

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5393)/1-35/(1988)

Adaptiv Autopilot för Roll-Nix

Kalle Theorén

Institutionen för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola
November 1988

Department of Automatic Control Lund Institute of Technology P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden		<i>Document name</i> Master Thesis	
		<i>Date of issue</i> November 1988	
		<i>Document Number</i> CODEN: LUTFD2/(TFRT-5393)/1-35/(1988)	
<i>Author(s)</i> Kalle Theorén		<i>Supervisor</i> Claes Källström, Karl Johan Åström	
		<i>Sponsoring organisation</i> SSPA Göteborg	
<i>Title and subtitle</i> Autopilot for Roll-Nix. (Adaptiv autopilot för Roll-Nix.)			
<i>Abstract</i> <p>Roll-Nix is a system for rudder-roll-stabilization (RRS). The goal of this thesis was to design a ship steering autopilot that can operate in conjunction with Roll-Nix. Since both systems use the same actuator it is necessary to find a way to separate the channels. In this work this is done through frequency separation. The autopilot consists of two parts, one part handles the steady state course keeping, the other deals with manoeuvring. Algorithms were derived based on the assumption that stabilization and course keeping can be treated as independent channels. Simulation tests using Simnon indicated that this approach is feasible. The system is currently tested on a ship on an extensive voyage.</p>			
<i>Key words</i> Adaptive control, ship steering, autopilot			
<i>Classification system and/or index terms (if any)</i>			
<i>Supplementary bibliographical information</i>			
<i>ISSN and key title</i>			<i>ISBN</i>
<i>Language</i> Swedish	<i>Number of pages</i> 35	<i>Recipient's notes</i>	
<i>Security classification</i>			

The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

Förord

Detta examensarbete har omfattat konstruktion av en autopilot för fartyg . Arbetet har utförts på SSPA , Göteborg med överinseende av institutionen för reglerteknik , Lunds Tekniska Högskola.

Det har varit ett stimulerande examensarbete både vad gäller själva uppgiften och den handledning som bredvilligt givits.

Uppgiften att konstruera en autopilot för fartyg har varit en intressant , lagom omfattande och väl avgränsad uppgift.

Beträffande handledningen ber jag att få tacka :

K J Åström för hjälp med de reglerteoretiska problemen och för den inspirerande och smittande entusiasmen.

C Källström för hjälp med litteratursökning , reglerteori och fartygsdynamik.

P Wessel för hjälp med datorn och simuleringsprogrammet.

Dessutom skulle jag vilja tacka alla andra på SSPA för visat intresse och vilja att hjälpa till.

Till sist skulle jag vilja tacka **J Udén** för kaffet.

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning

2 Inledning

3 Beskrivning

3.1 Hastighetsberoende

3.2 Kurshållning

3.2.1 Förutsättningar

3.2.2 Regulatorn

3.2.3 Estimering

3.2.4 Praktiska anmärkningar

3.2.5 Simuleringar

3.2.6 Resultat

3.3 Gir

3.3.1 Initiering

3.3.2 Konstant girhastighet

3.3.3 Stöttning

3.3.4 Övergång mellan gir och rak kurs

3.3.5 Simuleringar

3.3.6 Resultat

4 Slutord

5 Pascalprocedure

5.1 Parameterlista

5.2 Deklaration och initiering

6 Referenser

1 Sammanfattning

Den konstruerade autopiloten är tänkt som en fristående del av rollstabiliseringssystemet Roll-Nix . Roll-Nix är en rollstabilisator som är utvecklat på SSPA och bygger på att med rodet moterka rollkraften . Eftersom båda systemen utnyttjar roderkommandot som styrsignal måste signalerna separeras. Detta görs med frekvensmultiplex , d v s systemen arbetar i skilda frekvensdomäner.

Autopiloten består av två delar . Den ena delen , som är adaptiv , har till uppgift att hålla fartyget på rak kurs . Den andra delen är av konventionell 'high gain'-typ och används då fartyget skall gira.

Test av autopiloten har gjorts med simuleringsprogrammet SHIMANR som är skrivet i programspråket 'SIMNON' . Som fartygsmodell har marinens minfartyg CARLSKRONA använts

Simuleringarna visar att under förutsättning att fartyget är tillräckligt stort klarar autopiloten att styra ett fartyg både mer skonsamt och med mindre kursfel än vad en människa mäktar utan att några 'väderparametrar' justeras . Detta trots att ett annat system försöker minimera rullningen parallellt.

Problem kan uppstå för små båtar där roll- och kursdynamik inte går att separera i frekvens . Enda lösningen på det problemet är antagligen att konstruera ett sant kopplat system av Roll-Nix och autopiloten.

Om det mot förmodan behövs felsökning vid installation av autopiloten på verkliga fartyg har detta underlättats genom att de senaste roder- och kurssignalerna lagras i ringbuffertar.

2 Inledning

Det grundläggande problemet som en autopilot skall lösa är att automatiskt styra ett fartyg på ett kontrollerat sätt då det utsätts för naturens alla krafter . Att explicit beräkna dessa krafter och konstruerar den perfekta autopiloten är orealistiskt komplicerat och tidskrävande . Istället formuleras ett antal önskemål och krav som ställs på autopiloten . Utifrån dessa krav konstrueras en autopilot som är tillräckligt sofistikerad för att tillgodose kraven .

De generella krav som ställdes på denna speciella autopilot var följande:

- A) Autopiloten skall innehålla så mycket dynamik att den oberoende av väder styr fartyget med större precision än vid manuell styrning.
- B) Autopiloten skall ge mindre roderrörelser än vid manuell styrning för att , dels minska bränsleförbrukningen , dels spara rodermaskineriet.
- C) Autopiloten skall vara så generell att den , med ändring av ett minimum av parametrar , skall kunna användas på varje fartyg där Roll-Nix kan appliceras.
- D) Autopiloten skall kunna arbeta parallellt med Roll-Nix.

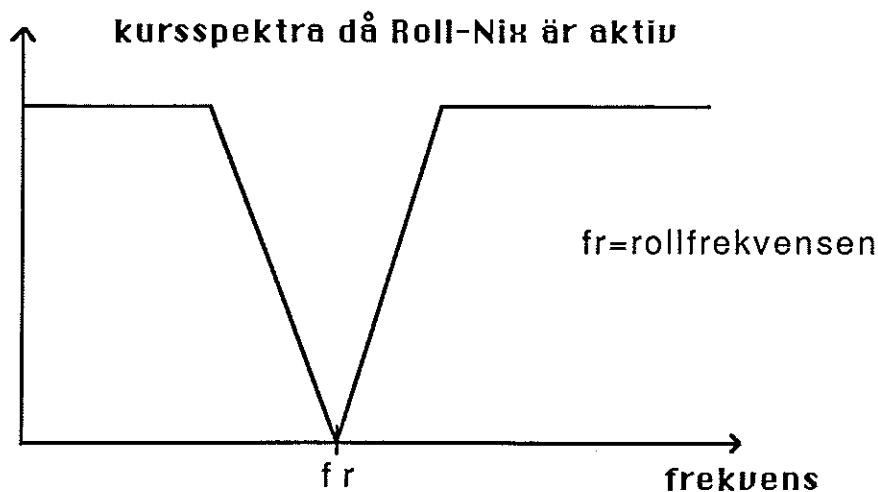
3 Beskrivning

Varje autopilot för fartyg har till uppgift att lösa tre skilda grundproblem .

1. Ett roderutslags effekt på kursen är olinjärt beroende på fartygets hastighet.
2. Fartyget måste kunna hållas på rak kurs.
3. Fartyget måste kunna gira under kontrollerade former.

Dessutom måste denna speciella autopilot kunna arbeta tillsammans med Roll-Nix , trots att båda styrsystemen använder samma roderkommando som styrsignal.

Detta speciella problem är löst genom att signalerna separeras i frekvens . Det frekvensband i kurssignalen som härrör från rullningen filtreras bort så att autopiloten inte reglerar på dem.



Figur 1

Filtret som åstadkommer den önskade kurssignalen är ett andra ordningets 'notch'-filter där notchfrekvensen är en funktion av rollfrekvensen . Försök har dessutom gjorts med 'lågpas'-filter på autopilotens rodersignal för att förvissa sig om att systemen aldrig interfererar , men det har visat sig olämpligt då fördröjning som filtret förorsakar stör mer än de störningar man vill filtrera bort.

3.1 Hastighetsberoendet

Det är sedan länge känt att kraften från roderutslaget är omvänt proportionell mot kvadraten på fartygets hastighet . Denna kunskap gör att det utan tvekan bästa sättet att göra systemet hastighetsberoende är 'parameterstyrning' . Det innebär att man multiplicerar det önskade roderutslaget med inversfunktionen av hastighetsberoendet , vilket ger följande filter:

$$u_c = u_{c\ddot{o}} * C/v^2$$

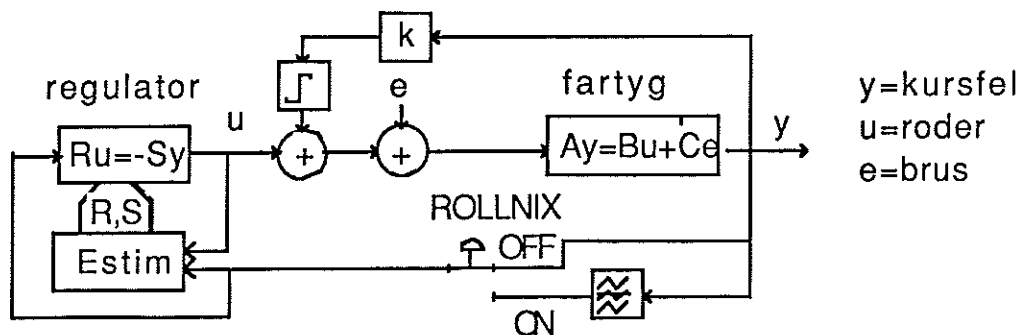
där u_c är verkligt roderkommando
 $u_{c\ddot{o}}$ är önskat roder från regulatort
 v är fartygets hastighet
 C är konstant

3.2 Kurshållning

För kurshållning används en adaptiv regulator , d v s en regulator där reglerparametrarna automatiskt ändras då systemet som skall regleras förändras . En förutsättning för att detta skall vara möjligt är att dynamiken i systemet är långsam i förhållande till dynamiken i mätsignalerna roder och kurs .

Den adaptiva algoritmen är en direkt metod som arbetar med polynomsyntes. Att algoritmen är direkt innebär att reglerparametrarna beräknas direkt , utan att systemparametrarna för det styrda systemet först beräknas . För att slippa statistiska fel införs även integralverkan i regulatort . Man vill dock kunna styra integralverkan oberoende av regulatort i övrigt . därför har den delen brytits ut ur den adaptiva algoritmen.

Det slutna systemet illustreras i figur 2.



Figur 2

3.2.1 Förutsättningar

Grundsystem: $A(q)y(k)=B(q)u(k)+C(q)e(k)$ där q =skiftoperatorn

Regulator: $R(q)u(k)=-S(q)y(k)+T(q)u_c(k)$ där u_c =önskat kursfel

Slutet system: $(AR+BS)y=RCe+Tu_c$

Önskat slutet system: $A_m^*y=B_m^*u_c$ där $u_c \equiv 0$

Detta ger den diofantiska ekvationen :

$(AR+BS)=A_m A_o$ där A_o =observerarpolynomet

$$A_m A_o y = ARy + BSy$$

$$A_m A_o y = R(Bu + Ce) + BSy$$

$$A_m A_o y = B(Ru + Sy) + RCe$$

$$y = B(Ru_f + Sy_f) + RSe_f \quad \text{där } *f = */(A_m A_o)$$

$$y = R'u_f + S'y_f + \text{eps} \quad \text{där } R' = BR, S' = BS, \text{eps} = RSe_f$$

Gradtal: I [1] framgår det att ett tredje ordningets system är lämpligt för styrning av stora oljetankers. Simuleringar har visat att detta är rimligt även för det betydligt mindre fartyget Carlskrona.

Med denna kunskap kan man men hjälp av [2] beräkna ordningen på de övriga polynomen.

$$\text{Deg}(A_o) = \text{deg}(A) - \text{deg}(B^+) - 1 = 2$$

$$\text{Deg}(A_m) = \text{deg}(A) = 3$$

$$\text{Deg}(R') = \text{deg}(S') = \text{deg}(A_o) = 2$$

Detta ger följande polynom:

$$S' = s_0 q^2 + s_1 q + s_2$$

$$R' = r_0 q^2 + r_1 q + r_2$$

$$A_o = a_{o0} q^2 + a_{o1} q + a_{o2}$$

$$A_m = a_{m0} q^3 + a_{m1} q^2 + a_{m2} q + a_{m3}$$

3.2.2 Regulator

Regulatorn är av 'Dead-Beat'- eller 'Moving Average'-typ , vilket innebär att kursfelet skall regleras till noll på maximalt d antal sampel . Om vi väljer $d \geq \text{deg}(A)$ kommer inga nollställen att förkortas bort och regulatorn ger ett säkert stabil slutet system, förutsatt att skattningen av parametrarna konvergerar mot sina verkliga värden.

DB-reglering är ekvivalent med att $A_o=q^2$ och $A_m=q^3$.

Regulatorn utan integralverkan kan nu beskrivas på följande sätt:

$$\begin{aligned}R^*(q^{-1})u(k) &= -S^*(q^{-1})y(k) \\ r_0u(k) + \dots + r_2u(k-2) &= -s_0y(k) - \dots - s_2y(k-2) \\ r_0u(k) &= -s_0y(k) - \dots - s_2y(k-2) - r_1u(k-1) - r_2u(k-2)\end{aligned}$$

3.2.3 Estimering

Reglerpolynomen R och S estimeras med 'Minsta Kvadrat'-metoden. Det innebär att man försöker minimera kvadraten på en given felfunktion.

Denna felfunktion hämtas i detta fall ur den diofantiska ekvationen som för en DB-regulator kan skrivas som följer:

$$\begin{aligned}y(k) &= q^{-d}(R^*u(k) + S^*y(k)) + \text{eps}(k) \\ y(k) &= r_0u(k-d) + \dots + r_2u(k-d-2) + s_0y(k-d) + \dots + s_3y(k-d-3) + \text{eps}(k) \\ \text{eps}(k) &= y(k) - r_0u(k-d) - \dots - r_2u(k-d-2) - s_0y(k-d) - \dots - s_3y(k-d-3)\end{aligned}$$

Teorin för MK-skattning finns att läsa i [3] . Där finns också beskrivet den rekursiva algoritmen som används här i samband med den adaptiva autopiloten . Den algoritmen går i korthet till som följer:

Variabler:

$\Phi^T(k) = \{u(k-d-1), u(k-d-2), y(k-d), \dots, y(k-d-3)\}$	Mätvektor
$\Theta^T(k) = \{r_1, r_2, s_0, s_1, s_2, s_3\}$	Parametervekt.
$P(k) = (\sum \Phi(i)\Phi^T(i))^{-1}$	Kovariansmatris
$K(k) = P(k)\Phi(k)$	Hjälpvektor
$\epsilon(k) = y(k) - \Phi(k)\Theta(k)$	Estimeringsfel
$dem = \lambda + \Phi^T(k)K(k)$	(* $\lambda =$ glömfaktor *) 'Anti Wind Up'

Uppdatering:

$P(k+1) = P(k) - K(k)K^T(k)/dem$
 $\Theta(k+1) = \Theta(k) + K(k)\epsilon(k)$

Algoritm:

1. Uppdatera P-matrisen resp. Phi- och Th-vektorn.
2. Beräkna K-vektorn , eps och dem.
3. Invänta nästa sampel och gå till 1.

Som synes estimeras inte r_0 . Detta beror dels på att R-polynomet av konvention är moniskt , dels på att tecknet på r_0 är vitalt för regulatorns stabilitet . Därför anses det bättre , om än ej nödvändigt , att manuellt styra r_0 . Dessutom kan man genom att välja $r_0 < 1$ styra absolutvärdet på de skattade parametrarna.

3.2.4 Praktiska anmärkningar

Autopiloten är adaptiv och anpassar sig till den miljö den placeras i, men för att utnyttja den till fullo bör vissa parametrar justeras individuellt för varje fartyg. Dessa är:

D: Prediktionshorisonten, som avgör hur många sampel framåt i tiden det får ta innan kursfelet blir noll. Detta i sin tur avgör viktningen mellan roder och kursfel i förlustfaktorn. D måste vara minst tre för att inga nollställen ska förkortas bort.

Lam: Glömskefaktorn, som avgör viktningen mellan gamla och nya mätvärden i förlustfunktionen. Minnet ökar exponentiellt med lam, vilket gör att lam bör vara mellan 0.9 och 1. Fartyg med mer tröghet skall ha ett större värde på lam.

DT: Samplingsperioden, som avgör känsligheten i reglersystemet. Lämpligt värde på DT är helt beroende på snabbheten i fartygets dynamik och de störningar som påverkar det. Ett riktmärke är att alla andra periodtider bör vara minst fyra gånger större än DT.

R₀: Utgör grovinställningen av roderutslaget. Stort värde ger små roderutslag och tecknet avgör dess riktning.

För att undvika stora kursfel i initieringsstadiet, innan reglerparametrarna estimerats till rimliga värden, styrs fartyget under den första minuten av en konventionell 'PID'-regulator. Därefter lämnar ansvaret succesivt över till den adaptiva autopiloten.

För att kunna utnyttja dynamiken maximalt filtreras autopilotens roderkommando endast då Roll-Nix är påslagen.

3.2.5 Simuleringar

Simuleringarna är utförda med simuleringprogrammet SHIMANR. SHIMANR, som är skrivet i SIMNON, är baserat på statistiska mätningar av verkliga väderförhållande och fartygs sjöegenskaper. Det gör att dessa simuleringar kan antas ge en god fingervisning om hur autopiloten kommer att uppföra sig under verkliga förhållande, även om steget mellan simulering och verklighet är stort.

Samtliga simuleringar har utförts i oregelbunden sjö och med marinens minfartyg CARLSKRONA som fartygsmodell. CARLSKRONA är ett ganska stort fartyg, även om dess storlek inte går att jämföras med de tankers där denna typ av autopilot tidigare varit placerad. Fartygets längd är 97.5 m, dess bredd 15.2 m och dess displacement 3398 m³.

De parametrar på autopiloten som justeras individuellt för varje fartyg har i alla simuleringar fått följande värden:

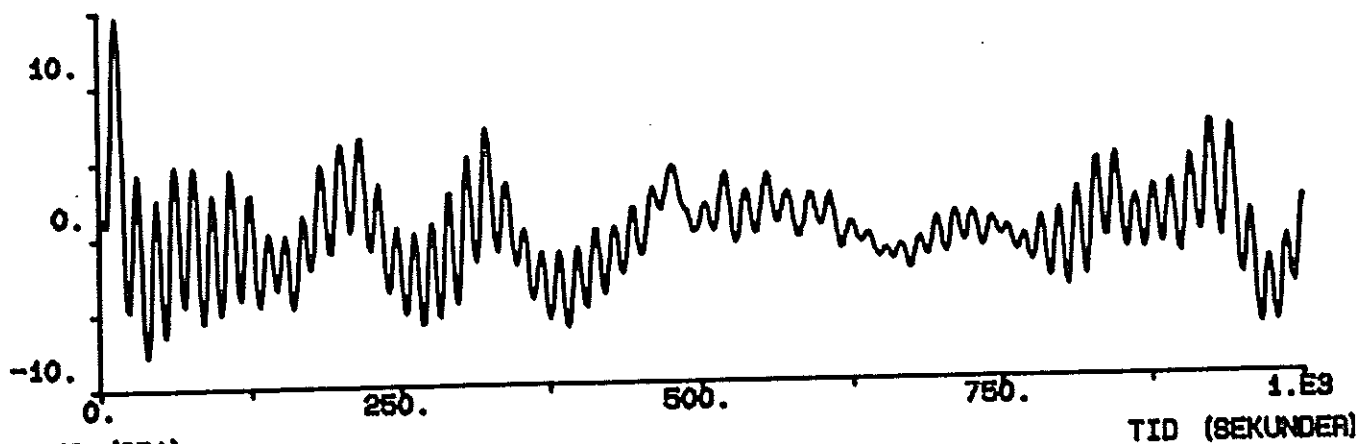
$$D = 3, \text{ Lam} = 0.96, \text{ Dt} = 1, \text{ R0} = -1.5$$

Simuleringar har gjorts med olika typer av vågor. De parametrar som ändrats mellan olika simuleringar är följande:

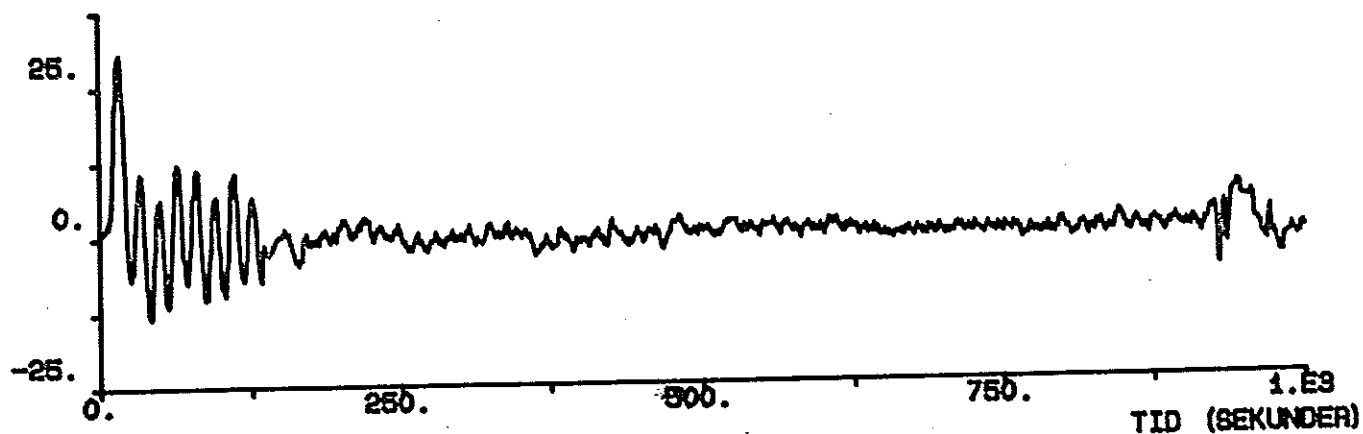
- 1 vågriktning(vr) i grader (0 grader=akterlig sjö)
- 2 signifikant våghöjd(vh) i meter
- 3 fartygshastighet(fh) i knop
- 4 med och utan Roll-Nix(rn).

simulering 1 : rn = off , vh = 3 , vr = 45 , fh = 16

KURSFEL (GRA)



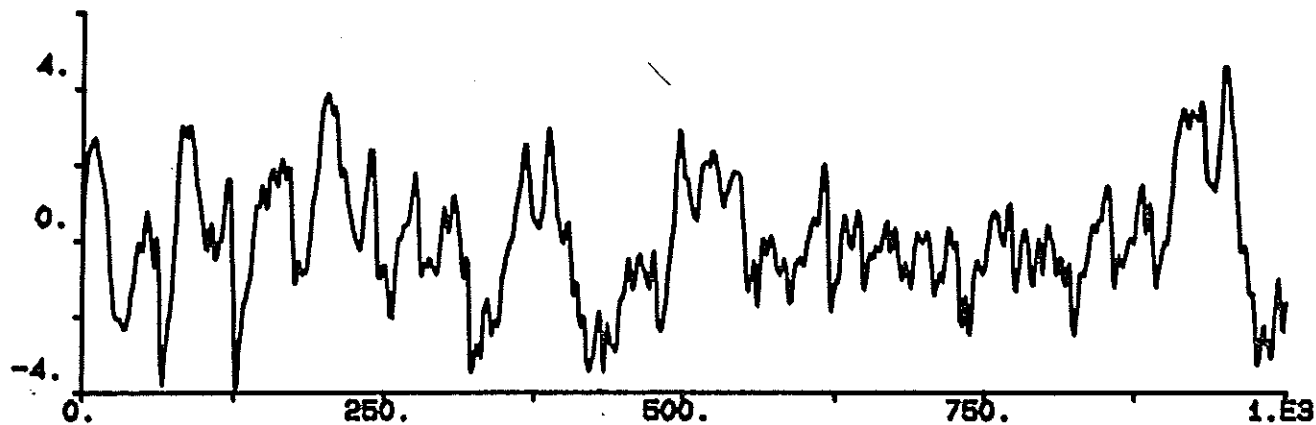
RÖDER (GRA)



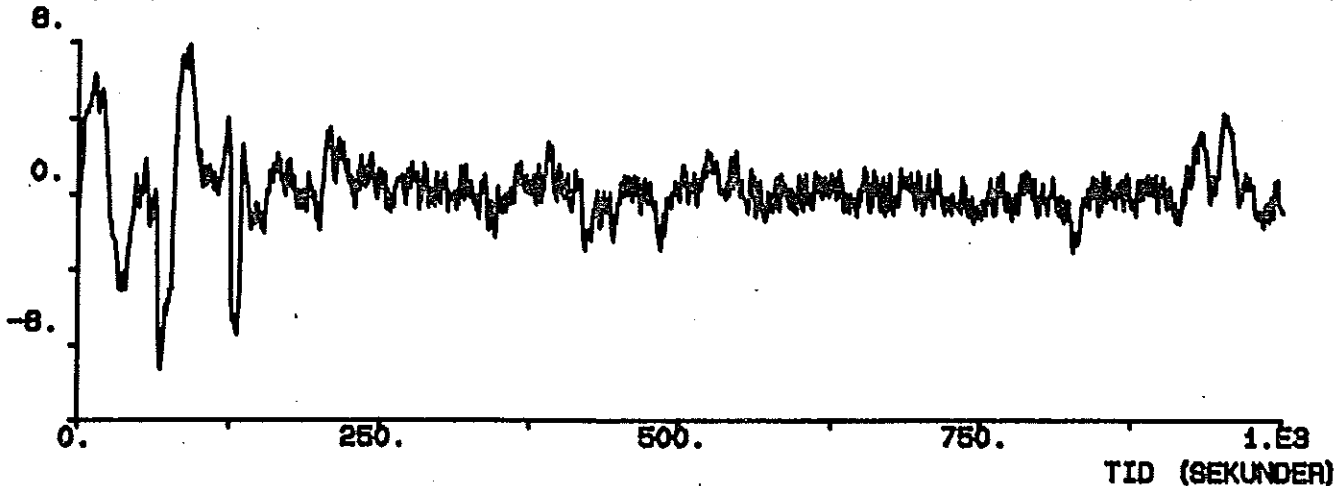
Under dessa svåra förhållande ger autopiloten ett kursfel på upp till åtta grader . Det är ganska mycket , men det är inte helt oväntat för problemen med att styra i Låringssjö de väl kända och gör sig här åter gällande .

simulering 2 : rn = off , vh = 3 , vr = 90 , fh = 16

KURSFEL (GRA)



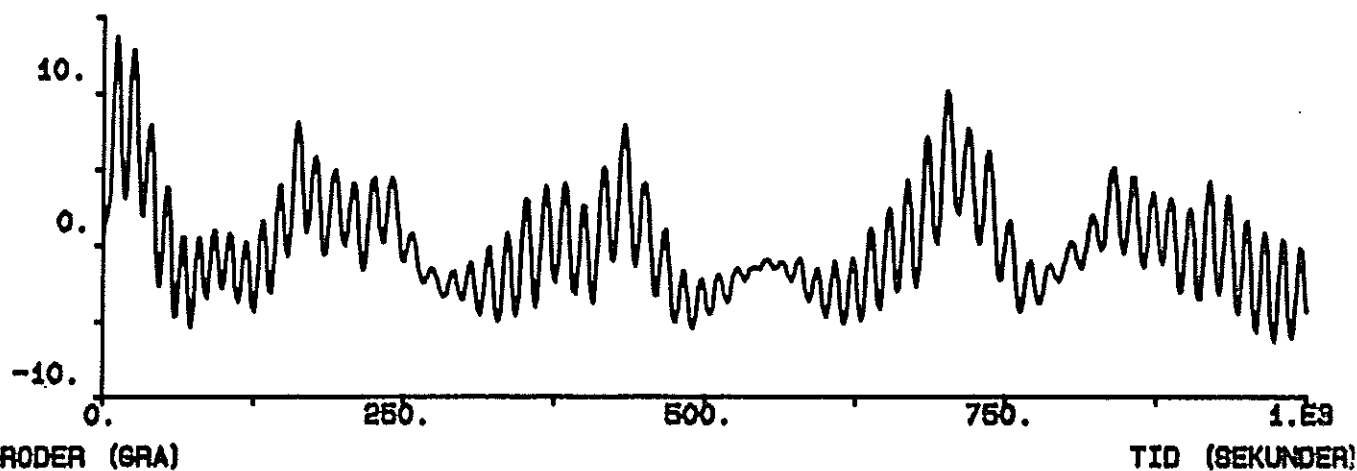
RODER (GRA)



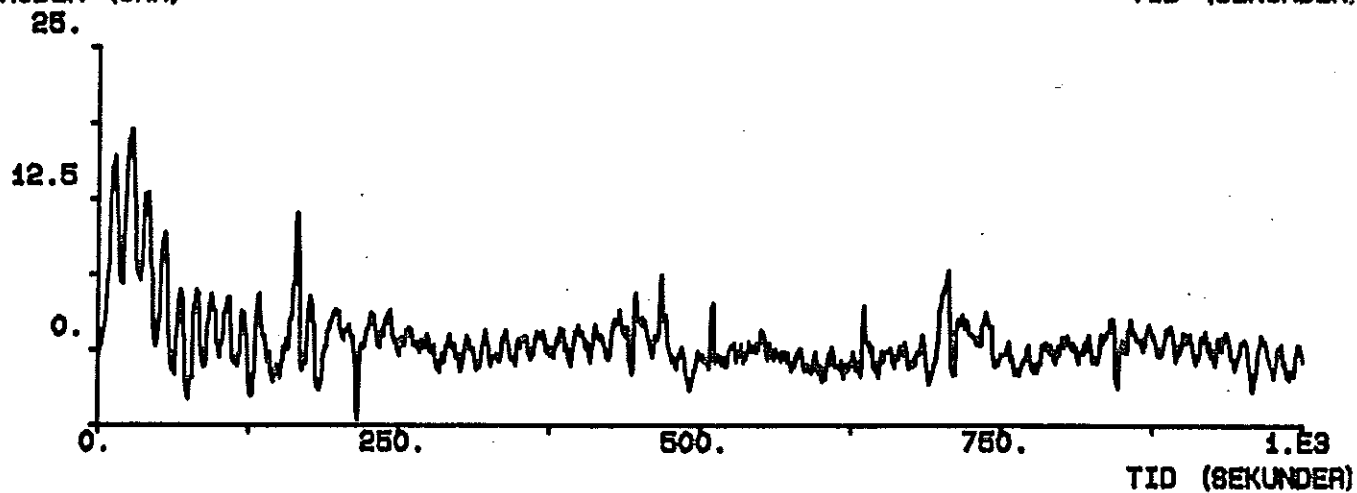
I denna simulering är det fortfarande svåra förhållande men nu i sidsjö och genast blir kursavvikelsen högst fyra grader.

simulering 3 : rn = off , vh = 3 , vr = 45 , fh = 11

KURSFEL (GRA)



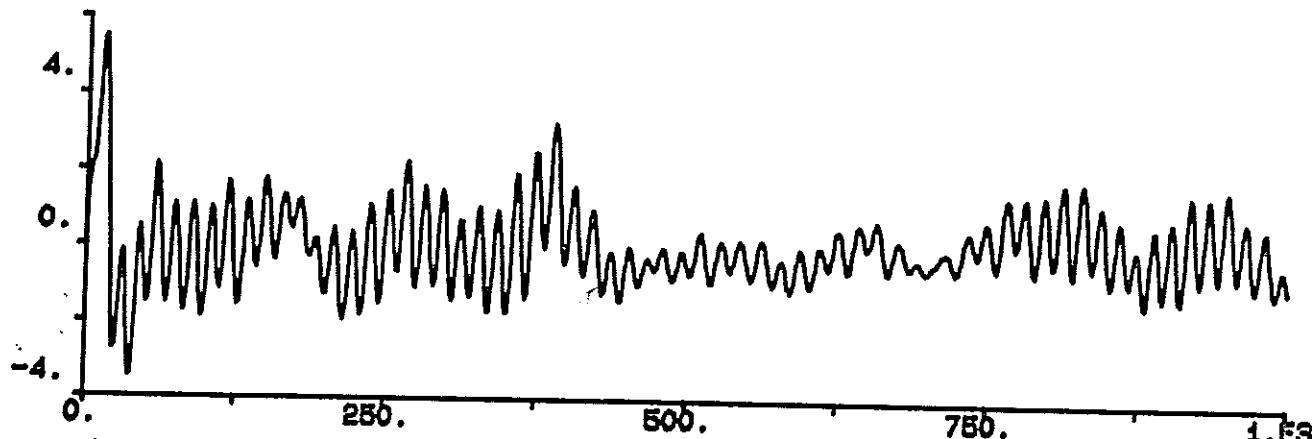
RODER (GRA)



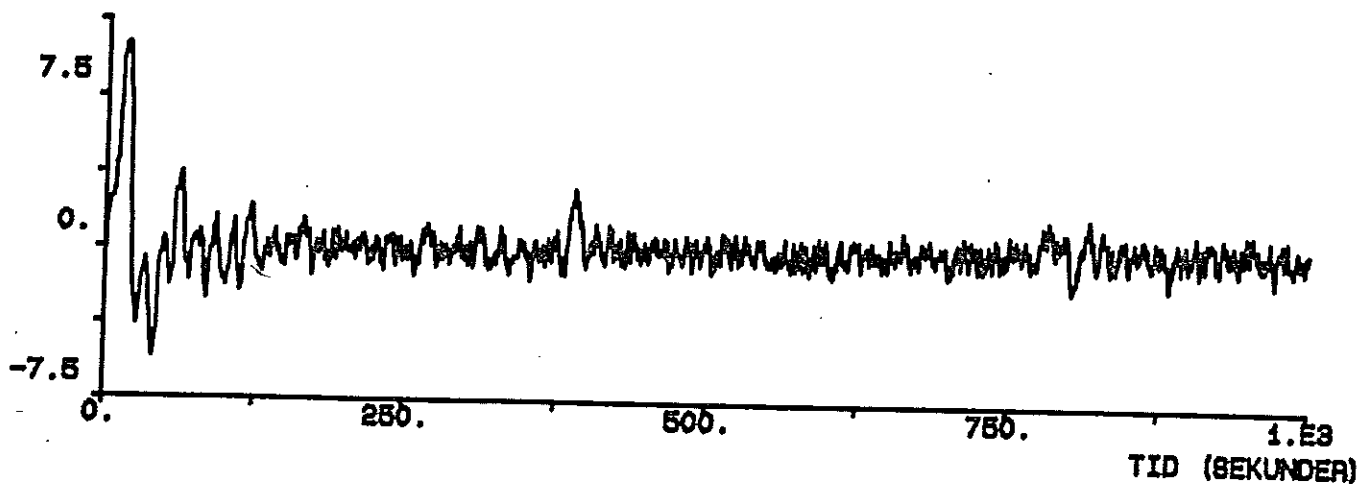
En förändring av fartygets hastighet från 16 till 11 knop medför inga större förändringar i kursavvikelse . Däremot ökar roderutslagen.

simulering 4 : rn = off , vh = 1 , vr = 45 , fh = 16

KURSFEL (GRA)



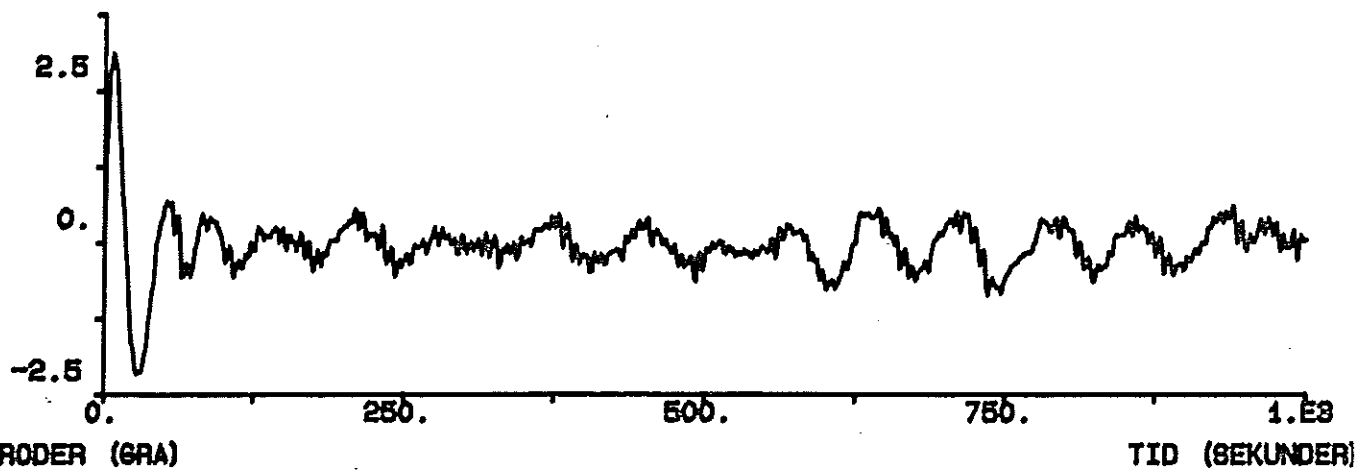
RODER (GRA)



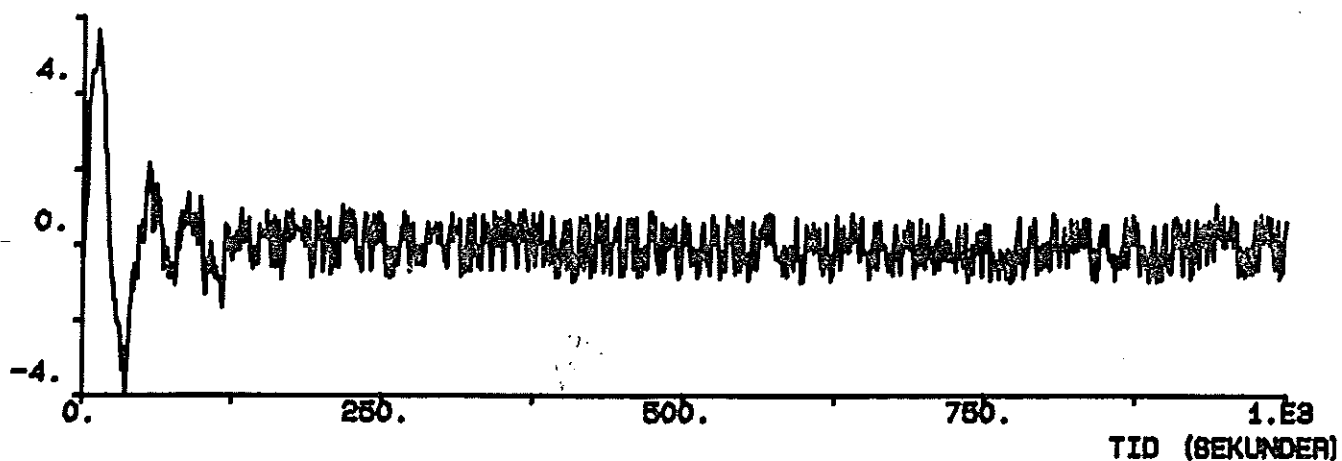
Under denna simulering blev vädret plötsligt humant . Solen bröt fram och vinden mojnade till sirka tio sekundmeter , vilket motsvaras av våghöjden en meter . Under dessa förutsättningar blev den maximala kursavvikelsen fyra grader.

simulering 5 : rn = off , vh = 1 , vr = 90 , fh = 16

KURSFEL (GRA)

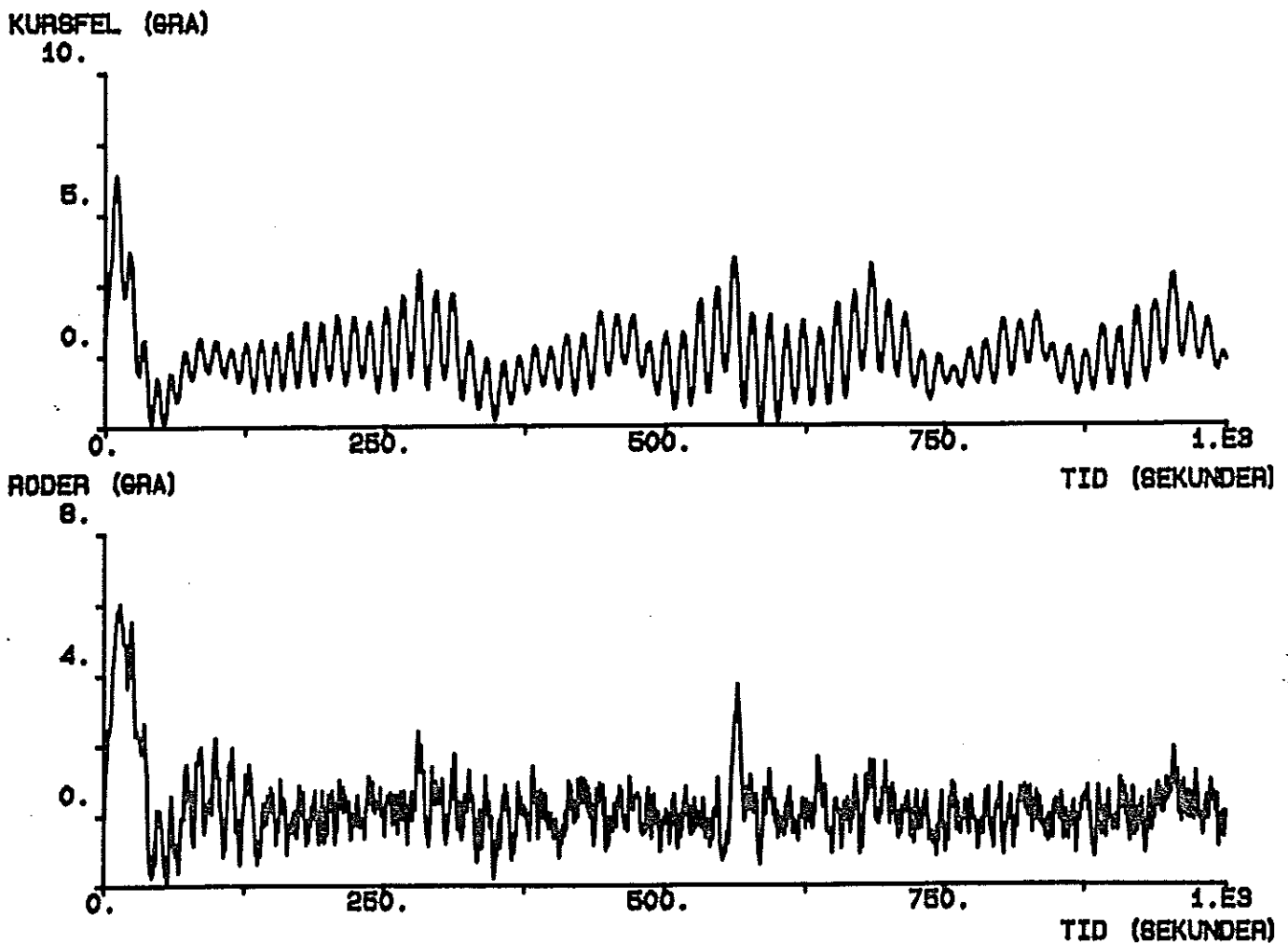


RÖDER (GRA)



Sidsjö i vackert väder ger nästan inga kursavvikelser alls.

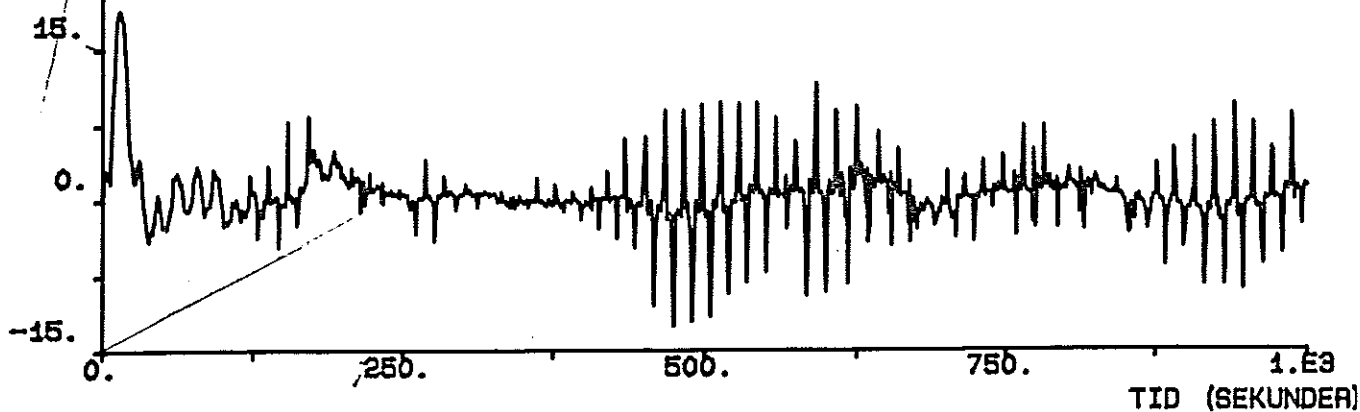
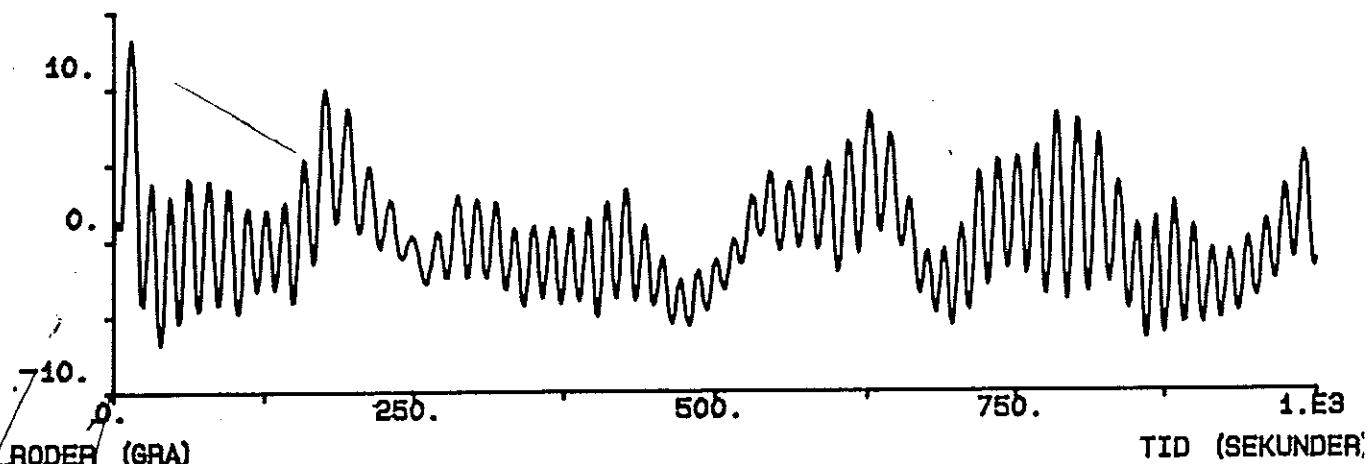
simulering 6 : rn = off , vh = 1 , vr = 45 , fh = 11



Denna simulering visar att kursavvikelserna blir praktiskt taget de samma oberoende av fartygets hastighet . Däremot blir roderutslagen kraftigare även vid mindre störningar.

simulering 7 : rn = on , vh = 3 , vr = 45 , fh = 16

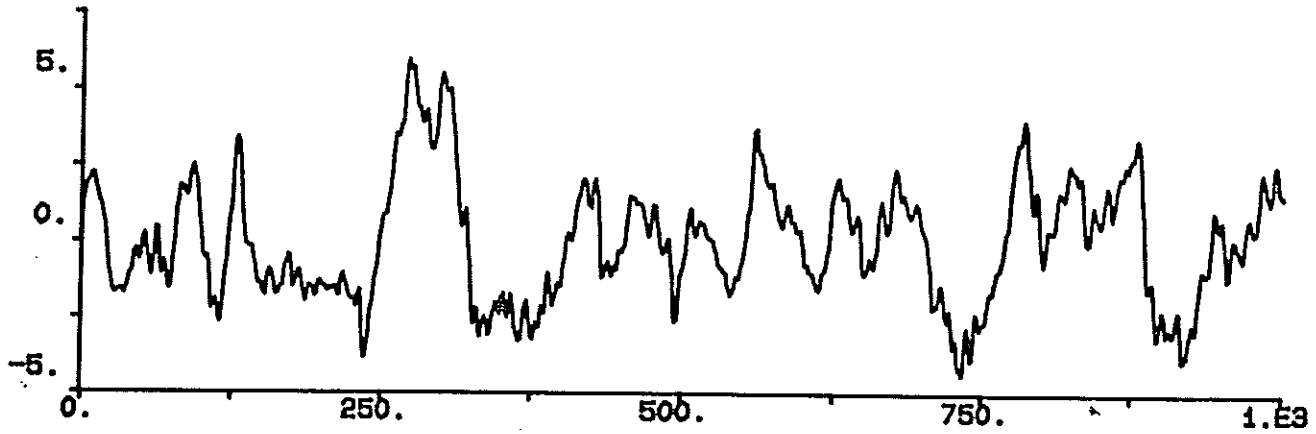
KURSFEL (GRA)



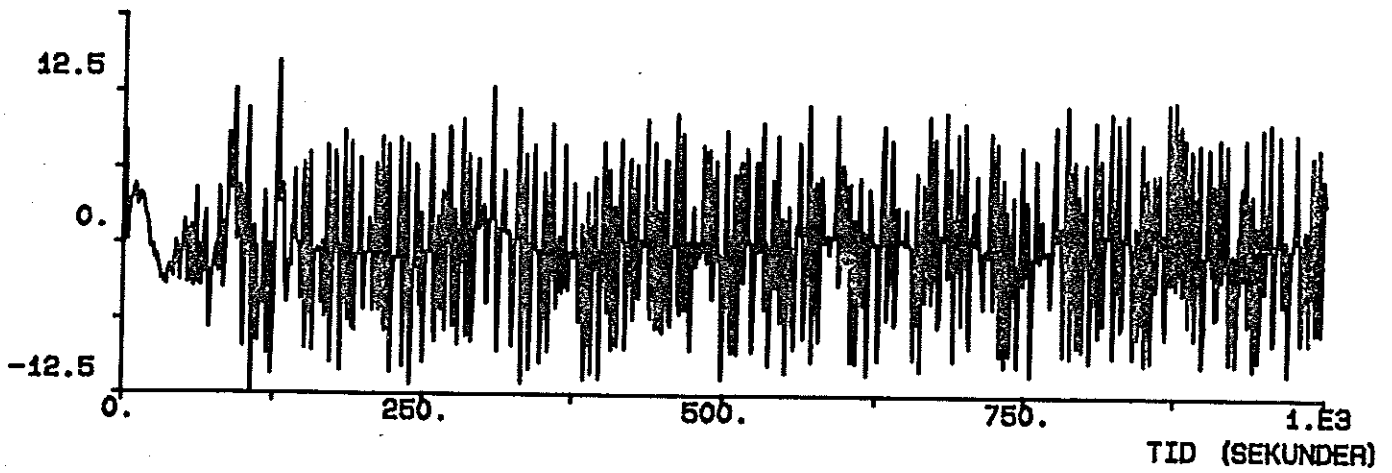
Ungefär samma resultat som utan Roll-Nix . (Jämför simulering 1)

simulering 8 : rn = on , vh = 3 , vr = 90 , fh = 16

KURSFEL (GRA)



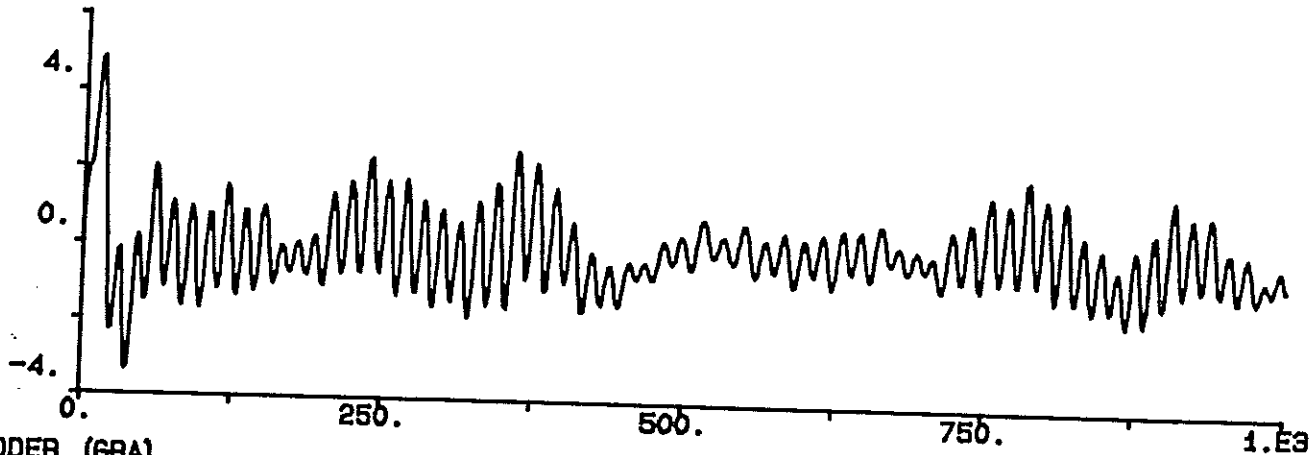
RODER (GRA)



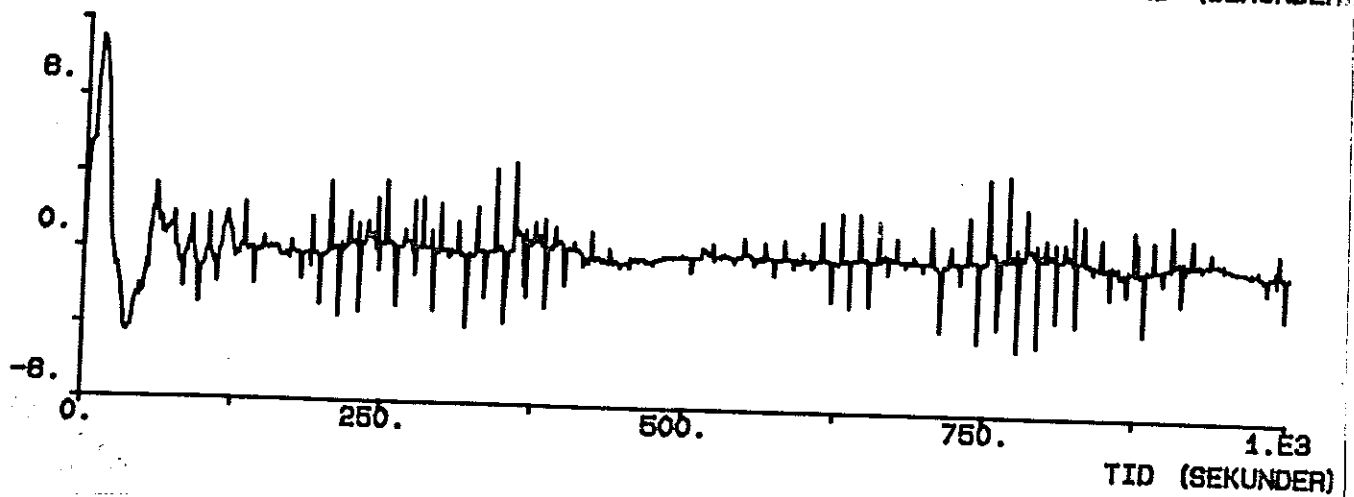
Ungefär samma resultat som utan Roll-Nix . (Jämför simulering 2)

simulering 9 : rn = on , vh = 1 , vr = 45 , fh = 16

KURSFEL (GRA)

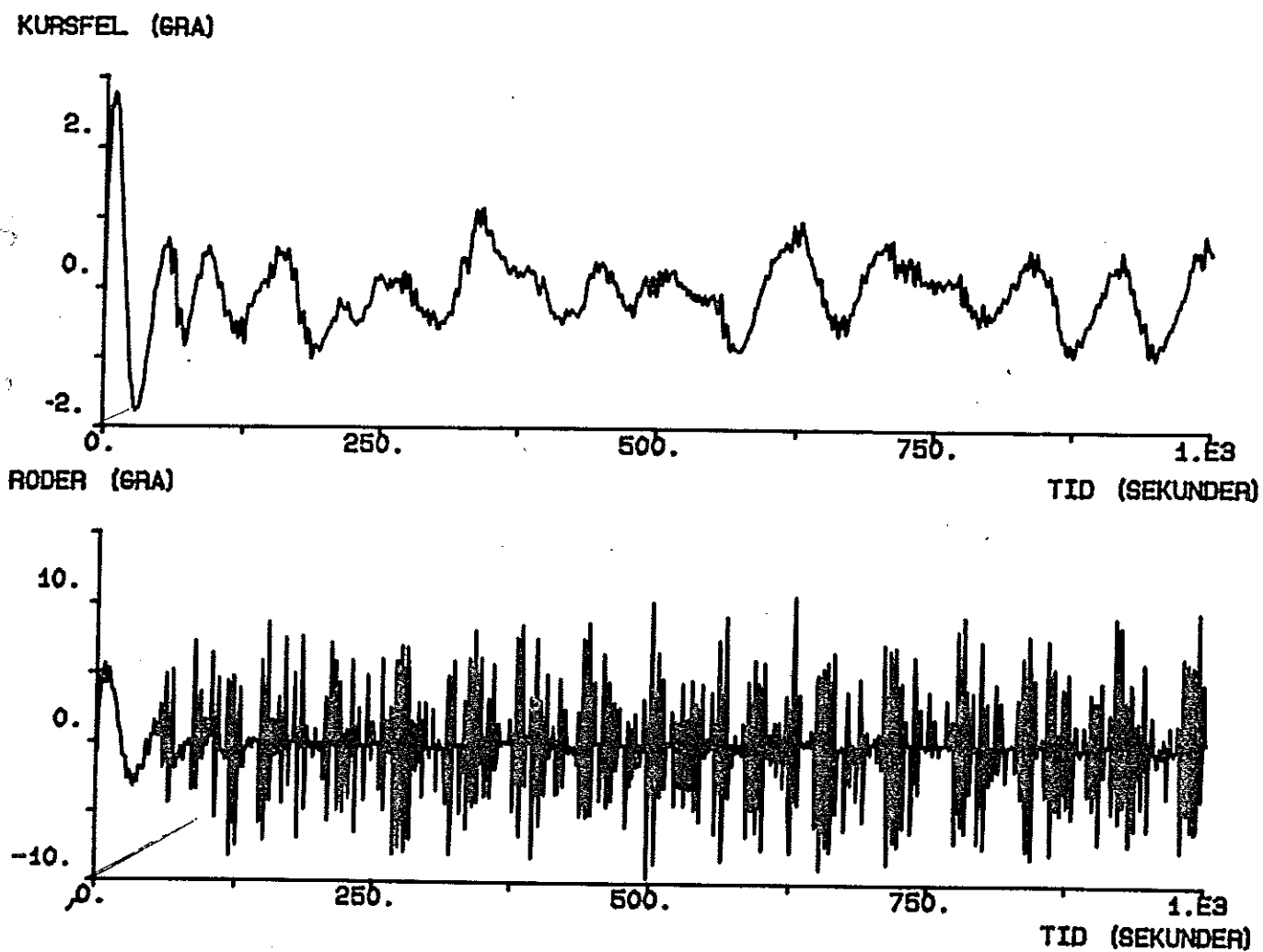


RODER (GRA)



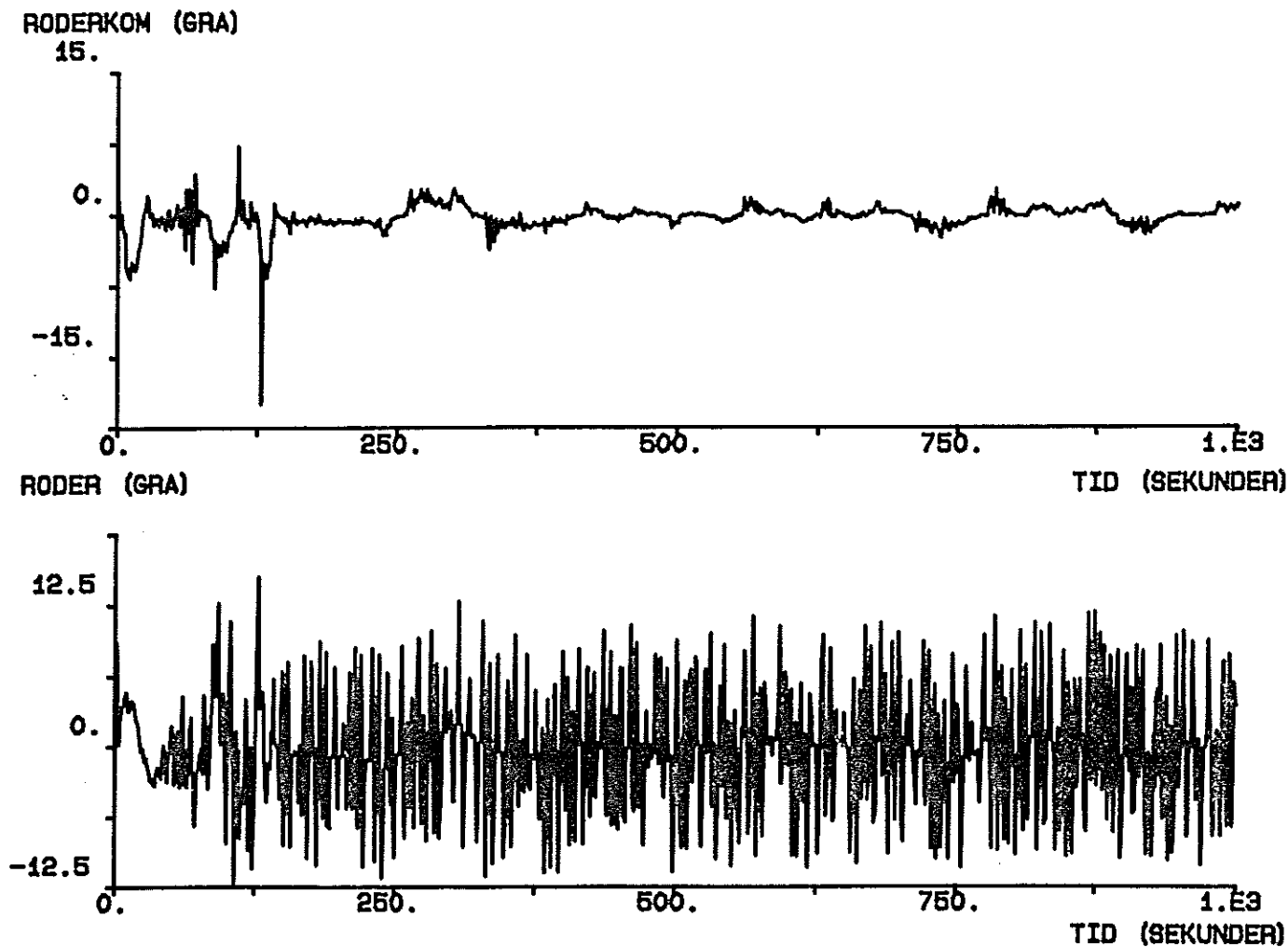
Ungefär samma resultat som utan Roll-Nix . (Jämför simulering 4)

simulering 10 : rn = on , vh = 1 , vr = 90 , fh = 16



Ungefär samma resultat som utan Roll-Nix . (Jämför simulering 5)

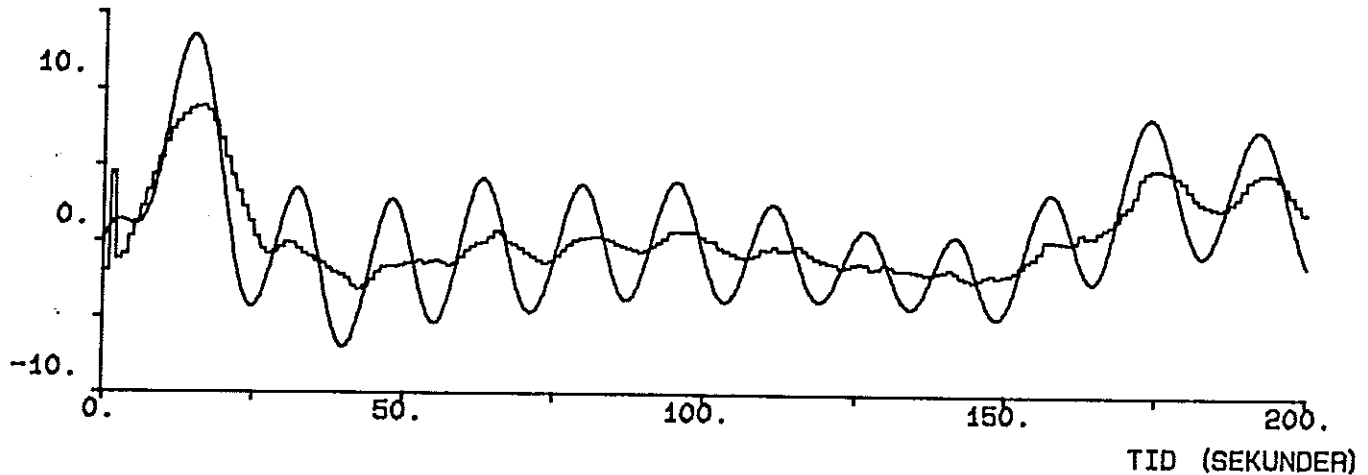
Simulering 11 : roder och roderkommando från
autopiloten



Simuleringen visar hur Roll-Nix's roderkommando överlagras på roderkommandot från autopiloten . Man kan dessutom med all tydlighet se hur mycket enklare det är för rodet att motverka kursavvikelse än rullning.

simulering 12 : kurs och filtrerad kurs

KURS (GRA)



Den frekvenskomponent i kursen som beror på att fartyget rullar är mycket dämpad medan resten av signalen går opåverkad genom filtret.

3.2.6 Resultat

Det mest anmärkningsvärda resultatet är att autopiloten fungerar så bra tillsammans med ROLLNIX trots att spektrat då är begränsat. Kursavvikelserna blir i båda fallen ganska lika men om Roll-Nix är aktiv blir autopiloten mindre känslig för parameterändringar. Enligt min mening finns två alternativa förklaringar till detta.

Det ena alternativet är att dynamiken för det simulerade fartyget är så långsamt att endast lågfrekventa störningar påverkar dess kurs. Det andra alternativet är att ROLL-NIX dämpar rullningen och därmed den sidoförflyttning av tyngdpunkten som annars skulle påverkat kursen. Säkert bidrar båda alternativen till de goda resultaten.

Kursavvikelser på nästan tio grader vid vågor med en signifikant höjd av tre meter och loringssjö tyder på att autopiloten borde gå att trimma ännu bättre, men man skall dock ha i åtanke att sådana vågor motsvarar en vindstyrka på drygt tjugo sekundmeter.

Kursfelen i början av simuleringarna beror på att alla frekvenser i de oregelbundna vågorna börjar på noll och då samarbetar.

3.3 Girar

En gir kan delas upp i tre skilda etapper . Först initieras giren , sedan girar man med konstant girhastighet och till sist bromsas giren upp på den önskade nya kursen . Det är därför naturligt att även dela upp autopiloten i dessa delar . Gemensamt för alla delarna är att de reglerar med konventionella regulatorer med konstant hög förstärkning.

För att göra navigeringen så enkel som möjlig från bryggan är manöverpanelen uppbyggd så att man instruerar autopiloten i termer av önskad girradie och slutlig kurs.

3.3.1 Initiering

Vid initieringen av giren är uppgiften att öka girhastigheten till den önskade . Detta åstadkoms med en P-regulator enligt följande:

$$u = P_1^*(r-r_r) \quad \text{där} \quad r(k) = (y(k)-y(k-1))/DT = \text{girhastighet} \\ r_r = u^*180/\pi/\text{radie} = \text{önskad girhast.}$$

3.3.2 Konstant girhastighet

När girhastigheten uppnått önskat värde skall det värdet behållas tills giren avslutas . För att få en konstant girhastighet används en PI-regulator enligt följande:

$$u = P_1^*(r(k) - r_r) + PI_1^*_DT*(r(k) - r_r)$$

3.3.3 Stöttning

När kursen närmar sig den önskade nya kursen skall giren bromsas upp mjukt , snabbt och utan alltför stort överslag . Detta åstadkoms genom att man ger samma roder som nyss , men med omvänt tecken tills giren upphört . Dock högst den tid det tog att initiera giren . Därefter avslutar man giren med en PD-regulator enligt följande:

$$u = P_2^*y(k) + PD^*(r(k) - r_r)$$

3.3.4 Övergång mellan gir och rak kurs

För att finjustera kursen och göra övergången mellan gir och rak kurs så mjuk som möjligt används i övergången en PID-regulator. Denna regulator används även då autopiloten kopplas in och skall initieras . PID-regulatorn använder följande algoritm:

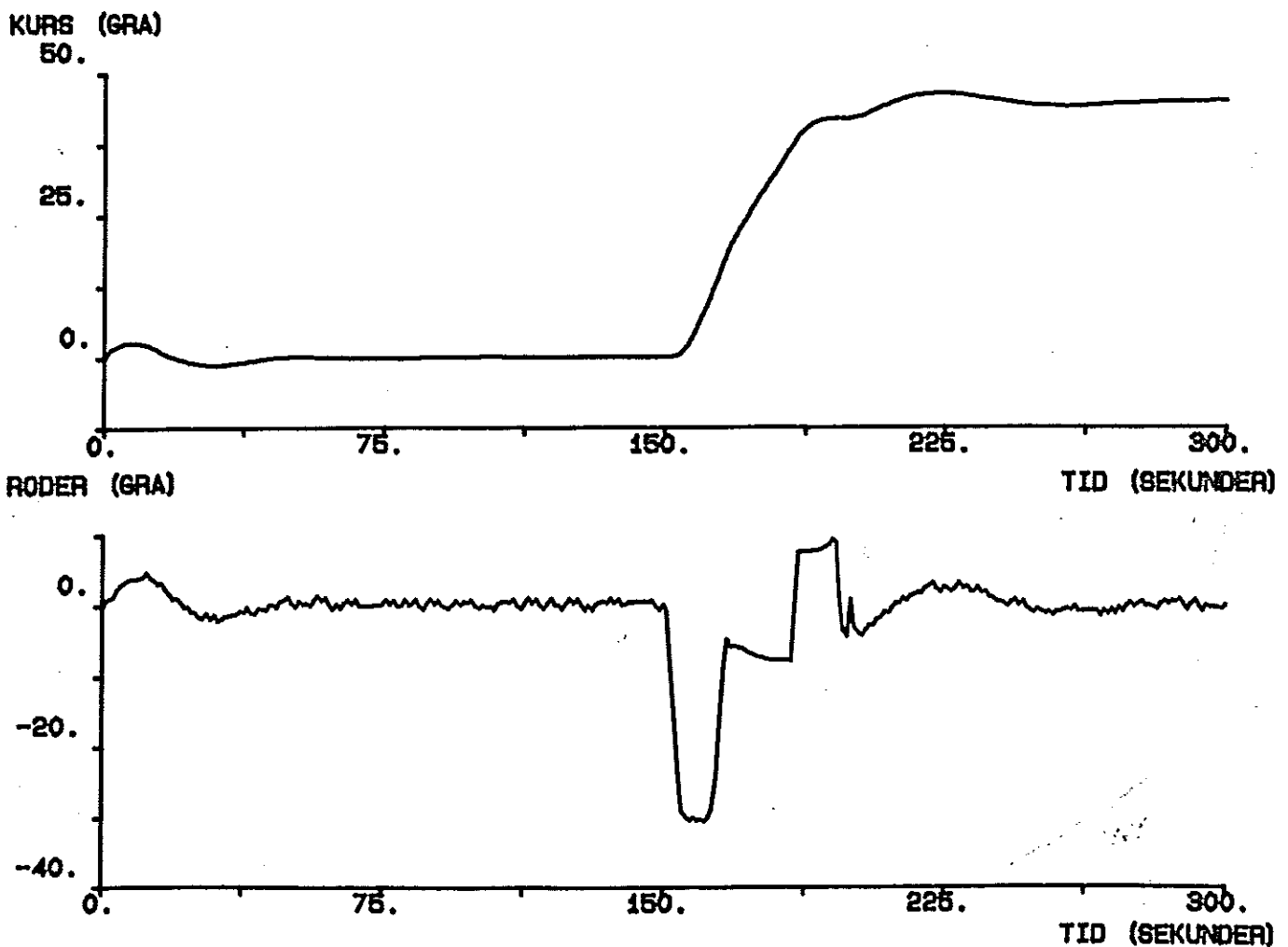
$$u = P_2^*y(k) + PI_2^*_DT^*(y(k) + PD^*(r(k) - r_p))$$

3.3.5 Simuleringar

De parametrar som ändrats mellan olika simuleringar är följande:

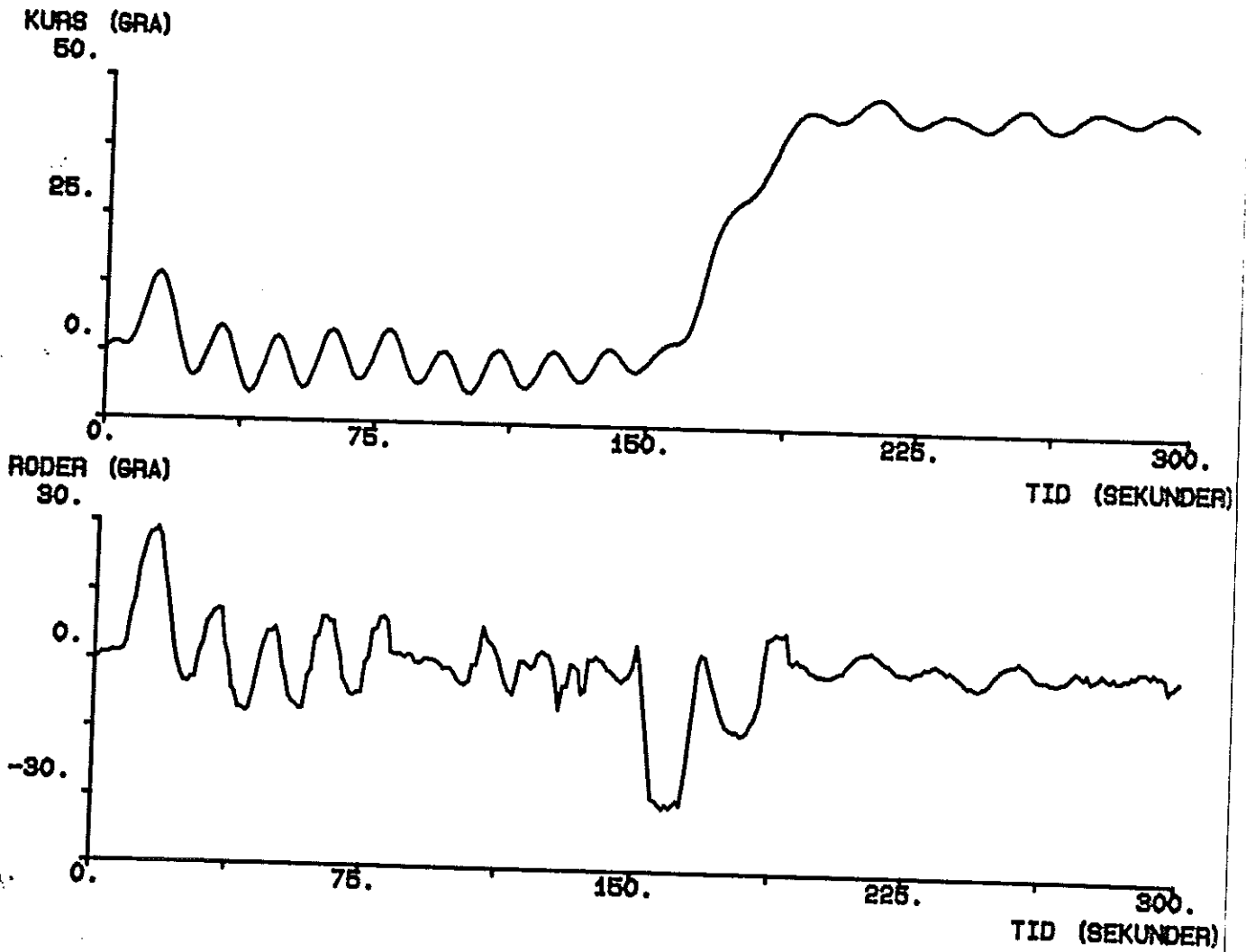
- 1 girradier (gr) i meter.
- 2 våghöjder (vh) i meter.
- 3 hastigheter på fartyget (fh) i knop.

simulering 1 : vh : 0 , fh : 16 , gr : 200



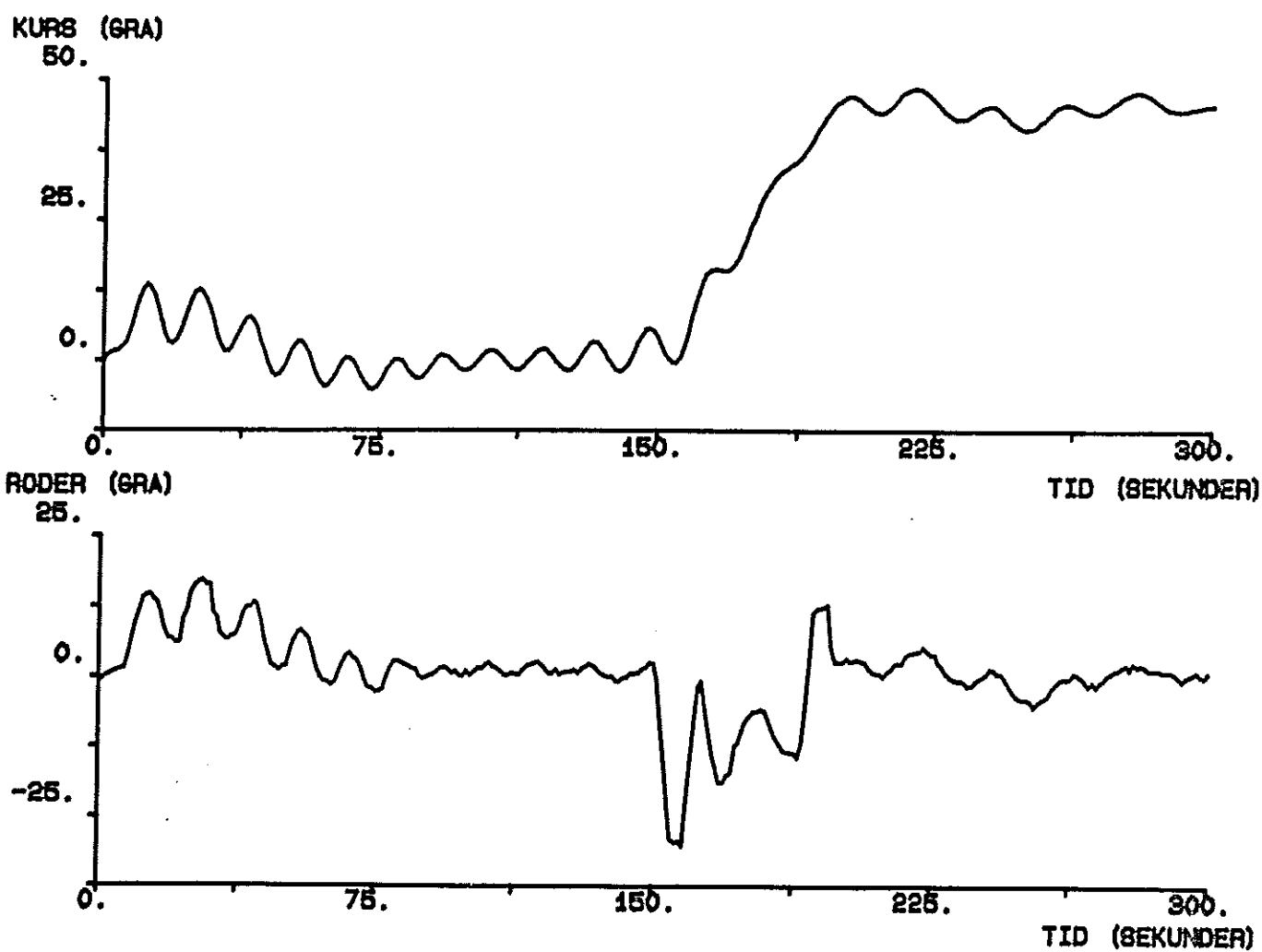
Någon grads överläng och mycket kraftiga roder på grund av den höga girhastigheten.

simulering 2 : vh : 3 , fh : 16 , gr : 200



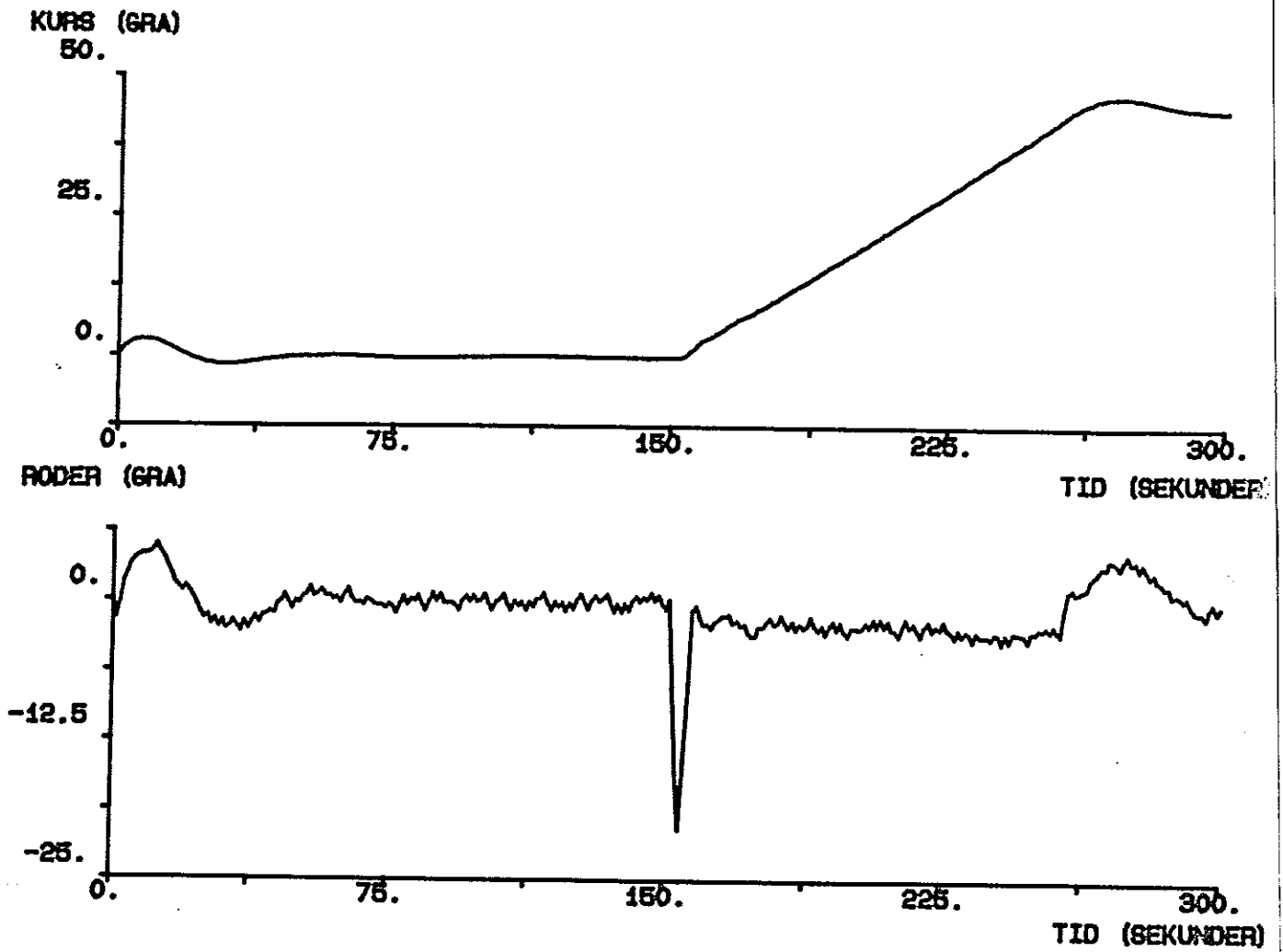
Kraftig gir i mycket grov sjö praktiskt taget utan översläng.

simulering_3 : vh : 3 , fh : 11 , gr : 200



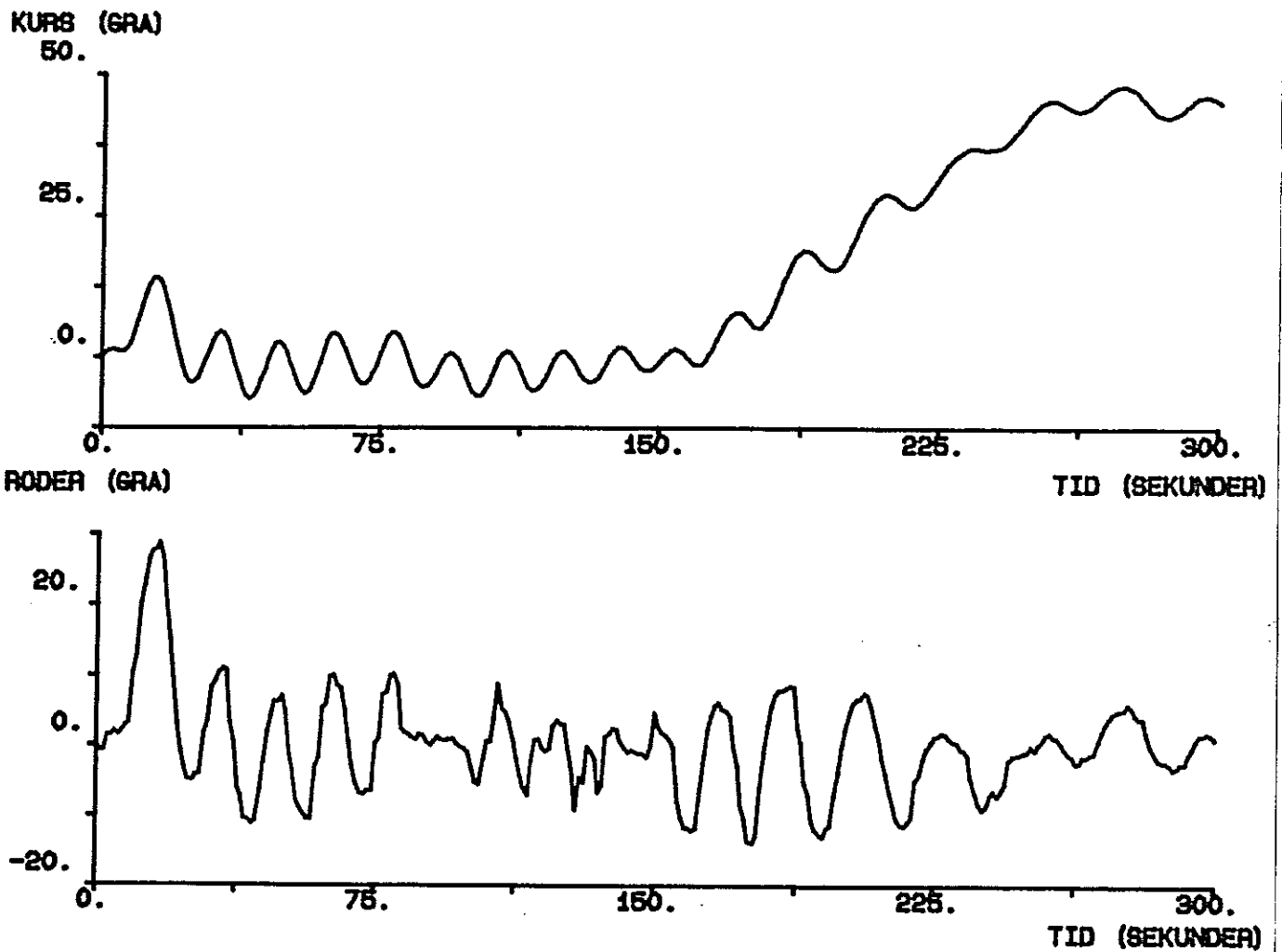
Eftersom girhastigheten har minskat påverkas fartyget mer av vågorna under giren.

simulering 4 : vh : 0 , fh : 16 , gr : 800



Eftersom girhastigheten är låg räcker det för autopiloten att knuffa igång giren och sedan en stund senare stoppa den.

simulering 5 : vh : 3 , fh : 16 , gr : 800



Mycket störningar från vågorna.

3.3.6 Resultat

Resultaten av simuleringarna med girar verkar mycket lovande . Även vid skarpa girar blir överslaget i det närmaste obetydligt tack vare den intelligenta stötningsalgoritmen.

4 Slutord

Detta examensarbete har bestått i att konstruera en autopilot så sofistikerad att den uppfyller specifika , i inledningen behandlade , krav.

Undersökningen resulterade i modifieringar av en känd adaptiv autopilot något. Autopiloten visar under simuleringar goda egenskaper men både det begränsade spektrat och den direkta reglermetoden begränsar i viss mån det antal fartygetstyper där autopiloten går att applicera.

En logisk fortsättning på detta examensarbete är att försöka konstruera ett sant kopplat system som samtidigt minimerar både roll och kursavvikelse . För att göra systemet ännu mer generellt bör detta nya reglersystem använda en indirekt metod , d v s skatta systemparametrarna och därur explicit beräkna reglerparametrarna.

4.1 Tillägg

Vid den nervpåfrestande installeringen av autopiloten på det verkliga fartyget visade det sig att vissa smärre justeringar var nödvändiga .

Om man tittar noga på simuleringarna i rak kurs finns där en tendens till försämring på slutet . Dessa försämringar var än mer märkbara på fartyget . Detta är ett vanligt problem med adaptiva regulatorer och kallas för insomningsfenomenet . Problemet uppkommer då estimeringsfelet under en tid varit litet , vilket medför att covariansmatrisen minskar och regulatorn blir okänslig för nya störningar . Problemet kan lösas på två sätt , antingen uppdaterar man reglerparametrarna endast om felet är tillräckligt stort , eller också ger man ett minimivärde för diagonalelementen i covariansmatrisen . Det första alternativet verkar principiellt mer tilltalande , men i den något pressande situationen ombord var det mer praktiskt att genomföra det andra alternativet .

Ett annat problem var översvängningen vid girar . Det berode på att stöttningen av giren i vissa fall kom för sent . Lösningen var att låta läget för stöttnings början vara beroende av girhastigheten så att girar med högre girhastighet stötts tidigare.

Med dessa ändringar installerades autopiloten och fartyget är i skrivande stund på väg mot Brasilien . Tyvärr fick inte jag följa med , istället får jag glädja mig åt att en rapport från Biscaiabukten visar att autopiloten fungerar ännu bättre i verkligheten än i mina simuleringar.

5 Pascalprocedur

5.1 Parameterlista

Input: PSI=kurs
DDEG=roderläge
TIME= aktuell tid
U=fartygets hasyighet
RON= ROLLNIX on/off
WR=rullningsperioden
RADIE=önskad radie på gir
PSIREF= önskad kurs

Output: DREG=roderkomando

Variabler: (*----- estimering -----*)
TH=vektor av skattade parametrar
PHI=vektor av mätvärden
COV=matris av covarianser i skattningen
EE=felet i skattningen

(*----- reglering -----*)
REG=roderkomando
GRAN=gränser mellan olika regulatorer
EPSI=kursfelet
EPRAT=felet i kurshastighet
PRAT=kurshastighet

(*----- gamla data -----*)
CDAT=gamla roderkomandon
EDAT= gamla kursfel
OLD=diverse gamla data för filtren

parametrar: LAM=glömskefaktorn
D=prediktionshorisonten
R0=grovinställningen av regulatorn
DT=samlingsintervallet
GRA=gränsen mellan gir och rak kurs
NP=antal parametrar som skattas
NOLL= justering av nollstället i 'notch'-fioltret
BCO=begynelsevärde för covariansmatrisen
PK=förstärkningsfaktorer
TRAM=antal sampel för övergång mellan gir och rak kurs
REGMAX=maximalt tillåtet roderutslag

5.2 Deklarationer och initiering

```
Procedure AP(psi,time,u,wr,ddeg,radie,psiref:real;ron:boolean;
            var dreg:real);
const      pk[1]=50;          (*p-del vid gir*)
           pk[2]=0.1;        (*i-del vid gir*)
           pk[3]=2;          (*p-del vid stöttning*)
           pk[4]=1;          (*d-del vid stöttning*)
           pk[5]=0.02;       (*i-del vid stöttning*)
           pk[6]=0.01;       (*i-del vid rak kurs*)
           lam=0.95;
           r0=-1.5;
           d=3;
           dt=1;
           noll=5;
           np=5;
           npp=np*np/2+np/2;  (*antal element i p-matrisen*)
           gra=5;
           tram=100;
           u0=8.23;
           bco=10;
           regmax=30;

var        th,k               : array[1..Np] of real;
           Phi                : array[1..Np+1] of real;
           cov,cdat,edat      : array[1..Npp] of real;
           old.gran           : array[1..3] of real;
           psiref,psiold,epsi,ee,dem : real;
           reg,regf,oldreg,prat,pratr,eprat : real;
           gv,wc,apsi         : real;
           nexttime,i,j,l,hind,nutid,ind1,ind2,igir ,ital: integer;
```

(*--- initiering ---*)

```
for i:=1,npp do
begin
  edat(i):=0;
  cdat(i):=0;
  cov(i):=0;
end;
nexttime:=dt;
hind:=-1;
nutid:=1
igir:=4;
ital:=0;
smu(2):=0;
cov(1):=Bco;
cov(3):=Bco;
cov(6):=Bco;
cov(10):=Bco;
cov(15):=Bco;
gran[3]:=0.5;
```

(*---Filtercoefficienter---*)

```
if ron then
begin
  wc:=dt*noll/wr;
  apsi:=2*cos(wc);
end;
```

6 Referenser

- [1] Källström Claes (1979).
Identifikation and Adaptive Control Applied to Ship
Steering .
LUTFD2/(TFRT-1018)/1-192/(1979) , reglerteknik LTH

- [2] Åström Karl J / Wittenmark Björn (1984).
Computer Controlled Systems.
N.J 07632 , Prentise-Hall , Englewood Cliffs

- [3] Åström Karl J / Wittenmark Björn (1988).
Adaptive Control.
Kompendium , Addisoo-Wesley Puplishing Co. ,
reglerteknik LTH