

RAZVIJENI I PRIMJENJIVANI TIPOVI SMJERNIH RAVNAČA – ŽIROSKOPA U TVORNICI TORPEDO RIJEKA

The Gyroscope – Types Developed and Applied in the Torpedo Factory Rijeka

Mirko Rupert*, dipl. ing.
G. Krkleca 2, Rijeka, Hrvatska

Sažetak

Upravljanje torpedom u plovidbi pod morem riješeno je primjenom sprave koja koristi fizikalni efekt rotirajućeg tijela da se opire promjeni svog položaja u prostoru. Umnožak momenta inercije i kutne brzine je vektor koji nazivamo zahvatni moment. Kada na zahvatni moment djeluje drugi moment, javlja se treći vektor koji rezultira zakretanjem vektora zahvatnog momenta, što nazivamo precesijom koja prestaje prestankom djelovanja drugog momenta. Smjerovi momenata određuju se prema pozitivnom Descartesovu koordinatnom sustavu u kojem je pozitivna os x smjer zahvatnog momenta, a smjer rotacije određuje pozitivan smjer zahvatnog momenta napredovanjem desnog vijka. Smjerni se ravnač sastoji od rotora koji je uležišten u prstenu, a prsten s rotorom uležišten je u vanjskome prstenu koji je pak uležišten u kućištu smjernog ravnača. Taj sustav dopušta da figurativna os rotora ima tri slobode rotacije. Kad se rotor zavrti, sustav postane "stabilan" zbog prije spomenutoga žiroskopskog momenta, tj. zbog djelovanja zahvatnog momenta i figurativna osovina rotora nastoji zadržati položaj tako da je paralelna sama sebi u prostoru. Budući da je kućište smjernog ravnača čvrsto vezano u torpedu, a osovina rotora je paralelna s osi torpeda, svako skretanje torpeda rezultira istim kutom između simetrale vanjskog prstena i simetrale kućišta smjernog ravnača. Taj se relativan kut koristi za pomak razvodnika koji propusti komprimirani zrak u cilindar, a pomicanje klipa u cilindru prenosi se polužjem do kormila koja vraćaju torpedu u raniji smjer. Samo

* mirko.rupert@ri.htnet.hr

U radu su korištene slike smjernih ravnača vremenskog i praćenog sustava kormilarenja – Katalog torpeda TR 53/VII.

kormilarenje može se, već prema tipu uređaja, izvesti u dva sustava: vremensko i praćeno. Kod vremenskog kormilarenja kormila zauzimaju maksimalni otklon lijevo, odnosno desno i ostaju u tom položaju dok se plovilo ne vrati u svoj kurs. Budući da je izvedba razvodnika s "pozitivnim" prekrivanjem, klip cilindra nema srednjeg položaja, torpeda je plovio u tzv. cik-cak putanji koja je imala oblik jako izdužene sinusoidne. U tom su sustavu svi smjerni ravnači Witehaedove konstrukcije. Kod praćenog kormilarenja otklon kormila proporcionalan je otklonu plovila od kursa i u tom je sustavu razvijen smjerni ravnac za torpeda kalibra 533,4 mm(21") po uzoru na njemački torpeda. Osnovna je razlika kod ova dva tipa smjernog ravnača u načinu pokretanja rotora. Kod svih Witehaedovih uređaja prvi pogon rotor dobije od turbine koju zavrti zrak pod pritiskom preko izvrstive spojnice, tzv. impuls, a poslije rotor dobiva pogon od dva mlaza zraka koja na njega djeluju direktno, dok kod ravnača na njemačkoj podlozi rotor direktno dobiva pogon zrakom kroz mlaznicu ugrađenu u vanjski prsten. Ti su impulsi vrlo kratki, oko 0,34 s, pri čemu rotor mora postići oko 18.000 o/min, da bi poslije postigao vrtnju od 22.000 o/min. Po principu vremenskog kormilarenja, razvijeno je nekoliko tipova smjernih ravnača: brodska izvedba za kalibar 45 i 53 cm, avioizvedba za kalibar 45 cm, aviobrodska izvedba za kalibar 45 cm, A ravnac koji upravlja torpedom pri slobodnom letu proi aviolansiranju. Po principu praćenog kormilarenja, razvijen je smjerni ravnac za kalibar 53 cm, s mogućnošću vožnje nakon određenog puta i poluokreta – unazad te opet poluokreta i nastavka vožnje naprijed, uz ponavljanje dok postoje pogonske zalihe. To je slučaj gađanja u konvoj kada torpeda promaši cilj.

Da bi smjerni ravnac sigurno djelovao, svi su dijelovi morali biti najpreciznije obrađeni, pomno montirani i završno podešeni. Svi su se parametri strogo kontrolirali i provjeravali pri lansiranju jer je dopušteno odstupanje po pravcu iznosilo 1%.

Ključne riječi: torpeda, smjerni ravnac, kormilarenje, cik-cak vožnja

1. UVOD

U tehničkom razvoju najvažnije je bilo postići da torpeda nakon lansiranja ne skrene sa svoga puta, tj. da održi u vožnji smjer i dubinu. Moralo se, dakle, konstruirati uređaje koji će djelovati na kormila i tako korigirati eventualna odstupanja. Za plovidbu po dubini rješenje se našlo u primjeni membrane na koju je s jedne strane djelovala sila opruge, a s druge sila pritiska stupca vode i njihala. Za održanje smjera, rješenje se našlo u primjeni fizikalnog svojstva rotirajućeg tijela da se opire promjeni svog položaja u prostoru. Produkt momenta inercije rotirajućeg tijela i kutne brzine je vektor koji se naziva zahvatni moment, a o čijoj veličini ovisi stabilnost sustava. Ako je sustav potpuno uravnotežen i slobodan, figurativna osovina rotora ostat će sama sebi paralelna u apsolutnom prostoru. To znači da će osovina rotora gledati u neku zvijezdu galaksije i da će prema našoj Zemlji zauzimati različite položaje budući da rotacijom oko svoje osi i oko Sunca mijenja svoj položaj. Slobodan sustav znači da ima slobodne rotacije i translacije u tri koordinatne osi pravokutnog sustava. Jedino ako se rotacija izvodi na ekvatoru i to u smjeru tangentno na meridijan, neće se događati ništa jer će figurativna osovina u svim slučajevima uvijek ostati sama sebi paralelna. U slučaju rotacije na ekvatoru, ali u smjeru

tangente na ekvator (jer je treća os našega relativnog koordinatnog sustava rotora i dva prstena, simetrala vanjskog prstena uvijek okomita na površinu zemlje), rotor s horizontalnim prstenom zakretat će se u vertikalnom prstenu precesijom jednakom kutnoj brzini Zemlje, a vanjski prsten će prema Zemlji biti u istom položaju. U svim ostalim mjestima na Zemlji dolazit će do promjene položaja prstenova prema Zemlji ako je sustav apsolutno uravnotežen, tj. ako mu je figurativna osovina paralelna sama sebi.

Promjena položaja figurativne osovine rezultat je djelovanja nekoga drugog momenta koji može djelovati u drugim osima relativnoga koordinatnog sustava gdje je os "x" osovina rotora, os "y" okomita na os "x" i u horizontalnoj ravnini, a os "z" je u smjeru gravitacije. Sve se tri osi sijeku u ishodištu koordinatnog sustava u težištu sustava rotora i horizontalnog prstena. Smjer vektora određuje se pravilom desne ruke i to tako da smjer rotacije pokazuju savijeni prsti, a ispruženi palac pokazuje smjer vektora. Sam koordinatni sustav je desni Des Cartesov sustav.

Kada na zahvatni moment što djeluje u osi "x" promatranoga koordinatnog sustava djeluje moment u osi "y", dolazi do novog momenta koji je jednak *vektorskom produktu* tih dvaju vektora i djeluje okomito na ravninu u kojoj oni leže. Ako pozitivni smjer osi "x" promatranog sustava rotira tako da pada u pozitivnu os "y", pozitivna os "z" ima smjer napredovanja desnog vijka. Na istom principu određuje se smjer novog vektora koji je vektorski produkt zahvatnog momenta i vektora koji želi zakrenuti figurativnu osovina oko spojne osi horizontalnog i vertikalnog prstena. Kako taj novi vektor djeluje u osi "z", izaziva *rotaciju* vertikalnog prstena, tj. cijelog sustava i figurativna se osovina zakreće dok djeluje moment u osi "y". To se zakretanje naziva **percesija**. Kada moment djeluje u osi "z", dolazi do precesije u osi "y", a u slučaju općeg momenta koji možemo rastaviti po osima "y" i "z", dolazi istovremeno do procesije u osima "y" i "z".

Dakle, osnovni su elementi smjernog ravnača-žiroskopa *rotor* uležišten u unutarnji *horizontalni prsten*, a zajedno su uležišteni u vanjskome *vertikalnom prstenu* koji je uležišten u kućištu smjernog ravnača. Tim sustavom uležištenja postignuto je da osi rotacije leže u tri osi koordinatnog sustava i omogućuju tri stupnja slobode rotacije figurativne osovine.

Kad se rotor zavrti, tj. kada mu se pridoda zahvatni moment, odnosno vektor uz uvjet da je sustav potpuno uravnotežen, kako god zakretali kućište smjernog ravnača, figurativna osovina rotora ostaje uvijek orijentirana u svom smjeru apsolutnog prostora, tj. sama sebi paralelna. To se svojstvo žiroskopa koristi da preko uređaja smjernog ravnača obavi upravljanje kormilima torpeda i njegovo vođenju po smjeru.

2. KORMILARENJE

Općenito se kormilarenje može obaviti u dva sustava: da se kormilo nakon skretanja s kursa odmah otkloni u maksimalni položaj i zadrži potrebno vrijeme da se obavi korekcija skretanja, što se naziva *vremensko kormilarenje*, te kormilarenje pri kojem se kormilo otklanja od svoga srednjeg položaja tako da može prema potrebi zauzeti bilo koji položaj do najvećega, neovisno o vremenu, a naziva se *praćeno kormilarenje*. Pri vremenskom kormilarenju položaj kormila može biti srednji i maksimalni, lijevo ili desno, što je kod brodova pravilo, a kod torpeda je ovaj način kormilarenja bez srednjeg položaja, tj. samo u položajima lijevog i desnog maksimalnog otklona kormila. Oba su sustava primjenjivana pri kormilarenju u torpedima riječke proizvodnje.

Vremensko kormilarenje

Ovo kormilarenje torpedima izvorno je riječke Witeheadove konstrukcije. Na toj osnovi razvijena su četiri tipa smjernih ravnača:

- brodska izvedba za kalibar 53 cm
- brodska izvedba za kalibar 45 cm
- avioizvedba za kalibar 45 cm i
- A-ravnač za aviotorpeda, koji upravlja torpedom za vrijeme lansiranja iz aviona u slobodnom letu torpeda kroza zrak.

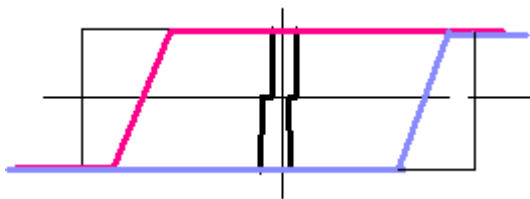
Ove četiri izvedbe smjernih ravnača karakterizira i primarni način pokretanja rotora tzv. impulsom. Rotor dobije pogon od turbine koju zavrti zrak pod pritiskom od 200 Pa, a veza s rotorom ostvaruje se izvrstivom spojkom. Sam impuls traje svega 0,34 s, a postiže se oko 18.000 o/min. Poslije na rotor koji ima utore po obodu djeluju dva mlaza zraka i povećavaju vrtnju do 22.000 o/min. Mlazovi zraka izlaze iz sapnica postavljenim u ležajima horizontalnog i vertikalnog prstena i tangencijalno pušu u utore rotora. Pritisak zraka za stalni pogon rotora i radni cilindar koji pokreće kormila iznosi 10 Pa, a dolazi iz reduktora koji je postavljen na nosač smjernog ravnača. Zrak visokog pritiska što pokreće turbinu s 4 mlaza, izlazi iz mlaznica u kojima postiže nadzvučne brzine i udarajući u utore turbine prolazi ispod ventila, a istovremeno ispunjava i dvije komore preko gušnika, koje su povezane s prostorom iznad ventila. Za onih 0,34 s, pritisak u komorama dovoljan je da zatvori dotok zraka na turbinu, a istovremeno produženi struk ventila djeluje na spojno polužje i rastavlja osovinu turbine od osovine rotora. Od tog trenutka smjerni ravnač spreman je za djelovanje.

Zrak niskog pritiska od reduktora prolazi kroz provrte tijela smjernog ravnača i verikalnog prstena do sapnica u ležajima za stalni pogon rotora te dolazi i do razvodnika koji razvodi zrak u cilindar kroz dvije cijevi spojene jednim krajem na tijelo razvodnika, a drugim na cilindar. Sam razvodnik je dvopoložajni s

unutarnjim punjenjem, bez srednjeg položaja klipa, i omogućava samo dva krajnja položaja klipa u kućištu cilindra.

S obzirom na visok broj okretaja rotora i turbine, oni moraju biti dinamički uravnoteženi, a svi dijelovi precizno obrađeni, napose razvodnik i ležajevi.

Ležajevi smjernog ravnača su kuglični, radijalno aksijalnog tipa bez kaveza, a kuglice su postavljene između osovine i vanjske čahure. Osovinice i čahure ležajeva precizno su polirale, a kuglice kontrolirale pod 20 x povećanjem; nisu smjele imati nikakvih oštećenja niti greške geometrije, tragova korozije, sjajno brušene. Kuglice su popunjavale sav slobodni prostor u ležaju. Svaki razvodnik završno se obrađivao u svom kućištu lepovanjem nakon honovanja, a pri ispitivanju na probnom stolu tokarili su se krajevi struka na ulaznoj i izlaznoj strani tako da se postiglo pozitivno prekrivanje razvodnika koje je zahtijevao dijagram histereze pomaka klipa cilindra kao funkcije oscilacija kolica probnog stola i to pri polaganom, ručnom pomicanju kolica (crno) i pogonjena motorom, a frekvencija kolica iznosila je cca 0,4 Hz i zakretanja od $\pm 8^\circ$ kuta (crveno i plavo).



■ *Histereza gibanja klipa u funkciji kuta odstupanja*

Dijagram je morao imati oblik i dimenzije u propisanim veličinama i nije smio “bježati” za cijelo vrijeme ispitivanja. Vrijeme ispitivanja bilo je 2 puta duže od vremena koje je torpedo trebao da prevali najduži put, a to je vrijeme plovidbe za slučaj torpeda kalibra 53 cm za dolet 10.500 m pri brzini od 30 čv iznosilo 11,5 min ili vrijeme ispitivanja 23 min.

Spomenuto je da zbog žiroskopskog momenta figurativna osovina ostaje sama sebi paralelna ako na vektor zahvatnog momenta ne djeluje neki drugi moment. Ako se želi da figurativna osovina prati dvije točke na Zemlji koja rotira oko svoje osi, na zahvatni moment mora djelovati neki drugi moment. Taj drugi moment mora djelovati tako da vertikalni prsten ima precesiju koja je jednaka kutnoj brzini rotacije Zemlje. Dakle, težište sklopa rotor – horizontalni prsten mora biti u takvu položaju da na geometrijski centar daje moment koji izaziva traženu precesiju. Za to prilagođivanje predviđena je specijalna matica na vratu rotora. I drugi čimbenici mogu izazvati dodatne momente koji mogu izazvati precesije kao što su: mlazovi zraka za stalni pogon rotora, trenje u ležajima, otpor razvodnika zraka itd.

Sama regulacija smjernog ravnača bila je vrlo složen posao koji je zahtijevao veliko iskustvo, a često su rezultati bili nerazumljivi jer danas reguliran smjerni ravnač, a sutra ponovno stavljen u pogon – nije zadovoljio. Često je smjerni ravnač bio kriv za odstupanje torpeda pri lansiranju, a na probnom je stolu bio dobar. Ipak, na probnom stolu nisu bili isti uvjeti kao u vožnji torpeda. Smjerni ravnač je pri izbacivanju iz torpedne cijevi morao podnijeti veliku inerciju, zatim pad u vodu, nagli početak rada pogonskog stroja koji je jako tresao pa povišenu temperaturu zbog zagrijavanja stroja i ispušnih plinova kroz propelerske osovine, povećan pritisak zraka koji se skupljao u repu torpeda radi impulsa i stalnog pogona rotora, što je u plovidbi na dubini od 4 m iznosilo do 0,8 Pa. Torpedo se u vožnji još i njihao oko uzdužne osi jer mu je težište ispod hvatišta uzgona. Najizraženije su bile vibracije pogonskog stroja.

Sprava za kutno gađanje

Taktički su razlozi postavili proizvođaču zahtjev da torpedo nakon što je izbačen iz torpedne cijevi odmah skrene za određeni unaprijed zadani kut i u tom novom smjeru plivi do cilja. Na smjerni ravnač dodana je sprava s centrom iznad simetrale vertikalnog prstena, koja je mogla preko svog prijenosa zakretati razvodnik radnog cilindra desno ili lijevo od srednjeg položaja. Kako je ekscentar na vretenu gornjeg ležaja vertikalnog prstena paralelan sa sime-

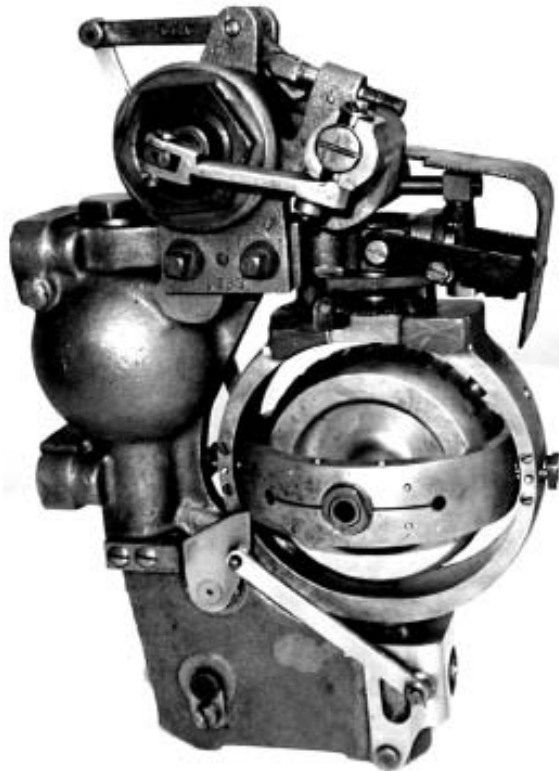


■ *Sprava za kutno gađanje*

tralom horizontalnog prstena, zakretanjem tijela razvodnika istovremeno se pomakne i ravodnik u tijelu jer ga zadržava ekscentar. Razvodnik sada propušta zrak u jednu stranu cilindra koji preko polužja zbog pomaka klipa kormilima vraća torpedu u postavljeni kut prema smjeru izbacivanja i u tom smjeru nastavlja plovidbu. Djelovanje sprave kontroliralo se na posebnome probnom stolu na kojem se simuliralo skretanje torpeda i kontrolirao dijagram u zakrenutom položaju.

Pračeno kormilarenje

Ovaj tip kormilarenja torpedima razvijen je u riječkoj tvornici nakon Drugoga svjetskog rata na osnovi smjernog ravnača njemačkog torpeda kalibra 53 cm. Princip žiroskopskog efekta uvijek je isti. Bitna je razlika u konstrukciji “nadgradnje” i načinu prvog pokretanja rotora jer nema turbinu, već se impuls ostvaruje izravnim mlazom zraka na rotor kroz mlaznicu ugrađenu u vanjski vertikalni prsten. Mlaznica je De Lavalove izvedbe tako da se postižu nadzvučne brzine zraka koji struji tangencijalno u utore rotora.



■ Smjerni ravnač za pračeno kormilarenje

Samo tijelo smjernog ravnača jednostavnije je, ima jednu komoru iznad ventila koji zatvara prolaz zraka na kraju impulsa, radni cilindar s razvodnikom zaseban je element pričvršćen na tijelo ravnača. Struk impulsnog ventila pokreće polužje i cijeli mehanizam koji nakon prekida dovoda zraka dovodi u osnovni položaj sve elemente i ravnač je spreman za ponovni impuls. Kod Witeheadove izvedbe to se mora izvesti isključivo ručno.

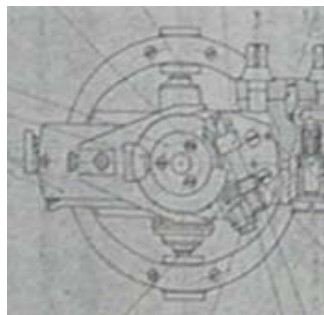
Cilindar s razvodnikom dobiva zrak koji kroz mlaznicu istovremeno puše u dvije rupice razvodnika i kroz provrte u razvodniku ulazi s obje strane klipa. Kada se mlaznica malo pomakne, zrak više puše u jednu rupicu i u cilindru dolazi do poremećaja ravnoteže pa se klip pomakne u smjeru kao i mlaznica. Kako je klip polugom vezan za razvodnik, pomakne se i razvodnik proporcionalno gibanju klipa. Tim pomakom razvodnika dvije se rupice ponovno nađu pred mlaznicom i klip stane. Cilindar se kroz rupice na svojim krajevima stalno prazni tako da u svome mirnom položaju ima malu silu, ali ako se klip nasilno pomakne u jednu stranu, djelovanjem poluge koja veže klip s razvodnikom, razvodnik pred mlaznicu postavi rupicu koja dovodi sav zrak u suprotnu komoru i sprečava daljnje neželjeno pomicanje klipa, pri čemu cilindar djeluje punom silom i vraća klip u ravnotežu sa silom poremećaja.

Sprava za kutno gađanje

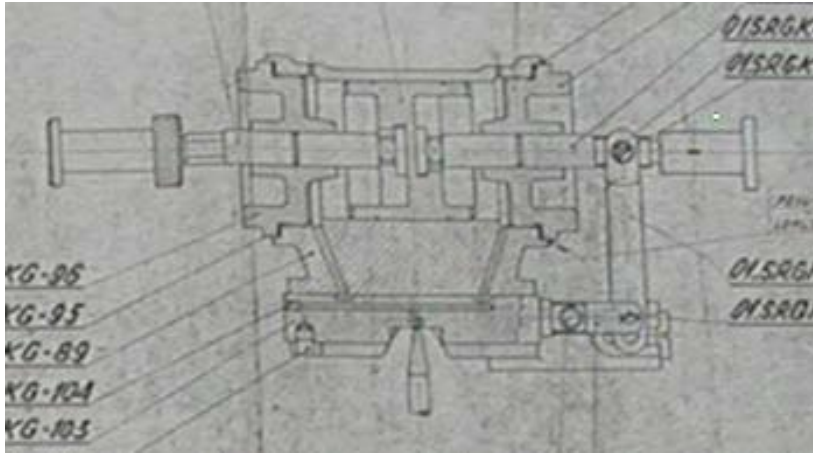
Slike prikazuju spravu za kutno gađanje ugrađenu na gornju površinu vertikalnog prstena i gornje uležištenje vertikalnog prstena. Vide se i vilica i sapnica učvršćene na osovinici kroz koju prolazi zrak u sapnicu i dalje u razvodnik. Na donjoj strani osovinice učvršćena je vilica u čiji utur ulazi izdanak i pri zakretanju vertikalnog prstena zakreće se i vilica, čime se razvodi zrak u cilindar na već opisani način. Izdanak za zakretanje vilice nosi pločica pužnog kola koju zakreće pužni vijak na čijem je drugom kraju malo pužno kolo u zahvatu s pužnim vijkom u koji ulazi osovina za postavljanje kuta. Ta osovina izlazi iz pužnog vijka u trenutku prekida impulsa i oslobađa vertikalni prsten, a pri prekidu rada smjernog ravnača ponovno je polužni mehanizam uključuje u spravu kutnoga gađanja.



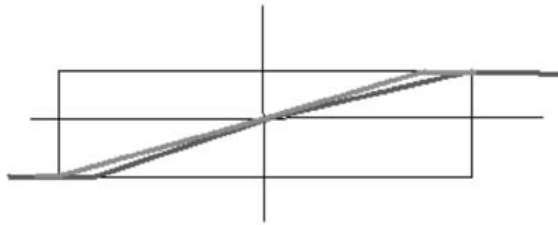
a)



b)



■ *Cilindar s razvodnikom*



■ *Histereza dijagrama hoda klipa u funkciji kuta skretanja pri praćenom kormilarenju*

Dijagram ima usku histerezu i centralno je simetričan, a linija kretanja lijevo (crvena) i linija kretanja desno (plava) od nultog položaja dodiruju se u srednjem položaju klipa. Klip zauzima krajnje položaje za skretanje oko $\pm 5^\circ$. Povratna putanja za oko 1° kasni radi potrebnog pomaka mlaznice da dođe u položaj prekrivanja obje rupice razvodnika.

Principi ispitivanja i regulacije jednaki su kao kod smjernih ravnača s vremenskim kormilarenjem. Probni stol ima kolica koja se ručno zakreću pri snimanju dijagrama, a ima ugrađen i elektromotor koji na osovini nosi ekscentrični uteg i stolu daje vibracije. Dijagram mora biti stabilan tijekom ispitivanja.

Prednost je ovog sustava cilindra sa stalnim izlazom zraka i u tome što omogućuje dogradnju *sprave kružnoga gađanja*.

3. SMJERNI RAVNAČ AVIOIZVEDBE

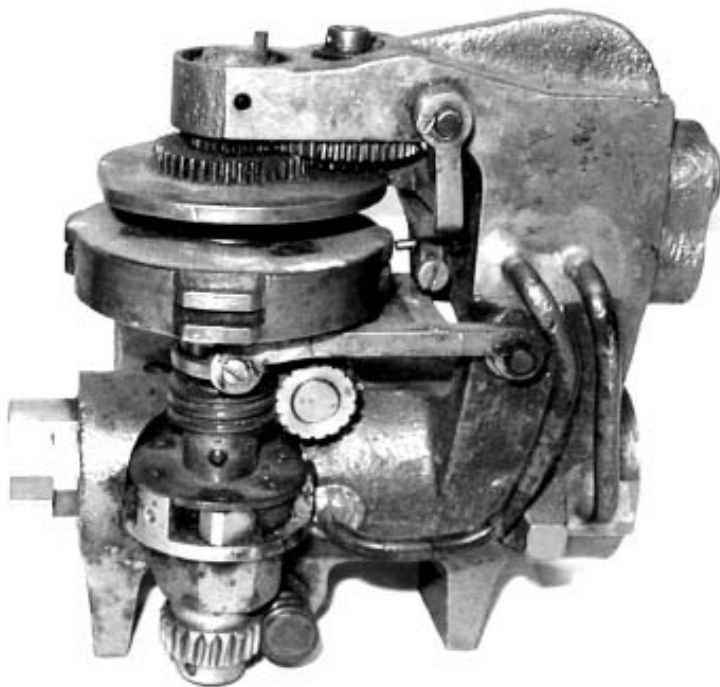
Ovaj smjerni ravnač torpeda kalibra 45 cm u osnovi je smjerni ravnač bez sprave za kutno gađanje, dimenzija nešto manjih od brodske izvedbe smjernog ravnača za kalibar 45 cm. Aviatorpedo imao je još i poseban A-ravnač kojim su se regulirale oscilacije torpeda tijekom slobodnog leta kroza zrak. A-ravnač je u torpedu bio postavljen tako da mu je os rotora bila u vertikalnom smjeru, unutarnji prsten u vertikalnom, a vanjski u horizontalnom položaju. Žiroskopski efekt ovdje se koristio da se spriječe oscilacije torpeda oko njegove osi. A-ravnač je preko svog cilindra djelovao na elerone stabilizatora koji se postavljao na rep torpeda. Pri padu torpeda u vodu, stabilizator se raspolovio i odvojio od torpeda. Oscilacije torpeda nekad su bile tako velike da su poremetile i sam smjerni ravnač, a događalo se da zbog vremenskog kormilarenja budu tako snažne da se torpedo zarotirao jer je njegova inercija bila velika, a moment elerona nedovoljan pa je djelovanje u povratnom smjeru trajalo duže te su se amplitude povećavale sve do rotacije od koje bi torpedo potpuno "podivljao". Problem je riješen pregradnjom A-ravnača na praćeni sustav kormilarenja. Poslije je torpedo pri aviogađanju jedva primjetno oscilirao do pada u vodu. Proizvodio se i hibrid, tzv. aviobrodski torpedo. Bio je nešto produžen i imao je brodski smjerni ravnač sa spravom kutnoga gađanja i A-ravnač za gađanja iz aviona. Svi su ti ravnači imali osnovnu izvedbu u kojoj je rotor prvi pogon, tj. impuls, dobio od turbine.



■ *Smjerni ravnač aviobrodskog torpeda*

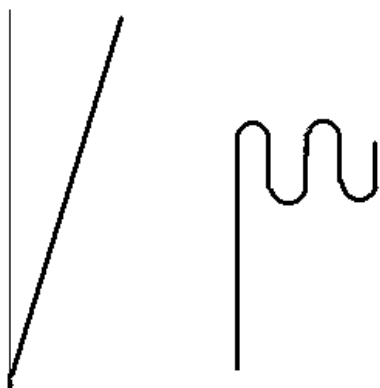
4. SPRAVA ZA KRUŽNO GAĐANJE

Taktičke potrebe torpeda nametnule su zahtjev da torpedu osim ravnog kretanja može voziti i cik-cak. Kretanje izgleda ovako: ravni put do postavljene udaljenosti zatim za “desno” – polukružni luk udesno i – vožnja ravno prema natrag (prema postavljenom kraćem ili dužem putu oko 300 ili 600 m), pa luk ulijevo za 180 stupnjeva, opet ravno paralelno i u smjeru naprijed itd. Nakon svakog polukruga torpedu je imao odmak udesno sve dok nije stao. Isto je s kruženjem “ulijevo”. Ovakvo kretanje torpeda dolazilo je u obzir za gađanja broda u konvoju jer ako bi torpedu promašio brod, okrenuo bi se te je u povratku mogao pogoditi i koji drugi brod, odnosno učiniti pomutnju u komandiranju brodovima, pa dok bi svi pazili na torpedu koji se “mota”, drugi bi torpedu s većom vjerojatnošću pogodio cilj. Dakle, sprava za kružno gađanje je programator koji preko svojih krivulja djeluje na svoj servocilindar tako da svlada sile cilindra smjernog ravnača i “prisili” torpedu na polukružnu vožnju. Ravno kretanje opet preuzima smjerni ravnač. Sprava za kružno gađanje dobiva pogon za pokretanje krivuljnih ploča od pogonskog stroja, a samo postavljanje programa izvodi se preko indikatora ručno ili preko regulacijskog zupčanika na plaštu. Zrak za spravu za kružno gađanje dolazi iz dvostupanjskog reduktora pod pritiskom 30 Pa, dok je za smjerni ravnač pritisak zraka 10 Pa. Gađanje se moglo kombinirati tako da putanja torpeda bude pod kutom i kružno, tj. kutno

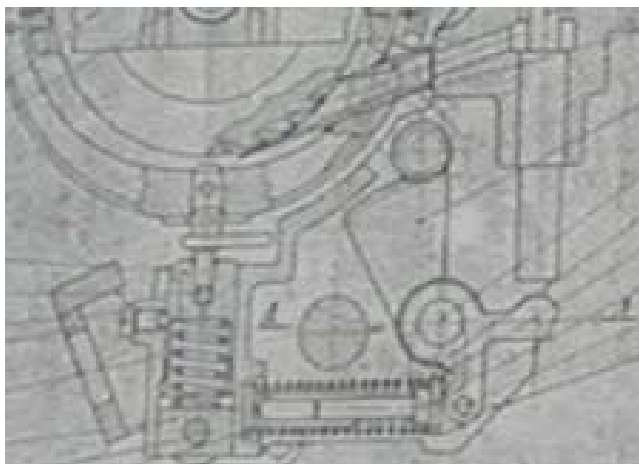


■ Sprava za kružno gađanje

desno + kružno desno ili lijevo, odnosno kutno lijevo + kružno lijevo ili desno, a to nije bilo moguće s ravnačima Witeheadove izvedbe. Witeheadov ravnač za kalibar 53 cm imao je spravu za kruženje, ali samo u krug desno ili lijevo s početkom nakon prevaljenog zadanog puta, ali ne i za cik-cak kretanje.



■ *Putanja torpeda kutno i kružno desno*



■ *Donji ležaj vertikalnog prstena, sapnica i mehanizam za blokiranje prstenova ravnača*

5. PRIPREMNE RADNJE ZA GAĐANJE

Nakon ispitivanja i regulacije smjerni ravnač se, skupa sa svojim reduktorom pritiska zraka, ugradio na svoj nosač u repu torpeda i spojio s polužjem sustava kormilarenja. U smjerni ravnač se polagano dovodio zrak pod pritiskom da se izbjegne impuls i regulirao otklon kormila da bi bio jednak lijevo i desno. Ukopčao se rotor smjernog ravnača s osovinom turbine (pri praćenom sustavu

obavlja se automatski) i ravnaču se naglo doveo zrak pod 200 Pa. Kormila su se za ravnače s vremenskim kormilarenjem lagano otklonila u jednu stranu, a pri praćenom su morala doći u nulti položaj. Otkloni kormila mjerili su se specijalnim kutomjerom. Nakon prekida rada smjernog ravnača, rotor se ponovno spojio s turbinom i otvor za ugradnju zatvorio poklopcem. Ta se operacija uvijek izvodila zadnja i nakon toga se nije smjelo obavljati regulacije dubinskih kormila ili probe pogona da ne bi došlo do neželjenog odvajanja rotora od turbine. Ako su se obavljale operacije sa zrakom, poklopac otvora smjernog ravnača morao je biti otvoren, a nakon svih regulacija moralo se provjeriti jesu li rotor i turbina ukopčani te zatvoriti poklopac.

Nakon gađanja, iz torpeda su se izvadili smjerni ravnač i reduktor i vratili na probni stol. Kontrola za sljedeće gađanje ovisila je o rezultatima gađanja. Ako nije bio dobar smjer, ravnač je podvrgnut kompletnoj provjeri i ako se nije uspjelo s regulacijom, rastavljali su se ležajevi i ponovno polirali i promijenile kuglice. Kontrolirao se i razvodnik. Posebno je pažnjom provedena ponovna montaža jer je zračnost u ležajima morala biti skoro 0, a okretljivost u ležajima maksimalna i s najmanjim otporom. Dotjeran ravnač opet se ugradio u torpedo, a proces ponavljao sve do uspješnoga gađanja.

Nakon svih uspješnih gađanja, smjerni se ravnač završno kontrolirao na probnom stolu uz prisutnost tvorničkog kontrolora i kontrolora kupca; na tijelo ravnača utisnut je žig kontrolora, smjerni ravnač se konzervirao i skupa s reduktorom pakirao u specijalnu kutiju koju je plombirao kontrolor. Kutija je imala pločicu s oznakom i brojem torpeda. Na dijagram se upisao broj torpeda (prije utisnut na kućište ravnača) s potpisom kontrolora i priložio se u *torpednu knjigu* koja se ispunjavala za svaki torpedo.

6. ZAKLJUČAK

U razvoju torpeda smjerni je ravnač bio najznačajniji tehničko-konstruktivni produkt pa mu je već 1901. na svjetskoj izložbi u Parizu dodijeljena zlatna medalja koja se danas čuva u Muzeju grada Rijeke.

Visoka kvaliteta izrade svih sastavnih dijelova minimalnih dimenzija (npr. razvodnik radnog cilindra imao je promjer 2,5 mm, a u njegovoj košuljici tokareni su kanali širine 2,5 mm, dubine 0,8 mm), što je često zahtijevalo specijalne alate i naprave.

Posebno se mora istaknuti stručnost radnika u svim fazama proizvodnje, a iskustva su se najčešće prenosila s jedne na drugu generaciju.

Summary

Directing the torpedo in navigation under the sea is solved with the use of a machine which uses the physical effect of a rotating body to resist the change of its position in space. The product of multiplication of the moment of inertia and the angular speed is a vector we call intervention moment. When another moment has effect on the intervention moment a third vector appears which results in swerving the vector of the intervention moment. We call this precession, and it stops when the second moment stops being active. The directions of the moments are set according to the positive Descartes' coordinate system, where the positive axis x is the direction of the intervention moment and the direction of the rotation is set by the positive direction of the intervention moment when the right screw is turning. The directional straightener is made of a ring bearing a rotor, and an outer ring bearing the ring with the rotor, which is set in the housing of the directional straightener. This system allows the figurative axis of the rotor to have three free rotations. When the rotor spins, the system becomes "stable" thanks to the already mentioned gyroscopic moment, in other words because of the effect of the intervention moment, and the figurative axis of the rotor tries to keep the position of being parallel to itself in space. Because the housing of the directional straightener is firmly tied in the torpedo, and the axis of the rotor is parallel to the axis of the torpedo, every change of direction of the torpedo results in the same angle between the symmetry of the outer ring and the symmetry of the housing of the directional straightener. This relative angle is used for a movement of the distributor which lets the compressed air inside the cylinder and the movement of the piston in the cylinder is transferred with bars to the helms which set the torpedo back in its earlier direction. The steering itself can be divided into two systems according to the type of device –temporal and attended. The helms of temporal steering take the maximum bias of the helm to the left of to the right and stay in this position until the vessel changes back to its course. Because the construction of the distributor is with "positive" covering, the clip of the cylinder doesn't have a middle position, and the torpedo is sailing in a so-called zigzag course, which has the shape of a elongated sinusoid. All of the directional straighteners in this system are those of the Withead construction. In the attended steering the bias of the helm is proportional to the bias of the vessel's course and a directional straightener for a torpedo of a 533.4 mm (21") calibre is modelled after the German torpedo. The main difference between these two types of directional straighteners is in the way the motor is set in motion. With all of the Withead devices the rotor gets the first run from a turbine which is turned around by the pressured air through a connector, a so-called "impulse", and afterwards the rotor is run by two spurts of air which affect the rotor directly, while in the German-based straightener the rotor is run directly through a nozzle built in the outer ring. These impulses are very short, about 0.34 s, but the rotor must reach about 1800 revolutions per minute in order to reach the spinning of 22.000 revolutions per minute afterwards. According to the principle of temporal steering these types of directional straighteners have been designed: 1. ship-construction for a 45 and 53 cm calibre; 2. aircraft-construction for a 45 cm calibre; 3. aircraft-ship construction for a 45 cm calibre and 4. A straightener which steers the torpedo during a free flight of an aircraft launching. According to the principle of attended steering a directional straightener for a 53 cm calibre has been designed with the possibility of driving after a certain route and half-turn backwards, and again half-turn and continuation of the drive forwards with repetitions until the operating supplies run out. This is the case of aiming at a convoy when the torpedo misses its target. For the directional straightener to work safely all the parts had to be very precisely cut, carefully installed and finally adjusted. All the parameters were under strict control and were checked before launching, because the allowed deviation in line was 1%.