

Marijan Ljubetić *

Ante Bosnić **

ISSN 0469 - 6255
(123-129)

BRODSKI TORZIOMETAR "PANDA 2"

UDK 531.785 : 621.436:629.12

Pregledni rad

Sažetak

Ukratko se opisuje razvojni put izrade broskog torziometra "PANDA" domaće proizvodnje, s glavnim koriscima u primjeni i ugradnji u novogradnje u brodogradilištima i na ploveće brodove domaćih brodara.

Prikazane su tehničke odlike uređaja uz usporedbu s konkurentnim inozemnim komercijalnim rješenjima. Raspravljen je značaj broskog torziometra kao temeljnoga mjernog uređaja za postupnu automatizaciju i postupnu integraciju automatskog upravljanja brodom.

1. Razvoj "PANDE 2"

Nakon tridesetogodišnjeg iskustva mjerenja snage i broja okretaja na brodovima, i to na propulzijskim osovinama glavnih porivnih strojeva, raznim brodskim torziometrima, prvi autor ovog članka dr. Ljubetić došao je do zamisli originalnog rješenja broskog torziometra i nazvao ga "PANDA 2". Originalnost ovog rješenja opisana je pod naslovom "Tehničke odlike", u posebnom odjeljku ovog članka.

Početkom 1990. godine započela je izrada tehničke dokumentacije za "PANDU 2" na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i Pomorskog fakulteta u Dubrovniku sa skupinom suradnika iz firme Retro.

Krajem 1990. godine prijavljen je projekt Ministarstvu znanosti Republike Hrvatske, koji je prihvaćen i odobren pod nazivom "Optimalizacija iskorištavnja trgovačkog broda". U okviru tog projekta izrađena je i dokumentacija za broski torziometar "PANDA 2".

Tijekom 1991. i prve polovice 1992. godine torziometar je izrađen, baždaren i montiran na m/b "Kašić", te se pokazao kao pouzdan mjerni uređaj tijekom osam mjeseci rada.

U međuvremenu dva naša broderska poduzeća i jedno brodogradilište naručila su ovaj tip broskog torziometra za ugradnju na brodove.

1.1. Prednosti domaće proizvodnje broskog torziometra

Dosadašnji razvoj domaće brodersstva i brodogradnje bio je orijentiran samo na kupnju, ugradnju i uporabu inozemnih mjernih uređaja, programa za njihovo korištenje.

Razvoj domaće mjerne opreme i program za smanjenje i uporabu izmjerenih veličina ima ove prednosti:

- stečeno znanje pri izradi, ugradnji i uporabi mjernih instrumenata i program ostaje u hrvatskim poduzećima;
- iskustvo i znanje prenose se na sve sudionike u domaćemu korisničkom lancu;

- djelomična integracija upravljanja brodom kao imperativ za skorbu budućnost ne predaje se u ruke inozemstvu;

- utjecaj djelomične integracije upravljanja brodom na projekt broda, na organizaciju iskorištavanja broda, na izobrazbu i rad broderske posade, ostaje pod domaćom kontrolom;

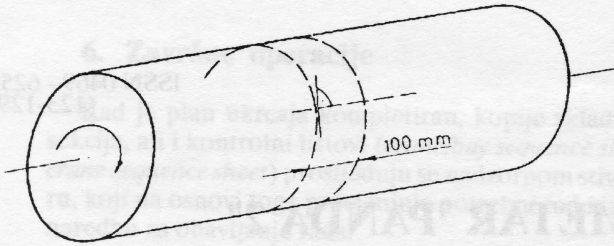
- nakon porodažnih muka treba očekivati odgovarajuću zaposlenost i zaradu u domaćemu korisničkom lancu.

Preuzimanje inozemne mjerne opreme i program za djelomičnu integraciju upravljanja brodom ima poznate mane, tj. kupuje se "nepoznanica", redovito kao starije razvojno rješenje, i nema mogućnosti za intervenciju ni održavanje niti mjernih uređaja niti programa.

2. Tehnička obilježja broskog torziometra "PANDA 2"

Torziometar "PANDA 2" zasnovan je na poznatoj metodi mjerenja deformacija s pomoću otpornih vrpca (strain gauge). Originalnost rješenja mehanike izdvaja ga iz niza torziometara koji se koriste spomenutom mjernom tehnikom. Prednosti su u mogućnosti zamjene mjernog elementa i u povremenim mehaničkim kalibracijama (deformacija-otčitanje) bez skidanja torziometra

* dr. Marijan Ljubetić,
Prof. dr. Ante Bosnić
Brodarski institut Zagreb
Zagreb



Slika 1.

s brodske osovine. trenutni izmjereni podaci, vremenski usrednjene vrijednosti i računalom obrađeni podaci omogućavaju stručno i ekonomično iskorištavanje broda.

2.1. Mehanički dio uređaja

Torziometar je lagan, malih dimenzija, zauzima prostor uzduž osovine od cca 200 mm i u radijalnom smjeru polumjer uvećava za $r=85\text{mm}$. Mjerni je sustav riješen bez fizičkog kontakta dijela u vrtnji s osovinom i mirujućeg instrumentarija.

Isporučuju se dvije osnovne izvedbe:

- a) za stalnu (čvrstu) ugradnju;
- b) za mjernu (prenosivu) ugradnju.

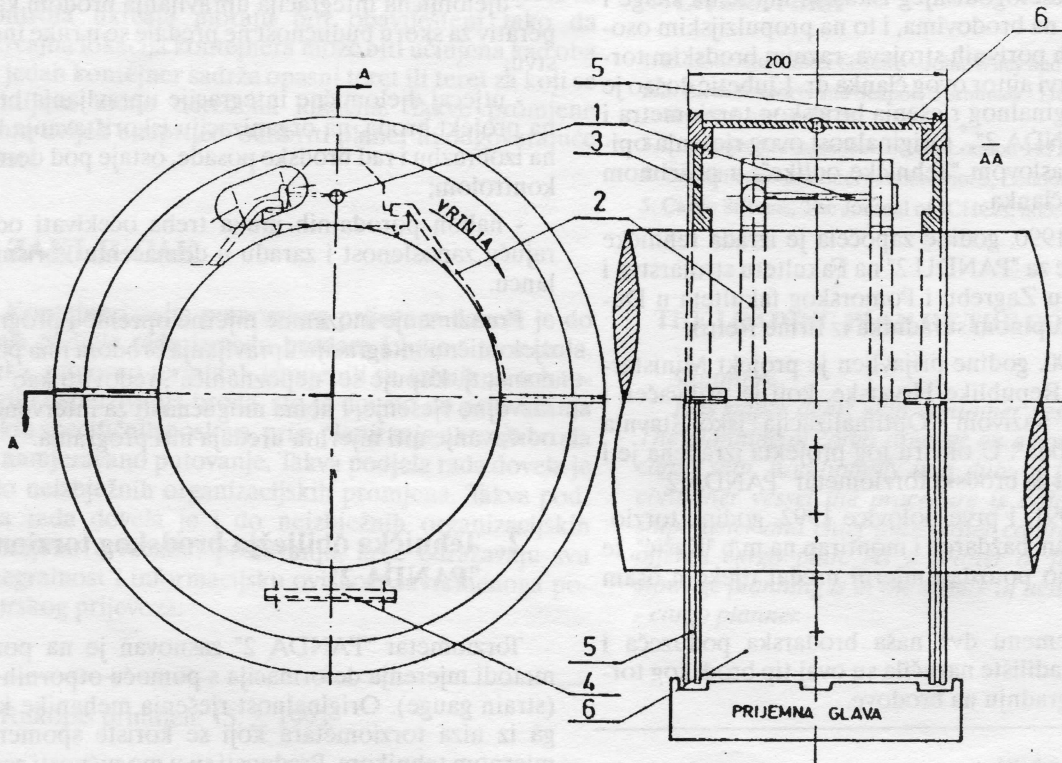
Standardno napajanje instrumentarija na osovini je "visoko frekventno", ali može se model za mjerenje (pokusne plovidbe) isporučiti u "baterijskoj" varijanti.

Te dvije standardne izvedbe omogućuju mjerenja na osovina s promjerom većim od $\phi 120\text{ mm}$ bez obzira na snagu i broj okretaja pogonskog stroja. Za osovine manje od 120 mm isporučuje se samo izvedba za čvrstu ugradnju - model s prstenovima.

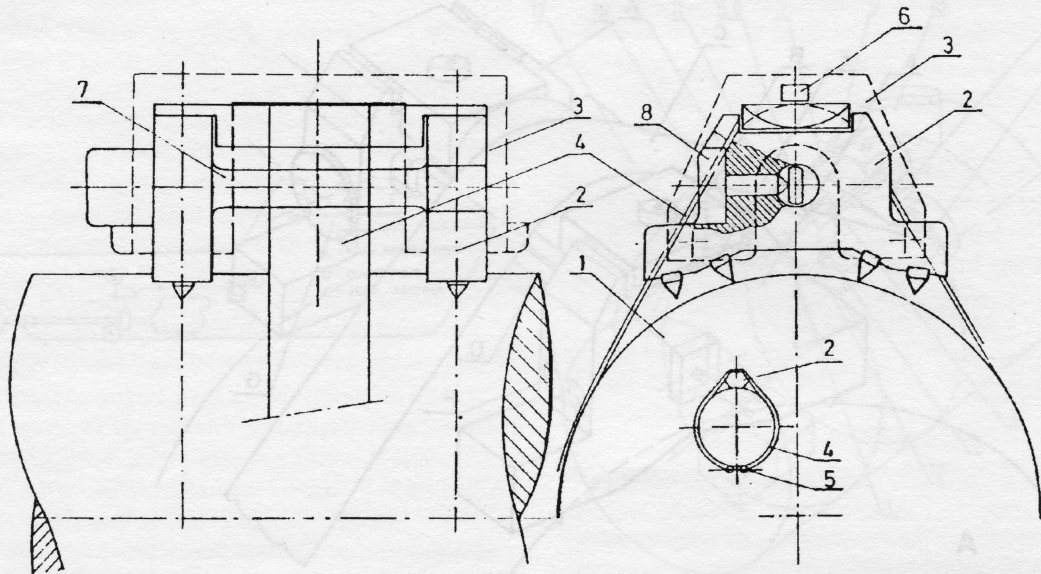
Bez obzira na to o kojem je modelu torziometra riječ, TIJELO ili PRSTENOVE TORZIOMETRA S MJERNIM KONZOLNIM ELEMENTOM treba postaviti vrlo pažljivo na brodsku osovину. Prije postavljanja poželjno je brodsku osovину očistiti na odabranom mjestu. Očišćena širina pojasa mora biti cca 220 mm (za čvrstu) i 350 mm (za prenosivu ugradnju). Mjesto postavljanja na osovini treba odrediti što bliže pogonskom stroju, na udaljenosti prirubnice (zadebljanja) većoj od 1,5 promjera osovine. Nakon čišćenja poželjno je, radi točnosti postavljanja tijela torziometra, ucrtati presjeke postavljanja "šiljaka", odnosno prstenova tijela. Dovoljno precizno je bilježenje traga šiljastog alata na osovini u sporju vrtnji.

Osim radijalnih tragova (sl. 1) treba označiti i pomoćni aksijalni trag. Na radijalne tragove postavljaju se šiljci tijela torziometra ili prstenovi (sl. 1) poštujući oznaku smjera vrtnje.

Slika 2. prikazuje model s tijelom (jahačem) u zaštitnom cilindru. Bez čvrstog zaštitnog cilindra (sl. 3. i 4) jest prenosiva izvedba za mjerenja na pokusnim plovidbama. Model s prstenovima za čvrstu ugradnju imat će na poziciji 2 (sl. 2) prstenove u koje se bočno ulažu jedan



Slika 2.



Slika 3.

ili dva mjerna konzolna elementa. Ti su prstenovi zajedno s plaštem (slično poziciji 6 sl.2) elementi zaštite torziometra.

Kada se postavlja na osovinu, tijelo torziometra (sl. 2) kruto je učvršćeno u okviru i moguća je akcijalna i radijalna provjera postavljanja. Model "s prstenovima" je dvodijelan, ali također kruto stegnutih prstenova na razmaku od 100 mm. Nakon završetka postavljanja tijela torziometra (prethodno poglavlje) potrebno je postaviti i učvrstiti mjerni element (sl. 2, poz. 1) u tijelo torziometra.

Zatim se postavljaju prstenovi zaštitnog kućišta (sl.2 poz. 3) prema nacrtu poštujući oznake smjera vrtnje. Nakon što su prstenovi na predviđenim policama pričvršćuje se elektronička pločica (sl. 2, poz. 4) i postavljaju odgovarajuće antene (sl. 2, poz. 5). Prema shemi spajaju se mjerni element s pločicom te pločice s antenama na prstenovima torziometra.

Mjerni se element vijkom (sl. 3, poz. 8) dovodi u lagano opterećenje, a cijeli sustav dobiva referentnu "NULU". Nakon provjere ispravnosti rada cijelog instrumentarija koji će biti u vrtnji, postavlja se zaštitna obloga na utore u prstenovima (sl. 2, poz. 6).

Nakon što je postavljeno tijelo (sl. 3, poz.2) torziometra na osovinu, kako je opisano pod 2, potrebno je postaviti mjerni element konzolu (sl. 3, poz. 7) i učvrstiti ga u ležište tijela. Lagano pritežući vijak (sl. 3, poz. 8) element se dovodi u mehaničko opterećenje, tzv. referentno "nultno stanje".

Na ovom tipu brodskog torziometra moguće je primijeniti i provjeriti rad osnovnoga, vitalnog dijela instrumentarija. Mjerni element - tenzometarska konzola može se zamijeniti skidanjem zaštitne obloge na modelu "stalne" ugradnje (sl.2, poz. 6), te vađenjem elementa

(sl.2 poz. 1) i postavljanjem ispravnog mjernog elementa u ležište tijela torziometra. Pri zamjeni elementa potrebno je promijeniti i ulaze u računalu "PANDE".

Provjera rada (ispravnost konstante mjernog elementa) također se obavlja mehanički. Upisana konstanta mjernog elementa očitat će se okretanjem baždarnog vijka (vijka za prednaprezanje - sl. 3 poz. 8) za naznačeni kut zaokreta.

Spomenute radnje moguće su na svim izvedbama i modelima torziometra jer im je načelo mjerenja konzolnim elementom jednako.

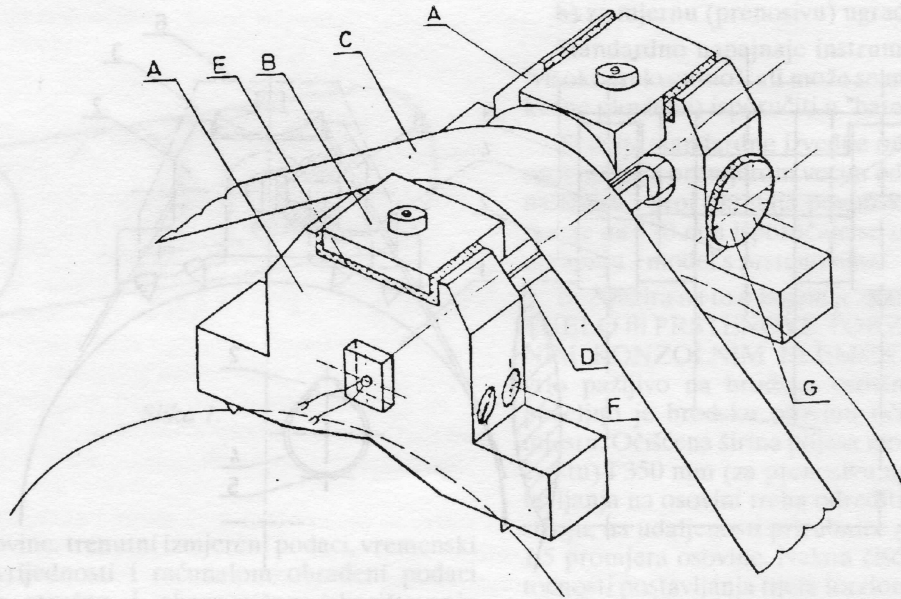
Baždarenjem mjernog elementa utvrđuje se odnos između poznate deformacije konzolnog elementa i registrirane električne veličine. Taj se odnos označuje konstantom C.

Tijelo torziometra (sl. 4, poz. A) postavlja se na osovinu "uređaja za baždarenje" sukladno s uputama u knjižici "TEHNIČKE OSOBINE TORZIOMETRA PANDA 2".

Spoj tijela s osovinom ostvaruje se pritezanjem pojasa (sl. 4, poz. C) tj. u varijanti torziometra namijenjenoga prijenosu prema potrebama mjerenja.

Nakon što se postavi TIJELO PANDE (A) i pritegne POJAS (C), potrebno je umetnuti i učvrstiti MJERNI KONZOLNI ELEMENT (sl.4 pod D i sl.5) u ležište u TIJELU PANDE (A). Prije spajanja mjerne elektroničke opreme otpuštaju se vijci na poprečnoj prečki (sl. 4, poz. B).

Poslije osnovne provjere funkcioniranja elektroničkog sklopa (napajanja i prijema signala) potrebno je vijkom (sl. 4, poz. G) proizvesti početnu (malu) deformaciju mjernog elementa. Ta će se deformacija smatrati "prednaprežanjem", a na prijammiku odredit će se "NULA".



Slika 4. Tijelo PANDE na plaštu osovine

Referentno "NULTO" stanje na uređaju označava mogući početak baždarenja, tj. postupnog povećanja opterećenja (sile momenta) i registriranje električne veličine.

Pri baždarenju mjernog elementa poštuje se jednadžba snage:

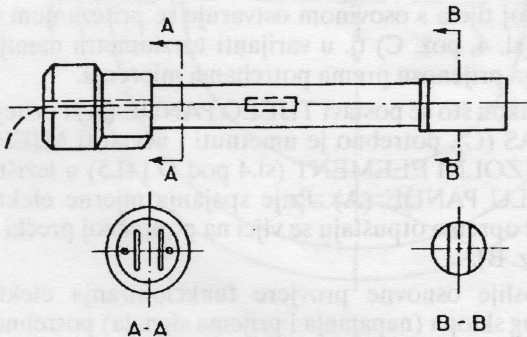
$$P_D = M \cdot \omega = C K \Delta SK \cdot N \text{ (kW)}$$

M - moment = krak P. sile (kN m)

$$N - \text{okretaji osovine (min}^{-1}\text{)}, \omega = \frac{N\pi}{30} = \frac{N}{9,5493} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

Na torziometru PANDA izmjereni će moment ovisiti o ovome:

$$M = C K \Delta SK \text{ (kW /o/min)}$$



Slika 5. Mjerni element s tenzometarskim vrpcama

C - konstanta mjerne konzole (10^{-7} cm/el. vel. ili dijelovi skale)

K - konstanta torziometra i osovine (kW /o/ min po ΔSK)

DSK - izmjerena električna veličina (mV ili otčitanje, dio skale ...)

Konstanta K ovisi o geometriji osovine i mjestu postavljanja torziometra "PANDA", a računa se s pomoću izraza:

$$K = \frac{G I_p}{(R + \Delta r) L \cdot 9549,3} \quad \left(\frac{\text{kW}}{\text{o/min}} / \text{cm} \right)$$

G - modul smika = $8,14 \cdot 10^{10}$ (N/m²)
(prosječna vrijednost za brodске osovine)

I_p - polarni moment = $\frac{\pi}{32}(D^4 - D_u^4)$ (m⁴)

L - razmak šiljaka = 100 mm = 0,1 m

R + Δr - mjesto registracije pomaka na torziometru (m)

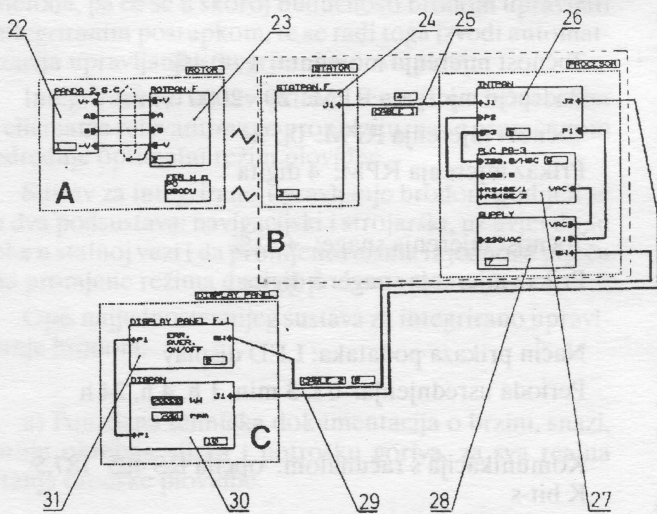
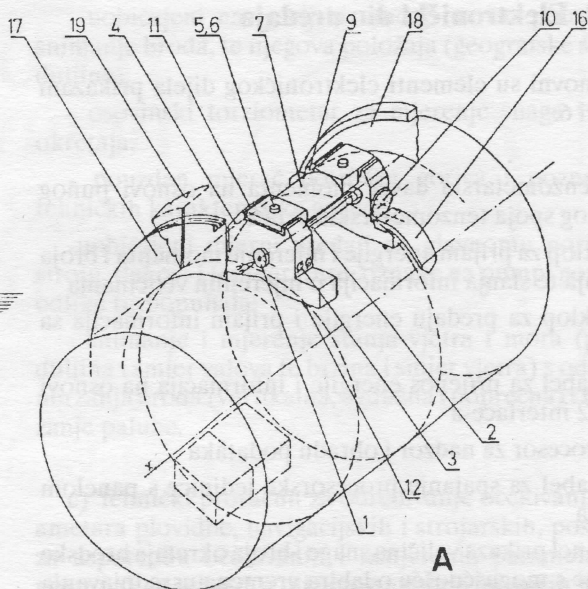
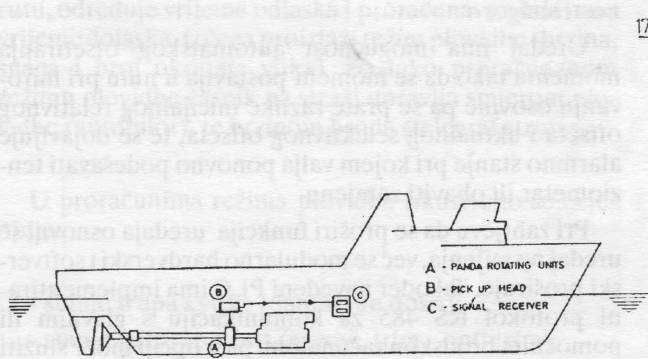
ΔSK "dijelovi skale, elek. veličina" određeni su izrazom:

$$\Delta SK = \frac{M}{(C K)} \text{ (dsk ... el. veličina)}$$

U ovom se izrazu nalaze objašnjene veličine konstante ΔSK , a konstanta mjernog elementa-konzole "c" računaju se po izrazu:

$$C = \frac{M}{\Delta SK K} \text{ (} 10^{-7} \text{ cm/dsk)}$$

Na osnovi izraza i izloženog proračuna snage (momenta) izrađuje se "BAŽDARNI LIST".



No.	Title	Part	Material
	Display panel F.I	31	P2F-E-11
	DISPAN	30	P2F-E-10
	Cable 2	29	P2F-E-09
	Supply	28	P2F-E-08
	PLC PS-3	27	P2F-E-07
	INTPAN	26	P2F-E-06
	Cable 1	25	P2F-E-05
	STATPANF	24	P2F-E-04
	ROTPANF	23	P2F-E-03
	PANDA 2 S.G.	22	P2F-E-02
		21	
		20	
1	Protective drum with magnets	19	P2F-K-3.03
1	Clamp ring for torque signal	18	P2F-K-3.01
1	Clamp ring for power supply	17	P2F-K-3.01
2	Securing ring	16	P2F-K-3.02
1	Punch wedge	15	P2F-K-1.11
1	Sheave	14	P2F-K-1.10
1	Assembly screw	13	P2F-K-1.09
8	Knife edges	12	P2F-K-1.08
2	Elastic insertion	11	P2F-K-1.07
1	Calibr. button using known shift	10	P2F-K-1.06
1	"PANDA" body II	9	P2F-K-1.05
1	Transport frame	8	P2F-K-2.00
1	Distance rung	7	P2F-K-1.04
2	Elastic support	6	JUS M.B2.110
2	Allen screw 0 6	5	JUS M.B1.120
1	"PANDA" Body I	4	P2F-K-1.03
2	Stud M6 x	3	JUS M.B1.280
1	Pick up-strain gauged Cons. El.	2	P2F-K-1.02
1	Nu	1	P2F-K-1.1

Product No.:		Owner / Ship's name	
Date:			
Draw:		KONMARK - - RETRO ZAGREB	
Control:			
Send by:			
Scale:	Name: GENERAL ARRANGEMENT PERMANENT	Drawing no.: P2F-K-0.00	

Slika 6.

2.2. Elektronički dio uređaja

Osnovni su elementi elektroničkog dijela prikazani na slici 6:

- Tenzometarski davač momenta na osnovi punog mostnog spoja tenzometarskih vrpca
- Sklop za prijam energije i mjerenje momenta i broja okretaja te slanja informacija o mjerenim veličinama
- Sklop za predaju energije i prijam informacija sa sklopa
- Kabel za prijenos energije i informacija na osnovi RS 422 interface-a
- Procesor za nadzor i obradu podataka
- Kabel za spajanje procesorske jedinice s panelom prikaza
- Panel prikaza veličina snage i broja okretaja brodske osovine s mogućnošću odabira vremena usrednjavanja podataka snage

Uređaj je koncipiran modularno, s mogućnošću proširenja dodatnim funkcionalnim zahtjevima. On mjeri, obrađuje i prikazuje podatke o momentu, broju okretaja i snazi na brodskim osovinama. S mogućnošću proširenja uređaj je opravdano držati dijelom automatskog procesa za optimalizaciju rada broskog pogona.

Informacija o momentu s tenzometarskog davača (22) procesira se u elektroničkom sklopu (23) smještenomu na samoj brodskoj osovini. Sklop se napaja bežičnim elektromagnetskim prijenosom energije s nepomičnog sklopa (24). Informacija o broju okretaja dobiva se induktivnim putem preko beskontaktnog mikroprekidača. Signal koji daje informaciju o momentu filtrira se, pojačava, te frekventno modulira i bežično prenosi u sklop (24).

U sklopu (24) te se informacije pretvaraju u digitalne signale prilagođene za prijenos na daljinu do 1 000 m.

Prenos digitalnih signala obavlja se posebnim oklopljenim kablom zaštićenim od utjecaja elektromagnetskih smetnja okolnih postrojenja (25).

Procesori (26, 27, 28) ima funkciju obrade digitalnih signala i prikaza na digitalnim indikatorima. To je u osnovi programibilni logički kontroler (PLC) koji upravlja cjelokupnim procesom mjerenja. Konstanta, potrebna za proračun snage, unosi se softverski preko komunikacijskog kanala ili se za pojedini uređaj fiksno sprema na lokaciju EPROM-memorije sistemskog programa.

Mogućnost usrednjavanja podataka o snazi izvedena je u vremenskim intervalima od 6 s, 3 min, 1 h, 4 h, 24 h.

Prednosti programabilne logike su višestruke s obzirom na zahtjeve usrednjavanja podataka, njihova spremanja u memoriju, prikaza i dodatnih mogućih opcija (mjerenje protoka goriva, i sl. te obrade podataka na brodskom računalu).

Uređajem se mogu odabrati vremenski intervali u kojima se usrednjuju podaci o snazi i prikazuju, ali i

spremati podaci te naknadno prikazati srednje vrijednosti snage.

Uređaj ima mogućnost automatskog ofsetiranja momenta tako da se moment postavlja u nulu pri mirovanju osovine pa se prate razlike inicijalnog relativnog offseta i aktualnog selektivnog offseta, te se dojavljuje alarmno stanje pri kojem valja ponovno podešavati tenziometar ili obaviti zamjenu.

Pri zahtjevu da se proširi funkcija uređaja osnovni se uređaj ne mijenja, već se modularno hardverski i softverski proširuje. Također navedeni PLC ima implementirani protokol RS 485 za komunikaciju s glavnim ili pomoćnim brodskim računalom, pa u opciji može služiti za registraciju i obradu podataka.

Nakon montaže i puštanja u pogon sistema, uređaj je predviđen za trajni rad. Budući da on ima real-time-clock sistem, početak mjerenja koincidentan je s uključanjem uređaja. Samo rukovanje njime vrlo je jednostavno i ne opterećuje operatera.

Po uključanju uređaja pojavljuje se inicijalni prikaz snage (P) i broja okretaja (N) u pripadajućim mjernim jedinicama na display-panelu. Selektorom (TIME AVERAGE) odabire se vrijeme usrednjavanja prikaza (6 s, 3 min, 1 h, 4 h, 24 h) od trenutka uključanja. Budući da je minimalno vrijeme usrednjavanja 6 s, to će i minimalni interval između izmjene izračunatih veličina na displayu također biti 6 s.

Točnost mjerenja momenta: $\pm 0,4\%$

Područje mjerenja RPM: 20 - 2000 o/min

Točnost mjerenja RPM: 0,5%

Prikaz mjerenja RPM: 4 digita

Točnost mjerenja snage: $\pm 1\%$

Prikaz mjerenja snage: 5 digita

Način prikaza podataka: LED display

Perioda usrednjenja: 6 s, 3 min, 1 h, 4 h, 24 h

Komunikacija s računalom: opcija RS 485 187,5 K bit-s

Mogućnost obrade podataka: opcija

Napon napajanja: 220 VAC $\pm 20\%$
50/60 Hz

Radno područje temperature: 0 – 55°C

Maks. područje temperature: -20 – +70°C

Procesor: Mikroprocesorski sustav KLOCKNER - MOELER PS-3

Izvedba uređaja: Brodsko-tropska

3. Značenje broskog torziometra za optimalizaciju brodske plovidbe

Danas na većini brodova trgovačke flote plovidbom individualno upravlja časnik palube.

Za svaku plovidbu zapovjednik određuje i ucrtava rutu, određuje vrijeme odlaska i proračunava očekivano vrijeme dolaska, iz čega proizlazi režim plovidbe (brzina, snaga i broj okretaja vijka). Po tako proračunanom režimu plovidbe časnik na straži upravlja smjerom plovidbe (autopilot), te brzinom broda (telegraf stroja).

U proračunima režima plovidbe iskustveno se ocjenjuje:

- stanje trupa i vijka (dani izvan doka);
- stanje natovarenosti (gazovi, trim - opti trim);
- stanje porivnog stroja (održavanje, zamjena rezervnih dijelova);
- stanje vjetra i valova (očekivano i stvarno).

Stvarni podaci o snazi porivnog stroja, brzini broda, broju okretaja vijka, danima izvan doka, stanju održavanja porivnog stroja, gazovima broda, vremenskim uvjetima i potrošku goriva rijetko se registriraju i unose u dijagrame na brodu.

Stvarni registrirani pobrojani podaci još se rjeđe upotrebljavaju za proračun utjecaja na pad brzine broda, iz kojega se proračuna samo mogu izvoditi zaključci i odluke o potrebnim zahvatima na brodu.

Individualno upravljanje plovidbom zastarjela je metoda, pa će se u skoroj budućnosti brodom upravljati integriranim postupkom, te se radi toga izvodi automatizacija upravljanja integriranim postupkom.

Integrirani se sustav pritom temelji na izmjerenim veličinama relevantima za propulziju, pa se proračunom određuje optimalni režim plovidbe.

Sustav za integrirano upravljanje brodom podijeli se u dva podsustava: navigacijski i strojarski, uz uvjet da su oba u stalnoj vezi i da promjene režima iz jednoga utječu na promjene režima drugog podsustava.

Opis najjednostavnijeg sustava za integrirano upravljanje brodom:

a) Pouzdana tehnička dokumentacija o brzini, snazi, broju okretaja vijka i potrošku goriva, za sva realna stanja brodske plovidbe.

b) Mjerni uređaji:

- uobičajeni navigacijski uređaji uz što pouzdanije snimanje broda, te njegova položaja (geografske širine i duljine);

- osovinski torziometar za mjerenje snage i broja okretaja;

- pouzdan mjerac potroška goriva i poznavanje tehničkih karakteristika goriva;

- uobičajeni mjerni uređaji na glavnomu porivnom stroju, tlakovi i temperature, oznake na pumpi goriva te odlike turbopuhala;

- snimanje i mjerenje stanja vjetra i mora (visina, duljina i smjer valova te brzina i smjer vjetra) s odzivom ubrzanja broda (vertikalna, uzdužna i poprečna) i naprezanje palube.

c) Tehnički proračun za određivanje očekivanih parametara plovidbe, navigacijskih i strojarskih, postupak za usporedbu očekivanih i izmjerenih parametara te postupak za tehničko dijagnosticiranje mogućih uzroka odstupanja izmjerenih i izračunanih parametara, te potvrda ispravnosti izmjerenih veličina.

Iz opisa tehničkih odlika broskog torziometra "PANDA 2", te značenja njegove ugradnje na brod, može se zaključiti da je taj mjerni uređaj srce za kontrolirano upravljanje brodom. On je i prijeko potreban kao prvi element u razvoju integriranog upravljanja brodom. S obzirom na sve izrazitiju konkurenciju u brodarstvu, djelotvorna uporaba broskog torziometra nezaobilazno je za postizanje bar djelomične optimalizacije u upravljanju broskom plovidbom.

MARINE TORSIOMETER "PANDA 2"

Summary

The developing process of marine torsiometer "Panda 2" of domestic manufacturing has been outlined, showing its advantages in application and installation in new build-ups in shipyards and an domestic fleet ships.

Technical features of the device in comparison to competitive foreign commercial solutions have been shown. The importance of marine torsiometer as a basic measuring instrument for gradual automation and gradual integration of automatic ship management has been discussed.

Rukopis primljen: 15. 2. 1993.