

# Ur vårt Digitala Arkiv

## JA37 utan friktion

Utdrag ur TIFF 1973 nr 3

**Denna digitala version omfattar enbart sidorna 13-16**

Dokumentet i sin helhet kan läsas på AEF:s webb

<http://www.aef.se/TIFF/TIFF%201973-3.pdf>

utdraget gjort 2014-01-02



Jan Brogren

Försvarets Materielverk har tecknat kontrakt med Singer Company, Kearfott Division, Little Falls, New Jersey, USA angående leverans av tröghetsnavigeringsplattformar (TN-plattformar) till provflygplanen i JA 37-projektet. Kontraktet, som kostar staten cirka 9 miljoner kronor, omfattar leverans av ett antal prototyper men också programvaruarbete omfattande datorprogramproduktion för själva navigeringsfunktionen.

Vad är skillnaden mellan en "vanlig" gyroplattform och en TN-plattform? Hur fungerar den? Hur

Tröghetsnavigering (TN) tillämpas i rymdflygningens tjänst liksom i moderna transportflygplan och i de flesta utländska militärflygplan. Det är nu aktuellt att använda TN även i flygvapnet, närmare bestämt i JA 37, och dags att börja orientera sig i ämnet.

TIFF har bett byrådirektör Jan Brogren FMV-F: FE3 att ge en allmän presentation och han gör det i beskrivande ordalag, helt fria från den eljest nödvändiga matematiken.

32 horisontgyro. Isoleringen är dock inte fullständig på grund av begränsade frihetsgrader hos kardanerna. (De kan inte vridas helt runt.)

Flygplanet kan alltså inta lägen i luften där gyroerna störs och därför kommer att visa felaktiga värden för föraren. (Jag går här inte in på andra "störningar" och felvisningar beroende av jordrotation och flygplanets förflyttning över jordytan etc).

Vid utvecklingen av gyroanläggningen till fpl 35 ville man undvika dessa nackdelar och den radikala lösningen på problemet var att förse flygplanet med

# JA 37 utan friktion

går navigeringen till? För att bättre kunna svara på dessa frågor vill jag först ge en bakgrund och förklara gyrofunktionen och navigeringsmetodikerna för äldre flygplantyper.

## Gyroskopet vet var det står

Den primära uppgiften för gyroskop i flygplan är att ge föraren information om flygplanets läge, attityd, i luften, det vill säga lodvinklarna i roll och tipp och kursvinkeln relativt norr. För detta erfordras ett lodgyro för roll- och tippvinklarna och ett kursgyro för kursvinklarna.

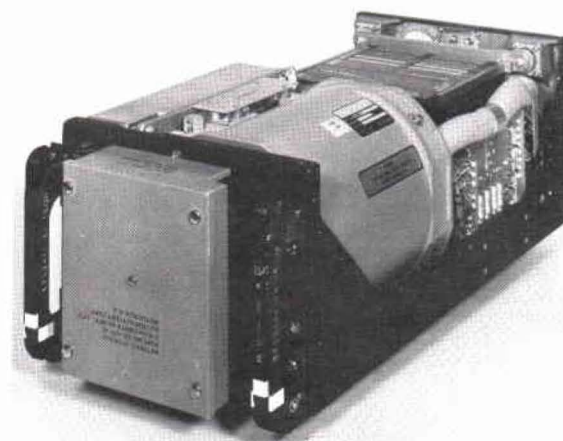
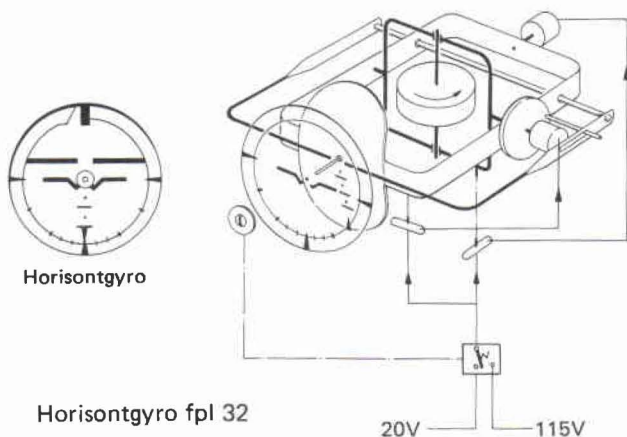
Gyrosnurrarna, som alltid strävar efter att peka mot en fixpunkt i rymden, isoleras från flygplanets rörelse med hjälp av ett kardansystem. En typisk gyrokonstruktion av detta slag visas i figuren över fpl

en så kallad gyroplattform. Figuren visar uppbyggnadsprincipen för gyroplattformen i 35:an. Den benämnes Fli 25—27 och förstås enklast genom studium av text och bild.

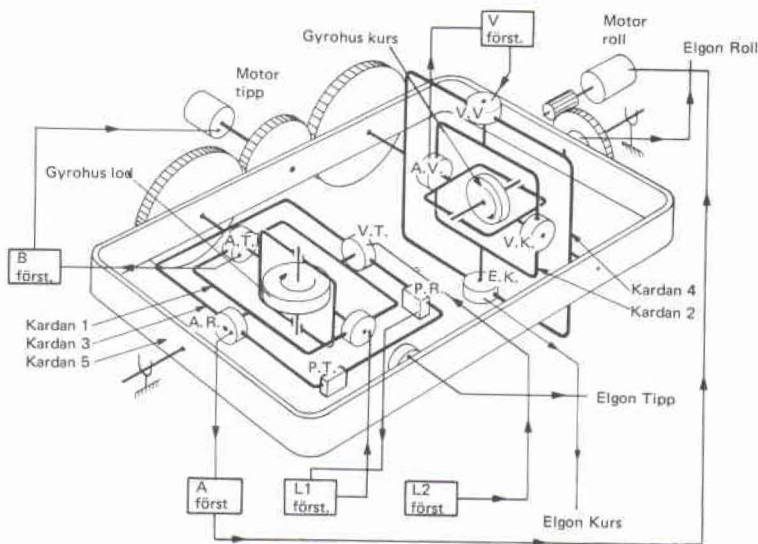
## Svenska plattformar

Denna plattform, som tillverkades av AGA AB, Lidingö, är tillförlitlig och har goda prestanda. Efter ett antal år i tjänst har det visat sig att översyns-

Sid 14



Den nya amerikanska TN-enheten har gyrot med all elektronik i bara en "burk" på cirka 560 mm längd. Men förutsätter en central dator ungefär tre gånger så stor.

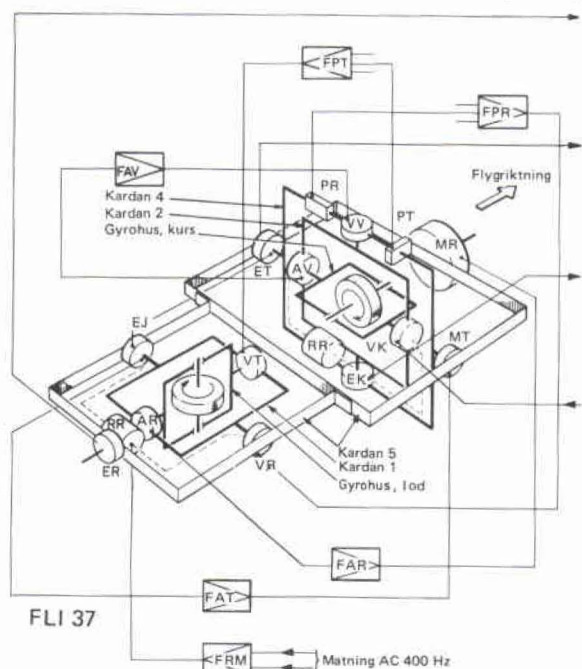


Kursgyro och lodgyro med respektive kardansystem är inbyggda i kardan 5, den yttre rollkardanen. De servodrivna kardanerna är inkopplade elektriskt. Vid en lägesförändring hos flygplanet i exempelvis tipp-led kommer lodgyrot att bibehålla sitt läge och en vinkel-förändring sker mellan gyrohus, lod och kardan 1. Detta ger en spänning i avkännare tipp (AT), som förstärks i B-förstärkaren och påverkar motor tipp. Denna återställer kardan 1 via kardan 3 till lodgyrots vågläge. Flygplanets aktuella timpläge avläses av elgon tipp (ET). På liknande sätt fungerar övriga servosystem i plattformen.

♦ JA 37 ... forts

intervallet vid C-nivå som från början var 3 år har kunnat utsträckas till 6 år. Detta har möjliggjorts tack vare bättre renlighet och högre noggrannhet vid tillverkningen, under översynsarbetet vid CVM samt förbättrade smörjmedel.

När dåvarande Kungl. Flygförvaltningen lade ut uppdraget till AGA att utveckla plattformen (Fli 37)



FPT= Förstärkare för pendel tipp  
 FPR= Förstärkare för pendel roll  
 FAV= Förstärkare för avkännare våg  
 MR= Motor roll  
 MT= Motor tipp  
 FAR= Förstärkare för avkännare roll  
 FAT= Förstärkare för avkännare tipp  
 FRM= Förstärkare för Rotor-race motor

till flygplan AJ 37, hette det att den nya plattformen skulle bygga på Fli 25 konstruktionsprincip, men att anläggningen skulle minska i volym och vikt samt ha förbättrade prestanda. Det medförde att Fli 37 transistoriserades, kardanerna komprimerades, utbytesenheterna konstruerades som "plug-in"-enheter etc.

Man finner vid första påseende att Fli 37 liknar Fli 25. Det finns dock ett antal väsentliga olikheter.

För att minska gyrodriften på grund av vilofriktion i de icke servodrivna kardanernas lättgångslager har man infört så kallade oscillerande kullager. Sådana har förutom innerring och yttering också en mellanring. Denna drivs av en motor som ändrar rotationsriktning med jämna tidsintervaller. På detta sätt hålls kulorna i lagren ständigt i rörelse och vilofriktionen försvinner.

Servomotorn som driver yttre rollkardanen är i Fli 37 en likströmsmotor som möjliggör snabbare omställning av kardanen. Kugghjulsväxeln mellan lod- och kursgyro i Fli 25 har ersatts med ett elektriskt servo. Pendlarna för lodövervakning är av elektrolyttyp, som ger analoga signaler till lodgyrots vridmotorer via respektive förstärkare.

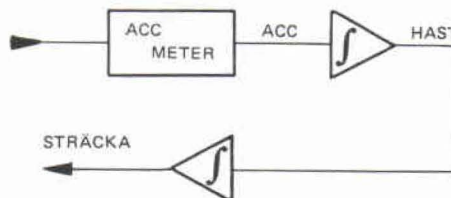
Fli 37 har visat sig uppfylla kravspecifikationen. Den är nu i serieproduktion och i tjänst i flygplan 37 på flottilj. På grund av kort drifttid finns inte tillräcklig erfarenhet av hur stort behovet av underhåll är för Fli 37. Ett exempel på detta är gyrodriftens långtidsstabilitet som har en enorm inverkan på underhållskostnaden. Man har dock givetvis gjort beräkningar av underhållsbehovet för planering av insatserna.

Navigation

Flygplan 35 navigeringssystem består huvudsakligen av klocka, luftdata och gyroplattform om man undantar flygplanets radionavigeringshjälpmedel. Flygföraren måste hålla reda på tid, hastighet och riktning och själv beräkna sin kurs.

I flygplan 37 går informationen från primärdata-givarna förutom till instrumenten på panelen också till den centrala kalkylatorn, CK, som samlar in data, beräknar dem och presenterar flygplanets position för föraren, som alltså avlastas från navigeringsarbete. För att leverera en noggrannare hastighetsinformation har också en dopplerradar installerats i Viggen.

Grundprincipen för tröghetsnavigering, TN-navigering, är att varje förflyttning av en kropp mellan två punkter innebär att kroppen utsätts för accelerationer och retardationer (negativa accelerationer). Om man mäter och registrerar alla accelerationer och samtidigt håller reda på tiden så kan man räkna ut avståndet mellan två punkter. Beräkningen går så till att man integrerar accelerationerna med sitt tecken till hastighet och hastigheten till sträcka. För att få





information om sin geografiska position erfordras dessutom kännedom om de vinkelförändringar som från en given begynnelseorientering ägt rum under flyttningen.

### Amerikansk TN

För TN-navigering erfordras instrument för mätning av accelerationer, vinkelreferenser samt en beräkningsenhet som kan utföra nödvändiga integrationer plus annat beräkningsarbete. Detta möjliggörs med hjälp av accelerometrar, gyron och flygplanets centrala dator.

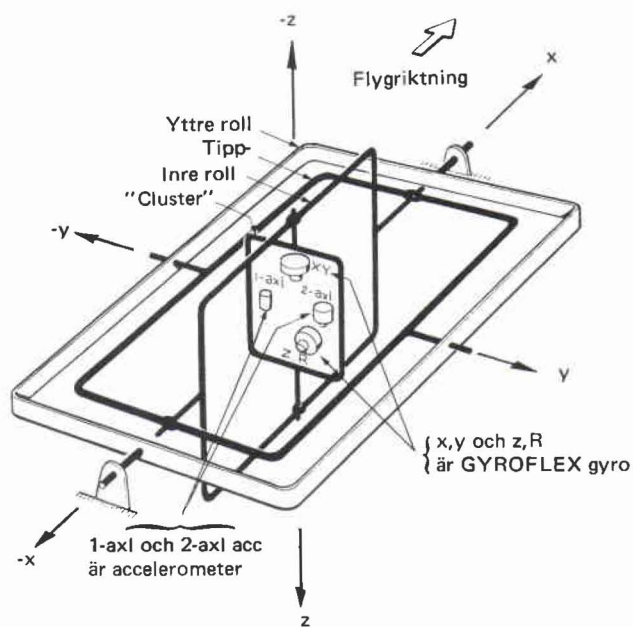
Det finns ett antal olika konstruktioner av TN-plattformar på marknaden men här beskrivs enbart Singer-Kearfotts konstruktion. Bilden visar kardanarrangemanget i Kearfotts så kallade KT 70, vilket är den plattform materielverket har köpt. Kurskardanen, som i fortsättningen kallas "cluster" (det engelska ordet cluster betyder egentligen anhopning, gruppering), härbärgerar både lod- och kursgyro, vilket är en skillnad gentemot Fli 25 och Fli 37. Konstruktionen medger ett kardansystem mindre, vilket innebär en besparing både vid tillverkning och underhåll, förutom volym- och viktminskning. Problemet att hålla reda på vad som är roll respektive tipp vid olika kursvinklar löses med hjälp av en resolver ("vinkelomvandlare") mellan cluster och inre rollkardan. Utanför clustret finns sedan de isolerade kardanerna, inre roll, tipp och yttre roll.

För att rätt kunna registrera flygplanets acceleration och inte störas av jordaccelerationen måste clustret hållas i vågläge. Detta möjliggörs som förut nämnts med kardansystemet. Vågläget uppsöks automatiskt av plattformen under tiden flygplanet står stilla på marken och clustrets vågläge under flygningen bibehålls av gyrona.

### "Torra" Gyron

Då man kräver en relativt hög noggrannhet av TN-systemet (ett fåtal km fel per flygtimme) erfordras mycket känsliga accelerometrar. Tröskelvärde, det vill säga det minsta värde på accelerationer som accelerometern registrerar, ligger omkring 0,001 G. För att isolera bort jordaccelerationen erfordras en i det närmaste perfekt våghållning, och eftersom våghållningen under flygning styrs av gyrona så måste de ha extremt liten egendrift. Kardansystemet med dess avkännare, motorer och elektronik måste också vara snabbt och precist för att inte flygplanets rörelser skall påverka clustret, det vill säga störa våghållningen och försämra navigeringsnoggrannheten. Ett bra TN-gyro får inte driva mer än cirka 0,01° per timme. Som jämförelse kan nämnas att Fli 25-gyrona driver cirka 3° per timme och Fli 37 1° per timme.

Hur skall då ett gyro konstrueras och tillverkas för att innehålla sådana värden? I tröghetsnavigeringens barndom använde man sig i princip av samma sorts gyron som i konventionella plattformar, men gyrona tillverkades och sattes samman med extremt noggranna toleranser och i superren miljö. Detta tillvägagångssätt medförde mycket höga till-



Kardanarrangemang i SKD TN-plattform KT-70

verkningskostnader men också instabilitet och dålig tillförlitlighet hos TN-utrustningarna, som ofta krävde kalibreringar och övrigt underhåll.

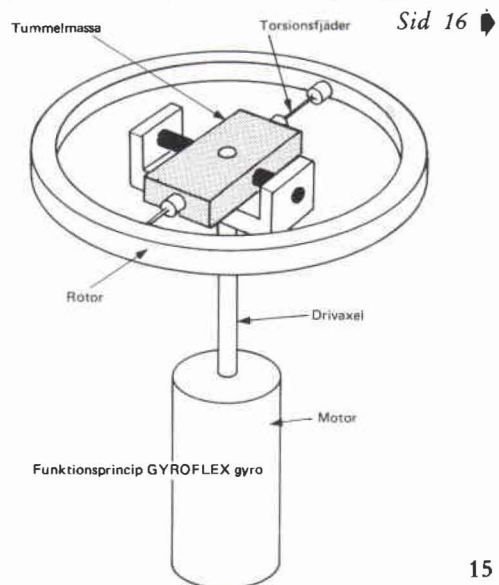
Ett betydande genombrott i förbilligandet av tillverkningen samtidigt med en kvalitetshöjning hos TN-utrustningarna utgjorde utvecklingen av den dynamiskt avstämda så kallade "torra" gyrona. Dessa finns i ett antal olika utföranden och fabrikat men de har ungefärligen samma funktionsprincip.

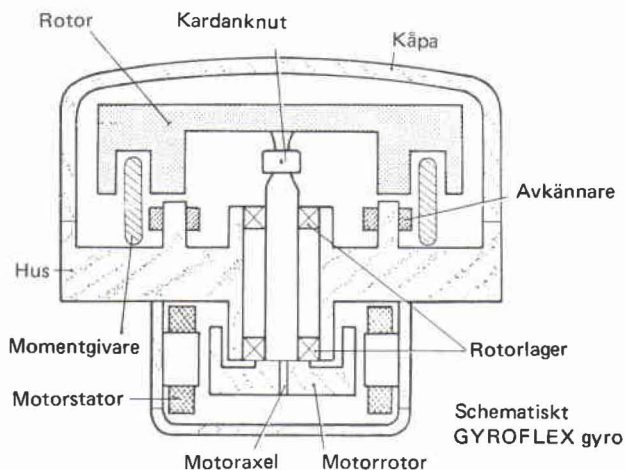
### Gyroflexgyrot — "friktionslöst"

Gyroflexgyrot är Singer-Kearfotts version och namn på sitt torra gyro. Sedan 1967 har över 4.500 exemplar tillverkats. Dessa har visat sig tillförlitliga och uppfyller kraven på relativt låg fabrikations- och ägandekostnad.

Rotorn ligger utanför en mellanram och utgör i princip den yttre delen av en kardanknut. Om rotorn via drivaxeln snurrar med visst konstant varvtal tenderar rotorn att behålla sitt rymdfasta läge vid godtyckliga rörelser hos drivaxel och motor.

Tummelmassan kommer att utföra en tumlande rörelse (därför namnet) och därvid ge upphov till



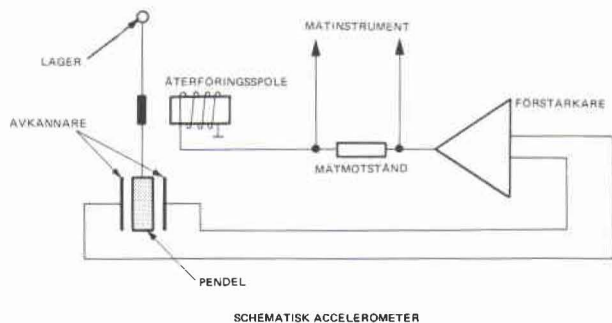


► JA 37 ... forts

dynamiska moment, som kompenseras med gyrots torsionsfjädrar. Den totala verkan blir att rotorn vid ett visst varvtal verkar helt fritt och friktionslöst upphängd. Man har på så sätt fått ett fritt, tvåaxligt gyro med synnerligen låg egendrift.

**Accelerometrarna**

Accelerometrarna arbetar enligt den återkopplade principen. Se schemat. Vid en acceleration kommer pendeln att svänga ut. Detta ger en obalans i avkännarbryggan som i Singer-Kearfotts konstruktion är av kapacitiv typ. Denna obalans förstärks i förstärkaren som skickar en ström så kopplad till åter-



föringsspolen att pendeln magnetiskt dras tillbaka mot avkännarbryggans balansläge. Strömmen som mäts över mätmotståndet till återföringsspolen är ett mått på accelerationen.

**Underhållsaspekter**

Singer-Kearfott, som också har kontraktet på den centrala datorn, har i Linköping öppnat ett kontor för assistans till FMV och SAAB-SCANIA och detta kontor kommer nu att utökas med TN-specialister. En av ingenjörerna är Håkan Lindell, utlånad från CVM på ett år. Underhållet av prototyperna skall utföras av Singer-Kearfott på CVM, som i gyroverkstadens nya tillbyggnad kommer att utrustas med erforderlig underhållsutrustning. Detta utgör en god förutsättning för start av serieunderhållet då det blir aktuellt i slutet av 70-talet.

Före undertecknandet av kontraktet med Singer-Kearfott gjordes en ingående analys av underhållskostnaderna för de olika anbudsgivarnas konstruk-

tioner. Säkerheten i beräkningen höjdes av garantier av såväl tiden mellan fel på komplett IME som ingående kostnadsstunga delar, till exempel gyron och accelerometrar. (IME=Inertial Measuring Equipment).

Underhållskostnaden för C-nivåunderhåll är garanterad genom en maximalsiffra på antalet underhållsmantimmar per drifttimme. För att kunna kontrollera att denna siffra innehålls skall först underhållsmetodiken slutligen specificeras av CVM och Singer-Kearfott och godkännas av FMV. När innehållet väl kommit igång vid CVM skall, efter en viss inlärningsperiod, regelbundna möten äga rum där underhållsinsatsen och kostnaden skall följas upp och jämföras med vad som beräknats.

För att möjliggöra att underhållet av TN-anläggningarna inte överskrider beräknade kostnader erfordras en stor arbetsinsats med planläggning och förberedelser. En snabb återkoppling av erfarenheter från prototyperna i drift vid SAAB-SCANIA kommer att erhållas genom att man följer Singer-Kearfotts underhållsarbete på CVM, vars personal kommer att ha full insyn i allt test- och reparationsarbete.

Jan Brogren, FE3



När kommer nästa objektingenjör i FMV-F med en presentation av sin specialitet?

Red.

**Dom vann böcker**

Lösning till GÅTAN i TIFF nr 2/1973

”Storleken på den icke rumsliga storheten ökar efter hopvikning av föremålet men förblir oförändrad efter halvering. Sök föremålet och storheten som båda är omnämnda i detta TIFF-nummer”.

Rätt svar: Storheten var tryck och föremålet en sida ur TIFF. Det gällde att först koppla ihop gåtan med artikeln om Pascal och sedan tänka ”fysikaliskt” att tryck är kraft per area.

Godkända svar har inkommit från Elisabet Sahlin FMV-F:VA, S-E Sjöstedt FMV-F:FE, kapten Darestam F 10.

Dock ett påpekande: man har genomgående svarat pascal i stället för tryck. Pascal är en enhet och ej någon storhet.

Storhet är en egenskap hos föremål eller företeelse som kan mätas eller beräknas t.ex. längd, volym, hastighet, tryck osv., medan enhet är ett fastställt storhetsvärde såsom 1 m, 1 kg, 1 Pa osv.

Red. tackar för svaren och sänder dem som svarat rätt var sin bok som belöning.