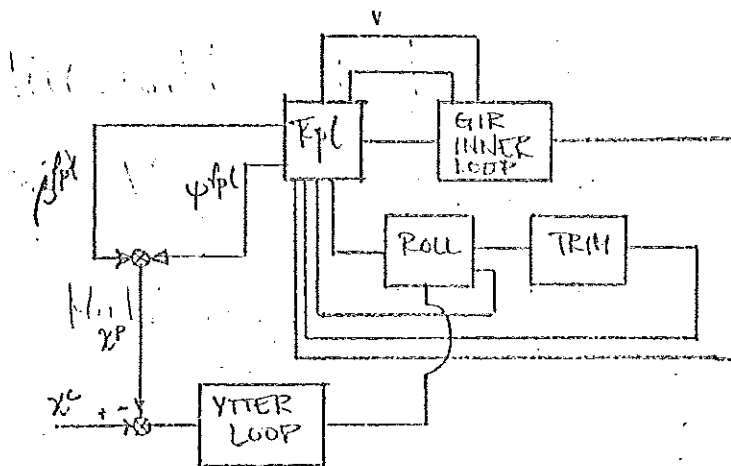
Börja slut olika loopar



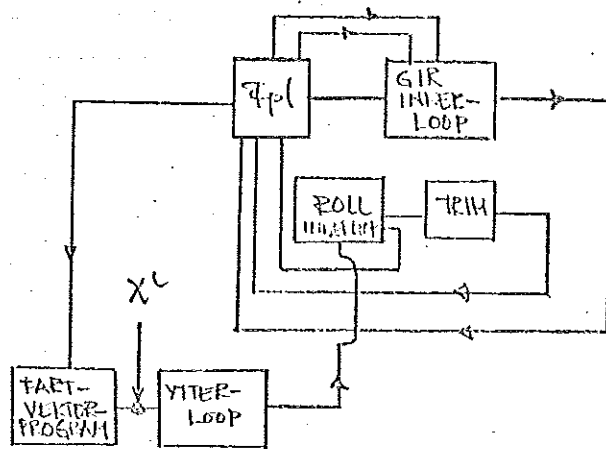
och plocka med roll-innerloop och trimmen



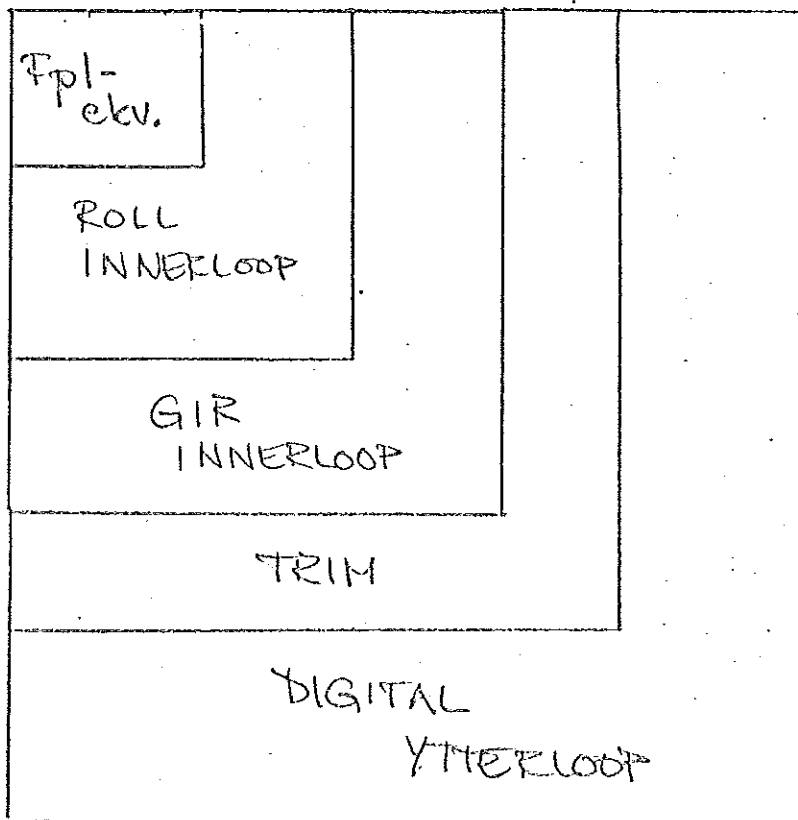
Med hjälp av sambandet $\chi^p \approx \beta^{fpl} + \psi^{fpl}$ kan man studera systemet med en förenklad ytterloop



Till sist sluter man med den riktiga ytterloopen



Matrisen får följande utseende



Matrisen är av ordningen 48 och högsta graden på s är 2.
Man erhåller 39 egenvärden.

DIGITALISERINGENS INVERKAN

En fråga som kan vara av stort intresse är att studera hur känsligt systemet är för fördröjningseffekter i ytterloopen.

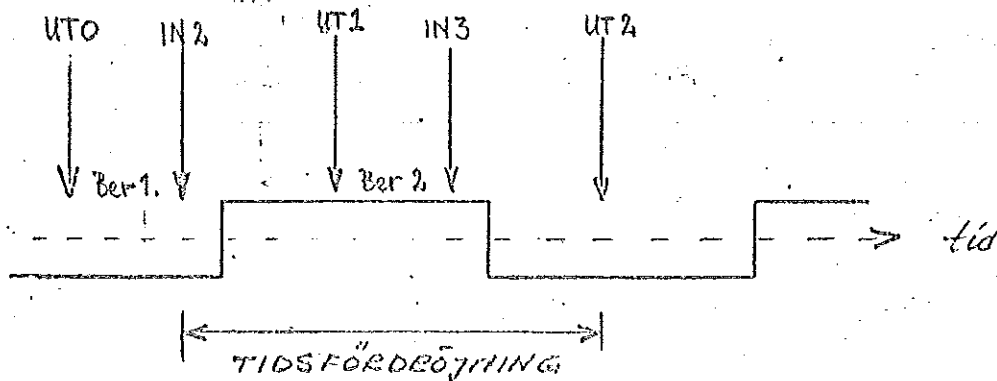
Vid simuleringarna gjorde man en mycket grov uppskattning av känsligheten för fördröjningar genom att ändra på tidskonstanten T i filtret $\frac{T_s+1}{T_s}$ som sitter vid ingången på innerloopen. Det visade sig att man kunde ändra på konstanten från det nominella 0.15 sek upp till 2 sek vid höjdhållning (4 sek γ -hållning) innan systemet blev instabilt.

En motsvarande undersökning har gjorts med egenvärdesprogrammet och den ger samma resultat.

En alternativ metod att studera tidsfördröjningar kan vara e^{-T_s} och serieutveckla

$$e^{-T_s} = \frac{e^{-\frac{T_s}{2}}}{e^{\frac{T_s}{2}}} = \frac{1 - \frac{T_s}{2} + \frac{T_s^2}{8}}{1 + \frac{T_s}{2} + \frac{T_s^2}{8}}$$

Den mest ogynnsamma tidsfördröjningen svarar mot dubbla samplingstiden

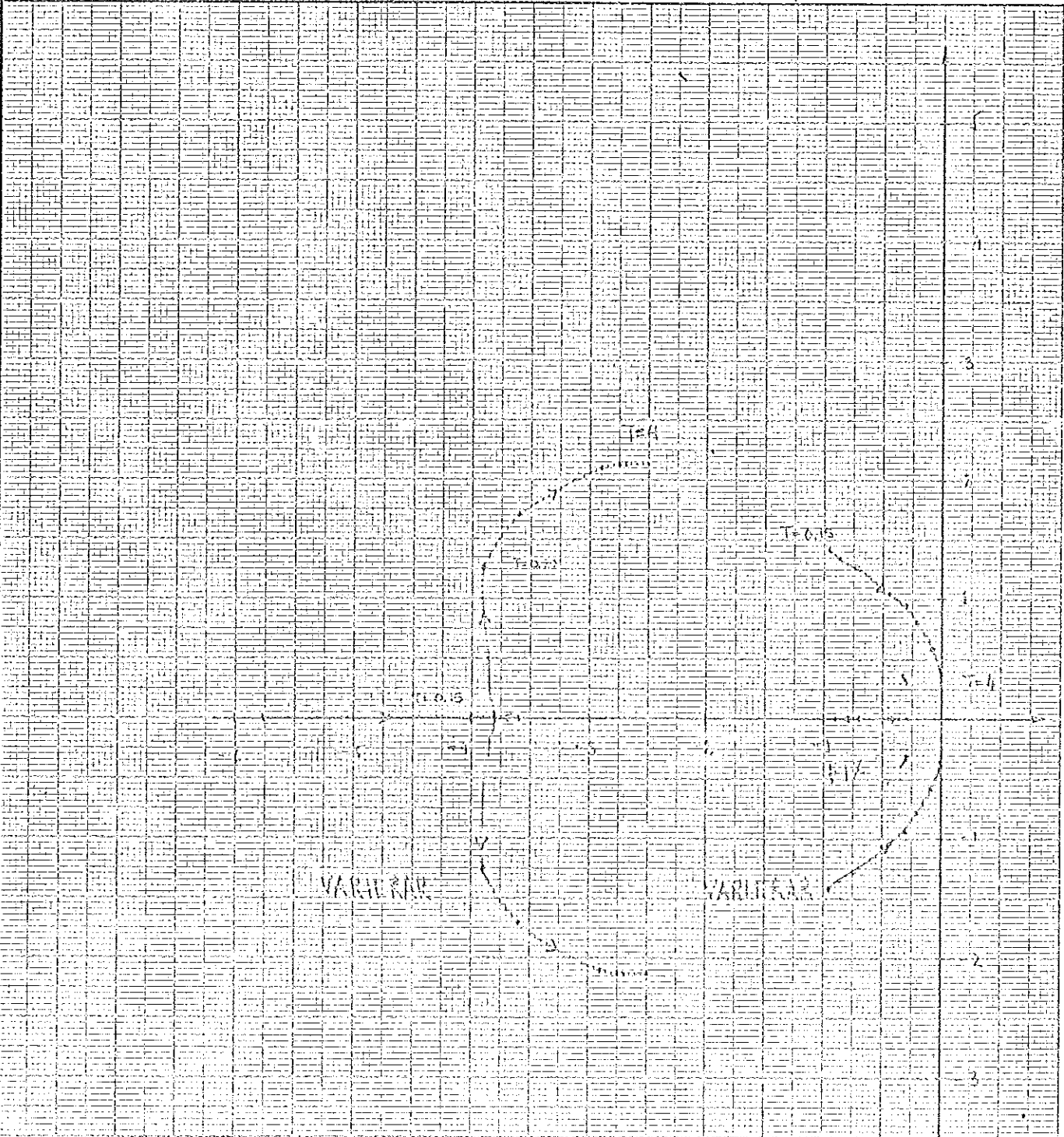


Om filtret

$$\frac{1 - \frac{T_s}{2} + \frac{T_s^2}{8}}{1 + \frac{T_s}{2} + \frac{T_s^2}{8}}$$

Placeras i ytterloopen och T varieras kan man studera inverkan av tidsfördröjningar

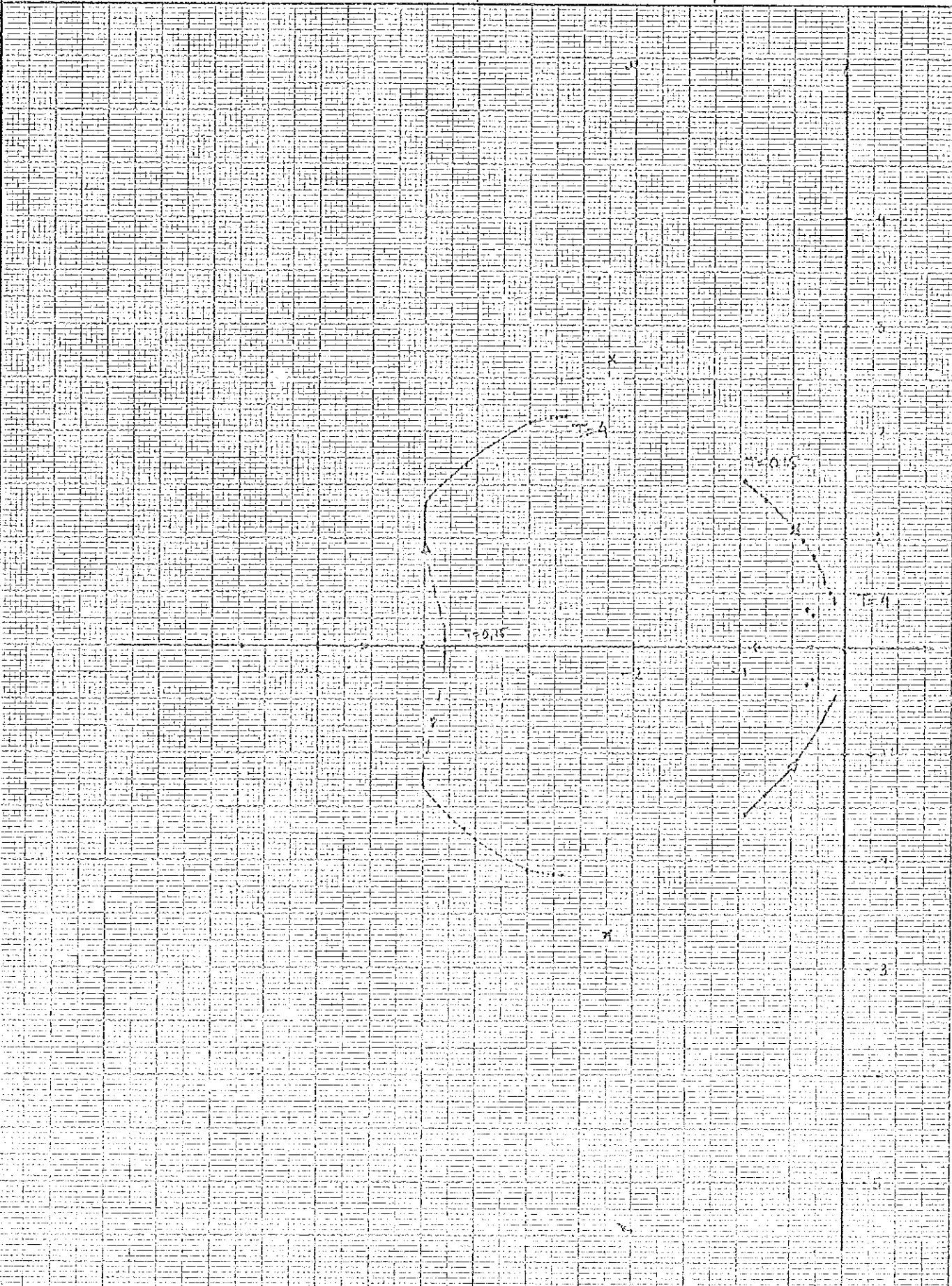
Avser POLERNAS VARIATION VID ÄNDRING AV KONSTANTEN T I FILTER $\frac{1}{T\pm 1}$ (VID YTERLOOPENS UTGÅNG) HÖJTHÅLLENING	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utförd K. ANDERINI	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	



Man kan här se att vissa poler påverkas och ändrar läge vid en ökning av tiden T medan andra hela tiden är fixa eller ändras obetydligt.

Diagramblad

Avser POLERNAS VARIATION VID ÄNDRING AV KONSTANTEN τ I FILTER $\frac{1}{Ts+1}$ (VID YTTERLOOPENS UTGÅNG) GAMMA HÅLLNING	Datum	Beordrad / datum, sign.
	Utförd av K. ANDERINI	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	



Diagramblad

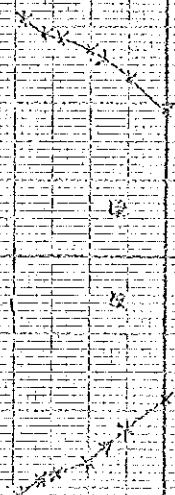
Avsät STUDIUM AV FÖRDRÖJNINGSEFFERT I DIGITAL YTTERLOOP. $e^{-\zeta s} = \frac{1 - \frac{\zeta s}{2} + \frac{\zeta^2 s^2}{8}}{1 + \frac{\zeta s}{2} + \frac{\zeta^2 s^2}{8}}$	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utfördad K. ANDERINI	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	

D. HÄLLNING

MATRIKEL

 $\zeta = 0$
 $\zeta = 0.068$
 $\zeta = 0.136$
 $\zeta = 0.271$
 $\zeta = 0.544$
 $\zeta = 1.088$

3. second mode got
 dominant and swinging
 half tiden



Avser

 STUDIUM AV FÖRDRÖJNINGEFFEKT
 I DIGITAL YTELOOP

$$e^{-\zeta s} = \frac{1 - \frac{\zeta s}{2} + \frac{\zeta^2 s^2}{8}}{1 + \frac{\zeta s}{2} + \frac{\zeta^2 s^2}{2}}$$

Datum

Bearbetad / datum, sign.

Utförd av

K. ÅNDERIN

Kontrollerad / datum, sign.

Godkänd

HÖJDHÅLLNING

KARAKTER

 $\tau = 0$ sek

 $\tau = 0,618$ sek

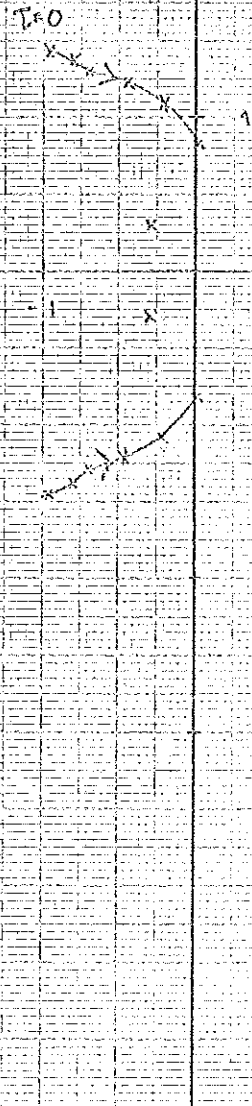
 $\tau = 0,136$ sek

 $\tau = 0,272$ sek

 $\tau = 0,544$ sek

 $\tau = 1,088$ sek

Man ser att 5-second
 hade svårighet
 påverka värden den
 dominerande svängnings
 är fix.



RESULTATSAMMANFATTNING

Under ovanstående rubrik har resultaten från egenvärdesstudien samlats. Poler och nollställena i tippled - banvinkelhållning och höjdhållning - samt girrolled redovisas nedan.

Egenvärdena synes icke påverkas nämvärt av fördröjningar i systemet, så länge dessa inte är onormalt höga (bör understiga c:a 0.2 sek).

En variation av förstärkningarna K_1 och K_2 har utförts vid höjdhållning resp. banvinkelhållning.

Dessutom har en variation av förstärkningen K_5 i rollkanalen utförts.

X POWER GAMMA HOLD FULLSTÄNDIG MODELL

0	2850 -1.0	5050 1.0		
0	50 R 0.0			
	REINENVAERTIG REALDEL	IMAGINÄRDEL	γ	ω_0
1	-25.000000	0.000000		
2	-5.000000	0.000000		
3	-.000000	0.000000		
4	-.333333	0.000000		
5	-.356765	0.000000		
7	-.324803	.330881	.700522	.463658
9	-.350000	.357071	.700000	.500000
10	-.789564	0.000000		
12	-.957964	1.550748	5-SECOND MODE .525552	1.822776
14	-3.776892	.043927	.999932	3.777147
15	-5.733777	0.000000		
17	-2.262124	5.427500	SHORT PERIOD .384712	5.880047
18	-12.062372	0.000000		
19	-14.478812	0.000000		
20	-16.649426	0.000000		
22	-9.983843	13.695379	SECONDARY MODE .589081	16.948172
23	-33.292577	0.000000		
25	-24.994366	34.489389	.586807	42.593853
27	-51.843237	55.637296	.681721	76.047551
29	-122.901278	68.174408	.874471	140.543495
31	-103.255974	105.749381	.698621	147.799620
32	-195.098704	0.000000		
34	-204.916896	25.053923	.992609	206.442809
35	-303.272840	0.000000		
36	-626.710244	0.000000		

LEAD COEFFICIENT = .558773400E-25

Resultat vid simulering i SIM37T - 6-att
 Stigtid $T_{1/3}$ Dämpning

2.0 sek

0.6

7. VOLLSTÄNDIG GAUSS HOLD FULLSTÄNDIG MODELL

0	50 8 1.0	5050 0.0	γ	ω_0
	EIGENWERTEN REAUEL	IMAGINÄRWERTEN		
1	-25,000000	0,000000		
2	-.333333	0,000000		
3	-4,999996	0,000000		
5	-3,175819	7,350871	.396602	8,007567
7	-13,966577	1,208634	.996277	14,018776
8	-18,135664	0,000000		
9	18,588674	0,000000		
11	-2,250000	44,943715	.050000	45,000000
13	-4,250001	84,893683	.050000	85,000000
15	-105,909091	107,287171	.702521	150,755672
16	-303,030303	0,000000		
17	-85950,129460	0,000000		
18	-5,000000	0,000000		
19	-189,956384	0,000000		
20	-626,710283	0,000000		
21	-.925926	0,000000		
22	-.333333	0,000000		
23	-11,764706	0,000000		
24	-33,333333	0,000000		
26	-.350000	.357071	.700000	.500000
27	0,000000	0,000000		
29	-.350000	.357071	.700000	.500000
30	-3,995816	0,000000		

LEAD COEFFICIENT .860351070E-18

STOP 12.173 SECONDS

X POLER HÖJDHÅLLNING FULLST. MODELL 39

	3650 -0.0000878	5036 0.0		
	5050 1.0		y	W ₀
/EIGENVALUES	REALDEL	IMAGINÄRDEL		
1	-5.000000	0.000000		
2	-25.000000	0.000000		
3	-.333333	0.000000		
5	-.350000	.357071	.700000	.500000
7	-.350000	.357071	.700000	.500000
8	-.184334	0.000000		
9	-.453999	0.000000		
11	-.286815	.315068	DOMINANT! .673173	.426064
13	-.350000	.357071	.700000	.500000
14	-.691738	0.000000		
16	-.962191	1.431354	5-SECOND MODE 557889	1.724699
17	-3.591464	0.000000		
18	-3.818385	0.000000		
19	-5.765147	0.000000		
21	-2.259765	5.426744	SHORT PERIOD .384416	5.878443
22	-12.063029	0.000000		
23	-14.479140	0.000000		
24	-16.649377	0.000000		
26	-9.983912	13.695450	SECONDARY MODE 589082	16.948270
27	-33.292566	0.000000		
29	-24.994366	34.489391	.586807	42.593854
31	-51.843237	55.637296	.681721	76.047551
33	-122.901277	68.174408	.874471	140.543495
35	-103.255974	105.749381	.698621	147.799620
36	-195.098704	0.000000		
38	-204.916898	25.053921	.992609	206.442810
39	-303.272836	0.000000		
40	-626.710244	0.000000		

LEAD COEFFICIENT -.894037440E-24

Resultat vid simulering SIM 377 - 8-akt
 Stigtid T_{10} Dämpning

7 sek

0.7

X NOLLSTÄLLEN HÖJDHÅLLNING FULLST. MODELL

0	5050 0.0	5036 1.0	η	ω_0
	/EIGENVALUES. REALDEL	IMAGINÄRDEL		
2	-.350000	.357071	.700000	.500000
4	-.350000	.357071	.700000	.500000
5	-5.000000	0.000000		
6	-.333333	0.000000		
7	-.333333	0.000000		
9	-.350000	.357071	.700000	.500000
10	-.925926	0.000000		
12	-.350000	.357071	.700000	.500000
13	-5.000000	0.000000		
14	-11.764706	0.000000		
16	-13.966588	1.208588	.996277	14.018782
18	-3.175819	7.350872	.396602	8.007568
19	-18.135638	0.000000		
20	18.588705	0.000000		
21	-25.000000	0.000000		
22	-33.333333	0.000000		
24	-2.250018	44.943568	.050001	44.999854
26	-4.254769	84.892089	.050057	84.998646
28	-105.909091	107.287172	.702521	150.755672
29	-189.992196	0.000000		
30	-303.030303	0.000000		
31	-622.363466	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .198386973E-14

STOP 7.093 SECONDS

```

X TRANSFER FKN
X ADDITION SUM
0 3949 -1.0
X BETA PUL P91
0 49 2 1.0 4948 1.0 4950 1.0
X CLOSED LOOP
X POLER
0 5049 1.0 5050 0.0
/EIGENVALUES REALDEL IMAGINÄRDEL y w0
1 -.108280 0.000000
2 -.160344 0.000000
3 -.369635 0.000000
4 -.496309 0.000000
6 -.894888 .800452 .745339 1.200644
7 -.4337419 0.000000
8 -.6129445 0.000000
10 -1.073116 3.406429 .300470 3.571461
12 -6.920355 1.718224 .970533 7.130470
13 -11.764706 0.000000
14 -12.244175 0.000000
16 -5.962859 14.079995 .389969 15.290584
18 -9.688742 15.062360 .540987 17.909394
19 -22.644995 0.000000
21 -43.328321 39.466410 .739286 58.608369
23 -43.375863 42.397823 .715123 60.655098
25 -119.708084 40.169545 .948047 126.268039
27 -143.503940 35.810058 .970247 147.904500
29 -103.866433 107.158599 .695991 149.235389
30 -189.458142 0.000000
31 -251.366588 0.000000
33 -307.012361 34.466011 .993757 308.940926
34 -416.631557 0.000000
35 -417.941781 0.000000
37 -255.063999 259.913392 .700417 364.160150
38 -626.713121 0.000000
39 -1430.958343 0.000000

```

LEAD COEFFICIENT .372961220E-30

Fullständig modell

OBS POLER

Resultat vid simulering i Sitt 37 T - X-alf
Stigtid T_{83} sek Dämpning

3,5 sek

1

X ZEROS

	5049 0.0	5050 1.0		
	REAL DEL	IMAGINÄR DEL	y	w ₀
0				
1	-11,764706	0,000000		
2	-.102866	0,000000		
3	-11,764706	0,000000		
4	-.333333	0,000000		
6	-.675705	.105284	.988078	.683858
7	-1,261940	0,000000		
8	-6,197765	0,000000		
10	-4,346034	3,276590	.798493	5,442799
12	-7,887981	3,308216	.922180	8,553627
13	-22,607235	0,000000		
14	-22,222222	0,000000		
16	-1,801039	13,045874	.136757	13,169608
18	-41,767793	45,345341	.677496	61,650211
20	-3,000000	59,924953	.050000	60,000000
21	68,725968	0,000000		
22	-129,091523	0,000000		
24	-144,247666	41,619254	.960807	150,131780
26	-105,090064	107,557128	.698856	150,374391
28	-277,702783	7,072775	.999676	277,792836
29	-309,905819	0,000000		
30	-414,751290	0,000000		
32	-254,994962	259,750399	.700544	363,995468
33	-626,814731	0,000000		
34	-1383,920473	0,000000		

LEAD COEFFICIENT =.103903767E-21

STOP 7.034 SECONDS

Fullständig modell

OBS NOLLSTÄLLEN

Sammanfattning av erhållna dämpningar och egenfrekvenser vid studium av digitaliserade ytterloopar.

TIPPLED γ -hållning

$\frac{y}{y_0}$.70/.46 .70/.50 .53/1.82 .38/5.88 .59/16.95

TIPPLED höjdhållning

$\frac{y}{y_0}$.70/.50 .70/.50 .67/.43 .70/.50 .56/1.72 .38/5.88 .59/16.95

GIRROLLED χ -hållning

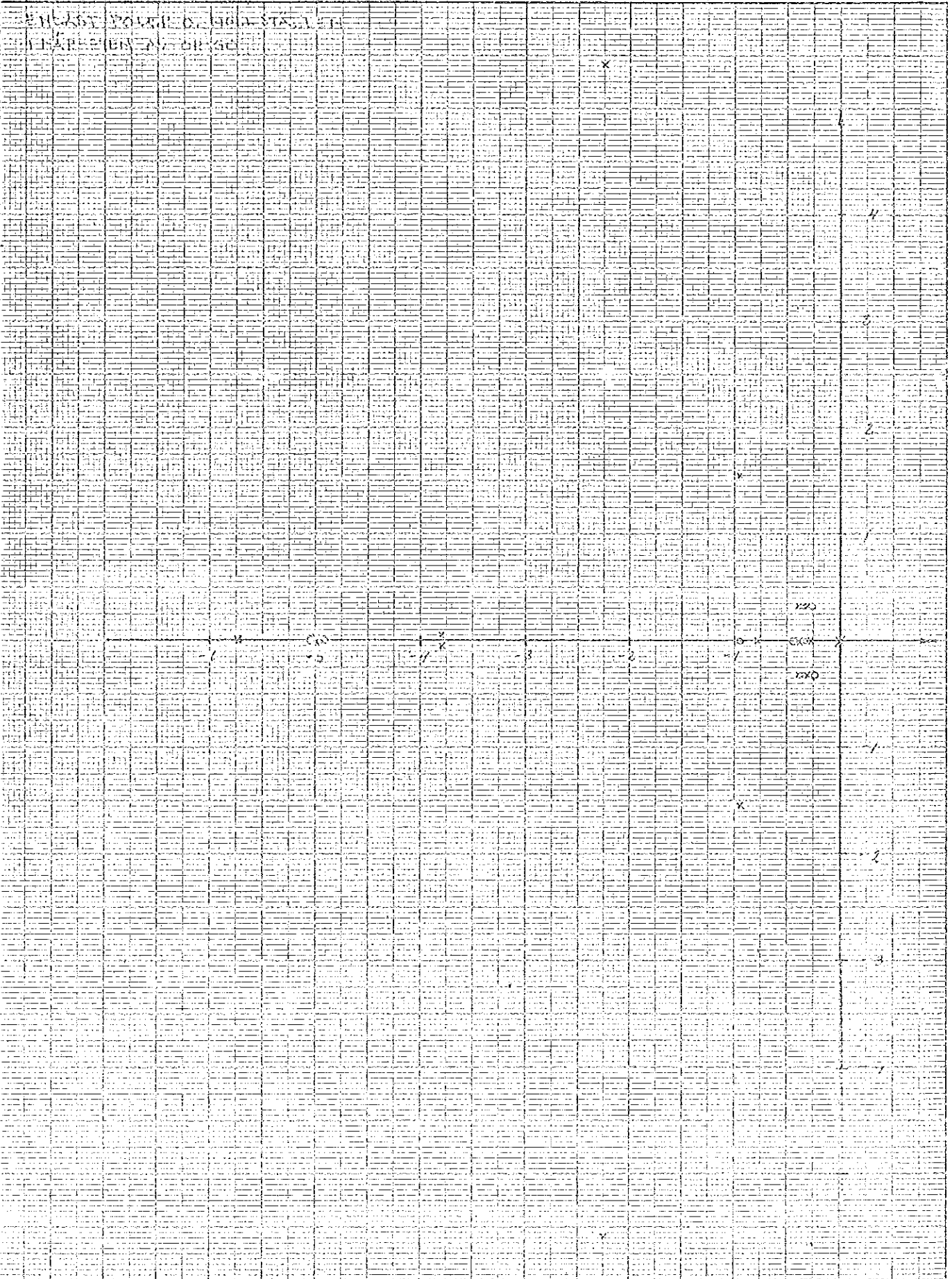
$\frac{y}{y_0}$.75/1.20 .30/3.57 .97/7.13 .38/15.29 .54/17.90

Resultaten uppfyller väl de krav på dämpningar och egenfrekvenser man uppställt för styrautomatsystem.



Diagramblad

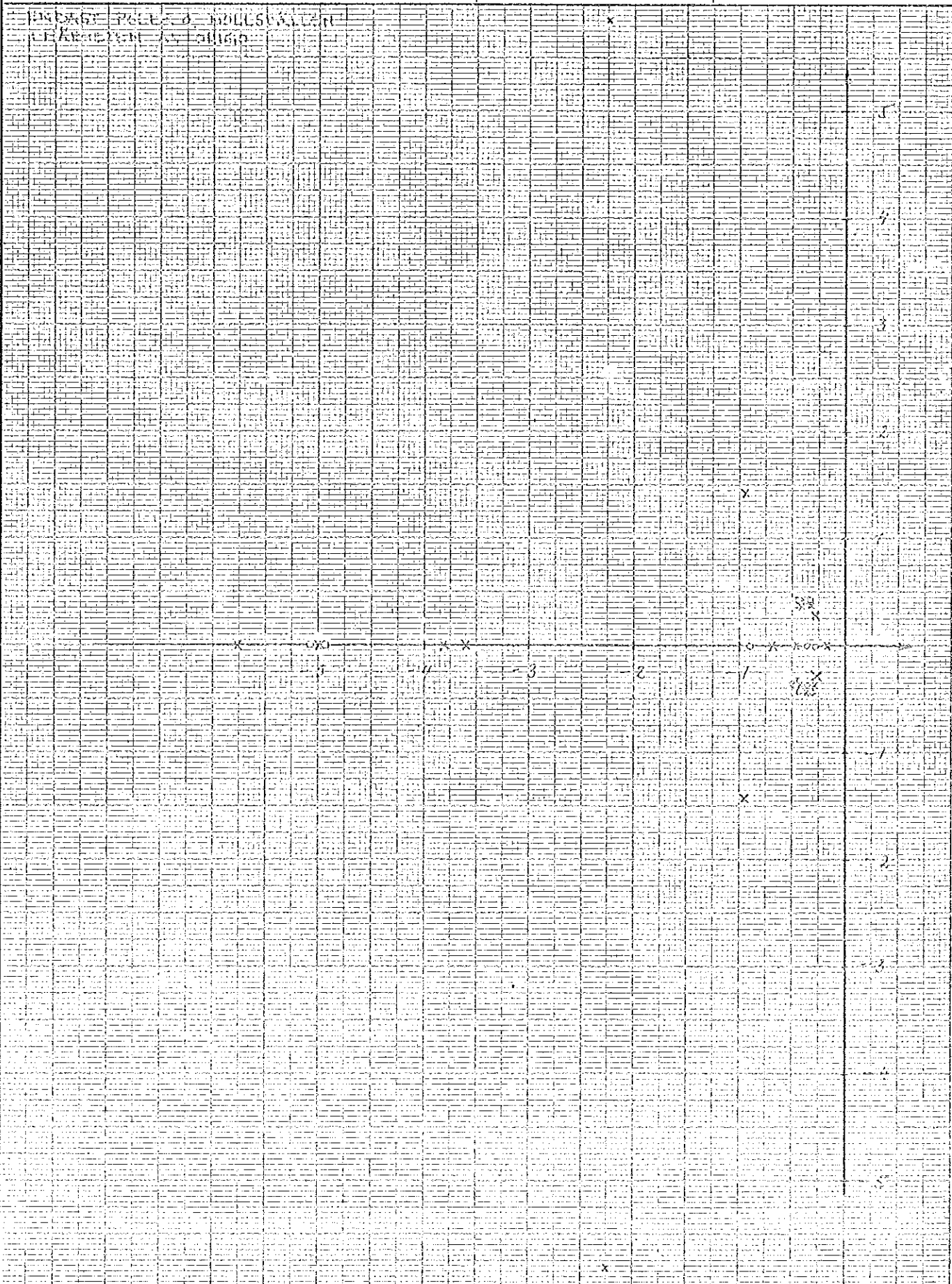
Avser POLER O. NOLLSTÄLLEN DIGITALA YTERLOCFAR TIPPLED GAMMAHÅLLNING	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utfördad R. ANDERINI	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	





Diagramblad

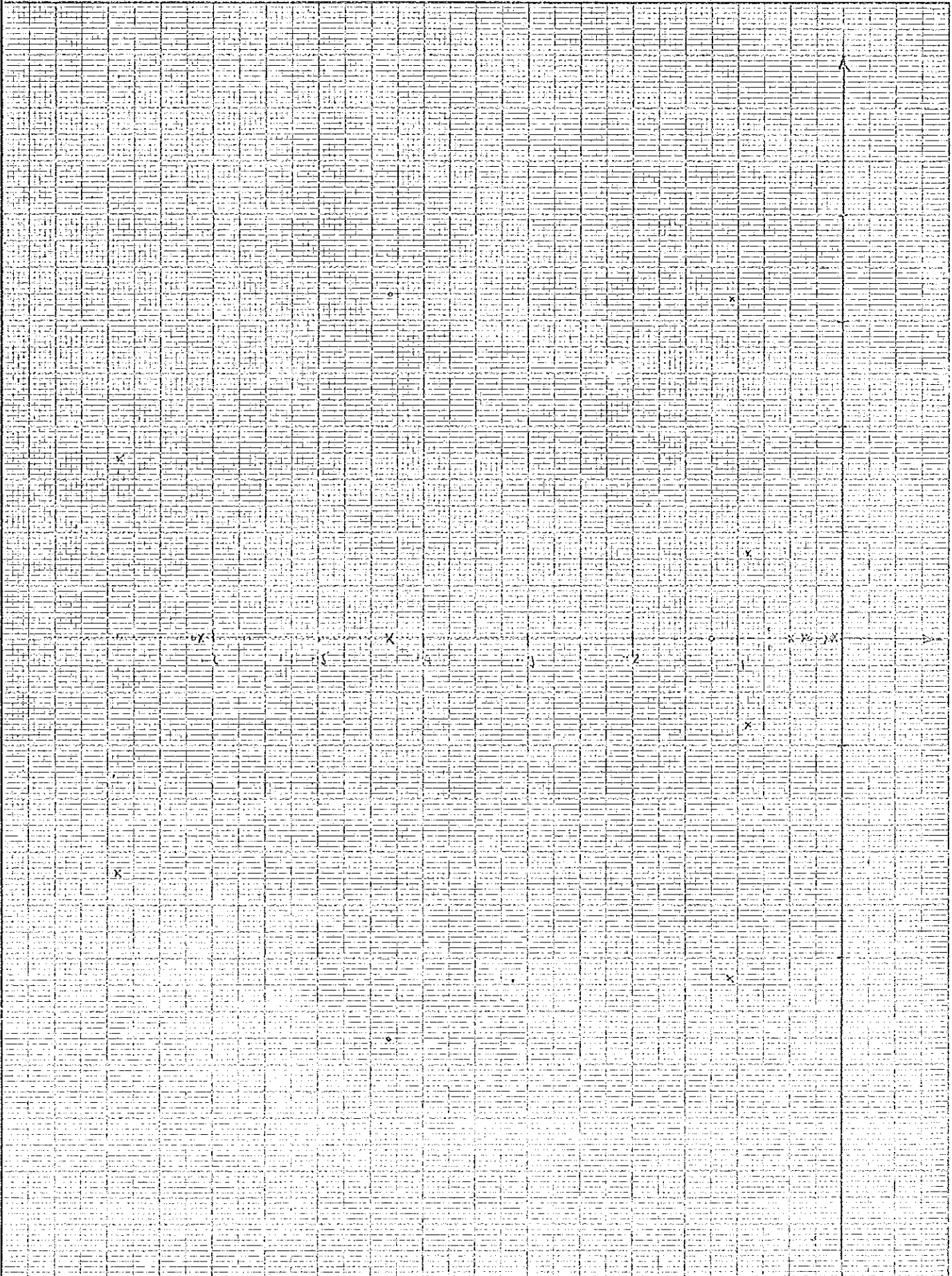
Avser POLER OCH NOLLSTÄLLEN DIGITALA YTTERLOOPAR TIPPLED ; HOJDHÅLLNING	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utförd av K. ANDERINI	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	





Diagramblad

Avser POLER o. NOLLSTÄLLEN DIGITAL VTTERLOPP GIK o. ROLLED	Datum	Bearbetad / datum, sign.
	Utförd av K. ANDERINI	Kontrollerad / datum, sign.
	Godkänd	



VARIATION AV FÖRSTÄRKNINGEN K_1 I YTTRE-
 LOOPEN. TIPPLED. HÖJDHÅLLNING. DUBBELPOLER.
 NOMINELL $K_1 = 0.15$

K_1	$\frac{y_1}{w_{01}}$	$\frac{y_2}{w_{02}}$	$\frac{y_3}{w_{03}}$	$\frac{y_4}{w_{04}}$	$\frac{y_5}{w_{05}}$	$\frac{y_6}{w_{06}}$	$\frac{y_7}{w_{07}}$	$\frac{y_8}{w_{08}}$
0.50	.53 / .47	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	.88 / .79	.64 / 1.46	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.30	.56 / .44	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	.93 / .69	.60 / 1.60	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.26	.58 / .43	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	.95 / .65	.59 / 1.63	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.24	.59 / .42	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	.96 / .63	.58 / 1.65	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.22	.62 / .42	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	.98 / .61	.58 / 1.67	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.20	.63 / .42	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	.99 / .59	.57 / 1.69	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.18	.65 / .42	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	—	.57 / 1.70	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.16	.67 / .42	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	—	.56 / 1.72	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.15	.67 / .43	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	—	.56 / 1.72	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.14	.68 / .43	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	—	.56 / 1.73	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.12	.69 / .43	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	—	.55 / 1.75	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.10	.69 / .44	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	—	.55 / 1.76	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.05	.70 / .45	.70 / .50	.70 / .50	.70 / .50	—	.54 / 1.79	.38 / 5.88	.59 / 16.95

DOMINANT
MODE

5-SECOND SHEET SECONDARY
MODE PERIOD MODE

VARIATION AV FÖRSTÄRKNINGEN K_2 I
YTTERLOOPEN, TIPPLED, γ -HÅLLNINGEN.
DUBBELPOLER. NOMINELL $K_2 = 0.80$.

K_2	ζ_1/ω_1	ζ_2/ω_2	ζ_3/ω_3	ζ_4/ω_4	ζ_5/ω_5	ζ_6/ω_6
3.0	.69 / .47	.70 / .50	-.07 / 2.51	.93 / 5.11	.40 / 6.07	.58 / 16.95
2.0	.69 / .47	.70 / .50	.07 / 2.23	.95 / 5.37	.39 / 5.99	.59 / 16.95
1.6	.69 / .47	.70 / .50	.17 / 2.10	.97 / 5.20	.37 / 5.95	.59 / 16.95
1.4	.69 / .47	.70 / .50	.23 / 2.03	.98 / 5.08	.39 / 5.93	.59 / 16.95
1.2	.69 / .47	.70 / .50	.30 / 1.95	.99 / 4.93	.39 / 5.92	.59 / 16.95
1.0	.70 / .47	.70 / .50	.39 / 1.88	1.00 / 4.17	.39 / 5.90	.59 / 16.95
0.8	.70 / .46	.70 / .50	.53 / 1.82	1.00 / 3.78	.38 / 5.88	.59 / 16.95
0.6	.71 / .46	.70 / .50	.72 / 1.87	—	.38 / 5.86	.59 / 16.95
0.4	.75 / .47	.70 / .50	.81 / 2.58	—	.38 / 5.84	.59 / 16.95

5-SECOND
MODE

SHORT SECONDARY
PERIOD MODE

DOMINANT

VARIATION AV FÖRSTÄRKNINGEN K_5 I
 YTTERLOOPEN. GIR-ROLLED.
 DUBBELPOLER, NOMINELL $K_5 = 0.4$

K_5	y_1/w_{01}	y_2/w_{02}	y_3/w_{03}	y_4/w_{04}	y_5/w_{05}	y_6/w_{06}	y_7/w_{07}
1.0	—	1.00 / .47	.72 / 1.62	.29 / 3.42	.97 / 7.33	.39 / 15.28	.54 / 17.95
0.8	—	1.00 / .46	.72 / 1.46	.29 / 3.48	.97 / 7.28	.39 / 15.28	.54 / 17.95
0.6	—	—	.72 / 1.32	.30 / 3.53	.97 / 7.21	.39 / 15.29	.54 / 17.92
0.5	—	—	.74 / 1.25	.30 / 3.55	.97 / 7.17	.39 / 15.29	.54 / 17.92
0.4	—	—	.75 / 1.20	.30 / 3.57	.97 / 7.15	.39 / 15.29	.54 / 17.90
0.3	1.00 / 0.12	—	.76 / 1.15	.30 / 3.59	.97 / 7.08	.39 / 15.29	.54 / 17.90
0.2	.99 / 0.10	—	.77 / 1.01	.30 / 3.61	.97 / 7.03	.39 / 15.29	.54 / 17.90

DUTCH
 ROLL
 MODE

SECONDARY
 MODES

DOMINANT

Appendix 1

Fortsättningsblad

```

/MATRIX 05 01
X AERO EQUATION ALFA
1      1 1 0.978832
0      1 1 1.85375      1 2 -0.942083      1 3 0.306008
0      1 4 0.113299
X AERO EQUATION 0
1      2 1 -1.43190      2 2 1.0
0      2 1 26.3498      2 2 4.69497      2 3 46.1384
0      2 4 19.6288      2 5 -0.257195
X AERO EQUATION CN
1      3 1 -1.0
0      3 2 1.0      3 5 1.0
0      5 3 1.0
0      4 2 0.0      4 4 1.0
/EIGENVALUES      POLES
      2      -2.610162      5.284523      .442851      5.893991

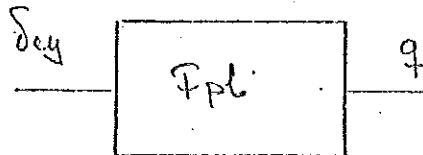
LEAD COEFFICIENT -.978832000E+00

0      4 2 1.0      4 4 0.0
/EIGENVALUES      ZEROS
      1      -1.721311      0.000000

LEAD COEFFICIENT .194046703E+02

STOP      .677 SECONDS

```



α η δ_{cl} δ_{cy} C_N
 ① ② ③ ④ ⑤

/MATRIX 05 01

X AERO EQUATION ALFA

1 1 1 0.978832

0 1 1 1.85375

X AERO EQUATION Q

1 2 1 -1.43190

0 2 1 26.3498

0 2 4 19.6288

X AERO EQUATION CN

1 3 1 -1.0

0 3 2 1.0

0 5 4 1.0

0 4 2 0.0

/EIGENVALUES POLES

2 -2.610162

1 2 -0.942083

2 2 1.0

2 2 4.69497

2 5 -0.257195

3 5 1.0

4 3 1.0

1 3 0.306008

2 3 46.1384

.442851

5.893991

LEAD COEFFICIENT .978832000E+00

0 4 2 1.0

4 3 0.0

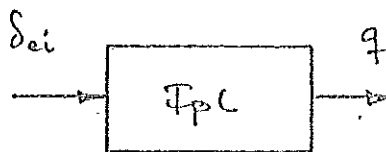
/EIGENVALUES ZEROS

1 -1.695888

0.000000

LEAD COEFFICIENT -.456786189E+02

STOP .678 SECONDS



/MATRIX 6 1

X AERO EQUATION ALFA

1	1 1	0.978832			
0	1 1	1.85375	1 2	-0.942083	1 3 0.306008
0	1 4	0.113299			

X AERO EQUATION Q

1	2 1	-1.43190	2 2	1.0	
0	2 1	26.3498	2 2	4.69497	2 3 46.1384
0	2 4	19.6288	2 5	-0.257195	

X AERO EQUATION CN

1	3 1	-1.0			
0	3 2	1.0	3 5	1.0	

X AERO EQUATION NZ

1	4 1	0.484605	4 2	-0.00510204	
0	4 2	-0.484605	4 6	1.0	
0	6 3	1.0			
0	5 4	0.0	5 6	1.0	

/EIGENVALUES *HOLLSTÄLLEN*

2	-3.864339	18.764960	.201701	19.158728
---	-----------	-----------	---------	-----------

LEAD COEFFICIENT =.440981423E-01

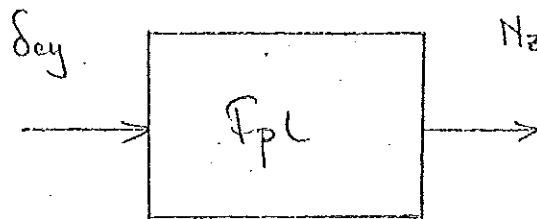
0	5 4	1.0	5 6	0.0
---	-----	-----	-----	-----

/EIGENVALUES *POLEK*

2	-2.610162	5.284523	.442851	5.893991
---	-----------	----------	---------	----------

LEAD COEFFICIENT .978832000E+00

STOP .696 SECONDS



α	q	δ_{ci}	δ_{cy}	C_N	N_z
①	②	③	④	⑤	⑥

X DEY

1	1921	0.0189	
0	1920	-1.0	1921 1.0
0	21 3	1.0	
2	7 9	0.0	
1	7 9	0.0	
1	810	0.0	
0	1110	0.0	
0	20 4	0.0	2021 1.0

/EIGENVALUES

ZEROS

1	0.000000	0.000000	q=SO		
2	-1.721311	0.000000	FPL		
3	-5.000000	0.000000	LEAD-LAG		
5	-2.250000	44.943715	BBF	.050000	45.000000
7	-4.250000	84.893684	BBF	.050000	85.000000

LEAD COEFFICIENT -.256592613E+00

0	20 4 1.0		2021 0.0
---	----------	--	----------

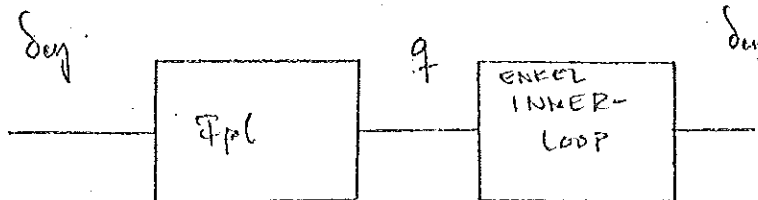
/EIGENVALUES

POLES

1	0.000000	0.000000	q=SO		
3	-2.610162	5.284523	FPL	.442851	5.893991
4	-44.999999	0.000000	BBF		
5	-44.999999	0.000000	BBF		
6	-50.000002	0.000000	BBF		
7	-85.000000	0.000000	BBF		
8	-85.000000	0.000000	BBF		
10	-105.909091	107.287172	RATL GYRO	.702521	150.755672
11	-303.030303	0.000000	NOISE FILTER		
12	-50.000000	0.000000	LAG		
13	-52.910053	0.000000	RUDDER		
14	-25.000000	0.000000	LEAD LAG		
15	-190.476190	0.000000	VALUE		
16	-200.000000	0.000000	KDEY		

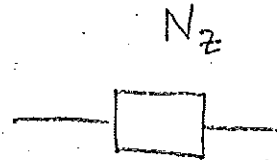
LEAD COEFFICIENT .112819941E-17

STOP 1.521 SECONDS



X DEY

1	1921	0.0189	
0	1920	-1.0	1921 1.0
0	21 3	1.0	
2	911	0.0	
1	911	0.0	
1	1012	0.0	
0	1011	-1.0	
0	1112	0.0	
0	20 4	0.0	2021 1.0



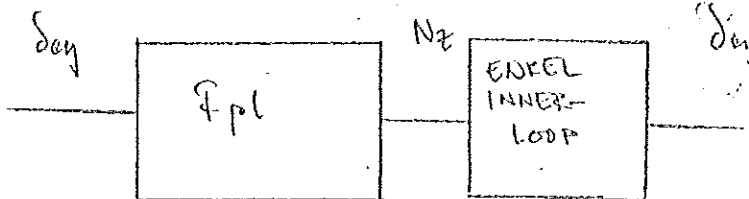
/EIGENVALUES	ZEROS				
1	-5.000000	0.000000	LEAD-LAG		
3	-4.250000	84.893684	BBF	.050000	85.000000
4	0.000000	0.000000	q=50		
6	-3.864339	18.764960	FpL	.201701	19.158728
8	-2.250000	44.943715	BBF	.050000	45.000000

LEAD COEFFICIENT -.306905431E-02

/EIGENVALUES	POLES				
1	0.000000	0.000000	q=50		
2	-5.000000	0.000000	Acc. filter		
4	-2.610162	5.284523	FpL	.442851	5.893991
5	-45.000000	0.000000	BBF		
6	-45.000000	0.000000	BBF		
7	-50.000000	0.000000	BBF		
8	-84.999998	0.000000	BBF		
9	-84.999998	0.000000	BBF		
10	-189.956385	0.000000	ACCELEROMETER		
11	-626.710285	0.000000	ACCELEROMETER		
12	-50.000000	0.000000	LAG		
13	-52.910053	0.000000	ELEVON		
14	-25.000000	0.000000	LEAD-LAG		
15	-190.476190	0.000000	VALVE		
16	-200.000000	0.000000	KDEY FILTER		

LEAD COEFFICIENT .130535469E-16

STOP 1.504 SECONDS



2 7 9 0.0
 1 7 9 0.0
 1 810 0.0
 0 1110 0.0
 2 1517 0.0
 1 1517 0.0
 1 1516 0.0
 2 1618 0.0
 1 1618 0.0
 0 1718 0.0
 1 19 4 0.0
 0 26 3 1.0

2626 0.0

/EIGENVALUES

1	0.000000	0.000000	Fpl		
2	-1.000000	0.000000	YAW		
4	-2.610162	5.284523	Fpl	.442851	5.893991
5	-45.000000	0.000000	BBF		
6	-45.000000	0.000000	BBF		
7	-50.000000	0.000000	BBF		
8	-85.000000	0.000000	BBF		
9	-85.000000	0.000000	BBF		
11	-105.909091	107.287172	RATE GYRO	.702521	150.755672
12	-303.030303	0.000000	NOISE FILTER		
13	.000000	0.000000	SERVO MOTOR		
14	-25.000000	0.000000	RUBBER		
16	-15.519167	4.352830	SERVO MOTOR	.962844	16.118054

LEAD COEFFICIENT =.136441350E-11

0 26 3 0.0

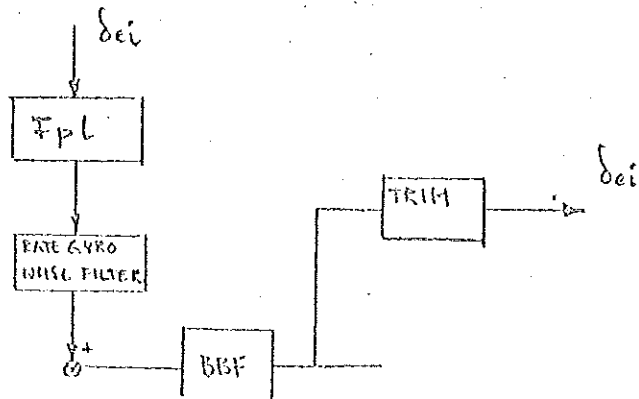
2626 1.0

/EIGENVALUES

1	-10.000000	0.000000	SERVO MOTOR		
2	0.000000	0.000000	Fpl		
3	-1.695888	0.000000	Fpl		
4	-5.000000	0.000000	BBF		
6	-2.250000	44.943715	BBF	.050000	45.000000
8	-4.250000	84.893684	BBF	.050000	85.000000

LEAD COEFFICIENT .632928724E+00

STOP 1.918 SECONDS



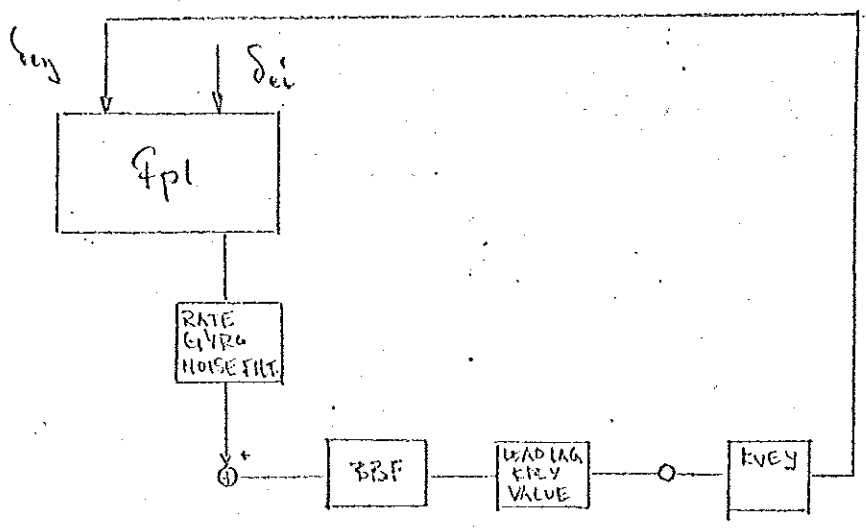
2 7 9 0.0
 1 7 9 0.0
 1 8 1 0 0.0
 0 1 1 1 0 0.0

/EIGENVALUES

1	0.000000	0.000000		
3	-3.587026	4.598885	SHORT PERIOD .615021	5.832367
5	-8.862279	12.476579	SECONDARY MODE .579092	15.303758
7	-25.019882	34.300519	.589312	42.456096
9	-51.901251	55.390144	.683752	75.906574
11	-123.140608	67.686285	.876339	140.517054
13	-103.262444	105.751530	.698637	147.805678
15	-206.817621	24.714251	.992936	208.289036
16	-303.272829	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .112819941E-17

STOP 1.298 SECONDS

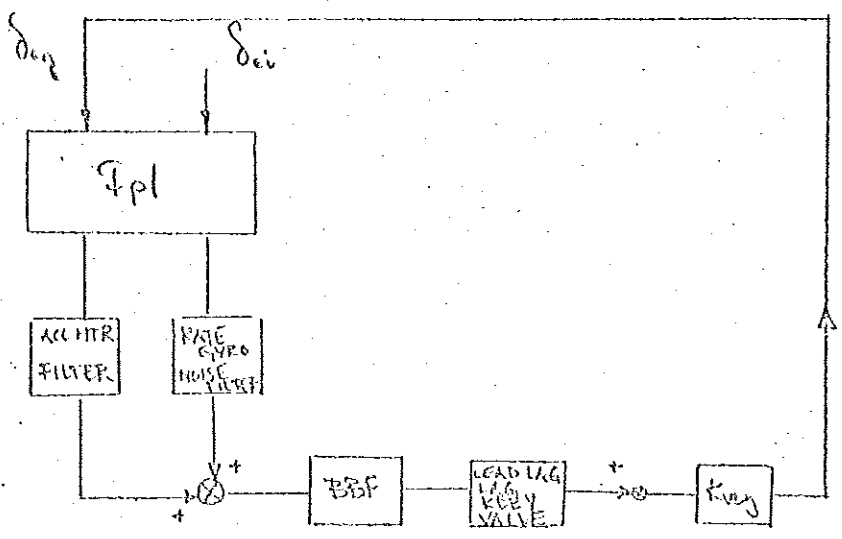


/EIGENVALUES

1	-5.000000	0.000000			
2	0.000000	0.000000			
4	-3.088583	5.226157	SHORT PERIOD	5.08778	6.070590
6	-9.082450	12.765719	SECONDARY MODE	5.79719	15.666987
8	-24.934620	34.480047		.585990	42.551251
10	-51.834702	55.651314		.681569	76.051989
12	-122.907174	68.172852		.874486	140.547896
14	-103.255742	105.752332		.698611	147.801570
15	-195.098723	0.000000			
17	-204.916649	25.053896		.992609	206.442560
18	-303.272912	0.000000			
19	-626.710244	0.000000			

LEAD COEFFICIENT .189537502E-23

STOP 1.322 SECONDS

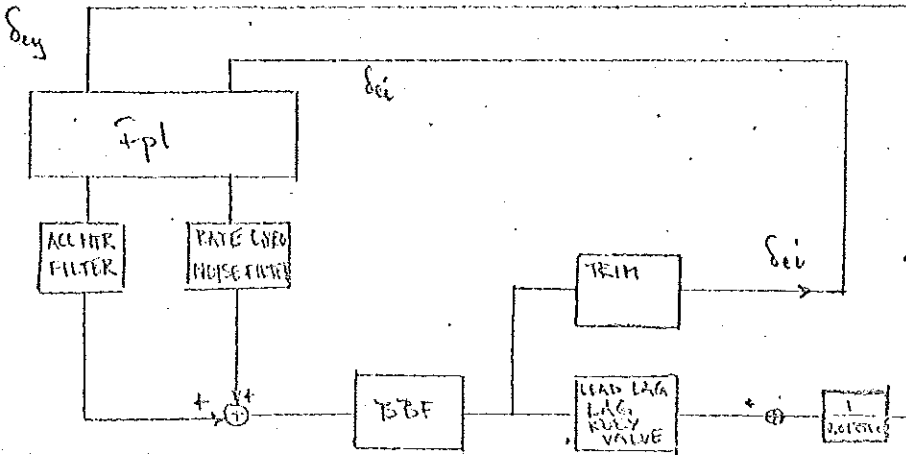


/EIGENVALUES

1	-0.000000	0.000000		
2	-25.000000	0.000000		
4	-0.471565	1.121864	5 SECOND MODE	0.387500
5	-5.000000	0.000000		
7	-2.995014	5.194671	SHORT PERIOD	0.499483
9	-15.502805	4.074988		0.967147
11	-9.213053	12.883253	SECONDARY MODE	0.581687
13	-24.943091	34.479560		0.586126
15	-51.835295	55.648498		0.681592
17	-122.905886	68.173446		0.874482
19	-103.255687	105.751712		0.698612
20	-195.098723	0.000000		
22	-204.916697	25.053899		0.992609
23	-303.272897	0.000000		
24	-626.710244	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .909780007E-27

STOP 1.670 SECONDS

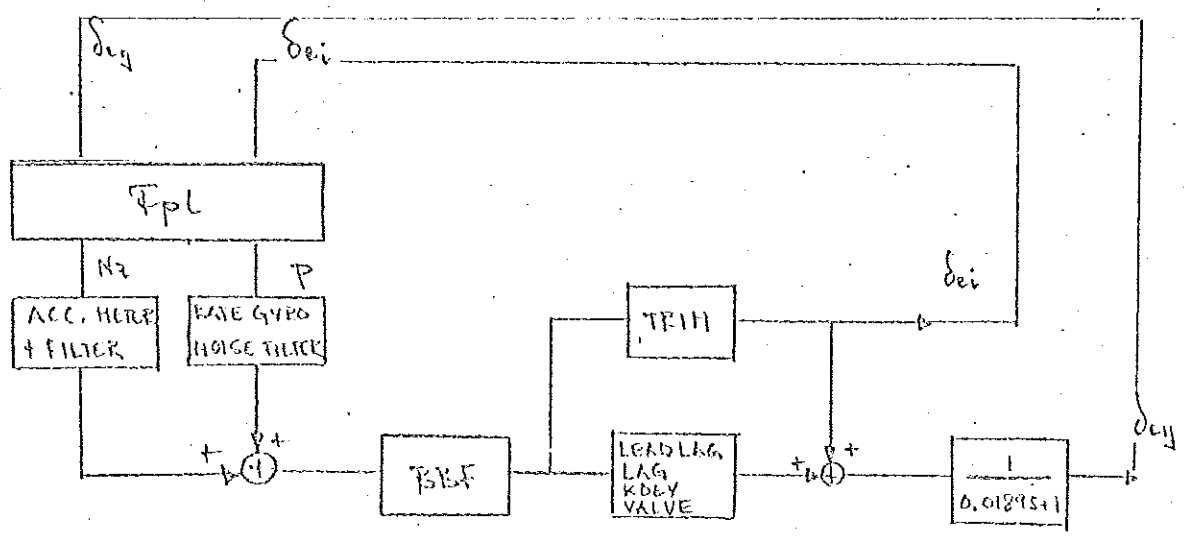


/EIGENVALUES

1	-0.000000	0.000000		
2	-25.000000	0.000000		
4	-0.452418	1.388292	5 SECOND MODE .309843	1.460150
5	-5.000000	0.000000		
7	-2.956313	5.172511	SHORT PERIOD .496214	5.957739
9	-15.514504	3.904932	.969754	15.998385
11	-9.254909	12.957105	SECONDARY MODE .581231	15.922937
13	-24.946010	34.482761	.586136	42.560125
15	-51.836445	55.648715	.681599	76.051275
17	-122.906005	68.173141	.874483	140.547014
19	-103.255799	105.751754	.698613	147.801196
20	-195.098723	0.000000		
22	-204.916690	25.053900	.992609	206.442602
23	-303.272899	0.000000		
24	-626.710244	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .909780007E-27

STOP 1.735 SECONDS



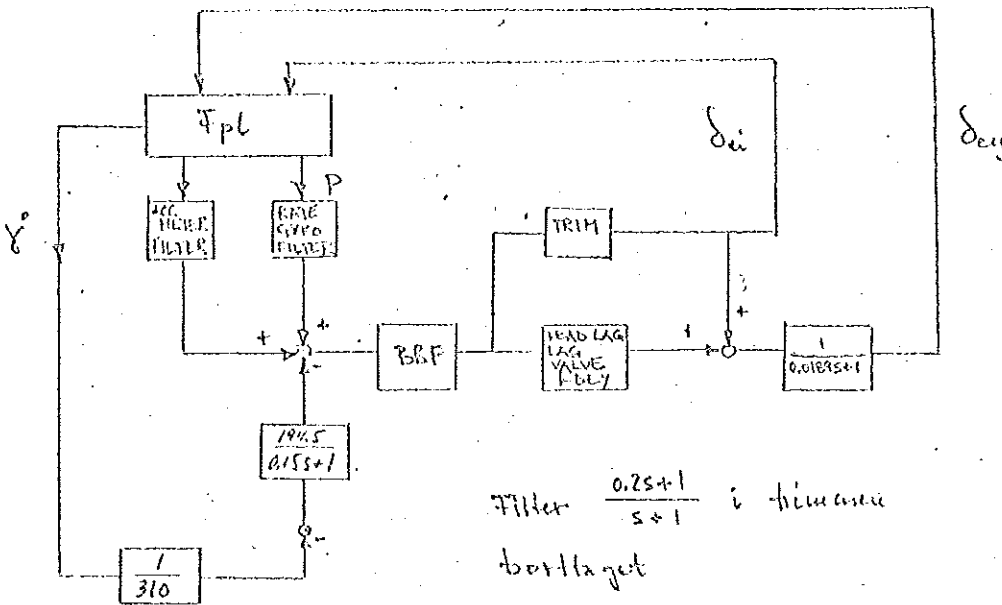
1 2021 0.0
 1 2016 0.0

/EIGENVALUES

1	-6.815402	0.000000		
2	-1.786642	0.000000		
4	-1.318363	1.658082	5-SECOND MODE .622360	2.118329
6	-2.309540	5.424853	SHORT PERIODS .391712	5.896016
7	-14.332206	0.000000		
8	-16.687032	0.000000		
10	-10.006923	13.713952	SECONDARY MODE .589448	16.976777
11	-25.000000	0.000000		
13	-25.001389	34.497399	.586826	42.604460
15	-51.847759	55.640088	.681735	76.052676
17	-122.903762	68.176024	.874471	140.546451
19	-103.255997	105.749430	.698621	147.799672
20	-195.097753	0.000000		
22	-204.918562	25.054951	.992608	206.444588
23	-303.272848	0.000000		
24	-626.710244	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .136467001E-27

STOP 1.984 SECONDS



Förrentblad ytterloop

X PCLER GAMMA HOLD FULLSTÄNDIG MODELL

0 2850 -1.0

0 50 R 0.0

5050 1.0

Z/EIGENWERTS

1	-25.000000	0.000000		
2	-5.000000	0.000000		
3	-.000000	0.000000		
4	-.333333	0.000000		
5	-.356765	0.000000		
7	-.324803	.330881	.700522	.463658
9	-.350000	.357071	.700000	.500000
10	-.789564	0.000000		
12	-.957964	1.550748	5-SECOND MODE .525552	1.822776
14	-3.776892	.043927	.999932	3.777147
15	-5.733777	0.000000		
17	-2.262124	5.427500	SHORT PERIOD .384712	5.880047
18	-12.062372	0.000000		
19	-14.478812	0.000000		
20	-16.649426	0.000000		
22	-9.983843	13.695379	SECONDARY MODE .589081	16.948172
23	-33.292577	0.000000		
25	-24.994366	34.489389	.586807	42.593853
27	-51.843237	55.637296	.681721	76.047551
29	-122.901278	68.174408	.874471	140.543495
31	-103.255974	105.749381	.698621	147.799620
32	-195.098704	0.000000		
34	-204.916896	25.053923	.992609	206.442809
35	-303.272840	0.000000		
36	-626.710244	0.000000		

LEAD COEFFICIENT -.558773400E-25

7 KOLLSTÄLLEN GAHHA HOLD FULLSTÄNDIG HODLLA

0 50 8 1.0

5050 0.0

ZEIGENVALUES

1	-25.000000	0.000000		
2	-.333333	0.000000		
3	-4.999996	0.000000		
5	-3.175819	7.350871	.396602	8.007567
7	-13.966577	1.208634	.996277	14.018776
8	-18.135664	0.000000		
9	18.588674	0.000000		
11	-2.250000	44.943715	.050000	45.000000
13	-4.250001	84.893683	.050000	85.000000
15	-105.909091	107.287171	.702521	150.755672
16	-303.030303	0.000000		
17	-85950.129460	0.000000		
18	-5.000000	0.000000		
19	-189.956384	0.000000		
20	-626.710283	0.000000		
21	-.925926	0.000000		
22	-.333333	0.000000		
23	-11.764706	0.000000		
24	-33.333333	0.000000		
26	-.350000	.357071	.700000	.500000
27	0.000000	0.000000		
29	-.350000	.357071	.700000	.500000
30	-3.995816	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .860351070E-18

STOP 12.173 SECONDS

X POLER HÖJDHÅLLNING FULLST. MODELL

0	3650	-0.0000878			
0	5050	1.0	5036	0.0	
Z EIGENVALUES					
1		-5.000000	0.000000		
2		-25.000000	0.000000		
3		-.333333	0.000000		
5		-.350000	.357071	.700000	.500000
7		-.350000	.357071	.700000	.500000
8		-.184334	0.000000		
9		-.453999	0.000000		
11		-.286815	.315068	DOMINANT! .673173	.426064
13		-.350000	.357071	.700000	.500000
14		-.691738	0.000000		
16		-.962191	1.431354	5-SECOND MODE .557889	1.724699
17		-3.591464	0.000000		
18		-3.818385	0.000000		
19		-5.765147	0.000000		
21		-2.259765	5.426744	SHORT PERIOD .384416	5.878443
22		-12.063029	0.000000		
23		-14.479140	0.000000		
24		-16.649377	0.000000		
26		-9.983912	13.695450	SECONDARY MODE .589082	16.948270
27		-33.292566	0.000000		
29		-24.994366	34.489391	.586807	42.593854
31		-51.843237	55.637296	.681721	76.047551
33		-122.901277	68.174408	.874471	140.543495
35		-103.255974	105.749381	.698621	147.799620
36		-195.098704	0.000000		
38		-204.916898	25.053921	.992609	206.442810
39		-303.272836	0.000000		
40		-626.710244	0.000000		

LEAD COEFFICIENT -.894037440E-24

X NOLLSTÄLLEN HÖJDHÅLLNING FULLST. MODELL

0	5050 0.0	5036 1.0		
/EIGENVALUES				
2	-.350000	.357071	.700000	.500000
4	-.350000	.357071	.700000	.500000
5	-5.000000	0.000000		
6	-.333333	0.000000		
7	-.333333	0.000000		
9	-.350000	.357071	.700000	.500000
10	-.925926	0.000000		
12	-.350000	.357071	.700000	.500000
13	-5.000000	0.000000		
14	-11.764706	0.000000		
16	-13.966588	1.208588	.996277	14.018782
18	-3.175819	7.350872	.396602	8.007568
19	-18.135638	0.000000		
20	18.588705	0.000000		
21	-25.000000	0.000000		
22	-33.333333	0.000000		
24	-2.250018	44.943568	.050001	44.999854
26	-4.254769	84.892089	.050057	84.998646
28	-105.909091	107.287172	.702521	150.755672
29	-189.992196	0.000000		
30	-303.030303	0.000000		
31	-622.363466	0.000000		

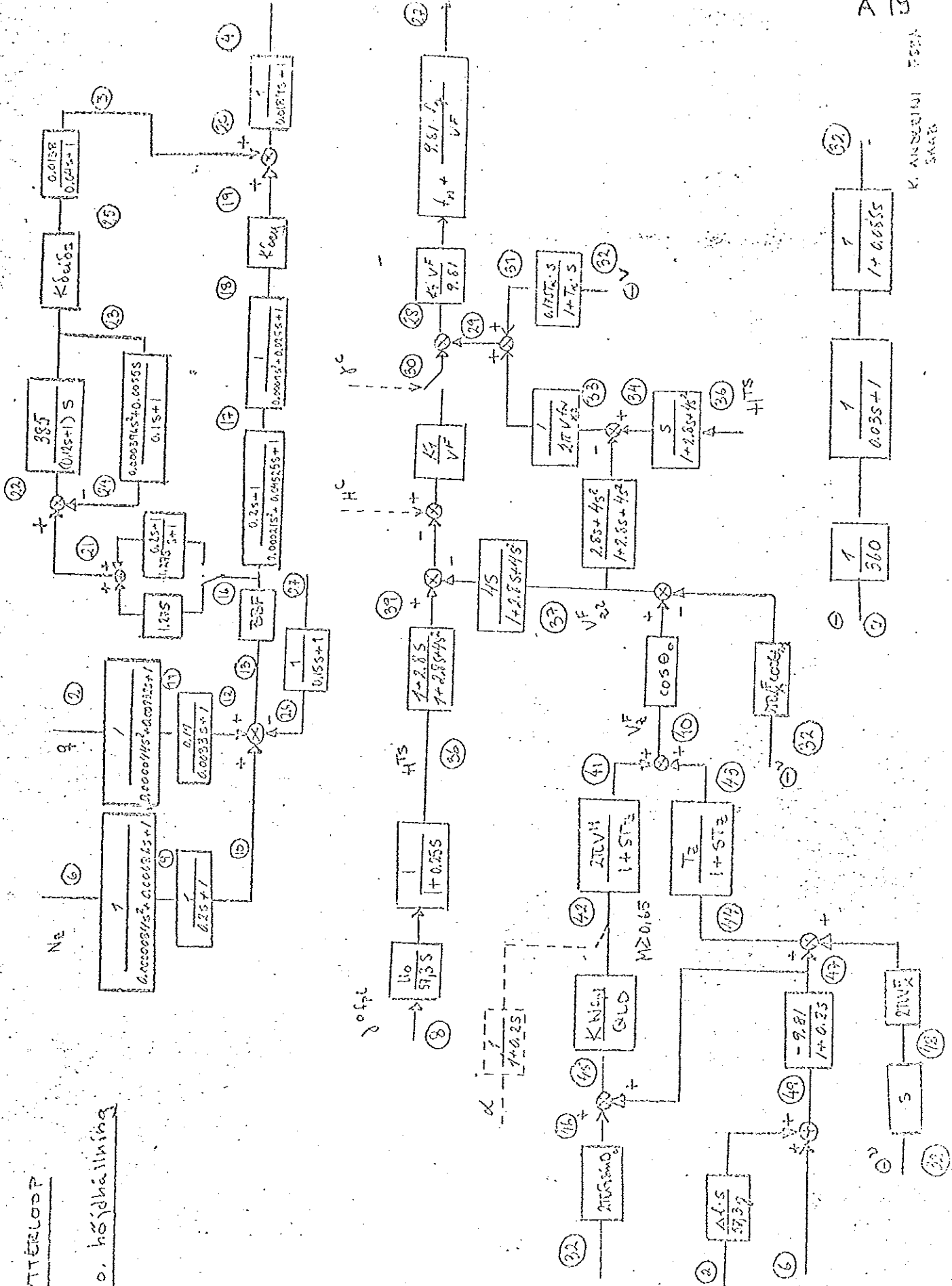
LEAD COEFFICIENT .198386973E-14

STOP 7.093 SECONDS

DIGITALISERAD YTTERLOPP

TIPPLED

Samtidsbalkning o. höjdhållning



Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
Urfårdare (namn, bezeichnung, tel.)			

Ärende

EKVATIONER TIPPLED

1. AERO EQUATION ALFA

$$\dot{\alpha} = q - \frac{qS}{mV_T} \left[C_{HX} \cdot \alpha + C_{H\delta_{ei}} \cdot \delta_{ei} + C_{H\delta_{ey}} \cdot \delta_{ey} + \frac{c}{2V_T} \{ C_{HX} \dot{\alpha} + C_{Hq} q \} \right]$$

2. AERO EQUATION Q

$$\dot{q} = \frac{qSc}{I_y} \left[C_{mq} \cdot \alpha + C_{m\delta_{ei}} \cdot \delta_{ei} + C_{m\delta_{ey}} \cdot \delta_{ey} + \frac{c}{2V_T} \{ C_{mq} \dot{\alpha} + C_{mq} q \} + \frac{\Delta X}{c} C_N \right]$$

3. AERO EQUATION C_N

$$C_N \frac{mV_T}{qS} \alpha + \frac{mV_T}{qS} q = 0$$

4. AERO EQUATION N_Z

$$N_Z = \frac{U_0}{57,3q} \cdot q + \frac{l_{XA}}{57,3q} \cdot \dot{q} - \frac{U_0 \dot{\alpha}}{57,3q}$$

5. EQUATION Q THETA

$$q - 5\dot{\theta} = 0$$

6. EQUATION GAMMA ALFA THETA

$$\theta - \alpha - \gamma = 0$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfärdare (namn, beteckning, tel.)		

Krende

7. ACCELEROMETER PITCH

$$(0.0000084s^2 + 0.00686s + 1) \textcircled{9} - \textcircled{6} = 0$$

8. ACC FILTER

$$(0.2s + 1) \textcircled{10} - \textcircled{9} = 0$$

9. RATE GYRO

$$(0.000044s^2 + 0.00932s + 1) \textcircled{11} - \textcircled{2} = 0$$

10. NOISE FILTER

$$(0.0033s + 1) \textcircled{12} - 0.19 \textcircled{11} = 0$$

11. G SUM

$$\textcircled{10} + \textcircled{12} - \textcircled{13} - \textcircled{26} = 0$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfördare (namn, beteckning, tel.)		

Ärende

12. BBF 1

$$(s^2 + 90s + 2025) \textcircled{14} - (s^2 + 4.5s + 2025) \textcircled{13} = 0$$

13. BBF 2

$$(s^2 + 170s + 7225) \textcircled{15} - (s^2 + 8.5s + 7225) \textcircled{14} = 0$$

14. BBF 3

$$(0.02s + 1) \textcircled{16} - \textcircled{15} = 0$$

15. LEAD LAG AND LAG

$$(0.00021s^2 + 0.04525s + 1) \textcircled{17} - (0.2s + 1) \textcircled{16} = 0$$

16. SCHEDULED GAIN AND VALVE

$$(0.0001s^2 + 0.025s + 1) \textcircled{18} - \textcircled{17} = 0$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfördare (namn, beteckning, tel.)		

Ärende

17. KDEY

$$\textcircled{19} - \text{KDEY } \textcircled{18} = 0$$

18. ELEVON SUM

$$-\textcircled{3} - \textcircled{19} + \textcircled{20} = 0$$

19. DEY

$$(0,0189s + 1) \textcircled{4} - \textcircled{20} = 0$$

20. KTNZ

fittat borttaget

$$(s+1) \textcircled{21} - (0,255s + 1,275) \textcircled{16} = 0$$

21. TRIM SUM

$$\textcircled{21} - \textcircled{24} - \textcircled{22} = 0$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utförare (namn, belevning, tel.)		

Ärende

22. SERVO MOTOR

$$\textcircled{23} (0.12s^2 + s) - \textcircled{22} 385 = 0$$

23. SERVO MOTOR FEED-BACK

$$(0.077396s^2 + 0.0055s) \textcircled{23} - (0.1s + 1) \textcircled{24} = 0$$

24. MECHANICAL GEARING

$$\textcircled{25} - K_{\text{seids}} \textcircled{23} = 0$$

25. DEI

$$(0.04s + 1) \textcircled{3} - 0.0138 \textcircled{25} = 0$$

26. FILTER

$$(0.15s + 1) \textcircled{26} - \textcircled{27} = 0$$

Fördelning	Datum	Utgöva	Sida
	Utfärdare (namn, beteckning, tel.)		
Ärende			

27. TIPPKANAL

$$\textcircled{27} - \left[\frac{K_2 V^F}{9.81} \right] \left[f_h + \frac{f_q \cdot 9.81}{V^F} \right] \textcircled{28} = 0$$

28. GAMMA SUM: OM BANVINKEL-
HÅLLNING 2830 0.0

$$- \textcircled{30} + \textcircled{29} + \textcircled{28} = 0$$

29. GAMMA SI SUM

$$\textcircled{33} \left(\frac{1}{2\pi V_x^F} \right) + \textcircled{31} - \textcircled{29} = 0$$

30. GAMMA FILTER

$$\textcircled{31} (1 + T_R \cdot S) - 0.175 T_R \cdot S \textcircled{32} = 0$$

31. HÖJDFILTER 1

$$\textcircled{34} (1 + 2.8S + 4S^2) - \textcircled{36} S = 0$$

Fördelning	Datum	Utgöva	Sida
Utfördare (namn, beteckning, tel.)			

Arende

32. HPRICK 7 SUM

$$\textcircled{34} - \textcircled{35} - \textcircled{33} = 0$$

33. HÖJDFILTER 2

$$\textcircled{35} (1 + 2.8s + 4s^2) - (2.8s + 4s^2) \textcircled{37} = 0$$

34. HÖJDFILTER 3

$$\textcircled{38} (1 + 2.8s + 4s^2) - 4s \textcircled{37} = 0$$

35. HÖJDFILTER 4

$$\textcircled{39} (1 + 2.8s + 4s^2) - \textcircled{36} (1 + 2.8s) = 0$$

36. HÖJD SUM

$$+ \textcircled{39} \frac{K_1}{VF} - \textcircled{38} \frac{K_1}{VF} + \textcircled{30} = 0$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfärdare (namn, beteckning, tel.)		
Ärende			

37. RESOLVERING, SUM

$$\textcircled{37} - \cos \theta_0 \textcircled{40} + 2\pi V_X \cos \theta_0 \textcircled{32} = 0$$

38. VFZ SUM

$$\textcircled{40} - \textcircled{41} - \textcircled{43} = 0$$

39. PARTFILTER 1

$$(1 + T_2 s) \textcircled{41} - 2\pi V_M \textcircled{42} = 0$$

40. PARTFILTER 2

$$(1 + T_2 s) \textcircled{43} - T_2 \textcircled{44} = 0$$

41. BERÄKNAT ALFA ($M \geq 0.65$)

$$\textcircled{42} + \frac{K_{NCP}}{Q_{LD}} \textcircled{45} = 0$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
Utfördare (namn, beteckning, tel.)			

Ärende

42. A2 SUM 1

$$\textcircled{45} - \textcircled{46} - \textcircled{47} = 0$$

43. JORD ACC

$$\textcircled{46} - 2\pi q \sin \theta_0 \textcircled{32} = 0$$

44. A2 SUM 2

$$\textcircled{44} - \textcircled{47} - 2\pi V_X^F \textcircled{48} = 0$$

45. A2 LÅG PASS

$$\textcircled{47} (1 + 0.25) + 9.81 \textcircled{49} = 0$$

46. DERIVERING

$$\textcircled{48} - \textcircled{32} S = 0$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utförare (namn, beteckning, tel.)		

Arende

47. ACC. PLATS

$$\textcircled{49} - \textcircled{6} + \frac{\Delta l \cdot s}{57,3g} \textcircled{2} = 0$$

48. THETA FILTERING

$$\textcircled{32} (0,918s^2 + 41,4s + 360) - \textcircled{7} = 0$$

49. GAMMA FILTERING

$$\textcircled{36} (57,3s + 14,34s^2) - u_0 \textcircled{8} = 0$$

	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖
	α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο	π	ρ	σ	τ	υ
	α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο	π	ρ	σ	τ	υ
1.	βγS αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ
2.	βγS αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ
3.	-βγS αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ
4.	βγS αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ	αβ
5.		1				-5														
6.	-1					1	-1													
7.																				
8.																				
9.																				
10.																				
11.																				
12.																				
13.																				
14.																				
15.																				
16.																				
17.																				

Key 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
18			-1																-1	1						
19				0.01575	1															1						
20																										
21																					1	-1				
22																						-385	0.025			
23																						0.0003965 ²	0.0055	-0.015		
24																								-K ₆₀ 1		
25					0.045	1																				
26																										0.155
27																										
28																										
29																										
30																										
31																										
32																										
33																										
34																										

0.0255 x 600 mg at → 5
-1235

0.045
1

-0.015

0.155
1

	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26	-1																						
27	1	0.0723																					
28		1	1	-1																			
29			-1		1	0.0233																	
30					1	0.15165																	
31						1																	
32																							
33																							
34																							

-48
-2.88

1.5
2.88

-1 1 -1

1.5
2.88

-48
2.88

Appendix 2

ZMATRIX 05 01

1	1 1	1.0	1 2	0.206637	
0	1 1	3.80190	1 2	28.233	1 3 -11.5974
0	1 4	-0.717244			
1	2 2	0.00149102	2 4	1.0	
0	2 1	0.0353802	2 2	-15.4078	2 3 12.1345
0	2 4	1.11560			
1	3 2	1.00384			
0	3 1	-0.0114145	3 2	0.562358	3 3 -0.108515
0	3 4	0.991205	3 5	-0.0360128	
1	4 5	-1.0			
0	4 1	1.0			

XPOLES

0	5 4	0.0	5 3	1.0
---	-----	-----	-----	-----

/EIGENVALUES

1	-.011791	0.000000	SPRAL	MODE	
2	-3.831107	0.000000	ROLLING	MODE	
4	-.817843	3.945674	DUTCH ROLL	.202962	4.029543

LEAD COEFFICIENT -.100334000E+01

0	5 4	1.0	5 3	0.0
---	-----	-----	-----	-----

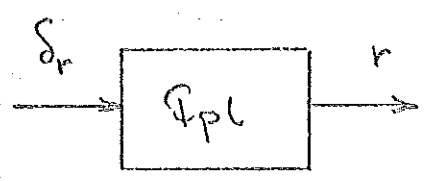
XZEROS

/EIGENVALUES

2	-.215769	.282809	.606567	.355721
3	-3.829418	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .121812583E+02

STOP .715 SECONDS



/MATRIX 05 01

1	1 1	1.0	1 2	0.206637	
0	1 1	3.80190	1 2	28.233	1 3 -79.8403
0	1 4	-0.717244			
1	2 2	0.00149102	2 4	1.0	
0	2 1	0.0353802	2 2	-15.4078	2 3 -1.18250
0	2 4	1.11560			
1	3 2	1.00384			
0	3 1	-0.0114145	3 2	0.562358	3 3 0.012565
0	3 4	0.991205	3 5	-0.0360128	
1	4 5	-1.0			
0	4 1	1.0			

XPOLES

0	5 1	0.0	5 3	1.0
---	-----	-----	-----	-----

/EIGENVALUES

1	-0.011791	0.000000		
2	-3.831107	0.000000		
4	-0.817843	3.945674	.202962	4.029543

LEAD COEFFICIENT -.100384000E+01

0	5 1	1.0	5 3	0.0
---	-----	-----	-----	-----

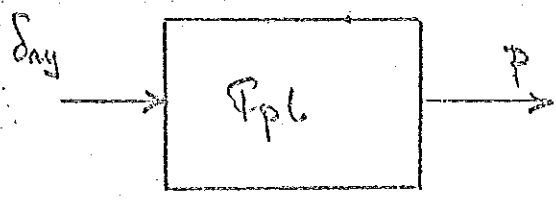
XZEROS

/EIGENVALUES

1	0.000000	0.000000		
3	-0.846194	3.942627	.209848	4.032413

LEAD COEFFICIENT -.801494831E+02

STOP .699 SECONDS



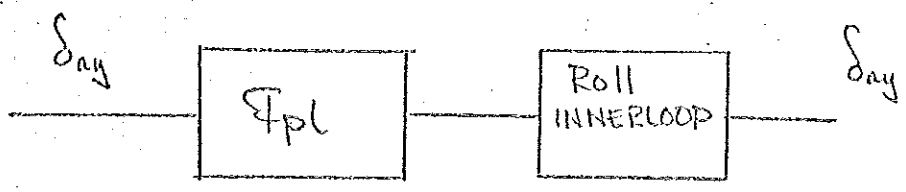
	1212 0.0	1213 1.0		
0	/EIGENVALUES X POLES			
1	-190.476190	0.00525	0.000000	VALUE
2	-.011791	FPL	0.000000	FPL
4	-.817843	FPL	3.945674	FPL .202962 4.029543
5	-3.831107	FPL	0.000000	FPL
6	-53.191489	0.0100	0.000000	
8	-255.000000	0.000000	259.751805	.700549 364.000000
9	-22.222222	0.000000	0.000000	
10	-25.000000	0.000000	0.000000	
11	-59.999486	BBF	0.000000	BBF
12	-60.000514	BBF	0.000000	BBF
13	-416.666667	BBF	0.000000	BBF
14	-294.117647	0.000000	0.000000	
15	-303.030303	0.000000	0.000000	

LEAD COEFFICIENT -.480239915E-14

	1212 1.0	1213 0.0		
0	/EIGENVALUES X ZEROS			
2	-3.000000	59.924953	BBF	.050000 60.000000
3	0.000000	0.000000	FPL	
5	-.846194	3.942627	FPL	.209848 4.032413
6	-6.666667	0.000000	High pass	

LEAD COEFFICIENT -.796461444E+05

STOP 1.099 SECONDS



/MATRIX 15 02

X P AERO EQUATION

1	1 1 1.0	1 2 0.206637	
0	1 1 3.80190	1 2 28.233	1 3 -79.8403
0	1 4 -0.717244		

X R AERO EQUATION

1	2 2 0.00149102	2 4 1.0	
0	2 1 0.0353802	2 2 -15.4078	2 3 -1.18250
0	2 4 1.11560		

X BETA AERO EQUATION

1	3 2 1.00384		
0	3 1 -0.0114145	3 2 0.562358	3 3 0.012565
0	3 4 0.991205	3 5 -0.0360128	

X P FI EQUATION

1	4 5 -1.0		
0	4 1 1.0		

X ROLL GYRO

2	5 6 1.0		
1	5 6 510.0		
0	5 1 -132496.0	5 6 132496.0	

X NOISE FILTER

2	6 7 0.00001122		
1	6 7 0.0067		
0	6 6 -1.0	6 7 1.0	

X LEAD LAG

1	7 7 -0.15	7 8 0.045	
0	7 7 -1.0	7 8 1.0	

X P SUM

0	8 8 -1.0	8 9 1.0	
---	----------	---------	--

X P NOTCH

2	9 9 -1.0	9 10 1.0	
1	9 9 -6.0	9 10 120.0	
0	9 9 -3600.0	9 10 3600.0	

X P RBF

1	10 11 0.04		
0	10 10 -1.0	10 11 1.0	

X P SHFD

1	11 12 0.0024		
0	11 11 -0.05	11 12 1.0	

X DAIC SUM

0	12 12 -1.0	12 13 -1.0	
---	------------	------------	--

X DAY VALVE

1	13 14 0.00525		
0	13 13 -1.0	13 14 1.0	

X DAY SUM

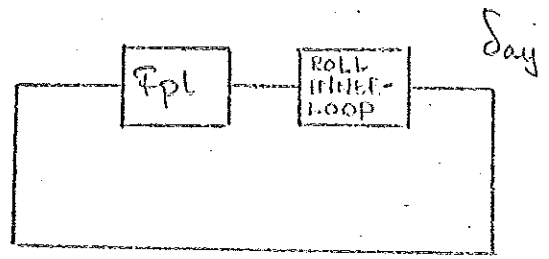
0	14 14 1.0	14 15 -1.0	
---	-----------	------------	--

X DEY END

1	15 3 0.0188		
0	15 3 1.0	15 15 -1.0	

/EIGENVALUES

1	-0.005766	0.000000		
3	-0.832137	3.951479	.206069	4.038148
4	-5.545468	0.000000		
6	-8.651522	16.204451	SECOND MODE .470976	18.369351
8	-43.439617	41.558996	.722575	60.117799
10	-143.390043	34.504901	.972243	147.473471
12	-306.962108	34.442076	.993764	308.888317
14	-255.063340	259.913323	.700416	364.159639
15	-417.974337	0.000000		



LEAD COEFFICIENT .480239915E-14

✓ EIGENVALUES X POLES

INDEX	EIGENVALUES	POLES	ASSOCIATED COMPONENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT
1	-0.011791	0.000000	Fpl		
2	-0.500000	0.000000	HIGH PASS		
3	-3.831107	0.000000	Fpl		
5	-0.817843	3.945674	Fpl	.202962	4.029543
6	-10.000000	0.000000	LEAD LAG		
7	-62.500000	0.000000	RUDDER		
8	-111.111111	0.000000	LAG		
10	-105.909091	107.287172	GYRO	.702521	150.755672
11	-250.000000	0.000000	BOUNDARY VALUE		
12	-416.666667	0.000000	YAW AXIS		
13	-25.000000	0.000000	TFT		
14	-64.000000	0.000000	BBF		
15	-64.000000	0.000000	BBF		

LEAD COEFFICIENT -.232994760E-06

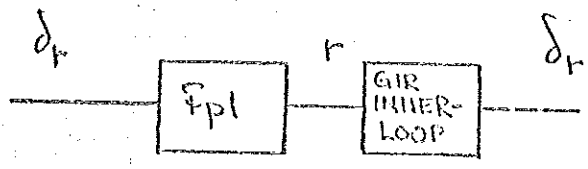
0 2827 -1.0 2828 0.0

✓ EIGENVALUES X ZEROS

INDEX	EIGENVALUES	ZEROS	ASSOCIATED COMPONENT	COEFFICIENT	COEFFICIENT
2	-3.200000	63.919950	BBF	.050000	64.000000
3	0.000000	0.000000	HIGH PASS		
4	-4.000000	0.000000	LEAD LAG		
6	-0.215769	.282809	Fpl	.606567	.355721
7	-3.829418	0.000000	Fpl		

LEAD COEFFICIENT .871542718E+09

STOP 2.182 SECONDS



ZEIGENVALUES

1	-62.500000	0.000000	adder		
2	-250.000000	0.000000	Density valve		
3	-.011791	0.000000	Fpl		
4	-.100000	10	high pass		
5	-3.831107	0.000000	Fpl		
6	-5.000000	0.2	ERNY		
8	-.817843	3.945674	Fpl	.202962	4.029543
9	-189.956384	0.000000	Acc		
10	-111.111111	0.009	lag		
12	-105.909091	107.287172	Rak gyro	.702521	150.755672
13	-626.710283	0.000000	ACC		
14	-.500000	0.000000	high pass		
15	-10.000000	0.000000	lead lag		
16	-25.000000	0.000000	BBF		
17	-63.999999	0.000000	BBF		
18	-63.999999	0.000000	BBF		
19	-416.666669	0.000000	YAW AXIS SCS GAIN		

acc

LEAD COEFFICIENT -.391431197E-11

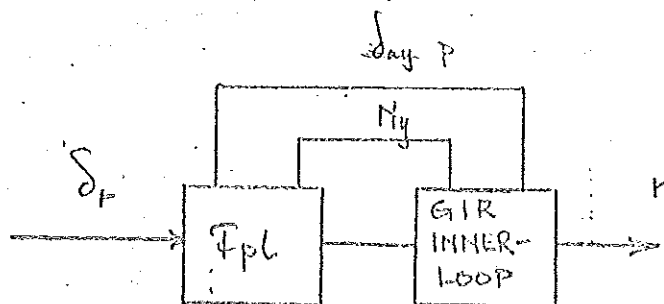
0 2827 -1.0 2828 0.0

ZEIGENVALUES

2	-3.200000	63.919950	.050000	64.000000
3	-.095471	0.000000		
4	-.302322	0.000000		
5	-.623183	0.000000		
6	-3.813325	0.000000		
8	-1.041120	2.703875	.359330	2.897390
9	-6.640649	0.000000		
10	-178.701491	0.000000		
12	-183.652025	359.526912	.454903	403.717310
13	-59405.614835	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .110616225E-02

STOP 2.260 SECONDS

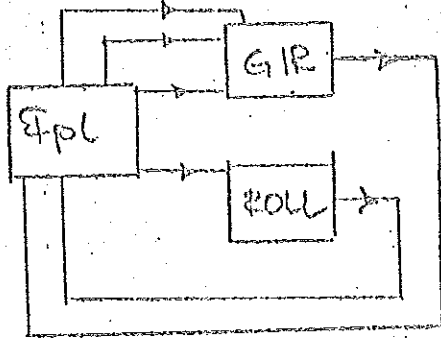


/EIGENVALUES

1	=0.064237	0.000000		
2	=0.105969	0.000000		
3	=0.513173	0.000000		
4	=5.521608	0.000000		
5	=6.380992	0.000000		
7	=1.234796	3.477447	.334618	3.690171
9	=6.159951	14.096284	.400427	15.383440
11	=8.517112	15.659374	.477798	17.825745
13	=43.267995	39.430876	.739120	58.539844
15	=43.219806	42.341879	.714325	60.504433
17	=119.711813	40.164278	.948063	126.269899
19	=143.393294	35.557494	.970604	147.736157
20	=189.458287	0.000000		
22	=103.866425	107.158609	.695991	149.235390
23	=251.367002	0.000000		
25	=306.989559	34.441250	.993765	308.915505
26	=416.631557	0.000000		
27	=417.941808	0.000000		
29	=255.063235	259.913306	.700416	364.159554
30	=626.713121	0.000000		

LEAD COEFFICIENT = .392594240E-34

STOP 2.180 SECONDS

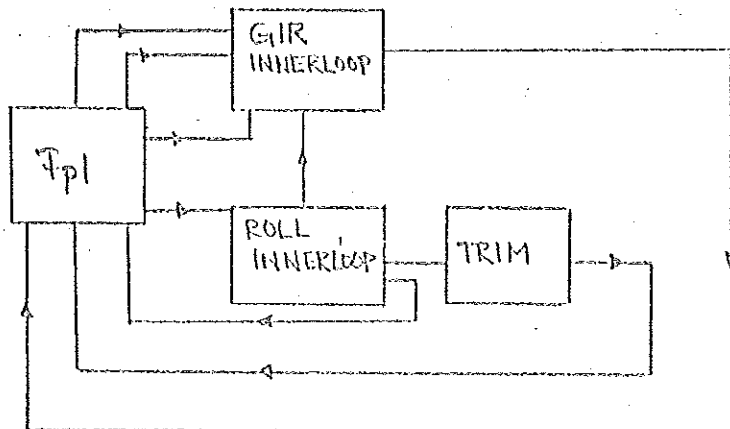


EIGENVALUES

1	0.000000	0.000000		
2	-0.099744	0.000000		
3	-0.495820	0.000000		
4	-0.901493	0.000000		
5	-6.339857	0.000000		
6	-7.968338	0.000000		
8	-5.797668	2.412748	.923243	6.279674
10	-1.150839	3.513972	.311237	3.697625
12	-5.968575	14.112139	.389532	15.322414
14	-9.601454	14.966043	.539978	17.781100
15	-22.644995	0.000000		
17	-43.326657	39.465502	.739280	58.606527
19	-43.371168	42.398152	.715083	60.651970
21	-119.708070	40.169495	.948047	126.268010
23	-143.502891	35.809516	.970248	147.903351
24	-189.458170	0.000000		
26	-103.866433	107.158599	.695991	149.235389
27	-251.366561	0.000000		
29	-307.012366	34.466013	.993757	308.940931
30	-416.631444	0.000000		
31	-417.941891	0.000000		
33	-255.063999	259.913392	.700417	364.160150
34	-626.713121	0.000000		
35	-1430.958343	0.000000		

LEAD COEFFICIENT = .791469988E-38

STOP 2.867 SECONDS

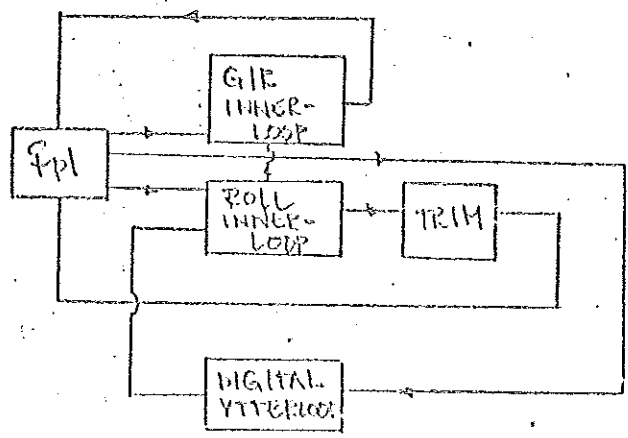


ZEIGENVALUES

1	-0.105500	0.000000		
2	-0.218832	0.000000		
3	-0.467372	0.000000		
5	-0.819046	0.636672	0.789522	1.037395
7	-1.026283	3.451688	0.284997	3.601028
9	-5.646882	1.800161	0.952759	5.926876
10	-6.459986	0.000000		
11	-7.326174	0.000000		
13	-5.916992	14.117736	0.386541	15.307556
15	-9.747501	14.878852	0.547998	17.787468
16	-22.644996	0.000000		
18	-43.325051	39.446538	0.739429	58.592571
20	-43.358864	42.391388	0.715039	60.638443
22	-119.704424	40.168914	0.948046	126.264369
24	-143.494909	35.802971	0.970255	147.894021
26	-103.866418	107.158587	0.695991	149.235370
27	-189.460352	0.000000		
28	-251.366449	0.000000		
30	-307.012498	34.466123	0.993757	308.941074
31	-416.631675	0.000000		
32	-417.941481	0.000000		
34	-255.063999	259.913392	0.700417	364.160150
35	-626.713121	0.000000		
36	-1430.958343	0.000000		

LEAD COEFFICIENT = .279515541E-34

STOP 3.549 SECONDS



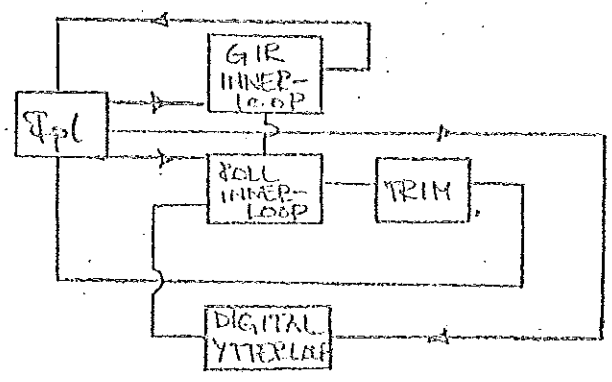
Storuklad yllerloop $X^P = \beta^{Fpl} + \psi^{Fpl}$
 Avanceringen borta dos $X^P = X^{SI}$

ZEIGENVALUES

1	-0.105999	0.000000		
2	-0.198079	0.000000		
3	-0.473349	0.000000		
5	-0.864631	.666213	.792131	1.091524
7	-1.020004	3.450212	.283506	3.597828
9	-5.636604	1.726751	.956140	5.895166
10	-6.491522	0.000000		
11	-7.241801	0.000000		
13	-5.914725	14.116952	.386433	15.305957
15	-9.755812	14.873261	.548469	17.787348
16	-22.644996	0.000000		
18	-43.324948	39.446052	.739432	58.592168
20	-43.358049	42.390441	.715040	60.637199
22	-119.704426	40.168884	.948046	126.264362
24	-143.494308	35.802420	.970256	147.893305
26	-103.866418	107.158587	.695991	149.235370
27	-189.460352	0.000000		
28	-251.366449	0.000000		
30	-307.012504	34.466128	.993757	308.941081
31	-416.631673	0.000000		
32	-417.941476	0.000000		
34	-255.063999	259.913392	.700417	364.160150
35	-626.713121	0.000000		
36	-1430.958343	0.000000		

LEAD COEFFICIENT = .160162405E-32

STOP 3.550 SECONDS



Taktuektorprogrammet er koblet

$$\chi^P = \psi^{fpl} + \beta^{fpl}$$

X TRANSFER FKN				
X ADDITION SUM				
0	3949 -1.0			
X BETA PHI PSI				
0	49 2 1.0	4948 1.0	4950 -1.0	
X CLOSED LOOP				
X POLES				
0	5049 1.0	5050 0.0		
/EIGENVALUES				
1	-.108280	0.000000		
2	-.160344	0.000000		
3	-.369635	0.000000		
4	-.496309	0.000000		
6	-.894888	.800452	.745339	1.200644
7	-4.337419	0.000000		
8	-6.129445	0.000000		
10	-1.073116	3.406429	.300470	3.571461
12	-6.920355	1.718224	.970533	7.130470
13	-11.764706	0.000000		
14	-12.244175	0.000000		
16	-5.962859	14.079995	.389969	15.290584
18	-9.688742	15.062360	.540987	17.909394
19	-22.644995	0.000000		
21	-43.328321	39.466410	.739286	58.608369
23	-43.375863	42.397823	.715123	60.655098
25	-119.708084	40.169545	.948047	126.268039
27	-143.503940	35.810058	.970247	147.904500
29	-103.866433	107.158599	.695991	149.235389
30	-189.458142	0.000000		
31	-251.366588	0.000000		
33	-307.012361	34.466011	.993757	308.940926
34	-416.631557	0.000000		
35	-417.941781	0.000000		
37	-255.063999	259.913392	.700417	364.160150
38	-626.713121	0.000000		
39	-1430.958343	0.000000		

LEAD COEFFICIENT .372961220E-30

Fullständig modell

OBS POLER

X ZEROS

0 5049 0.0

5050 1.0

/EIGENVALUES

1	-11.764706	0.000000		
2	-.102866	0.000000		
3	-11.764706	0.000000		
4	-.333333	0.000000		
6	-.675705	.105284	.988078	.683858
7	-1.261940	0.000000		
8	-6.197765	0.000000		
10	-4.346034	3.276590	.798493	5.442799
12	-7.887981	3.308216	.922180	8.553627
13	-22.607235	0.000000		
14	-22.222222	0.000000		
16	-1.801039	13.045874	.136757	13.169608
18	-41.767793	45.345341	.677496	61.650211
20	-3.000000	59.924953	.050000	60.000000
21	68.725968	0.000000		
22	-129.091523	0.000000		
24	-144.247666	41.619254	.960807	150.131780
26	-105.090064	107.557128	.698856	150.374391
28	-277.702783	7.072775	.999676	277.792836
29	-309.905819	0.000000		
30	-414.751290	0.000000		
32	-254.994962	259.750399	.700544	363.995468
33	-626.814731	0.000000		
34	-1383.920473	0.000000		

LEAD COEFFICIENT -.103903767E-21

STOP 7.034 SECONDS

Fullständig modell

OBS NOLLSTÄLLEN

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
Utfördare (namn, beteckning, tel.)			
Ärende ϕp1 ; LATERAL ;			

$$\ddot{\phi} = [C_{\lambda\beta} \cdot \beta + C_{\lambda r} \cdot r + C_{\lambda \delta_{ay}} \cdot \delta_{ay} + C_{\lambda \delta_{ai}} \cdot \delta_{ai} + \frac{b}{2V_T} (C_{\lambda p} \cdot p + C_{\lambda r} \cdot r + C_{\lambda \dot{\beta}} \cdot \dot{\beta})] \frac{g s b}{I_X} \quad (1)$$

$$\dot{r} = [C_{n\beta} \cdot \beta + C_{n\delta_r} \cdot \delta_r + C_{n\delta_{ay}} \cdot \delta_{ay} + C_{n\delta_{ai}} \cdot \delta_{ai} + \frac{b}{2V_T} (C_{n p} \cdot p + C_{n r} \cdot r + C_{n \dot{\beta}} \cdot \dot{\beta})] \frac{g s b}{I_Z} \quad (2)$$

$$\dot{\beta} = - [C_{c\beta} \cdot \beta + C_{c\delta_r} \cdot \delta_r + C_{c\delta_{ay}} \cdot \delta_{ay} + C_{c\delta_{ai}} \cdot \delta_{ai} + \frac{b}{2V_T} (C_{c p} \cdot p + C_{c r} \cdot r + C_{c \dot{\beta}} \cdot \dot{\beta})] \frac{g s}{m V_T} + \frac{g \phi}{V_T} - r + \frac{\dot{\phi} \alpha_0}{5.73} \quad (3)$$

$$\dot{p} - s \phi = 0 \quad (4)$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfördare (namn, befeckning, tel.)		

Ärende

ROLL GYRO

$$\textcircled{6} (s^2 + 510s + 132496) - \textcircled{7} 132496 = 0 \quad \textcircled{5}$$

NOISE FILTER MM

$$\textcircled{7} (0.00201122s^2 + 0.0067s + 1) - \textcircled{6} = 0 \quad \textcircled{6}$$

LEAD-LAG

$$\textcircled{8} (0.045s + 1) - (0.15s + 1)\textcircled{7} = 0 \quad \textcircled{7}$$

PSUM

$$\textcircled{9} - \textcircled{8} - 360\textcircled{4b} - 3s = 0 \quad \textcircled{8}$$

BBF 1 PNOTCH

$$\textcircled{10} (s^2 + 120s + 3600) - \textcircled{9} (s^2 + 6s + 3600) = 0 \quad \textcircled{9}$$

Allmänkoncept

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfördare (namn, beteckning, tel.)		
Ärende			

BBF

$$\textcircled{11} (0.048 + 1) - \textcircled{10} = 0 \quad (10)$$

PSIED

$$\textcircled{12} (0.00248 + 1) - K_{Sa} \cdot \textcircled{11} = 0 \quad (11)$$

DAIC SUM

$$-\textcircled{13} - \textcircled{12} - \textcircled{35} = 0 \quad (12)$$

DAY VALVE

$$\textcircled{14} (0.005258 + 1) - \textcircled{13} = 0 \quad (13)$$

DAI SUM

$$\textcircled{15} - \textcircled{14} + \textcircled{33} = 0 \quad (14)$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfördare (namn, belevning, tel.)		

Ärende

DAY END

$$\textcircled{3} (0,0188s + 1) - \textcircled{15} = 0$$

 $\textcircled{15}$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utförare (namn, beteckning, tel.)		

Ärende

Nya (16)

NY EQUATION

$$N_{ya} = \frac{\dot{b} V_T}{57,3g} + \frac{F_T}{57,3g} - \frac{\phi}{57,3} - \frac{P_{\dot{a}} V_T}{(57,3)^2 g} + \frac{\dot{b}_x \dot{F}}{57,3} + \frac{\dot{b}_z \dot{F}}{57,3g} \quad (16)$$

YAW ACC

$$(17) (0,00000845s^2 + 0,00686s + 1) - (16) = 0 \quad (17)$$

HIGH PASS

$$(18) (10s + 1) - 0,05s (7) = 0 \quad (18)$$

G SUM

$$(17) - (18) - (19) = 0 \quad (19)$$

KRNY

$$(20) (0,2s + 1) - 20 (19) = 0 \quad (20)$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utfärdare (namn, beteckning, tel.)		

Ärende

YAW GYRO

$$(21) (0,050044s^2 + 0,00932s + 1) - (4) = 0 \quad (21)$$

LAG

$$(22) (0,009s + 1) - (21) = 0 \quad (22)$$

LEAD LAG & HIGH PASS

$$(23) (0,2s^2 + 2,1s + 1) - (0,5s^2 + 2s) (22) = 0 \quad (23)$$

R SUM

$$(20) + (23) - (24) = 0 \quad (24)$$

YAW AXIS SAS GAIN

$$(25) (0,0024s + 1) - K_{st} (24) = 0 \quad (25)$$

Fördelning	Datum		Utgåva	Sida
	Utfärdare (namn, bezeichnung, tel.)			

Arende

BBF 1

$$(26) (s^2 + 128s + 4096) - (s^2 + 6.4s + 4096) (25) = 0 \quad (26)$$

BBF 2

$$(27) (0.04s + 1) - (26) = 0 \quad (27)$$

ONLY IF V OVER 660KM/HR

$$(27) - (28) = 0 \quad (28)$$

RUDDER

$$(29) (0.000064s^2 + 0.02s + 1) - (28) = 0 \quad (29)$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utförare (namn, bezeichnung, tel.)		

Ärende

KTP

$$- (11) 0,000176 - (30) = 0 \quad (30)$$

KTP SUM

$$(30) - (31) - (34) = 0 \quad (31)$$

SERVO MOTOR

$$(32) (0,12s^2 + s) - 75000 (31) \quad (32)$$

DAIC - DAI

$$(33) (0,04s + 1) - (32) = 0 \quad (33)$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utförare (namn, beteckning, tel.)		

Ärende

SERVO MOTOR FEEDBACK

$$\textcircled{34} (0.425s+1) - \textcircled{32} (0.05589576s^2 + 0.02456s) = 0 \quad \textcircled{34}$$

KDAYDAI

$$\textcircled{35} (0.1s+1) - 0.1s \textcircled{32} = 0 \quad \textcircled{35}$$

KDRDAI FILTER ONLY IF V
OVER 660 KM/HR

$$\textcircled{36} 1.0 - \textcircled{37} 1.0 = 0 \quad \textcircled{36}$$

KDRDAI ONLY IF V OVER
660 KM/HR

$$\textcircled{37} 1.0 - \textcircled{33} 0.0 = 0 \quad \textcircled{37}$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
Utfärdare (namn, beteckning, tel.)			

Ärende

KONSTANT

$$\textcircled{38} 9,81 - \textcircled{39} K_3 \sqrt{F} \cdot 57,3 = 0 \quad \textcircled{38}$$

CHI PSI SUM

$$\textcircled{39} + \textcircled{40} + \textcircled{41} = 0 \quad \textcircled{39}$$

AVANCE

$$360,0 \textcircled{40} - \frac{K_4 T_{K_9} \cos \theta_0}{V_X^F} \textcircled{46} = 0 \quad \textcircled{40}$$

(REV. - DEGREE)

$$\textcircled{41} 360,0 - \textcircled{42} = 0 \quad \textcircled{41}$$

(BETA PSI CHI SUM)

$$\textcircled{42} - \textcircled{2} - \textcircled{43} = 0 \quad \textcircled{42}$$

(R PSI)

$$\textcircled{43} S - \textcircled{4} = 0 \quad \textcircled{43}$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Urfördare (namn, beteckning, tel.)		

Ärende

VELOCITY CHIP

$$\textcircled{41} \cdot 2\pi V_x^F - \textcircled{42} = 0 \quad (41)$$

VELOCITY SUM 1

$$\textcircled{47} 2\pi V_x^F + \textcircled{43} - \textcircled{42} = 0 \quad (42)$$

VELOCITY FILTER

$$\textcircled{43} (1 + T_Y s) - T_Y \textcircled{44} = 0 \quad (43)$$

VELOCITY SUM 2

$$- V_x^F \textcircled{45} + 2\pi G \cos \theta_0 \textcircled{46} + 2\pi S \tan \theta_0 V_x^F \textcircled{46} - \textcircled{44} = 0 \quad (44)$$

DERIVATE

$$\textcircled{45} - 2\pi S \textcircled{47} = 0 \quad (45)$$

Fördelning	Datum	Utgåva	Sida
	Utförare (namn, beteckning, tel.)		

Ärende

LP FILTER FI

$$\textcircled{46} (360 + 30.6s) - \textcircled{5} = 0 \quad (46)$$

LP FILTER PSI

$$\textcircled{47} (360 + 30.6s) - \textcircled{48} = 0 \quad (47)$$

R- PSI

$$\textcircled{4} - \textcircled{48} s = 0 \quad (48)$$

	P	β	Day	φ	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖
1.	S 099	0.10	010	010																						
2.	099	0.10	010	S 010																						
3.	099	0.10	010	010	010																					
4.	1.0				-5																					
5.	-10000				5 5105 132490																					
6.					0.00011225 0.00675																					
7.					-1.0	1.0																				
8.					-0.155	0.0455																				
9.					-1.0	1.0																				
10.					-5 -65 3600																					
11.					-7.0	1.0																				
12.					0.045																					
13.					-10000																					
14.					-10	1.0																				
15.					0.0155																					
16.	0.10				0.10																					
17.					0.10																					

0.10000000
0.00675

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

1.0
-1.0

Referenser

- Ref. 1. Åke Björck, Germund Dahlquist
Numeriska metoder, Gleerups, Lund
sid 144
- Ref. 2. Formelsamling reglerteknik
VBV Lund, sid 32
- Ref. 3. Karl Johan Åström,
Reglerteori, Almquist och Wicksell, Uppsala 1968,
sid 195-196

KONSTANT OCH VARIABELLISTA

NAMN	BESKRIVNING	DIMENSION	ÖVRIG ANM.
b	spännvidd	m	
$C_{C\beta}$	aerodynamiska sidkraftsderivator	$[\text{grader}]^{-1}$	
$C_{C\delta_r}$		"	
$C_{C\delta_{ay}}$		"	
$C_{C\delta_{ai}}$		"	
C_{C_p}		"	
C_{C_r}		"	
$C_{C\dot{\beta}}$		"	
$C_{N\alpha}$	aerodynamiska normal- kraftsderivator	"	
$C_{N\delta_{ei}}$		"	
$C_{N\delta_{ey}}$		"	
$C_{N\dot{\alpha}}$		"	
C_{Nq}		"	
C_N	normalkraftkoefficient	"	
$C_{l\beta}$	aerodynamiska rollmoment- derivator	"	
$C_{l\delta_r}$		"	
$C_{l\delta_{ay}}$		"	
$C_{l\delta_{ai}}$		"	
C_{l_p}		"	
C_{l_r}		"	
$C_{l\dot{\beta}}$		"	
$C_{m\alpha}$	aerodynamiska tippmoment- derivator	"	
$C_{m\delta_{ei}}$		"	
$C_{m\delta_{ey}}$		"	
$C_{m\dot{\alpha}}$		"	
C_{mq}		"	

Fortsättningsblad

KONSTANT OCH VARIABELLISTA

NAMN	BESKRIVNING	DIMENSION	ÖVRIG ANM.
$C_{n\beta}$	aerodynamiska girmoment-derivator	$[\text{grader}]^{-1}$	
$C_{n\delta_r}$		"	
$C_{n\delta_{ay}}$		"	
$C_{n\delta_{ai}}$		"	
C_{np}		"	
C_{nr}		"	
$C_{n\dot{\beta}}$		"	
c	referenskorda	m	
H^G	kommenderad höjd	m	
H_{TS}	temperaturkorrigerad standardhöjd	m	
H_{TS}^F	filtrerad temperaturkorrigerad standardhöjd	m	
f_n	förstärkningsanpassning till innerloop	dim.lös	
f_q	förstärkningsanpassning till innerloop	dim.lös	
G	jordaccelerationen	m/s^2	$G = 9.81 \text{ m/s}^2$
g	jordaccelerationen	m/s^2	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
I_x	tröghetsmoment	kgm^2	
I_y		kgm^2	
I_z		kgm^2	
Δl_x	avstånd mellan styrautomat accelerometer och accelerometer för datorfunktioner	m	
K	konstant beräknad ur bl a lyftkraftskoefficient och fpl spännvidd	varv/m^2	$K = -0.00103$
K_A	konstant	dim.lös	$K_A = 0.175$

KONSTANT OCH VARIABELLISTA

NAMN	BESKRIVNING	DIMENSION	ÖVRIG ANM.
K_1	förstärkningsfaktor	$\frac{1}{\text{sek}}$	
K_2	förstärkningsfaktor	$\frac{1}{\text{sek}}$	
K_5	förstärkningsfaktor	$\frac{1}{\text{sek}}$	
K_{TNZ}	förstärkningsfaktor	dim.lös	
$K\delta_a$	förstärkningsfaktor	$\frac{\text{grader}}{\text{grader} \cdot \text{sek}}$	
$K\delta_{ey}$	förstärkningsfaktor	grader/g	
$K\delta_{ei\delta_s}$	förstärkningsfaktor	grader/cm	
$K\delta_r$	förstärkningsfaktor	$\frac{\text{grader}}{\text{grader} \cdot \text{sek}}$	
m	flygplanets massa	kg	jfr W_{fpl}
N_y	lastfaktorer	g	
N_z		g	
n_1^C	kommenderade lastfaktorer	g	
n_{y2}^C		g	
p	vinkelhastigheten kring flygplanets x-axel	grader/sek	
q	vinkelhastigheten kring flygplanets y-axel	grader/sek	
\bar{q}	dynamiskt tryck	N/m^2	
Q_{LD}	dynamiskt tryck mätt i luftdataenhet	N/m^2	
r	vinkelhast. kring flygplanets z-axel	grader/sek	
S	referensyta	m^2	
T_s	samplingstid	sek	
T_α	flygdynamisk tidskonstant	sek	
T_y	tidskonstant i fartfilter	sek	
T_z	tidskonstant i fartfilter	sek	

KONSTANT OCH VARIABELLISTA

NAMN	BESKRIVNING	DIMENSION	ÖVRIG ANM.
U_0	flygplanets hastighet längs x-axeln	m/sek	
V_T	flygplanets hastighet	m/sek	
V^F	filtrerad flygplanhastighet	m/sek	
W_{PPL}	flygplanets vikt	kg	jfr m
Δx	avstånd mellan tyngdpunkt och referenspunkt för tippmomentkoefficient	m	
α	flygplanets anfallsvinkel	grader	
β	snedanblåsningens vinkel	grader	
γ	flygplanets banvinkel	grader	
γ^c	kommenderad banvinkel	varv	
γ^{SI}	banvinkel presenterad på siktindikatorn	varv	
δ	rodervinkel	grader	
δ_{ai}	skevrodervinkel innerroder	grader	
δ_{ay}	skevrodervinkel ytterroder	grader	
δ_e	höjdrodervinkel	grader	
δ_{ei}	höjdrodervinkel innerroder	grader	
δ_{ey}	höjdrodervinkel ytterroder	grader	
δ_r	sidrodervinkel	grader	
ξ	relativa dämpningen	dim.lös	
θ	flygplanets attitydvinkel	grader	
τ	tidsfördröjning	sek	
χ	färdvinkel	grader	
χ^{SI}	färdvinkel presenterad på siktindikatorn	varv	
χ^c	kommenderad färdvinkel	varv	
ω_0	egenfrekvens	rad	