

ELEKTRONIČKI NAVIGACIJSKI SISTEMI

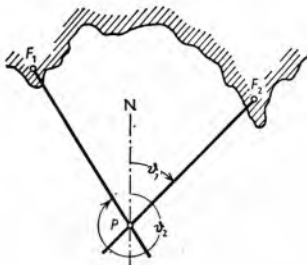
Elektronički navigacijski sistemi su naprave koje se sastoje od većeg broja elektroničkih sastavnih dijelova i sklopova, a služe za određivanje osnovnih navigacijskih parametara ili vrše neke druge za navigaciju važne funkcije.

Navigacija (od lat. *navis*, brod) je nauka o vođenju broda ili aviona najpovoljnijim putem od jedne točke na Zemlji do druge točke. Ona se pri određivanju navigacijskih parametara (položaja, kursa itd.) služi dostignućima suvremene nauke i tehnike. Ponekad se nauka o vođenju aviona zove i *avigacija* (od lat. *avis*, ptica).

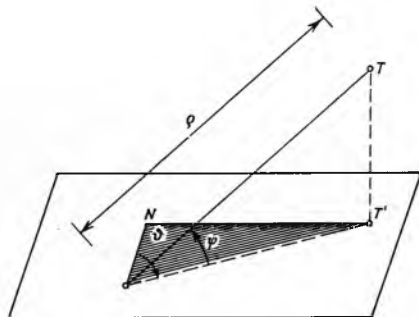
Osnovni je zadatak navigacije određivanje trenutnog položaja ili pozicije broda ili aviona i utvrđivanje kursa (tj. smjera u kome treba ploviti ili letjeti) prema budućoj poziciji. Pored toga se navigacija bavi svime što na putu broda ili aviona može imati utjecaja na njegovo kretanje.

Položaj ili pozicija broda ili aviona nalazi se u presjecištu dvaju ili triju linija pozicija ili stajnica, tj. linija za koje se utvrdi nekom navigacijskom metodom da se negdje na njima nalazi objekt kojemu se određuje pozicija (sl. 1). Linija pozicija ili stajnica je pravac ako je određena smjerom na neki objekt, ona je kružnica ako je dobivena mjerenjem udaljenosti od nekog objekta, a hiperbola ako je utvrđena razlikom udaljenosti od dva objekta. Do linija pozicija dolazi se različitim sredstvima i metodama, među ostalim i elektroničkim navigacijskim sredstvima, o čemu je govor u ovom članku. O vlastitoj poziciji govori se kad se linije pozicija određuju na objektu koji se nalazi na nepoznatoj poziciji, a o tuđoj poziciji kad se radi određivanja položaja tuđeg objekta mjerenja vrše s poznate pozicije, npr. radarom s kopna ili sa zemlje.

Pozicija na površini Zemlje, npr. pozicija broda na moru, određena je dvjema koordinatama (npr. geografskom širinom i duljinom). Za pozicije u prostoru, npr. za zrakoplove, potrebne



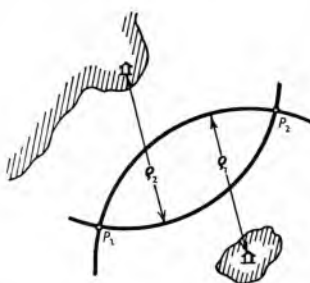
Sl. 1. Određivanje pozicije broda ili aviona s pomoću dva smjera. F_1 i F_2 radio-farovi, P pozicija, θ_1 i θ_2 pravi smjerovi



Sl. 2. Određivanje pozicije u prostoru s pomoću prostornog koordinatnog sistema. θ pravi smjer, ψ visinski kut, q udaljenost

su tri koordinate; spomenutim dvjema pridružuje se još visina na kojoj letjelica leti. Pri određivanju pozicije u prostornom polarnom koordinatnom sistemu (sl. 2) mjere se smjer θ , udaljenost q , i, kao treća koordinata, visinski kut ψ (elevacija). Pri većim udaljenostima i manjim visinama letenja treća se koordinata može ponekad zanemariti.

Za određivanje pozicije mogu se upotrijebiti istovrsne linije pozicije (npr. samo smjerovi) ili raznovrsne (npr. smjerovi i hiperbole). Pri primjeni linija pozicija treba voditi računa o neizvjesnostima koje mogu njihovom primjenom nastupiti.



Sl. 3. Određivanje pozicije sa dvije izmjerene udaljenosti θ_1 i θ_2 . Kružnice se stajnice sijeku u dvije točke P_1 i P_2 , pa je neizvjesno koja je pozicija prava

Izmjereni radio-smjerovi, npr., ponekad su neizvjesni za 180° , pri određivanju pozicije kružnicama dobiju se dva presjecišta (sl. 3), pa treba tek odrediti koje je od njih prava pozicija. Pri primjeni hiperbola često se ne zna koja je hiperbola u polju hiperbola prava. Radi uklanjanja tih neizvjesnosti u nekim su elektroničkim navigacijskim sistemima predviđena posebna dodatna rješenja, a u drugim potrebna su radi uklanjanja tih neizvjesnosti dopunska mjerenja.

Elektronička navigacija. Ranije se češće govorilo o radio-navigaciji, radio-lokaciji i o radio-navigacijskim pomoćnim sredstvima, danas se ti pojmovi rjeđe upotrebljavaju, ili se pak primjenjuju samo kad je riječ o uređajima koji rade s pomoću radio-valova. Sada naime postoje uređaji koji za dobivanje navigacijskih parametara ne primjenjuju radio-valove, već neke druge prirodne pojave, npr. inerciju (tromost), vidljivo svjetlo, infracrveno svjetlo, ultrazvuk itd.), a elektroničke uređaje upotrebljavaju kao pomoćne. Ti se uređaji, zajedno s prije spomenutim (radio-navigacijom, radio-lokacijom i sl.) obuhvaćaju širim pojmom elektroničke navigacije. Sadašnji elektronički navigacijski sistemi nisu više uvijek samo pomoćno sredstvo kojim se pri navigaciji služi pilot ili oficir straže, već neki služe u okviru integralnog navigacijskog sistema za samostalno automatsko vođenje broda ili aviona, pri čemu oni stalno provjeravaju pozicije i samostalno vrše ispravke kursa u kome se kreće objekt kojim oni upravljaju.

Elektronička se navigacija bavi, dakle, vođenjem broda ili aviona s pomoću elektroničkih navigacijskih sistema, a služi kao dopuna terestričkoj (obalskoj), astronomskoj i zbrojnoj (računskoj) navigaciji. Ona preuzima danas na sebe sve više zadataka u vezi s navigacijom broda i aviona, a ima izgleda da upravo ona postane u bliskoj budućnosti glavna grana navigacije.

Osim elektroničkim navigacijskim sistemima, brodovi i avioni služe se pri navigaciji i nizom drugih elektroničkih sredstava, npr. visinomjerima, dubinomjerima, radio-vezama, radarima i dr. radi sigurnosti plovidbe, izbjegavanja sudara i sl. U posebnu grupu navigacijskih pomagala idu različiti pomoćni uređaji kao što su elektronička navigacijska računala, elektronički brodski kvarcni satovi i sl.

U ovoj će glavi članka o elektroničkim sistemima biti opisani samo najznačajniji navigacijski elektronički sistemi.

Podjela elektroničkih navigacijskih sistema može se provesti na više načina, npr. prema namjeni, prema djelovanju, prema broju upotrijebljenih kanala, prema ovisnosti o drugim uređajima, prema obliku linije pozicija koju daju, i sl.

Dijeleći uređaje prema namjeni, govori se o navigacijskim sredstvima koja služe za vođenje aviona prilikom dugih preleta, pri približavanju aerodromu, prilikom slijetanja i, konačno, na samom aerodromu. Odgovarajuća podjela postoji i u pomorstvu. Tu idu u prvu grupu sistemi i uređaji koji služe za određivanje pozicije brodova na otvorenom moru i velikoj udaljenosti od obale, u drugu uređaji koji se primjenjuju prilikom približavanja obali, pri priobalnoj plovidbi i pri ulasku u luke, a u treću uređaji koji su potrebni za vođenje brodova u lukama.

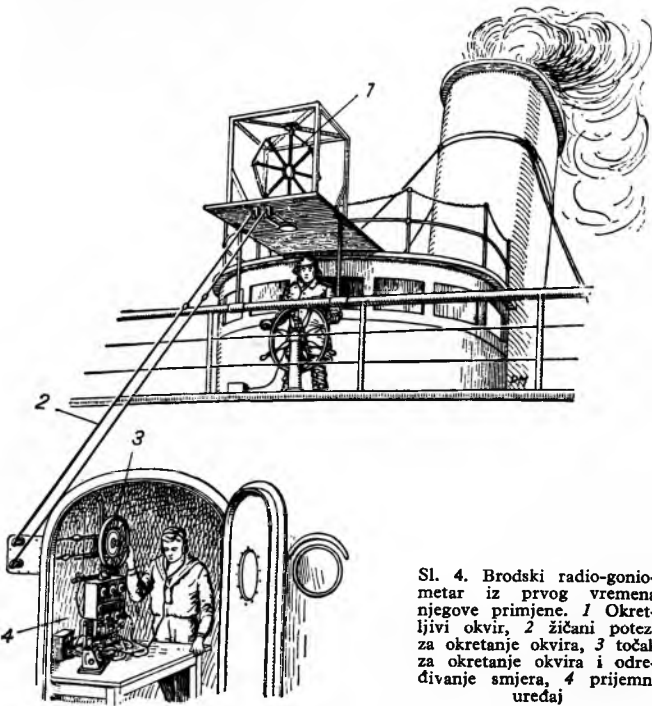
Prema načinu svog djelovanja mogu se elektronički navigacijski sistemi podijeliti na kooperativne, koji rade u sprezi ili suradnji dvaju uređaja (npr. radio-goniometar na brodu i radio-far na obali) i nekooperativne ili autonomne, koji su sami po sebi sposobni određivati navigacijske parametre, a eventualno i samostalno voditi brod ili avion (npr. inercijalni navigacijski sistem).

Radio-navigacijski sistemi dijele se ponekad na monokanalne i multikanalne uređaje, već prema broju radio-kanala s kojima rade njihovi uređaji. Monokanalni sistem sastoji se od jednog odašiljačkog dijela čiju emisiju prima neki drugi dio uređaja. U ovu grupu idu npr. kružni radio-far i goniometar, sistemi na principu refleksije (radari) i sistemi na principu odgovarača (sekundarni radari). U mnogokanalne sisteme idu uređaji kojima zračenje potječe od više izvora zračenja (npr. usmjereni farovi).

U navigaciji dijele se elektronički navigacijski sistemi obično prema obliku linije pozicija (stajnice) koju pojedini uređaji daju. Nekima je linija pozicija pravac (npr. usmjerenim farovima i goniometrima), drugima kružnica (daljinomjerskim uređajima), trećima hiperbola (hiperbolnim sistemima), a neki se sistemi služe različitim kombinacijama pravca, kružnice i hiperbole (npr. radar).

Da bi se pojedini elektronički navigacijski sistemi mogli uspješno primijeniti, treba uz neke od njih imati, osim aparata, i neka pomagala, npr. specijalne karte za uoženje stajnica, tablice za korekture dobivenih podataka, priručnike u kojima se mogu naći geografske pozicije uređaja tih sistema na kopnu, vrijeme rada i sl. Izmjene i dopune objavljuju se redovito u odgovarajućim oglasima.

Historijat. U pomorstvu počela je primjena elektroničkih navigacijskih sredstava relativno rano. Već od 1903 pa sve do danas vrše se redovite radio-emisije za prijenos točnog vremena koje je, osim za ostale svrhe, naročito važno pri određivanju pozicije broda astronomskim putem. Obavijesti i oglasi za pomorce emitiraju se redovito već od 1907. Međutim, o primjeni elektroničkih navigacijskih sredstava u pravom smislu riječi može biti govora tek pošto su uvedeni na brodove radio-goniometri, tj. naprave za mjerenje radio-smjerova. Do šire primjene radio-goniometara s okretljivim okvirom došlo je tek pošto su oni u toku prvog svjetskog rata usavršeni i pošto su u njihovim prijemnicima upotrijebljene za pojačanje elektrone. Izgled broskog radio-goniometra iz tog doba pokazuje sl. 4. Dostojno iz toga došli su u upotrebu i radio-goniometri sa dva fiksna unakrštena okvira po sistemu Bellini-Tosi (v. sl. 49).



Sl. 4. Brodski radio-goniometar iz prvog vremena njegove primjene. 1 Okretljivi okvir, 2 žičani potezi za okretanje okvira, 3 točak za okretanje okvira i određivanje smjera, 4 prijemni uređaj

U toku drugog svjetskog rata došlo je do usavršavanja goniometara i proširenja njihove primjene sa niskih i srednjih radio-frekvencija na vrlo visoke i najviše frekvencije.

Već od 1922 počeli su se upotrebljavati radio-farovi (radio-svjetionici) s kružnom karakteristikom zračenja, koji služe za određivanje radio-smjerova s pomoću radio-goniometra.

Tridesetih godina pojavili su se i prvi usmjereni radio-farovi, koji služe za vođenje broda ili aviona u određenom kursu.

U toku drugog svjetskog rata razvijeno je nekoliko potpuno novih navigacijskih uređaja. Tu valja u prvom redu spomenuti navigacijski radar s panoramskim pokazivačem na 3-centimetarskom i 10-centimetarskom valnom području. Aparati za povezivanje radarske slike s pomorskom kartom nisu našli na naročiti odziv, kao ni radarski farovi. Radi isticanja objekta na ekranu radara (npr. svjetionika na plutačama i za navigaciju značajnih točaka na obali) počeli su se poslije drugog svjetskog rata postavljati na takvim mjestima radarski kutni reflektori (str. 728). U toku rata bilo je razvijeno i bilo je u upotrebi nekoliko vrlo značajnih hiperboličkih navigacijskih sistema. Od njih se Loran A i njemu srodan sistem na vrlo visokim frekvencijama, tzv. GEE, još i danas upotrebljavaju. Hiperbolički sistem Decca, koji je po prvi put upotrijebljen prilikom savezničke invazije u Normandiju, dokazao je svoju valjanost kao sistem za manje udaljenosti, te se zadržao, uz neka usavršenja, sve do danas. Od Nijemaca primijenjeni sistem Sonne, neke vrste radio-far s okretljivom karakteristikom isijavanja, nije našao na širu primjenu, mada nekoliko stanica tog sistema radi još i danas pod imenom Konsol-(engl. Consol)-far.

Poslije drugog svjetskog rata došlo je do daljeg usavršavanja nekih od ratnih navigacijskih sistema (Loran C 1963, Loran C/D 1966) i do razvoja cijelog niza novih sistema za određivanje točnih pozicija u hidrografiji i geodeziji (Shoran, Epi, Loran, Raydist, Rana I, konačno, Toran) i za primjenu u navigaciji (Harco, Dektra, Delrac itd.) od kojih, izgleda, najviše običava sistem OMEGA, koji je u probnoj upotrebi od 1969 i koji kao prvi prekriva cijeli svijet.

Od razvoja u poslijeratnom periodu treba spomenuti i neke elektroničke sisteme koji odskaku od klasičnih sistema; navigacijski sistemi koji rade s pomoću satelita i sistemi koji u svom radu ne primjenjuju radio-valove. To su npr. inercijalni navigacijski sistem SINS, pa radio-sekstant koji sam prati s pomoću svjetlosnih zraka nebeska tijela, ili sistemi koji upotrebljavaju zvučne valove različitih frekvencija (dubinomjeri) ili infracrvene i laserske zrake.

U **zrakoplovstvu** bila je radio-veza prva pomoć avionima pri navigaciji u toku prvog svjetskog rata; ona se odvijala u početku samo telegrafijom nemoduliranim (A1) valovima. Ručni goniometar s okretljivim okvirom nije zbog svojih dimenzija našao na veću i značajniju primjenu u avionima. Pri kraju dvadesetih godina ovog vijeka, nakon što je svladan problem elektroničkih radio-smetnji (zbog paljenja motora), bilo je moguće uspostaviti i radio-telefonske

veze, a tako povećani domet omogućio je iskorištavanje usmjerenih farova (radio range) sa četiri smjera, koji su našli na dobar prijem.

Sredinom tridesetih godina počeo se primjenjivati desno-lijevi radio-kompas, a nekoliko godina kasnije dolazi u upotrebu i automatski radio-goniometar. Tek nešto kasnije počeli su se primjenjivati markeri (vertikalni farovi) na frekvenciji 75 MHz, i telefonija na vrlo visokim frekvencijama (100...150 MHz), koja sve do danas ima vrlo važnu ulogu u prijenosu obavještenja.

Još prije drugog svjetskog rata počeli su se upotrebljavati različiti sistemi za slijeпо slijetanje. Međutim, tek u toku drugog svjetskog rata usavršen je sistem ILS, koji se i danas kao standardni sistem primjenjuje po cijelom svijetu. Poslije rata počeli su se primjenjivati na avionima također radari za potrebe navigacije i radarski uređaji za slijeпо slijetanje.

Radarski altimetri počeli su se upotrebljavati naročito na dugim letovima preko mora. Loran i Konsol zadržali su ulogu koju su imali i za vrijeme rata.

Posljednjih deset godina se i tzv. doplerski (Doppler) navigacijski sistem mnogo primjenjuje na dugim letovima.

U navigaciji na male udaljenosti primjenjivali su se u manjem opsegu četverokursni farovi. Njih je kasnije naslijedio fleksibilniji rotirajući radio-far VOR.

Elektronički se uređaji mnogo primjenjuju i u centrima kontrole letenja. Osmatrački radari za velike udaljenosti i automatski zemaljski radio-goniometri imaju pri tom važnu ulogu. Čovjeka u tim centrima sve više zamjenjuju elektronička računala. Počeli su se primjenjivati i uređaji za prijenos podataka.

Radio-goniometri

Radio-goniometri su prijemni radio-uređaji koji služe za određivanje smjera u kome se nalazi izvor radio-valova (odašiljač).

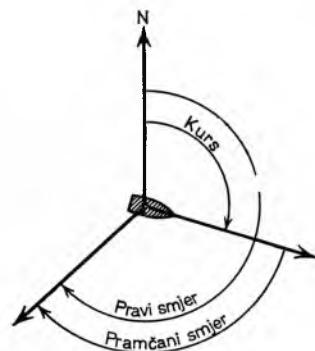
Radio-smjer, kako se zove smjer određen radio-goniometrom,

jest kut između neke referentne vertikalne ravnine kroz radio-goniometar i vertikalne ravnine koja prolazi kroz radio-goniometar i kroz objekt u kome se nalazi izvor radio-valova (npr. kroz radio-far). Radio-smjer broji se obično u smislu kretanja kazaljke na satu od 0° do 360°. Uzme li se kao referentni smjer uzdužnica broda (od pramca) ili aviona, magnetski meridijan ili astronomski meridijan (sl. 5), govori se o pramčanom, magnetskom odn. pravom smjeru (azimutu). Budući da je smjer izmjeren radio-goniometrom obično za koji stupanj pogrešan zbog utjecaja bliske okoline (v. str. 717), on se prije upotrebe mora korigirati za iznos radio-devijacije.

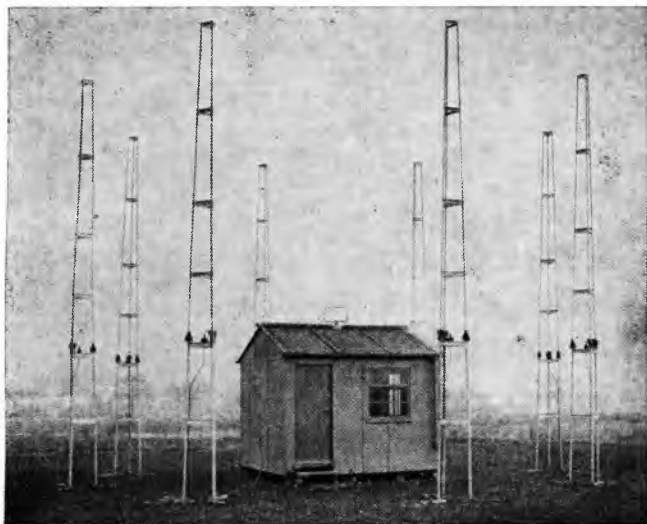
Mjerenje radio-smjerova (radio-smjeranje) zasniva se na primjeni antenskih sistema s usmjerenim djelovanjem. Naponi koji se u takvim antenama induciraju zbog radio-valova što nadolaze ovisе o položaju antenskog dijagrama usmjerenosti prema položaju izvora zračenja. Ti dijagrami mogu imati različite oblike, kao npr. oblik osmice, kardioida, uske latice i sl. Za utvrđivanje točnog radio-smjera primjenjuje se kod nekih radio-goniometara mjerenje amplitude primljenog signala, a kod drugih mjerenje fazne razlike među naponima dobivenim od dvije ili više antena. Pri amplitudnim metodama može se smjer odrediti bilo po maksimumu, bilo po minimumu, bilo uspoređivanjem dviju amplituda. Minimum je često prikladniji za smjeranje od maksimuma jer je oštrije izražen, a i odnos signala prema šumu je u tom slučaju povoljniji.

U principu se svaki radio-goniometar sastoji od okretljivog ili fiksnog antenskog sistema s usmjerenom karakteristikom, posebnog radio-prijemnika na koji je priključen antenski sistem i nekog indikatora smjera (slušalice, zvučnika, katodne cijevi ili pokaznog instrumenta).

Antenski sistemi goniometara. Za brodske goniometre, koji rade obično na frekvencijama 175...3000 kHz, primjenjuju se obično okrugle okvirne antene promjera ~ 1 m, i to bilo okretljive s jednim okvirom (v. sl. 8) bilo fiksne sa dva unakrštena okvira po sistemu Bellini-Tosi (v. sl. 50). Za avionske goniometre, koji rade na području između 100 i 1800 kHz, upotrebljavaju se mali okretljivi okviri s feritnom jezgrom ili dva takva nepomična okvira. Zemaljske i obalske goniometarske stanice za srednje frekvencije imaju radi sprečavanja noćnog efekta velike antenske sisteme Adcock, koji se sastoje od dva ili više pari unipola ili dipola s posebno zaštićenim napojnim vodovima (v. str. 717). Slični antenski sistemi primjenjuju se i za goniometre visokih frekvencija (sl. 6). Zemaljski goniometri za vrlo visoke frekvencije (100...156 MHz) primjenjuju obično dva para ukrštenih dipola



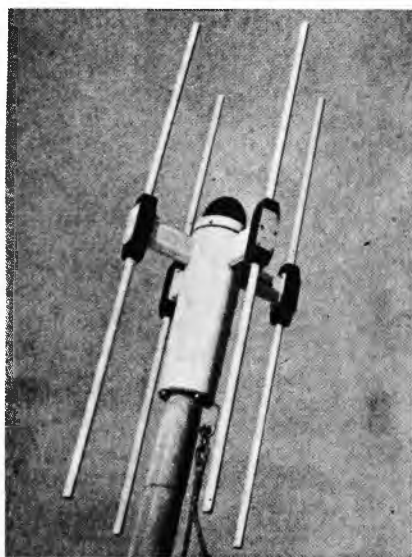
Sl. 5. Prikaz pravog radio-smjera, pramčanog radio-smjera i kursa



Sl. 6. Antenski sistem Adcock za goniometar visokih frekvencija

(sl. 7). Za najviše frekvencije (centimetarske valove) upotrebljavaju se okretljive paraboliske antene ili ukršteni parovi lijevak-antena (v. poglavlje Antene, str. 613).

Primjena radio-goniometara je mnogostrana, ali se oni najviše primjenjuju u pomorstvu i zrakoplovstvu. Tako, npr., svaki brod veći od 1600 tona koji plovi u stranim vodama mora obavezno imati radio-goniometar. Goniometri se na brodovima upotrebljavaju kao sredstvo obalske navigacije i navigacije na otvorenom moru za udaljenosti 20...200 NM. Oni su od naročito značaja tamo gdje se gubi vizuelni i radarski kontakt s obalom.



Sl. 7. Antenski sistem Adcock za goniometar vrlo visokih frekvencija (Marconi & Co, Ltd.)

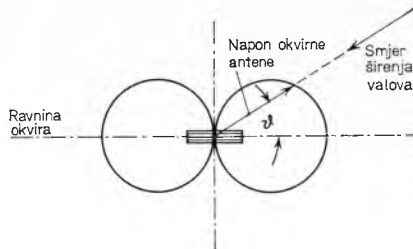
Radio-goniometri se u nešto drukčijoj izvedbi mnogo primjenjuju i na avionima, i to kao radio-kompasi ili automatski radio-goniometri. Pri tom oni služe za određivanje radio-smjerova ili za letenje u smjeru na radio-far (engl. homing) ili od njega.

Podjela radio-goniometara. Radio-goniometri dijele se prema namjeni na brodske, avionske i zemaljske, a prema načinu smjeranja na ručne, automatske i kombinirane. Prvi aparati bili su ručnog tipa, i takvi se goniometri još i danas mnogo primjenjuju. Sada se proizvode uglavnom automatski goniometri, ali većina njih može se posluživati i ručno.

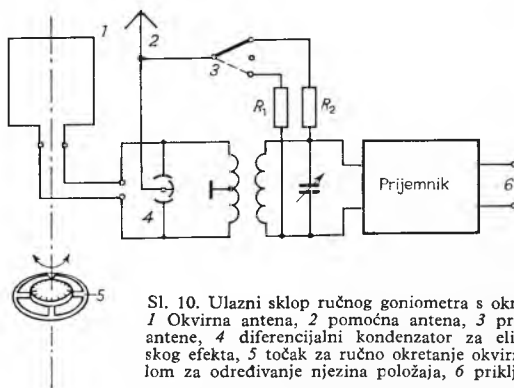
Ručni goniometar s okretljivim okvirom najjednostavniji je uređaj u toj grupi. On se počeo upotrebljavati najprije na brodovima. Jednostruka okvirna antena ovog goniometra okreće se ručno izravno ili s pomoću odgovarajućeg mehanizma (sl. 8).

Dijagram usmjerenosti okvirne antene (v. poglavlje Antene, str. 613) ima oblik osmice (sl. 9). Okrene li se prilikom određivanja smjera nekog odašiljača antena takva goniometra za 360° , pojavit će se zbog njezinih smjernih svojstava dva puta naizmjenice maksimum (najjači prijem) i minimum (najslabiji ili nikakav prijem). To znači da se smjeranjem nekog odašiljača koji se nalazi npr. u pravom smjeru 136° može takvim goniometrom okretanjem okvira utvrditi samo da se odašiljač nalazi u smjeru 136° ili u smjeru 316° . Budući da postoji neizvjesnost od 180° , ne može se bez daljeg odrediti na kojoj se strani nalazi objekt s odašiljačem. Strana je obično poznata kad se radi o smjeranju radio-odašiljača na kopnu, npr. radio-farova ili nekih drugih poznatih radio-stanica, ali ona za neki brod na otvorenom moru koji traži pomoć nije poznata, pa je treba tek odrediti.

Ta se neizvjesnost uklanja priključenjem pomoćne antene s kružnim dijagramom zračenja, npr. vertikalne žičane ili štap-antene (v. sl. 8) na ulazni krug prijemnika i zbrajanjem njezina napona s naponima dobivenim od okvirne antene. Ulazni sklop takva goniometra prikazan je na sl. 10. Budući da se naponi od okvirne antene 1 i od štap-antene 2 jedan od drugog razlikuju po fazi za $\pm 90^\circ$, to treba, da bi se oni mogli zbrajati, vezu po-

Sl. 9. Dijagram usmjerenosti okvirne antene. Napon na priključcima okvirne antene najveći je kad ravnina okvira stoji u smjeru širenja elektromagnetskog polja ($\phi = 0^\circ$), a nula je kad stoji na taj smjer okomito ($\phi = 90^\circ$)

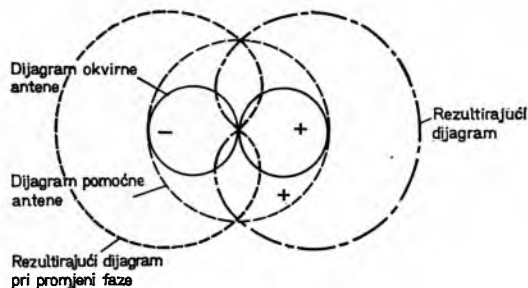
Sl. 8. Goniometar s okretljivim okvirom; vidi se i pomoćna štap-antena za određivanje strane



Sl. 10. Ulazni sklop ručnog goniometra s okretljivim okvirom. 1 Okvirna antena, 2 pomoćna antena, 3 preklopka pomoćne antene, 4 diferencijalni kondenzator za eliminiranje antenskog efekta, 5 točak za ručno okretanje okvirne antene sa skalom za određivanje njezina položaja, 6 priključak za slušalice

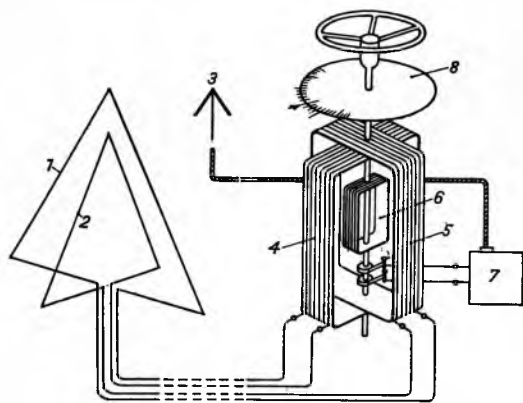
moćne antene i ulaznog kruga provesti sklopom (R_1 i R_2) kojim će se postići odgovarajući pomak faze. Zbrajanjem napona iz jedne i druge antene dobije se sada novi, srčoliki (kardioidni) dijagram usmjerenosti (sl. 11) koji ima samo jedan maksimum i samo jedan minimum, pa se s pomoću njega može jednoznačno odrediti strana. Sam srčoliki dijagram nije prikladan za izravno određivanje smjera jer nije dovoljno izrazit (mada se i on kod nekih goniometara primjenjuje za tu svrhu). Stoga treba smjeranje

izvršiti okvirom (tj. osmičastim dijagramom) iznalaženjem minimuma, zatim okrenuti okvir za 90° i priključiti vertikalnu antenu. Preklapkom 3 (sl. 10) može se sada odrediti na kojoj se strani nalazi maksimum srolikog dijagrama i pravi smjer. Vertikalna antena 2 priključena je i preko diferencijalnog kondenzatora 4 na krug okvirne antene radi izoštravanja minimuma. Protunaponom ona smanjuje antenski efekt koji se pojavljuje u okviru (v. str. 717). S pomoću opisanog goniometra mogu se dobiti radio-smjerovi točni na $\pm 2^\circ$.



Sl. 11. Zbrajanjem osmičastog dijagrama okvirne antene i kružnog dijagrama pomoćne antene dobije se sroliki dijagram usmjerenosti

Goniometar sa dva fiksna okvira. Prethodno opisani goniometar s okretljivim okvirom ima manu što se zbog mehanizma za okretanje ne može postaviti visoko na nadgrađe ili jarbol gdje su utjecaji reradijacije broda (v. str. 717) manji. Stoga se počeo već vrlo rano pored goniometra s okretljivim okvirom upotrebljavati i goniometar s fiksnim okvirima. Umjesto okretljivog okvira ovaj goniometar ima dva fiksno na stalku postavljena okvira (v. sl. 50) od kojih jedan stoji u ravni uzdužnice broda, a drugi u ravni okomitoj na nju. Ovaj se antenski sistem može postaviti na električki najpovoljnije mjesto, a dobro zakriljeni priključni vodovi spojeni su na prijemnik koji se nalazi negdje na mostu broda. Naponi koje elektromagnetski valovi što nadolaze induciraju u okviru 1 i 2 (sl. 12) proporcionalni su pramčanom upadnom

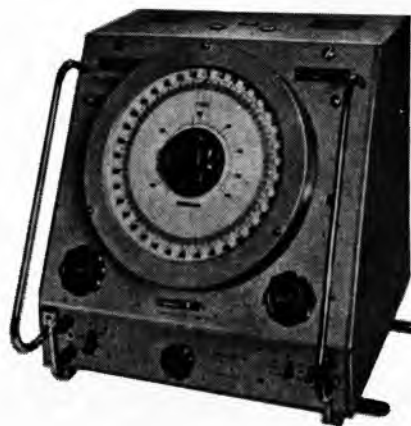


Sl. 12. Shematski prikaz goniometra sa dva okvira. 1 i 2 Fiksne okvirne antene, 3 pomoćna antena, 4 i 5 zavojnice spojene s antenom, 6 goniometarska zavojnica, 7 prijemnik, 8 skala za određivanje radio-smjera

kutu θ tih valova. Oni su dakle proporcionalni u jednom okviru sinusu, a u drugom kosinusu kuta θ . Svaki od ta dva okvira spojen je u uređaju za smjeranje s pripadnom zavojnicom 4 i 5 koje stoje također jedna prema drugoj pod kutom 90° . Rezultirajuće magnetsko polje koje se stvara unutar zavojnica 4 i 5 ima isti smjer kao i vanjsko elektromagnetsko polje odašiljača. Određivanje radio-smjera provodi se u tom slučaju goniometarskom zavojnicom 6 koja je okretljivo smještena u tom magnetskom polju i koja u tom slučaju zamjenjuje okretljivi okvir. Izgled takvog goniometarskog uređaja prikazan je na sl. 13. Postupak smjeranja i određivanja strane identičan je ranije opisanom. S ovim se goniometrom postiže točnost smjerova na $\pm 1^\circ$.

Ovaj se sistem prema svojim predlagateljima zove često i sistem Bellini-Tosi (1907). Ispočetka se samo uređaj za smjeranje tog sistema, koji se sastoji od fiksnih zavojnica 4 i 5 i okretljive zavojnice 6, mjerne skale 8, kazaljke i ručice za

okretanje zavojnice 6, zajedno s ostalim dijelovima nazivao radio-goniometrom. Budući da je danas većina radio-smjerila građena po tom sistemu, sada se pod tim pojmom razumijeva obično bilo kakav uređaj za određivanje radio-smjerova.



Sl. 13. Izgled goniometarskog uređaja

Opisani antenski sistem primjenjuje se i u mnogim automatskim goniometrima. Da bi se mogli izmjeriti odmah pravi radio-smjerovi (prema sjeveru N), pokazna se skala goniometra spaja s girokompasom.

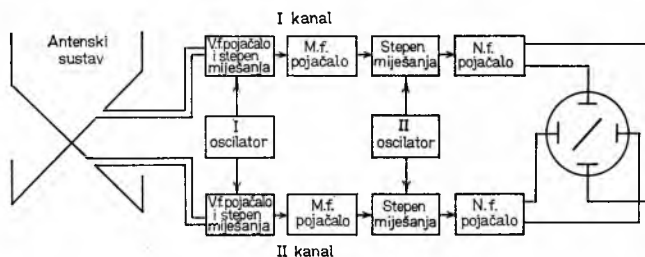
Automatski radio-goniometri počeli su se najprije upotrebljavati na avionima, jer na njima nema dovoljno vremena za dugotrajna mjerenja. U takvim goniometrima, koji se zovu i radio-kompasi, elektromotorom pokretana antena ili (kod fiksnih antena) goniometarska zavojnica automatski slijedi smjer prema odašiljaču na koji je uređaj ugođen. Izlazni napon goniometarskog prijemnika, istosmjerni ili izmjenični, po polarizaciji ili fazi ovisan o strani skretanja a po amplitudi o veličini skretanja, upravlja antenskim elektromotorom (istosmjernim ili dvofaznim asinhronim) koji skreće okretljivu antenu ili zavojnicu goniometra sve dotle dok se ne postigne pravilan ravnotežni položaj prema odašiljaču. Kao kriterij za smjeranje služi u takvim uređajima kod nekih izvedbi minimum prijema, a kod drugih, koji preklapanjem uspoređuju amplitude dvaju protufaznih srolikih dijagrama, jednakost amplituda. (V. *Avion*, TE 1, str. 600.)

Goniometri koji rade na sličnom principu primjenjuju se danas i na brodovima.

U upotrebi je i više automatskih i drugih goniometara koji rade na drugim principima, od kojih će neki biti u daljem izlaganju opisani.

V. Podlesnik

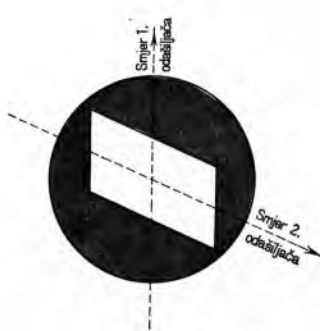
Dvokanalni goniometar s vizuelnim očitanjem (sl. 14) ima dvije okvirne antene u međusobno okomitim ravninama ili dva para vertikalnih antena. Može se primijeniti i veći broj parova antena, ali se u tom slučaju moraju njihovi izlazi pretvoriti preko tzv. koordinatnog transformatora u dvokanalni sistem. Oba kanala se odvojeno pojačavaju, s time da imaju zajedničke oscilatore za miješanje. Jedan je kanal priključen na horizontalne, a drugi na vertikalne pločice katodne cijevi, koja ovdje služi kao indikator. Na ekranu katodne cijevi svijetla crta označuje



Sl. 14. Blok-shema dvokanalnog goniometra s vizuelnim očitanjem

smjer dolaska vala. Oba prijemna kanala moraju u električnom pogledu biti potpuno identična, tj. pojačanja i fazni pomaci moraju biti jednaki, a jednaka mora biti i osjetljivost katodne cijevi na vertikalnim i horizontalnim pločicama, jer inače dolazi do

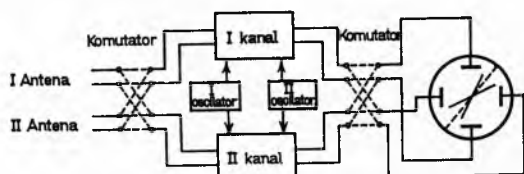
indikacije pogrešnog smjera, odnosno eliptičnosti prikaza na ekranu. Važno svojstvo dvokanalnih goniometara s katodnom cijevi je mogućnost razlikovanja i istovremene indikacije primarnih emisija dvaju odašiljača koji rade na dvjema vrlo bliskim frekvencijama (vizuelna odaberičnost), od kojih je jedan obično neželjeni, smetajući. Na ekranu se u tom slučaju dobiva paralelogram (sl. 15). Postoji mogućnost razlikovanja istovremenih emisija i triju odašiljača (na ekranu se dobiva slika paralelepipeda).



Sl. 15. Prikaz dvaju odašiljača na ekranu dvokanalnog goniometra

Za automatsko izjednačenje pojačanja u oba kanala često se primjenjuje sistem s upravljačim signalom. Upravljački signal koji ima istu frekvenciju kao primarni signal ubacuje se u pravilnim vremenskim razmacima na ulaze obaju kanala i služi za regulaciju njihova pojačanja. Kanali se također uspoređuju jedan s drugim. Fazni se pomaci u kanalima uspoređuju na faznom diskriminatoru, pa se automatski preko faznih zakretača mijenja faza lokalnog signala za miješanje.

Umjesto upravljačkih signala može se primijeniti preklapanje (komutacija) kanala na ulazu i izlazu prijemnika (sl. 16).



Sl. 16. Dvokanalni goniometar s preklapanjem kanala

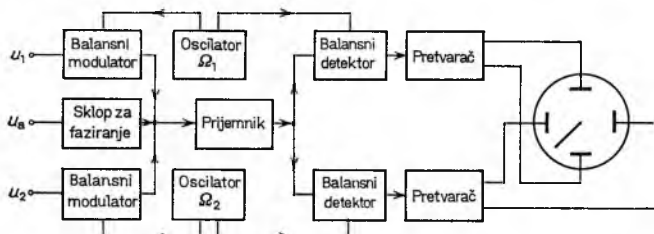
Na ekranu se dobivaju dvije ukrštene elipse, pravi smjer vala je u tom slučaju simetrala kuta među njihovim velikim osima. Primjenom te metode moguće je točno očitavanje i za velike nejednakosti kanala, a istovremeno je ta nejednakost i dobro uočljiva. Točnost očitavanja po simetrali je manja, a ako postoje smetnje, osim toga je očitavanje i vrlo teško.

Određivanje strane prijema i eliminiranje dvoznačnosti očitavanja postiže se superpozicijom neusmjerene prijema na usmjereni.

Najpraktičniji, ali i najsloženiji je *trokanalni sklop*. Treći je kanal predviđen za neusmjerenu antenu, a vezan je na rešetku svjetline katodne cijevi. Pozitivne poluperiode signala na njoj daju svijetli trag na ekranu, a za vrijeme negativnih poluperioda ekran je zamračen. Očitavanje je jednoznačno.

Jednokanalni radio-goniometar. Teškoće izvedbe dvaju identičnih kanala dovele su do jednokanalnih radio-goniometara. Po principu rada i oni su dvokanalni, samo što se u njima primjenjuje frekvencijska ili vremenska podjela kanala. U tom slučaju oba kanala imaju zajedničko pojačalo. Time su otklonjene neke poteškoće i uzročnici grešaka, ali često nastaju nove uslijed modulacije ili komutacije. Većina jednokanalnih goniometara nema jedne prednosti dvokanalnih: vizuelne odaberičnosti.

Radio-goniometri sa dvotonskom modulacijom (sl. 17) idu u tu grupu. Naponi u_1 i u_2 od okvirnih antena dolaze na balansne modulatore i moduliraju se niskim i bliskim frekvencijama Ω_1

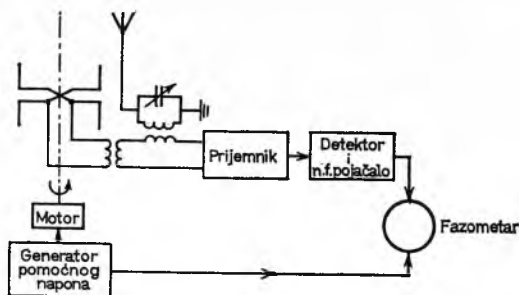


Sl. 17. Blok-shema radio-goniometra s dvotonskom modulacijom

i Ω_2 . Izlazi balansnih modulatora sadrže samo bočne pojase modulacije, a val nosilac je potisnut. Val nosilac se dodaje iz kanala neusmjerene antene u_a . Kako napon neusmjerene antene nije u fazi s naponima okvirnih antena, nego pomaknut za 90° , on se u sklopu za faziranje dovede u istofaznost. Sva tri signala zbrojena zajedno daju signal amplitudno moduliran dvjema niskim frekvencijama Ω_1 i Ω_2 . Tako dobiven ukupni signal prolazi kroz prijemnik, gdje se miješa, pojačava i detektira, a zatim vodi na dva odvojena sinhrona balansna detektora, gdje se sumarni signal opet razdvaja na dva kanala. Istosmjerni naponi koji se na izlazu balansnih detektora dobivaju dali bi na ekranu samo svijetlu točku otklonjenu od centra u smjeru kuta vala što dolazi; stoga se obično uključuju i pretvarači koji pretvaraju istosmjerne napon u izmjenične napon proporcionalne amplitude koji umjesto točke daju svijetlu crtu na ekranu, po kojoj se jednoznačno očitava smjer. Svrha je jednokanalnih goniometara da se signali iz obiju okvirnih antena pojačavaju u zajedničkom prijemniku, čime su izbjegnute poteškoće koje se susreću kod dvokanalnih goniometara zbog nejednakog pojačanja i nejednakog faznog kuta odvojenih kanala.

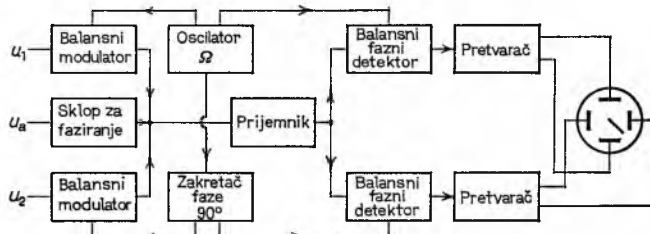
Goniometri s mjerenjem faze anvelope signala. U tim goniometrima smjer vala određuje se po fazi anvelope amplitudne modulacije, koja se dobiva neprekidnim okretanjem dijagrama usmjerenosti. Postoji više načina okretanja kardioidnog i osmičastog dijagrama usmjerenosti: okretanje antene osmičaste karakteristike uz nepomičnu neusmjerenu antenu, okretanje specijalnog reflektora oko nepomične antene, i dr. Primjenjuje se i elektroničko okretanje dijagrama nepomičnih antena.

Goniometri s mehaničkim okretanjem dijagrama usmjerenosti (sl. 18). Okretanje usmjerene antene i time okretanje njezinog dijagrama usmjerenosti izaziva amplitudnu modulaciju primarnog signala frekvencijom Ω , koja ovisi o brzini okretanja i obliku dijagrama usmjerenosti. Oblik anvelope tako moduliranog signala određen je oblikom dijagrama usmjerenosti, a faza smjerom na odašiljač (kutom dolaska vala θ). Za početak računanja faze



Sl. 18. Blok-shema goniometra s mehaničkim okretanjem dijagrama usmjerenosti

obično se uzima trenutak prolaza maksimuma ili minimuma kroz smjer sjevera. Očitavanje smjera na fazometru neodređeno je za 180° , pa se primjenjuje neusmjerena antena za eliminiranje dvoznačnosti. Obično je generator pomoćnog (referentnog) napona na osi rotacije antene ili goniometarske zavojnice, pa mu je frekvencija jednaka frekvenciji rotacije, a faza jednaka nuli pri prolazu minimuma (ili maksimuma) kroz smjer sjevera. Brzina okretanja antene ne premašuje 3000 min^{-1} , što odgovara frekvenciji modulacije od 50 Hz. Zato su mogućnosti lociranja impulsnih emisija takvim goniometrima jako ograničene.



Sl. 19. Blok-shema goniometra s elektroničkim okretanjem dijagrama usmjerenosti

Goniometar s elektroničkim okretanjem dijagrama usmjerenosti (sl. 19) primjenjuje se u sistemima s osmičastim i kardiodnim dijagramima. Sklop je sličan onom na sl. 17 samo što se, umjesto modulacije dvjema bliskim frekvencijama Ω_1 i Ω_2 , za oba kanala vrši modulacija signalom iste frekvencije Ω , pri čemu je u jednom kanalu signal fazno pomaknut za 90° . Kombinacijom izlaza balansnih modulatora i signala neusmjerene antene dobiva se amplitudno modulirani napon čiji je pomak faze anvelope u odnosu prema modulirajućem naponu upravo jednak kutu smjera dolaska vala. Kako ovdje nema okretnih elemenata, mogu se upotrijebiti više frekvencije modulacije Ω (50...250 Hz, a u području vrlo visokih frekvencija i do 6 kHz). Ovi goniometri trajniji su i jeftiniji od goniometara s mehaničkim okretanjem. Osjetljivi su prema odstupanjima od točne ravnoteže balansnih modulatora i detektora.

Goniometri s mjerenjem faze vala nosioca. Ako jedna vertikalna antena miruje, a druga oko nje rotira frekvencijom Ω , bit će razlika faza njihovih visokofrekventnih napona fazno modulirana (sklopom za deriviranje može se pretvoriti u frekvencijski moduliranu). Faza fazne ili frekvencijske modulacije odgovara smjeru radio-vala (*goniometar s cikličkim mjerenjem faze*, sl. 20). Ako su obje antene nepomične, razlika faza njihovih visokofrekventnih napona sadrži informaciju o smjeru dolaska vala, samo što je ta ovisnost nelinearna. Linearnost vrijedi samo u uskom području oko okomice na spojničku obiju antena, zato se tako vrši samo sektorsko lociranje u kružnom rasporedu većeg broja antena. Radi veće točnosti uzima se razmak antena mnogo veći od valne duljine. Time nastala višeznačnost eliminira se jednom pomoćnom antenom na manjem razmaku, ili većim brojem takvih antena.



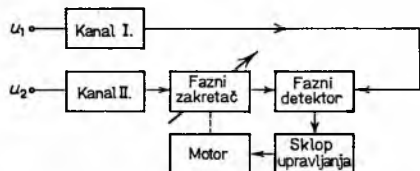
Sl. 20. Blok-shema goniometra s cikličkim mjerenjem faze

Faza se može mjeriti i *metodom kompenzacije* (sl. 21). Pri ručnom upravljanju u kanal pojačanja jednog od napona uključen je zakretač faze. Pri tome treba naći položaj zakretača faze kad se faze obaju napona na indikatoru podudaraju. Pri automatskoj kompenzaciji razlike faza primjenjuje se sistem za praćenje (sl. 22).

Faza se može mjeriti i *metodom kompenzacije* (sl. 21). Pri ručnom upravljanju u kanal pojačanja jednog od napona uključen je zakretač faze. Pri tome treba naći položaj zakretača faze kad se faze obaju napona na indikatoru podudaraju. Pri automatskoj kompenzaciji razlike faza primjenjuje se sistem za praćenje (sl. 22).



Sl. 21. Blok-shema za ručno mjerenje faze metodom kompenzacije

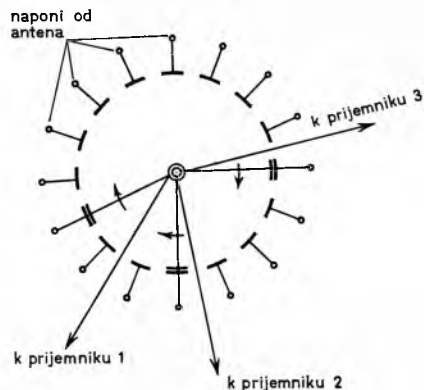


Sl. 22. Blok-shema za automatsku kompenzaciju razlike faze

22). Zakretač faze okreće se motorom napajanim strujom iz sklopa upravljanja. Sklop upravljanja daje napon samo kad struja faznog detektora nije jednaka nuli. Sklop automatske kompenzacije ima tromost, a upotrebljava se u slučajevima kad se ne očekuje brza promjena faze. Točnost je $\sim 1^\circ$. Kao i kod amplitudnih goniometara primjenjuju se i ovdje različni načini potpunog ili djelomičnog spajanja kanala.

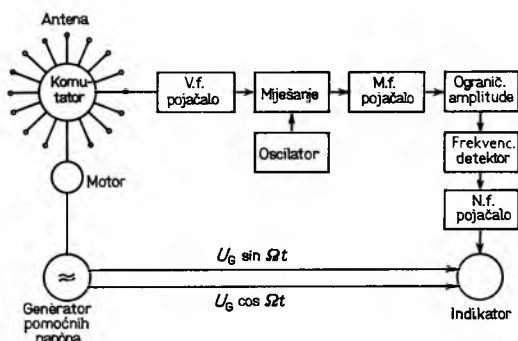
Goniometri s komutatorom. Praktično ostvarenje neprekidnog okretanja antene goniometra prikazanog na sl. 20 spojeno je sa znatnim poteškoćama. Polumjer okretanja mora biti velik da bi

greške od interferencije i od okoline bile što manje, a brzina okretanja dovoljno velika da se omogući brzo smjerenje. Da se izbjegnu te poteškoće, umjesto da se antena okreće, mehaničkim ili elektroničkim se komutatorom sukcesivno uključuju pojedine kružno rasporedene antene (sl. 23). Mehanički kapaci-



Sl. 23. Kapacitivni komutator za priključak antena na goniometar

itivni komutator omogućuje pri cikličkom mjerenju faze istovremeni priključak više prijemnih uređaja na isti antenski sistem i time istovremeno smjerenje većeg broja odašiljača. Komutator ima statorski i rotorski dio. Na ulaz prijemnika dolazi opet fazno modulirani visokofrekventni napon. Period modulacije jednak je periodu okretanja komutatora, početna faza krivulje modulacije jednaka je kutu dolaska vala. Da bi se ova odredila, treba izvršiti demodulaciju: po fazi faznim ili po frekvenciji frekvencijskim detektorom. Kako se promjena frekvencije izazvana premještanjem točke promatranja konstantnom brzinom zove Dopplerov efekt, goniometri ovog tipa, kod kojih se primjenjuje frekvencijska modulacija za indicaciju smjera dolaska vala, nazivaju se *kvazi-doplerskim* (sl. 24). Tu obično motor okreće kapacitivni antenski komutator. Na osovini komutatora je i generator pomoćnih napona (frekvencije Ω), pomaknutih za 90° . Početna faza jednog od pomoćnih napona je takva da je napon jednak nuli kad je komutator u vezi s antenom referentnog smjera (sjever-jug). Na indikatoru se upoređuje po fazi izlazni niskofrekventni napon s pomoćnim naponima. Mehanički način komutacije povoljniji je kod frekvencijske detekcije ($\omega = d\varphi/dt$), jer kod elektroničke komutacije u trenutku preklapanja antena derivacija postaje beskonačna, a u razdobljima između preklapanja je jednaka nuli. To izaziva poteškoće.



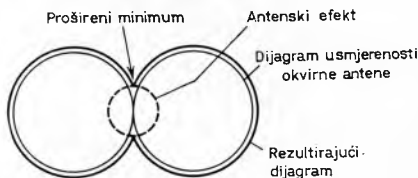
Sl. 24. Blok-shema kvazi-doplerskog goniometra s komutatorom

Diferencijalno-fazni goniometar vrši upoređivanje faza napona u dvije susjedne antene. U tu se svrhu napon dobiven od bilo koje antene zadrži filtrom vremenskog kašnjenja za određeno vrijeme. Taj zadržani napon upoređuje se na faznom detektoru sa nezadržanim naponom slijedeće antene. Tu je elektronička komutacija bolja od mehaničke. Budući da goniometar sadrži kvarcni oscilator kao jednu od referencija, važno je da njegova frekvencija bude stabilna.

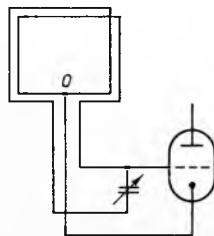
Pogreške pri određivanju smjera goniometrom mogu se podijeliti na sistemske i slučajne. *Sistemske pogreške* očituju se kao stalan otklon od pravog radio-smjera. One se mogu otkloniti kalibracijom, mada je to ponekad teško. *Slučajne pogreške* ispoljavaju se kao kolebanje radio-smjera u vremenu, često vrlo brzo i vrlo malo. Ocjenjuju se po srednjoj kvadratnoj kutnoj grešci.

Uzrok svim pogreškama može biti: a) princip djelovanja, konstrukcija uređaja, montaža. To su tzv. *instrumentske pogreške*. Ovamo se ubraja i antenski efekt; b) nejednakost površine preko koje se širi val (obalni efekt, utjecaj daleke okoline); c) nepravilnost u širenju elektromagnetskog vala (promjena ravnine polarizacije, otklon radio-zrake, interferencijski valovi); d) utjecaj bliske okoline (antene, vodovi, metalne mase, drveće, jarboli); e) subjektivnost očitavanja (procjena sredine minimuma tona ili širine zrake na osciloskopu).

Instrumentske pogreške goniometra bit će ovdje samo kratko opisane. *Antenski efekt* nastaje zbog nesimetrije usmjerene antene prema predmetima u najbližoj okolini (npr. prema njezinom stalku) i narušene simetrije antenskih dovoda u prijemnik. Uslijed toga dolazi do pojačanog neusmjerenog prijema vala, tj. usmjerena antena se ponaša kao dijelom neusmjerena (na sl. 25 prikazana je karakteristika za slučaj okvirne antene), što



Sl. 25. Smanjenje oštrote minimuma zbog antenskog efekta

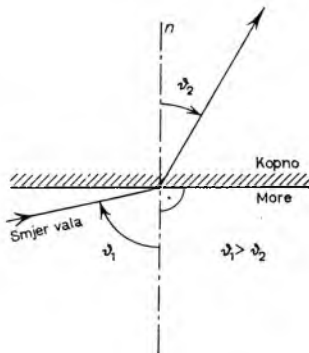


Sl. 26. Simetriranje ulaza prijemnika radi smanjenja utjecaja antenskog efekta. U tom su slučaju naponi inducirani zbog antenskog efekta u protufazi i poništavaju se međusobno

smanjuje oštrinu očitavanja minimuma. Taj efekt nastoji se izbjeći simetriranjem ulaza prijemnika (sl. 26) protufaznom kompenzacijom (v. sl. 10), zakrkljavanjem i oklapanjem okvirne antene. *Bočni efekt okvirne antene* naziva se konstantni otklon mjerenog nultog smjera (smjera minimuma signala) od stvarnog koji nastaje uslijed toga što bočna širina namota okvirne antene čini u presjeku jedan zavoj zakrenut za 90° prema stvarnim zavojima okvirne antene. Može se kompenzirati kalibracijom. *Effekt struja pomaka* među pojedinim zavojima okvirne antene uzrokuje nejasnost minimuma. *Neposredni prijem na dovode okvirne antene*, zavojnice i vodove prijemnika daje efekt sličan antenskom. Izbjegava se oklapanjem vodova, filtriranjem struje napajanja. *Povratno zračenje prijemnika* uzrokuje indikaciju pogrešnog smjera i nejasnost minimuma. *Nagib osi okvirne antene, ekscentricitet skale* i sl.

Sve naprijed spomenute instrumentske pogreške svedene su već samom konstrukcijom što je najviše moguće na minimum. Ostaci tih pogrešaka smanjuju se pravilnom montažom (pridržavajući se montažnog uputstva) i propisanim podešavanjem uređaja. Dio tih pogrešaka može se obuhvatiti prilikom kalibracije i uzima se u obzir pri određivanju smjera.

Greške od daleke okoline slučajne su i ne mogu se otkloniti kalibracijom. Za njihovo smanjenje primjenjuje se veći razmak dviju prijemnih antena, oštija usmjerenost antenske karakteristike, i sl. *Obalni efekt* nastaje prolazom površinskog elektromagnetskog vala preko granice more-kopno ili obratno (v. poglavlje Širenje radio-valova, str. 624). Sličan efekt nastaje prelazom vala preko granice vlažni-suhi teren. Kad se val širi s mora prema kopnu, kut loma vala je prema okomici na



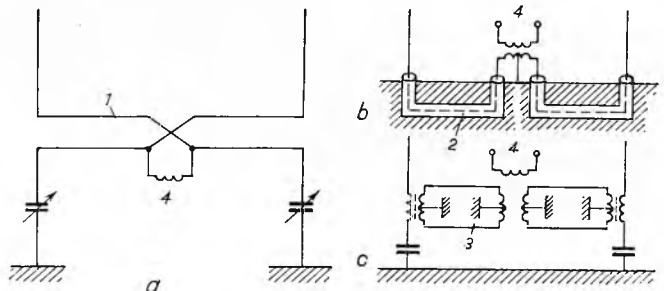
Sl. 27. Zbog obalskog efekta lome se radio-valovi pri prelazu s mora na kopno k okomici

granicu između oba medija, pri prelazu s kopna prema moru, od okomice (sl. 27). Pogreške od obalnog efekta najveće su za valne duljine između 500 i 1000 m. Za kut upada prema okomici $\theta < 70^\circ$ i udaljenost od obalne linije manju od nekoliko duljina vala, pogreška od obalnog efekta može se zanemariti.

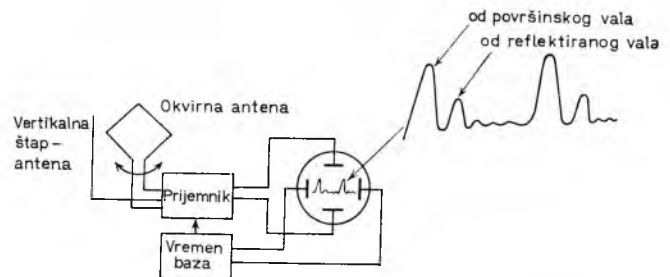
Pogreške od bliske okoline, npr. zbog reradijacije valova od metalnih površina (ploha aviona, brodskog tijela i sl.) mogu se ponekad dodatnim antenama električki kompenzirati, a preostali dio pogreške, tzv. devijacija, mora se utvrditi kalibracijom i uzeti u račun. Postoje i uređaji koji tu devijaciju automatski pribraju izmjenom radio-smjeru.

Pogreške uslijed rasprostiranja prostornog vala nastaju refleksijom i lomom vala u gornjim ioniziranim slojevima atmosfere. Pri tome osim normalno (obično vertikalno) polariziranog vala dolazi i do pojave parazitne (obično horizontalno polarizirane) komponente, pri čemu se mijenjaju amplituda i faza vala. To su tzv. *polarizacione pogreške*. Na srednjim i dugim valovima dolazi do refleksija u ionosferi pretežno noću i onda su te pogreške velike. One su naročito značajne 1...2 sata prije i poslije zalaza sunca (tzv. *noćni efekt*). Kratki se valovi reflektiraju tokom cijelog dana i noći.

Za eliminiranje polarizacionih pogrešaka primjenjuje se jedna od triju mjera navedenih u nastavku: a) primjena antenskih sistema s jednakim dijagramom usmjerenosti za vertikalnu i horizontalnu komponentu električnog polja, ili bar jednakim u onom dijelu u kojem se određuje smjer (npr. sistem od dvije razmaknute okvirne antene); b) smanjenje parazitne komponente (obično horizontalne) elektromagnetskog polja primjenom posebnih antenskih sistema koji su neosjetljivi prema horizontalnoj komponenti polja, a koji se sastoje od više parova na određenoj udaljenosti postavljenih vertikalnih unipola ili dipola s posebno zakrkljenim, zaštićenim, oklopljenim, a ponekad i ukopanim napojnim vodovima (sl. 28).



Sl. 28. Nekoliko vrsta (tzv. Adcock-) antena za smanjenje parazitne komponente elektromagnetskog polja. a) Par antena s dvožilnim zakrkljenim napojnim vodom 1, b) par antena s ukepanim koaksijalnim kabelom 2 kao napojnim vodom, c) par antena transformatorski priključenih na dvožilni simetrisani zakrkljeni napojni vod, 4 zavojnica za priključak na goniometarski uređaj



Sl. 29. Eliminiranje pogrešaka zbog djelovanja od ionosfere reflektiranih valova primjenom impulsnog goniometarskog sistema. Smjeranje se vrši uz posmatranje katodne cijevi s time da se uzme u obzir samo površinski val

Takvi su sistemi poznati pod imenom Adcock-antene; c) eliminiranje reflektiranog vala nenormalne polarizacije, npr. pomoću impulsnih sistema lokacije (sl. 29).

B. R. Kviz

Radio-farovi

Radio-farovi ili radio-svjeticnici odašiljačka su postrojenja koja za potrebe navigacije zrače radio-valove određene karakteristike. Oni mogu imati ili kružni ili usmjereni dijagram zračenja. Nekim vrstama usmjerenih farova smjer(ovi) zračenja još

i rotira(ju). Radio-farovi postavljaju se na točke važne za navigaciju aviona i brodova. Oni služe u pomorstvu i zrakoplovstvu za dobivanje radio-smjerova s pomoću kojih se određuje pozicija, ili, pak, služe kao cilj prema kome se plovi ili leti. Od radio-farova s kružnim zračenjem dobiju se smjerovi s pomoću radio-goniometara, a od usmjerenih farova s pomoću običnih ili specijalno za tu vrstu fara predviđenih prijemnih uređaja. Linije pozicija dobivene s pomoću radio-farova su pravci, pa prema tome radio-farovi idu u azimutne sisteme navigacije. Danas se upotrebljavaju farovi koji rade na niskim, srednjim i vrlo visokim frekvencijama.

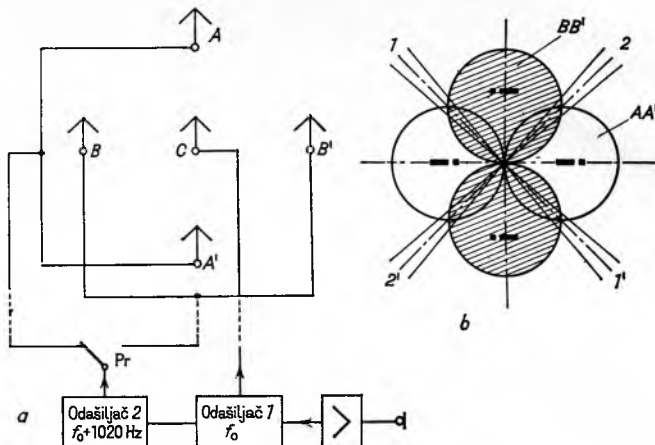
Srednjefrekvencijski radio-far s kružnim zračenjem primjenjuje se uvelike u pomorstvu, ali služi i u zrakoplovstvu. On se sastoji od radio-odašiljača, anfene, upravljačke jedinice i uređaja za napajanje. Za te se farove primjenjuju obično vertikalne stup-antene ili T-antene. Odašiljač se sastoji od oscilatora s kvarcnim kristalom, pojačala i modulatora za amplitudnu modulaciju. Jedan ili dva tona (između 300 i 1200 Hz) kojima se modulira val nosilac u posljednjem stepenu odašiljača proizvodi audio-oscilator. Tipkanje odašiljača vrši upravljački dio. Snaga odašiljača kreće se, već prema namjeni, najčešće između 20 W i 3 kW. Obično postoje dvije odašiljačke jedinice, kako bi u slučaju kvara jedne automatski stupila u rad druga. Za to prebacivanje i za upravljanje emisijom služi upravljačka jedinica u kojoj kronometar upravlja uređajem za uklapanje, tipkanje i isklapanje radio-fara u točno predviđeno vrijeme i po određenom redoslijedu. Stariji takvi uređaji rade s mehaničkim dijelovima, relejima i sklopnicima, u suvremenijim se uređajima primjenjuju pogodni elektronički sklopovi. Farovi se normalno napajaju iz električne mreže (ukoliko postoji). U slučaju kvara automatski uskače dizelski generator ili se uključi akumulatorska baterija i rotacijski ili poluvodički pretvarač, kako ne bi došlo do prekida rada fara.

Emisija farova sastoji se od zovnog znaka otkucanog polagano Morseovim znakovima, od dulje povlake koja služi za smjeranje i stanke bez rada. Po lijepom se vremenu emisije daju samo nekoliko minuta svakog sata ili u neko drugo određeno vrijeme. Pri lošem i maglovitom vremenu farovi obično rade neprekidno. Zbog zauzetosti valova, i da se ubrza postupak određivanja pozicije, obično radi više farova na istoj frekvenciji, s time da su njihove emisije raspoređene tako da slijedi jedna iza druge. Tako npr. jugoslavenski pomorski far Molunat radi u trojci sa dva talijanska radio-fara Viesta i San Cataldo na frekvenciji 305,7 kHz.

Zenitni farovi (engl. marker) usmjereni su farovi koji zrače snop horizontalno polariziranih elektromagnetskih valova vrlo visoke frekvencije vertikalno uvis. Usmjerenost snopa postižu prikladnim usmjerenim antenskim sistemom. Zenitni se farovi upotrebljavaju isključivo u zrakoplovstvu, a služe za označavanje nekog mjesta, npr. pozicije radio-fara, mjesta ukrštenja saobraćajnih kanala, ulaz u sistem za slijetanje bez optičke vidljivosti, i sl. Svi ti farovi rade sada na frekvenciji 75 MHz.

Četverokursni srednjefrekvencijski farovi su usmjereni farovi koji rade na frekvencijama 200...400 kHz i koji se upotrebljavaju pretežno u zrakoplovstvu. Oni su nekad imali veoma velik značaj. Upotrebljavaju se uglavnom za označavanje kanala zračne plovidbe, prilaza aerodromima, ali i za određivanje pozicije aviona i slično. Za emisiju služe dva antenska sistema s osmičastim karakteristikama zračenja koje stoje jedna prema drugoj otprilike okomito. Za tu se svrhu primjenjuju uglavnom antenski sistemi Adcock (v. str. 717). Antenski sistemi zrače izmjenično Morseove znakove, i to jedan slovo A (· —), a drugi slovo N (— ·), ali tako da emisija jednog sistema pada u vrijeme stanke drugog sistema. To se postiže preklopnim uređajem (sl. 30 a). U području oko fara gdje se područja zračenja preklapaju (sl. 30 b), čuje se stalan zvuk, što znači da se avion nalazi u sektoru kanala 1—1' ili 2—2', tj. na pravom kursu. Van tih sektora čuje se znak A ili N. Za prijem potreban je običan radio-prijemnik, a na avionima služi za tu svrhu obično prijemnik automatskog radio-goniometra. Sektor stalnog tona širok je u praksi obično $\pm 1,5^\circ$ od simetrale. Ovaj se sistem primjenjuje ponegdje i u pomorstvu na ulazima u luke, pa se postiže vodeći trag širine od svega nekih 25 m. Mana je ovog sistema što pri skretanju s pravog kursa postoji izvjesna neizvjesnost o tome u kom se sektoru avion

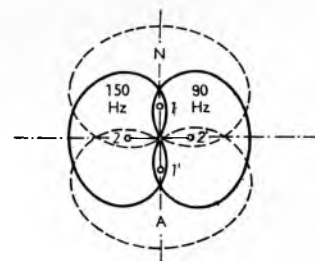
zapravo nalazi, što treba utvrditi drugim navigacijskim metodama. Izvjesno pomicanje sektora može se postići različitim napajanjem obaju antenskih sistema (v. *Aerodrom*, TE 1, str. 22).



Sl. 30. Četverokursni srednjefrekvencijski radio-far. a) Blok-shema, b) dijagram zračenja AA' i BB' dva para antena, C srednja antena koja služi za emisiju obavještenja i signala za identifikaciju, Pr prekloпка

Vrlo-visoko-frekvencijski četverokursni far VAR (engl. Visual and Aural Range, tj. far s optičkom i akustičkom indikacijom) radi na frekvenciji 108...112 MHz i nema kvadrantnih neodređenosti spomenutih kao mana srednjefrekvencijskog četverokursnog fara. Njegov se antenski sistem sastoji od 4 okvira sličnih horizontalnih antena smještenih u kvadratu i pete isto takve antene smještene u sredini kvadrata. Po dvije dijametralno suprotne antene sa srednjom čine jedan sistem. Srednja je antena zajednička za oba sistema. Dijagrami zračenja obaju sistema imaju oblik kardioida. Prvi sistem radi po principu A-N koji je opisan kod četverokursnog fara. Pri tipkanju slova A, odnosno slova N, mijenja se strana zračenja (crtkane kardioida na sl. 31), a na mjestima gdje se polje preklapa, dobije se stalni ton koji znači da se avion nalazi na pravom kursu.

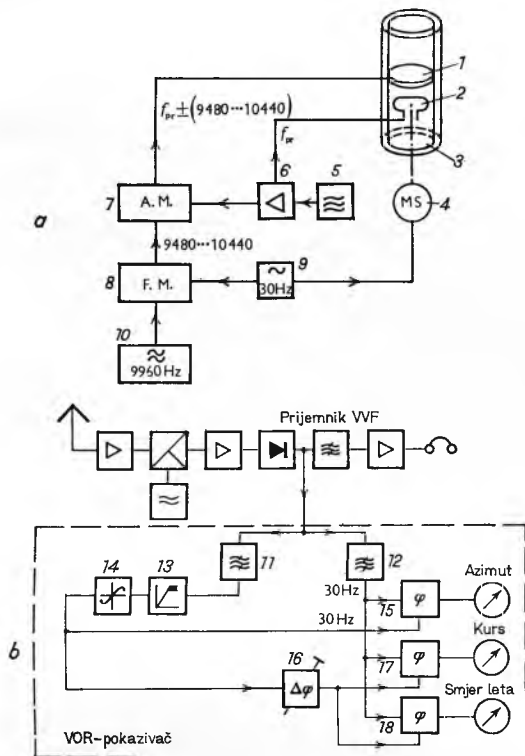
Drugi sistem služi za označavanje kursa koji je pod pravim kutom prema prvome. Ovaj sistem, koji zrači stalno, stvara na jednoj strani kursa polje koje je modulirano frekvencijom 90 Hz, a na drugoj strani kursa stvara polje modulirano frekvencijom 150 Hz. Linija gdje se oba ta polja preklapaju, i gdje su amplitude modulacije jednake, predstavlja kurs kojim treba letjeti, a pokazuje ga pokazni instrument. Ovakvo polje ima oblik dviju preklapajućih kardioida (punom crtom izvučene kardioida na sl. 31). Za indikaciju služi na avionu prijemnik s posebnim dodatkom i pokaznim instrumentom čija kazaljka stoji u sredini dok je avion u kursu, a skrene ulijevo ili udesno čim avion skrene s puta.



Sl. 31. Dijagram zračenja četverokursnog fara tipa VAR

Rotirajući radio-far VOR [engl. Very high frequency (ili Visual) Omnidirectional Range, što u slobodnom prijevodu znači far koji radi na vrlo visokoj frekvenciji i omogućuje određivanje svih smjerova vjetrulje]. Ovaj far radi na jednoj frekvenciji između 112 i 118 MHz. Dok prethodno opisani četverokursni farovi daju samo četiri smjera ili kursa, dotle rotirajući radio-far VOR daje bilo koji smjer vjetrulje i omogućuje avionima da lete u bilo kom radialnom kursu prema faru ili od njega. Zbog tih svojih prednosti ovaj far postepeno potiskuje starije četverokursne farove i ide danas u standardnu opremu svakog aviona i aerodroma. Ukoliko avion ima i pripadni uređaj za mjerenje udaljenosti (v. str. 728) može se s pomoću ovog fara odrediti i udaljenost. Avion koji želi raditi s ovim farovima mora imati specijalan prijemni navigacijski uređaj. Smjer se ovim farom određuje mjerenjem pomaka faze između primljenog referentnog signala i primljenog rotirajućeg signala.

Antenski se sistem ovog uređaja (sl. 32a) sastoji od jedne mirujuće antene (u obliku ploče) i jedne rotirajuće antene (u obliku dvostrukog okvira). Boljem prilagođenju tih antena na prostor i isfiltriranju valova koji nisu horizontalno polarizirani služi kavez u kome su ti sistemi smješteni. Zračeno polje, koje je horizontalno polarizirano, sastoji se od dva dijela: od kružno zračenog polja mirujuće antene i od usmjerenog polja osmičaste karakteristike što ga zrači rotirajuća antena koja se okreće brzinom 30 s^{-1} . Prvo je polje amplitudno modulirano pomoćnim valom nosiocem ($f_p \approx 10\text{ kHz}$), a ovaj je sam opet frekvencijski moduliran frekvencijom 30 Hz koju daje isti izvor (ponekad tonski točak) što napaja i motor rotirajuće antene. Frekvencija pomoćnog nosioca mijenja se od 9480 do 10440 Hz u ritmu od 30 Hz , što je referentni signal. Drugo je polje nemodulirano. Oba polja zajedno daju rezultirajuće polje; njegova karakteristika zračenja ima oblik kardioide i rotira brzinom 30 s^{-1} .

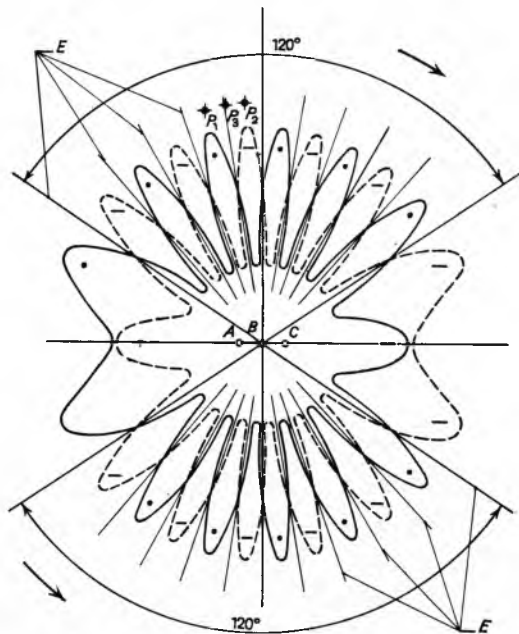


Sl. 32. Blok-shema predajnog (a) i prijemnog uređaja (b) rotirajućeg radio-fara VOR. 1 Pločasta antena s kružnim zračenjem, 2 rotirajući okvir ili presavijen dipol, 3 dvostruki kavez, 4 sinhroni motor za frekvenciju 30 Hz , 5 oscilator odašiljača, 6 v. f. pojačalo i izlazni stepen odašiljača, 7 modulator za amplitudnu modulaciju, 8 modulator za frekvencijsku modulaciju, 9 generator frekvencije 30 Hz , 10 generator pomoćne frekvencije 9960 Hz , 11 propusni filter za frekvencijsko modulirani pomoćni signal, 12 propusni filter za 30 Hz , 13 ograničavač, 14 frekvencijski diskriminator, 15, 17 i 18 fazni diskriminatori, 16 uređaj za mijenjanje faznog pomaka radi izbora određenog kursa

Amplituda polja što ga prima prijemnik mijenja se zbog rotacije antene u ritmu od 30 Hz , polje je, dakle, amplitudno modulirano frekvencijom 30 Hz . Upoređivanjem faze tog amplitudno moduliranog signala s fazom referentnog signala od 30 Hz sadržanog u pomoćnom valu nosiocu, dobiva se fazna razlika koja je proporcionalna smjeru. Fazna je razlika 0° u smjeru magnetskog sjevera. Nakon amplitudne detekcije (sl. 32b) u prijemnom se uređaju razdvajaju filterima 11 i 12 pomoćni nosilac i frekvencija 30 Hz . Nakon frekvencijske detekcije pomoćnog nosioca, obje se frekvencije od 30 Hz jedna s drugom fazno uspoređuju i mjeri se njihov fazni pomak, iz kojeg se dobije azimut. Od smjera prema magnetskom sjeveru, gdje je fazna razlika jednaka nuli, fazni pomak postepeno raste. Na uređaju postoje još dva instrumenta od kojih jedan pokazuje kurs koji se postavlja pomicanjem faze, a drugi služi za određivanje strane.

Navigacijski sistem Konsol (engl. Consol Beacon, razvio se od njem. sistema Sonne) jest far s rotirajućim zračenjem koji radi u graničnom području između niskih i srednjih radio-frekvencija. Po svojoj suštini on ide zapravo u red hiperboličkih naviga-

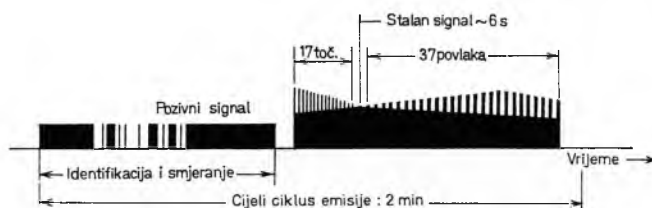
cijskih sistema, no budući da je njegova osnovica kratka ($\sim 6\text{ km}$), njegove ekvifazne rotirajuće hiperbole (v. str. 720) nakon nekoliko desetaka kilometara prelaze u pravce, tako da je on po svom djelovanju zapravo rotirajući far.



Sl. 33. Dijagram zračenja sistema Konsol

Antenski sistem fara Konsol sastoji se od tri rešetkasta stupa koji izravno služe kao antene. Oni su smješteni na osnovici sistema jedan od drugog udaljeni 2 do 3 valne duljine. Sve se antene napajaju iz centralno smještenog odašiljača (srednja izravno, a bočne preko mjenjača faze) i čine zajednički antenski sistem. Srednja se antena napaja strujom stalne frekvencije, faze i amplitude. Bočne antene napajaju se manjom jakošću struje, a faza im se u toku emisijskog cikla mijenja na dva načina.

Pravilnim izborom razmaka antena, faza i jakosti strujâ u pojedinim antenama dobije se dijagram zračenja s mnogo jednoliko raspoređenih latica (sl. 33, puno izvučeni dijagram). Kad se bočnim antenama promijeni faza za 180° , glavna se latica premješta s jedne strane na drugu, a ostale se laticе pomaknu za jedan korak u smjeru strelice, popunjavajući međuprostor između latica prvobitnog dijagrama (na slici crtani dijagram).



Sl. 34. Prikaz jednog ciklusa emisija sistema Konsol

Ako zračenje prema prvom dijagramu traje samo kratko (npr. $1/6\text{ s}$), a zračenje po drugom dijagramu (nakon promjene faze za 180°) dulje (npr. $5/6\text{ s}$), onda osmatrač, ma gdje se nalazio na području zračenja radio-fara, čuje s običnim prijemnikom ili automatskim radio-goniometrom u jednom slučaju točke, a u drugom povlake, a na granici između njih stalan ton. Budući da se osim brze promjene faze za 180° (svake sekunde) vrši i postepena promjena faze u toku cijelog ciklusa koji traje 30 s (ranije 60 s), oba se dijagrama postepeno okreću i pri tome prelaze i preko mjesta osmatrača. Smjer se određuje na taj način što se izbroji broj točkica odnosno povlaka prije i poslije ekvifaznog signala (stalnog tona, sl. 34) i s tim se podatkom dobije iz posebne Konzol-karte pravi smjer s točnošću boljom od 1° . Budući da se smjer po toj metodi može odrediti samo unutar jednog sektora,

treba približno poznavati svoju poziciju ili prethodno nekom drugom navigacijskom metodom odrediti smjer na $\pm 20^\circ$ točno.

Sistemom rotirajućeg fara Konsol služe se brodovi i avioni. On je vrlo jednostavan i ne traži na mjestu osmatranja neke posebne specijalne uređaje, ali nije upotrebljiv za automatske prijemne uređaje. Danas postoji svega nekoliko stanica sistema Konsol, i to u zapadnoj Evropi.

Radio-uređaj za slijetanje bez spoljne vidljivosti tipa ILS ide danas u standardnu opremu aerodroma (v. *Aerodrom*, TE 1, str. 24). On se sastoji od više usmjerenih farova. Tri vertikalna fara (markera) označavaju udaljenost od slijetne staze, glavni far označava pravac slijetanja, a glisadni far obilježava liniju prilaza po visini. Emisije glavnog i glisadnog fara modulirane su na jednoj strani frekvencijom 90 Hz, a na drugoj frekvencijom 150 Hz. Oba ova fara rade slično kao što je to opisano pri radio-faru VAR.

Hiperbolički navigacijski sistemi

U ovu se grupu svrstavaju svi elektronički navigacijski sistemi kojima linije pozicija (stajnice) imaju oblik hiperbole.

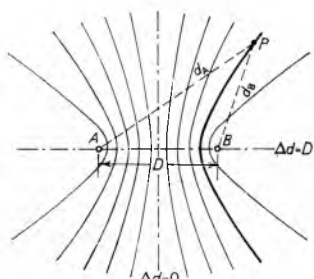
Hiperbola je geometrijsko mjesto točaka za koje je razlika udaljenosti od dviju fiksnih točaka, koje se zovu žarišta, stalna (na sl. 35 od točaka A i B). Razlika tih dviju udaljenosti $\Delta d = d_A - d_B$ jednaka je nuli kad točka osmatrača leži na simetrali osnovice AB. Kretanjem točke osmatrača od simetrale u polje hiperbola ta se razlika povećava; najveća je, i to $\Delta d = AB = D$, kad je točka osmatrača na osi hiperbola, tj. na lijevoj ili desnoj produžetku osnovice AB. Unutar tih granica postoji teoretski beskonačan broj konfokalnih hiperbola, ali u praksi elektroničke navigacije može se razlučiti njih samo konačan broj, koji je ograničen osjetljivošću navigacijskog sistema.

Hiperbole se udaljavanjem od osnovice sve više približavaju svojoj asimptoti i mogu se već nakon ~ 10 duljina osnovice smatrati pravcima. Također, što je osnovica duža, to su sve hiperbole jednog polja više ispružene, te pri $D \rightarrow \infty$ degeneriraju u paralelne pravce.

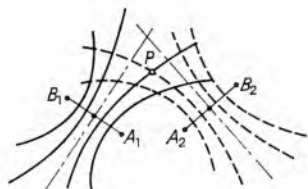
U svim hiperboličkim radio-navigacijskim sistemima moraju dakle na određenoj udaljenosti (od nekoliko kilometara do više hiljada kilometara) postojati dvije odašiljačke radio-stanice među kojima je rad na neki način usklađen. Razlika udaljenosti od objiju stanica mjeri se s pomoću radio-valova koji prevlažu put od jednog i drugog odašiljača do osmatrača šireći se pri tome prilično ujednačenom brzinom $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s. Ako je put tih valova vrlo dug, moraju se ipak uzeti u obzir neke korekture za promjenu brzine i put širenja. Razlika udaljenosti određuje se u sistemima koji rade s pomoću zračenja impulsa (*impulzni sistemi*) mjerenjem vremenske razlike između nailaska emitiranih valova od jedne i druge stanice, a u sistemima koji rade nemoduliranim valovima (*fazni sistemi*), mjerenjem razlike između faza valova koji dolaze od jedne i druge stanice. Danas je u upotrebi nekoliko hiperboličkih sistema (Decca, Loran, Omega itd.) koji se jedni od drugih razlikuju i po načinu emisije i po načinu mjerenja vremena. Međutim, postoje također sistemi u kojima se primjenjuju i dva načina mjerenja, npr. mjerenje razlike vremena za grubo određivanje linije pozicija i mjerenje faznog pomaka za fino određivanje.

Spajanjem točaka iste razlike udaljenosti ili iste fazne razlike dobiju se hiperbole u kojih se žarištima nalaze oba odašiljača. Utvrde li se hiperbole za više određenih razlika udaljenosti (za impulsne sisteme), odnosno za fazne razlike nula (za fazne sisteme) dobije se polje hiperbola koje prekriva prostor oko oba odašiljača.

Za određivanje pozicije broda ili aviona potrebne su najmanje dvije hiperbole dvaju susjednih hiperboličkih sistema (sl. 36) koj se sijeku pod povoljnim kutom (što bliže 90°); u nekim se sistemima za određivanje po-



Sl. 35. Polje hiperbola, A, B žarišta, d_A , d_B udaljenosti osmatrača P od žarišta, D duljina osnovice



Sl. 36. Određivanje položaja osmatrača P s pomoću hiperboličkih linija pozicija dvaju para stanica A_1B_1 i A_2B_2

zicije upotrebljavaju i tri hiperbole iz tri susjedna hiperbolička sistema. Budući da je ucrtavanje hiperbola u geografske karte komplicirano i dugotrajno, postoje za pojedine hiperboličke navigacijske sisteme posebne navigacijske karte na kojima je (obično u boji) odštampana i mreža hiperbola, označenih rednim brojevima, svih parova odašiljača koji rade na tom području (v. sl. 47).

U novije se doba primjenjuju i posebna računala koja podatke s prijemnika odmah prerađuju u geografske koordinate (tj. u geografsku širinu i duljinu).

Velika je prednost hiperboličkih navigacijskih sistema što brod ili avion ne mora imati nikakvog direktnog kontakta sa stanicama sistema, pa je prema tome i broj objekata koji mogu istovremeno određivati svoju poziciju s pomoću istog sistema neograničen.

Loran (od engl. *Long Range Navigation*, što znači navigacija na velike udaljenosti) jako je rasprostranjen impulsni hiperbolički navigacijski sistem koji se sada upotrebljava u dvije varijante (Loran A i Loran C ili C/D), a služi brodovima i zrakoplovima za određivanje pozicije.

Loran A, ili tzv. standardni Loran, razvijen je u USA za potrebe zrakoplovstva i mornarice, a počeo se primjenjivati 1943. Za vođenje aviona na veće udaljenosti prilikom bombardiranja ciljeva u Njemačkoj razvijen je Loran SS (engl. *Skywave Synchronised*, sinhroniziran prostornim valom). Usklađenje emisije obaju odašiljača izvedeno je u Loranu tog tipa s pomoću prostornih valova koji se reflektiraju od sloja E ionosfere (v. poglavlje Širenje radio-valova, str. 624). Izvjesna poboljšanja donio je tip Loran LF (*Low Frequency*, tj. niske frekvencijski) iz kojeg se razvio Loran tipa C koji se primjenjuje od 1963. Neka dalja usavršenja bez promjene principa rada donio je Loran tipa C/D (1966).

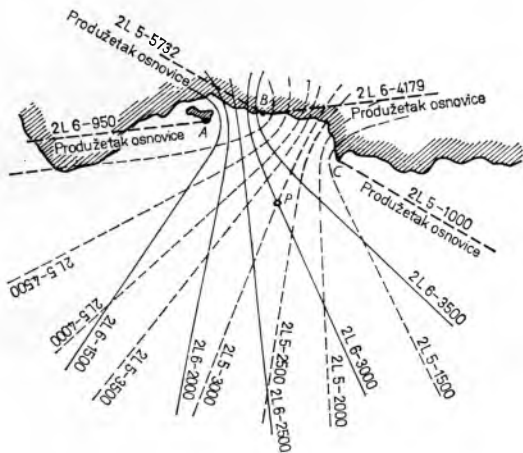
Princip rada sistema Loran. Na međusobnoj udaljenosti od nekoliko stotina kilometara nalaze se dva odašiljača, glavni i pomoćni. Oni sačinjavaju tzv. Loran-par. Oba odašiljača rade na istoj frekvenciji, i to na jednoj od 4 frekvencije (1750, 1850, 1900 ili 1950 kHz) koje su predviđene za rad ovog sistema. Glavna stanica emitira impulse određena trajanja ($\sim 40 \mu s$) s točno određenom frekvencijom ponavljanja. Radi razlikovanja jedne Loran-stanice od druge predviđeno je, naime, osim spomenute 4 radne frekvencije, još i 24 različitih frekvencija ponavljanja impulsa i to po 8 u područjima od 20 (oznaka S), 25 (oznaka L) i 33 (oznaka H) impulsa u sekundi. Tako npr. 1 H 4 znači Loran stanicu koja radi s radnom frekvencijom 1950 kHz i s frekvencijom ponavljanja 33 $\frac{1}{3}$ impulsa u sekundi. U pomoćnoj se stanici primaju impulsi glavne stanice i oni nakon određenog vremenskog intervala okidaju emisiju impulsa pomoćne stanice. Osmatrač prima tu emisiju s pomoću posebnog Loran-prijemnika (sl. 37), koji je prethodno pritiskom na dugmad (npr. 1, H, 4) podesio na željeni Loran-par.



Sl. 37. Loran-prijemnik (Redifon Ltd, London)

Na ekranu katodne cijevi pojavljuje se na gornjem dijelu vremenske linije impuls glavne stanice, a na donjem dijelu impuls pomoćne stanice. Podešavanjem dovode se oba impulsa u pokriće, a zatim se očita vremenska razlika kao peteroznamenast broj. S nazivom stanice i tim brojem ulazi se u posebnu Loran-kartu, iznalazi pripadna hiperbola i po potrebi vrši interpolacija. Na taj je način nađena jedna hiperbolička stajnica. S pomoću dva para prikladno postavljenih Loran-stanica, tzv. Loran-lanca, dobiju se dvije stajnice, a u njihovom sjecištu i pozicija osmatrača (sl. 38). Pri tome je glavna stanica obično zajednička za oba para.

Zakašnjenje emisije pomoćne stanice iza emisije glavne stanice sastoji se od više dijelova: a) od vremena koje je potrebno da radio-val prevali put od glavne stanice do pomoćne stanice; b) od pola vremena koje protekne između dva uzastopna impulsa i c) od dodatnog vremena od 500 do 1000 μ s, kojim se postiže da se impuls glavne stanice pojavljuje uvijek kao prvi, a impuls pomoćne stanice kao drugi. (Dodatno se vrijeme može, npr. u ratu, po želji mijenjati.)



Sl. 38. Polje hiperbola Loran-lanca. Na slici vide se oznake pojedinih hiperbola, P pozicija osmatrača, A , B i C Loran-stanice

Loran C je impulsno-fazni radio-navigacijski sistem koji radi na nižim frekvencijama (90...110 kHz); on za grubo određivanje linije pozicije radi na istom principu kao *Loran A*, a za fino određivanje pozicije u njemu se primjenjuje sistem mjerenja fazne razlike. Zbog toga moraju valovi glavne i pomoćne stanice među kojima se mjeri fazni kut biti i fazno usklađeni. Na taj se način postiže znatno veća točnost (danju 70...350 m, noću ~ 2000 m). Niža radna frekvencija omogućuje i veći domet: danju do 1400 NM za površinski i 2100 NM za prostorni val, a noću ~ 3000 NM [1 NM (nautička milja) = 1852 m.]

Loran C/D je automatizirana verzija *Lorana C*; njegov prijemnik automatski pokazuje podatke u digitalnom obliku, a može se i izravno priključiti na navigacijsko elektroničko računalo.

Fazni hiperbolički navigacijski sistemi. Razlika udaljenosti od dviju fiksnih točaka (odašiljača) može se odrediti i mjerenjem fazne razlike $\Delta\psi$ između valova što ih zrače dva odašiljača istog sistema koji čine par, budući da je ona proporcionalna razlici udaljenosti $d_B - d_A$. Jakost polja na mjestu osmatranja P iznosi, pod uslovom da su (osnovna) frekvencija i faze obaju odašiljača usklađene,

$$\begin{aligned} e_A &= E_A \cos \left(\omega_0 t - \frac{2}{\lambda_0} d_A \right), \\ e_B &= E_B \cos \left(\omega_0 t - \frac{2}{\lambda_0} d_B \right), \end{aligned}$$

gdje je E_A i E_B amplituda jakosti polja, d_A i d_B udaljenost točke osmatranja P od odašiljača A i B i λ_0 valna duljina pri kojoj se vrši mjerenje fazne razlike. Iz toga se dobije razlika faze

$$\Delta\psi = \frac{2}{\lambda_0} (d_B - d_A),$$

ili izraženo frekvencijom

$$\Delta\psi = \frac{2\pi}{c} f_{\text{up}} (d_{\text{B}} - d_{\text{A}}).$$

Prema tome razlika udaljenosti iznosi

$$d_B - d_A = \Delta\psi \cdot \frac{\lambda_0}{2\pi} = \Delta\psi \frac{c}{2\pi f_{\text{max}}},$$

gdje je $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s brzina širenja radiovalova, a f_{up} frekvencija upoređivanja na kojoj se mjeri razlika faze.

U sistemima u kojima se mjeri razlika faze primjenjuju se nemodulirani valovi ili impulsi niskih i vrlo niskih frekvencija

(kilometarski i mirijameterski valovi), koji osiguravaju velike domete. Prednost je nedomuliranih valova što zauzimaju frekven-
cijski opseg neznatne širine, pa su stoga znatno manje izloženi
smetnjama od moduliranih.

Radio-valovi dvaju odašiljača između kojih se mjeri fazna razlika moraju imati istu frekvenciju i biti po fazi usklađeni. Da bi se mogle uporediti i mjeriti razlike među fazama dviju emisija, one se moraju jedna od druge odvojiti. Kako radio-prijemnici ne mogu razdvojiti dvije nemodulirane emisije ako su one iste frekvencije, moraju se radi realizacije faznih navigacijskih sistema primijeniti neki posebni postupci.

U sistemima s istovremenim zračenjem odašiljača (npr., u sistemu Decca-navigator) za emisiju se ne upotrebljavaju valovi iste frekvencije, već valovi dviju ili više različitih frekvencija koje su jedna s drugom povezane samo nekom osnovnom frekvencijom f_0 . Jedan od odašiljača zračiti će u tom slučaju, npr., s frekvencijom $m \cdot f_0$, a drugi s frekvencijom $n \cdot f_0$, a u prijemnom će se uređaju prikladnim množenjem ili miješanjem dobiti frekvencija za upoređivanje faze, npr. $m \cdot n \cdot f_0$ ili f_0 .

U sistemima s uzastopnim zračenjem odašiljača odašiljači zrače na istoj frekvenciji jedan iza drugog, a mjerenje razlike faznog kuta vrši se u tom slučaju tako da se emisije pojedinih odašiljača na neki način pamte ili uspore, a upoređivanje i mjerenje razlike faznog kuta vrši se naknadno. Taj je postupak primijenjen npr. u sistemu Omega i Dektra.

Decca (Deka)-navigator je hiperbolički radio-navigacijski sistem koji radi na principu mjerenja fazne razlike između dva nemodulirana vala koje zrače istovremeno dva odašiljača smještena na određenoj udaljenosti jedan od drugog. Oni služe za određivanje pozicije brodovima i avionima.

Decca-navigators razvio je W. O'Brien, a poduzeće Decca, koje proizvodi takve uređaje, predložilo ga je 1942 britanskom admiralitetu. Nakon ispitivanja uspješno provedenih u toku 1943, on je prihvaćen i po prvi put masovno je upotrijebljen 1944 prilikom invazije saveznika u Normandiju. Od tada pa do danas taj se sistem stalno usavršava i sve više primjenjuje.

Danas je u radu više desetaka takvih sistema (u zapadnoj Evropi, Sjevernoj Americi, Perzijskom zaljevu, Indiji i Japanu).

Za rad po tom sistemu treba imati na kopnu (na zemlji) nekoliko specijalnih među sobom usklađenih radio-odašiljačkih stanica, a na brodu (avionu) odgovarajući specijalan prijemni uređaj, pomorske Decca-karte i eventualno crtač prevaljenog puta.

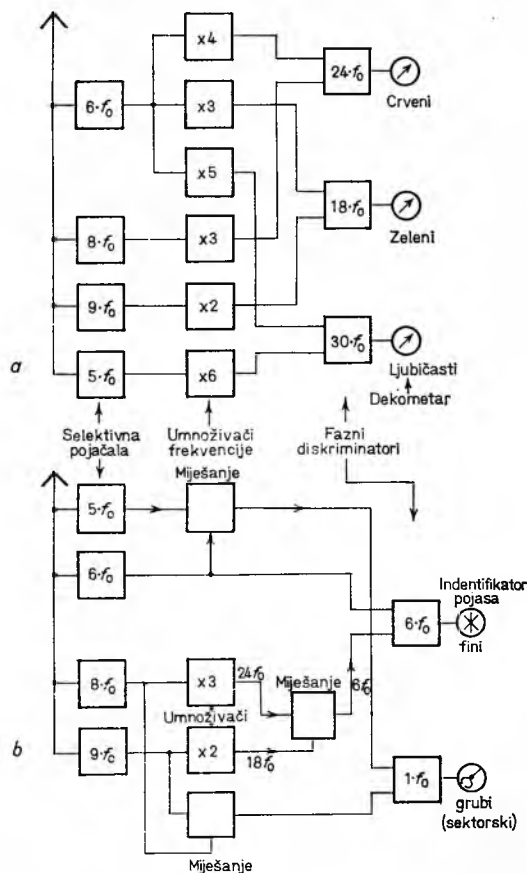
Odašiljački sistem Decca-navigatora sastoji se od 3 ili 4 odašiljačkih stanica na kopnu, od kojih je jedna glavna, a druge dvije ili tri su pomoćne ili prateće. Pomoćne su stanice postavljene zvjezdasto oko glavne stanice, na svakih $\sim 120^\circ$ po jedna, a na udaljenosti 120...200 km od nje. Emisije pomoćnih stanica usklađene su s emisijom glavne stanice, pri čemu svaka pomoćna stanica s glavnom stanicom čini poseban Decca-par, koji se zove crveni, zeleni ili ljubičasti, prema boji kojom su njegove hiperbole štampane na navigacijskim kartama. Sistem od tri para zove se Decca-lanac.

Glavna i pomoćne stanice rade na frekvencijama između 70 i 120 kHz koje su, kao što je već naprijed rečeno, mnogokratnici neke osnovne frekvencije f_0 , karakteristične za dotični lanac; ta frekvencija kreće se oko 14 kHz. Sinhronizacija frekvencije i faze između glavne i pomoćnih stanica vrši se iz glavne stanice putem radio-emisija. Snaga odašiljaka koji su priključeni na ~ 100 m visoke rešetkaste antenske stupove iznosi $\sim 2,4$ kW.

Veći dio vremena emisije odašiljača (svake minute od 0^a do 58,5^a) predviđen je za fino određivanje pozicije, a samo ostatak za grubo određivanje pozicije, i to po redu za svaki par.

Prijemni uređaj Decca-navigatora sastoji se od višekanalnog prijemnika i nekoliko pokaznih instrumenata. Prijemnik se sastoji od 4 selektivna ulazna pojačala (jedan za svaku pojedinu frekvenciju lanca), umnoživača frekvencije, stepena za miješanje i faznih diskriminatora koji napajaju fazometre, ovdje zvane *dekometri*. Prijemnik je stalno ugoden na frekvencije glavne stanice i pomoćnih stanica. S pomoću valnog preklapnika on se može prebaciti i na frekvencije nekog drugog Decca-lanca, jer svaki lanac radi na drugim frekvencijama. Brodski se prijemni uređaji razlikuju i po konstrukciji i po frekvencijama za upoređivanje od avionskih.

Radi određivanja linije pozicije (unutar pojasa) vrši se u brodskom prijemniku (sl. 39 a) množenje frekvencije svih primljenih signala, kako bi se tim putem dobile nove frekvencije za mjerenje fazne razlike. Za crveni se par, npr., frekvencija $6f_0$ glavne stanice množi sa četiri ($6f_0 \times 4 = 24f_0$) a frekvencija $8f_0$ pomoćne stanice sa tri ($8f_0 \times 3 = 24f_0$), tako da frekvencija za upoređenje iznosi $24f_0$. Analogno se postupa za zeleni i ljubičasti par, gdje frekvencija za upoređenje iznosi $18f_0$, odn. $30f_0$.



Sl. 39. Blok-shema prijemnog uređaja sistema Decca brodske izvedbe. a Sklop za određivanje linije pozicije unutar pojasa, b sklop za identifikaciju broja pojasa

Na avionima nije potrebna, pa ni poželjna, tolika točnost, stoga se u avionskim prijemnicima, u pojedinim parovima, za mjerenje faze pri finom određivanju pozicije primjenjuju niže frekvencije $5f_0$, $8f_0$ i $9f_0$.

Za svaki par predviđen je poseban dekometar ugrađen u zajedničko kućište s ostalima (v. *Brod*, TE 2, str. 320), koji neprekidno prati položaj osmatrača i pokazuje broj njegove položajne hiperbole između dvije hiperbole fazne razlike nula (nulte hiperbole), tj. unutar jednog pojasa (sl. 40). Kad se fazni kut promijeni za 360° , mala kazaljka dekometra izvrši puni okret. Njezina skala, međutim, nije baždarena u faznom (kutnom) mjerilu, već u 100 poddjeljaka od 0 do 1. Za jedan puni okret male kazaljke velika se kazaljka — koja je s njome, slično kao u satu, mehanički vezana — pomakne za jedan poddjeljak, koji označava broj pojasa, i time pokazuje prelaz u idući pojas. Ako se prilikom isplavljenja postave svi dekometri na pravilni broj pojasa, kazaljke dekometra same će pratiti kretanje broda (aviona) i neprekidno pokazivati hiperbolu na kojoj se osmatrač nalazi. Međutim, ako zbog nekog kvara uređaj stane, ili ako se npr. prilazi teritoriji na kojoj radi Decca-lanac s otvorenog mora, vrlo je teško na osnovi podataka drugih navigacijskih pomagala postaviti dekometre na pravilan broj pojasa (unutar pojasa dekometri se sami postavljaju u pravilan položaj) jer je širina pojasa relativno mala.

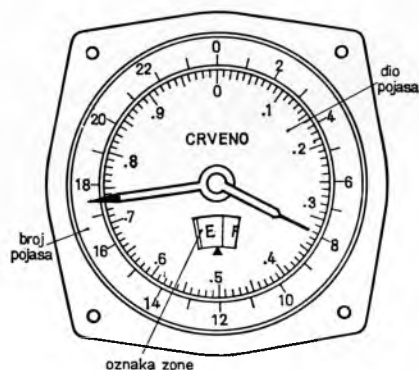
Širina pojasa (između dvije hiperbole fazne razlike nula) iznosi na osnovici sistema (između obje stanice) $\lambda/2$, što za frekvencije

upoređivanja brodskih Decca-prijemnika iznosi 357...570 m, a za avionske prijemnike 1190...2144 m. (Širine pojasa s udaljenjem od osnovice dakako rastu, kako se šire hiperbole.) Radi otklanjanja neizvjesnosti u pogledu broja pojasa u kome se nalazi osmatrač, uveden je u toku daljeg razvoja ovog sistema dodatni grublji postupak za identifikaciju broja pojasa, koji je i nekoliko puta usavršavan. O njemu je riječ u nastavku izlaganja.

Određivanje broja pojasa vrši se načelno na isti način kao određivanje linije pozicije unutar pojasa, s tom razlikom što se za mjerenje fazne razlike uzima niža frekvencija za upoređivanje, npr. f_0 , a u novijim uređajima čak i $0,2f_0$.

Do frekvencije f_0 dolazi se u starijim uređajima (do tipa Mark 10) na taj način što u vrijeme predviđeno za identifikiranje pojasa matična stanica zrači dvije frekvencije ($5f_0$ i $6f_0$), a pripadna pomoćna stanica dvije druge frekvencije ($8f_0$ i $9f_0$), i tako svi parovi po redu. Miješanjem jednih i drugih frekvencija u uređaju prema blok-shemi na sl. 39 b dobiju se dva signala frekvencije f_0 i dva signala frekvencije $6f_0$ između kojih se mjere fazni kutovi. Njih pokazuju dva dekometra; dekometar koji mjeri fazni kut na frekvenciji f_0 služi grubom pokazivanju i njegova kazaljka ima oblik sektora; drugi dekometar, koji mjeri fazni kut na frekvenciji $6f_0$, služi finijem pokazivanju i on ima 6 zvjezdasto raspoređenih kazaljki. Obično su oba dekometra montirana u isto kućište, a kazaljke postavljene jedna preko druge, stoga sektorska kazaljka samo pokazuje kod koje zvjezdaste kazaljke treba očitati skalu. Kako je za sve parove predviđen samo jedan identifikator pojasa, pokazivanje broja pojasa za pojedine parove vrši se uzastopno.

Polja između nultih hiperbola koja se pojavljuju pri grubom postupku za identifikiranje pojasa znatno su šira od osnovnih pojasa i zovu se *zone*. U jednoj zoni pojedinih parova ima kod brodskih Decca-prijemnika 18, 24, odnosno 30 pojasa. Te se zone označavaju slovima. Dekometar pokazuje zone u malom prozorčiću u kome se vidi pripadno slovo. Pokazivač zone mehanički je vezan s velikom i malom kazaljkom (v. sl. 40).



Sl. 40. Izgled skale dekometra crvenog para. Mala kazaljka pokazuje dio pojasa (liniju poziciju u pojasu), velika kazaljka broj pojasa, a slovo u prozorčiću oznaku zone

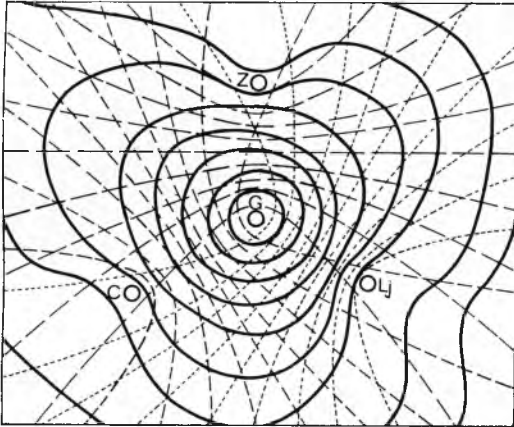
Budući da je grubo određivanje broja pojasa u zoni po opisanom načinu bilo izloženo različitim smetnjama, a određivanjem broja pojasa nije uklonjena neizvjesnost o tome u kojoj se zoni osmatrač nalazi, radi sigurnijeg dobivanja frekvencije f_0 prešlo se na dopunu odašiljačkih stanica, tako da one kod novijih uređaja u vrijeme predviđeno za identifikaciju pojasa zrače (svaka od njih po redu) istovremeno 4 frekvencije ($5f_0$, $6f_0$, $8f_0$ i $9f_0$). Superpozicijom tih frekvencija dobije se, nakon ograničavanja, impuls frekvencije f_0 , s pomoću kojeg se može sigurno odrediti broj pojasa u zoni.

Osim toga zrače odašiljači još i signal frekvencije $8,2f_0$, koji miješan sa signalom $8f_0$ daje signal frekvencije $0,2f_0$. Primjenom tog signala smanjuje se neizvjesnost (tj. broj pojasâ u kojima bi se osmatrač mogao nalaziti) još na jednu petinu.

Položaj broda ili aviona po ovom se sistemu određuje tako da se s pomoću brojeva pojasa što ih pokazuju crveni, ljubičasti i zeleni dekometar pronadu u Decca-karti (sl. 41, crtkane linije) pripadne hiperbole odgovarajuće boje i broja, pa nakon interpo-

lacije ucrtaju linije pozicija. U njihovom sjecištu nalazi se položaj osmatrača.

U novije se vrijeme primjenjuju i tzv. sekundarne i tercijarne krivulje, koje se dobiju zbrajanjem i odbijanjem faza pojasa polja hiperbola pojedinih parova (sl. 41). One nastaju u prijem-



Sl. 41. Polje hiperbola Decca-lanca. Kratke crtice prikazuju ljubičaste hiperbole, dulje crtice crvene hiperbole, duge crtice zelene hiperbole, pune crte tercijarne krivulje dobivene zbrajanjem crvenih, zelenih i ljubičastih. G glavna stanica, Z, C, Lj pomoćna zelena, crvena i ljubičasta stanica

niku kao virtualne krivulje iste faze; njihova je prednost što sijeku primarna polja pod povoljnim kutom, pa su stoga prikladne za rad crtača prevaljenog puta (sl. 42).

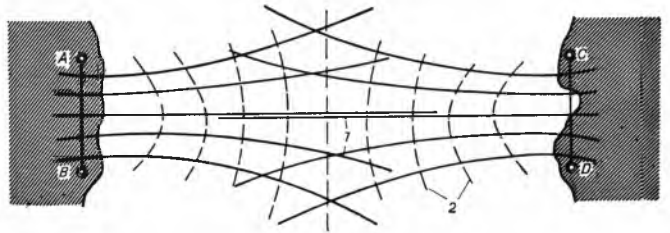


Sl. 42. Crtač prevaljenog puta (pokazivač kursa)

Dektra (engl. DECTRA od DECCA Track and Range, sistem Decca za dobivanje kursa i udaljenosti) fazni je hiperbolički sistem, varijanta sistema Decca koja je predviđena za rad na veće udaljenosti; prekriva emisijom svojih stanica površinu Zemlje od $\sim 3500 \times 1000$ km. Na svakoj strani mora preko koga se žele tim sistemom voditi brodovi i avioni postavljaju se na udaljenosti ~ 150 km po jedna glavna i po jedna pomoćna stanica s odašiljačima snage 20 kW (sl. 43).

U sistemu Dektra iskorištavaju se za navigaciju dva polja hiperbola. Uzdužne 1, koje potječu od emisija parova stanica AB i CD, i poprečne 2, uzrokovane emisijom stanica A i C. Uzdužne se hiperbole zovu i kursne hiperbole, jer mogu služiti kao kurs broda, a po njima se može uz primjenu pogodnog instrumenta i kormilariti. Poprečne ili daljinske hiperbole služe za određivanje udaljenosti od obale.

Glavna stanica A emitira sa 6 prekida u minuti nedomulirane valove frekvencije f_1 . U prijemnom uređaju koji se nalazi na brodu ili avionu nalazi se kvarcni oscilator koji se automatski usklađuje s frekvencijom i fazom valova što ih zrači stanica A. U intervalima dok stanica A ne radi, pomoćna stanica B vrši emisiju na frekvenciji f_1 , koja je također po frekvenciji i fazi usklađena s emisijom stanice A. Za to se vrijeme na brodu (avionu) mjere fazne razlike između »zapamćene« emisije stanice A i primljene emisije stanice B. Pokazivač kursa (engl. Decca track meter) pokazuje na kojem se dijelu pojasa i u kojem se pojasu nalazi osmatrač, a pokazivač »lijevo-desno« pokazuje odstupanje od jedne kao kurs odabrane hiperbole. Isto se događa i na drugoj strani mora na stanicama C i D, s razlikom što one rade na frekvenciji f_2 . Te dvije frekvencije (f_1 i f_2) vezane su jedna s drugom nekim supharmonikom. Npr., ako je $f_1 = 459 \cdot 153 = 70\,227$ Hz, a $f_2 = 460 \cdot 153 = 70\,380$ Hz obje su frekvencije usklađene preko frekvencije 153 Hz. Svođenjem frekvencija f_1 i f_2 na frekvenciju za upoređivanje i mjerenjem fazne razlike dobije se poprečno polje hiperbola koje služi za mjerenje udaljenosti. Udaljenost od obale može se očitati na pokazivaču daljine. Uz taj uređaj može se upotrijebiti i crtač prevaljenog puta.



Sl. 43. Polje Dektra-hiperbolâ. 1 Kursne hiperbole, 2 daljinske hiperbole

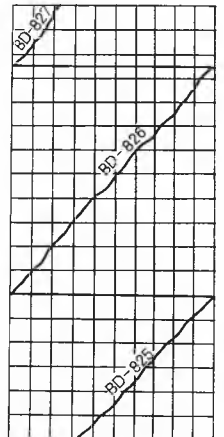
Omega je fazni hiperbolički navigacijski sistem s uzastopnim emisijama stanica. Fazna razlika mjeri se s pomoću podataka zapamćenih u prijemnom uređaju. To je prvi elektronički navigacijski sistem koji prekriva cijelu zemaljsku kuglu.

Sistem je razvijen u USA, gdje je u početku bio predviđen samo za potrebe ratne mornarice i ratnog zrakoplovstva. Sada se mogu njime služiti sva zainteresirana vozila, plovila i letila. Prethodnici sadašnjeg sistema Omega bili su eksperimentalni sistemi Radux i Radux-Omega. Razvoj sadašnjeg sistema počeo je 1957, a pokusnom pogonu pristupilo se 1960.

Sistemom Omega mogu se služiti brodovi i podmornice (i u zaronjenom stanju), avioni i helikopteri, vozila i plovila sa zračnim jastukom i vozila na kopnu. Taj je sistem, međutim, predviđen u prvom redu za navigaciju na otvorenom moru i pri duljim preletima.

Sistem sačinjava na kopnu osam po cijeloj zemaljskoj kugli prikladno porazmještenih odašiljačkih stanica. Svako vozilo, plovilo ili letilo koje se želi služiti tim sistemom mora imati specijalan prijemni uređaj.

Način rada sistema Omega. U vezi s određivanjem pozicije odašiljači sistema Omega zrače nedomulirane valove na tri frekvencije (10,2, 11,33 i 13,6 kHz) prema točno određenom redosljedu. Osnovno mjerenje fazne razlike provodi se na signalima frekvencije 10,2 kHz. Toj frekvenciji odgovara na spojnici para odašiljača širina pojasa od pola valne duljine, što u tom slučaju iznosi $\lambda/2 = c/2f = 14,8$ km ili 8 NM. Budući da se razlika faze (od 0 do 360°) može mjeriti samo unutar pojedinih pojasa, postoji pri tom načinu određivanja linije pozicija neizvjesnost u pogledu pojasa (a ima ih ~ 800) u kome se plovilo ili letalo nalazi. Neizvjesnosti, naravno, nema ako je pozicija plovila ili letala približno (na ± 4 NM) poznata. Mada postoji mogućnost da se pozicija približno odredi i po nekoj drugoj navigacijskoj metodi, ipak i sam sistem Omega pruža nekoliko mogućnosti za otklanjanje te neizvjesnosti, kako je prikazano u nastavku.



Sl. 44. Prikaz trake registratora sistema Omega za pokazivanje fazne razlike

Ako je jednom poznat ispravan broj nulte hiperbole (npr. pri isplavljenju ili poletanju iz poznatog mjesta), taj se broj rukom upisuje na traci registratora (sl. 44) iznad prve krivulje, a zatim se iznad idućih krivulja koje crta registrator, a koje grafički prikazuju faznu razliku, napišu dalji redni brojevi. U prijemnicima s digitalnim pokazivanjem broja hiperbole (stajnice) taj se troznamenasti broj postavlja na pokazivaču, a uređaj ga dalje sam mijenja pri prelazu u novi pojas.

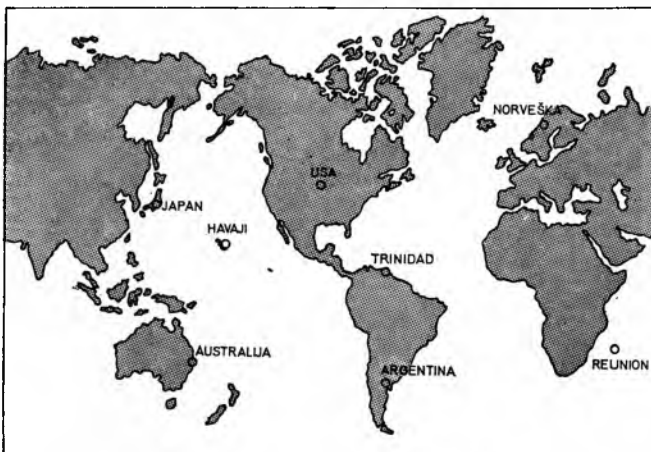
Nadalje, može se miješanjem signala frekvencije 10,2 kHz i signala frekvencije 13,6 kHz istog odašiljača dobiti u prijemniku signal frekvencije 3,4 kHz i na njemu mjeriti fazna razlika. Budući da toj frekvenciji odgovara pojas širine 34 NM, neizvjesnost u pogledu pojasa u kojem se osmatrač nalazi time se znatno smanjuje. Isto se može provesti i signalima frekvencije 10,2 ili 11,33 kHz, pa se dobije pojas širine 72 NM, što je u svakom slučaju dovoljno za eliminiranje neizvjesnosti.

Koja će se od ovih triju mogućnosti primijeniti u nekom Omega-prijemniku ovisi o brzini kretanja objekta za koji je određen tip Omega-prijemnika predviđen. Prijemnici za trgovačke brodove i sporije avione primjenjuju obično samo prvi način, tj. tekuće praćenje i brojenje, a drugi i treći način upotrebljavaju se na velikim i brzim avionima.

Točnost pozicije dobivene po sistemu Omega ograničena je promjenama kojima podliježu radio-valovi na svom dugom putu širenja. Tako, npr., na njih utječe razlika visine ionosfere danju i noću, promjena vrste tla (kopno, more) preko kojeg se valovi šire, i sl. (v. poglavlje Širenje elektromagnetskih valova, str. 623). Dobar dio tih promjena može se točno predskazati i za njih postoje tablice iz kojih se dobiju tzv. *dnevne korekture*. Svi ostali utjecaji obuhvaćeni su tzv. *diferencijalnim korekturama*, koje se mogu dobiti samo izravnim mjerenjem na licu mjesta, npr. kad se bilo kojim drugim načinom točno utvrdi pozicija, ili ako tu korekturu netko objavljuje.

Primjenom dnevnih korektura postiže se danju točnost linija pozicija na ± 1 NM, a noću na 2 NM. Uvrštenjem diferencijalnih korektura točnost se zna poboljšati i na $\pm 0,5$ NM. Međutim, položaj jednog promatrača u odnosu prema drugom, ako obojica određuju poziciju tim sistemom, može se pri udaljenosti do 100 NM odrediti i na nekoliko stotina metara točno.

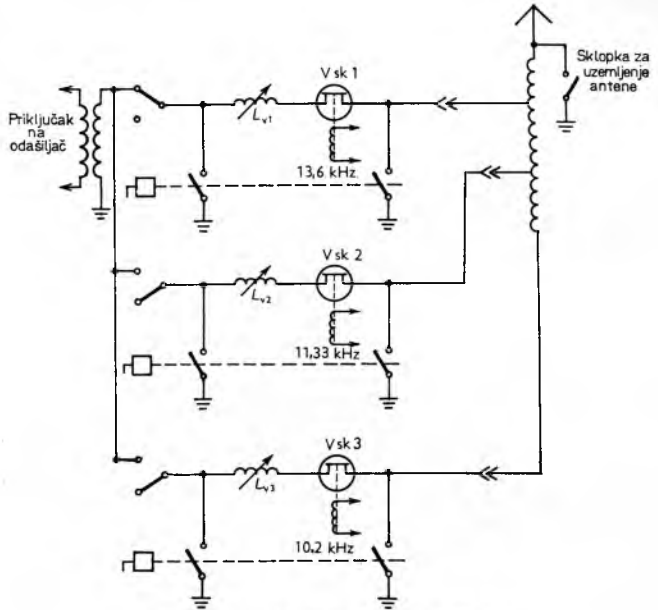
Odašiljački sistem Omega sačinjava osam odašiljačkih centara koji su smješteni po jedan u USA, na Trinidadu, u Norveškoj i na Havajima (upravljačka stanica), nadalje u Japanu, na Reunionu u Indijskom oceanu, u Argentini i u Australiji (sl. 45). Nekoje od ovih posljednjih stanica još su u izgradnji. Stanice su udaljene jedna od druge ~ 5000 km, a njihov je domet i veći od toga. Lokacije su izabrane tako da svagdje na Zemlji postoji dobar prijem 3...6 stanica.



Sl. 45. Prikaz rasporeda Omega-stanica

Odašiljači sistema Omega, snage 150 kW, priključeni su na goleme žičane antenske sisteme postavljene u obliku kišobrana oko centralnog stupa ili razapete između brda ili preko fjordova. Budući da su takvi unipoli s obzirom na valnu duljinu ($\lambda = 22 \dots 30$ km), električki posmatrani, vrlo kratki, i njihov je otpor zračenja vrlo malen ($0,02 \dots 0,07 \Omega$) pa je korisnost vrlo loša, tako da zračena snaga iznosi samo ~ 10 kW. Efektivna visina (duljina) tih antena iznosi naime samo 120...230 m (v. Antene, str. 605).

Za povezivanje odašiljača s antenom predviđen je antenski stepen (sl. 46) koji ima zadatak da s pomoću antenske zavojnice i variometra induktiviteta L_a , odn. L_v , neutralizira veliku kapacitivnu reaktanciju antene i da s pomoću transformatora Tr prilagodi otpor antene na otpor izlaznog stepena. Za svaku valnu duljinu postoji na antenskoj zavojnici poseban odvojak, a preklapanje vrši se s pomoću vakuumskih relejnih sklopki. Budući da jakost struje u točki napajanja iznosi 350...670 A, svi su ti dijelovi velikih dimenzija.



Sl. 46. Antenski stepen Omega-odašiljača

Za održavanje odašiljača u sinhronosti po frekvenciji i fazi primjenjuju se u ovom sistemu najprecizniji atomski oscilatori (v. *Električni satovi*, str. 110), a samo povremeno vrši se kontrola i usklađivanje s upravljačkom stanicom.

Prijemni uređaj sistema Omega služi za mjerenje fazne razlike između signala što ih emitiraju pojedine stanice tog sistema koje se odaberu kao parovi za određivanje linija pozicije.

U toku svakog ciklusa emisije, koji traje 10 s, svaka od osam stanica sistema Omega (koje se označavaju slovima A...H) zrači uzastopno, u intervalu za nju predviđenom, tri frekvencije (10,2, 13,6 i 11,33 kHz). Emisija na pojedinim frekvencijama traje 0,9...1,2 s, a pauze između emisija iznose 0,2 s. Redoslijed rada pojedinih stanica i trajanja njihovih emisija na pojedinim frekvencijama točno je utvrđen rasporedom Omega-emisija. Budući da sve stanice rade na tri iste frekvencije, one se mogu identificirati samo na osnovi redoslijeda njihova rada i trajanja njihovih impulsa, dakle prema shemi rasporeda emisija.

Budući da se emisije u tom sistemu vrše uzastopno, u prijemnicima se mora jedna frekvencija pamtit i s pomoću nje stvoriti referentna frekvencija za mjerenje fazne razlike između nje i signala što nadolaze. Prema namjeni postoji više izvedaba Omega-prijemnika, opisanih u daljem izlaganju.

Najjednostavniji uređaji vrše prijem samo na osnovnoj frekvenciji od 10,2 kHz i daju samo dvije linije pozicije mjerenjem fazne razlike između tri odabrane Omega-stanice. S jednom od njih, koja se odabere kao glavna, izvrši se usklađivanje internog kvarcnog oscilatora, ručno ili automatski. Između referentnog signala i signala ostalih dviju stanica mjeri se fazna razlika u pravom trenutku prema rasporedu Omega-emisija. Prije početka rada postavlja se na prijemnik s pomoću predviđene dugmadi slovo glavne stanice, slova pomoćnih stanica, izvrši se sinhronizacija glavne stanice, namjesti se brojevi pojasa za jedan i drugi par i uvrste se eventualne dnevne korekture (v. sl. 48). Uređaj zatim sam prati brojeve pojasa kojima iza decimalne točke dodaje faznu razliku izraženu dvjema brojkama (od 0,01 do 0,99). Pokazivački uređaj s pomoću brojačkih Nixie-cijevi stalno pokazuje brojeve stajnica (npr. BD837,63). S tim se brojevima ulazi u

Omega-kartu (sl. 47) i nakon interpolacije ucrtta se linija pozicija. Osim u digitalnom obliku, prijemni uređaj daje podatke o razlici faze još i u analognom obliku za registrator, a eventualno i u binarnom obliku za navigacijsko računalo.

signalâ svih triju frekvencija. Ti su uređaji predviđeni uglavnom samo za rad s navigacijskim računalima.

Hiperbolički navigacijski sistemi veće točnosti. Elektronički navigacijski sistemi opisani u ovom članku daju poziciju osmatrača s točnošću od svega nekoliko desetaka do nekoliko hiljada metara; oni stoga nisu upotrebljivi kad se traži znatno veća točnost, npr. pri geodezijskim, hidrografskim, geološkim i drugim premjeravanjima, pri ispitivanju karakteristika brodova, za održavanje na određenoj poziciji platformâ za podmorska bušenja na naftu. Za te je svrhe razvijen na hiperboličkom principu niz preciznijih uređaja koji se ili izravno baziraju na nekom od naprijed opisanih sistema, npr. Decca-uređaj za premjeravanje, ili rade na nekom sličnom principu, kao npr. Raydist, Lorac, Rana i najnoviji francuski sistem Toran. Neki od ovih sistema opisani su u drugim člancima u ovoj enciklopediji.

Navigacijski radari

Primjena je radara danas vrlo mnogostrana. Među radarima zauzimaju značajno mjesto i radari kojima je konstrukcija posebno prilagođena potrebama navigacije. Njima su danas opremljeni gotovo svi morski i riječni brodovi (osim najmanjih), a u nešto manjoj se mjeri navigacijski radari primjenjuju i na avionima.

Navigacijski se radari upotrebljavaju za određivanje pozicije, za opću orijentaciju pri lošoj vidljivosti, za sprečavanje sudara s drugim plovnim objektima, za vođenje brodova kroz uske kanale, rijeke i luke, a također za pravovremeno uočavanje vremenskih frontova i nevremena.



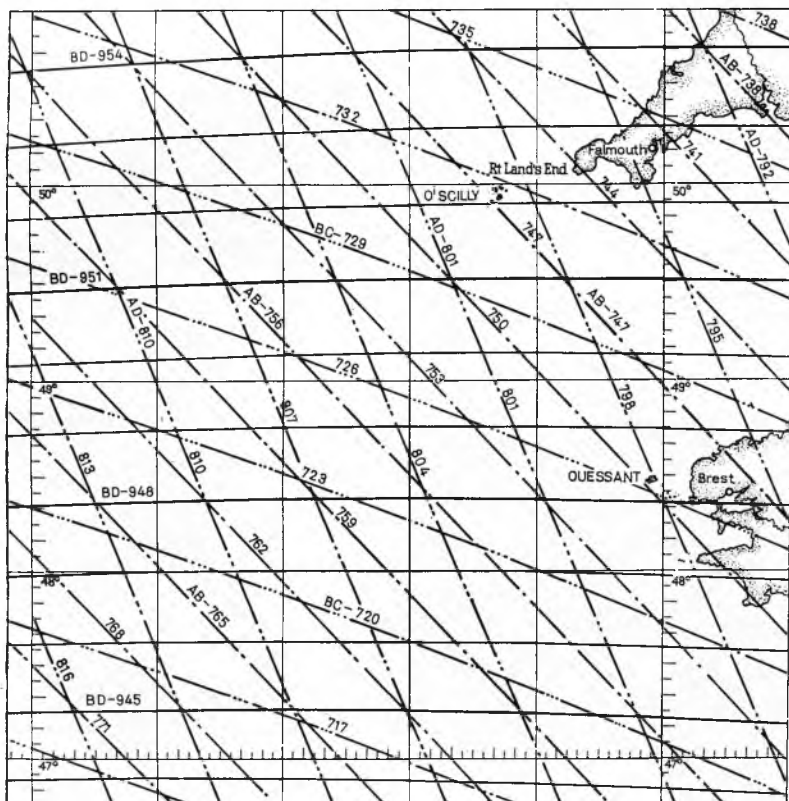
oznakama

Radarom se određuje pozicija tako da se s pomoću slike na ekranu izmjere udaljenost ϱ i smjer ϑ od nekog objekta čija je pozicija poznata i na karti prikazana (sl. 49). S pomoću udaljenosti ϱ ucrta se na kartu iz objekta kružna stajnica, a s pomoću pravog smjera ϑ pravac koji prolazi kroz objekt. Na mjestu gdje se obje linije sijeku nalazi se položaj osmatrača. S obzirom na oblik stajnice, radar ide u mješovite sisteme. Pozicija može se dakako odrediti radarom i s pomoću dva smjera ili dvije udaljenosti.

Karakteristike navigacijskih radara. Konstrukcija navigacijskih radara slična je u načelu konstrukciji drugih impulsnih radara (v. poglavlje o radarima, str. 616). Ipak postoje kod brodskih i avionskih navigacijskih radara niz specifičnosti i razlika u karakteristikama, što treba posebno istaći (v. *Avion*, TE 1, str. 601 i 603; *Brod*, TE 2, str. 320).

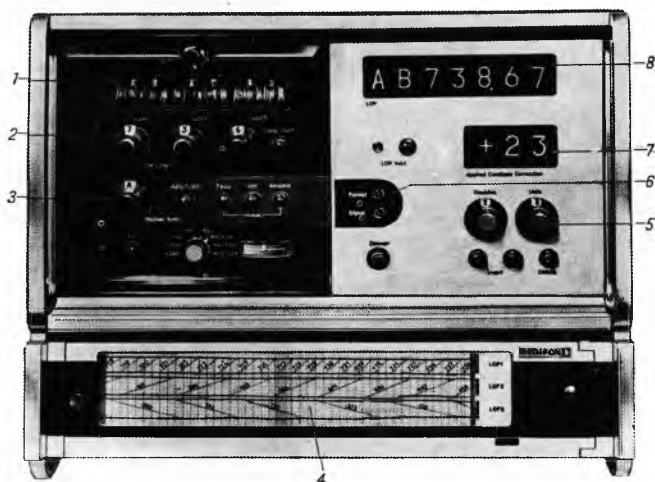
Brodski navigacijski radar sastoji se od odašiljača i prijemnika, antene i pokazivača. Antene tih radara danas su obično valovodnog tipa s prorezima (sl. 50), brzina okretanja antene iznosi obično $20 \dots 25 \text{ min}^{-1}$. Kut usmjerenosti antene u horizontalnoj ravnini mora biti što manji radi što boljeg razlučivanja ciljeva po azimutu. On iznosi (između točaka gdje je zračenja snaga polovica maksimalne) $\sim 0,7 \dots \sim 2^\circ$. Kut usmjerenosti po visini je veći, kako se cilj prilikom ljuljanja broda ne bi izgubio s ekrana, a iznosi obično $\sim 20 \dots 25^\circ$. Sporedne su latice antene jako potisnute da bi se spriječile pojave lažnih ciljeva. Polarizacija antene je obično horizontalna, a ponekad i kružna, radi lakšeg otkrivanja ciljeva pri jakoj buri ili snijegu.

Odašiljači navigacijskih radara rade obično s impulsnom snagom od 5...50 kW i to najčešće u 3-centimetarskom području X (na $\sim 9,4$ GHz), a rjeđe na 10-centimetarskom području



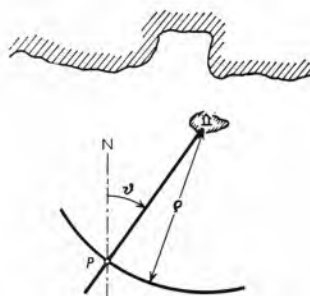
Sl. 47. Karta ulaza u Engleski kanal s utisnutim Omega-hiperbolama i njihovim oznakama

Za brodove grade se prijemni uređaji koji pokazuju brojeve triju linija pozicije uzastopno u trajanju od 10 s (sl. 48). Oni prate emisije svih osam stanica, sinhronizirani su na jednu stanicu, a s pomoću internog impulsnog generatora i na shemu rasporeda

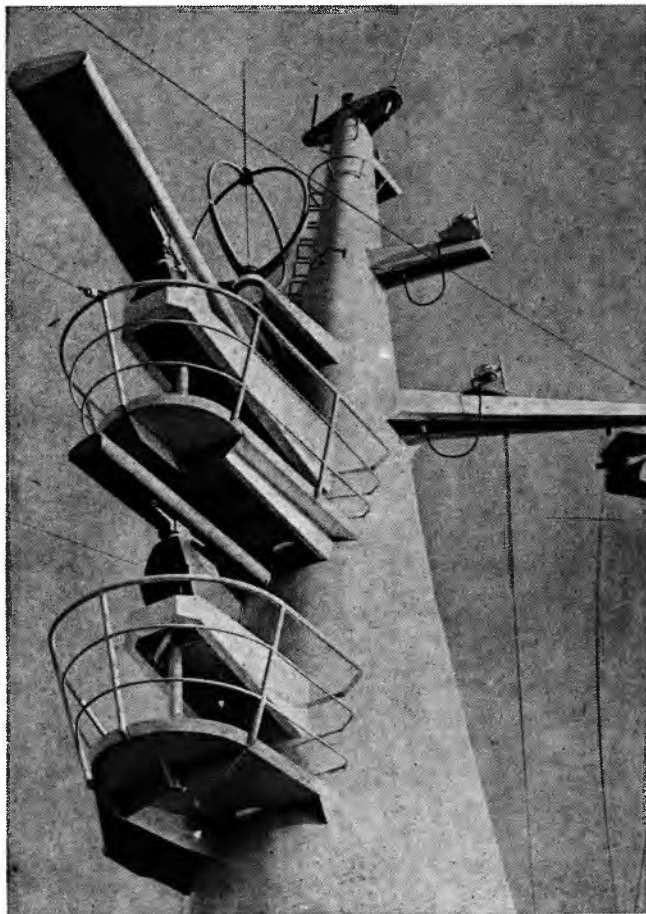


SI. 48. Brodski Omega-prijemnik s regulatorom fazne razlike (dolje). 1 Ručice za izbor triju parova stanica, 2 dugmad za ubacivanje broja pojedinih pojasa, 3 izbor i sinhronizaciju oscilatora prijemnika s odabranom stanicom, 4 regulator za upisivanje faznog kuta za sva tri odabrana para stanica, 5 postavljajnice korekture, 6 kontrolne sijalice, pokazuju sinhronizaciju prijemnog uređaja, 7 brojačani iznos uvrštene korekture, 8 oznaka para (slova), pojasa (ispred decimalne točke) i broj hiperbole. (Proizvod firme Redifon, London).

Omega-emisija. Najkompliciraniji uređaji također imaju sinhronizaciju s jednom stanicom i shemom emisije, ali osim osnovne frekvencije primaju i ostala dva signala i stvaraju razlike između



Sl. 49. Određivanje pozicije radarom s pomoću izmjerene udaljenosti i izmjerenog smjera φ . P određeni položaj osmatrača



Sl. 50. Antene navigacijskih radara valovodnog tipa s prorezima. Dolje antena 3-centimetarskog radara, u sredini antena 10-centimetarskog radara. Gore na slici vide se fiksni ukršteni okviri radio-goniometra s pomoćnom štap-antonom za određivanje strane

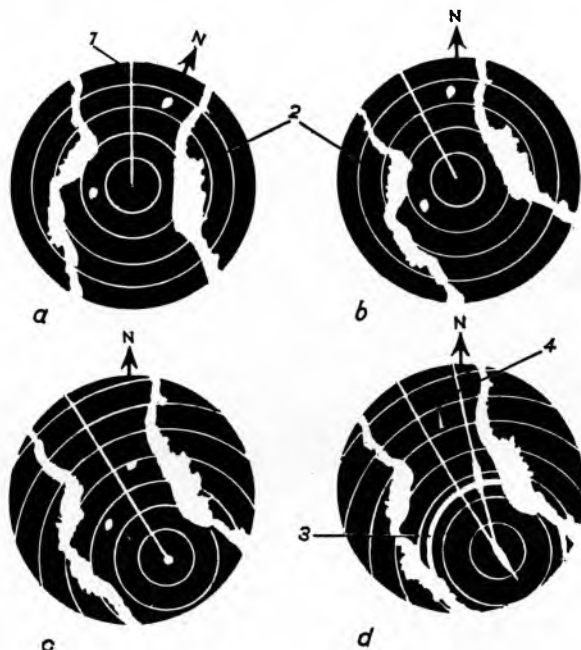


Sl. 51. Izgled suvremenog radarskog pokazivača firme Decca Radar Ltd., London

S (na $\sim 3,05$ GHz). Ovi posljednji prikladniji su npr. za osmatranje pod lošijim vremenskim uslovima ili na zaleđenom moru. Trajanje radarskih impulsa koje oni zrače vrlo je kratko radi što boljeg razlučivanja ciljeva, a kreće se u praksi između 0,25 i 1,5 μ s. Kraći impulsi primjenjuju se na područjima manjih udaljenosti. Frekvencija opetovanja tih impulsa veća je kad su impulsi kraći, a kreće se obično između 500 i 3500 impulsa u sekundi.

Pokazivači navigacijskih radara isključivo su tzv. panoramskog tipa (sl. 51). Na ekranu katodne cijevi promjera obično 30...40 cm (12...16") prikazuje se situacija terena oko radara u obliku polarnog dijagrama u čijem se ishodištu nalazi osmatrač (radar). Ishodište tog polarnog dijagrama nije pri svim vrstama prikazivanja u središtu ekrana. Na pokazivaču može se okretanjem ručice birati područje udaljenosti koje odgovara ciljevima koji se žele osmatrati. Tako npr. postoje područja za 0,25, 0,5, 1,5, 45, 60 NM.

Upotreba navigacijskog radara. Mjerenje udaljenosti može se na ekranu navigacijskog radara vršiti na dva načina: s pomoću stacionarnih koncentričnih kružnica i s pomoću kružnice promjenljiva promjera. Koncentrične svjetleće kružnice, kojih ima npr. 3...6, stvaraju se električnim putem koncentrično oko točke koja prikazuje osmatrača. Razmak između svake kružnice i te točke odgovara određenoj udaljenosti. Udaljenost cilja se na osnovu tih kružnica procjenjuje (sl. 52). Za točnije određivanje udalje-



Sl. 52. Prikazivanje situacije na radarskom ekranu. a Slika orijentirana prema pramcu uz relativno prikazivanje situacije, b slika orijentirana prema sjeveru uz relativno prikazivanje situacije, c vancentarski prikaz slike uz relativno prikazivanje situacije, d stvarni prikaz situacije; 1 pramčanica, 2 nepomični daljinski prstenovi, 3 pomični daljinski prsten, 4 pomična linija za određivanje smjera

nosti služi svjetleća kružnica promjenljiva promjera (sl. 52 d). Promjer te kružnice mijenja se ručicom koja je mehanički vezana s brojčanicom. Kad kružnica prolazi kroz cilj, očita se udaljenost.

Određivanje smjera vrši se s pomoću okretljivog prozirnog ravnala ili ploče na kojoj je ugravirana jedna crta ili više paralelnih crtâ. Ravnalo se postavi tako da crta prolazi kroz cilj, a zatim se na perifernoj skali očita pripadni smjer. Ponekad postoji i električnim putem ostvarena svjetleća crta za besparalaksno određivanje smjera (sl. 52 d). Ona je naročito potrebna pri ekscentričnom prikazivanju slike. Noviji uređaji imaju i više takvih električnim putem ostvarenih crtâ (v. sl. 53).

Smjer uzdužnice broda pokazuje na ekranu posebna svjetleća crta, tzv. *pramčanica* (sl. 52 a...d; v. i str. 698, sl. 4).

Prikazivanje situacije. Trenutna radarska slika može se razlikovati prema njezinoj orijentaciji, prema položaju točke u njoj koja prikazuje osmatrača i prema tome kako se slika mijenja s kretanjem broda. Slika, naime, može biti orijentirana ili prema

pramcu broda (sl. 52 a) ili prema geografskom sjeveru (sl. 52 b); točka koja prikazuje osmatrača (poziciju radara) može se nalaziti u središtu ekrana (sl. 52 a, b) ili van tog središta (sl. 52 c) i na ekranu može ta točka ili mirovati (u kojem se slučaju na slici pomiču svi drugi objekti u odnosu prema njoj) ili se pomicati brzinom proporcionalnom brzini broda u smjeru njegova kursa (sl. 52 d). Pokazivači svih većih radara danas su građeni tako da se uz primjenu nekih adaptera mogu prebaciti na bilo koju moguću kombinaciju spomenutih šest načina prikazivanja, od kojih svaka u određenim slučajevima pruža neke prednosti.

Slika orijentirana prema pramcu broda (pramčanica pokazuje prema pramcu) prikladna je naročito pri plovidbi kroz uske prolaze, u obalnim područjima i u lukama, jer se osmatrač prema njoj lakše orijentira. Pri promjenama kursa slika se u tom slučaju zbog pomicanja odjeka svih objekata zamućuje. Da se to spriječi, slika se u današnjim uređajima može stabilizirati i na naredeni kurs. Slika orijentirana prema sjeveru može se dobiti uz dodatni adapter samo ako postoji na brodu girokompas. U tom je slučaju slika stalno orijentirana prema sjeveru i ona se i pri promjenama kursa ne zamućuje. Ovaj način prikazivanja prikladan je kad treba uspoređivati radarsku sliku s pomorskom kartom osmatranog područja. Svi snimljeni smjerovi u tom su slučaju pravi azimuti.

Ako točka koja prikazuje osmatrača miruje a svi ostali objekti na slici se kreću relativno prema njoj, pri tom su relativnom prikazivanju i njihovi kursevi i brzine relativne. Ako se pomiče točka koja prikazuje osmatrača i točke koje prikazuju druge pokretne objekte, dok odjeci nepokretnih objekata i na slici miruju, dobije se stvarni prikaz situacije, u kome su svi kursevi stvarni, a brzine su proporcionalne stvarnim brzinama.

Ako se nepomična točka osmatrača iz središta premjesti u bilo kojem smjeru u ekscentrični položaj, u suprotnom se smjeru proširuje osmotreno područje, što može doprinijeti većoj preglednosti situacije. I pri prikazivanju stvarne situacije slikom u kojoj se točka osmatrača kreće, ta se točka mora povremeno premjestiti na rub, kako bi imala što više prostora za kretanje.

U svim slučajevima relativnog prikazivanja mogu se pravi kursevi i brzine bliskih brodova odrediti s pomoću grafičkih metoda koje se provode bilo na specijalnim dijagramima ili, pak, na prozirnoj ploči od pleksi-stakla koja je postavljena izravno iznad ekrana. Po toj se ploči može crtati voštanom olovkom. Rješavanje problema u vezi s kretanjem brodova naročito je važno radi izbjegavanja sudara (v. *Brođ*, TE 2, str. 321). Radi se, naime, uvijek o tome da se utvrdi da li bi došlo do sudara ako bi brod nastavio da plovi istom brzinom u istom kursu.



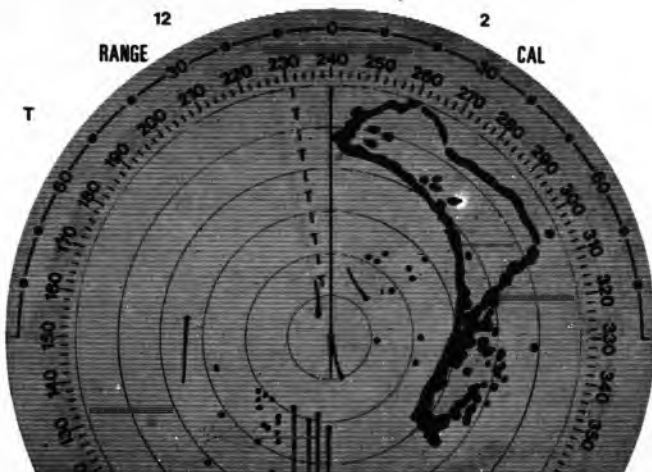
Sl. 53. Slika brodova (koji plove) na radarskom ekranu čiji svjetleći sloj ima veću persistenciju. Iza brodova vide se kratki tragovi iz kojih se može odrediti kurs tih objekata

Za prikazivanje stvarne situacije treba da postoji na brodu osim girokompasa i brzinomjer ili, umjesto njega, simulator brzine i prikladni adapter. Ako fosforni sloj ekrana ima nešto veću persistenciju, iza odjeka svakog broda koji plovi dovoljnom brzinom pojavljuju se tragovi u obliku malih repića, a iza odjeka avionâ tragovi točkica (v. Radar, sl. 37) koji ukazuju svojom duljinom na brzinu broda, a svojim smjerom na pravi kurs broda (sl. 53).



Sl. 54. Pokazivač situacije firme Kelvin i Hughes u kome se putem televizije prenosi s radarskog ekrana slika kojoj se dodaju i različite značke, skala itd.

Pokazivači situacije. Osim radarskog pokazivača primjenjuju se na brodovima danas i različiti pokazivači situacije i tzv. situacioni stolovi, koji na osnovu podataka girokompasa, brzinomjera i radara, na koji su izravno ili posredno vezani, prikazuju na što pregledniji način situaciju na moru. Jedan takav potpuno automatski pokazivač firme Kelvin i Hughes, koji radi s pomoću televizijskog prijenosa, prikazan je na sl. 54. On daje sliku situacije orijentiranu uvijek prema pramcu po relativnom ili stvarnom načinu prikazivanja. Za razliku od radara sa stvarnim prikazivanjem, na ovom pokazivaču položaj točke osmatrača i pri stvarnom je prikazivanju uvijek u sredini, tako da sliku nije potrebno svako toliko vraćati na suprotni rub ekrana. Odgovarajućim tehničkim



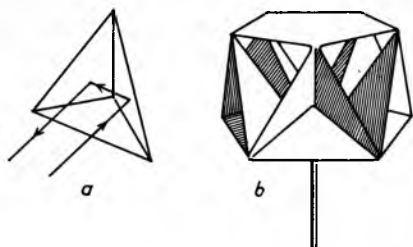
Sl. 55. Slika situacije na pokazivaču situacije

rješenjima ovdje je postignuto da tragovi brodova u kretanju pokazuju stvarne kursove, a njihove su duljine proporcionalne stvarnim brzinama, koje se mogu procijeniti prema vlastitoj brzini (sl. 55). Dugi tragovi (repići) postižu se velikom persisterencijom ploče za prenos slike. S te se ploče slika televizijskim putem prenosi na ekran bilo s bijelim tragovima na tamnoj pozadini (za osmatranje noću) ili s crnim tragovima na bijeloj pozadini (za osmatranje danju). Ciklus prikazivanja traje $\frac{1}{2}$ do 6 min, prema odabranom području. Po ekranu može se i crtati voštanom olovkom.

Postoje i fotoprojekcijski pokazivači radarske slike (v. *Brod*, TE 2, str. 321).

Pomoćna sredstva za radarsku navigaciju. Da bi se olakšala identifikacija objekata na radarskoj slici i smanjila opasnost od njene krive interpretacije, objekti važniji za navigaciju označavaju se posebnim pasivnim i aktivnim radarskim oznakama, a osim toga se primjenjuju pri radu s radarom specijalne pomorske karte za radarsku navigaciju i naprave za izravnu superpoziciju radarske slike na pomorsku kartu.

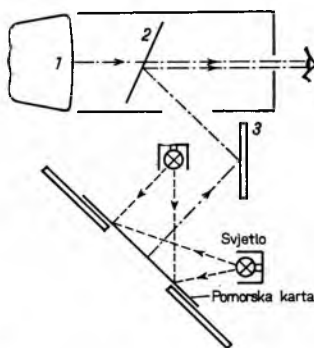
Radarski kutni reflektori pasivne su naprave s pomoću kojih se na radarskoj slici izazivaju jači odjeci pličakâ, ulazâ u luke, i drugih objekata (npr. plutača) koji se inače na radarima lošije vide. Svaki se kutni reflektor sastoji od 3 metalne ploče koje stoje jedna prema drugoj točno pod 90° , stvarajući tako prostorni kut. Takav reflektor ima svojstvo da reflektira radarske valove natrag točno u smjer iz kojega dolaze (sl. 56 a). Da bi se postigao dobar odraz u svim smjerovima, kombinira se obično 4-8 takvih reflektora u jednu cjelinu i postavlja na objekt koji se želi za radarsko osmatranje označiti (sl. 56 b).



Sl. 56. Radarski kutni reflektor. a Djelovanje, b kombinacija od više kutnih reflektora

Obični radarski svjetionici (farovi) mikrovalni su odašiljači koji rade u frekvenzijskom području za radare ili u posebnom za te farove predviđenom području. Ove farove zovu Anglo-Amerikanci Ramark (od *R*adio *M*ARKer, radio-oznaka). Odašiljači rade snagom od nekoliko vati, što je dovoljno da se na udaljenosti od 10-15 NM na ekranu radara vide kao svijetle radijalne crte ili svijetli sektor. Kad na užem području ima više takvih svjetionika, oni radi lakšeg raspoznavanja zrače prema različitim shemama. Neki zrače stalno, drugi isprekidano, emitirajući točke i crte, a treći u odvojenim vremenskim intervalima tako da se oznake periodski pojavljuju na ekranu tek nakon nekoliko okretaja antene.

Radarski svjetionici odgovarači odašiljački su uređaji koji emitiraju samo ako su potaknuti primljenim radarskim impulsom. Oni emitiraju na posebnoj za njih predviđenoj frekvenciji, pa stoga radar mora biti podešen za prijem njihove emisije. Njihov se odgovor sastoji od više impulsa ili nekog drugog karakterističnog signala koji se pojavljuje na ekranu, a koji može da posluži i za određivanje udaljenosti. Anglo-Amerikanci ih zovu i *Racon* (od engl. *R*adio



Sl. 57. Shematski prikaz jednog od uređaja za superpoziciju radarske slike na sliku pomorske karte. 1 Ekran radarskog pokazivača, 2 ploča koja reflektira sliku pomorske karte, a propušta sliku s radarskog ekrana, 3 zrcalo na kome se reflektira slika osvijetljene pomorske karte

beaCON, radio-svjetionik). Na radarskom ekranu njihov se odziv vidi kao kratki segmenti koncentričnih kružnica.

Naprave za superpoziciju radarske slike na kartu. Da bi se olakšala identifikacija nekog područja prikazanog na radarskoj slici, primjenjuju se posebne naprave s pomoću kojih se radarska slika na neki način superponira na osvijetljenu sliku pomorske karte. Karta se pomiče dok se konture obale ne poklope s radarskom slikom. Ti su uređaji korisni i zbog toga što se s pomoću njih mogu utvrditi na osnovi slike pomorske karte i dubine mora na mjestima koje pokazuje radarska slika, što je vrlo važno pri obalskoj navigaciji. Konstrukcije takvih naprava mogu biti vrlo različite. Neke rade samo na principu refleksije slike (sl. 57), u drugim se slika prenosi s pomoću leća, a u trećima, opet, radarska se slika projicira na kartu. Takvi se uređaji obično postavljaju izravno na radarski pokazivač, ali ima i drugih rješenja.

Daljinomjerni sistemi

Elektronički uređaji koji se upotrebljavaju za mjerenje udaljenosti rade na principu odgovarača (engl. *transponder*), a primjenjuju se uglavnom u zrakoplovstvu. S pomoću njih dobivena linija pozicija je kružnica.

DME (od engl. *D*istance *M*easuring *E*quipment) je neusmjeren daljinomjerni uređaj koji se upotrebljava na avionima, a zemaljski se uređaj postavlja zajedno s radio-farovima VOR. Na avionu se nalazi odašiljač koji zrači upitne impulse (upitivač), prijemni uređaj i daljinomjerni uređaj. Na zemlji je smješten odgovarač, tj. prijemni uređaj i s njime spojen odašiljač. Upitni uređaj radi na jednoj od 10 frekvencija (963,5-986,0 MHz), a zemaljska stanica odgovara na jednoj od 10 drugih frekvencija (1188,5-1211,0 MHz). I upitni signal i odgovor sastoje se od niza dvostrukih impulsa. Razmak između oba impulsa (koji čine dvostruki impuls) utvrđen je za pojedine kanale i kreće se između 14 i 77 μ s.

Radi mjerenja udaljenosti od neke zemaljske DME-stanice bira se na avionskom uređaju pripadni kanal, čime su utvrđeni: upitna frekvencija, razmak unutar upitnih dvostrukih impulsa, frekvencija za odgovor i razmak impulsa za odgovor. Niz dvostrukih impulsa što ih upitivač na avionu kružno zrači prijemnik zemaljske stanice prima, ispita razmak impulsa i nakon utvrđenog vremenskog intervala aktivira odašiljač koji odgovara nizom impulsa na utvrđenoj frekvenciji i s utvrđenim razmakom. Nakon provjere da li se odgovor odnosi na njegov upit, prijemnik na avionu daje svom daljinomjernom uređaju za svaki odgovor jedan mjerni impuls. Na osnovi vremenskog razmaka, uzimajući u obzir i predviđeno zakašnjenje, daljinomjerni uređaj neprekidno određuje i pokazuje udaljenost od zemaljske DME-stanice (v. *Avion*, TE 1, str. 601).

TACAN (od engl. *T*ACTical *A*ir *N*avigation) je suvremen zrakoplovni navigacijski sistem koji u sebi ujedinjuje uređaje za mjerenje udaljenosti i uređaje za smjeranje. Njegovo se djelovanje zasniva na principu rada uređaja DME i VOR, te on načelno predstavlja kombinaciju tih uređaja. U ovom se sistemu i za određivanje smjera primjenjuju impulsno modulirani valovi. Uređaj radi na frekvenzijskom području 962-1213 MHz. Radi mjerenja udaljenosti od zemaljskog uređaja, avionski upitni uređaj zrači kružno na jednom od predviđenih kanala niz dvostrukih impulsa stalnog trajanja i razmaka. Frekvencija opetovanja tih dvostrukih impulsa mijenja se u toku emisije statistički oko srednje vrijednosti 27 ili 150 impulsa u sekundi. Avionski prijemni uređaj uzima u obzir pri mjerenju udaljenosti samo odgovore kojima se frekvencija na isti način statistički mijenja. Rotirajući far, koji je također sastavni dio uređaja TACAN, služi za određivanje smjerova. Njegov dijagram zračenja, koji rotira kao u uređaju VOR, usmjeren je i ima poseban oblik koji omogućuje, osim grubog, i fino određivanje smjerova.

Precizniji daljinomjerni uređaji. Točnost naprijed opisanih uređaja, koja iznosi $\pm 200-350$ m, sasvim je dovoljna za potrebe navigacije. Za geodetska premjeravanja i neke druge namjene, za koje se traži znatno veća točnost, razvijeni su točniji impulsnii daljinomjerni uređaji, kao npr. SHORAN, Telurometar i Distomat, koji su opisani u članku *Daljinomjeri*, TE 3, str. 172-174.

Autonomni navigacijski sistemi

Na brodovima, a još češće na zrakoplovima, primjenjuju se i tzv. autonomni navigacijski sistemi, koji rade neovisno o drugim, npr. zemaljskim ili obalskim, uređajima i koji za određivanje navigacijskih parametara (npr. brzine, kursa itd.) iskorištavaju pojedine fizičke pojave (npr. gravitaciju i inerciju, Dopplerov efekt). Budući da svi ti uređaji sadrže mnogo elektroničkih i regulacijskih sklopova, oni se obično također ubrajaju u elektroničke navigacijske sisteme. Za sada se u praksi primjenjuju inercijalni i Dopplerovi navigacijski sistemi, koji iz komponenata brzine i vremena određuju prevaljeni put i kurs računskim putem. Ti sistemi predstavljaju stoga modernu varijantu zbrojne (računske) navigacije.

Inercijski navigacijski sistem zasniva se na činjenici da na svako tijelo koje se pokreće iz mirovanja, ili kome se u toku kretanja mijenja brzina, djeluje sila inercije (ustrajnosti, tromosti), koja je proporcionalna masi i ubrzanju tog tijela (Drugi Newtonov zakon). Mjerenjem te sile s pomoću akcelometara može se odrediti ubrzanje, integriranjem ubrzanja po vremenu dobiva se brzina, a integriranjem brzine prevaljeni put. Ako se mjerenje ubrzanja provodi u dva smjera, N—S i E—W, dobiju se dvije komponente prevaljenog puta, iz kojih se može dobiti stvarni kurs i stvarno prevaljeni put iznad dna mora ili iznad zemlje. Navigacijskim računalom i točnim satom mogu se iz tih podataka dobiti izravno koordinate trenutne pozicije.

Takvi se uređaji sastoje od dva vrlo precizna akcelometra postavljena jedan prema drugom pod kutom 90° i montirana na platformi stabiliziranoj po principu Schulerovog njihala i orijentiranoj prema sjeveru, nadalje od dva integratora, sata i, konačno, računala koje iz polazne pozicije i prevaljenog puta i kursa izračunava stvarnu poziciju u geografskim koordinatama. Uz to se vrše i sve potrebne korekture. (Opširniji opis brodskog inercijskog sistema dat je u članku *Brod*, TE 2, str. 317.) Najveći se zahtjevi postavljaju akcelometrima, koji moraju biti kadri mjeriti sile u rasponu $1 : 10^5$, i stabiliziranoj platformi; već mala odstupanja od horizontalnog položaja akcelometra izazivaju znatne greške. Budući da akcelometri s masom i oprugom nisu dovoljno osjetljivi, primjenjuju se tzv. kompenzacijski i rezonancijski akcelometri, koji rade s giroskopima. Takvi su uređaji u početku (1953) bilo jako glomazni (prvi avionski uređaj imao je masu veću od 1 tone), današnji su uređaji znatno manji (sastoje se od dvije male kutije i dvije kutije srednje veličine). Tim se uređajima danas opremaju interkontinentalne rakete, avioni koji vrše preookeanske letove (ovi imaju čak i po dva takva uređaja) i podmornice, naročito nuklearne. Zbog nesavršenosti izvedbe i drugih utjecaja pojavljuju se u radu tih uređaja greške koje rastu s vremenom. Na raketama, zbog kratkog vremena letenja, te greške nije potrebno ispravljati, ali na avionima (gdje nakon jednog sata letenja greška iznosi već ~ 1800 m) i na podmornicama treba te greške povremeno ispravljati primjenom drugih navigacijskih sistema. Stoga se inercijski sistem ne primjenjuje sam za sebe, već kao dio integriranog navigacijskog sistema u kome radi zajedno s drugim sistemima, npr. sa sistemom Omega, s radio-goniometrima, i sl. Velika je prednost inercijskih sistema što kontinuirano daju podatke o poziciji broda i onda kad drugi sistemi (iz različitih razloga, npr. giro-kompasi u blizini polova) prestaju raditi.

Doplerski navigacijski sistem je autonomni uređaj koji služi za određivanje brzine iznad zemlje i kuta zanošenja, a s pomoću računala daje još i prevaljeni put, skretanje u stranu i potrebni kurs. Ovaj se uređaj prvenstveno upotrebljava na avionima i helikopterima, a samo iznimno na brzim brodovima.

Uređaj se sastoji od više usmjerenih antena kombiniranih u jedno okučje (sl. 58), od radarskog odašiljača i prijemnika i od pripadnog računala. Uz to postoje još i pokazivači brzine, prevaljenog puta i kuta zanošenja.

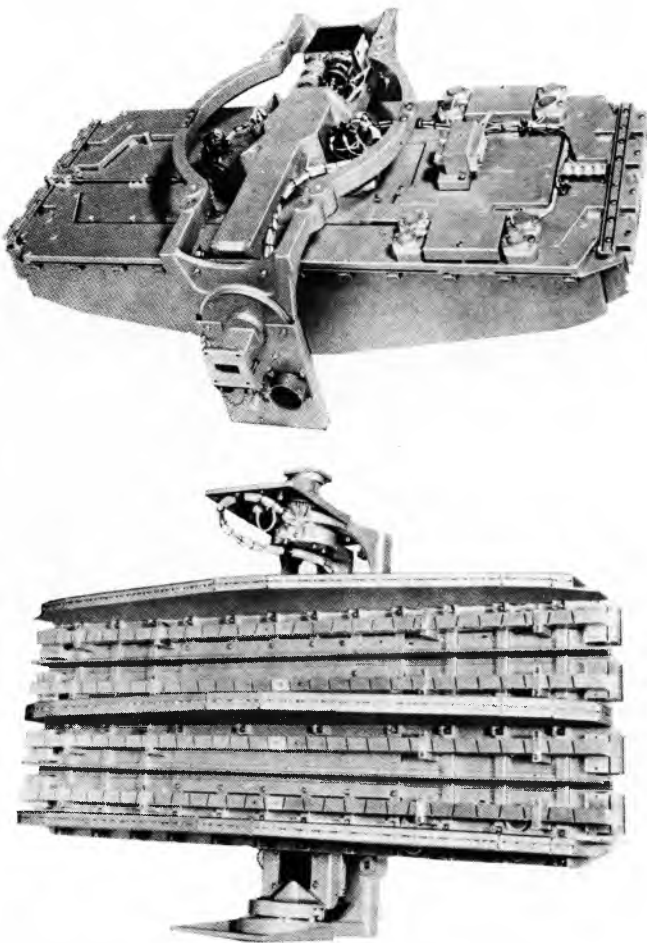
Princip rada. Radio-valovi što ih radar postavljen na avionu zrači prema površini Zemlje promijenit će nakon refleksije od površine Zemlje i povratka do prijemne antene svoju frekvenciju zbog Dopplerovog efekta. Do promjene frekvencije dolazi dva puta: pri dolasku na površinu Zemlje i prilikom prijema reflektiranog vala.

Dopplerov efekt je promjena frekvencije koja nastaje ako se izvor zračenja i osmatrač (prijemni uređaj) jedan prema drugom relativno kreću. Kad se tim relativnim kretanjem udaljenost između njih smanjuje, frekvencija se povisuje, a kad se udaljenost povećava, frekvencija se snižuje.

Ako komponenta brzine v u smjeru zračenog snopa iznosi $v \cos \gamma$, brzina iznosi

$$v = f_d \frac{c}{2 f_0 \cos \gamma},$$

gdje f_d znači Dopplerov pomak frekvencije, f_0 frekvenciju kojom radi radar, a c brzinu širenja radio-valova. Ako je, dakle, poznat Dopplerov pomak frekvencije, može se izračunati stvarna brzina iznad zemlje.



Sl. 58. Stabilizirana antena doplerskog avionskog navigacijskog sistema. Na slici gore vidi se gornja strana uređaja, a dolje donja strana sa četiri valovodne antene s prorezima.

Ovi uređaji rade na centimetarskim valovima, a emisija može biti s impulsima ili s konstantnim zračenjem frekvencijski moduliranog vala. Antene zrače 2...4 snopa valova. U jednim izvedbama tih uređaja antene su fiksno učvršćene na trup aviona; u tom se slučaju od svake antene dobije po jedna komponenta brzine, iz kojih se podataka s pomoću računala utvrđuje stvarna brzina, uzevši prethodno u obzir i nagnuće aviona. U drugoj izvedbi antena je smještena okretljivo po strani i visini i stabilizirana je u horizontalnoj ravnini. S pomoću servomehanizama ona se okreće dotle dok Dopplerova frekvencija (Dopplerov pomak) dobivena od svih antena nije jednaka. Kut između uzdužnice aviona i simetrale antene u tom je slučaju kut zanošenja za koji vjetar skreće avion s njegova kursa, a Dopplerova frekvencija proporcionalna je stvarnoj brzini aviona s obzirom na zemlju. Iz brzine i kuta zanošenja pripadno računalo izračunava prevaljeni put, put zanošenja, kurs kojim treba voziti i put prevaljen od polazne pozicije (v. *Avion*, TE 1, str. 601). Uvrste li se u računalo i koordinate polazne pozicije, koordinate buduće pozicije i kurs, računalo daje koordinate trenutne pozicije, podatke u vezi s gorivom i još neke druge podatke.

Sistemi za astronomsku i satelitsku navigaciju

Elektronički uređaji za astronomsku i satelitsku navigaciju tek su u stanju razvoja i nisu još dani na širu upotrebu.

Elektronički uređaji za astronomsku navigaciju rade bilo na optičkom principu bilo na principu prijema radio-valova što ih zrače neka nebeska tijela, a izrađuju se ili kao sljedila nebeskih tijela ili kao uređaji za mjerenje visinskog kuta (kao sekstanti).

Među optičke uređaje koji se već sada upotrebljavaju idu fotoelektrično sljedilo i automatski sekstant.

Fotoelektrično sljedilo prati neko nebesko tijelo, na koje je uperena os njegova durbina, s pomoću ugrađenog fotoosjetljivog elementa, pripadnih pojačala i servosistema i zadržava položaj prema tom tijelu bez obzira na kretanje vozila na kome je montirano. Takvi uređaji služe za orijentaciju i održavanje određenog kursa.

Automatski sekstant je fotoelektrično sljedilo kome su dodati još i potrebni uređaji za mjerenje visinskog kuta između horizonta i nebeskog tijela. Podaci o visini nebeskog tijela koje takav uređaj daje prenose se neprekidno pripadnom navigacijskom računalu. Postoje i dvostruki automatski sekstanti. Specijalni uređaji rade i s pomoću infracrvenog svjetla što ga zrače nebeska tijela. Uređaji se mogu učiniti tako osjetljivim da mogu pratiti zvijezde i po danu. Podaci dobiveni ovim uređajima točni su na nekoliko lučnih sekunda.

Takvi se uređaji primjenjuju na svemirskim letjelicama, na brodovima, a naročito na avionima, jer na njima nema vremena za dugo osmatranje i računanje.

Radio-sekstanti određuju na osnovi smjera radio-valova što ih zrače neka nebeska tijela neprekidno njihov visinski kut. Radio-sekstanti se sastoje od jako usmjerene antene s uređajem za praćenje nebeskog tijela, od uređaja za mjerenje visinskog kuta, malošumnog prijemnika i navigacijskog računala koje na osnovi izmjerenih podataka izračunava liniju pozicija i poziciju. Mada postoji ~ 3000 nebeskih tijela koja zrače elektromagnetske valove prema Zemlji, za osmatranje s ovim uređajima dolaze u obzir samo Sunce, Mjesec i navigacijski sateliti; polja su od drugih nebeskih tijela preslaba, a nivo šuma prevelik, tako da se signali s njih radio-sekstantom ne mogu primati. (Za to su potrebna golemo postrojenja radio-teleskopa.) Prednost je radio-sekstanta što omogućuje osmatranje i pri oblačnom vremenu. Pokusni radio-sekstanti koji se već primjenjuju na nekim brodovima rade na području frekvencija između 17 i 35 GHz.

Primjenom ovih modernih sredstava astronomska navigacija, koju su počeli potiskivati različiti elektronički navigacijski sistemi, opet dobiva na značenju.

Satelitski navigacijski sistemi. Neke od mogućnosti da se i sateliti iskoriste za potrebe navigacije bit će ovdje ukratko opisane.

Mjerenje visine satelita. Visina satelita može se primjenom radio-sekstanta mjeriti s pomoću radio-valova što ih satelit zrači. Pri tome se može mjeriti ili samo visina u određenim vremenskim razmacima ili pak neprekidno visina i azimut i pratiti ih dok je satelit »na vidiku«. Za izračunavanje pozicije broda na osnovi tih mjerenja potrebni su dakako i efemeridni podaci orbite satelita.

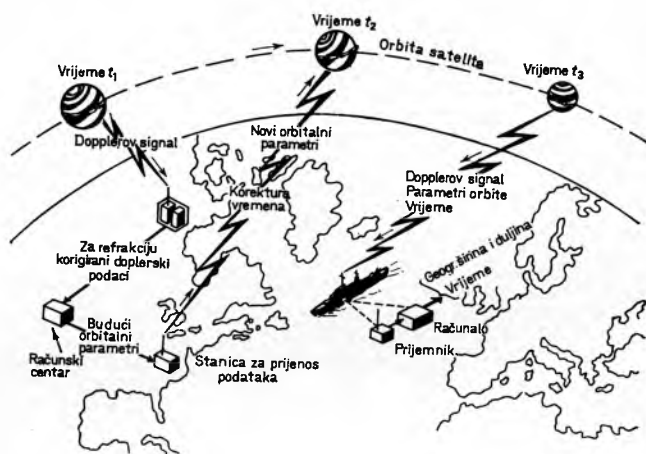
Mjerenje udaljenosti satelita, na aktivni ili pasivni način, može također poslužiti za određivanje pozicije brodova i aviona. Pri *pasivnom načinu* određivanja pozicije korisnik se obraća radio-putem satelitskoj upravljačkoj stanici na zemlji sa zahtjevom da mu se odredi pozicija, dajući joj odmah i svoj približni položaj. Za taj način određivanja pozicije korisnik na brodu ili avionu mora imati pripadni odgovarački uređaj. Zemaljska stanica izabere između satelita u orbiti dva koja su u najprikladnijem položaju i uputi jednom pa drugom daljinomjerni signal, koji oni ponove. Kad ti signali stignu do korisnika, njegov ih odgovarač opet ponavlja. Ponovljeni signali vraćaju se preko satelita opet zemaljskoj stanici koja iz proteklog vremena, poznatih zakašnjenja i poznatih koordinata satelita s pomoću računala izračunava poziciju broda ili aviona. Podaci o položaju šalju se putem radio-veze u digitalnom obliku korisniku. Cijeli je taj postupak brz i naročito prikladan za avione. Pri *aktivnom načinu* odgovarač satelita opetuje daljinomjerni signal što ga emitira brod ili avion, javljajući uz to i svoje koordinate. Na osnovi proteklog vremena i poznatog zakašnjenja utvrđuje poseban daljinomjerni uređaj

udaljenost od dvaju satelita, a računalo pomoću tih podataka i primljenih parametara satelita izračunava položaj broda ili aviona.

Doplerski satelitski navigacijski sistem jedini je od mnogobrojnih zamišljenih satelitskih navigacijskih sistema dosad realiziran. U tom se sistemu na satelitu nalazi vrlo stabilan radio-odajilač koji u određeno vrijeme trajno emitira svoje signale. Na brodu ili avionu se posebnim prijemnim uređajem mjeri trenutno odstupanje primljene frekvencije od osnovne frekvencije satelitskih signala (Dopplerova frekvencija). Dopplerove frekvencije mjere se u vremenskom razmaku od 2 minute, za koje vrijeme satelit prevali ~1000 km. Razlika između dvije uzastopno izmjerene Dopplerove frekvencije proporcionalna je razlici udaljenosti od satelita u trenucima mjerenja. Postupak se dakle svodi na hiperboličku prostornu navigaciju, pri čemu duljina osnovice iznosi ~1000 km. Iz utvrđenog položaja broda (aviona) u odnosu prema satelitu i s pomoću poznatih parametara putanje satelita određuje se računalom pozicija osmatrača. Prednost je tog sistema njegova jednostavnost: ne treba ni usmjerena antena, ni stabilizirana platforma, niti su potrebni podaci o vertikali ili orijentaciji.

Taj satelitski navigacijski sistem razvili su za svoje potrebe i za ograničen krug drugih interesatna ratna mornarica i ratno zrakoplovstvo USA i u njima je u primjeni još od 1964. Za opće potrebe trgovačke mornarice i civilnog zrakoplovstva za sada ne postoji nikakav satelitski navigacijski sistem.

Satelitski navigacijski sistem *Transit*, kako se zove spomenuti doplerski sistem, sastoji se od nekoliko posebnih navigacijskih satelita i kontrolnih sistema na Zemlji. Sateliti kruže na visini ~ 600 NM u polarnim orbitama razmaknuta za 45° geografske duljine (za 4 satelita) ili 60° (za 3 satelita). Za sada, prema poznatim podacima, kruže oko Zemlje samo tri satelita s vremenom obilaska nešto manjim od dva sata. U zemaljskom kontrolnom centru (sl. 59) provjerava se trajektorija satelita na osnovi mjerenja njegove Dopplerove frekvencije. Na



Sl. 59. Shematski prikaz rada satelitskog navigacijskog sistema Transit

osnovi putanje utvrđene tim mjerenjem izračunavaju se u računskom centru parametri putanje za idućih 12 sati. Te podatke uz korekturu za satelitsku vremensku normalu prenosi satelitu posebna odašiljačka stanica. Podaci se u satelitu pohranjuju u digitalnoj memoriji i postupno emitiraju u točno predviđeno vrijeme. Na brodu ili avionu primaju se s pomoću automatiziranog prijemnog uređaja signali sa satelita koji sadrže parametre putanje i točno vrijeme. S pomoću emisija tih signala određuje se Dopplerova frekvencija i provodi njezina korektura za greške zbog refrakcije. Navigacijsko računalo na osnovi digitaliziranih doplerskih podataka, parametara satelitske orbite, brzine i kursa broda određuje trenutnu poziciju broda ili aviona i daje je kao geografsku širinu i duljinu.

V. Podlesnik

LIT.: A. Roberts, Radar beacons, New York 1947. — R. Keen, Wireless direction finding, London 1947. — J. A. Pierce, A. A. McKenzie, A. A. Woodward, LORAN, New York 1948. — A. Troost, Nezeitliche Adcock-Feiler, Bücherei der Funktourt, Bd. 2. III, Dortmund 1953. — W. Steinfatt, Funknavigation für die Schifffahrt, Berlin 1954. — Autorenkollektiv des Institute of Navigation, Radar in der Seeschifffahrt (prijevod s engleskog), Garmisch-Partenkirchen 1955. — K. Bärner, Flugsicherungstechnik, I. Navigationsanlagen, München 1957. — W. Stanner, Leitfaden der Funktourt, Garmisch-Partenkirchen 1957. — P. C. Sordetto, Electronic navigation engineering, New York 1958. — W. E. Meyer, Moderne Funktourt, Wolfshagen-Scharbeutz 1958. — G. Montefinali, I radioaiuti alla navigazione aerea e marittima, Milano 1960. — Müller-Kraus, Handbuch für die Schifffahrt, Berlin 1961. — Th. Duda, Flugzeuggeräte, Bd. II. Navigation, Berlin 1961. — C. J. Savant et al., Principles of inertial navigation, New York 1961. — A. C. Викицкий, Очерк основ радиолокации при непрерывном излучении радиоволн, Москва 1961. — И. А. Горюхиной, И. А. Шульман, И. А. Сафарян, Инерциальная навигация, Москва 1962. — M. I. Skolnik, Introduction to radar systems, Englewood Cliffs, N. J. 1962. — L. Brandt, Funktourtssysteme für Luft- und Seefahrt, Dortmund 1962. — Г. П. Астафев, В. С. Шебазович, Ю. А. Юрков, Радиотехнические средства навигации летательных аппаратов, Москва, 1962. — T. G. Thorne, Navigation systems for aircraft and space vehicles, Oxford 1962. — G. J. Sonnenberg, Radar and electronic navigation, Princeton, N. J. 1963. — И. С. Кузнец, М. Е. Старух, Основы радиопеленгации, Москва 1964. — Bureau Hydrographique International, Aides radio-electriques à la navigation maritime et à l'hydrographie, Monaco 1965. —

A. A. Павлов, Радионавигация на море, Москва 1967. — A. Simović, Navigacija, Zagreb 1967. — E. Philippow, Taschenbuch der Elektrotechnik, Bd. III. Nachrichtentechnik, Berlin 1969. — G. E. Beck, Navigation systems, Marconi series, London 1971. — L. L. Farkas (Herausg.), Testpraxis der Flugelektronik, München-Wien 1972.

B. Kviz V. Podlesnik

DRUGE PRIMJENE ELEKTRONIČKIH UREĐAJA

Ovaj članak o elektroničkim uređajima i sistemima bavi se gotovo isključivo onim dijelom elektronike koji se naziva radio-tehnikom ili visokofrekvencijskom tehnikom. Njime je obuhvaćen jedan dio tehnike telekomunikacija; telekomunikacijski uređaji koji se služe linijskim i kabelskim vezama bit će obrađeni u člancima *Telefonija*, *Telegrafija*, *Telekomunikacije*, a tamo će biti obrađen i onaj dio radio-tehnike koji u ovom članku nije obuhvaćen: telekomunikacije usmjerenim radio-vezama.

Osim u sredstvima komunikacija, elektronički se uređaji danas primjenjuju i u mnogim drugim područjima tehnike, te su obrađeni na drugom mjestu u ovoj enciklopediji. *Elektroakustika* (v. str. 298) primjenjuje mnoge elektroničke sklopove; industrijska elektronika obuhvaća niz prvenstveno jakostrujnih elektroničkih uređaja kao što su usmjerivači (ispravljači, izmjenjivači i sl., v. članak *Ispravljači*), beskontaktni elektronički sklopni aparati (v. *Električni sklopni aparati*, str. 146), elektronički uređaji za regulaciju električnih strojeva (v. *Elektromotorni pogoni*, str. 437) i elektrotermički uređaji koji rade sa strujama viših i visokih frekvencija (v. *Elektrotermija*).

U uvodnom članku *Elektronika* (str. 448) navedeni su drugi članci u ovoj enciklopediji koji se bave industrijskom elektronikom. Tamo su navedeni i članci u kojima su obrađeni postupci koji se ubrajaju u tehnološku elektroniku.

Mjerni instrumenti predstavljaju značajno područje primjene elektronike (v. *Električna mjerenja*). U ispitivanju materijala upotrebljavaju se rendgenski aparati (v. *Defektoskopija*, TE 3, str. 184 i *Rendgenska tehnika*), a u *Detekciji nuklearnog zračenja* (v. TE 3, str. 243, 147) i fotomultiplikatori, brojači, spektrometri, stabilizatori, pojačala i drugi elektronički uređaji (v. i članak *Elektronička instrumentacija u nuklearnoj fizici*, str. 443). U medicini upotrebljava se danas priličan broj elektroničkih uređaja, kao što su uređaji za dijatermiju (grijanje strujama visoke frekvencije), uređaji za davanje elektro-šokova i za elektriziranje strujama razli-

čitih oblika i frekvencija, naprave za zračenje (npr. betatron), aparati za rendgenografiju i rendgenoskopiju, aparati za praćenje rada srca, mozga i drugih organa (elektrokardiografi, encefalografi i dr.), sistemi za kontrolu za vrijeme operacija, medicinska televizija, aparati za ispitivanje sluha, pomagala za nagluhe, ultrazvučni uređaji za fizioterapiju, itd. (v. *Medicinski električni i elektronički aparati i instrumenti*). Frekvencijski standardi i satovi izrađuju se sve više s elektroničkim sklopovima (v. *Električni satovi*, str. 109, 114). U sredstvima saobraćaja primjenjuje se mnogo elektroničkih uređaja: u automobilima za paljenje gorive smjese, za reguliranje uštrcavanja goriva i za mjerenje broja okretaja; na željeznici u signalnim postrojenjima i uređajima za utjecanje na vlak u vožnji (v. *Signalni i sigurnosni uređaji*); u cestovnom saobraćaju za kontrolu saobraćaja i pri signalizaciji; u avionskom saobraćaju za komunikacije, navigaciju i kontrolu rada pogonskih uređaja (v. poglavlje *Elektronička navigacija* u ovom članku i članke *Avion*, TE 1, str. 562, *Aerodrom*, TE 1, str. 15); u poštanskom saobraćaju npr. za sortiranje pisama.

Električna računala i uređaji za obradu podataka izrađeni su pretežno od elektroničkih sklopova (v. *Analogno računalo* TE 1, str. 296, *Digitalna računala*, TE 3, str. 313, *Obrada podataka*). Upotreba se tih uređaja brzo širi u privrednim i neprivrednim djelatnostima, a otkad su mogli biti minijaturizirani sve do džepnog formata, njihovo je područje primjene postalo praktički bezgranično. *Automatizacija* (v. TE 1, str. 491), *regulacija*, *daljinsko upravljanje* (v. TE 3, str. 180) i *daljinsko mjerenje* (v. TE 3, str. 175, također članak *Daljinomjeri*, str. 172) primjenjuju u sve većoj mjeri elektroničke uređaje.

U *raketnoj tehnici*, u umjetnim satelitima i drugim svemirskim letjelicama primjenjuje se vanredno velik broj elektroničkih uređaja na zemlji i u letjelici pri lansiranju, za upravljanje letom, za orijentaciju, navigaciju, vođenje, promatranje, mjerenje, kontrolu uređaja i komunikacije.

Moderni vojni uređaji i oružja sadrže također velik broj elektroničkih uređaja koji služe za komunikacije, otkrivanje, vođenje i navođenje, ometanje neprijateljskih djestava, za navigaciju, kontrolu, nišanje, automatsko praćenje ciljeva i sl.

Općenito se može reći da uskoro neće biti nijednog područja nauke i tehnike u kojemu se neće primjenjivati bar po koji elektronički uređaj.

R

KRATICE U ČLANCIMA O ELEKTRONICI

(brojke znače stranice na kojima se kratice objašnjavaju)

A	oznaka za amplitudnu modulaciju 639
AM	amplitudna modulacija, amplitudno moduliran
AO	aksijalni odnos 603
B	baza (tranzistora) 479
C	(collector) kolektor (tranzistora) 479
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique 636
CCIR	Comité Consultatif International Radiophonique 645
CPS	cathode potential stabilised 469
D	(drain) odvod 483
Dectra	Decca track and range 723
DME	distance measuring equipment 728
DTL	diode transistor logic 562
E	emiter 479
ECCM	electronic counter-countermeasures 710
ECL	emiter coupled logic 562
ECM	electronic countermeasures 710
EHF	extremely high frequency 646
ERP	effective radiated power 673
EVF	ekstremno visoke frekvencije 646
F	oznaka za frekvencijsku modulaciju 639
FET	field effect transistor 483
FM	frekvencijska modulacija, frekvencijski moduliran
G	(gate) zasun 483
GTO	gate turn off 485
HF	high frequency 646
HTL	high threshold logic 562

I	intrinsekno 478
ICSC	Interim Communications Satellite Committee 696
IGFET	insulated gate field effect transistor 500
IMPATT	impact avalanche transit time 478
Intelsat	International Telecommunication Satellite Consortium 690
ITU	International Telecommunication Union 645
JFET	junction field effect transistor 500
KV	kratki valovi
LASCR	light activated silicon controlled rectifier 485
Laser	light amplification by stimulated emission of radiation 471
LED	light emitting diodes 566
LF	low frequency 646
Loran	long range navigation 720
LUF	lowest usable frequency 626
Maser	microwave amplification by stimulated emission of radiation 576
MF	medufrekvencija, medufrekvencijski, medufrekventan 598
MF	medium frequency 646
Mosfet	metal-oxide semiconductor field-effect transistor 483
MTI	moving target indication 703
MUF	maximum usable frequency 626
N	negativan (vodljivost poluvodiča) 472
NF	niska frekvencija, niskofrekvencijski, niskofrekventan 646