

Hemmelig

HEMMELIG

FFIE
Intern rapport E-188
Referanse:
Dato: Juni 1971

Eksemplar nr 10 av 30
118 sider

AVGRADERT

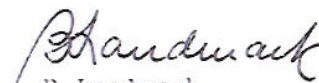
Dato: 11.10.09 Sign.: SE

DOKUMENTASJON AV TORPEDO STYRINGSPROGRAMMER

av

O Selnes

Godkjent
Kjeller 1 juni 1971



B Landmark
Forskningsjef

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25 - 2007 Kjeller
Norge

HEMMELIG

Hemmelig

VEDLEGG

til Intern rapport E-188:

"Dokumentasjon av torpedo styringsprogrammer"

Ved en misforståelse er denne rapporten uten grunn blitt trykket med graderingen "HEMMELIG". Den riktige gradering skal være "BEGRENSET"

Oddvar Selnes

Oddvar Selnes

Hemmelig

HEMMELIG

FFIE
Intern rapport E-188
Referanse:
Dato: Juni 1971

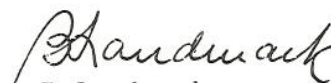
Eksemplar nr 10 av 30
118 sider

DOKUMENTASJON AV TORPEDO STYRINGSPROGRAMMER

av

O Selnes

Godkjent
Kjeller 1 juni 1971



B Landmark
Forskningssjef

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25 - 2007 Kjeller
Norge

HEMMELIG

Hemmelig

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side	
1	TEORIEN BAK TORPEDOSTYRINGEN	7
1.1	Innledning	7
1.1.1	Torpedotyper med data	7
1.1.1.1	Generelt	7
1.1.1.2	MK-37	7
1.1.1.3	TP-61	8
1.1.2	Torpedoløp og styringsmodi	9
1.1.2.1	Generelt	9
1.1.2.2	Løp under kollisjonspunktstyring	9
1.1.2.3	Løp under siktelinjestyring	11
1.2	Utledning av torpedostyringsligninger	12
1.2.1	Generelt	12
1.2.2	Presetting av gyro og prediktering av initialløp for MK-37	12
1.2.3	Oppdatering av torpedo etter initialløp	16
1.2.3.1	Generelt	16
1.2.3.2	MK-37	16
1.2.3.3	TP-61	17
1.2.3.4	Estimat av posisjonsfeil for torpedo etter initialløp	18
1.2.4	Kollisjonspunktstyring	21
1.2.4.1	Generelt	21
1.2.4.2	Beregning av kollisjonspunkt	21
1.2.4.3	Posisjonsbegrensning av treffpunktet relativt torpedoen	23
1.2.4.4	Forbedring av angrepsvinkel	24
1.2.4.5	Tråkking	26
1.2.5	Siktelinjestyring	31
1.2.5.1	Generelt	31
1.2.5.2	Utover på siktelinje	31
1.2.5.3	Innover på siktelinje	34
1.2.6	Salveskyting	34
1.2.6.1	Generelt	34
1.2.6.2	Kollisjonspunktstyring	35
1.2.6.3	Siktelinjestyring	36
1.3	Forslag til endringer	38
2	FLOWCHARTS OG LISTING FOR TORPEDO-PROGRAMMENE	39
2.1	Generelt	39
2.2	Salvefile	40
2.3	Torpedofile	40
2.4	Måldatafile	41
2.5	Eget fartøys data	41
2.6	Systemtid	42
2.7	Interruptblokkering	42
2.8	Libraryrutiner	42

	Side
2.9 Øvrige globalvariable	42
2.10 Torpedostyringsprogram	43
Appendix	44

FORORD

Denne rapport er en utfylling og videreføring av Teknisk notat S-209, "Preliminær dokumentasjon av styringsprogram for torpedo enkeltskudd" av Bjarne Hope og Reidar Ødegård. Hovedsakelig er torpedostyringen basert på de prinsipper som der er dokumentert, men en del forandringer er gjort. Disse forandringer gjelder delvis endrede forutsetninger, delvis en raskere og enklere matematisk løsningsmetode.

Denne rapporten omfatter ikke administrasjonsprogrammet for torpedoen. Kommunikasjonen mellom styringsprogrammene og det øvrige system foregår via de enkelte enheters datafiler. Dette er behandlet nærmere i rapportens kapittel 2.

Rapporten omhandler de funksjoner de forskjellige styringsprogrammer har, samt den matematiske utvikling av de ligninger som benyttes ved beregningene av torpedoløpet.

Videre inneholder rapporten flyttdiagrammer og listinger av de enkelte programmer.

DOKUMENTASJON AV TORPEDO STYRINGSPROGRAMMER

SUMMARY

The present report treats the torpedo guidance programs of the MSI-70U system. The various guidance modes are described in detail, and the corresponding guidance equations are derived. Flowcharts and listings in the SM-3 computer language are included.

(Documentation of torpedo guidance programs)

1 TEORIEN BAK TORPEDOSTYRINGEN

1.1 Innledning

Denne del av rapporten behandler den matematiske utvikling av styringsligningene for torpedoene. De enkelte styringsmodi er beskrevet i detalj. Videre er tatt med de grunnleggende egenskaper hos de to torpedotyper som inngår i systemet. Salveskyting med flere enn en torpedo er behandlet og omfatter de modifikasjoner som må innføres i styringsligningene i dette tilfelle.

Til slutt er tatt med noen forslag til endringer i systemet slik det foreligger i mars 1971.

1.1.1 Torpedotyper med data

1.1.1.1 Generelt

I denne rapport tas bare med data av direkte betydning for den regnemaskinkontrollerte torpedostyringen.

I MSI-70U inngår to torpedotyper: MK-37 og TP-61. Begge typene er trådstyrte.

1.1.1.2 MK-37

MK-37 er en heimende torpedo. Den kan alltid styres via tråd til "enabling distance" som presettes i torpedoen. Utenfor dette området kan den trådstyres bare i en bestemt søkemode, slangesøk.

På grunn av at torpedoen er heimende, legges det av sikkerhetshensyn en restriksjon på torpedokursen før "enabling distance" er nådd. Den tillatte sektor er $\pm 135^\circ$ fra utskytningskursen.

Gyroyen i MK-37 kan presettes. Dette utnyttes i systemet, da det gir en fordel i tilfelle trådbrudd tidlig i løpet, d v s før torpedoen har oppnådd kollisjonskurs. Torpedoen kan da likevel bringes inn på kollisjonskurs mot målet.

Trådstyring bør ikke begynne før torpedoen har oppnådd konstant hastighet av hensyn til nøyaktigheten i det beregnede torpedobestikk.

MK-37 finnes i to utgaver: Stridstorpedo og øvelsestorpedo. For øvelsestorpedoen foreligger relativt gode data for initialløpet, mens disse data på det nåværende tidspunkt er mindre gode for stridstorpedoen.

Tidspunktet når torpedoen passerer formskrogsluken, angis ved operasjon av en "Fin Velocity Switch" (FVS). Torpedoen begynner umiddelbart etterpå å svinge inn på presatt gyrokurs. Svingen antas å ha konstant krumningsradius.

MK-37 har to innstillbare hastigheter.

Tekniske data:

Oppholdstid i rør (fra fyring til FVS opererer)	ca 5,2 s
Utgangshastighet, stridstorpedo	usikker
Utgangshastighet, øvelsestorpedo	ca 18 kts
Marsjhastighet (lik for begge typer), høy	24,2 kts
" " " lav	15,9 kts
Akselerasjonstid:	
ved høy hast, stridstorpedo	usikker
ved høy hast, øvelsestorpedo	ca 11,5 s
ved lav hast, stridstorpedo	usikker
ved lav hast, øvelsestorpedo	ca 17,5 s
Svingerate ved trådstyring	8°/s
Torpedoløpets krumningsradius ved presatt gyro (lik for begge typer):	
ved høy hastighet	60 m
ved lav hastighet	39 m
Trådlengde	11900 m

Verdiene for torpedoløpets krumningsradius ved gyrostyrt sving er framkommet ved å anta en svingerate på 12 °/s ved oppnådd konstant hastighet.

De data som er usikre for stridstorpedoen, er i beregningene foreløpig satt lik dataene for øvelsestorpedoen.

1.1.1.3 TP-61

TP-61 er ikke heimende og kan trådstyres til tråden er oppbrukt eller til eventuelt trådbrudd inntreffer.

Gyroen i torpedoen presettes ikke. Det betyr at initialløpet vil være et rettløp. Trådstyring bør ikke starte før full hastighet er oppnådd av hensyn til nøyaktigheten i det beregnede torpedobestikk.

TP-61 har to utgaver: Stridstorpedo og øvelsestorpedo. De tekniske data av betydning for styringen, er like for de to utgaver.

Torpedoen har ingen tidsangivelse av når den passerer formskrogsluken.

Tekniske data:

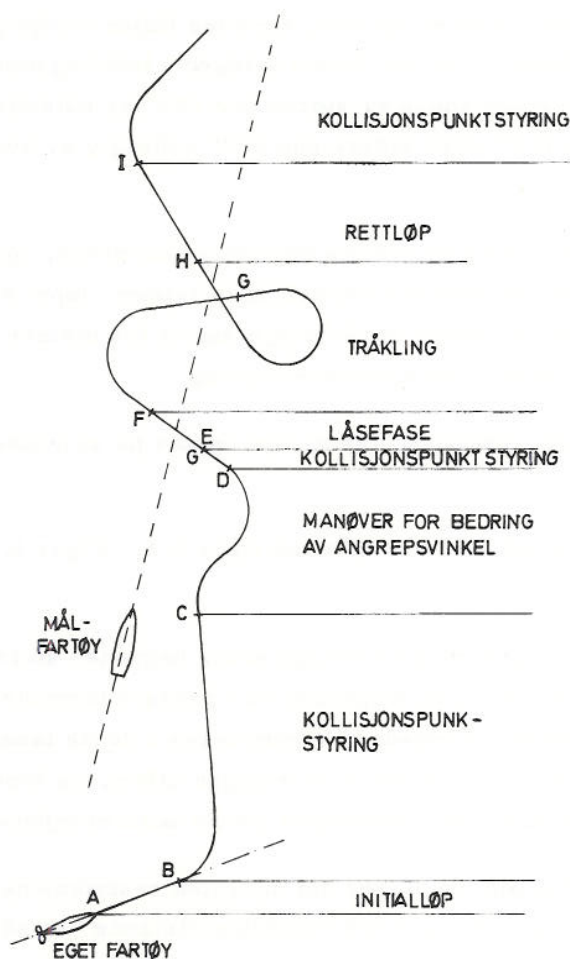
Oppholdstid i rør (fra fyring til formskrogsluken passerer)	4,2 s
Utgangshastighet	13,2 kts
Marsjhastighet	45,0 kts
Akselerasjonstid	ca 8,0 s
Svingerate ved trådstyring	4°/s
Trådlengde	20000 m

1.1.2 Torpedoløp og styringsmodi

1.1.2.1 Generelt

I MSI-70U er det to forskjellige styringsprinsipper som ligger til grunn for den automatiske torpedostyring: Kollisjonspunktstyring og siktelinjestyring. I tillegg kommer en manuell styringsmodus og en ustyrt modus.

1.1.2.2 Løp under kollisjonspunktstyring



Figur 1.1 Torpedoløp for TP-61 ved kollisjonspunktstyring

På figur 1.1 er skissert et typisk løp for en TP-61 torpedo som bomber. I løpet inngår såvel manøver for bedring av angrepsvinkelen som tråkling over målkurslinjen etter at torpedoen har bommet på målet.

Initialløpet er den fasen hvor torpedoen akselererer opp til konstant hastighet (A-B på figur 1.1). For TP-61 er initialløpet et rettløp (ingen gyropresetting og ingen trådstyring før konstant hastighet er oppnådd).

Ved trådstyring vil torpedoen etter fullført initialløp svinge med maksimal svingerate inn på kollisjonskurs. Hvis angrepsvinkelen, d v s vinkelen mellom målets og torpedoens kurs, blir mindre enn en nedre satt grense, minker sannsynligheten for treff på grunn av forholdet mellom målfartøyets bredde og lengde. Ved undersøkelser hvor det er tatt hensyn til de forskjellige sensorers

nøyaktighet i angivelse av avstand og peiling til mål, er det funnet at treffsannsynligheten er størst når torpedokursen ligger nær peilingen til målet. Grensen for gyldigheten av dette er når forskjellen i kurs mellom mål og torpedo underskrider ca 20° .

Hvis denne grensen underskrides under kollisjonspunktstyringen, vil torpedoen på et gitt tidspunkt gå inn i en svingmanøver for å forbedre angrepvinkelen (C-D på figur 1.1).

Etter denne manøver opptas kollisjonspunktstyring for en kort periode i tilfelle forandring av måldata i mellomtiden (D-E på figur 1.1).

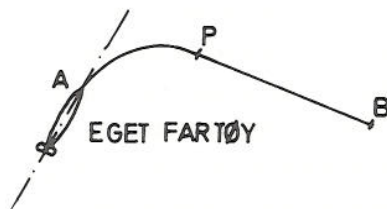
I en gitt avstand fra treffpunktet låses torpedoen, d v s det gis ikke nye styringsordrer. Grunnen er at innenfor denne avstand vil selv små variasjoner i måldataene, resultere i større utslag i kommandert kurs for torpedoen, noe som ikke er ønskelig. Låseavstanden er ut fra slike vurderinger satt til 300 m (E-F på figur 1.1 blir 600 m).

Hvis torpedoen ikke treffer målet, foretar den en tråklingsmanøver over målets kurslinje (F-G og G-H på figur 1.1). Det faktum at den ikke treffer, betyr at det er for stor unøyaktighet i måldata eller torpedobestikk. Dette forsøkes kompensert ved å la torpedoen neste gang krysse målets kurslinje en gitt avstand (vanligvis målets lengde) foran det angitte nye treffpunkt. Ved en ny bom, krysses linjen tredje gang i samme avstand bak nytt angitt treffpunkt. At den første svingen i tråklingsmanøveren på figur 1.1 er mindre enn 180° og den andre er større enn 180° , er tilfeldig. Begge svingene kan være mindre enn 180° eller større enn 180° avhengig av hva som ansees gunstigst.

Hvis ikke målet treffes etter tredje kryssing av målets angivelige kurslinje, indikerer det at måldataene har forandret seg utover usikkerhetsmarginen i løpet av tråklingsmanøveren. Torpedoen gis da et rettløp for å bringe den ut fra målets kurslinje (H-I på figur 1.1) for så igjen å oppta kollisjonspunktstyring.

Andre styringsmodi som manuell- eller siktelinjestyring kan opptas på et hvilket som helst tidspunkt i torpedoløpet.

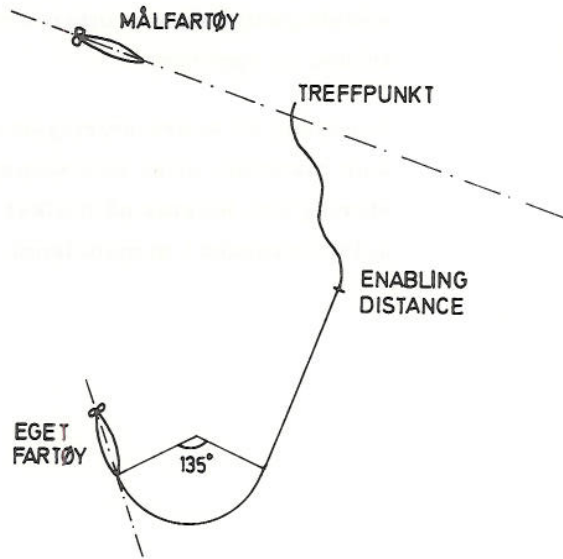
For MK-37 skiller initialløpet seg fra det som framgår fra figur 1.1. Figur 1.2 viser initialløpet for MK-37.



Figur 1.2 Initialløp for MK-37 torpedo

Svingen inn på kollisjonskurs begynner umiddelbart etter at torpedoen har passert formskrogsluken. Torpedoen kontrolleres i denne fasen av gyroen. I punkt P er svingen utført, og løpet P-B er den resterende del av akselerasjonsfasen.

For MK-37 ligger det dessuten restriksjoner på torpedokursen for "enabling distance" er nådd. Figur 1.3 viser hvordan torpedoløpet blir dersom kollisjonskursen ligger utenfor den tillatte



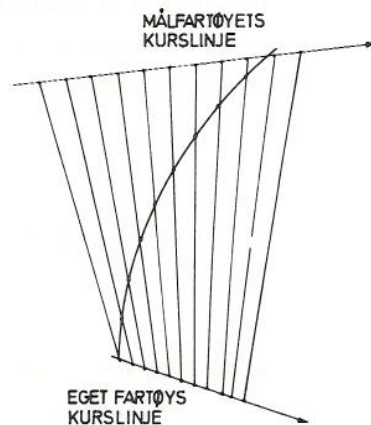
Figur 1.3 MK-37 torpedoløp begrenset av utskytningskursen før "enabling distance"
Søkemodus er slangesøk

sektor på $\pm 135^\circ$ relativt utskytningskursen for torpedoen.

Torpedoen kan ikke svinge inn på kollisjonskurs før den har nådd "enabling distance". Etter dette tidspunkt vil den i slangesøkemodus styres inn på og oscillere om kollisjonskursen.

1.1.2.3 Løp under siktelinjestyring

Siktelinjestyring er et styringsprinsipp spesielt egnet i situasjoner hvor avstands-estimatet er usikkert mens peilingsestimatet er nøyaktig. Prinsippet er basert på at torpedoen til ethvert tidspunkt skal befinne seg på siktelinjen mellom eget fartøy og mål. Styringen har to modi: Utover og innover på siktelinje.

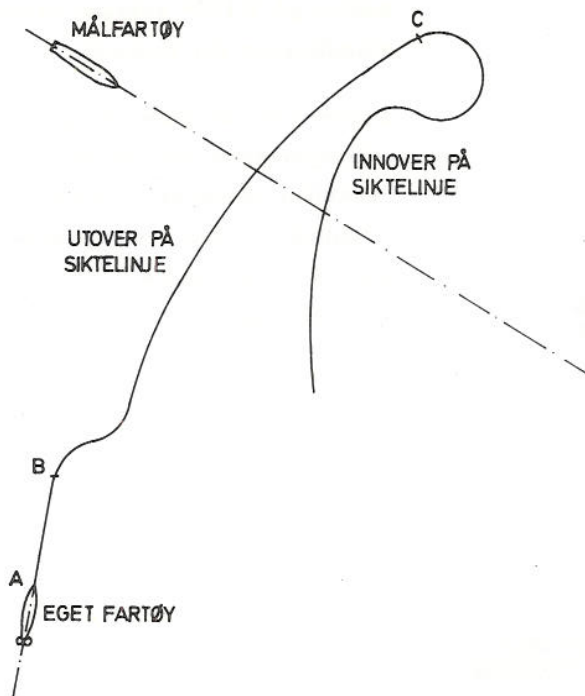


Figur 1.4 Framstilling av torpedoløpets form ved siktelinjestyring

På figur 1.4 er vist hvordan torpedoløpet i det generelle tilfelle vil få en buet form ved siktelinjestyring. Tverrlinjene mellom målets og eget fartøys kurslinje framstiller siktelinjen med konstante tidsintervaller. Avstanden mellom krysningspunktene mellom disse linjer og torpedoløpet må være konstant, og det medfører et buet forløp.

På figur 1.5 er vist et helt torpedoløp hvor torpedoen styres på siktelinje.

Etter initialløpets slutt (punkt B) styres torpedoen korteste vei, $d v s$ med full svingerate, inn på siktelinjen. Strekingen B-C styres den utover på siktelinje. Det er ingen automatisk omkopling til modus innover på siktelinje, da avstanden til målet i prinsippet er ukjent. Omkoplingen til styringsmodus innover på siktelinje i punkt C må derfor utføres manuelt. Torpedoen vil da vende og gå korteste vei (maksimal svingerate) inn på siktelinjen igjen.



Figur 1.5 Torpedoløp for TP-61 ved siktelinjestyring

Vending mellom de to modi for siktelinjestyring kan utføres til tråden er oppbrukt.

Overgang til andre styringsmodi som manuell- eller kollisjonspunktstyring kan foretas på hvilket som helst tidspunkt i torpedoløpet.

1.2 Utledning av torpedostyringsligninger

1.2.1 Generelt

I de følgende avsnitt er foretatt den matematiske utledning av de ligninger som ligger til grunn for torpedostyringen. Utledningen er gjort ut fra det geometriske bilde av engasjementsenhetene målfartøy, eget fartøy og torpedo. I første omgang betraktes enkelttorpedoskudd, og til slutt angis de små modifikasjoner som må innføres ved flere torpedoer i salven.

1.2.2 Presetting av gyro og prediktering av initialløp for MK-37

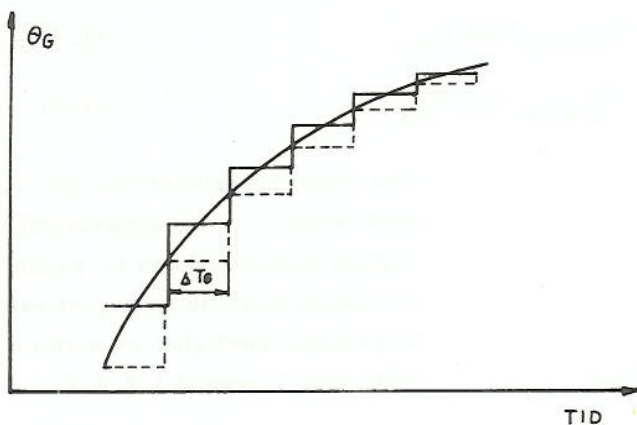
Størrelser som inngår i beregningene:

- T_{PRED} = Tid fra gyrosetting til FVS opererer
- ΔT_G = Intervall mellom hver gyrosetting
- T_{TUBE} = Tid i rør fra fyring til FVS opererer
- T_{ACC} = Akselerasjonstid for torpedo
- T_{IR} = Tid i initialløpet
- X_{TGT}, Y_{TGT} = Målets koordinater når beregning foretas
- X'_{TGT}, Y'_{TGT} = Målets predikterte koordinater når FVS opererer
- X_{TGT1}, Y_{TGT1} = Målets predikterte koordinater ved initialløpets slutt
- V^x_{TGT}, V^y_{TGT} = Målets hastighetskomponenter
- C'_c = Første tilnærmelse av kollisjonskursen
- X_{os}, Y_{os} = Eget fartøys koordinater når beregning foretas

X'_{Os}, Y'_{Os}	=	Eget fartøys predikterte koordinater når FVS opererer
C_{Os}	=	Eget fartøys kurs
V_{Os}	=	Eget fartøys hastighet
X_T, Y_T	=	Predikterte koordinater for svingens endepunkt
X_{IR}, Y_{IR}	=	Predikterte koordinater for initialløpets endepunkt
V_{TP}	=	Torpedoens hastighet
C_c	=	Kollisjonskurs
θ	=	Svingvinkel
θ_G	=	Gyrovinkel
R	=	Initialløpets krumningsradius
D_{ACC}	=	Akselerasjonslengde for torpedo
D_{IR}	=	Avstand mellom initialløpets start- og endepunkt
φ_{IR}	=	Peiling til initialløpets endepunkt

Hensikten med presetting av gyroen er å bringe torpedoen inn på kollisjonskurs, selv om trådbrudd skulle inntreffe i initialløpet.

Da den til enhver tid beregnede kollisjonskurs vil forandre seg med tiden (før torpedoen er fyrt) etter som mål og eget fartøy forandrer posisjon, må oppdatering av gyroen foregå med relativt korte intervall. Lengden av intervallene bør være slik at forandringen av kollisjonskurs i et intervall ligger innenfor 1° ved normale engasjementssituasjoner. For å minimalisere den feilen i gyrovinkelen som oppstår på



Figur 1.6 Trinnvis forandring av gyrovinkel

grunn av at torpedoen ikke skytes i samme øyeblikk som gyrovinkelen beregnes, predikteres posisjonsforandringer av mål og eget fartøy tilsvarende halvparten av intervallet mellom to gyrosettinger. Dette er vist på figur 1.6.

På figur 1.6 er den kontinuerlige funksjon den til enhver tid eksakte gyrovinkel. Den heltrukne trappfunksjon er den reelle gyrovinkel når mål og eget fartøy predikteres fram en tid lik halvparten av intervallet mellom to gyrosettinger.

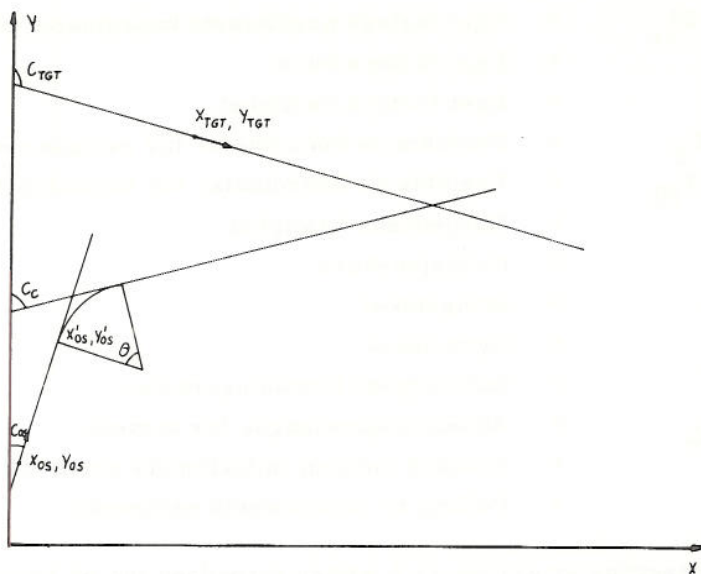
Den stiplede trappfunksjon er den gyrovinkel en ville ha fått uten denne prediktering. Den siste ligger, som figur 1.6 viser, i gjennomsnitt lengre fra den eksakte kurve.

I tillegg til denne prediksjonstiden kommer torpedoens oppholdstid i røret fra fyringsøyeblikket til den passerer formskrogsluken eller Fin Velocity Switch (FVS) opererer, som er det siste observerbare tidspunkt hvor torpedoens kurs og posisjon faller sammen med tilsvarende for eget fartøy. Den totale prediksjonstid blir

$$T_{PRED} = \frac{1}{2} \Delta T_G + T_{TUBE} \quad (1.1)$$

På figur 1.7 er vist en engasjementssituasjon i fyringsøyeblikket.

Målets og eget fartøys koordinater når FVS opererer vil være henholdsvis



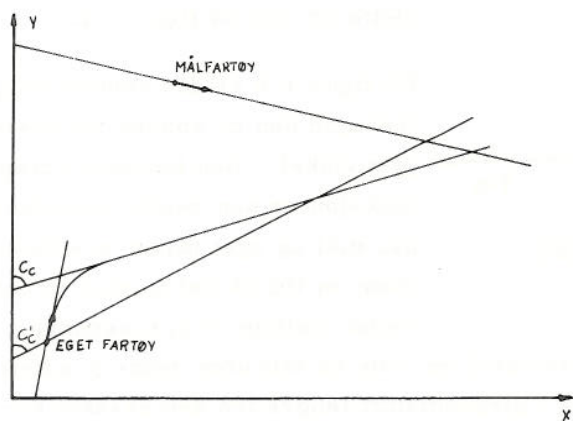
Figur 1.7 Engasjementssituasjon med prediktert torpedoløp

$$X'_{TGT} = X_{TGT} + V_{TGT} \cdot T_{PRED} \cdot \sin C_{TGT} = X_{TGT} + V_{TGT}^x \cdot T_{PRED} \quad (1.2)$$

$$Y'_{TGT} = Y_{TGT} + V_{TGT} \cdot T_{PRED} \cdot \cos C_{TGT} = Y_{TGT} + V_{TGT}^y \cdot T_{PRED} \quad (1.3)$$

$$X'_{Os} = X_{Os} + V_{Os} \cdot T_{PRED} \cdot \sin C_{Os} \quad (1.4)$$

$$Y'_{Os} = Y_{Os} + V_{Os} \cdot T_{PRED} \cdot \cos C_{Os} \quad (1.5)$$



Figur 1.8 Illustrasjon av forskjellen mellom eksakt kollisjonskurs og første tilnærmedelse av samme

måtte svinge) og hadde konstant hastighet.

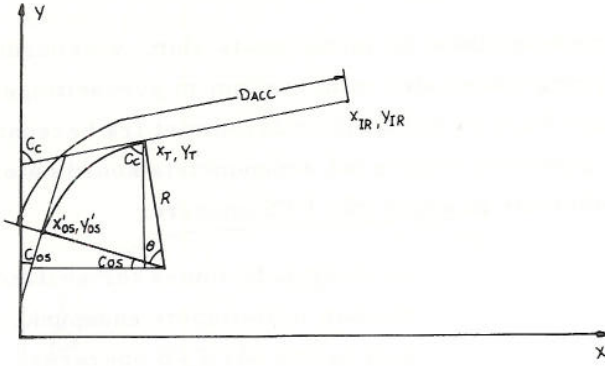
Fra figur 1.7 finnes for svingevinkelen

$$\theta = C_C - C_{Os} \quad (1.6)$$

Fra disse posisjoner for mål og eget fartøy (= torpedoposisjon) beregnes kollisjonskurs på grunnlag av målets kurs og hastighet samt torpedoens hastighet på samme måte som i avsnitt 1.2.4.2.

Denne kollisjonskurs må korrigeres fordi torpedoen akselererer i initialløpet og dessuten utfører en sving som gjør løpslengden til treffpunktet lengre. Dette er illustrert i figur 1.8.

På figur 1.8 er C'_C den kollisjonskurs en ville ha fått dersom torpedoen allerede lå på denne kurs (ikke



Figur 1.9 Initialløp for MK-37 torpedo

Torpedoen predikteres først gjennom en sving θ .

Målposisjonen predikteres fram en tilsvarende tid, og fra de nye predikterte posisjoner for mål og torpedo beregnes på nytt en kollisjonskurs. Denne gir en ny svingevinkel gjennom ligning (1.6), som igjen benyttes til en ny prediksjon av initialløpet. Iterasjonen fortsetter inntil θ ikke forandrer seg mer enn en gitt verdi. Den vinkelen som skal settes i gyroen, vil da være

$$\theta_G = \theta \quad (1.7)$$

Ved prediksjon av initialløpet forutsettes at krumningsradien til torpedoløpet er konstant. Figur 1.9 viser initialløpet.

Koordinatene til svingens endepunkt vil være (se figur 1.9)

$$X_T = X'_{os} + R (\cos C_{os} - \cos C_c) \quad (1.8)$$

$$Y_T = Y'_{os} + R (\sin C_c - \sin C_{os}) \quad (1.9)$$

Hvis $R \cdot \theta \geq D_{ACC}$ vil koordinatene for initialløpets endepunkt X_{IR}, Y_{IR} falle sammen med X_T, Y_T . Tiden det tar å gjennomløpe initialløpet, vil da være

$$T_{IR} = T_{ACC} + \frac{R\theta - D_{ACC}}{V_{TP}} \quad (1.10)$$

For $R\theta < D_{ACC}$ vil koordinatene for initialløpets endepunkt bli (se figur 1.9)

$$X_{IR} = X_T + (D_{ACC} - R\theta) \sin C_c \quad (1.11)$$

$$Y_{IR} = Y_T + (D_{ACC} - R\theta) \cos C_c \quad (1.12)$$

I dette tilfelle vil tiden være

$$T_{IR} = T_{ACC} \quad (1.13)$$

Målets posisjon når torpedoens initialløp er slutt, blir

$$X_{TGT1} = X'_{TGT} + V_{TGT}^x \cdot T_{IR} \quad (1.14)$$

$$Y_{TGT1} = Y'_{TGT} + V_{TGT}^y \cdot T_{IR} \quad (1.15)$$

Ut fra ligning (1.6) finnes negativ θ hvis torpedoen svinger mot venstre. I ligningene (1.8) - (1.12) må da også R settes negativ for at ligningene skal gjelde.

Hvis den beregnede kollisjonskurs ligger utenfor $\pm 135^\circ$ fra eget fartøys kurs settes

$$\theta_G = 135^\circ \quad \text{for} \quad C_c - C_{os} > 135^\circ \quad (1.16)$$

$$X'_{Os} = X_{Os} + V_{Os} \cdot T_{TUBE} \cdot \sin C_{Os} \quad (1.25)$$

$$Y'_{Os} = Y_{Os} + V_{Os} \cdot T_{TUBE} \cdot \cos C_{Os} \quad (1.26)$$

Torpedoens koordinater ved initialløpets slutt vil være (se figur 1.12)

$$X_{TP} = X'_{Os} + D_{ACC} \cdot \sin C_{Os} \quad (1.27)$$

$$Y_{TP} = Y'_{Os} + D_{ACC} \cdot \cos C_{Os} \quad (1.28)$$

Torpedoens kurs vil være

$$C_{TP} = C_{Os} \quad (1.29)$$

Tiden for initialløpets slutt vil være

$$T_{END} = T + T_{TUBE} + T_{ACC} \quad (1.30)$$

For en nøyaktig oppdatering av torpedoens koordinater og kurs er det viktig at eget fartøy ikke dreier seg i tidsrommet T_{TUBE} .

1.2.3.4 Estimat av posisjonsfeil for torpedo etter initialløp

De størrelser som danner grunnlag for beregning av initialløpet og som er antatt konstante, er i noen tilfeller vanskelige å fastlegge nøyaktig. Dette er selvsagt for parametre som varierer fra torpedo til torpedo av samme type. Denne usikkerhet i størrelsene gir seg utslag i usikkerhet i torpedoposisjonen ved initialløpets slutt. I det følgende gis et overslag over den usikkerheten i torpedoens posisjon de forskjellige størrelsers usikkerhet bidrar med:

a) T_{TUBE} , oppholdstid i røret etter firing

Størrelser som inngår i beregningene

D	=	Utløpt distanse etter en vilkårlig tid fra firing
V_{Os}	=	Eget fartøys hastighet
V_{TP}	=	Torpedoens hastighet
D_{ACC}	=	Torpedoens akselerasjonslengde
T_{ACC}	=	Torpedoens akselerasjonstid
T_{TUBE}	=	Oppholdstid i rør etter firing
T	=	Vilkårlig tid fra firing

For MK-37 vil størrelsen T_{TUBE} ikke ha betydning for torpedoposisjonen da oppdateringen skjer når FVS opererer. Derimot har T_{tube} innflytelse på hvor nøyaktig torpedoen ligger på kollisjonskurs ved initialløpets slutt. Eventuelle avvik lar seg ikke beregne da de er avhengige av den geometriske situasjon en-gasjementsenhetene befinner seg i.

For TP-61 er forholdet annerledes, da oppdateringen skjer i fyringsøyeblikket. Total utløpt distanse etter en tid T fra firing vil være (forutsatt at initialløpet er avsluttet)

$$D = V_{Os} \cdot T_{TUBE} + D_{ACC} + V_{TP} [T - (T_{TUBE} + T_{ACC})] \quad (1.31)$$

Posisjonsfeilens avhengighet av feil i oppholdstiden i røret finnes ved derivasjon av ligning (1.31)

$$\frac{\Delta D}{\Delta T_{\text{TUBE}}} = \frac{dD}{dT_{\text{TUBE}}} = V_{\text{os}} - V_{\text{TP}} \quad (1.32)$$

Under normale forhold vil eget fartøys hastighet være meget lav sammenlignet med torpedohastigheten som er 45 kts. Posisjonsfeilens avhengighet av feil i T_{TUBE} vil derfor grovt anslått bli

$$\frac{\Delta D}{\Delta T_{\text{TUBE}}} \approx -20 \text{ m/s}$$

Usikkerheten i T_{TUBE} ligger sannsynligvis innenfor 1 s, d v s at feilen i torpedoens posisjon er under 20 m som følge av denne usikkerheten.

b) R, torpedoløpets krumningsradius

Størrelser som inngår i beregningene

$X_{\text{os}}, Y_{\text{os}}$	= Eget fartøys koordinater når FVS opererer
C_{os}	= Eget fartøys kurs når FVS opererer
$X_{\text{TP}}, Y_{\text{TP}}$	= Torpedoens koordinater ved initialløpets slutt
θ_G	= Gyrovinkel
D_{ACC}	= Torpedoens akselerasjonslengde
R	= Torpedoløpets krumningsradius
ΔD	= Torpedoens posisjonsfeil etter initialløpet

Feil i torpedoposisjon på grunn av feil i torpedoløpets krumningsradius vil bare gjøre seg gjeldende for MK-37 hvor gyroen presettes.

Fra beregningene i avsnitt 1.2.2 finnes torpedoposisjonen ved initialløpets slutt som

$$X_{\text{TP}} = X_{\text{os}} + 2R \sin \frac{\theta_G}{2} \sin(C_{\text{os}} + \frac{\theta_G}{2}) + (D_{\text{ACC}} - R\theta_G) \sin(C_{\text{os}} + \theta_G) \quad (1.33)$$

$$Y_{\text{TP}} = Y_{\text{os}} + 2R \sin \frac{\theta_G}{2} \cos(C_{\text{os}} + \frac{\theta_G}{2}) + (D_{\text{ACC}} - R\theta_G) \cos(C_{\text{os}} + \theta_G) \quad (1.34)$$

Posisjonsfeilens avhengighet av krumningsradien finnes ved derivasjon av ligningene (1.33) og (1.34)

$$\frac{dX_{\text{TP}}}{dR} = 2 \sin \frac{\theta_G}{2} \sin(C_{\text{os}} + \frac{\theta_G}{2}) - \theta_G \sin(C_{\text{os}} + \theta_G) \quad (1.35)$$

$$\frac{dY_{\text{TP}}}{dR} = 2 \sin \frac{\theta_G}{2} \cos(C_{\text{os}} + \frac{\theta_G}{2}) - \theta_G \cos(C_{\text{os}} + \theta_G) \quad (1.36)$$

Den samlede feil blir

$$\frac{\Delta D}{\Delta R} = \sqrt{\left(\frac{dX_{\text{TP}}}{dR}\right)^2 + \left(\frac{dY_{\text{TP}}}{dR}\right)^2} \quad (1.37)$$

Ligningene (1.35) og (1.36) innsatt i (1.37) og utregnet gir

$$\frac{\Delta D}{\Delta R} = \sqrt{\theta_G^2 - 2(\theta_G \sin \theta_G + \cos \theta_G - 1)} \quad (1.38)$$

Ligning (1.38) viser at feilen er kraftig økende med økende gyrovinkel θ_G som følgende talleksempel viser

θ_G	$\frac{\Delta D}{\Delta R}$
45°	0,3
90°	1,15
135°	2,37

Eksempelvis vil en feil i krumningsradien på 10 m, forårsake en feil i torpedoposisjonen på 11,5 m ved en gyrovinkel på 90°, og bare 3 m ved en gyrovinkel på 45°. Det vil derfor være gunstig om eget fartøys kurs ligger nær torpedoens kollisjonskurs i fyringsøyeblikket.

c) T_{ACC} og D_{ACC} , akselerasjonstid og -lengde

Størrelser som inngår i beregningene

T_{ACC}	=	Torpedoens akselerasjonstid
D_{ACC}	=	Torpedoens akselerasjonslengde
V_o	=	Torpedoens utgangshastighet
V_{TP}	=	Torpedoens marsjhastighet
T	=	Vilkårlig tid fra utskytning
D	=	Utløpt distanse etter en vilkårlig tid T

Akselerasjonslengden D_{ACC} er en hjelpestørrelse som er innført for raskere å kunne beregne initialløpet. Utgangstørrelsene er akselerasjonstiden T_{ACC} og torpedoens utgangshastighet V_o (ved passering av formkrogsluken), samt torpedoens marsjhastighet V_{TP} . Den siste er nøyaktig bestemt og hidrar ikke til feil i torpedoposisjonen. Forutsatt konstant akselerasjon, blir akselerasjonslengden

$$D_{ACC} = \frac{1}{2} (V_o + V_{TP}) T_{ACC} \quad (1.39)$$

Etter en tid T vil torpedoen, forutsatt at konstant hastighet er nådd, ha utløpt distansen

$$D = \frac{1}{2} (V_o + V_{TP}) T_{ACC} + V_{TP} (T - T_{ACC}) \quad (1.40)$$

Posisjonsfeilens avhengighet av akselerasjonstid og utgangshastighet finnes ved derivasjon av ligning (1.40)

$$\frac{\Delta D}{\Delta T_{ACC}} = \frac{dD}{dT_{ACC}} = -\frac{1}{2} (V_{TP} - V_o) \quad (1.41)$$

$$\frac{\Delta D}{\Delta V_o} = \frac{dD}{dV_o} = \frac{1}{2} T_{ACC} \quad (1.42)$$

I den nedenfor oppførte tabell er angitt tallverdien av posisjonsfeilen for de forskjellige torpedoer.

	MK-37 lav hast	MK-37 høy hast	TP-61
$\frac{\Delta D}{\Delta T_{ACC}}$	0,55 m/s	-1,6 m/s	-8,2 m/s
$\frac{\Delta D}{\Delta V_o}$	8,8 s	5,8 s	4,0 s

Tabell 1.1 Posisjonsfeil for torpedo ved initialløpets slutt

Tabellen viser at det for TP-61 i større grad enn MK-37 er vesentlig å ha et nøyaktig estimat av akselerasjonstiden. Feil i utgangshastigheten bidrar mindre til posisjonsfeil for TP-61 enn MK-37, men er ikke uvesentlig for noen av typene.

Endelig skal bemerkes at betingelsen om konstant akselerasjon sannsynligvis ikke er helt oppfylt i det reelle tilfelle.

1.2.4 Kollisjonspunktstyring

1.2.4.1 Generelt

Kollisjonspunktstyring er en styringsmodus hvor torpedoen styres mot det punkt hvor den vil passere til samme tid som målet, forutsatt at dette har konstant kurs og hastighet.

På grunn av forventet forandring av måldata, beregnes kollisjonskursen med konstante intervaller.

I en nærsone omkring treffpunktet, låsesonen, låses torpedoen, d v s at nye styringsordrer ikke beregnes.

Hvis treffpunktet ligger i en slik posisjon at torpedoen ikke kan nå det på grunn av dens begrensede svingerate, gis den et rettløp en begrenset tid for å komme i en gunstigere angrepsposisjon.

Hvis treffpunktet er imaginært, d v s at torpedoen aldri kan nå målet, gis det automatisk melding til operatøren.

1.2.4.2 Beregning av kollisjonspunkt

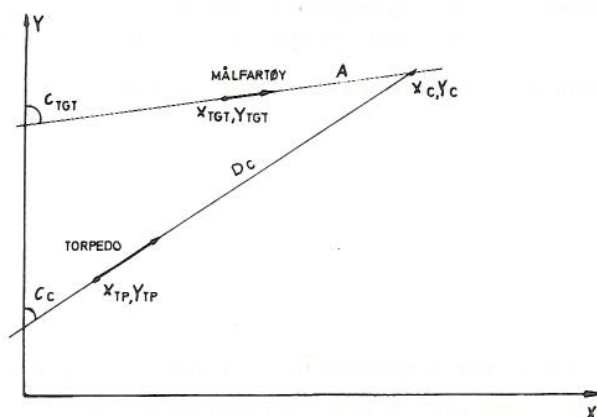
Størrelser som inngår i beregningene

X_{TGT}, Y_{TGT}	=	Målets koordinater
C_{TGT}	=	Målets kurs
V_{TGT}	=	Målets hastighet
X_{TP}, Y_{TP}	=	Torpedoens koordinater
V_{TP}	=	Torpedoens hastighet
C_c	=	Torpedoens kollisjonskurs
X_c, Y_c	=	Koordinater til treffpunktet
W	=	Hastighetsforhold mellom mål og torpedo
A	=	Avstand mellom mål og treffpunkt
D	=	Avstand mellom torpedo og treffpunkt
ξ, η	=	Koordinatdifferanser mellom mål og torpedo
T_c	=	Tid til treff

På figur 1.13 er vist en situasjon hvor mål og torpedo går på kollisjonskurs.

Betingelser for treff er

$$\frac{A}{V_{TGT}} = \frac{D_c}{V_{TP}} \quad (1.43)$$



Figur 1.13 Mål og torpedo på kollisjonskurs

Videre finnes fra figur 1.13

$$X_c = X_{TGT} + A \cdot \sin C_{TGT} \quad (1.44)$$

$$Y_c = Y_{TGT} + A \cdot \cos C_{TGT} \quad (1.45)$$

$$D_c^2 = (X_c - X_{TP})^2 + (Y_c - Y_{TP})^2 \quad (1.46)$$

Ved å innføre hjelpestørrelsene

$$w = \frac{V_{TGT}}{V_{TP}} \quad (1.47)$$

$$\xi = X_{TGT} - X_{TP} \quad (1.48)$$

$$\eta = Y_{TGT} - Y_{TP}$$

og eliminere den ukjente størrelse A, finnes

$$(1-w^2) D_c^2 - 2w D_c (\xi \sin C_{TGT} + \eta \cos C_{TGT}) - (\xi^2 + \eta^2) = 0 \quad (1.50)$$

Ligning (1.50) løses m h p avstanden D_c

$$D_c = \frac{w(\xi \sin C_{TGT} + \eta \cos C_{TGT})}{1-w^2} \pm \sqrt{\left[\frac{w(\xi \sin C_{TGT} + \eta \cos C_{TGT})}{1-w^2} \right]^2 + \frac{\xi^2 + \eta^2}{1-w^2}} \quad (1.51)$$

For $w < 1$ gjelder positivt rotfortegn, for $w > 1$ negativt. For $w = 1$ finnes fra ligning (1.50)

$$D_c = - \frac{\xi^2 + \eta^2}{2(\xi \sin C_{TGT} + \eta \cos C_{TGT})} \quad (1.52)$$

Hvis avstanden D blir imaginær eller negativ ut fra ligning (1.51) eller (1.52), indikerer det at torpedoen aldri vil nå målet.

Kollisjonskursen finnes som (se figur 1.13)

$$C_c = \arctg \frac{X_c - X_{TP}}{Y_c - Y_{TP}} \quad (1.53)$$

Ved eliminasjon av X_c , Y_c og X_{TP} , Y_{TP} finnes

$$C_c = \arctg \frac{w D_c \sin C_{TGT} + \xi}{w D_c \cos C_{TGT} + \eta} \quad (1.54)$$

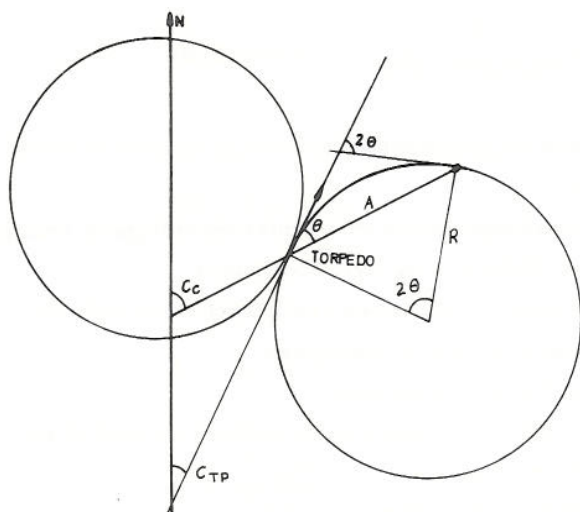
Tid til treff blir

$$T_c = \frac{D_c}{V_{TP}} \quad (1.55)$$

1.2.4.3 Posisjonsbegrensning av treffpunktet relativt torpedoen

Størrelser som inngår i beregningene

- C_{TP} = Torpedokurs
- C_c = Kollisjonskurs
- θ = Kursdifferanse
- R = Krumningsradius av torpedobanen
- A = Kordelengde



Figur 1.14 Illustrasjon av område som torpedo ikke kan nå

også hvis måldata forandrer seg betydelig når torpedoen er kommet nær målet i et tilfelle der den tidligere har ligget på kollisjonskurs.

For å bringe torpedoen i en posisjon slik at den kan nå målet, gis den et rettløp i 30 s etter at en slik situasjon er oppstått.

Grensen for treffpunktets beliggenhet finnes fra figur 1.14

$$\theta = C_c - C_{TP} \quad (1.56)$$

$$A = 2R \sin \theta \quad (1.57)$$

For negativ θ benyttes absoluttverdien. Hvis avstanden til treffpunktet er mindre enn A , vil altså torpedoen gis et rettløp for å komme i en gunstigere posisjon.

Det er her ikke tatt hensyn til at torpedoen egentlig burde være kommet på riktig kurs før den låses, da en sving medfører at siste beregnede kollisjonskurs da ikke lengre er riktig. Men en test av avstanden til treffpunktet mot den nye grenseavstanden, ville da alltid på siste kollisjonskursberegning før låsing ført til at torpedoen ble bragt i en ny angrepsposisjon.

$$\theta_{1, n+1} = \theta_{1, n} - \frac{w \sin \alpha (\sin \theta_{1, n} - \theta_{1, n}) + (w \cos \alpha - 1) \cos \theta_{1, n} + k}{w \sin \alpha (\cos \theta_{1, n} - 1) - (w \cos \alpha - 1) \sin \theta_{1, n}} \quad (1.67)$$

hvor n uttrykker antall iterasjoner. Som utgangsverdi settes $\theta_{1, 1} = \pi/2$.

Lengden A_2 finnes fra utgangsligningene som

$$A_2 = \frac{2R \sin \theta_1 + R \sin \gamma + A_1 \cos \gamma - w \cos \alpha [R(2\theta_1 + \gamma) + A_1]}{1 - w \cos \alpha} \quad (1.68)$$

Økningen av løpslengden på grunn av manøvreren blir

$$\Delta D_c = R(2\theta_1 + \gamma) + A_1 - A_2 \quad (1.69)$$

Tilsvarende økning av løpstid blir

$$\Delta T_c = \frac{\Delta D_c}{V_{TP}} \quad (1.70)$$

Tid for start av 1. og 2.sving blir henholdsvis

$$T_1 = T + \frac{D_c - A_2}{V_{TP}} \quad (1.71)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{R \theta_1}{V_{TP}} \quad (1.72)$$

Torpedokurs etter 1. og 2.sving blir henholdsvis

$$C_1 = C_c + \theta_1 \quad (1.73)$$

$$C_2 = C_c - \gamma \quad (1.74)$$

De utviklede ligninger gjelder for alle geometriske konfigurasjoner hvis krumningsradien R og 1.svingevinkel θ_1 settes negativ når denne er venstresving. Utgangsverdien i iterasjonen blir da $\theta_{1, 1} = -\pi/2$.

Vinkelen θ_1 konvergerer til en nøyaktighet på brøkdeler av en grad ved 2 iterasjoner.

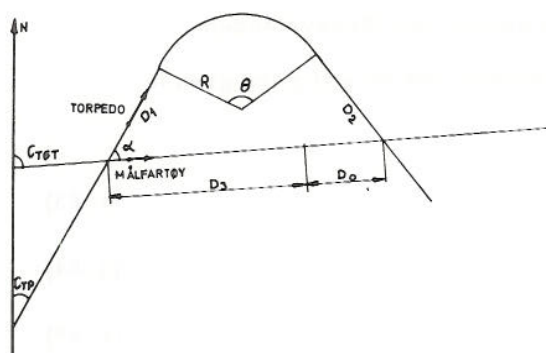
Verdiene av størrelsene A_1 og β er satt til $A_1 = 400$ m, $\beta = 60^\circ$.

1.2.4.5 Tråkning

Størrelser som inngår i beregningene

C_{TGT}	=	Målets kurs
V_{TGT}	=	Målets hastighet
C_{TP}	=	Torpedoens kurs
V_{TP}	=	Torpedoens hastighet
w	=	Hastighetsforhold

- α = Angrepsvinkel ved forrige målpassering
- β = Angrepsvinkel ved neste målpassering
- $\Delta\beta$ = Konstant tillegg ved endring av β
- θ = Svingevinkel
- D_0 = Forskyvning av treffpunkt
- D_1 = Rettløp etter målpassering
- D_2 = Rettløp før neste passering
- D_3 = Målets utløpte lengde mellom to torpedopasseringer
- L_{TGT} = Mållengde
- R = Krumningsradius av torpedobane
- D_{LOCK} = Låseavstand
- D_{LIM} = Største tillatte manøverlengde
- ϕ_{TGT} = Peiling til mål
- T = Løpende systemtid
- T_{ENT} = Tid for neste beregning av tråklingsmanøver
- T_1, T_2 = Tider for start av svinger
- C_1, C_2 = Torpedokurs etter svinger



Figur 1.16 Torpedobane ved tråklingsmanøver

Tråkning er en manøver torpedoen utfører dersom den ikke treffer målet. Dette kan skyldes unøyaktighet i enten torpedobestikket eller måldataene. For å kompensere for denne unøyaktighet, styres torpedoen etter vending mot et punkt en mållengdes avstand L_{TGT} foran det ifølge offisielle måldata predikterte treffpunktet. Er resultatet fortsatt bom, styres torpedoen etter ny vending mot et punkt en mållengdes avstand bak det offisielle treffpunktet. En ytterligere bom indikerer foreldede måldata,

og torpedoen gis et rettløp i 30 s for å komme i en gunstig posisjon for ny kollisjonspunktstyring. Beregningene for en tråklingsmanøver gjøres idet torpedoen låses opp etter målpassering.

På figur 1.16 er vist torpedobanen ved en tråklingsmanøver.

Av figur 1.16 finnes

$$\alpha = C_{TGT} - C_{TP} \quad (1.75)$$

$$\theta = \alpha + \beta \quad (1.76)$$

Relasjonen mellom målcts og torpedoens løpslengde kan uttrykkes som

$$\frac{D_1 + D_2 + R\theta}{V_{TP}} = \frac{D_3}{V_{TGT}} \quad (1.77)$$

For torpedobanens komponenter parallelt med og normalt på målets kurs blir henholdsvis

$$D_1 \cos \alpha + R \sin \alpha + R \sin \beta + D_2 \cos \beta = D_0 + D_3 \quad (1.78)$$

$$D_1 \sin \alpha - R \cos \alpha + R \cos \beta - D_2 \sin \beta = 0 \quad (1.79)$$

Ved innføring av hjelpestørrelsen

$$w = \frac{V_{TGT}}{V_{TP}} \quad (1.80)$$

og eliminering av den ukjente størrelsen D_3 , gir ligningene (1.77) - (1.79)

$$D_1 = \frac{R[(\cos \alpha - \cos \beta)(w - \cos \beta) + \sin \beta(\sin \alpha + \sin \beta - w\theta)] - D_0 \sin \beta}{\sin \alpha(w - \cos \beta) + \sin \beta(w - \cos \alpha)} \quad (1.81)$$

$$D_2 = \frac{D_1 \sin \alpha - R(\cos \alpha - \cos \beta)}{\sin \beta} \quad (1.82)$$

Vinkelen β som inngår i ligningene må velges verdi på. Utvelgelsen foregår på en slik måte at visse kriterier må oppfylles. Disse kriterier er:

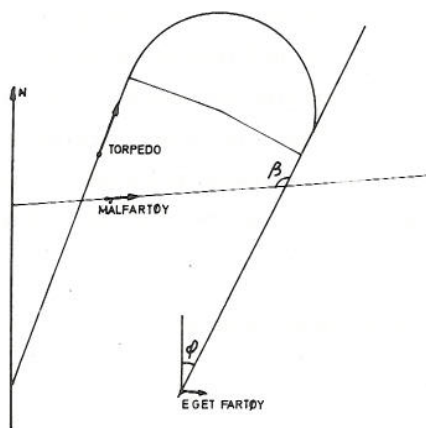
- a) Rettløpene D_1 og D_2 skal begge være større enn låseavstanden
- b) Den totale manøverlengde skal være mindre enn en gitt øvre grense

Matematisk kan dette uttrykkes som

$$D_1 \geq D_{LOCK} \quad (1.83)$$

$$D_2 \geq D_{LOCK} \quad (1.84)$$

$$D_1 + D_2 + R\theta < D_{LIM} \quad (1.85)$$



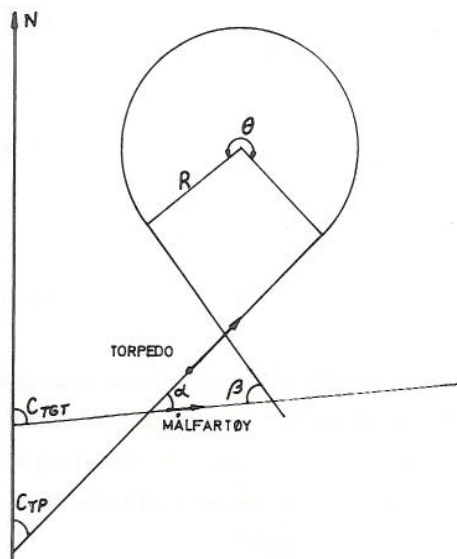
Figur 1.17 Torpedobane ved tråklingsmanøver

Den beste angrepskursen for torpedoen er når denne faller sammen med peilingen til målet, fordi peileestimatet normalt er bedre enn avstandsestimatet i måldataene. Det beste valg av β vil derfor være avhengig av peilingen til målet. Avhengigheten kan uttrykkes som (se figur 1.17)

$$\beta = \varphi_{TGT} - C_{TGT} + 180^\circ \quad (1.86)$$

Det tas ikke hensyn til at peilingen forandrer seg innen det tidspunkt

torpedoen passerer målet på nytt. Dette ville for det første ha ført til en tidkrevende iterasjon, og for det andre er forandringen i peiling under normale forhold ganske liten, i størrelsesorden opp til noen få grader, og derfor uten praktisk betydning i denne sammenheng.



Figur 1. 18 Torpedobane ved tråklingsmanøver

Nå behøver ikke en sving i samme retning som målets hastighetsvektor være den gunstigste løsning. Ved små hastigheter for målet kan en sving i motsatt retning vise seg å være mer fordelaktig. Bildet blir da som vist på figur 1. 18.

Fra figur 1. 18 ser en at svingvinkelen θ må beregnes forskjellig fra det tidligere tilfelle. I dette tilfelle blir den

$$\theta = 360^\circ - (\alpha + \beta) \quad (1.87)$$

For at uttrykkene for D_1 og D_2 skal gjelde må dessuten både R og θ skifte fortegn.

Den verdi som ble valgt for vinkelen β ifølge ligning (1. 86) vil ofte føre til at alle betingelsene uttrykt i ligningene (1. 83) - (1. 85) ikke oppfylles. Framgangsmåten for å finne en akseptabel løsning av tråklingsmanøvreren, er følgende: Begge verdier av svingevinkelen θ prøves. Blir resultatet utilfredsstillende (betingelsene (1. 83) - (1. 85) ikke oppfylt) økes β med en størrelse $\Delta\beta$ og begge verdier av θ prøves. Neste gang minnes β med størrelsen $\Delta\beta$ fra utgangsverdien, og begge verdier av θ prøves. Så økes β med $2\Delta\beta$, minnes med $2\Delta\beta$, økes med $3\Delta\beta$ o s v hele tiden med prøving av begge verdier av θ . Dette fortsettes inntil $\beta < 0$ eller $\beta > 180^\circ$. Hvis betingelsene (1. 83) - (1. 85) fortsatt ikke er oppfylt ved et sett av verdier for β og θ , betraktes problemet som uten løsning. Ellers vil det første sett verdier av β og θ som oppfyller betingelsene, bli valgt som løsning.

Av praktiske grunner deles svingen θ i to like store deler. Årsaken er at torpedoen alltid vil svinge korteste vei til den kommanderte kurs. Hvis derfor kommandokursen ligger mer enn 180° f eks mot venstre fra torpedokursen, vil torpedoen svinge til høyre. Ved å dele θ i to like deler, vil hver av delene aldri kunne overskride 180° . Tiden for start av 1. og 2. sving blir henholdsvis (beregningen foretas når torpedoen er i en avstand lik låseavstanden fra første målpasering)

$$T_1 = \frac{D_1 - D_{LOCK}}{V_{TP}} \quad (1.88)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{R\theta}{2V_{TP}} \quad (1.89)$$

Torpedokursen etter 1. og 2. sving blir henholdsvis

$$C_1 = C_{TP} + \frac{\theta}{2} \quad (1.90)$$

$$C_2 = C_{TP} + \theta \quad (1.91)$$

Banelengden til treffpunktet blir

$$D_c = D_1 + D_2 + R\theta - D_{LOCK} \quad (1.92)$$

Tid til treff blir

$$T_c = \frac{D_c}{V_{TP}} \quad (1.93)$$

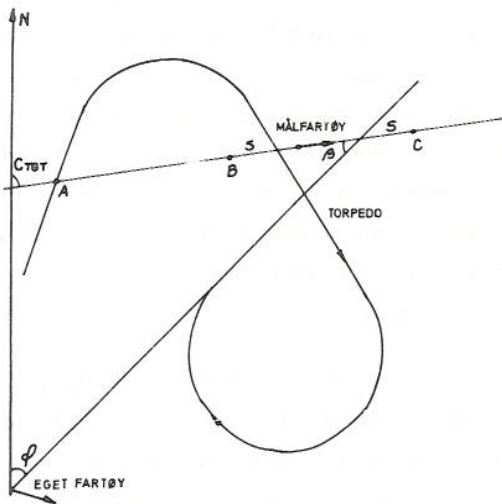
Tid for beregning av ny tråklingsmanøver, blir

$$T_{ENT} = T_1 + \frac{R\theta + D_2 + D_{LOCK}}{V_{TP}} \quad (1.94)$$

Det er i det ovenstående bare betraktet en geometrisk situasjon hvor angrepsvinkelen α er positiv. Ligningene er imidlertid gyldige for enhver geometrisk situasjon når regelen følges om at høyresving har positivt fortegn for vinkel og krumningsradius, og venstresving har negativt fortegn for de samme størrelser. Imidlertid må utgangsverdien for β forandres, når α er negativ

$$\beta = \varphi_{TGT} - C_{TGT} - 180^\circ \quad (1.95)$$

Hvis torpedoen har passert målet to ganger uten treff, og det er andre gang tråklingsmanøveren beregnes, blir bildet noe endret fra første gangs beregning.



Figur 1.19 Torpedobane ved tråklingsmanøver

På figur 1.19 er punktene A, B og C målets posisjon ifølge offisielle måldata idet torpedoen krysser målets kurslinje henholdsvis 1., 2. og 3. gang. Første gang krysses målets kurslinje i målets predikterte posisjon, andre gang en avstand L_{TGT} foran denne og tredje gang en avstand L_{TGT} bak denne. Ved første gangs beregning ble derfor størrelsen D_0 satt lik L_{TGT} . Ved andre gangs beregning er torpedoen forskjøvet framover langs målets kurs en avstand L_{TGT} og skal dessuten passere i denne avstanden bak målet. Derfor fås

$$D_0 = -2L_{TGT} \quad (1.96)$$

Utgangsverdien for β blir også forskjellig ved andre gangs beregning. Fra figur 1.19 fås

$$\beta = \varphi_{TGT} - C_{TGT} \quad (1.97)$$

Etter tredje passering av målets kurslinje skal torpedoen hvis den bommet, ikke foreta ny tråklingsmanøver før den har vært gjennom ny kollisjonspunktstyring. Det er som ellers tillatt med overgang til manuell styring.

1.2.5 Siktelinjestyring

1.2.5.1 Generelt

Størrelser som inngår i beregningene

X_{Os}, Y_{Os}	= Eget fartøys koordinater
X_{TP}, Y_{TP}	= Torpedoens koordinater
V_{TP}	= Torpedoens hastighet
C	= Kommandert kurs for torpedo
C_{CORR}	= Kurskorreksjon
φ_{TGT}	= Peiling til mål
φ_{TP}	= Peiling til torpedo
α	= Ukorrigert vinkeldifferanse mellom torpedokurs og siktelinje
D_{TP}	= Avstand til torpedo
A	= Torpedoens avstand fra siktelinjen
R	= Krumningsradius av torpedobanen
δ	= Torpedoens svingevinkel i et tidsintervall ΔT
ω	= Torpedoens svingerate
K_1, K_2	= Konstanter

Siktelinjestyring har sin store fordel i engasjementssituasjoner hvor avstandsestimatet i måldataene er usikkert mens peilingen er nøyaktig. Denne styringsmodus baseres kun på peilingsdata.

Siktelinjestyringen har to modi: Utover og innover på siktelinje.

Prinsippet for siktelinjestyring er at torpedoen til enhver tid befinner seg på siktelinjen fra eget fartøy til mål. Dette innebærer at torpedoens hovedkurs skal være den samme som peilingen for modus utover på siktelinje og 180° forskjellig fra peilingen for modus innover på siktelinje. Befinner torpedoen seg utenfor siktelinjen, skal den gå korteste vei inn på den og ende opp med en kurs lik hovedkursen. Det innebærer at en sving inn på riktig kurs skal foregå med maksimal svingerate.

1.2.5.2 Utover på siktelinje

Figur 1.20 gir en illustrasjon av torpedobanen fra et vilkårlig punkt og inn på siktelinjen.

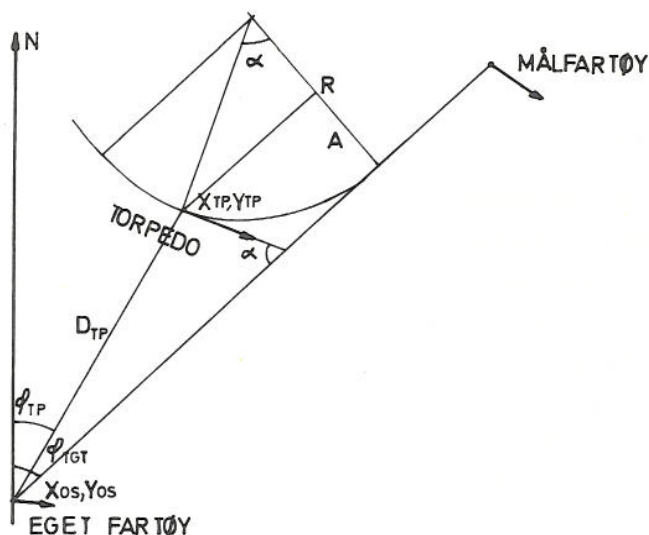
Fra figur 1.20 finnes for peilingen til torpedoen

$$\varphi_{TP} = \arctg \frac{X_{TP} - X_{Os}}{Y_{TP} - Y_{Os}} \quad (1.98)$$

Avstanden til torpedoen er

$$D_{TP} = \sqrt{(X_{TP} - X_{Os})^2 + (Y_{TP} - Y_{Os})^2} \quad (1.99)$$

Avstanden fra siktelinjen er



$$A = D_{TP} \sin(\varphi_{TGT} - \varphi_{TP}) \quad (1.100)$$

Differansen mellom ønsket torpedokurs (i tilfelle siktelinjen ikke endrer posisjon) og peiling er

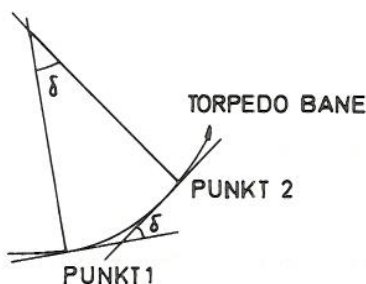
$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{A}{R}\right) \text{ for } A \leq R \quad (1.101)$$

Hvis avstanden fra siktelinjen er større enn torpedobanens krumningsradius (ved maksimum svingerate), skal torpedoen gå normalt på siktelinjen, altså

$$\alpha = 90^\circ \text{ for } A > R \quad (1.102)$$

Figur 1.20 Torpedoløp inn på siktelinje

Den beregnede vinkel α gjelder for det tidspunkt beregningen foretas. Før en ny kurskommando er effektivt, vil det ha gått en tid tilsvarende intervallet mellom hver kursberegning. Denne tid tilsvarende en vinkel δ ved full svingerate. Dette er illustrert på figur 1.21.



Kursdifferansen mellom to beregningspunkter ved maksimal svingerate er

$$\delta = \frac{V_{TP} \cdot \Delta T}{R} = \omega \Delta T \quad (1.103)$$

Differansen mellom α og δ må ikke bli negativ, da det ville føre til at torpedoen ble kommandert ut fra siktelinjen igjen.

Figur 1.21 Torpedobane mellom to beregningspunkter

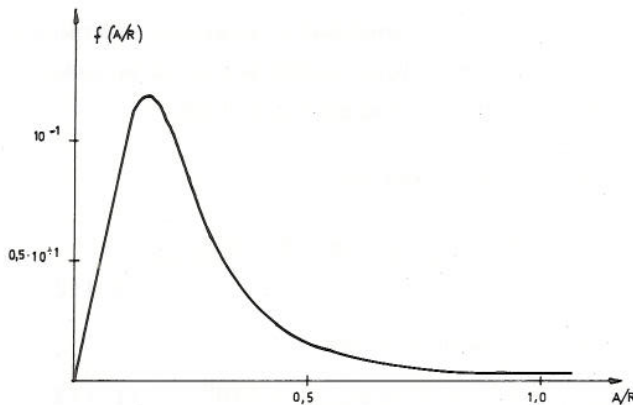
Normalt beveger siktelinjen seg på grunn av målets og eget fartøys bevegelser. En kurskommando beregnet på grunnlag av α , δ og φ_{TGT} vil da føre til at torpedoen aldri rekker fram til siktelinjen, fordi denne har flyttet seg fra den posisjon som danner grunnlaget for beregningen. For å kompensere for dette, føres inn en tilbakekopling til torpedokursen med integralvirkning. Inngangen til integralregulatoren er en funksjon av torpedoens relative avstand A/R fra siktelinjen. Den relative avstand er valgt istedenfor den absolute for å gjøre forholdene mer ensartet for de to torpedotyper.

Det vil være naturlig å velge til inngang på regulatoren en funksjon som er proporsjonal med A/R . På den annen side bør funksjonsverdien være liten i store avstander fra siktelinjen, da den ellers vil forårsake store oversving for en torpedo som kommer fra en posisjon langt fra siktelinjen. At funksjonen er liten ved større avstander fra siktelinjen vil dessuten ikke være ugunstig for kursberegningen, da vinkelen α her har en høy verdi. En total utkopling av regulatoren ved større avstander (men mindre enn R) fra siktelinjen kan derimot føre til at spesielt den relativt

langsomtgående MK-37 ikke rekker inn på siktelinjen når denne beveger seg relativt fort. De momenter som danner grunnlag for valg av funksjon, er at oversvinget skal holdes så lavt som mulig, samtidig som reguleringen skal være proporsjonalt voksende med avstanden fra siktelinjen når denne er relativt liten. Dette betyr en funksjon med nær konstant og tilstrekkelig stor vinkelkoeffisient ved små avstander og med liten integralverdi i området fra 0 til R. Følgende funksjon oppfyller disse krav

$$f(A/R) = \frac{A/R}{1 + K_2 (A/R)^4} \quad (1.104)$$

Integralverdien kan justeres ved hjelp av konstanten K_2 . Funksjonen er framstilt grafisk i figur 1.22 med $K_2 = 500$.



Figur 1.22 Grafisk framstilling av funksjonen $f(A/R)$

Kurskorreksjonen som følge av integralregulatoren er

$$C_{\text{CORR}} = K_1 \sum_{i=1}^n \frac{A/R}{1 + K_2 (A/R)^4} \quad (1.105)$$

Begrensning på korreksjonsvinkelen er

$$|C_{\text{CORR}}| \leq 90^\circ \quad (1.106)$$

Den kommanderte kurs til torpedoen blir

$$C = \varphi_{\text{TGT}} + \alpha - \delta + C_{\text{CORR}} \quad (1.107)$$

Begrensning på kommandert kurs er

$$\varphi_{\text{TGT}} - 90^\circ \leq C \leq \varphi_{\text{TGT}} + 90^\circ \quad (1.108)$$

Ligger den beregnede C utenfor disse grensene, settes den til

$$C = \varphi_{\text{TGT}} - 90^\circ \quad \text{for} \quad \varphi_{\text{TP}} > \varphi_{\text{TGT}} \quad (1.109)$$

$$C = \varphi_{\text{TGT}} + 90^\circ \quad \text{for} \quad \varphi_{\text{TP}} < \varphi_{\text{TGT}} \quad (1.110)$$

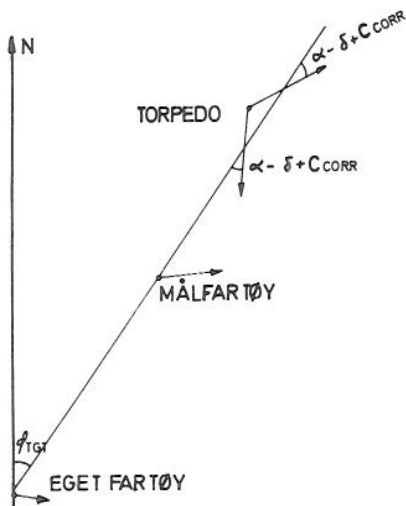
Hvis torpedokursen avviker mer enn 90° fra hovedkursen φ_{TGT} gis torpedoen kommandokursen

$$C = \varphi_{TGT} \quad (1.111)$$

Ved dette vil en torpedo som skytes ut i retning fra målet forhindres fra å styre inn på den forlengede siktelinje, slik at eget fartøy kommer mellom torpedoen og målet og dermed kan bli truffet. Samtidig vil det sikre at torpedoen vender om ved skifting fra styringsmodus innover til utover på siktelinje.

De utviklede ligninger gjelder ved alle geometriske situasjoner. Befinner torpedoen seg til høyre for siktelinjen, må avstanden A regnes negativ i følge ligning (1.100). Integralet i ligning (1.105) blir da også negativt.

1.2.5.3 Innover på siktelinje



Figur 1.23 Modifisering av kommandert torpedokurs ved modus innover på siktelinje

For styringsmodus innover på siktelinje kan den kommanderte torpedokurs beregnet ved modus utover på siktelinjen modifiseres på en enkel måte. Dette er vist på figur 1.23.

Fra figur 2.23 ser en

$$C = 180^\circ + \varphi_{TGT} - (\alpha - \delta + C_{CORR}) \quad (1.112)$$

Begrensningen blir her

$$\varphi_{TGT} + 90^\circ \leq C \leq \varphi_{TGT} + 270^\circ \quad (1.113)$$

Hvis torpedokursen avviker mer enn 90° fra hovedkursen $\varphi_{TGT} + 180^\circ$, gis torpedoen kommandokursen

$$C = \varphi_{TGT} + 180^\circ \quad (1.114)$$

Dette vil sikre at torpedoen vender om ved skifting fra styringsmodus utover til innover på siktelinje.

1.2.6 Salveskyting

1.2.6.1 Generelt

Ved å skyte flere torpedoer i en salve søker en å øke sannsynligheten for treff. Maksimalt antall torpedoer i en salve er 3 stk av type TP-61. Type MK-37 kan bare skytes enkeltvis.

Ved flere torpedoer i salven, styres torpedoene individuelt mot hvert sitt fiktive mål. Disse fiktive mål legges på en slik måte i forhold til det offisielle mål, at sannsynligheten for treff av minst en torpedo i salven er maksimal.

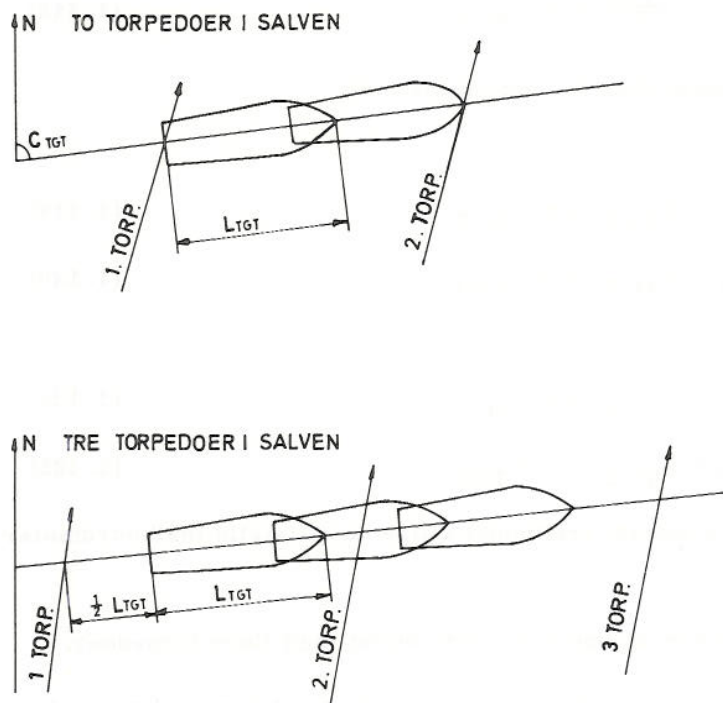
1. 2. 6. 2 Kollisjonspunktstyring

Størrelser som inngår i beregningene

X_{TGT}, Y_{TGT}	=	Målets koordinater
X'_{TGT}, Y'_{TGT}	=	Fiktivt måls koordinater
C_{TGT}	=	Målets kurs
L_{TGT}	=	Målets lengde

For å oppnå maksimal sannsynlighet for treff ved kollisjonspunktstyring av en salve, bør torpedoene spres slik at de til sammen dekker størst mulig område samtidig som det ikke gis mulighet for målet til å komme mellom to torpedoer uten at noen av dem treffer.

Denne betingelse oppfylles ved å spre torpedoene slik at de ved passering av målet har en avstand langs målets kurslinje lik en mållengde modifisert med produktet av målets hastighet og tiden mellom to torpedopasseringer av målets kurslinje. Dette er illustrert på figur 1. 24.



Figur 1. 24 Salvespredning ved kollisjonspunktstyring

For en salve med to torpedoer innebærer dette at 1. torpedo skytes en halv mållengdes avstand bak midten av målet og 2. torpedo samme avstand foran midten.

For en salve med tre torpedoer, skytes 1. torpedo en hel mållengdes avstand bak midten av målet, 2. torpedo mot midten av målet og 3. torpedo en mållengdes avstand foran midten.

Det framgår av figur 1. 24 at på grunn av målets bevegelse vil ikke den momen-

tane avstand mellom torpedoene langs målets kurslinje være en mållengde, da de når fram til målet til forskjellig tid. Dette bevirker også at en oppnår større geografisk spredning av torpedoene ved å skyte den første bak målet og den siste foran målet istedenfor omvendt rekkefølge.

Den ønskede spredning oppnås altså ved å skyte mot et fiktivt mål forskjøvet i forhold til det offisielle målet.

For en salve med to torpedoer fåes for det fiktive mål:

1 torpedo

$$X'_{TGT} = X_{TGT} - \frac{L_{TGT}}{2} \sin C_{TGT} \tag{1.115}$$

$$Y'_{TGT} = Y_{TGT} - \frac{L_{TGT}}{2} \cos C_{TGT} \tag{1.116}$$

2 torpedo

$$X'_{TGT} = X_{TGT} + \frac{L_{TGT}}{2} \sin C_{TGT} \tag{1.117}$$

$$Y'_{TGT} = Y_{TGT} + \frac{L_{TGT}}{2} \cos C_{TGT} \tag{1.118}$$

For en salve med tre torpedoer fåes for det fiktive mål:

1 torpedo

$$X'_{TGT} = X_{TGT} - L_{TGT} \cdot \sin C_{TGT} \tag{1.119}$$

$$Y'_{TGT} = Y_{TGT} - L_{TGT} \cdot \cos C_{TGT} \tag{1.120}$$

3 torpedo

$$X'_{TGT} = X_{TGT} + L_{TGT} \cdot \sin C_{TGT} \tag{1.121}$$

$$Y'_{TGT} = Y_{TGT} + L_{TGT} \cdot \cos C_{TGT} \tag{1.122}$$

2 torpedo skytes mot det predikterte treffpunkt ifølge de offisielle målkoordinater X_{TGT} , Y_{TGT} .

Ved å redusere spredningen kan en oppnå å treffe målet med flere torpedoer.

Salvespredningen innebærer ingen modifikasjoner for de predeterminerte løp for bedring av angrepsvinkel og tråkning, da målkoordinatene ikke benyttes, i disse beregningene. Angående tråkning med salver er dog forholdene ikke optimale da det er den samme størrelse L_{TGT} som benyttes som sprededata. Dette forårsaker at ved senere passeringer av målet vil noen torpedoer passere i samme avstand fra det, som andre torpedoer har gjort tidligere.

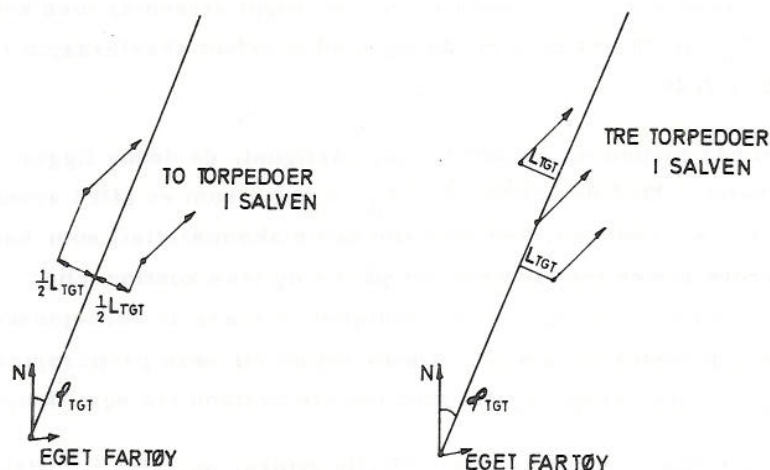
1.2.6.3 Siktelinjestyring

Størrelser som inngår i beregningene

A = Torpedoens avstand fra siktelinjen

A' = Torpedoens avstand fra fiktiv siktelinje
 L_{TGT} = Sprededata

Ved siktelinjestyring er prinsipielt andre måldata enn peilingen ukjente. Torpedoenes kan derfor ikke spres langs målets kurslinje, men spres i retning normalt på siktelinjen. Dette betyr at yttertorpedoene ligger på fiktive siktelinjer forskjøvet i hver sin retning fra den offisielle siktelinje. Til regel innføres at første torpedo i salven går til venstre og siste torpedo til høyre for den offisielle siktelinje. Figur 1.25 viser spredningen av torpedoene.



Figur 1.25 Salvespredning ved siktelinjestyring

Den ønskede spredning oppnås ved å modifisere avstanden A til siktelinjen, som danner grunnlaget for beregning av kurskommando til torpedoen (avsnitt 1.2.5).

For en salve med to torpedoer fåes:

1 torpedo

$$A' = A - \frac{L_{TGT}}{2} \quad (1.123)$$

2 torpedo

$$A' = A + \frac{L_{TGT}}{2} \quad (1.124)$$

For en salve med tre torpedoer fåes:

1 torpedo

$$A' = A - L_{TGT} \quad (1.125)$$

3 torpedo

$$A' = A + L_{TGT} \quad (1.126)$$

2 torpedo styres på den offisielle siktelinje.

1.3 Forslag til endringer

Beregningene for presetting av gyro i MK-37 er gjort meget nøyaktige sett på bakgrunn av det forhold at torpedoen er heimende. En meget enklere løsning er å foreta en kollisjonskursberegning uten hensyn til akselerasjonsfase og sving i initialløpet. I det følgende er gitt et overslag over den feil som gjøres ved en slik forenkling.

Ved ikke å ta hensyn til akselerasjonsfasen innføres en feil som er meget liten, da utgangshastigheten for MK-37 ligger forholdsvis nær marsjhastigheten både for høy og lav hastighet. Forskjellen mellom tiden T_v for en utløpt strekning med konstant hastighet v og tiden T_A for den samme strekning med konstant akselerasjon fra v_0 til v vil være $T_A \cdot (v - v_0) / 2v$.

Forskjellen vil bli størst når torpedoen er satt til høy hastighet, da denne ligger lengst fra utgangshastigheten. Med de verdier for T_A , v_0 og v som er gitt i avsnitt 2, finnes forskjellen til 1,5 s. Dette er ikke mer enn den maksimale feil som kan oppstå på grunn av at gyroen settes med intervaller på 3 s og ikke kontinuerlig. Betraktes et mål i en avstand av 2 km og med en hastighet på tvers av kollisjonskursen på 10 m/s, vil feilen i gyrovinkel bli $0,4^\circ$. Denne feilen vil være proporsjonal med målets hastighet og omvendt proporsjonal med målets avstand fra eget fartøy.

Ved ikke å ta hensyn til at torpedoen i et generelt tilfelle utfører en sving i initialløpet, unngås iterasjonen av gyrovinkelen. Feilen som innføres vil ved større gyrovinkler være mer betydelig enn den feilen som skyldes akselerasjonen. For det første vil torpedoen ende opp i en posisjon utenfor kollisjonskurslinjen fra eget fartøy, og for det andre vil løpet bli lengre. For en sving på 90° vil den siste gangforskjellen være $R(\pi/2 - 1)$ hvor R er torpedobanens krumningsradius i initialløpet. Tidsforskjellen vil være $R(\pi/2 - 1) / V_{TP}$ hvor det for enkelhets skyld regnes konstant hastighet. Med verdier for R og V_{TP} angitt i avsnitt 1.1.1, vil tidsforskjellen bli 2,7 s når torpedoen er satt til høy hastighet (ugunstigste tilfelle). Antatt samme målhastighet som tidligere, 10 m/s, vil målets posisjon tilsvarende ha forandret seg med 27 m. Med en målavstand på 2 km vil feilen i gyrovinkel bli $0,8^\circ$.

Den andre faktoren er at torpedoen er kommet ut i en posisjon en avstand R fra kollisjonskurslinjen fra eget fartøy (forutsatt sving på 90°). Feilen i gyrovinkel som denne faktor bevirker blir $1,7^\circ$ med samme målavstand som tidligere. Men denne feilen kan virke både i samme retning som i motsatt retning av feilen på $0,8^\circ$ på grunn av gangforskjellen. Maksimal blir feilen når de virker i samme retning, nemlig $0,8^\circ + 1,7^\circ = 2,5^\circ$. Det understrekes at denne feilen er kraftig avtakende med gyrovinkelen. Den er også selvsagt omvendt proporsjonal med avstanden til målet, og første ledd dessuten proporsjonal med målets hastighet.

Ingen av disse forenklinger vil føre til feil i torpedobestikket, da det oppdateres til endepunktet av initialløpet ved en forskjellig prosedyre.

Ved bedring av angrepsvinkelen under kollisjonspunktstyring, er det valgt en fast ny angrepsvinkel på 60° . Det kunne her være gunstig å velge en angrepsvinkel slik at torpedoens kurs ved angrepet lå nær peilingen til målet hvis denne var større

enn 20° . Den benyttede peiling måtte da være den som gjaldt i det øyeblikk beregningen ble foretatt og ikke den som gjaldt ved treff, da dette ville føre til en tidkrevende iterasjon.

Ved tråklring går en ut fra at den vanlige låsesonen gjelder ved 2. og 3. gangs passering av målet. Låsesonen her er ikke av samme betydning som ved 1. passering hvor den før passering har til hensikt å forebygge kraftige kurskorreksjoner for torpedoen. Tråklringen er en predeterminert manøver som ikke henter inn nye måldata i perioden før låsing ved 2. og 3. passering og torpedoen kommanderte kurs påvirkes derfor ikke av eventuelle variasjoner i måldataene. Låsesonen har dog en viss berettigelse ved å ta seg av usikkerheter i avstandsestimatet (dette gjelder også låsesonen etter 1 målpasering). På en annen side vil en unngåelse av låsing ved 2. og 3. målpasering utvide det område av angrepsvinkelen β som gir løsning av problemet hvis en beholder samme øvre grense for total manøverlengde. Dette betyr igjen at torpedokursen generelt vil ligge nærmere peilingen ved målpaseringene, noe som ansees gunstig.

Det er tidligere påpekt at ved tråklring av salver vil en torpedo ved 2. og 3. målpasering passere i samme avstand fra målet som en annen torpedo har passert tidligere. Dette fordi det er den samme spredningsavstand som brukes ved salvespredning og tråklring, nemlig målets lengde. Det ville her være gunstig å kunne benytte en annen salvespredning hvis salven skal gjennom en tråklingsmanøver.

2 FLOWCHARTS OG LISTING FOR TORPEDOPROGRAMMENE

2.1 Generelt

Kommunikasjonen mellom torpedostyringsprogrammene og det øvrige system foregår via salve- og rørfiler. Videre er måldataene samlet i måldatafiler, og hvert enkelt av eget fartøys data ligger som globale variable i systemet.

Torpedorørene er nummerert fra 0 til 7. Nummeret til den aktuelle torpedo som styringskommando skal beregnes for, gis via et computerregister (x-reg). Til rutinen som presetter gyro i MK-37 gis rørfile-adressen i dette register.

I maskinhukommelsen er avsatt stack for lokale variable for å spare plass i hukommelsen. Ved begynnelsen av en rutine utvides denne med så mange plasser som kreves for de variable under beregningene. Før uthopp fra rutinen minskes stacken med det samme antall plasser. Adressen til den aktuelle salvefile gis i siste ord i stacken før kall av styringsrutinen.

Systemet er konstruert for å kunne behandle opptil to salver og to mål. Høyeste antall torpedoer i en salve er tre TP-61 eller en MK-37.

Oppbygningen av salve-, rør- og måldata-filer er beskrevet i Ottar Ramfjords dokumentasjon av hele torpedosystemet. Her skal bare gis en oversikt over de elementer i filene som benyttes av torpedostyringsprogrammene.

2.2 Salvefile

Labels for de to salvefile er

GBBA = Salve 1

GBCA = Salve 2

I beskrivelse av filene angir tallene antall adresser fra første element i vedkommende file.

GBBA (GBCA)

- 2 Adresse til måldatafile
- 3 Mållengde (enhet m)
- 4 1.valgte rør
- 5 2.valgte rør
- 6 3.valgte rør
- 7 Modevelgerstatus

- Kode 0 Ustyrt
- Kode 1 Kollisjonspunktstyring
- Kode 2 Siktelinjestyring utover
- Kode 3 Siktelinjestyring innover
- Kode 4 Manuell styring

2.3 Torpedofile

Filene til de forskjellige torpedorør følger etter hverandre i samme rekkefølge som nummereringen av de enkelte rør. Første element i rørfile nr 0 har label GBDA. Antall elementer i hver enkelt file er gitt i den globale variable GBAD.

GBDA

- 0 Torpedotype
 - Kode 0 TP-61 krigstorpedo
 - Kode 1 TP-61 øvelsestorpedo
 - Kode 2 MK-37 krigstorpedo
 - Kode 3 MK-37 øvelsestorpedo
- 1 Torpedo tilstand
 - Kode 1 Kollisjonspunktstyring
 - Kode 2 Siktelinjestyring
 - Kode 3 Ustyrt
 - Kode 4 Bedring av angrepsvinkel
 - Kode 5 Manuell styring
 - Kode 6 Låsefase
 - Kode 7 Tråkning
 - Kode 8 Terminering
- 2 Bitmaske

Bit 15 = 1 Torpedobestikk initiert
Bit 10 = 1 Start av siktelinjestyring

9 Intern løpshistorie

Angir antall ganger målet er passert i en tråklingsmanøver.
Resettes etter endt tråkning.

- 10 Torpedo X-koordinat (enhet m, floating point)
- 13 Torpedo Y-koordinat (enhet m, floating point)
- 22 Torpedo hastighet (enhet 2^{-10} m/s)
- 23 Torpedo kurs (enhet $2^{-14} \cdot \pi$ rad)
- 24 Kurskommando (enhet $2^{-14} \cdot \pi$ rad)
- 26 Tid til treff (enhet 1/10 s)
- 27 Avstand fra torpedo til kollisjonspunkt (enhet m)
- 28 Tid for neste aktivering av styringsrutine (enhet 1/10 s, dobbeltord)
- 30 Adresse til neste styringsrutine
- 31 Løpshistorie, angir totalt antall ganger torpedo har passert målet
- 33 Torpedokurs etter 1. sving av et predeterminert løp (enhet $2^{-14} \cdot \pi$ rad)
- 34 Tid for start av 1. sving (enhet 1/10 s, dobbeltord)
- 36 Torpedo kurs etter 2 sving av et predeterminert løp (enhet $2^{-14} \cdot \pi$ rad)
- 37 Tid for start av 2. sving (enhet 1/10 s, dobbeltord)
- 39 Integral av modifisert avstand mellom torpedo og siktelinje
- 40 Tillegg i løpslengden til treffpunktet p g a manøver for bedring av angrepsvinkel
- 41 Tillegg i trefftid p g a manøver for bedring av angrepsvinkelen (enhet 1/10 s)
- 42 Modevelgerstatus ved forrige beregning av kurskommando

2.4 Måldatafile

De måldata som benyttes i torpedostyringen er arrangert på følgende måte fra den adresse som er oppgitt i salvefilene:

- 1 Avstand til mål (enhet m)
- 2 Peiling til mål (enhet $2^{-14} \cdot \pi$ rad)
- 3 Målets kurs (enhet $2^{-14} \cdot \pi$ rad)
- 4 Målets hastighet (enhet 2^{-4} m)
- 11 Målets x-koordinat (enhet m, floating point)
- 14 Målets hastighet y-komponent (enhet m/s, floating point)
- 17 Målets x-koordinat (enhet m, floating point)
- 20 Målets hastighet y-komponent (enhet m/s, floating point)

2.5 Eget fartøys data

Eget fartøys data inneholder i følgende globale variable:

EAXX	X-koordinat (enhet m, floating point)
EAYY	Y-koordinat (enhet m, floating point)
EABX	Hastighetens X-komponent (enhet m/s, floating point)
EABY	Hastighetens Y-komponent (enhet m/s, floating point)
EABC	Kurs (enhet $2^{-14} \cdot \pi$ rad)
EABV	Hastighet (enhet 2^{-10} m/s)

2.6 Systemtid

Løpende systemtid inneholdes i den globale variable CAAR hvor enheten er 1/10 s og den variable er et dobbeltord hvor labelen representerer minst signifikante del.

2.7 Interruptblokkering

Følgende funksjon benyttes for å hindre interrupt i deler av rutinene hvor interrupt ikke er ønskelig:

CAAS	Ved å inkrementere denne funksjon, vil en unngå interrupt med hensyn til programmet
CAAT	Denne funksjon resetter CAAS slik at en interrupt får normale konsekvenser

2.8 Libraryrutiner

Følgende subrutiner benyttes i torpedostyringsprogrammene:

DABA	Beregning av sinus
DACA	Beregning av cosinus
DAEA	Beregning av arcsinus
DAFA	Beregning av arctangens
DAGA	Beregning av kvadratroten

2.9 Øvrige globalvariable

Øvrige globale variable inngår i torpedostyringsprogrammene:

GBAE	Prediktert tid i initialløpet (enhet 1/10 s).
GBAF	Direkte avstand mellom start- og endepunkt av initialløpet.
GBAG	Peiling til prediktert endepunkt av initialløpet relativt eget fartøys kurs.
GBAH	Gyrovinkel.
GBAJ	Eget fartøys kurs ved gyrosetting. Bit 15 benyttes dessuten som indikator på at enabling distance er nådd (bit 15 = 1).
GBAK	Torpedokurs for enabling distance hvis kollisjonskursen ligger i den forbudte sektor for MK-37. Bit 15 = 1 indikerer at kollisjonskursen ligger i den legale sektor.

GBAM Kontrollord som bestemmer hvor ofte det eventuelt skal beregnes manøver for å bedre angrepsvinkelen under kollisjonspunktstyring.

2.10 Torpedostyringsprogram

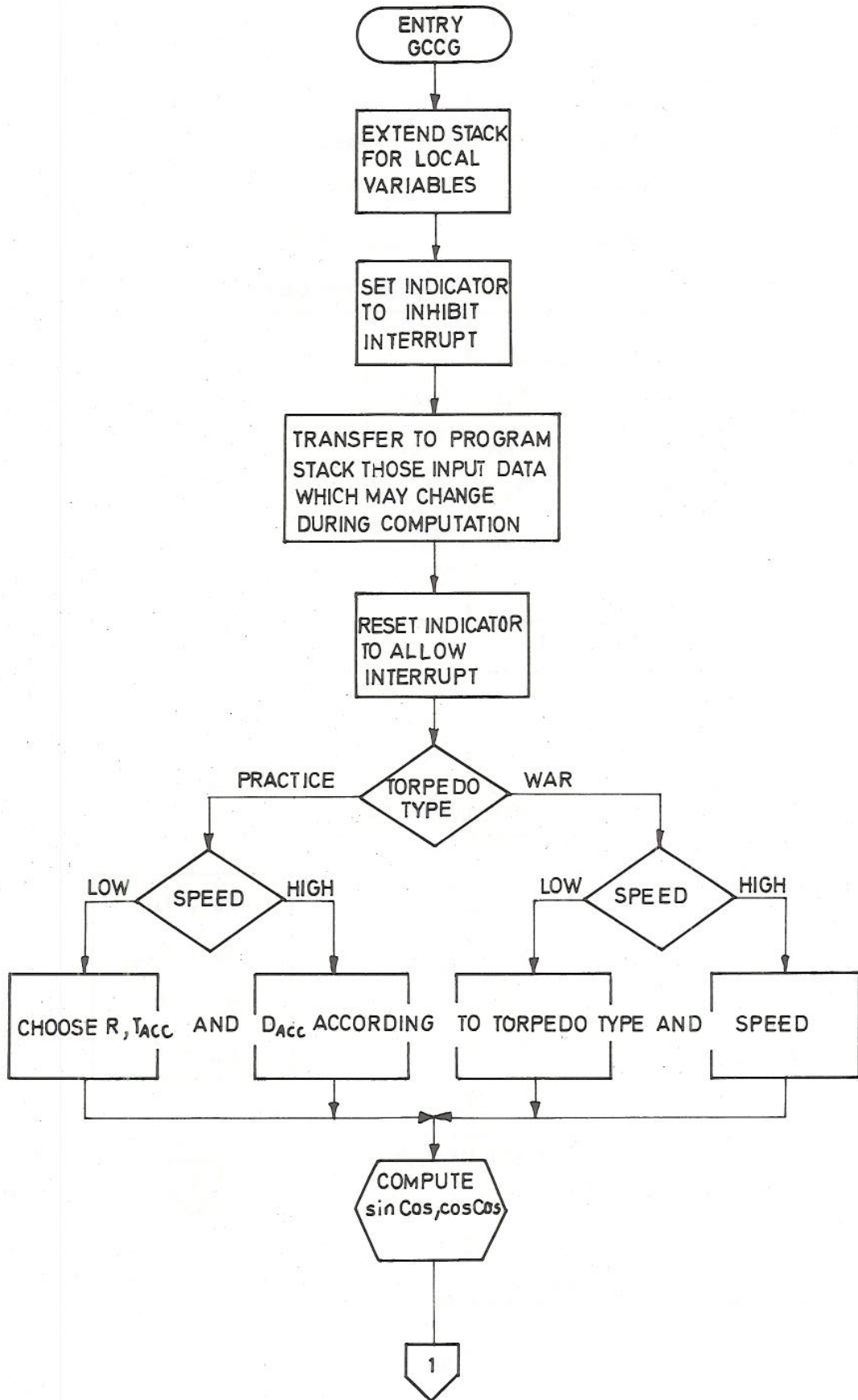
GCCG Prediktering av initialløp for MK-37 torpedo og setting av gyro
GCDB Oppdatering av MK-37 torpedo til initialløpets endepunkt
GCDD Oppdatering av TP-61 til initialløpets endepunkt
GCGA Kollisjonspunktstyring
GCGB Forbedring av angrepsvinkel
GCGC Tråkking
GCGD Siktelinjestyring
GCGF Beregning av kollisjonspunkt (subrutine til GCCG og GCGA)

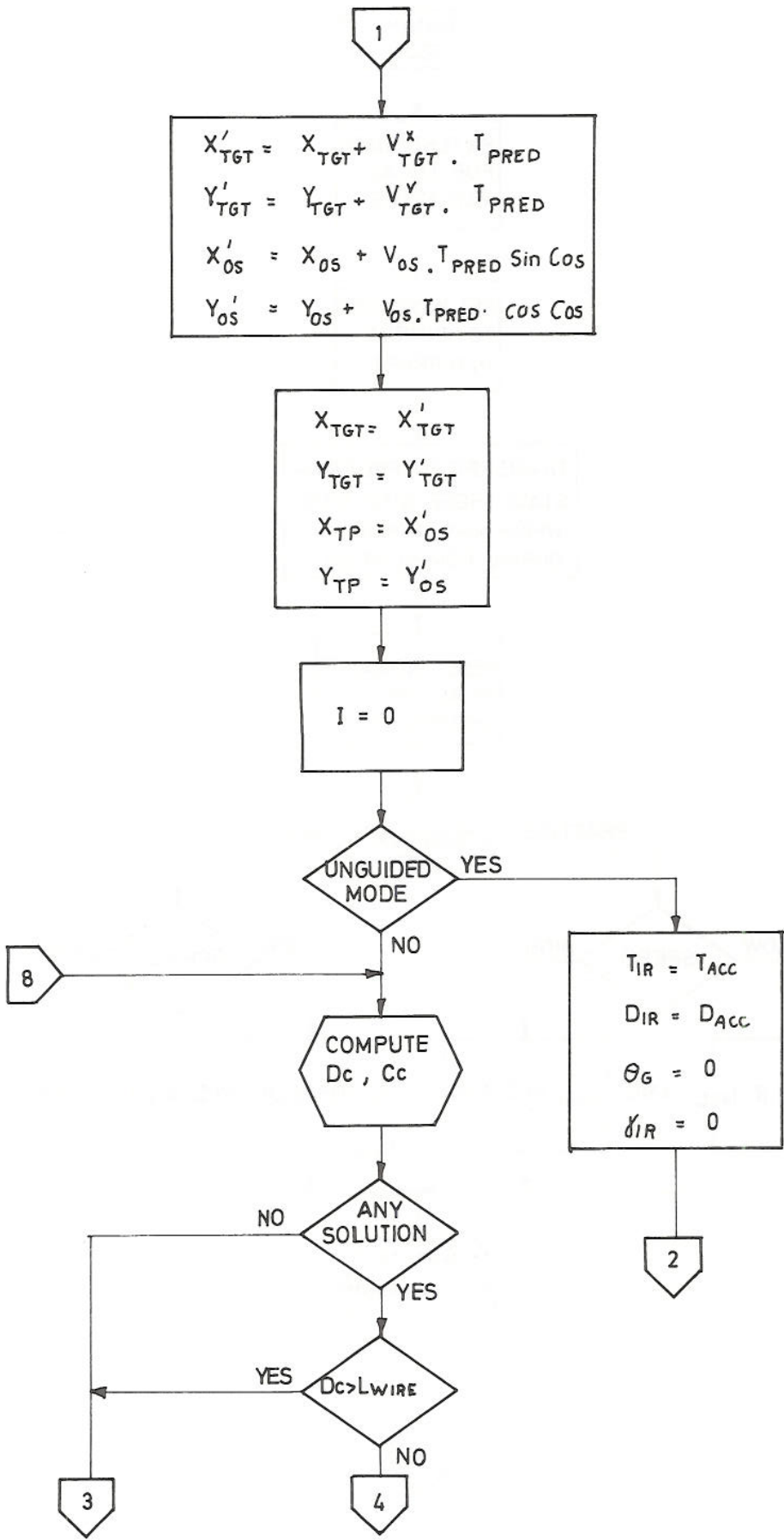
APPENDIX

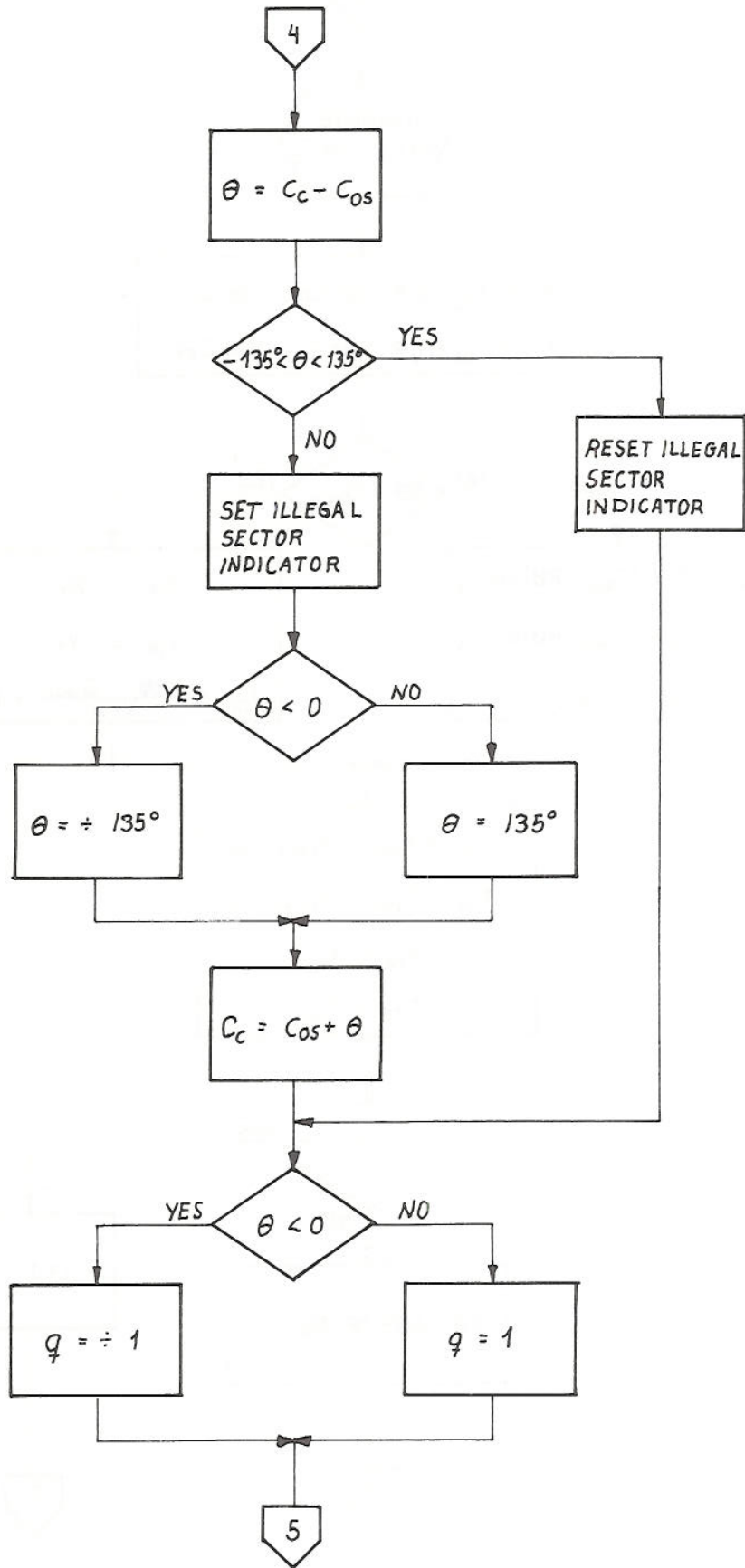
FLOW CHARTS

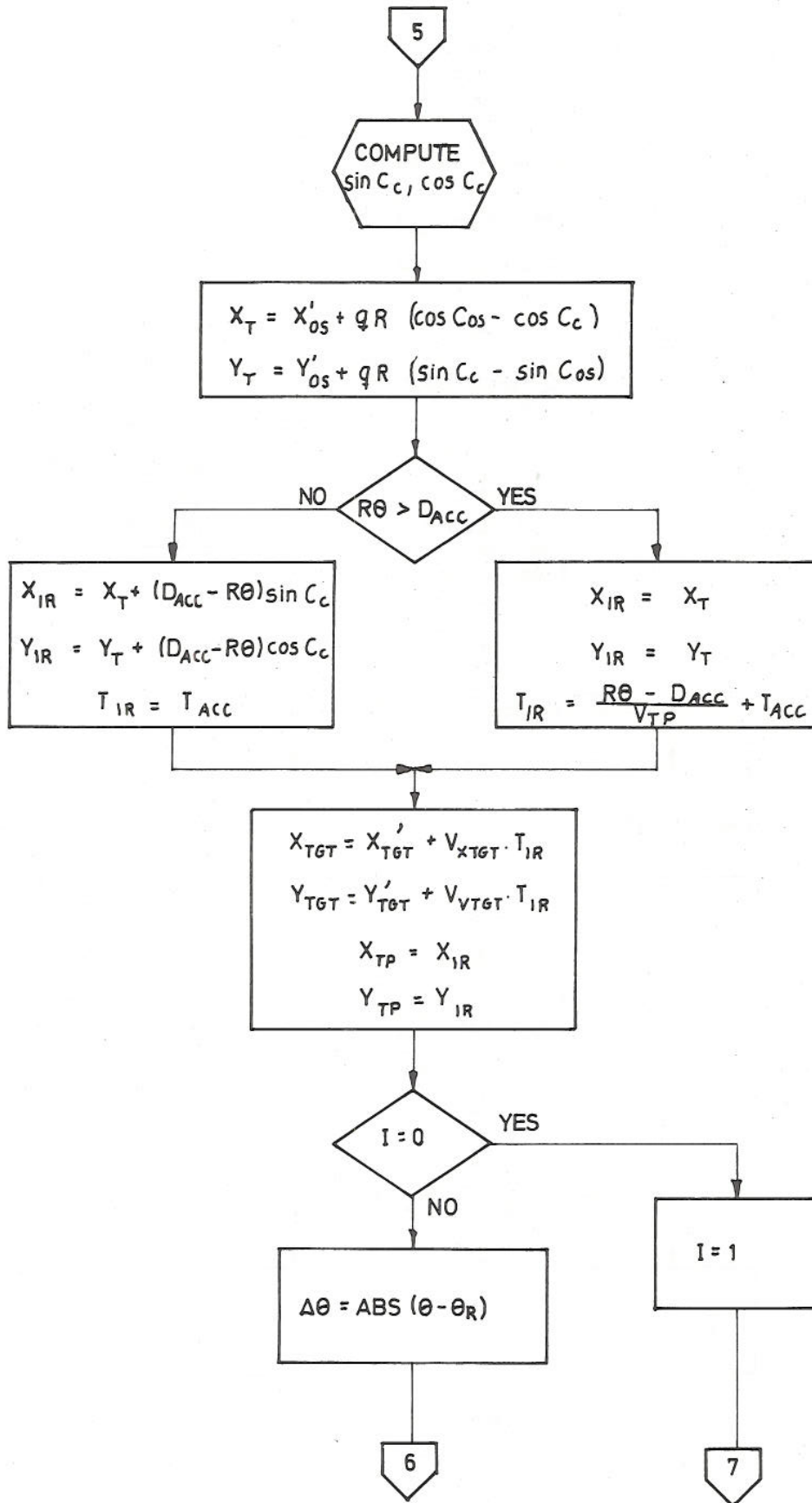
Variables in GCCG

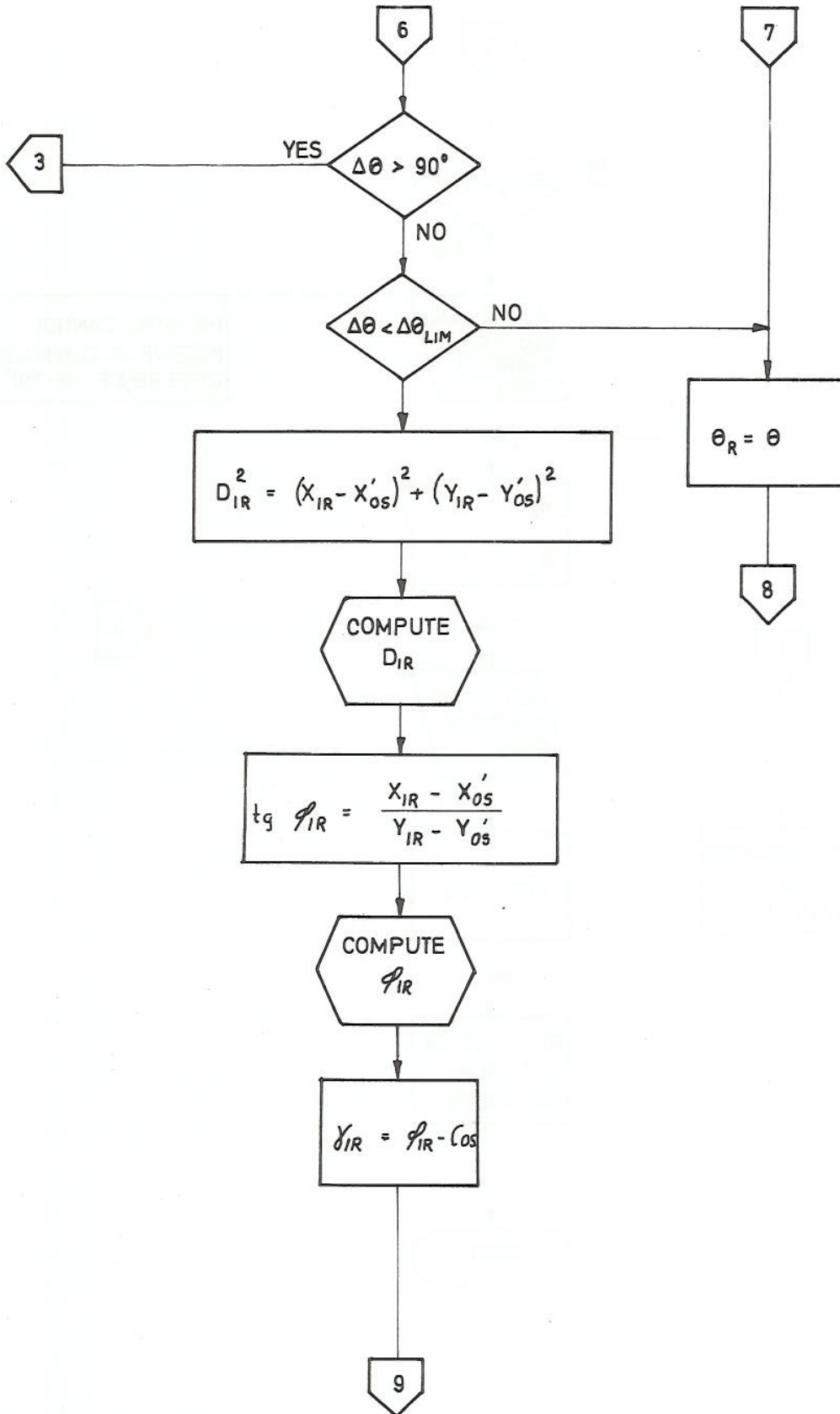
X_{TGT}, Y_{TGT}	Target coordinates
C_{TGT}	Target course
V_{TGT}	Target speed
V_{TGT}^x, V_{TGT}^y	Target speed components
X'_{TGT}, Y'_{TGT}	Predicted target coordinates at the time of FVS operating
X_{os}, Y_{os}	Own ship coordinates
C_{os}	Own ship course
V_{os}	Own ship speed
X'_{os}, Y'_{os}	Predicted own ship coordinates at the time of FVS operating
X_{TP}, Y_{TP}	Torpedo coordinates
V_{TP}	Torpedo speed
R	Torpedo turn radius
D_{ACC}	Acceleration distance
T_{ACC}	Acceleration time
T_{PRED}	Predicted time till FVS operates
T_{IR}	Initial run time (GBAE)
D_{IR}	Straight distance to end point of initial run (GBAF)
ϕ_{IR}	Bearing to end point of initial run
γ_{IR}	Bearing to end point of initial run relative to own ship course (GBAG)
X_{IR}, Y_{IR}	Coordinates of initial run end point
X_T, Y_T	Coordinates of turn end point
θ	Turn angle
θ_G	Gyro angle (GBAH)
θ_R	Remembered θ from one iteration cycle till the next one
θ_o	Present gyro angle
$\Delta \theta$	Difference between subsequent values of θ in iteration
$\Delta \theta_{LIM}$	Lower limit of $\Delta \theta$ at which iteration is broken
D_c	Distance from torpedo to collision point
C_c	Collision course
C_{os}^c	Own ship course at final gyro setting (GBAJ)
L_{WIRE}	Wire length
q	Sign
I	Indicator for start of iteration

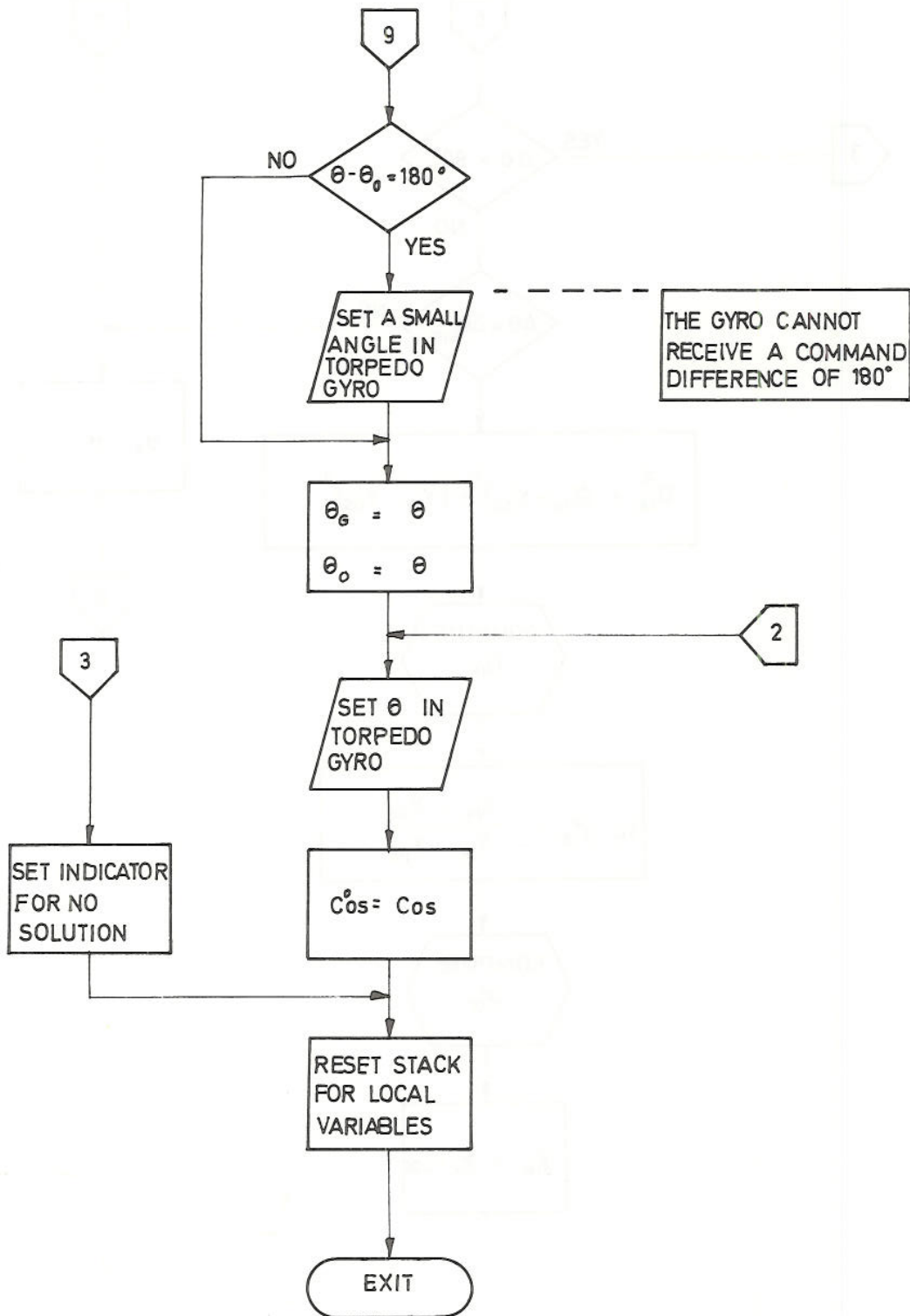






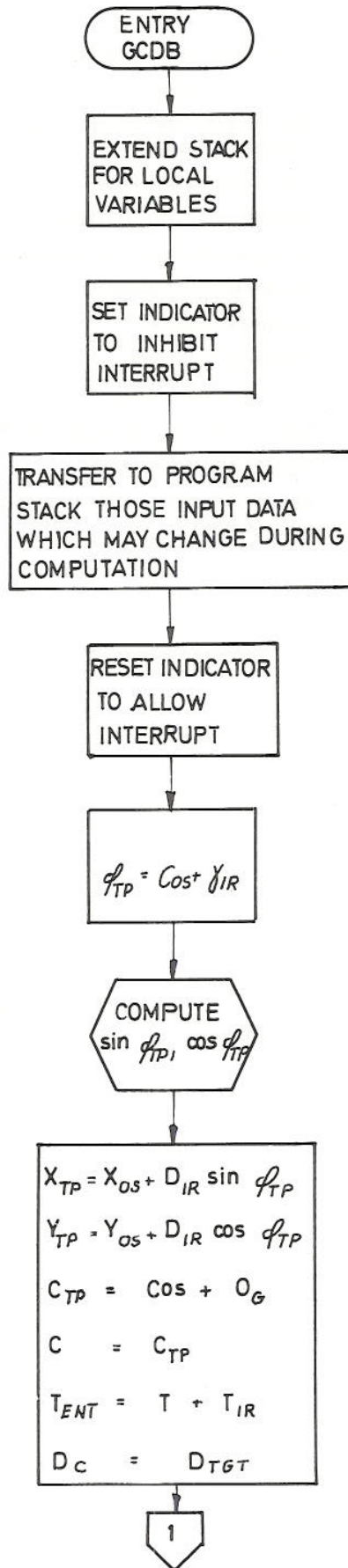


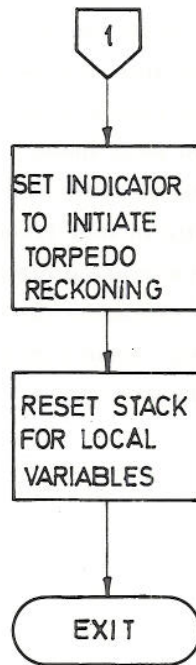




Variables in GCDB

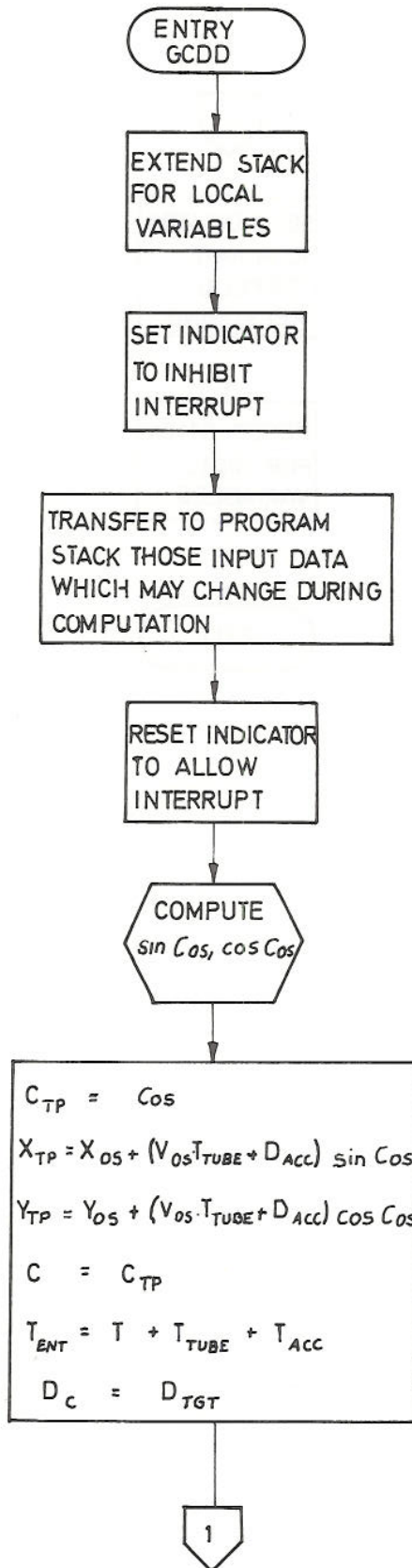
X_{os}, Y_{os}	Own ship coordinates
C_{os}	Own ship course
γ_{IR}	Bearing to end point of initial run relative to own ship course (GBAG)
θ_G	Gyro angle (GBAH)
T_{IR}	Initial run time (GBAE)
D_{IR}	Straight distance to end point of initial run (GBAF)
X_{TP}, Y_{TP}	Torpedo coordinates
C_{TP}	Torpedo course
ϕ_{TP}	Torpedo bearing
C	Course command
T_{ENT}	Entry time for torpedo guidance program
T	Current system time
D_c	Range from torpedo to collision point
D_{TGT}	Range to target

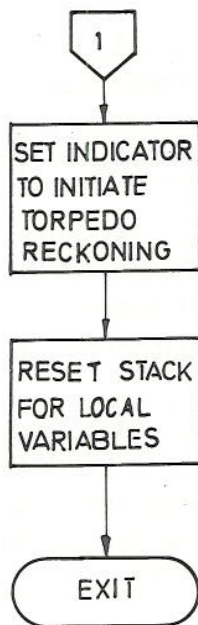




Variables in GCDD

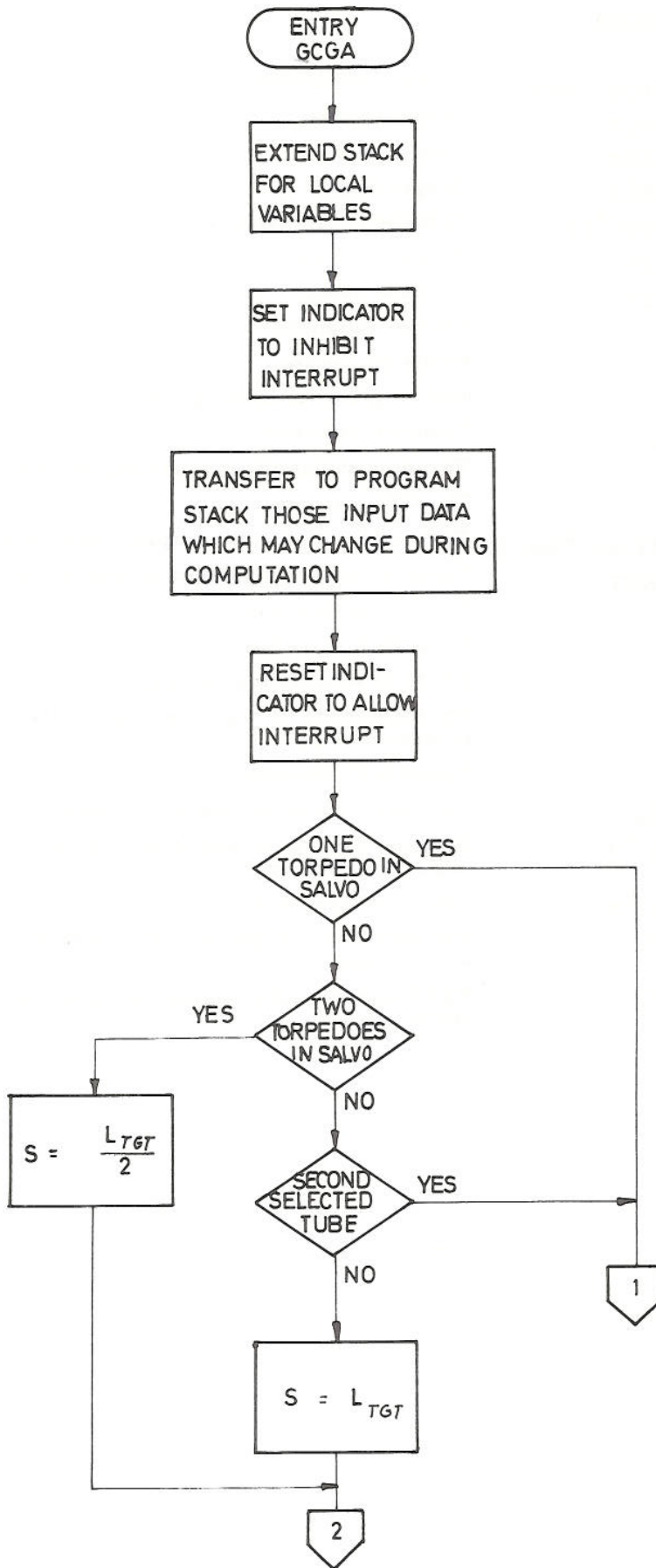
X_{TP}, Y_{TP}	Torpedo coordinates
C_{TP}	Torpedo course
X_{os}, Y_{os}	Own ship coordinates
C_{os}	Own ship course
V_{os}	Own ship speed
C	Course command
T_{TUBE}	Time in tube (from fire till leaving tube)
D_{ACC}	Acceleration distance
T_{ACC}	Acceleration time
D_c	Range from torpedo to collision point
D_{TGT}	Range to target

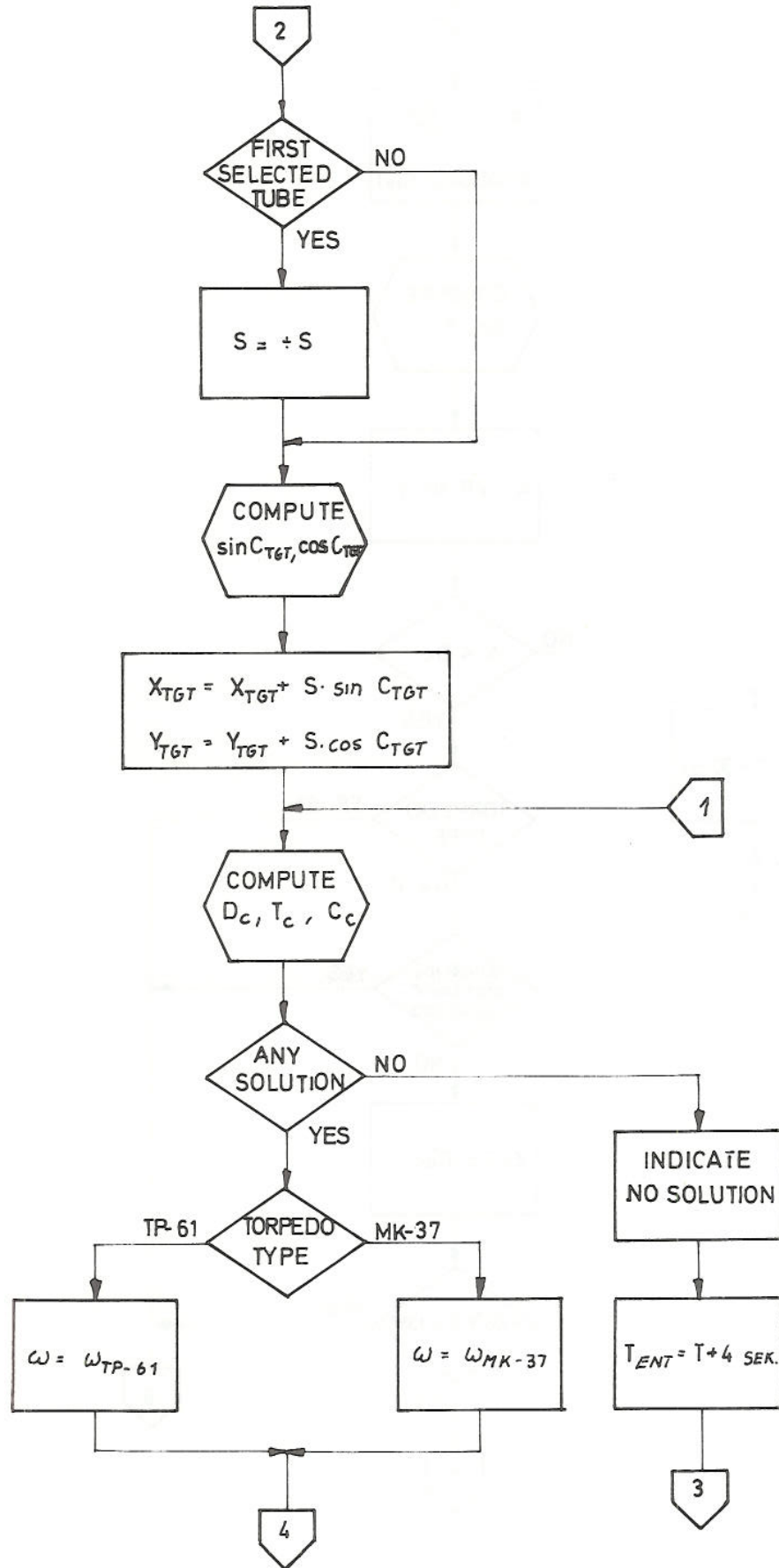


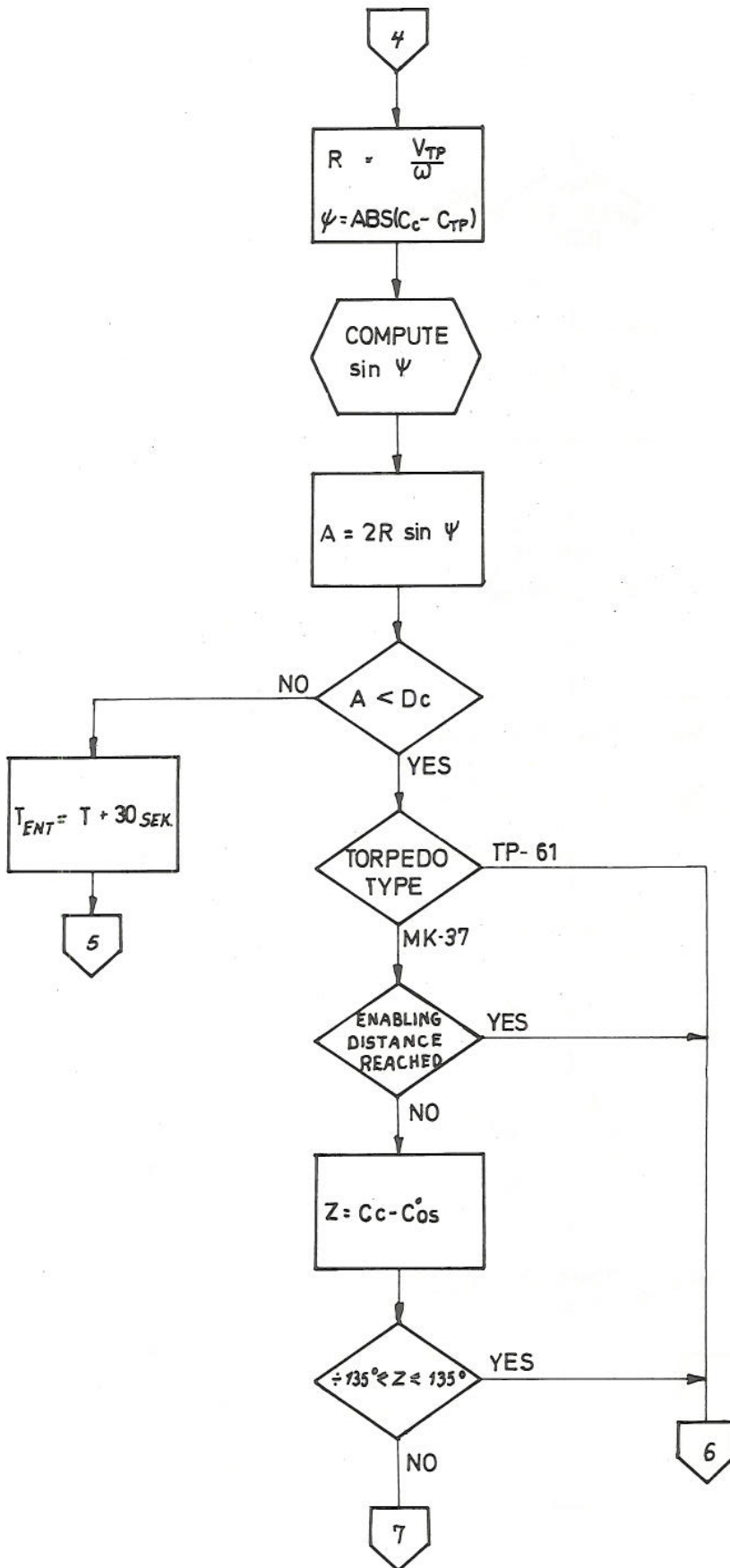


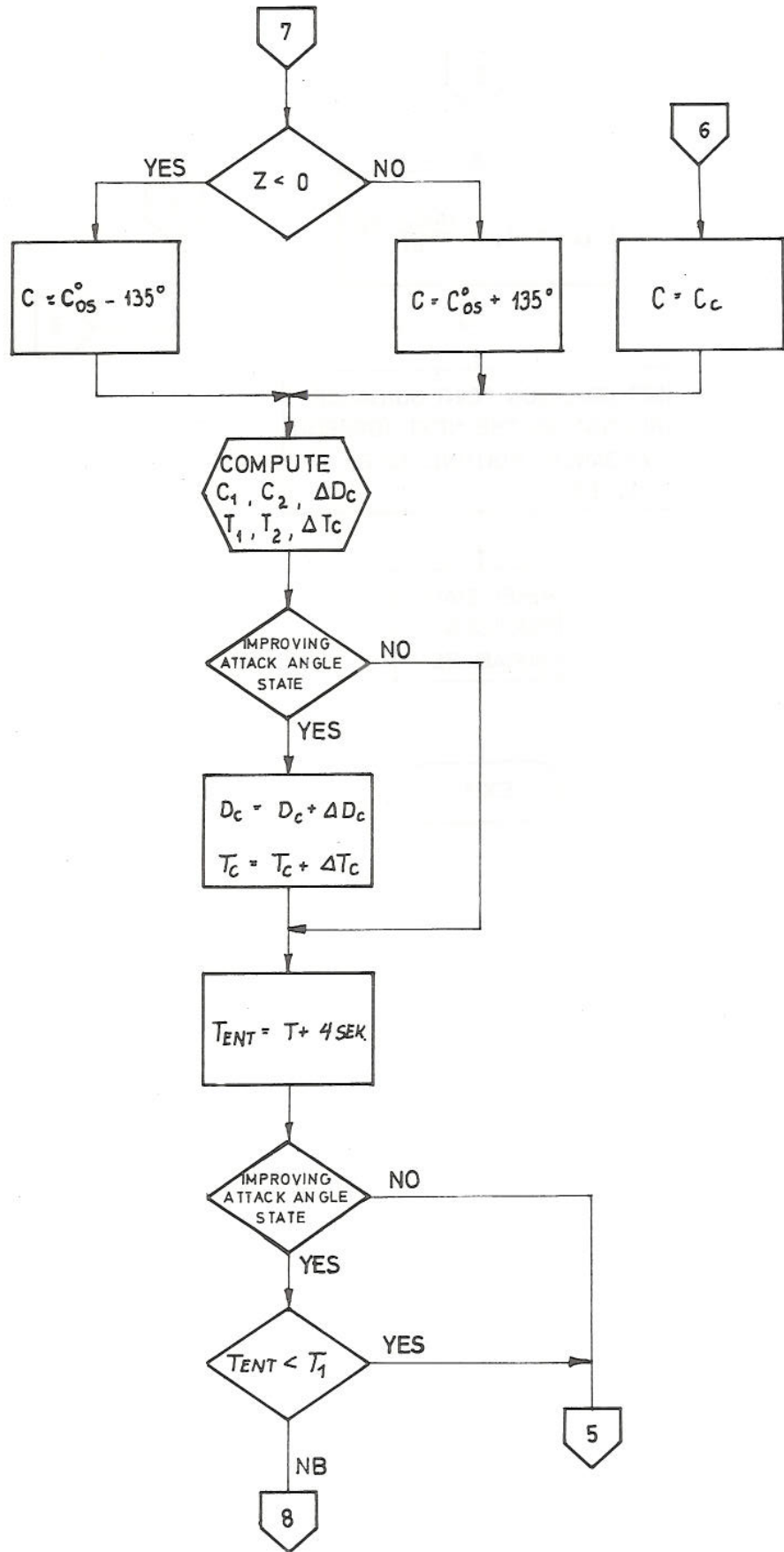
Variables in GCGA

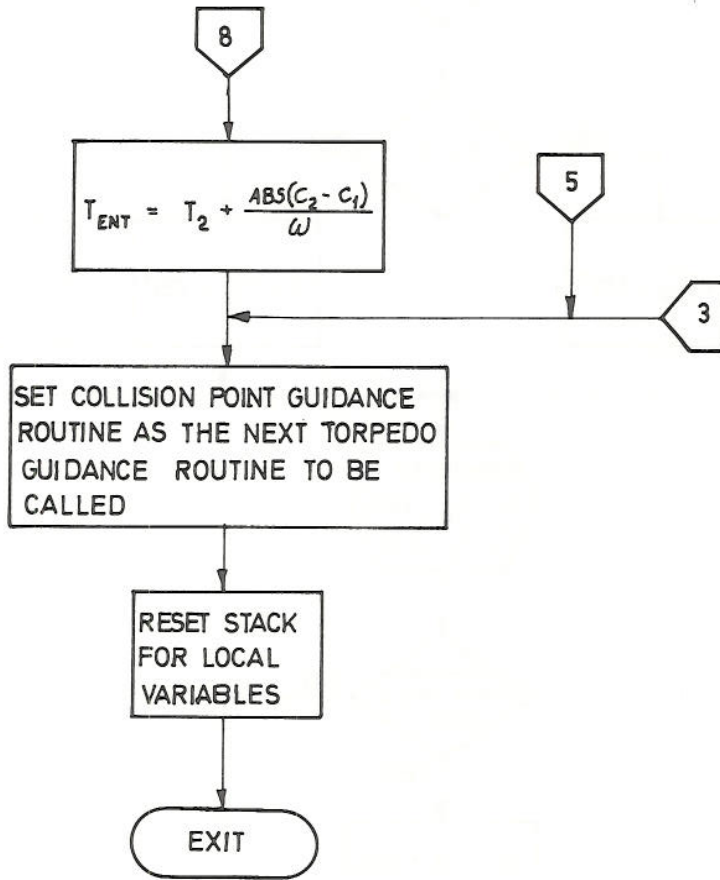
X_{TGT}, Y_{TGT}	Target coordinates
C_{TGT}	Target course
V_{TGT}	Target speed
L_{TGT}	Target length
X_{TP}, Y_{TP}	Torpedo coordinates
C_{TP}	Torpedo course
V_{TP}	Torpedo speed
C	Course command
C_c	Collision course
D_c	Run length to collision point
T_c	Time till collision
S	Target position offset according to salvo spread
ω	Torpedo turn rate
$\omega_{TP-61}, \omega_{MK-37}$	Turn rates for the two torpedo types respectively
T_{ENT}	Time for next computation of course command
T	Current system time
R	Torpedo turn radius
A	Chord of torpedo turn circle
ψ	Absolute value of angle between collision course and torpedo course
z	Temporary variable
C_{os}^o	Own ship course at final gyro setting
C_1, C_2	Torpedo courses at end of each turn in maneuver to improve attack angle
T_1, T_2	Time for start of each turn
ΔD_c	Additional run length caused by maneuver to improve attack angle
ΔT_c	Additional run time caused by maneuver to improve attack angle





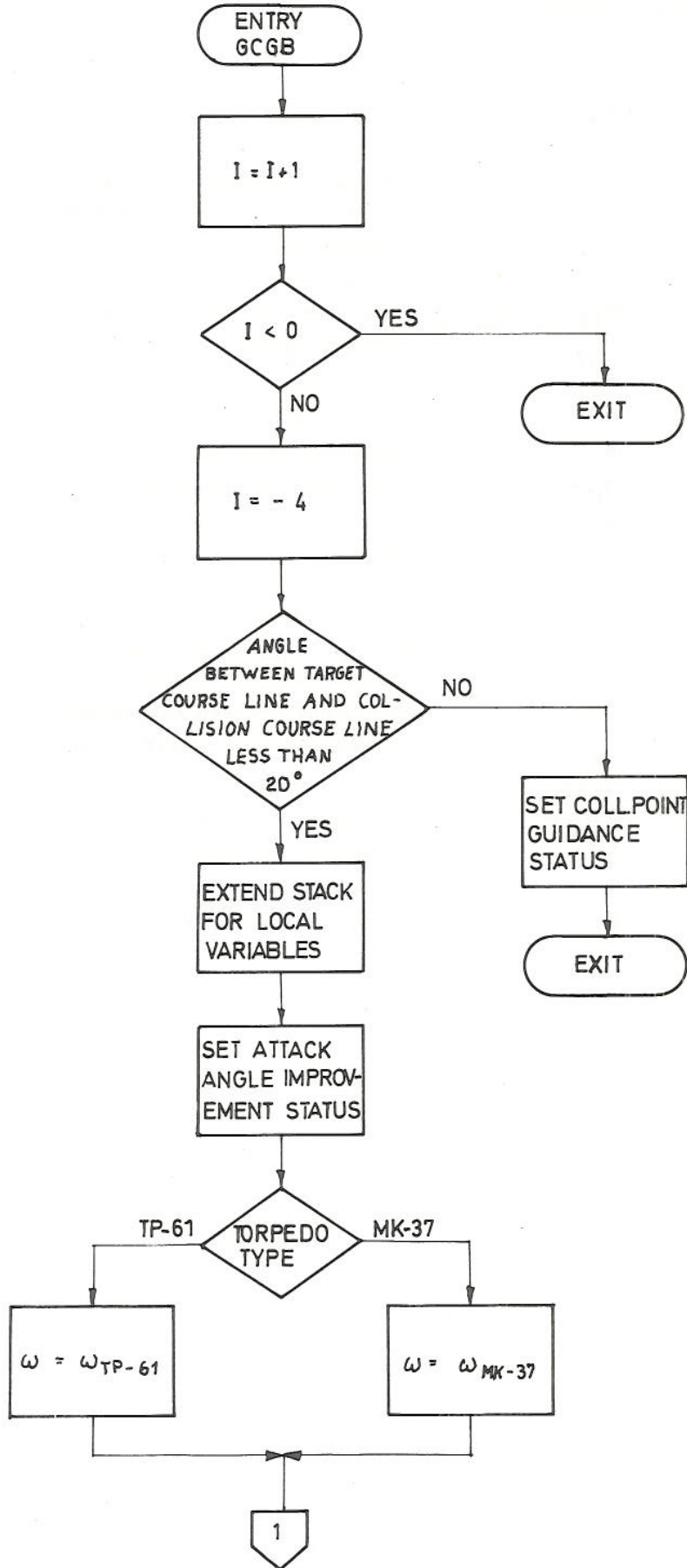


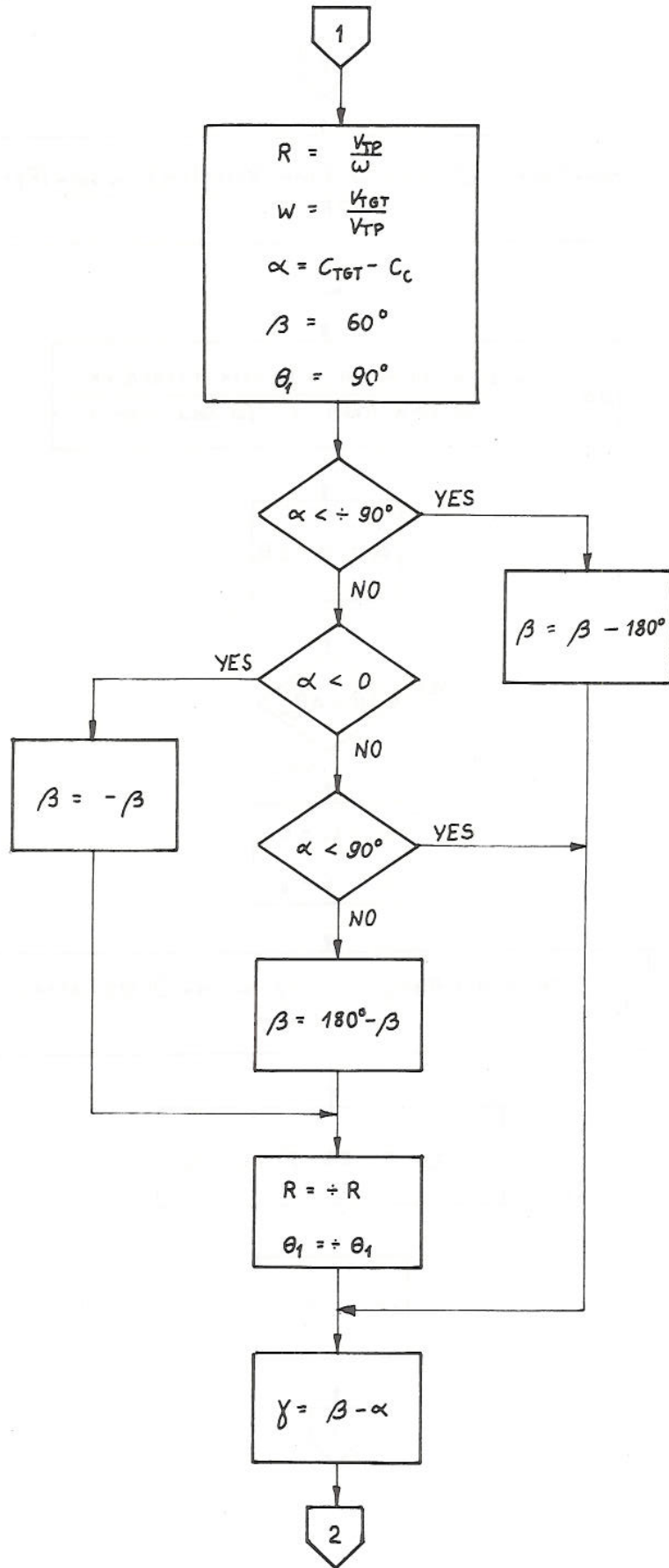


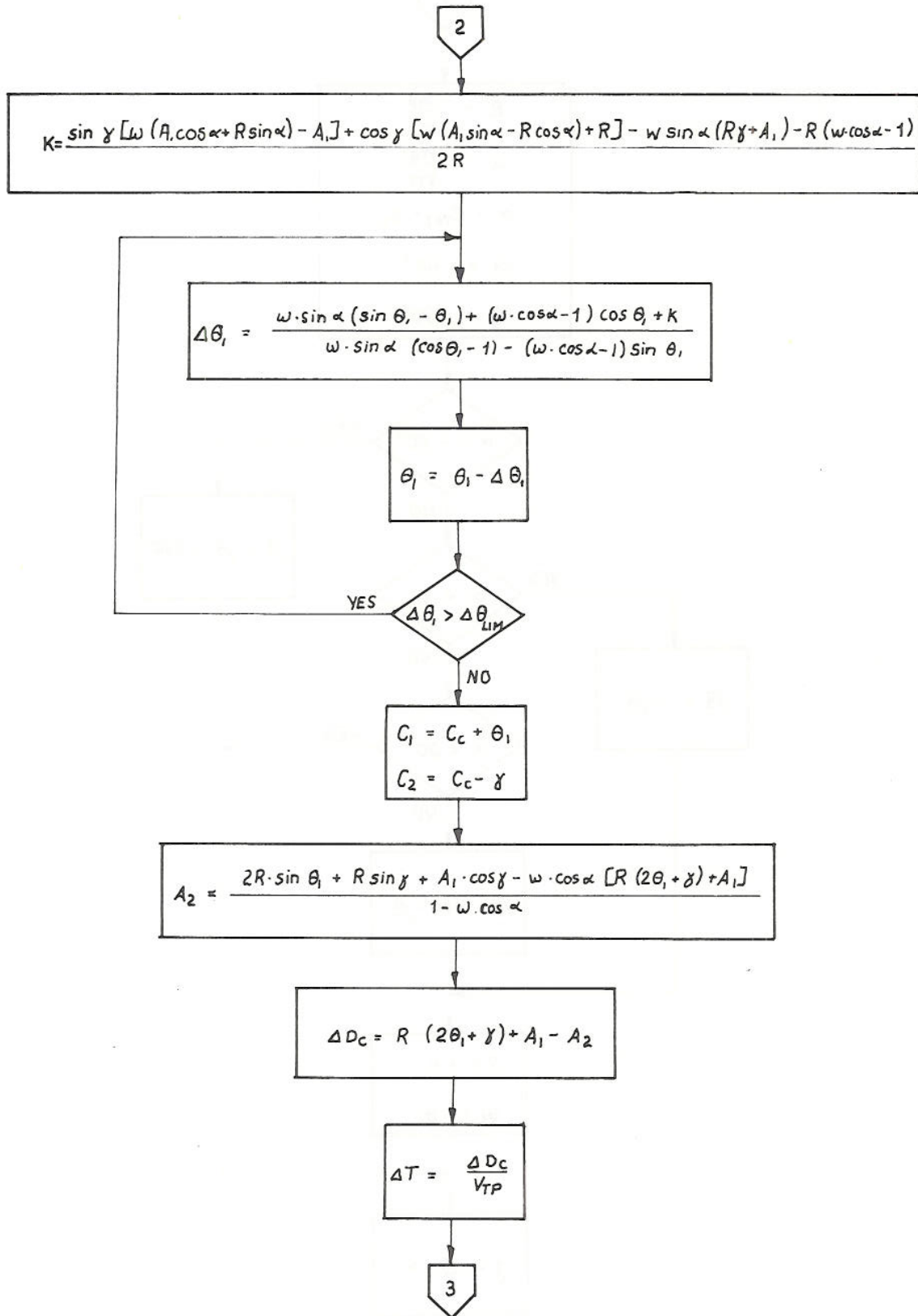


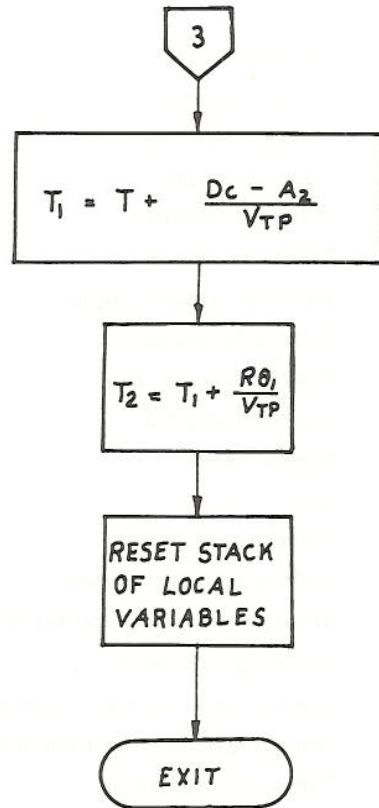
Variables in GCGB

C_{TGT}	Target course
V_{TGT}	Target speed
C_c	Collision course
I	Counter to control time between each computation of maneuver to improve attack angle (GBAM)
R	Torpedo turn radius
ω	Torpedo turn rate
$\omega_{TP-61}, \omega_{MK-37}$	Turn rates for the two torpedo types respectively
V_{TP}	Torpedo speed
w	Speed ratio
α	Present attack angle
β	Improved attack angle
θ_1, θ_2	Turn angles in maneuver
γ	Angle difference between present and improved attack angle
k	Konstant in computation of θ_1
A_1	Final straight run in maneuver
A_2	Straight distance between predicted maneuver start and present collision point
$\Delta\theta_1$	Difference between subsequent values of θ_1 in iteration
C_1, C_2	Torpedo courses at end of each turn in maneuver
T_1, T_2	Time for start of each turn in maneuver
ΔD_c	Additional run length caused by maneuver
ΔT_c	Additional run time caused by maneuver
T	Current system time
D_c	Straight distance from torpedo to present collision point



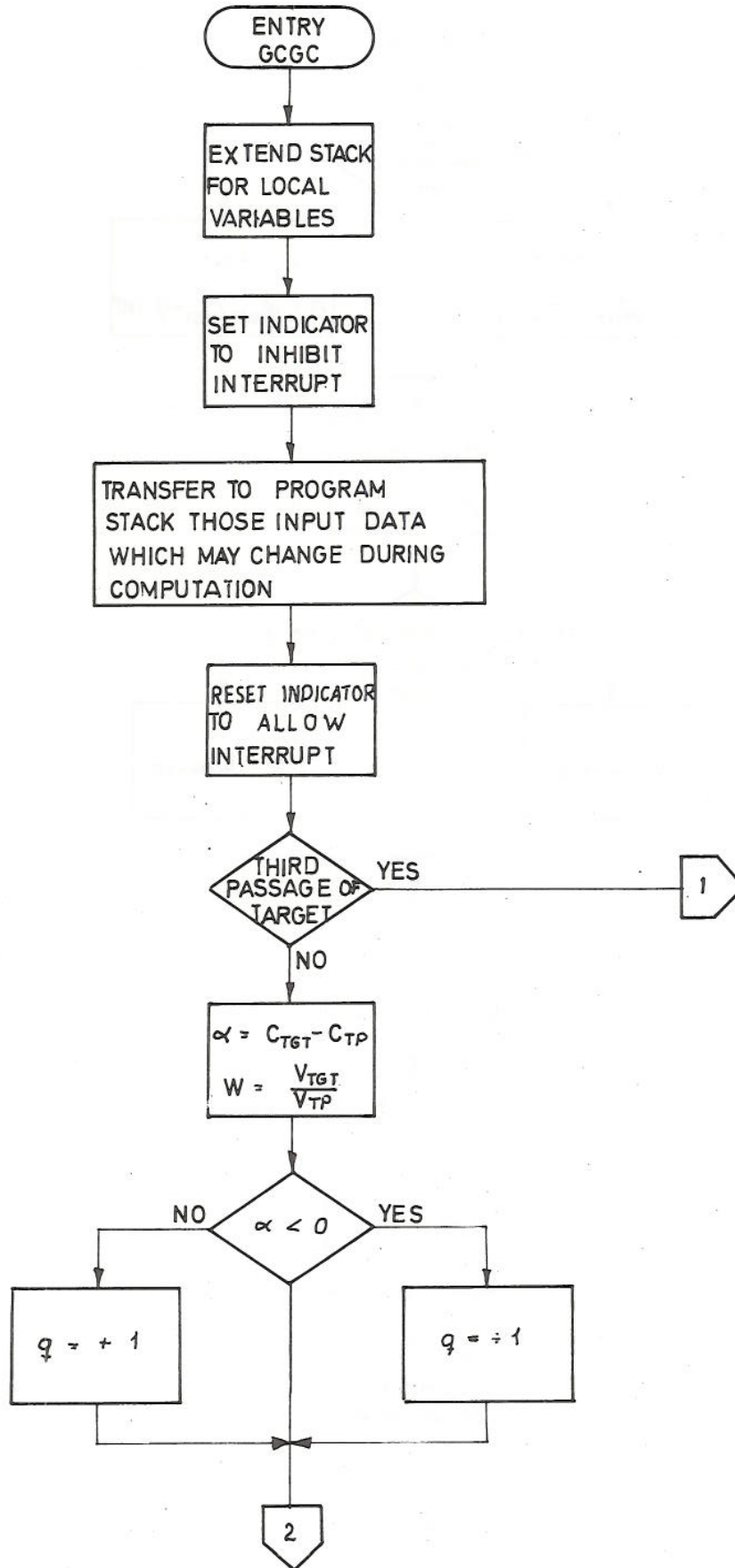


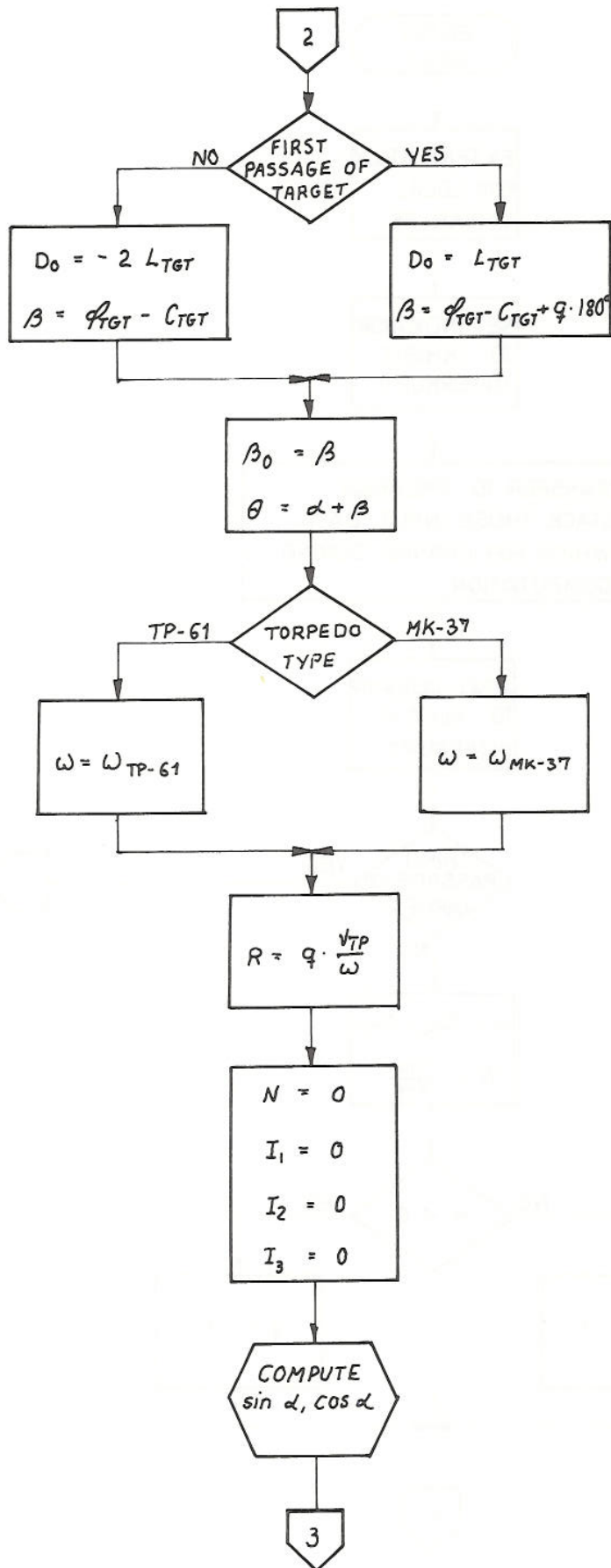


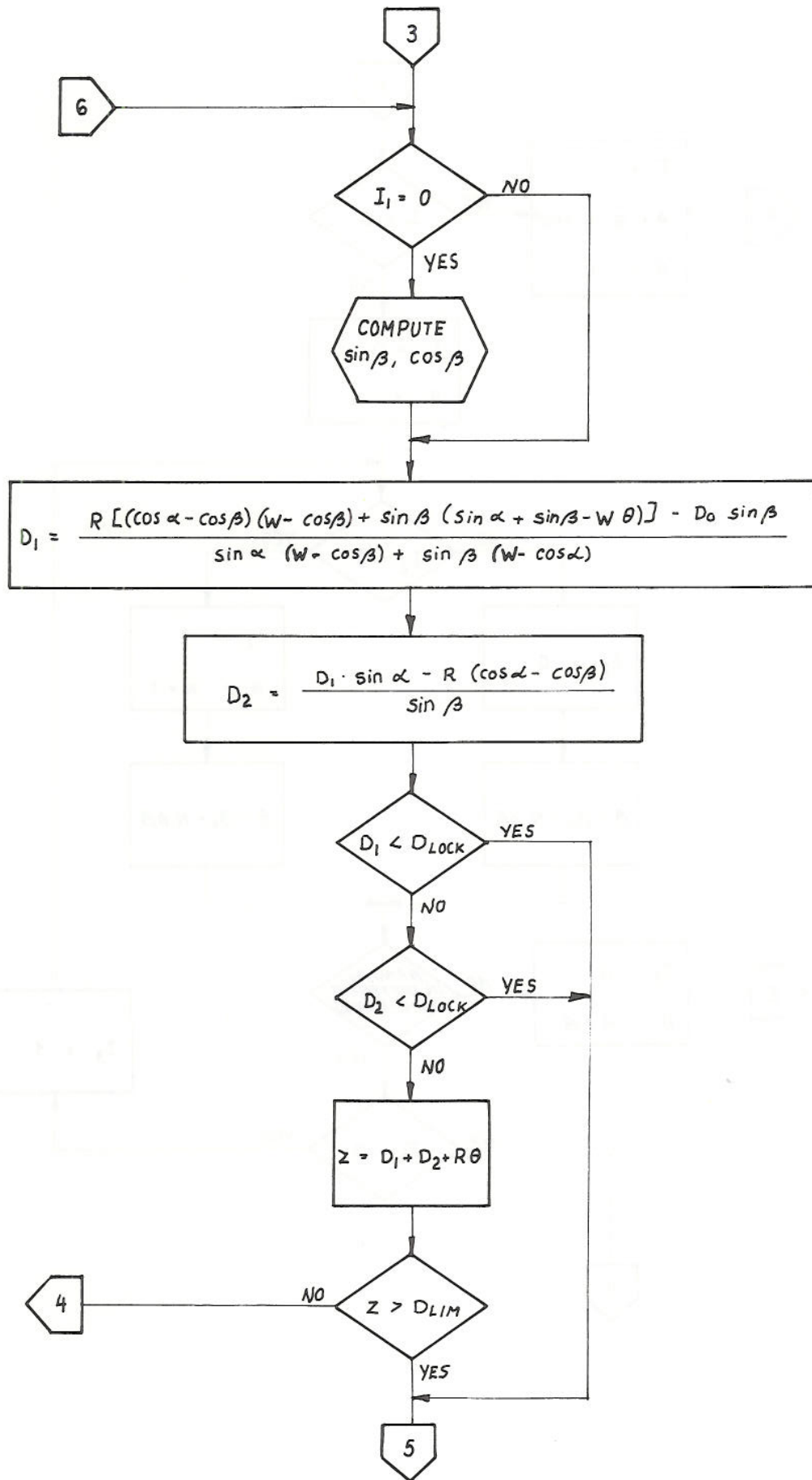


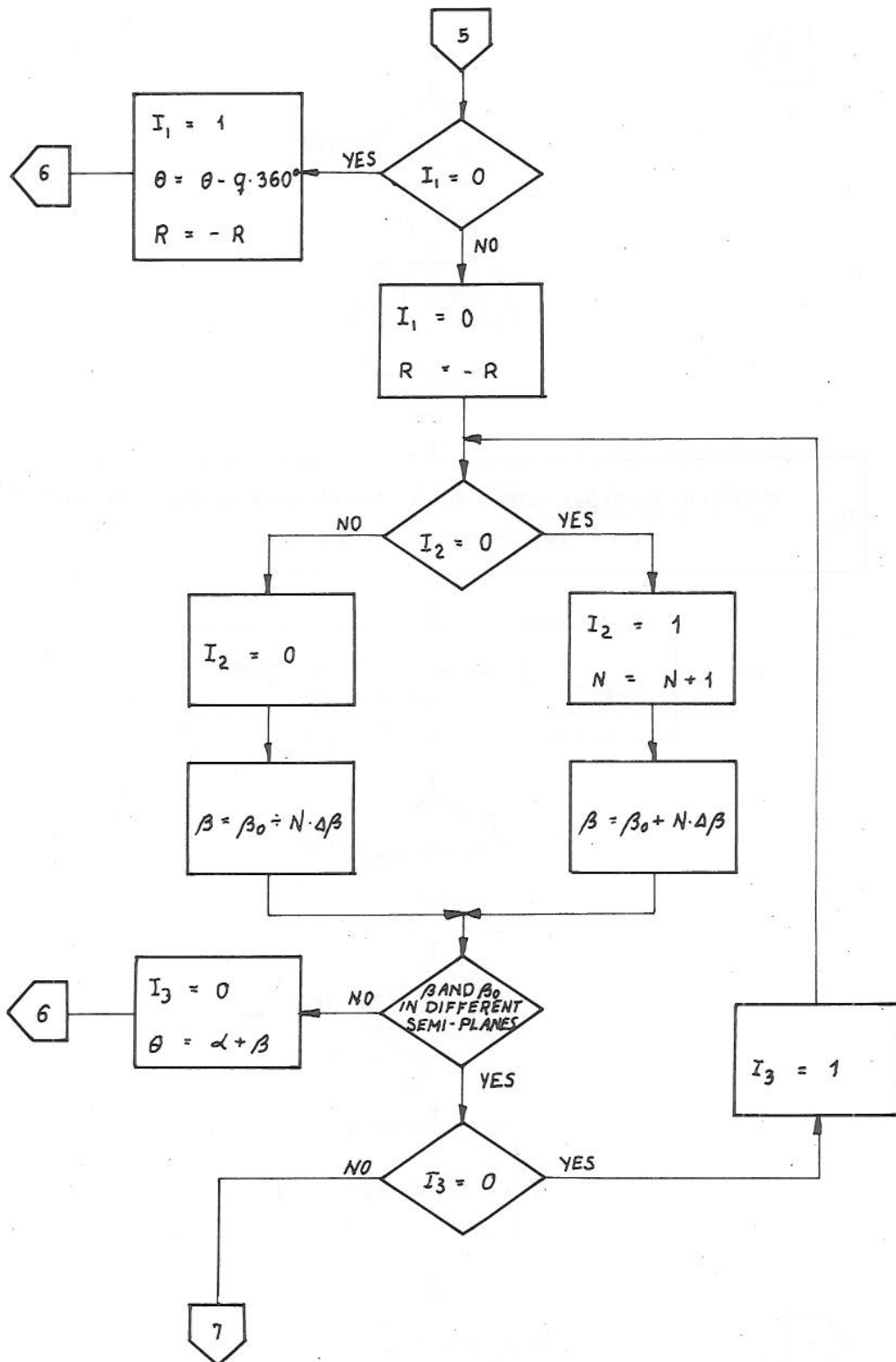
Variables in GCGC

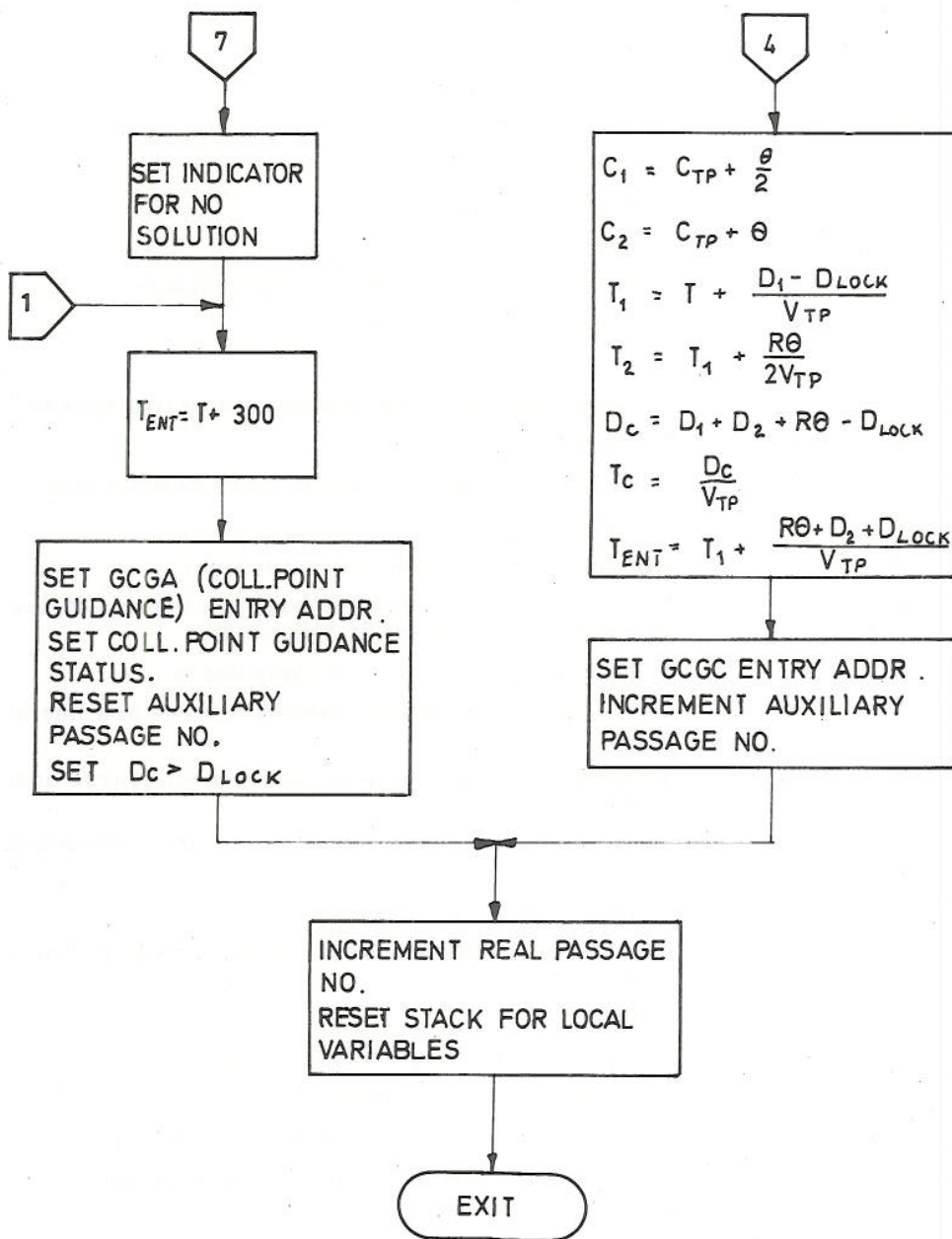
C_{TGT}	Target course
V_{TGT}	Target speed
ϕ_{TGT}	Target bearing
L_{TGT}	Target length
C_{TP}	Torpedo course
V_{TP}	Torpedo speed
α	Present attack angle
β	New attack angle
β_o	Start value of β
$\Delta\beta$	Increment of β
w	Speed ratio
q	Sign
θ	Turn angle
D_o	Collision point offset
D_1, D_2	Straight runs in maneuver
D_{LOCK}	Locking distance
D_{LIM}	Upper limit of total maneuver length
D_c	Run length to collision point
T_c	Time till collision
T_{ENT}	Next entry time for torpedo guidance program
T	Current system time
R	Torpedo turn radius
ω	Torpedo turn rate
$\omega_{TP-61}, \omega_{MK-37}$	Turn rates for the two torpedo types respectively
N	Number of increments of β
z	Temporary variable
C_1, C_2	Torpedo courses at end of each turn in maneuver
T_1, T_2	Time for start of each turn in maneuver
I_1, I_2, I_3	Indicators to control proceeding in choice of β





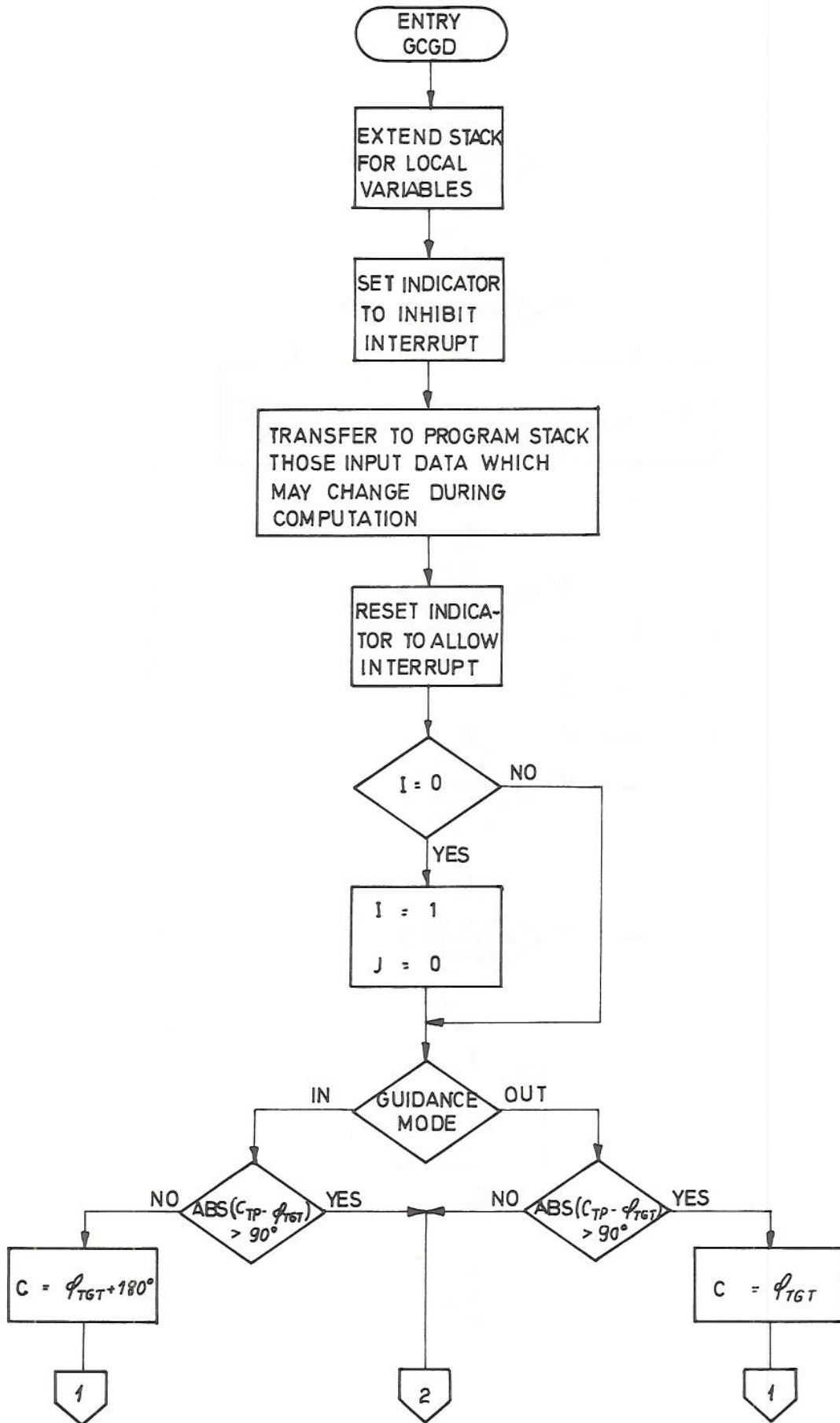


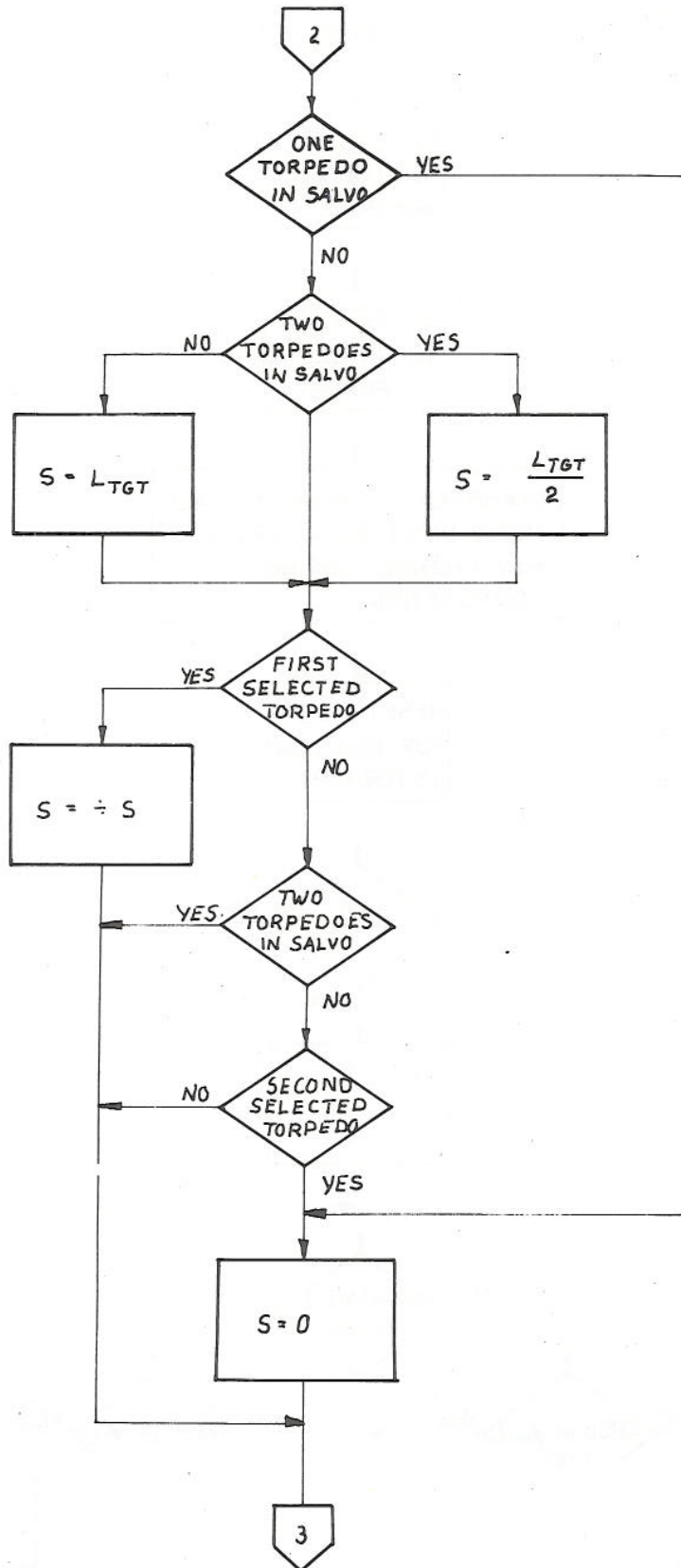


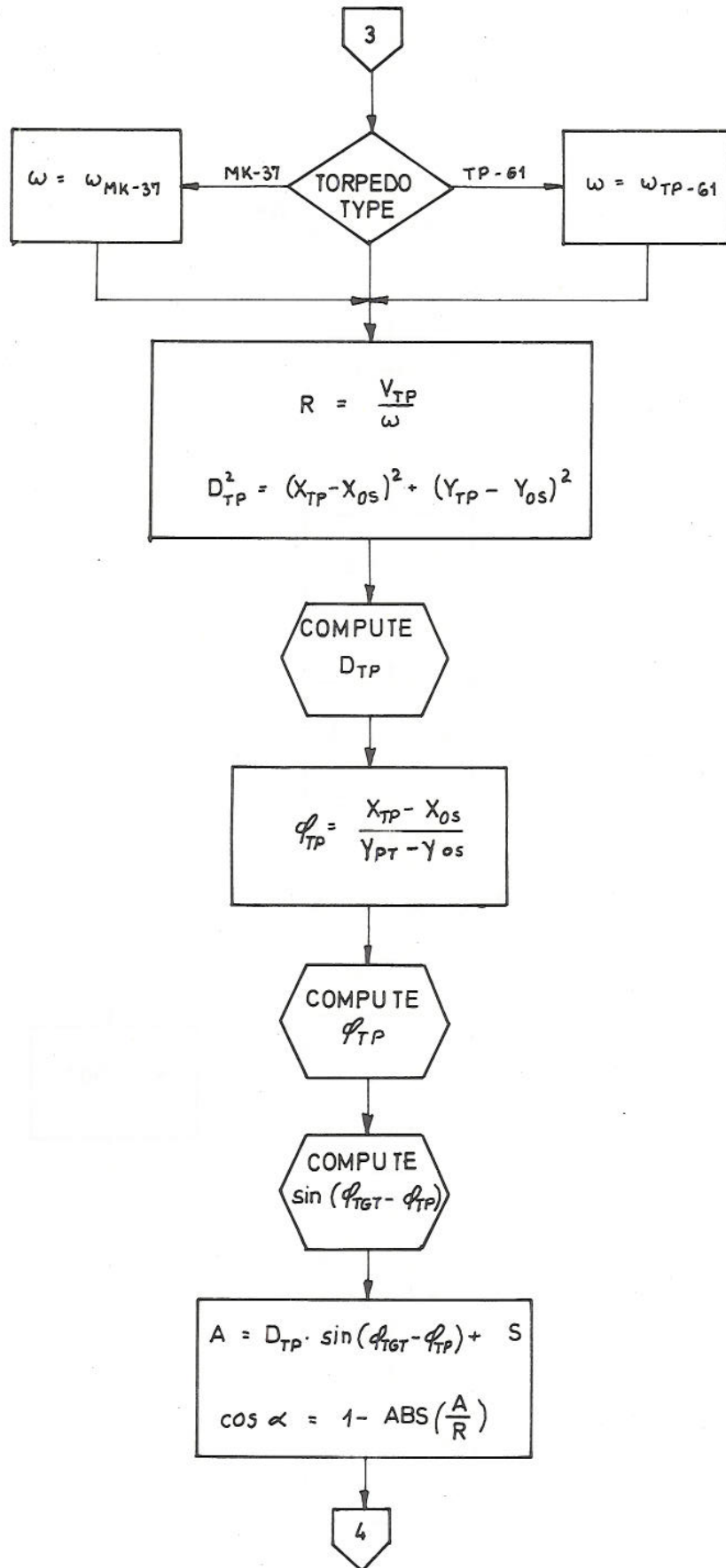


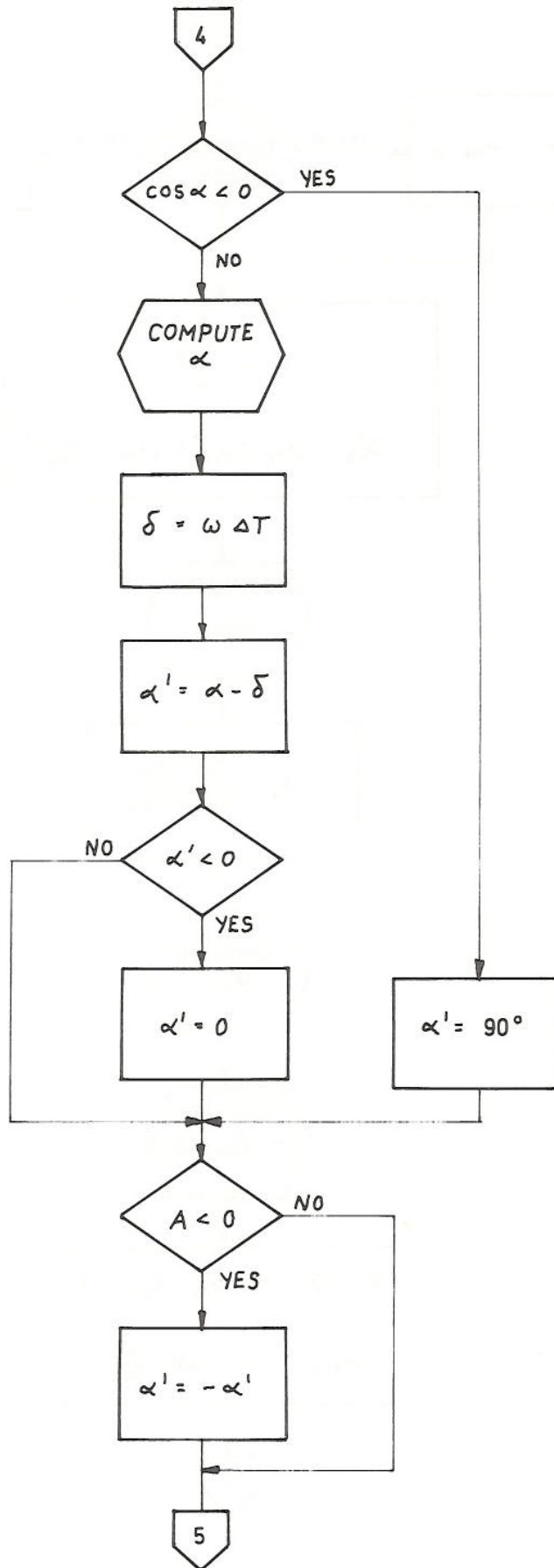
Variables in GCGD

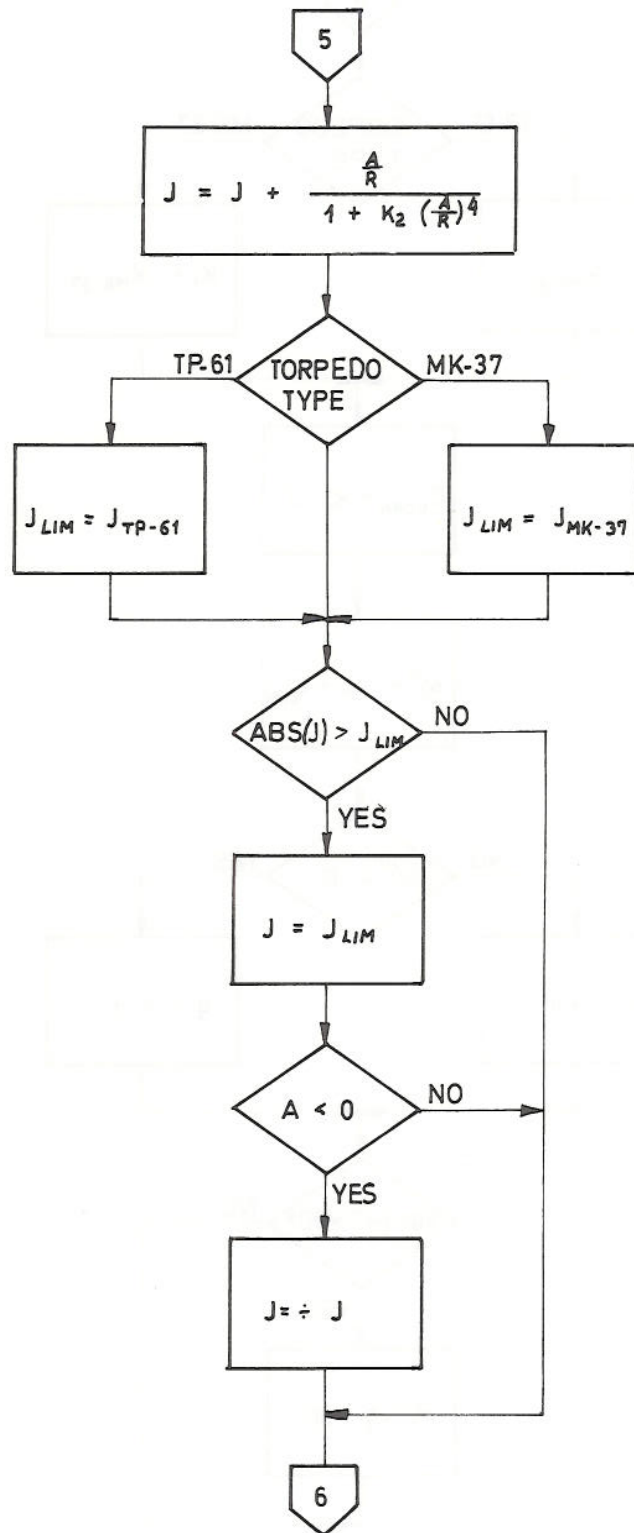
L_{TGT}	Target length
ϕ_{TGT}	Target bearing
X_{Os}, Y_{Os}	Own ship coordinates
X_{TP}, Y_{TP}	Torpedo coordinates
C_{TP}	Torpedo course
V_{TP}	Torpedo speed
ϕ_{TP}	Torpedo bearing
D_{TP}	Range to torpedo
I	Indicator for start of line of sight guidance
C	Torpedo course command
q	Sign
S	Torpedo position offset according to salvo spread
ω	Torpedo turn rate
$\omega_{TP-61}, \omega_{MK-37}$	Turn rate for the two torpedo types respectively
R	Torpedo turn radius
A	Distance from torpedo to line of sight
α	Uncorrected angle between torpedo course and line of sight at the moment of computation
α'	α at next course command computation
α''	Corrected angle between torpedo course and line of sight
δ	Torpedo turn angle between subsequent course command computations
ΔT	Time interval between subsequent course command computations
C_{CORR}	Torpedo course correction angle
J	Integral of modified distance from torpedo to line of sight
J_{LIM}	Upper limit of J
J_{TP-61}, J_{MK-37}	J_{LIM} of the two torpedo types respectively
K_1, K_2	Constants in integral term
K_{TP-61}, K_{MK-37}	K_1 of the two torpedo types respectively
T_{ENT}	Time for next course command computation
T	Current system time

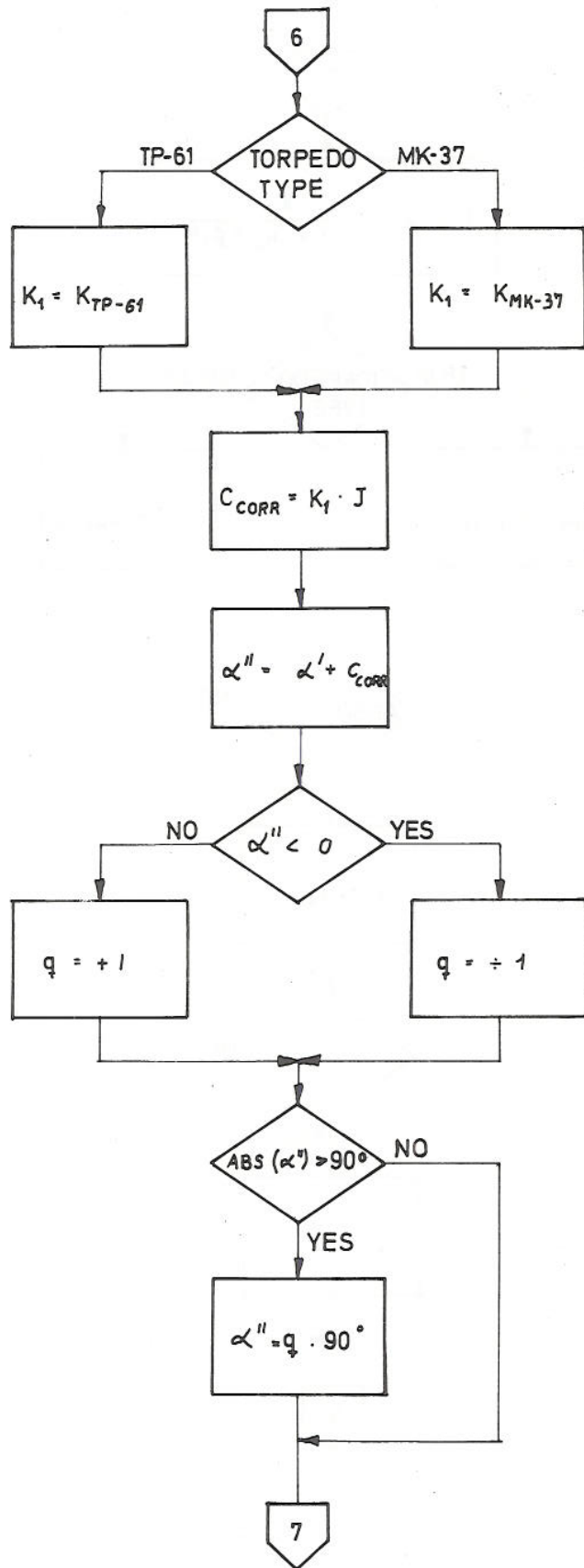


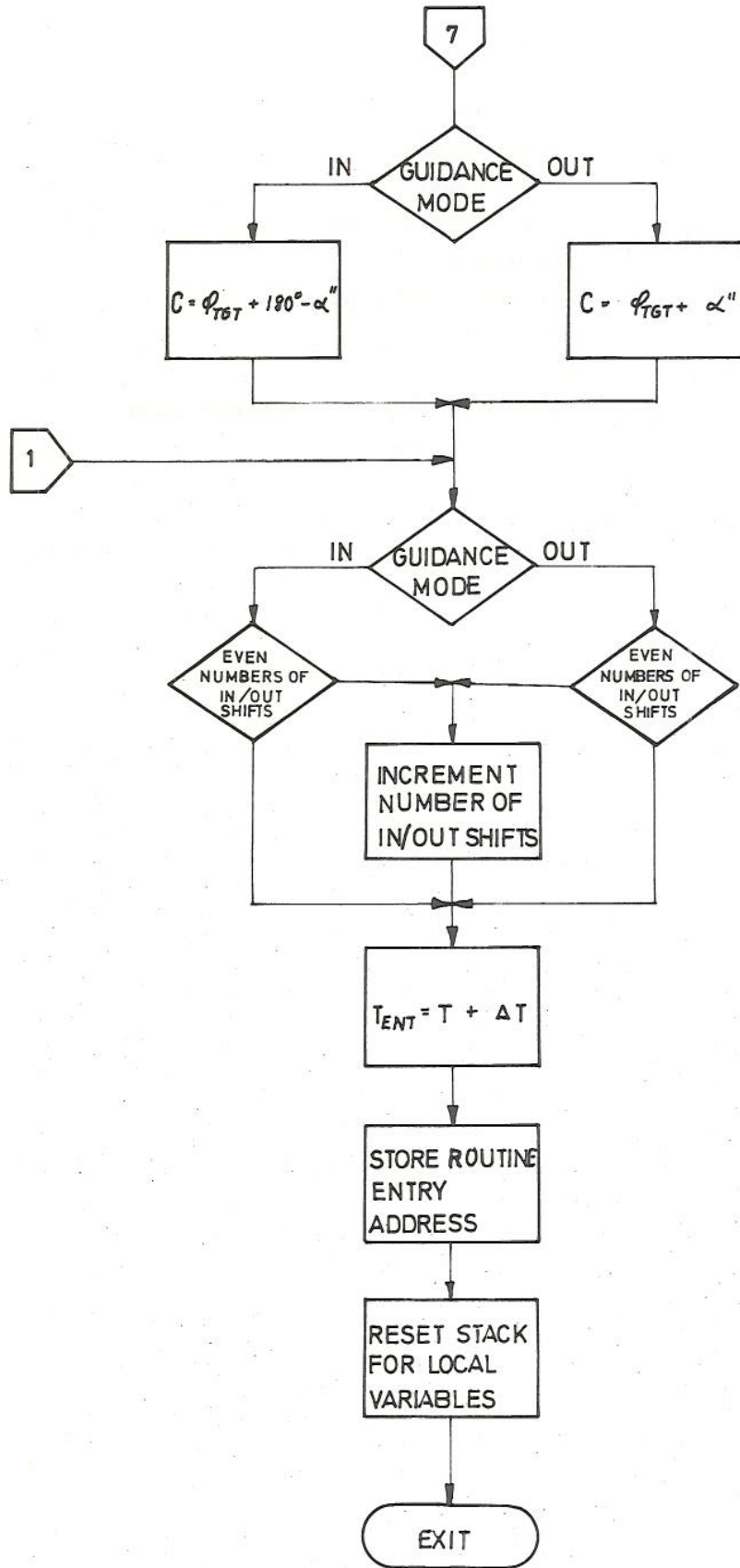






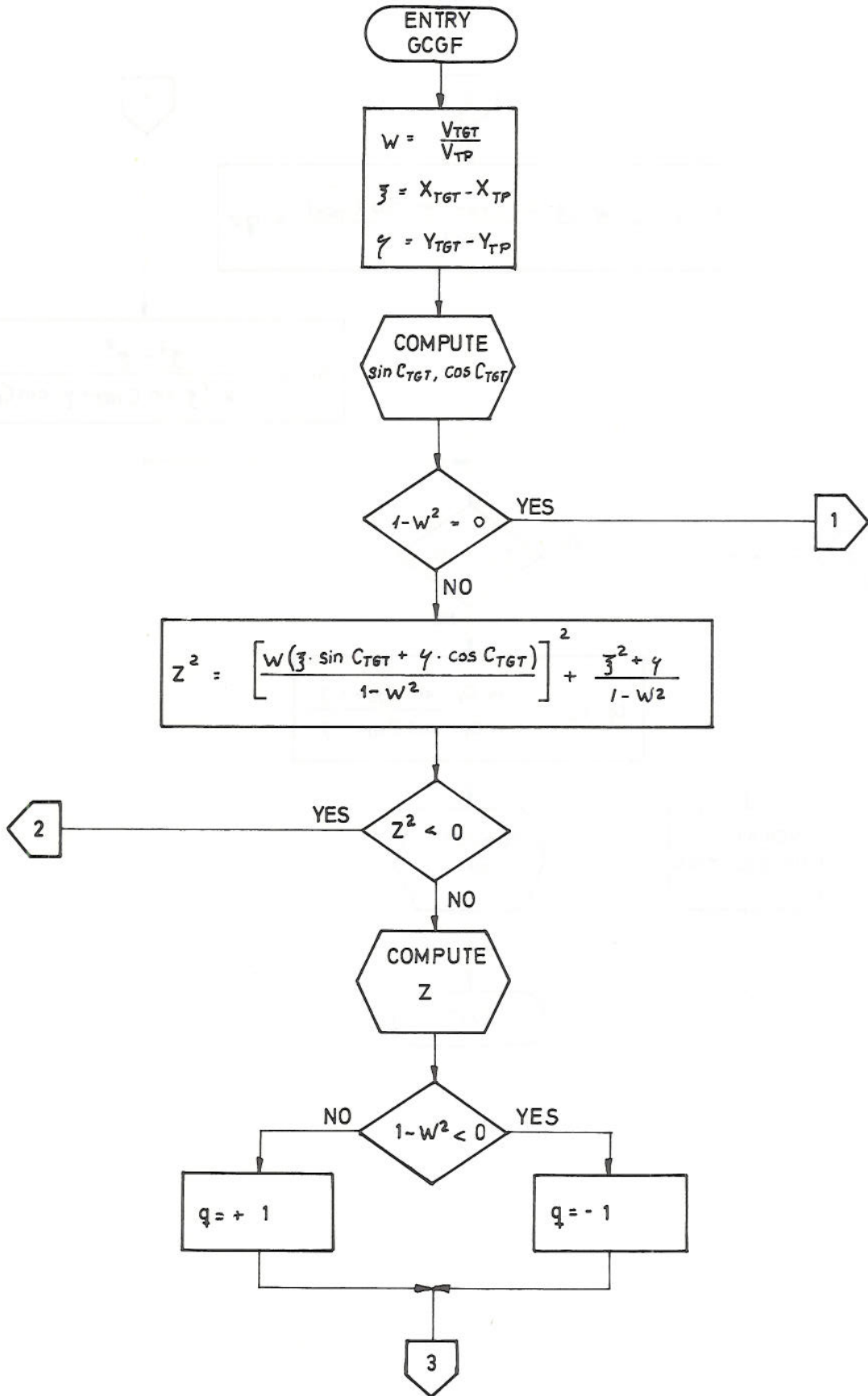


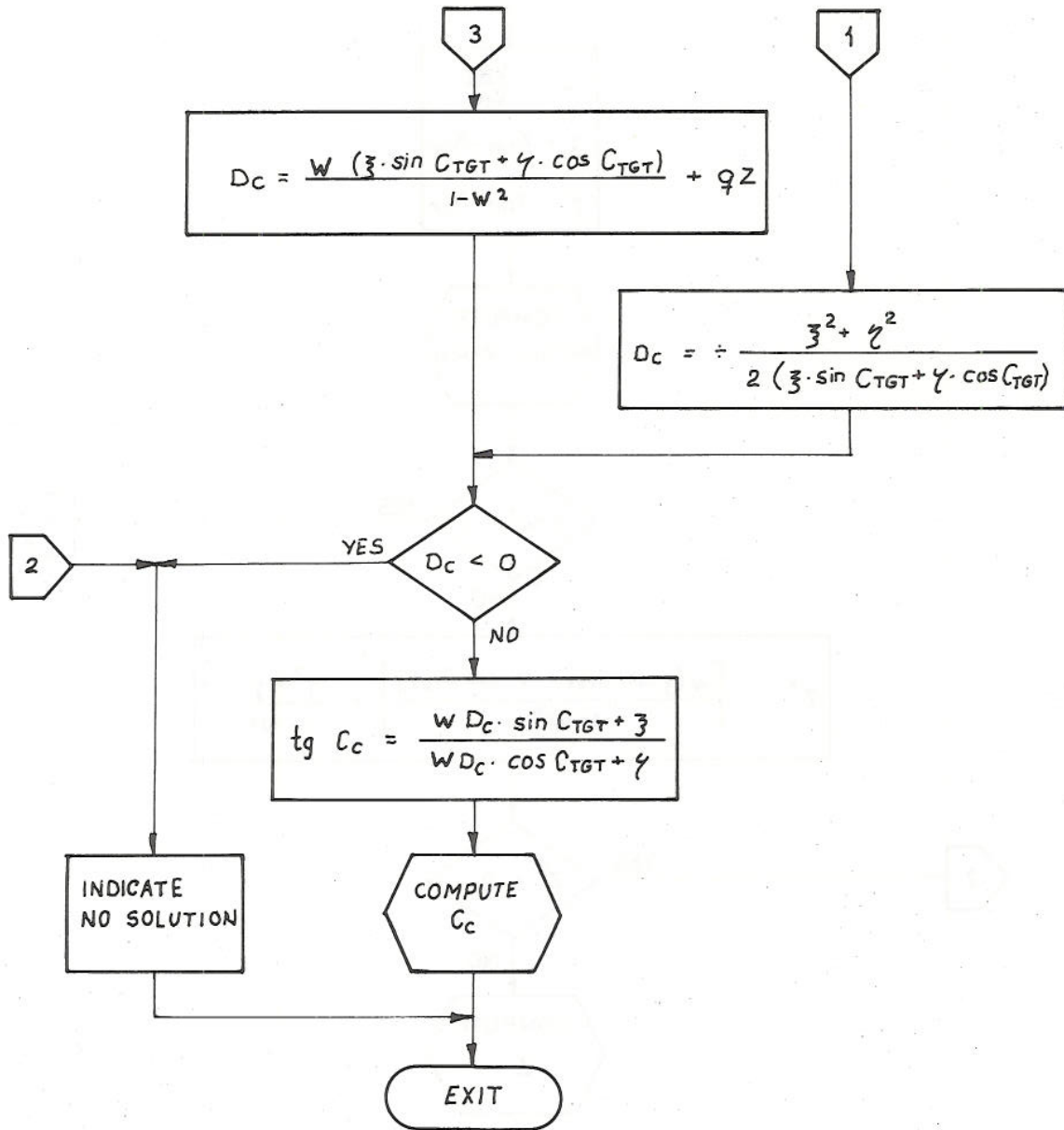




Variables in GCGF

C_{TGT}	Target course
V_{TGT}	Target speed
X_{TGT}, Y_{TGT}	Target coordinates
V_{TP}	Torpedo speed
X_{TP}, Y_{TP}	Torpedo coordinates
w	Speed ratio
ξ, η	Coordinate differences
z	Temporary variable
q	Sign
D_c	Range from torpedo to collision point
C_c	Collision course





LISTINGER

GCCG stack

-75	Salvo file address
-74	θ_R
-73	Temporary variable
-70	Temporary variable
-67	Temporary variable
-64	$\sin C_c$
-63	$\cos C_c$
-62	$\sin C_{os}$
-61	$\cos C_{os}$
-60	$\text{abs}(\theta)$
-59	θ
-58	X_{TGT} and X'_{TGT}
-55	Y_{TGT} and Y'_{TGT}
-52	V_{TGT}^y
-49	V_{TGT}^x
-46	D_{ACC}
-43	T_{ACC}
-40	R
-37	Tube file address and indicator of iteration start
-36	Return address
-35	C_{os}
-34	V_{os}
-33	X_{os} and X'_{os}
-30	Y_{os} and Y'_{os}
-27	C_{TGT}
-26	V_{TGT}
-25	X_{TGT} (predicted till the time of initial run end)
-22	Y_{TGT} (predicted till the time of initial run end)
-19	V_{TP}
-18	X_{TP}
-15	Y_{TP}
-12	C_c
-11	T_c
-8	D_c
-5	X-comp of D_c
-2	Y-comp of D_c

```

0001 * PROGRAM GCCG COMPUTES GYRO ANGLE OF MK-37 TORPEDO AND INITIAL RUN
0002 * QUANTITIES
0003 *
0004 *
0005 LIBR GCCG;GBAE;GBAF;GBAG;GBAH;GBAJ;GBAK
0006 XTRN CAAS;EAAX;EAAY;EABC;EABV
0007 GCCG AAB 75
0008 STL -36,B
0009 STX -37,B
0010 *
0011 * PREPARE INPUT DATA
0012 *
0013 MIN =A(CAAS),I
0014 LDY -75,B ADDR. OF SALVO FILE
0015 LDY =A(2),I,X ADDR. OF TARGET DATA FILE
0016 LDD =A(3),I,X TARGET COURSE AND SPEED
0017 STD -27,B
0018 LDF =A(11),I,X TARGET X-COORD.
0019 STF -58,B
0020 LDF =A(17),I,X TARGET Y-COORD.
0021 STF -55,B
0022 LDF =A(14),I,X TARGET SPEED X-COMP.
0023 STF -49,B TARGET SPEED Y-COMP.
0024 LDF =A(20),I,X
0025 STF -52,B
0026 LDA =A(EABC),I OWN SHIP COURSE
0027 STA -35,B
0028 LDA =A(EABV),I OWN SHIP SPEED
0029 STA -34,B
0030 LDF =A(EAAX),I OWN SHIP X-COORD.
0031 STF -33,B
0032 LDF =A(EAAY),I OWN SHIP Y-COORD.
0033 STF -30,B
0034 CALL CAAT
0035 LDY -37,B ADDR. OF TUBE FILE
0036 LDL =A(0),I,X TORPEDO TYPE
0037 LDA =A(22),I,X TORPEDO SPEED
0038 STA -19,B
0039 SAX 0 WAR TYPE, LOW SPEED
0040 RSZR 0,L
0041 AAX 1
0042 SUB =#24000 10 M/S
0043 RSON 15,A
0044 AAX 2
0045 STX -70,B
0046 LDA =A(GCCG06),I,X TURN RADIUS
0047 NLZ +16
0048 STF -40,B
0049 LDA =A(GCCG07),I,X ACCELERATION TIME
0050 LDL =#14632 TIME CONVERTING CONST.
0051 RMPY A,L
0052 NLZ +16
0053 STF -43,B
0054 LDA =A(GCCG08),I,X ACCELERATION DISTANCE
0055 NLZ +16
0056 STF -46,B
0057 *
0058 *UPDATE TARGET OWN SHIP AND TORPEDO TILL FVS OPERATES
0059 *
0060 LDA =A(GCCG09),I PREDICT TIME
0061 RMPY A,L
0062 NLZ +16
0063 STF -67,B
0064 LDF -49,B TARGET SPEED X-COMP.
0065 FDU -67,B PREDICT TIME
0066 FAD -58,B TARGET X-COORD.

```


0067	STF	-58,B	
0068	STF	-25,B	
0069	LDF	-52,B	TARGET SPEED Y-COMP.
0070	FMU	-67,B	PREDICT TIME
0071	FAD	-55,B	TARGET Y-COORD.
0072	STF	-55,B	
0073	STF	-22,B	
0074	LDA	-35,B	OWN SHIP COURSE
0075	CALL	DABA	COMPUTE SINUS
0076	STA	-62,B	
0077	LDX	-34,B	OWN SHIP SPEED
0078	RMPY	A,X	
0079	NLZ	+7	
0080	FMU	-67,B	PREDICT TIME
0081	FAD	-33,B	OWN SHIP X-COORD.
0082	STF	-33,B	
0083	STF	-18,B	
0084	LDA	-35,B	OWN SHIP COURSE
0085	CALL	DACA	COMPUTE COSINUS
0086	STA	-61,B	
0087	RMPY	A,X	
0088	NLZ	+7	
0089	FMU	-67,B	PREDICT TIME
0090	FAD	-30,B	OWN SHIP Y-COORD.
0091	STF	-30,B	
0092	STF	-15,B	
0093	SAA	0	INITIAL VALUE OF TURN ANGLE
0094	STA	-37,B	
0095	LDX	-75,B	SALVO FILE ADDR.
0096	LDA	=A(7),I,X	MODE SEL. STATUS
0097	JAF	GCCG01	
0098	LDX	-70,B	
0099	LDA	=A(GCCG07),I,X	ACCELERATION TIME
0100	STA	=A(GBAE),I	
0101	LDA	=A(GCCG08),I,X	ACCELERATION DISTANCE
0102	STA	=A(GBAF),I	
0103	SAA	0	
0104	STA	=A(GBAG),I	
0105	STA	=A(GBAH),I	
0106	JMP	=A(GCCG03-4),I	
0107	FILL		
0108	*		
0109	* COMPUTE TURN ANGLE		
0110	*		
0111	GCCG01 CALL	GCGF	COMPUTE COLLISION COURSE
0112	JMP	=A(GCCG03),I	
0113	LDF	-8,B	RANGE TO COLL. POINT
0114	FSB	=F11900.0	WIRE LENGTH
0115	BS0N	15,T	
0116	JMP	=A(GCCG03),I	NO SOLUTION
0117	LDA	-12,B	COLLISION COURSE
0118	SUB	-35,B	OWN SHIP COURSE
0119	B0NE	15,X	
0120	STX	=A(GBAK),I	
0121	LDW	14,A	
0122	STW	15,A	
0123	STA	-59,B	
0124	BSZR	15,A	
0125	CPYC	A,A	
0126	LDL	=#30000	135 DEGREES
0127	RSUB	L,A	
0128	JAN	++9	
0129	BSZR	W	
0130	CPYC	L,L	
0131	STL	-59,B	
0132	LDA	-35,B	OWN SHIP COURSE
0133	RADD	L,A	
0134	BZR0	15,A	

0135	STA	=A(GRAK),I	
0136	STA	-12,B	
0137	LDA	-59,B	TURN ANGLE
0138	BSZR	15,A	
0139	CPYC	A,A	
0140	STA	-60,B	
0141	*		
0142	*	UPDATE TORPEDO AND TARGET TILL END OF TURN	
0143	*		
0144	LDA	-12,B	COLLISION COURSE
0145	LDX	-59,B	TURN ANGLE
0146	CALL	DABA	COMPUTE SINUS
0147	STA	-64,B	
0148	SRL	+17	
0149	LDA	-62,B	SINUS OWN SHIP COURSE
0150	SRA	1	
0151	RSUB	A,D	
0152	COPY	D,A	
0153	NLZ	+2	
0154	FMU	-40,B	TURN RADIUS
0155	BSZR	15,X	
0156	BCOM	15,T	
0157	FAD	-30,B	OWN SHIP Y-COORD.
0158	STF	-15,B	
0159	LDA	-12,B	COLLISION COURSE
0160	CALL	DACA	COMPUTE COSINUS
0161	STA	-63,B	
0162	SRL	+17	
0163	LDA	-61,B	COSINUS OWN SHIP COURSE
0164	SRA	1	
0165	RSUB	D,A	
0166	NLZ	+2	
0167	FMU	-40,B	TURN RADIUS
0168	BSZR	15,X	
0169	BCOM	15,T	
0170	FAD	-33,B	OWN SHIP X-COORD.
0171	STF	-18,B	
0172	LDA	-60,B	ABSOLUTE VALUE OF TURN ANGLE
0173	NLZ	+2	
0174	FMU	GCCG05	PI
0175	FMU	-40,B	TURN RADIUS
0176	FSB	-46,B	ACCELERATION DISTANCE
0177	RSOIN	15,T	
0178	JMP	**15	
0179	BCOM	15,T	
0180	STF	-70,B	
0181	LDA	-64,B	SINUS COLLISION COURSE
0182	NLZ	+1	
0183	FMU	-70,B	TEMPORARY QUANTITY
0184	FAD	-18,B	TORPEDO X-COORD.
0185	STF	-18,B	
0186	LDA	-63,B	COSINUS COLLISION COURSE
0187	NLZ	+1	
0188	FMU	-70,B	TEMPORARY QUANTITY
0189	FAD	-15,B	TORPEDO Y-COORD.
0190	STF	-15,B	
0191	LDF	-43,B	ACCELERATION TIME
0192	JMP	**8	
0193	STF	-70,B	
0194	LDA	-19,B	TORPEDO SPEED
0195	NLZ	+6	
0196	STF	-73,B	
0197	LDF	-70,B	TEMPORARY QUANTITY
0198	FDV	-73,B	TEMPORARY QUANTITY
0199	FAD	-43,B	ACCELERATION TIME
0200	STF	-70,B	
0201	LDF	-49,B	TARGET SPEED X-COMP.
0202	FMU	-70,B	TEMPORARY QUANTITY

0203	FAD	-58,B	TARGET X-CØØRD.
0204	STF	-25,B	
0205	LDF	-52,B	TARGET SPEED Y-CØMP.
0206	FMU	-70,B	TEMPØRARY QUANTITY
0207	FAD	-55,B	TARGET Y-CØØRD.
0208	STF	-22,B	
0209	LDA	-37,B	FIRST ITERATION INDICATOR
0210	JAF	++3	
0211	MIN	-37,P	
0212	JMP	++10	
0213	LDA	-59,B	TURN ANGLE
0214	SUB	-74,B	ØLD VALUE
0215	BSZR	14,A	
0216	CPYC	A,A	
0217	BSZR	13,A	
0218	JMP	GCCG03	NØ SOLUTION, COLL. POINT TØØ CLOSE
0219	BZRØ	15,A	
0220	SRA	4	
0221	JAZ	GCCG02	
0222	LDA	-59,B	TURN ANGLE
0223	STA	-74,B	
0224	JMP	GCCG01	
0225	FILL		
0226	*		
0227	*PREPARE	ØUTPUT DATA	
0228	*		
0229	GCCG02	LDF -70,B	INITIAL RUN TIME
0230		DNZ -9	
0231		LDL =Ø12000	
0232		RMPY A,L	
0233		STA GBÆE	
0234		LDF -15,B	TØRPEDØ Y-CØØRD.
0235		FSB -30,B	ØWN SHIP Y-CØØRD.
0236		STF -70,B	
0237		FMU -70,B	
0238		STF -73,B	
0239		LDF -18,B	TØRPEDØ X-CØØRD.
0240		FSB -33,B	ØWN SHIP X-CØØRD.
0241		STF -67,B	
0242		FMU -67,B	
0243		FAD -73,B	
0244		CALL DAGA	TEMPØRARY QUANTITY
0245		DNZ -16	ØMPUTE SQUARE ROOT
0246		STA GBÆF	
0247		LDF -67,B	TEMPØRARY QUANTITY
0248		CØPY T,X	
0249		FDV -70,B	TEMPØRARY QUANTITY
0250		CALL DAFA	ØMPUTE ARC TANGENT
0251		FDV GCCG05	PI
0252		DNZ -2	
0253		LDW 15,X	
0254		STW 14,A	
0255		SUR -35,B	ØWN SHIP CØURSE
0256		BZRØ 15,A	
0257		STA GBÆG	
0258		LDA -59,B	TURN ANGLE
0259		BZRØ 15,A	
0260		STA GBÆH	
0261		CØPY A,L	
0262		SUR GCCG04	ØLD GYRØ ANGLE
0263		BZRØ 15,A	
0264		BZRØ 14,A	
0265		-JAF ++3	
0266		SAA 100	
0267		IØA Ø344	
0268		CØPY L,A	
0269		STA GCCG04	
0270		SRA 1	

0271		I0A	#344	
0272		LDA	-35,B	OWN SHIP COURSE
0273		STA	GBAJ	
0274		MIN	-36,B	
0275	GCCG03	LDL	-36,B	
0276		AAR	-75	
0277		EXIT		
0278		FILL		
0279	GCCG04	DC	0	STORED GYRO ANGLE
0280	GCCG05	DC	F3.14159265	
0281	GCCG06	DC	39	TURN RAD. FOR WAR TYPE, LOW SPEED
0282		DC	39	PRACT. TYPE, LOW SPEED
0283		DC	60	WAR TYPE, HIGH SPEED
0284		DC	60	PRACT. TYPE, HIGH SPEED
0285	GCCG07	DC	175	ACCELERATION TIME
0286		DC	175	
0287		DC	115	
0288		DC	115	
0289	GCCG08	DC	153	ACCELERATION DISTANCE
0290		DC	153	
0291		DC	125	
0292		DC	125	
0293	GCCG09	DC	67	PREDICT TIME
0294	GBAE	DC	0	INITIAL RUN TIME
0295	GBAF	DC	0	RANGE OWN SHIP - TORPEDO
0296	GBAG	DC	0	TORPEDO BEARING
0297	GBAH	DC	0	TURN ANGLE
0298	GBAJ	DC	0	OWN SHIP INITIAL COURSE
0299	GBAK	DC	0	TORPEDO COURSE AT 135 DEGREES LIMIT
0300	WRIT	GCCG	GCCG01 GCCG02 GCCG03 GCCG04 GCCG05 GCCG06 GCCG07 GCCG08	
0301	WRIT	GCCG09	GBAE GBAF GBAG GBAH GBAJ GBAK	
0302	KILL	GCCG01	GCCG02 GCCG03 GCCG04 GCCG05 GCCG06 GCCG07 GCCG08 GCCG09	
0303		END		

GCDB stack

- 12 Salvo file address
- 11 Temporary variable
- 10 Y_{os}
- 7 X_{os}
- 4 C_{os}
- 3 T
- 1 Tube no
- 0 Return address

```

0001 *PROGRAM GCDB UPDATES THE MK-37 TORPEDO TO END OF INITIAL RUN
0002 *
0003 *
0004 LIBR GCDB
0005 XTRN CAAS;CAAR;EAAX;EAAY;EABC;GBAD;GBDA;GBAE;GBAF;GBAG;GBAH
0006 GCDB AAR 12
0007 STL 0,B
0008 STX -1,B
0009 MIN =A(CAAS),I
0010 SAX -1
0011 LDD =A(CAAR),I,X SYSTEM TIME
0012 STD -3,B
0013 LDA =A(EABC),I OWN SHIP COURSE
0014 STA -4,B
0015 LDF =A(EAAX),I OWN SHIP X-COORD.
0016 STF -7,B
0017 LDF =A(EAAY),I OWN SHIP Y-COORD.
0018 STF -10,B
0019 CALL CAAT
0020 LDX -1,B
0021 LDA =A(GBAD),I LENGTH OF TUBE FILE
0022 RMPY A,X
0023 LDX =A(GBDA) START ADR. OF TUBE FILES
0024 RADD D,X
0025 LDD -3,B SYSTEM TIME
0026 LDL =A(GBAE),I INITIAL RUN TIME
0027 RADD L,D
0028 RADY Z,A
0029 STD =A(28),I,X
0030 LDA =A(GBAH),I
0031 ADD -4,B GYRO SETTING
0032 BZR0 15,A OWN SHIP COURSE
0033 STA =A(23),I,X
0034 STA =A(24),I,X
0035 LDA =A(GBAG),I TORPEDO BEARING REL. TO OWN SHIP AX
0036 ADD -4,B OWN SHIP COURSE
0037 BZR0 15,A
0038 STA -11,B
0039 CALL DABA COMPUTE SINUS
0040 LDL =A(GBAF),I RANGE OWN SHIP - TORPEDO
0041 RMPY A,L
0042 NLZ +17
0043 FAD -7,B OWN SHIP X-COORD.
0044 STF =A(10),I,X
0045 LDA -11,B TEMPORARY QUANTITY
0046 CALL DACA COMPUTE COSINUS
0047 LDL =A(GBAF),I RANGE OWN SHIP - TORPEDO
0048 RMPY A,L
0049 NLZ +17
0050 FAD -10,B OWN SHIP Y-COORD.
0051 STF =A(13),I,X
0052 LDA =A(2),I,X
0053 B0NE 15,A
0054 STA =A(2),I,X
0055 COPY X,T
0056 LDX -12,B SALVO FILE ADDRESS
0057 LDX =A(2),I,X ADDRESS TO ACTUAL TARGET DATA
0058 LDA =A(1),I,X RANGE 03-TGT
0059 COPY T,X
0060 STA =A(27),I,X SET RANGE TO TARGET
0061 LDL 0,B
0062 AAR -12
0063 EXIT
0064 FILL
0065 )WRIT GCDB
0066 END

```


GCDD stack

-13	Salvo file address
-12	Temporary variable
-11	Y_{os}
-8	X_{os}
-5	V_{os}
-4	C_{os}
-3	T
-1	Tube no
0	Return address

```

0001 *PROGRAM GCDD UPDATES THE TP-61 TORPEDO TO END OF INITIAL RUN
0002 *
0003 *
0004 LIBR GCDD
0005 XTRN CAAS;CAAR;EABC;EABV;EAAX;EAAY;GBAD;GBDA
0006 GCDD AAB 13
0007 STL 0,B
0008 STX -1,B
0009 MIN =A(CAAS),I
0010 SAX -1
0011 LDD =A(CAAR),I,X SYSTEM TIME
0012 STD -3,B
0013 LDA =A(EABC),I OWN SHIP COURSE
0014 STA -4,B
0015 LDA =A(EABV),I OWN SHIP SPEED
0016 STA -5,B
0017 LDF =A(EAAX),I OWN SHIP X-COORD.
0018 STF -8,B
0019 LDF =A(EAAY),I OWN SHIP Y-COORD.
0020 STF -11,B
0021 CALL CAAT
0022 LDX -1,B
0023 LDA =A(GBAD),I LENGTH OF TUBEFILE
0024 RMPY A,X
0025 LDX =A(GBDA) START ADRESS OF TUBE FILES
0026 FADD D,X
0027 LDA GCDD01 TIME IN TUBE
0028 ADD GCDD02 ACCELERATION TIME
0029 COPY A,L
0030 LDD -3,B SYSTEM TIME
0031 RADD L,D
0032 RADY Z,A
0033 STD =A(28),I,X ROUTINE ACTIVATING TIME
0034 LDA GCDD01 TIME IN TUBE
0035 LDL =#63
0036 RMPY A,L
0037 LDA -5,B OWN SHIP SPEED
0038 RMPY A,D
0039 SRA 3
0040 ADD GCDD03 ACCELERATION DISTANCE
0041 STA -12,B
0042 LDA -4,B OWN SHIP COURSE
0043 STA =A(23),I,X TORPEDO COURSE
0044 STA =A(24),I,X
0045 CALL DABA COMPUTE SINUS
0046 LDL -12,B TEMPORARY QUANTITY
0047 RMPY A,L
0048 NLZ +17
0049 FAD -8,B OWN SHIP X-COORD.
0050 STF =A(10),I,X TORPEDO X-COORD. AT END OF INIT. RU
0051 LDA -4,B
0052 CALL DACA COMPUTE COSINUS
0053 LDL -12,B TEMPORARY QUANTITY
0054 RMPY A,L
0055 NLZ +17
0056 FAD -11,B
0057 STF =A(13),I,X TORPEDO Y-COORD. AT END OF INIT. RU
0058 LDA =A(2),I,X
0059 BONE 15,A
0060 STA =A(2),I,X
0061 COPY X,T
0062 LDX -13,B SALVO FILE ADDRESS
0063 LDX =A(2),I,X ADDRESS TO ACTUAL TARGET DATA
0064 LDA =A(1),I,X RANGE OS-TGT
0065 COPY T,X
0066 STA =A(27),I,X SETURANGE TO TARGET
0067 LDL 0,B

```

```
0068      AAB      -13
0069      EXIT
0070      FILL
0071 GCDD01      DC      42      TIME IN TUBE
0072 GCDD02      DC      80      ACCELERATION TIME
0073 GCDD03      DC     120      ACCELERATION DISTANCE
0074 )WRIT      GCDD GCDD01
0075 )KILL      GCDD01 GCDD02 GCDD03
0076      END
```

GCGA stack

-46	Salvo file address
-45	Temporary variable
-42	Temporary variable
-39	Tube file address
-38	T
-36	Tube no
-35	Return address
-28	C_{TP}
-27	C_{TGT}
-26	V_{TGT}
-25	X_{TGT}
-22	Y_{TGT}
-19	V_{TP}
-18	X_{TP}
-15	Y_{TP}
-12	C_c
-11	T_c
-8	D_c
-5	X-comp of D_c
-2	Y-comp of D_c

```

0001 * PROGRAM GCGA COMPUTES COLLISION COURSE, TIME TILL IMPACT AND RANGE TO
0002 * COLLISION POINT.
0003 *
0004 *
0005         XTRN   CAAS;CAAR;GBAD;GBDA;GBAJ
0006         LIBR   GCGA
0007 GCGA     AAB   46
0008         STL   -35,B
0009         STX   -36,B
0010 *
0011 * PREPARE INPUT DATA
0012 *
0013         MIN    =A(CAAS),I
0014         SAX    -1
0015         LDD    =A(CAAR),I,X
0016         STD    -38,B
0017         LDX    -46,B
0018         LDX    =A(2),I,X
0019         LDD    =A(3),I,X
0020         STD    -27,B
0021         LDF    =A(11),I,X
0022         STF    -25,B
0023         LDF    =A(17),I,X
0024         STF    -22,B
0025         LDX    -36,B
0026         LDA    =A(GBAD),I
0027         RMPY   A,X
0028         LDX    =A(GBDA)
0029         RADD   D,X
0030         STX    -39,B
0031         LDA    =A(22),I,X
0032         STA    -19,B
0033         LDA    =A(23),I,X
0034         STA    -28,B
0035         LDF    =A(10),I,X
0036         STF    -18,B
0037         LDF    =A(13),I,X
0038         STF    -15,B
0039         CALL   CAAT
0040 *
0041 * DETERMINE SPREAD DATA
0042 *
0043         LDX    -46,B
0044         LDL    =A(1),I,X
0045         BS0N   1,L
0046         JMP    GCGA01
0047         BS0N   0,L
0048         JMP    **4
0049         LDA    =A(5),I,X
0050         SUB    -36,B
0051         JAZ    GCGA01
0052         LDD    =A(2),I,X
0053         BS0N   0,L
0054         SRD    1
0055         LDA    =A(4),I,X
0056         SUB    -36,B
0057         JAF    **2
0058         CPYC   D,D
0059         COPY   D,X
0060         LDA    -27,B
0061         CALL   DABA
0062         RMPY   A,X
0063         NLZ    +17
0064         FAD    -25,B
0065         STF    -25,B
0066         LDA    -27,B

```

SYSTEM TIME

ADDR. OF SALVO FILE
ADDR. OF TARGET DATA FILE
TARGET COURSE AND SPEED

TARGET X-COORD.

TARGET Y-COORD.

TUBE NO.
LENGTH OF TUBE FILE

START ADDR. OF TUBE FILES

TORPEDO SPEED

TORPEDO COURSE

TORPEDO X-COORD.

TORPEDO Y-COORD.

ADDR. OF SALVO FILE
NUMBER OF TORPEDOS IN SALVO

SECOND SELECTED TUBE
TUBE NO.

SPREAD DATA IN D-REG.

FIRST SELECTED TUBE
TUBE NO9

TARGET COURSE
COMPUTE SINUS

TARGET X-COORD.

TARGET COURSE

0067	CALL	DACA	COMPUTE COSINUS
0068	RMPY	A,X	
0069	NLZ	+17	
0070	FAD	-22,B	TARGET Y-COORD.
0071	STF	-22,B	
0072	JMP	GCGA01	
0073	FILL		
0074	*		
0075	* TEST IF SOLUTION IS ACCEPTABLE		
0076	*		
0077	GCGA01 CALL	GCGF	COMP. COLL. COURSE, RANGE AND TIME
0078	JMP	GCGA00	
0079	LDA	-12,B	COLL. COURSE
0080	SUB	-28,B	TORPEDO COURSE
0081	BSZR	14,A	
0082	CPYC	A,A	
0083	BZR0	15,A	
0084	CALL	DABA	COMPUTE SINUS
0085	LDL	-19,B	TORPEDO SPEED
0086	RMPY	A,L	
0087	LDX	-39,B	TUBE FILE ADDR.
0088	LDX	=A(0),I,X	TORPEDO TYPE
0089	LDL	=07123	INVERSE TURN RATE TP-61
0090	BSZR	1,X	
0091	LDL	=03451	INVERSE TURN RATE MK-37
0092	RMPY	A,L	
0093	NLZ	+16	
0094	FSB	-8,B	RANGE TO COLL. POINT
0095	BSZR	15,T	
0096	JMP	++4	
0097	LDL	=300	30 SECONDS
0098	MIN	-35,B	
0099	JMP	GCGA00+1	
0100	LDA	-12,B	COLL. COURSE
0101	LDX	-39,B	TUBE FILE ADDR.
0102	LDL	=A(0),I,X	TORPEDO TYPE
0103	BS0N	1,L	
0104	JMP	++18	
0105	LDL	=A(GBAJ),I	
0106	BSZR	15,L	
0107	JMP	++15	
0108	RSUB	L,A	
0109	LDW	14,A	
0110	BSZR	W	
0111	CPYC	A,A	
0112	BZR0	15,A	
0113	SUB	=030000	135 DEGREES
0114	JAN	++7	
0115	LDA	=030000	
0116	BSZR	W	
0117	CPYC	A,A	
0118	RADD	L,A	
0119	BZR0	15,A	
0120	JMP	++2	
0121	LDA	-12,B	COLLISION COURSE
0122	STA	=A(24),I,X	
0123	*		
0124	* PREPARE OUTPUT DATA		
0125	*		
0126	CALL	GCGB	COMPUTE TERMINATING RUN
0127	LDX	-39,B	ADDR. OF TUBE FILE
0128	LDL	=A(1),I,X	TORPEDO STATE
0129	LDI	-8,B	RANGE TO COLLISION POINT
0130	DNZ	-16	
0131	BSZR	2,L	
0132	ADD	=A(40),I,X	ADDITIONAL RANGE
0133	STA	=A(27),I,X	
0134	LDI	-11,B	TIME TILL IMPACT

0135		DNZ	-27	
0136		LDA	=#50000	CONVERSION FACTOR
0137		RMPY	A,D	
0138		BSZR	2,L	
0139		ADD	=A(41),I,X	ADDITIONAL TIME
0140		STA	=A(26),I,X	
0141		COPY	L,T	
0142		SAL	40	ROUTINE ACTIVATING INTERVAL
0143		LDD	-38,B	SYSTEM TIME
0144		RADD	L,D	
0145		RADY	Z,A	
0146		STD	=A(28),I,X	
0147		MIN	-35,B	
0148		BSZN	2,T	
0149		JMP	GCGA00+6	
0150		SUB	=A(34),I,X	MANEUVER START TIME
0151		JAN	GCGA00+6	
0152		JAF	++4	
0153		COPY	D,A	
0154		SUB	=A(35),I,X	MANEUVER START TIME
0155		JAN	GCGA00+6	
0156		LDA	=A(36),I,X	MANEUVER END COURSE
0157		SUB	=A(33),I,X	FIRST TURN END COURSE
0158		BSZR	14,A	
0159		CPYC	A,A	
0160		BZRØ	15,A	
0161		COPY	A,D	
0162		LDL	=A(0),I,X	TORPEDO TYPE
0163		LDA	=#3410	INVERSE TURN RATE TP-61
0164		BSZR	1,L	
0165		LDA	=#1604	INVERSE TURN RATE MK-37
0166		RMPY	A,D	
0167		COPY	A,L	
0168		LDD	=A(37),I,X	FIRST TURN END TIME
0169		JMP	GCGA00+3	
0170	GCGA00	SAL	40	ROUTINE ACTIVATING INTERVAL
0171		LDD	-38,B	SYSTEM TIME
0172		LDX	-39,B	TUBE FILE ADDR.
0173		RADD	L,D	
0174		RADY	Z,A	
0175		STD	=A(28),I,X	
0176		LDA	=A(GCGA)	ROUTINE ENTRY
0177		STA	=A(30),I,X	
0178		LDL	-35,B	
0179		AAB	-46	
0180		EXIT		
0181		FILL		
0182	WRIT	GCGA	GCGA01 GCGA00	
0183	KILL	GCGA01	GCGA00	
0184		END		

GCCB stack

-86	Temporary variable
-83	Temporary variable
-80	Tube file address
-79	T
-67	V_{TGT}
-60	V_{TP}
-53	C_c
-40	Return address
-39	V_{TP} (floating point)
-36	α
-35	R
-32	w
-29	$\cos \theta_1$
-26	$\sin \theta_1$
-23	K
-20	$\sin \gamma$
-17	$\cos \gamma$
-14	γ
-13	$w \sin \gamma$
-10	$\sin \alpha$
-7	$w \cos \alpha - 1$
-4	$\cos \alpha$
-1	β
0	θ_1

```

0001 * PROGRAM GCGB COMPUTES A TERMINATION RUN TO IMPROVE ATTACK ANGLE
0002 *
0003 *
0004 LIBR GCGB;GBAM
0005 GCGB LDX -36,B TUBE NO.
0006 MIN =A(GBAM),I,X TIME CONTRL
0007 EXIT
0008 AAB 41
0009 STL -40,B
0010 SAA -4
0011 STA =A(GBAM),I,X
0012 LDA -68,B TARGET COURSE
0013 SUB -53,E COLL. COURSE
0014 BZR0 15,A
0015 STA -36,B
0016 BSZR 13,A
0017 CPYC A,A
0018 AND =037777
0019 SUB =03434 20 DEGREES
0020 SAL 1 COLLISION MODE
0021 BSZR 15,A
0022 SAL 4 TERMINATION RUN MODE
0 3 LDX -80,B ADDR. OF TUBE FILE
0024 STL =A(1),I,X
0025 JAN ++4
0026 LDL -40,E
0027 AAB -41
0028 EXIT
0029 LDL =A(0),I,X TORPEDO TYPE
0030 LDX =01625 INVERSE TURN RATE TP-61
0031 BSZR 1,L
0032 LDX =0712 INVERSE TURN RATE MK-37
0033 LDA -60,B TORPEDO SPEED
0034 RMPY A,X
0035 NLZ +16
0036 STF -35,B
0037 LDA -60,B TORPEDO SPEED
0038 NLZ +6
0039 STF -39,B
0040 LDA -67,B TARGET SPEED
0041 NLZ +12
0042 FDV -39,B TORPEDO SPEED
0043 STF -32,B
0044 LDX =020000 START VALUE OF ITERATION ANGLE
0045 LDL =012525 IMPROVED ATTACK ANGLE (60 DEGREES)
0046 LDD -36,B PRESENT ATT. ANG. AND EXP. OF TURN
0047 BSZN 13,A
0048 JMP ++5
0049 CPYC X,X
0050 BC0M 15,D
0051 CPYC L,L
0052 BZR0 15,L
0053 LDX 14,A
0054 PSEW 13,A
0055 BC0M 14,L
0056 STX 0,B
0057 STL -1,B
0058 STD -36,B
0059 *
0060 * COMPUTE CONSTANT IN ITERATION EQUATION FOR FIRST TURN ANGLE
0061 *
0062 CALL DACA COMPUTE COSINUS
0063 NLZ +1
0064 STF -4,B COSINUS ATTACK ANGLE
0065 FMU -32,B SPEED RATIO
0066 FSR =A(GCGB03),I

```


0067	STF	-7,B	
0068	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0069	STF	-83,B	
0070	LDA	-36,B	PRESENT ATTACK ANGLE
0071	CALL	DABA	COMPUTE SINUS
0072	NLZ	+1	
0073	STF	-10,B	SINUS ATTACK ANGLE
0074	FMU	-32,B	SPEED RATIO
0075	STF	-13,B	
0076	LDA	-1,B	IMPROVED ATTACK ANGLE
0077	SUB	-36,B	PRESENT ATTACK ANGLE
0078	STA	-14,B	
0079	NLZ	+2	
0080	FMU	=A(GCGRO2),I	PI
0081	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0082	FAD	=A(GCGBO4),I	FINAL STRAIGHT RUN
0083	FMU	-13,B	
0084	FAD	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0085	STF	-83,B	
0086	LDF	-4,B	COSINUS ATTACK ANGLE
0087	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0088	STF	-86,B	
0089	LDF	-10,B	SINUS ATTACK ANGLE
0090	FMU	=A(GCGBO4),I	FINAL STRAIGHT RUN
0091	FSB	-86,B	TEMPORARY QUANTITY
0092	FMU	-32,B	SPEED RATIO
0093	FAD	-35,B	TURN RADIUS
0094	STF	-86,B	
0095	LDA	-14,B	
0096	BZR0	15,A	
0097	CALL	DACA	COMPUTE COSINUS
0098	NLZ	+1	
0099	STF	-17,B	
0100	FMU	-86,B	TEMPORARY QUANTITY
0101	FSB	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0102	STF	-83,B	
0103	LDF	-10,B	
0104	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0105	STF	-86,B	
0106	LDF	-4,B	
0107	FMU	=A(GCGBO4),I	FINAL STRAIGHT RUN
0108	FAD	-86,B	TEMPORARY QUANTITY
0109	FMU	-32,B	SPEED RATIO
0110	FSB	=A(GCGBO4),I	
0111	STF	-86,B	
0112	LDA	-14,B	
0113	BZR2	15,A	
0114	CALL	DABA	COMPUTE SINUS
0115	NLZ	+1	
0116	STF	-20,B	
0117	FMU	-86,B	TEMPORARY QUANTITY
0118	FAD	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0119	FDV	-35,B	TURN RADIUS
0120	RADD,N	Z,T	
0121	STF	-23,B	
0122	LDA	0,B	ITERATION ANGLE
0123	JMP	GCGBO1	
0124	FILL		
0125	*		
0126	* ITERATION OF FIRST TURN ANGLE		
0127	*		
0128	GCGBO1 BZR0	15,A	
0129	CALL	DABA	COMPUTE SINUS
0130	NLZ	+1	
0131	STF	-26,B	SINUS ITERATION ANGLE
0132	FMU	-7,B	
0133	STF	-83,B	
0134	LDA	0,B	ITERATION ANGLE

0135	BZRM	15,A	
0136	CALL	DACA	COMPUTE COSINUS
0137	NLZ	+1	
0138	STF	-29,B	COSINUS ITERATION ANGLE
0139	FSB	GCG803	CONST, 1.0
0140	FMU	-13,B	
0141	FSB	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0142	STF	-83,B	
0143	LDA	0,B	ITERATION ANGLE
0144	NLZ	+2	
0145	FMU	GCG802	PI
0146	FSB	-26,B	
0147	RCOM	15,T	
0148	FMU	-13,B	
0149	STF	-86,B	
0150	LDF	-29,B	
0151	FMU	-7,B	
0152	FAD	-86,B	TEMPORARY QUANTITY
0153	FAD	-23,B	
0154	FDV	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0155	FDV	GCG802	PI
0156	DNZ	-2	
0157	STA	-83,B	
0158	JAP	**2	
0 9	CPYC	A,A	
0160	SRA	9	
0161	COPY	A,X	
0162	LDA	0,B	ITERATION ANGLE
0163	SUB	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0164	STA	0,B	
0165	JXZ	**2	
0166	JMP	GCG801	
0167	*		
0168	*PREPARE	OUTPUT	
0169	*		
0170	LDX	-80,B	ADDR. OF TUBE FILE
0171	LDA	0,B	FIRST TURN ANGLE
0172	ADD	-53,B	COLL. COURSE
0173	BZRM	15,A	
0174	STA	=A(33),I,X	
0175	LDA	-53,B	COLL. COURSE
0176	SUB	-14,B	ATTACK ANGLE IMPROVEMENT
0177	BZRM	15,A	
0 8	STA	=A(36),I,X	
0179	LDF	-17,B	
0180	FMU	GCG804	FINAL STRAIGHT RUN
0181	STF	-83,B	
0182	LDF	-20,B	
0183	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0184	FAD	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0185	STF	-83,B	
0186	LDF	-26,B	
0187	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0188	CPYI	T,T	
0189	FAD	-83,B	TEMPORARY QUANTITY
0190	STF	-83,B	
0191	LDF	=F10.0	TIME CONVERTING CONST.
0192	FDV	-39,B	TORPEDO SPEED
0193	DNZ	-2	
0194	COPY	A,L	
0195	LDA	0,B	FIRST TURN ANGLE
0196	SLA	1	
0197	ADD	-14,B	
0198	NLZ	+2	
0199	FMU	GCG802	PI
0200	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0201	FAD	GCG804	FINAL STRAIGHT RUN
0202	STF	-86,B	


```

0203 FMU -32,B
0204 FMU -4,B
0205 FSR -83,B
0206 FDV -7,B
0207 STF -83,B
0208 BONE 15,T
0209 FAD -86,B
0210 DNZ -16
0211 STA =A(40),I,X
0212 SLL 2
0213 RMPY A,L
0214 STA =A(41),I,X
0215 LDF -49,B
0216 FSR -83,B
0217 DNZ -16
0218 RMPY A,L
0219 COPY A,T <544 2
0220 LDD -79,B
0221 RADD T,D
0222 RADY Z,A
0223 STD =A(34),I,X
0224 LDA 0,B
0225 NLZ +2
0226 FMU GCGB02
0227 FMU -35,B
0228 DNZ -14
0229 RMPY A,L
0230 COPY A,T
0231 LDD =A(34),I,X
0232 RADD T,D
0233 RADY Z,A
0234 STD =A(37),I,X
0235 LDL -40,B
0236 AAB -41
0237 EXIT
0238 FILL
0239 GCGB02 DC F3.14159265
0240 GCGB03 DC F1.0
0241 GCGB04 DC F400.0
0242 GBAM DC -1
0243 DC -1
0244 DC -1
0245 DC -1
0246 DC -1
0247 DC -1
0248 DC -1
0249 DC -1
0250 )WRIT GCGB GCGB01 GCGB02
0251 )KILL GCGB01 GCGB02 GCGB03 GCGB04
0252 END

```

SPEED RATIO

TEMPORARY QUANTITY

TEMPORARY QUANTITY

RANGE TORPEDO - OLD COLL. POINT
TEMPORARY QUANTITY

SYSTEM TIME

FIRST TURN ANGLE

PI
TURN RADIUS

FINAL STRAIGHT RUN
TIME CONTROL

GCGC stack

-53	Salvo file address
-52	$\cos \beta$
-49	$\sin \beta$
-46	V_{TP} (floating point)
-43	β_0
-42	D_2
-39	D_1
-36	I_1, I_2 and I_3
-35	R
-32	θ
-31	β
-30	D_0
-27	$\cos \alpha$
-24	$\sin \alpha$
-21	α
-20	w
-17	Temporary variable
-14	Temporary variable
-11	Temporary variable
-8	V_{TP}
-7	C_{TP}
-6	T
-4	C_{TGT}
-3	V_{TGT}
-2	φ_{TGT}
-1	Tube no
0	Return address

0001 * PRZGRAM GCGC COMPUTES TORPEDO TURN AFTER PASSING TARGET.

0002 *

0003 *

0004 XTRN CAAS;CAAR;GBDA;GBAD;GCGA

0005 LIAR GCGC

0006 GCGC AAR 53

0007 STL 0,B

0008 STX -1,B

0009 *

0010 * PREPARE INPUT DATA

0011 *

0012 MIN =A(CAAS),I

0013 LDX -53,B

ADDR. OF SALVO FILE
TARGET LENGTH

0014 LDA =A(3),I,X

0015 STA -30,B

0016 LDX =A(2),I,X

POINTER TO TARGET DATA
TARGET BEARING

0017 LDA =A(2),I,X

0018 STA -2,B

0019 LDD =A(3),I,X

TARGET COURSE AND SPEED

0020 STD -4,B

0021 SAX -1

0022 LDD =A(CAAR),I,X

SYSTEM TIME

0023 STD -6,B

0024 LDX -1,B

TUBE NO.

0025 LDA =A(GBAD),I

LENGTH OF TUBE FILE

0026 RMPY A,X

0027 LDX =A(GBDA)

START ADDR. OF TUBE FILES

0028 RADD D,X

0029 STX -1,B

0030 LDD =A(22),I,X

TORPEDO SPEED AND COURSE

0031 STD -8,B

0032 CALL CAAT

0033 NLZ +6

0034 STF -46,B

0035 LDA =A(9),I,X

TARGET PASSAGES

0036 AAA -3

0037 JAF **2

0038 JMP =A(GCGC07-1),I

0039 LDA -3,B

TARGET SPEED

0040 NLZ +12

0041 FDV -46,B

TORPEDO SPEED

0042 STF -20,B

0043 LDA -4,B

TARGET COURSE

0044 SUR -7,B

TORPEDO COURSE

0045 RZR0 15,A

0046 STA -21,B

0047 CALL DABA

COMPUTE SINUS

0048 NLZ +1

0049 STF -24,B

0050 LDA -21,B

OLD ATTACK ANGLE

0051 CALL DACA

COMPUTE COSINUS

0052 NLZ +1

0053 STF -27,B

0054 LDA -30,B

TARGET LENGTH

0055 NLZ +16

0056 LDL =A(9),I,X

TARGET PASSAGES

0057 BS0N 1,L

0058 JMP **3

0059 RAD1 Z,T

0060 B0NE 15,T

0061 STF -30,B

0062 LDA -2,B

TARGET BEARING

0063 SUB -4,B

TARGET COURSE

0064 BS0N 1,L

0065 R00M 14,A

0066 RZR0 15,A

```

0067      STA      -31,B
0068      STA      -43,B
0069      ADD      -21,B          OLD ATTACK ANGLE
0070      STA      -32,B
0071      LDL      =A(0),I,X      TORPEDO TYPE
0072      LDA      =A(22),I,X     TORPEDO SPEED
0073      LDX      =0,1625        INVERSE TURN RATE TP-61
0074      BSZR     1,L
0075      LDX      =0,712         INVERSE TURN RATE MK-37
0076      RMPY     A,X
0077      NLZ      +16
0078      LDL      -32,B          TORPEDO TURN
0079      BSZR     15,L
0080      BONE     15,T
0081      STF      -35,B
0082      SAA      0
0083      STA      -36,B
0084      STA      -8,B
0085      COPY     A,L
0086      JMP      GCGC00
0087      FILL
0088 *
0089 * COMPUTE STRAIGHT RUNS IN TURN MANEUVER
0090 *
0091 GCGC00 BSZR     0,L
0092      JMP      **+5
0093      LDA      -31,B          NEW ATTACK ANGLE
0094      CALL     DABA          COMPUTE SINUS
0095      NLZ      +1
0096      STF      -49,B
0097      LDF      -20,B          SPEED RATIO
0098      FSB      -27,B          COSINUS OLD ATTACK ANGLE
0099      FMU      -49,B          SINUS NEW ATTACK ANGLE
0100      STF      -11,B
0101      LDL      -36,B          TEST WORD
0102      BSZR     0,L
0103      JMP      **+5
0104      LDA      -31,B          NEW ATTACK ANGLE
0105      CALL     DACA          COMPUTE COSINUS
0106      NLZ      +1
0107      STF      -52,B
0108      LDF      -20,B          SPEED RATIO
0109      FSB      -52,B          COSINUS NEW ATTACK ANGLE
0110      STF      -14,B
0111      FMU      -24,B          SINUS OLD ATTACK ANGLE
0112      FAD      -11,B          TEMPORARY QUANTITY
0113      STF      -11,B
0114      LDF      -27,B          COSINUS OLD ATTACK ANGLE
0115      FSB      -52,B          COSINUS NEW ATTACK ANGLE
0116      STF      -17,B
0117      FMU      -14,B          TEMPORARY QUANTITY
0118      STF      -14,B
0119      LDA      -32,B          TURN ANGLE
0120      NLZ      +2
0121      FMU      =A(GCGC02),I   PI
0122      FMU      -20,B          SPEED RATIO
0123      BC0M     15,T
0124      FAD      -49,B          SINUS NEW ATTACK ANGLE
0125      FAD      -24,B          SINUS OLD ATTACK ANGLE
0126      FMU      -49,B          SINUS NEW ATTACK ANGLE
0127      FAD      -14,B          TEMPORARY QUANTITY
0128      FMU      -35,B          TURN RADIUS
0129      STF      -14,B
0130      LDF      -30,B          TARGET COORDINATE OFFSET
0131      FMU      -49,B          SINUS NEW ATTACK ANGLE
0132      BC0M     15,T
0133      FAD      -14,B          TEMPORARY QUANTITY
0134      FDV      -11,B          TEMPORARY QUANTITY

```


0135	STF	-39,B	
0136	LDF	-17,B	TEMPORARY QUANTITY
0137	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0138	STF	-11,B	
0139	LDF	-39,B	FIRST STRAIGHT RUN
0140	FMU	-24,B	SINUS OLD ATTACK ANGLE
0141	FSB	-11,B	TEMPORARY QUANTITY
0142	FDV	-49,B	SINUS NEW ATTACK ANGLE
0143	STF	-42,B	
0144	*		
0145	*	TEST IF SOLUTION IS ACCEPTABLE	
0146	*		
0147	FSB	=A(GCGC05),I	LOCKING DISTANCE
0148	BSZR	15,T	
0149	JMP	++15	
0150	LDF	-39,B	FIRST STRAIGHT RUN
0151	FSB	=A(GCGC05),I	LOCKING DISTANCE
0152	BSZR	15,T	
0153	JMP	++11	
0154	LDA	-32,B	TURN ANGLE
0155	NLZ	+2	
0156	FMU	=A(GCGC02),I	PI
0157	FMU	-35,B	TURN RADIUS
0158	STF	-11,B	
0159	FAD	-39,B	FIRST STRAIGHT RUN
0160	FAD	-42,B	SECOND STRAIGHT RUN
0161	FSB	=F3000.0	UPPER LIMIT OF MANEUVER LENGTH
0162	BSZR	15,T	
0163	JMP	GCGC01	
0164	LDL	-36,B	TEST WORD
0165	BSZR	0,L	
0166	JMP	++10	
0167	BONE	0,L	
0168	LDA	-32,B	TURN ANGLE
0169	BCOM	15,A	
0170	STA	-32,B	
0171	LDA	-35,B	TURN RADIUS
0172	BCOM	15,A	
0173	STA	-35,B	
0174	STL	-36,B	
0175	JMP	GCGC00	
0176	RZR0	0,L	
0177	LDA	-35,B	EXP. OF TURN RADIUS
0178	BCOM	15,A	
0179	STA	-35,B	
0180	LDX	-8,B	INCREMENT FACTOR
0181	BSZR	1,L	
0182	JMP	++3	
0183	AAX	1	
0184	STX	-8,B	
0185	BCOM	1,L	
0186	BSZN	1,L	
0187	CPYC	X,X	
0188	LDA	=0707	5 DEGREES INCREMENT
0189	RMPY	A,X	
0190	LDA	-43,B	INITIAL NEW ATTACK ANGLE
0191	LDW	14,A	
0192	RADD	D,A	
0193	RSEW	14,A	
0194	JMP	++7	
0195	STA	-31,B	
0196	ADD	-21,B	OLD ATTACK ANGLE
0197	STA	-32,B	
0198	BZR0	2,L	
0199	STL	-36,B	
0200	JMP	GCGC00	
0201	BSZR	2,L	
0202	JMP	++3	

0203	BØNE	2,L	
0204	JMP	*-24	
0205	LDX	-1,B	TUBE FILE ADDR.
0206	JMP	GCGC07	
0207	FILL		
0208	*		
0209	* PREPARE OUTPUT		
0210	*		
0211	GCGC01 LDA	-32,B	TURN ANGLE
0212	SRA	1	
0213	COPY	A,D	TORPEDO COURSE
0214	ADD	-7,B	
0215	BZRO	15,A	ADDR. OF ACTUAL TUBE FILE
0216	LDX	-1,B	
0217	STA	=A(33),I,X	
0218	RADD	D,A	
0219	BZRO	15,A	
0220	STA	=A(36),I,X	
0221	LDF	=F10.0	TIME CONVERTING CONST.
0222	FDV	-46,B	TORPEDO SPEED
0223	DNZ	-2	
0224	COPY	A,L	
0225	LDF	-39,B	FIRST STRAIGHT RUN
0226	FSB	GCGC05	LOCKING DISTANCE
0227	DNZ	-14	
0228	RMPY	A,L	
0229	COPY	A,T	
0230	LDD	-6,B	SYSTEM TIME
0231	RADD	T,D	
0232	RADY	Z,A	
0233	STD	=A(34),I,X	
0234	LDF	-11,B	TEMPORARY QUANTITY
0235	RADD,N	Z,T	
0236	DNZ	-14	
0237	RMPY	A,L	
0238	COPY	A,T	
0239	LDD	=A(34),I,X	
0240	RADD	T,D	
0241	RADY	Z,A	
0242	STD	=A(37),I,X	
0243	LDF	-11,B	TEMPORARY QUANTITY
0244	FAD	-39,B	FIRST STRAIGHT RUN
0245	FAD	-42,B	SECOND STRAIGHT RUN
0246	FSB	GCGC05	LOCKING DISTANCE
0247	DNZ	-16	
0248	STA	=A(27),I,X	
0249	SLL	2	
0250	RMPY	A,L	
0251	STA	=A(26),I,X	
0252	LDF	GCGC05	LOCKING DISTANCE
0253	FAD	-42,B	SECOND STRAIGHT RUN
0254	FAD	-11,B	TEMPORARY QUANTITY
0255	DNZ	-14	
0256	RMPY	A,L	
0257	COPY	A,T	
0258	LDD	=A(34),I,X	TIME FOR START OF TURN
0259	RADD	T,D	
0260	RADY	Z,A	
0261	STD	=A(28),I,X	
0262	LDA	=A(GCGC)	
0263	STA	=A(30),I,X	
0264	MIN	=A(9),I,X	
0265	MIN	0,B	
0266	JMP	++14	
0267	MIN	0,B	
0268	GCGC07 LDD	-6,B	SYSTEM TIME
0269	SAL	100	
0270	RADD	L,D	

```
0271      RADY      Z,A
0272      STD       =A(28),I,X
0273      LDA       =A(GCGA)
0274      STA       =A(30),I,X
0275      SAA        1
0276      STA       =A(1),I,X
0277      STA       =A(9),I,X
0278      LDA       =301
0279      STA       =A(27),I,X
0280      MIN       =A(31),I,X
0281      LDL       0,B
0282      AAB       -53
0283      EXIT
0284      FILL
0285 GCGC02      DC      F3.14159265          PI
0286 GCGC05      DC      F300.0             LØCKING DISTANCE
0287 )WRIT      GCGC GCGC00 GCGC01 GCGC02 GCGC05 GCGC07
0288 )KILL      GCGC00 GCGC01 GCGC02 GCGC05 GCGC07
0289      END
```

GCGD stack

-43	Salvo file address
-41	R
-38	Tube file address
-37	S
-34	Mode selector status
-33	T
-31	V_{TP}
-30	C_{TP}
-29	A
-26	D_{TP}
-23	Temporary variable
-20	Temporary variable
-17	Temporary variable
-14	Φ_{TGT}
-13	Y_{os}
-10	X_{os}
-7	Y_{TP}
-4	X_{TP}
-1	Tube no
0	Return address

```

0001 * PROGRAM GCGD COMPUTES TORPEDO COURSE AT LINE-OF-SIGHT GUIDANCE
0002 *
0003 *
0004          XTRN      CAAS;CAAR;GBAD;GBDA;EAAX;EAAY
0005          LIBR      GCGD
0006 GCGD      AAR      43
0007          STL      0,B
0008          STX      -1,B
0009 *
0010 * PREPARE INPUT DATA
0011 *
0012          MIN      =A(CAAS),I
0013          LDX      -43,B
0014          LDA      =A(7),I,X
0015          STA      -34,B
0016          LDX      =A(2),I,X
0017          LDA      =A(2),I,X
0018          STA      -14,B
0019          LDF      =A(EAAX),I
0020          STF      -10,B
0021          LDF      =A(EAAY),I
0022          STF      -13,B
0023          LDX      -1,B
0024          LDA      =A(GBAD),I
0025          RMPY      A,X
0026          LDX      =A(GBDA)
0027          RADD      D,X
0028          STX      -38,B
0029          LDD      =A(22),I,X
0030          STD      -31,B
0031          LDF      =A(10),I,X
0032          STF      -4,B
0033          LDF      =A(13),I,X
0034          STF      -7,B
0035          SAX      -1
0036          LDD      =A(CAAR),I,X
0037          STD      -33,B
0038          CALL      CAAT
0039          LDX      -38,B
0040          LDA      =A(2),I,X
0041          BSZR      10,A
0042          JMP      **5
0043          BONE      10,A
0044          STA      =A(2),I,X
0045          SAA      0
0046          STA      =A(39),I,X
0047          LDL      -34,B
0048          LDA      -30,B
0049          SUB      -14,B
0050          BSZR      14,A
0051          BC0M      13,A
0052          LDW      13,A
0053          BSNW      0,L
0054          JMP      GCGD04
0055          LDA      -14,B
0056          BSZR      0,L
0057          BC0H      14,A
0058          JMP      =A(GCGD03),I
0059          FILL
0060 *
0061 * DETERMINE SPREAD DATA
0062 *
0063 GCGD04     LDX      -43,B
0064          LDL      =A(1),I,X
0065          LDA      =A(3),I,X
0066          BS0N      1,L

```

```

ADDR. OF SALVO FILE
MODE SEL. STATUS

POINTER TO TARGET DATA FILE
BEARING

OWN SHIP X-COORD.
OWN SHIP Y-COORD.

TUBE NO.
LENGTH OF TUBE FILE

START ADDR. OF TUBE FILES

TORPEDO SPEED AND COURSE
TORPEDO X-COORD.
TORPEDO Y-COORD.

SYSTEM TIME

TUBE FILE ADDR.
CONTROL WORD

INITIAL INTEGRAL VALUE

MODE SEL. STATUS
TORPEDO COURSE
TARGET BEARING

TARGET BEARING

SALVO FILE ADDR.
NUMBER OF TORPEDOS IN SALVO
TARGET LENGTH

```

0067	JMP	++14	
0068	BS0N	0,L	
0069	SRA	1	
0070	COPY	A,D	
0071	LDA	=A(4),I,X	FIRST SELECTED TUBE
0072	SUB	-1,B	TUBE NO.
0073	JAF	++3	
0074	CPYC	D,D	
0075	JMP	++7	
0076	BS0N	0,L	
0077	JMP	++5	
0078	LDA	=A(5),I,X	SECOND SEL. TUBE
0079	SUB	-1,B	TUBE NO.
0080	JAF	++2	
0081	COPY	Z,D	
0082	COPY	D,A	
0083	NLZ	+16	
0084	STF	-37,B	
0085	*		
0086	* COMPUTE TORPEDO COURSE		
0087	*		
0088	LDX	-38,B	ADDR. OF TUBE FILE
0089	LDL	=A(0),I,X	TORPEDO TYPE
0090	LDX	=#1625	INVERSE TURN RATE TP-61
0091	BSZR	1,L	
0092	LDX	=#712	INVERSE TURN RATE MK-37
0093	LDA	-31,B	TORPEDO SPEED
0094	RMPY	A,X	
0095	NLZ	+16	
0096	STF	-41,B	
0097	LDF	-7,B	TORPEDO Y-COORD.
0098	FSB	-13,B	OWN SHIP Y-COORD.
0099	STF	-17,B	
0100	FMU	-17,B	
0101	STF	-20,B	
0102	LDF	-4,B	TORPEDO X-COORD.
0103	FSB	-10,B	OWN SHIP X-COORD.
0104	STF	-23,B	
0105	FMU	-23,B	
0106	FAD	-20,B	TEMPORARY QUANTITY
0107	CALL	DAGA	COMPUTE SQUARE ROOT
0108	STF	-26,B	
0109	LDF	-23,B	TEMPORARY QUANTITY
0110	COPY	T,X	
0111	FDV	-17,B	TEMPORARY QUANTITY
0112	CALL	DAFA	COMPUTE ARC TANGENT
0113	FDV	=A(GCGD01),I	PI
0114	DNZ	-2	
0115	BZR0	15,A	
0116	LDW	15,X	
0117	STW	14,A	
0118	CPYC	A,A	
0119	ADD	-14,B	BEARING
0120	BZR0	15,A	
0121	CALL	DABA	COMPUTE SINUS
0122	NLZ	+1	
0123	FMU	-26,B	RANGE TO TORPEDO
0124	FAD	-37,B	SPREAD DATA
0125	STF	-29,B	
0126	FDV	-41,B	TURN RADIUS
0127	COPY	T,X	
0128	STF	-23,B	
0129	B0NE	15,T	
0130	FAD	=A(GCGD02),I	CONST.
0131	BS0N	15,T	
0132	JMP	++6	
0133	LDA	=#20000	90 DEGREES
0134	BSZR	15,X	

0135		CPYC	A,A	
0136		LDX	-38,B	TUBE FILE ADDR.
0137		JMP	GCGD03-2	
0138		CALL	DAEA	COMPUTE ARC COSINUS
0139		FDV	=A(GCGD01),I	PI
0140		DNZ	-2	
0141		COPY	X,T	
0142		LDX	-38,B	ADDR. OF TUBE FILE
0143		LDL	=A(0),I,X	TORPEDO TYPE
0144		SUB	=#554	4 DEGREES
0145		BSZR	1,L	
0146		SUB	=#554	
0147		BSZR	15,A	
0148		SAA	0	
0149		BSZR	15,T	
0150		CPYC	A,A	
0151		STA	-15,B	
0152		JMP	GCGD00	
0153		FILL		
0154	GCGD00	LDF	-23,B	REL. DISTANCE FROM LINE-OF-SIGHT
0155		FMU	-23,B	
0156		STF	-20,B	
0157		FMU	-20,B	
0158		FMU	=F500.0	SECOND CONST. IN INTEGRAL TERM
0159		FAD	=A(GCGD02),I	CONST. 1.0
0160		STF	-20,B	
0161		LDF	-23,B	REL. DISTANCE FROM LINE-OF-SIGHT
0162		FDV	-20,B	TEMPORARY QUANTITY
0163		DNZ	-5	
0164		LDX	-38,B	ADDR. OF TUBE FILE
0165		LDL	=A(0),I,X	TORPEDO TYPE
0166		BSZR	1,L	
0167		SRA	2	
0168		ADD	=A(39),I,X	INTEGRAL
0169		BSRN	D0F	
0170		JMP	++4	
0171		LDA	=#77777	UPPER LIMIT OF INTEGRAL
0172		BSZR	CRY	
0173		CPYC	A,A	
0174		STA	=A(39),I,X	
0175		SRA	2	
0176		ADD	-15,B	DISTANCE DETERMINED TERM
0177		LDW	14,A	
0178		BSNW	13,A	
0179		JMP	++4	
0180		LDA	=#20000	90 DEGREES
0181		BSZR	W	
0182		CPYC	A,A	
0183		LDL	-34,B	MODE SEL. STATUS
0184		BSRN	0,L	
0185		JMP	++3	
0186		CPYC	A,A	
0187		BCOM	14,A	
0188		ADD	-14,B	TARGET BEARING
0189		BSZR	15,A	
0190	*			
0191	* PREPARE OUTPUT			
0192	*			
0193	GCGD03	STA	=A(24),I,X	
0194		LDA	-34,B	MODE SEL. STATUS
0195		LDW	0,A	
0196		LDA	=A(31),I,X	NUMBER OF IN-OUT SHIFT
0197		BSNW	0,A	
0198		MIN	=A(31),I,X	NUMBER OF IN/OUT SHIFT
0199		LDD	-33,B	SYSTEM TIME
0200		SAL	10	
0201		RADD	L,D	
0202		RADY	Z,A	

```
0203      STD      =A(28),I,X
0204      LDA      =A(GCGD)          ROUTINE ENTRY
0205      STA      =A(30),I,X
0206      MIN      0,B
0207      LDL      0,B
0208      AAB      -43
0209      EXIT
0210      FILL
0211 GCGD01 DC      F3.14159265      PI
0212 GCGD02 DC      F1.0
0213 JWRIT GCGD GCGD00 GCGD01 GCGD02
0214 JKILL GCGD00 GCGD01 GCGD02 GCGD03 GCGD04
0215      END
```

GCGF stack

-62	C_{TGT}
-61	V_{TGT}
-60	X_{TGT}
-57	Y_{TGT}
-54	V_{TP}
-53	X_{YP}
-50	Y_{TP}
-47	C_c
-46	T_c
-43	D_c
-40	X-comp of D_c
-37	Y-comp of D_c
-34	w
-31	$1-w^2$
-28	V_{TP} (floating point)
-25	ξ
-22	η
-19	$\xi^2 + \eta^2$
-16	$\sin C_{TGT}$
-13	$\cos C_{TGT}$
-10	Temporary variable
-7	Temporary variable
-4	Temporary variable
-1	Saved content of X-reg
0	Return address

```

0001 * PROGRAM GCGF COMPUTES COLLISION COURSE, TIME TILL IMPACT, RANGE TO COLLIS
0002 * POINT AND X- AND Y-COMPONENT OF THE RANGE
0003 *
0004 *
0005          LIBR      GCGF
0006 GCGF      AAB      35
0007          STL      0,B
0008          STX      -1,B
0009          LDA      -54,B      TORPEDO SPEED
0010          NLZ      +6
0011          STF      -28,B
0012          LDA      -61,B      TARGET SPEED
0013          NLZ      +12
0014          FDV      -28,B      TORPEDO SPEED
0015          STF      -34,B
0016          FMU      -34,B
0017          RONE     15,T
0018          FAD      =F1.0
0019          STF      -31,B
0020          LDF      -60,B      TARGET X-COORD.
0021          FSB      -53,B      TORPEDO X-COORD.
0022          STF      -25,B
0023          FMU      -25,B
0024          STF      -10,B
0025          LDF      -57,B      TARGET Y-COORD.
0026          FSB      -50,B      TORPEDO Y-COORD.
0027          STF      -22,B
0028          FMU      -22,B
0029          FAD      -10,B      TEMPORARY QUANTITY
0030          STF      -19,B
0031          FDV      -31,B      REL. SPEED DIFFERENCE
0032          STF      -10,B
0033          LDA      -62,B      TARGET COURSE
0034          CALL     DABA      COMPUTE SINUS
0035          NLZ      +1
0036          STF      -16,B
0037          FMU      -25,B      X-COORD. DIFF. TARGET - TORPEDO
0038          STF      -7,B
0039          LDA      -62,B      TARGET COURSE
0040          CALL     DACA      COMPUTE COSINUS
0041          NLZ      +1
0042          STF      -13,B
0043          FMU      -22,B      Y-COORD. DIFF. TARGET - TORPEDO
0044          FAD      -7,B      TEMPORARY QUANTITY
0045          STF      -7,B
0046          LDX      -31,B      EXP. OF REL. SPEED DIFFERENCE
0047          JXZ      ++13
0048          FMU      -34,B      SPEED RATIO
0049          FDV      -31,B      REL. SPEED DIFFERENCE
0050          STF      -4,B
0051          FMU      -4,B
0052          FAD      -10,B      TEMPORARY QUANTITY
0053          BSZR     15,T
0054          JMP      ++35
0055          CALL     DAGA      COMPUTE SQUARE ROOT
0056          BSZR     15,X
0057          RONE     15,T
0058          FAD      -4,B      TEMPORARY QUANTITY
0059          JMP      ++5
0060          LDF      -19,B      SQUARE OF RANGE TO TARGET
0061          FDV      -7,B      TEMPORARY QUANTITY
0062          RADD,N   Z,T
0063          RC0M     15,T
0064          BSZR     15,T
0065          JMP      ++24
0066          STF      -43,B

```

