Miroslav Radosavljević,
major, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

RAČUNARSKA REALIZACIJA SISTEMA SAMONAVOĐENJA TORPEDA NA TRAG BRODA

UDC: 623.946.3:681.32

Rezime:

U članku je analizirana mogućnost zamene postojećeg uređaja za samonavođenje torpeda na trag broda računarskim komponentama. U postupku predloga nove konfiguracije, prikazana je logika rada postojećeg uređaja sa blok-šemom i putanjom koju torpedo napravi vođen signalima glave za samonavođenje. Kao sinteza data je nova blok-šema uređaja za samonavođenje, čiju osnovu predstavlja mikrokontroler.

Ključne reči: projektil, hardver, softver, dijagram toka, samonavođenje torpeda.

COMPUTER REALIZATION OF A SYSTEM FOR TORPEDO HOMING ON A VESSEL PATH

Summary:

The possibility to replace an existing torpedo homing device by computer components has been analyzed in the paper. The operating principle of the existing device has been presented together with its block-diagram as well as the path of a torpedo guided by homing head signals. The new configuration has introduced, as a synthesis, a new block-diagram of a homing device based on a microcontroller.

Key words: projectile, hardware, software, flow chart, torpedo homing.

Uvod

Projektili u najširem smislu, predstavljaju uređaje koji imaju sposobnost da, prema unapred određenoj trajektoriji, dođu do željene tačke u prostoru. Kretanje po zadatoj putanji odvija se sopstvenim pogonom i komandama koje generišu uređaji za vođenje. Samonavođenje se ostvaruje na različite načine, a najčešće obradom informacija, skoncentrisanih u nekoj vrsti signala, koje su imale kontakt sa ciljem. Veza sa ciljem ostvaruje se putem reflektovanih signala ili signalima koje on emituje. Reflektovani signali su deo emitovane

energije predajnika projektila, koji su odbijeni od cilja. Signali koje emituje cilj primaju se pomoću nekog senzora, a najčešće nastaju kao posledica rada pogona cilja.

Najčešći mediji kroz koje se projektili kreću su voda i vazduh. Razlika između projektila ogleda se, pre svega, u fizičkim zakonima koji se koriste za samonavođenje, motorima za pogon, izvršnim uređajima i sl.

U ovom radu pažnja je posvećena torpedima koji se kreću kroz vodu, navodeći se na trag broda. Danas u svetu postoji veliki broj različitih vrsta torpeda koji se navode po signalima uređaja za samonavođenje. Oni

su i po konstrukciji vrlo različiti. Razlike se ogledaju u korišćenju različitih fizičkih polja i načinu ostvarivanja kretanja po unapred određenoj putanji. Sigurno je da je navođenje na trag broda veoma karakteristično i specifično za torpeda. Ova vrsta navođenja obrađena je u ovom radu sa aspekta zamene dela postojećih blokova računarskim komponentama.

Uređaj za samonavođenje torpeda na trag broda

Uređaj za samonavođenje treba da, u završnom delu putanje, na osnovu detekcije traga broda i ugrađene sopstvene logike dovede torpedo do cilja. U radu je potpuno samostalan i pouzdan. Sastoji se od sledećih celina:

- hidrofona primopredajnika,
- bloka napajanja,
- bloka generatora impulsa,
- bloka prijemno-pojačivačkog uređaja,
- bloka ograničavača uglovnih brzina i davača impulsa,
- bloka logičkog uređaja.

Hidrofoni primopredajnika

Hidrofon primopredajnika ugrađen je na omotaču glave za samonavođenje. Osnovna uloga predajnog hidrofona jeste da pretvori električne signale iz predajnika u ultrazvučne i emituje ih u prostor vodene okoline. Prijem ultrazvučne energije iz okolnog vodenog prostora i pretvaranje u električni signal obavlja prijemni hidrofon. Ultrazvučni signal emituje se vertikalno naviše ka morskoj površini. Ukoliko je na svom putu naišao na turbulentno kretanje vode, ultrazvučni signal se reflektuje, pri čemu se menja njegova dužina trajanja. Detekcija reflektovanog signala je detekcija razlike dužine njegovog trajanja u odnosu na emitovani signal. Dijagram zra-

čenja predajnog i prijemnog hidrofona je usko usmeren i iznosi svega nekoliko lučnih stepeni.

Blok napajanja

Blok napajanja služi da na osnovu osnovnog napajanja koje postoji u torpedu obezbedi potrebne napone za rad blokova, kao i za formiranje izvršnih komandnih signala kormilima.

Blok generatora impulsa

Osnovna uloga generatora impulsa jeste da generiše impulse za sinhronizaciju rada kompletnog uređaja, strob impulsa koji otvara predajnik i prijemnik. On sadrži oscilator i pojačavački stepen sa izlaznim stepenom.

Blok prijemno-pojačivačkog uređaja

Osnovni zadatak prijemno-pojačivačkog uređaja jeste da nakon početka rada uređaja za samonavođenje izvrši samopodešavanje, a u osnovnom modu rada analizira reflektovane signale i predaje informacije o postojanju traga broda koji se prati.

Samopodešavanje primopredajnika podrazumeva podizanje osetljivosti prijemnika iznad nivoa reflektovanih signala okoline i anuliranje prijema signala nastalih refleksijom od površine mora. Nakon samopodešavanja primopredajnik obrađuje reflektovane signale od traga broda.

Blok ograničavača uglovnih brzina i davač impulsa

Ograničavač uglovnih brzina i davač impulsa namenjen je za ograničavanje uglovnih brzina zakreta torpeda i predaju impulsa koji predstavlja zakret torpeda.

Sastoji se od bloka napajanja, davača uglovnih brzina, ograničavača uglovnih brzina i davača impulsa.

Osa brzinskog žiroskopa, koji ima dva stepena slobode, usklađuje se sa osom prinudnog zakreta torpeda. Otklon kardanskog prstena žiroskopa proporcionalan je uglovnoj brzini prinudnog zakreta torpeda. Za kardanski prsten je mehanički čvrsto povezan klizač potencijometra koji navedeno zakretanje pretvara u električne signale koji se odvođe u logički blok. Takođe, električni signali sa brzinskog žiroskopa upoređuju se sa referentnim naponima (svaki referentni napon predstavlja određenu dopuštenu ugaonu brzinu zakretanja torpeda) radi generisanja komandnih signala. Komandni signali neposredno utiču na izvršne organe torpeda čime se ostvaruje njegovo potrebno zakretanje u horizontalnoj ravni.

Blok logičkog uređaja

Blok logičkog uređaja namenjen je za:

- sinhronizaciju rada svih ostalih blokova uređaja samonavođenja,
- formiranje putanje torpeda,
- brojanje impulsa zakreta torpeda.

Ovaj blok je centralni u uređaju za samonavođenje. Na osnovu informa-

Sl. 1 — Blok-šema uređaja za samonavođenje torpeda na trag broda

cije o (ne)postojanju traga i položaju torpeda formira potrebne signale kojima se realizuje putanja torpeda, odnosno neprestano presecanje traga broda koji se prati.

Blok-šema uređaja za samonavođenje prikazana je na slici 1.

Uvod u rad uređaja za samonavođenje podvodnog projektila

Uređaj ima zadatak da vodi podvodni projektil pod vodom, koristeći trag broda kao osnovni podatak za navođenje.

Oblik putanje projektila koji se navodi na trag broda i koji će u radu biti razmatran prikazan je na slici 2.

Nakon lansiranja projektil se kreće (na sopstveni pogon koji radi nezavisno od uređaja koji se razmatra) pod vodom. Algoritam samonavođenja odvija se po određenim fazama.

Prvo presecanje traga broda

Kada se projektil nađe ispod traga broda — laminarnog kretanja vodene mase, formira se signal koji se naziva PT (pod tragom). Signal PT formira se ukoliko je od određenog broja uzastopno emitovanih signala primljen potreban broj reflektovanih signala. Dalje kretanje projektila nastavlja se po tangenti (na slici je to predstavljeno pravim linijama) na ugao koji je imao do ulaska u brazdu. Kretanje po tangenti ostvaruje se do izlaska iz brazde broda, a signal koji će se tada formirati naziva se ZT (završetak traga).

Prvi izlazak projektila iz brazde broda

Signal ZT nastaje ukoliko od određenog broja uzastopno emitovanih signala postoji bar jedan reflektovani

signal manje od potrebnih za formiranje signala PT. To znači da je projektil napustio brazdu broda.

Sa formiranim signalom ZT počinje da se odrađuje signal SC (strana cilja). Ovaj signal unet je tokom pripreme projektila za lansiranje.

Sledeći ulasci projektila u trag broda

Ponovno formiranje signala PT označava da se projektil nalazi ispod traga broda. Dalje kretanje u — ispod traga broda zavisi od ugla kojim se

Sl. 2 — Putanje torpeda koja se navode po signalima glave za samonavođenje

Kada projektil počinje da se zakreće u stranu cilja (signal SC) vrši se detekcija lučnih stepeni zaokreta u horizontalnoj ravni. Formiranje sledećih signala obavlja se zakretanjem:

- po uglovima do α_1 ugaonom brzinom ω_5^1 ,
- po uglovima od α_1 do α_2 ugaonom brzinom ω_4 ,
- po uglovima od α_2 do α_3 ugaonom brzinom ω_3 ,
- po uglovima preko α_3 ugaonom brzinom ω_2 .

To su mogućnosti koje mogu da se pojave, što ne znači da će do zakretanja uvek dolaziti, a vrsta zakretanja zavisi od momenta presecanja traga broda.

torpedo kretalo neposredno pre ulaska
u trag.

Ako je ugao zakreta van traga manji od β_1 (projektil je pre ulaska u trag imao zakretanje ω_5) formira se signal promena SC (CD ako je pre toga bio CL i obrnuto), sa ugaonom brzinom zakreta ω_2 . Ovakvo zakretanje traje sve dok se ne formira signal ZT (navođenje se obavlja na ivicu brazde). Ako je ugao zakreta van traga veći od β_1 ali manji od β_2 formira se signal T (kretanje po tangenti na ugao koji je bio do ulaska u trag).

Ako je ugao zakreta van traga veći od β_2 formira se signal promena SC (CD ako je pre toga bio CL i obrnuto), sa ugaonom brzinom zakreta ω_5 . Ovakvo zakretanje traje sve dok se brojač uglova zakreta ne vrati na β_1 posle čega se formira signal T.

Ako je projektil bio duže od unapred određenog vremena u — ispod tra-

¹ Na slici 2 uglovi zakretanja su predstavljene sektorima u kojima se određuju odnosne ugaone brzine. Tako, na primer, za ugao α_1 odgovara ugaona brzina ω_1 .

ga broda, formira se signal SC (uzima se strana cilja koja je bila do ulaska projektila u brazdu), pri čemu se projektil zakreće ugaonom brzinom ω_2 . Ovakvo zakretanje traje sve dok se ne formira signal ZT.

Sledeći izlasci projektila van brazde broda

Kada se formira signal ZT dalje kretanje projektila van brazde broda odvija se na sledeći način: ako je ugao zakreta u tragu manji od β_1 (projektil je u tragu imao zakretanje ugaonom brzinom ω_2) formira se signal promena SC (CD ako je pre toga bio CL i obrnuto), a projektil se zakreće ugaonom brzinom ω_5 . Ovakvo zakretanje traje sve dok se ne formira signal PT (navođenje se obavlja na ivicu brazde).

Ako je ugao zakreta u tragu veći od β_1 prvo se formira signal promena SC (CD ako je pre toga bio CL i obrnuto), a dalje navođenje je identično kao i pri prvom izlasku iz — ispod brazde.

Kada se u brazdi broda formira signal ZT (postoje prekidi) tada je postupak sledeći: ako je ugao zakreta u prekidu traga manji od β_1 i ponovo dolazi signal PT formira se signal promena SC (CD ako je pre toga bio CL i obrnuto), a projektil se zakreće ugaonom brzinom ω_2 . Ovakvo zakretanje traje sve dok se ne formira signal ZT. Ako je ugao zakreta u prekidu traga veći od β_1 postupa se kao da je nastalo novo presecanje i postupa se prema šemi za sledeće izlaske projektila van brazde.

Ponovno traženje, drugi manevar projektila obavlja se zakretanjem:

- po uglovima do α_1 ugaonom brzinom ω_5 ,
- po uglovima od α_1 do α_2 ugaonom brzinom ω_4 ,
- po uglovima od α_2 do α_3 ugaonom brzinom ω_3 ,

— po uglovima preko α_3 ugaonom brzinom ω_2 do formiranja signala PT.

Kada se formira signal 270° — do formiranja signala 420° isključuje se indikatorski nivo (u tom periodu ne sme se formirati signal PT da bi se izbegla identifikacija sopstvenog traga).

Hardverska realizacija

Radi zamene postojećeg hardvera računarskom konfiguracijom neophodno je izučiti računarske komponente koje bi u potpunosti mogle da odgovore traženim zahtevima. U izboru računarskih komponenti mora se voditi računa da budu kompatibilne sa postojećim uređajima u torpedu. Nakon analize konkretnog stanja dolazi se do zaključka da je pogodnije primeniti mikrokontroler koji poseduje određeni hardver (ulazno-izlazne portove, tajmere, memoriju i slično) nego mikroprocesor kome se mora dodati neophodni hardver.

Blok-šema hardvera uređaja za samonavođenje

Blok-šema hardvera čiju okosnicu čini mikrokontroler prikazana je na slici 3. Predloženi hardver može u potpunosti zameniti postojeći uređaj za samonavođenje torpeda na trag broda. Po novoj šemi uređaj za samonavođenje sadrži:

- mikrokontroler,
- analogne ulazne referentne naponе,
- brzinski žiroskop,
- napon koji označava stranu cilja,
- digitalno-analogni konvertor,
- oscilator,
- blok za napajanje,
- uzemljenje.

Izabrani mikrokontroler zamenjivao bi postojeći hardver (na slici 1 šrafirano) koji se sastoji od:

- logičkog bloka,
- bloka generatora impulsa,
- bloka ograničavača uglovnih brzina i davača impulsa,
- prijemnog bloka.

Na osnovu opisanog rada uređaja za samonavođenje može se izraditi dijagram toka koji će u potpunosti zameniti funkcije postojećih blokova prikazanih (šrafirano) na slici 1. Novoformirani hardver na slici 3 softverski će analizirati primljene signale i, na osnovu pravila koja se unapred definišu, formirati komandne signale. Izvršni organi torpeda, izvršavajući komandne signale, zakretaće torpedo,

formirajući na taj način putanju prikazanu na slici 2.

Analizom se može zaključiti da sve navedene funkcije uspešno može da izvrši mikrokontroler THOMPSON ST6265B [1, 2], koji ima mašinski ciklus $1,625 \mu s$, a dinamika postojećeg hardvera je reda ms. To znači da se potrebna dinamika samonavođenja torpeda može u potpunosti izvršavati, a biće moguće da se izvrše i neke druge funkcije, kao što su: regulacija broja obrtaja turbine, kontrola napona napajanja na glavnim vodovima, kontrola pritiska unutar torpeda, kontrola smeše za pogon torpeda i sl., koje se na postojećem sistemu za sada ne obavljaju. Mikrokontroler THOMPSON ST6265B poseduje multiplekser i A/D konvertor za konverziju 13 različitih

Sl. 3. — Blok-šema mikrokontrolerskog uređaja za samonavođenje torpeda na trag broda

analognih napona. Analogni napon dovodi se na nožice mikrokontrolera, a time i na multiplekser, a zatim, po određenom redu, na A/D konvertor. Selekcija pojedinih priključaka za analogne ulaze (od svih mogućih), obavlja se konfiguracijom postojećih ulazno-izlaznih portova (ima ih tri). A/D konvertor ima osmobaritnu rezoluciju i vreme konverzije 70 μ s.

Pošto mikrokontroler daje izlazne signale u logičkom obliku, neophodno je da se izvrši njihova transformacija u analogne napone koje treba odvesti u uređaj za vođenje torpeda po pravcu. Za te potrebe mora se ugraditi digitalno-analogni konvertor. Predlaže se da to bude AD558DAC, čije karakteristike odgovaraju zahtevima rada uređaja torpeda. On se priključuje na izlazni port B i C linije PB0—PB3 i PC0—PC3.

Zaključak

Predložena šema hardverske podrške samonavođenja projektila na trag broda je ostvarljiva. Osnovna prednost datog rešenja je u jednostavnosti hardvera i u njegovoj niskoj ceni. Ostale prednosti su:

- male dimenzije;
- jednostavno održavanje;
- mala cena i mogućnosti nabavke mikrokontrolera na slobodnom tržištu;

Literatura:

- [1] ST6260B/ST6265B Data Book 3RD Edition SGS — THOMSON Microelectronics, july, 1994.
- [2] AST6/LST6 Macro — assembler Linker For the ST Family Of Microcontrollers, User manuel, july, 1993.

— siguran rad, odnosno mala verovatnoća otkaza u toku rada;

— vreme rada u toku eksploatacije i ispitivanja nije ograničeno kao sa postojećim hardverom;

— mogućnost dogradnje više modova rada sa malim ulaganjima. Moralo bi se ulagati jedino u dogradnju primopredajnika, pri čemu se mikrokontroler ne bi menjao. U slučaju potrebe zamene mikrokontrolera njegova cena je mnogo manja u odnosu na kupovinu novog sredstva;

— na račun smanjenja gabarita uređaja samonavođenja mogli bi se povećati neki drugi resursi (na primer, količina eksploziva, količina energenata za pokretanje i sl.).

Predloženo rešenje ima i mane koje se, pre svega, ogledaju u vremenu koje je potrebno za razvoj, načinu i potrebi angažovanja skupih materijalnih sredstava u toku ispitivanja i sl. Verovatno postoje i drugi nedostaci, ali su oni mnogo manji u odnosu na kvalitet koji bi se dobio.

U radu je prikazan samo način na koji se problem može rešiti, a konkretna realizacija zahteva dodatna i potpunija objašnjenja. Radi približavanja rada konkretnom problemu trebalo bi posebno objasniti konfigurisanje mikrokontrolera i izradu softvera.

- [3] Willis J. Tompkins, John P. Webster: Interfacing Sensors To the IBM PC, Brentcce Hill New Jersey, 1988.

- [4] Živković, D., Popović, M.: Impulsna i digitalna elektronika, Nauka, Beograd, 1993.