

MJERENJE DUŽINA ELEKTRONSKIM DALJINOMJERIMA

1. Značaj elektronskog mjerenja dužina

Sve do pojave elektronskih daljinomjera mjerenje većih dužina predstavljalo je veliki problem. Dok se mjerenje kraćih strana obavljalo više-manje uspješno, mada ne uvijek i brzo, dotle je mjerenje većih dužina kao što su osnovice ili trigonometrijske strane iziskivalo veliki utrošak vremena i materijalnih sredstava. Stoga je u trigonometrijskim mrežama mjereno samo vrlo mali broj osnovica, dok su u poligonometriji morali biti ograničeni kako dužina strane, tako i dužina vlaka.

Masovnom proizvodnjom novih geodetskih instrumenata, elektronskih daljinomjera, stvorene su nove mogućnosti za mjerenje dužina.

Daljinomjeri velikog i srednjeg dometa omogućavaju mjerenje strana trigonometrijskih mreža, čime ove dobivaju novi kvalitet. Moguće je, za razliku od uglovnih, koordinate trigonometrijskih tačaka odrediti iz samo linearnih opažanja. Svakako je najsvrsishodnija primjena kombinovanih - uglovnih i linearnih - opažanja, koja se u današnje vrijeme, zahvaljujući elektronskim daljinomjerima, izvode ravnopravno. U poligonometrijskim mrežama dužina strane i dužina vlaka postaju praktično neograničene, pa zamjena triangulacije poligonometrijom u teškim terenima ima sve više opravdanja.

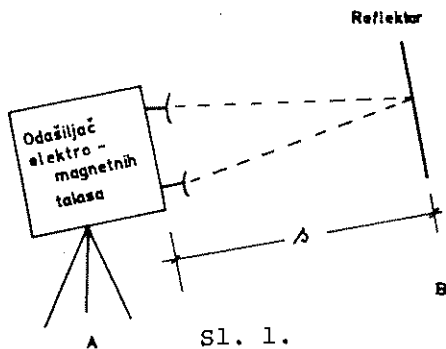
Ne manji je značaj daljinomjera malog dometa (0,6 do 2 km), tzv. elektronskih tahimetara koji su redovno kombinovani sa teodolitom, čijom se upotrebom skraćuje vrijeme, a povećava tačnost mjerenja.

2. Princip rada elektronskih daljinomjera

Mjerenje dužina elektronskim daljinomjerom osniva se na mjerenju vremena koje je potrebno elektromagnetnim talasima da predju odredjeni put. Ako se iznad jedne od krajnjih tačaka mjerene strane (A) postavi odašiljač elektromagnetnih talasa, a iznad druge (B) reflektor od kojeg se talasi reflektuju i ponovo vraćaju u tačku A (sl.1), onda se dvostruka vrijednost $2s$ dužine s može sračunati iz jednačine

$$2s = c \cdot t \quad (1)$$

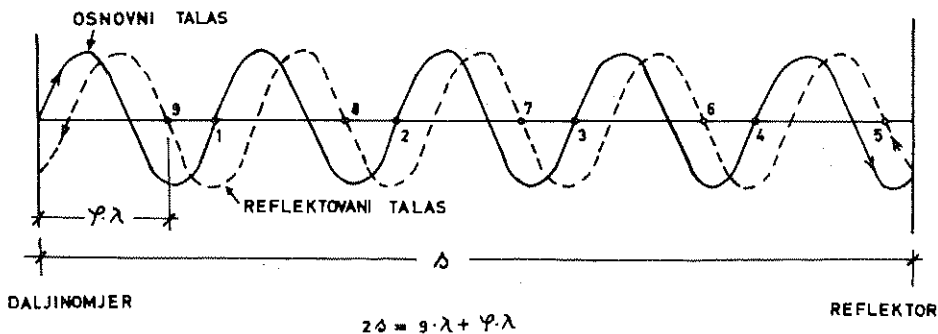
u kojoj c predstavlja brzinu, a t vrijeme putovanja elektromagnetnih talasa. Dobijena dužina s je u općem slučaju kosa



Sl. 1.

prostorna dužina. Za upotrebu u geodetske svrhe treba uvesti odgovarajuće redukcije.

Izraz (1) predstavlja osnovni princip svih do sada poznatih daljinomjera, mada se vrijeme t putovanja talasa određuje mahom indirektno. Ovo vrijeme kod savremenih elektronskih daljinomjera najčešće se određuje faznim postupkom, što znači da se određuje fazna razlika između osnovnog (referentnog) talasa koji je ostao u daljinomjeru i reflektovanog talasa koji je prešao dvostruki put uzduž mjerene strane. Pri tome se zračenje elektromagnethnih talasa u prostor vrši kontinuirano.



Sl. 2

Elektromagnethni talasi spadaju u harmonijske ili sinusoidne oscilacije kod kojih se oscilirajuća promjenljiva mijenja po zakonu sinusa. Iz sl.2. se vidi da se dvostruka dužina $2s$ može dobiti iz jednačine

$$2s = n\lambda + \varphi\lambda \quad (0 \leq \varphi < 1) \quad (2a)$$

u kojoj λ predstavlja talasnu dužinu, a φ decimalni razlomak koji se dobiva po formuli

$$\varphi = \phi^\circ / 360^\circ \quad (0^\circ \leq \phi^\circ < 360^\circ) \quad (3)$$

pri čemu ϕ° predstavlja faznu razliku (u stepenima) između osnovnog i reflektovanog talasa. Koristeći se poznatom relacijom između talasne dužine λ , frekvencije f i brzine svjetlosti c

$$\lambda = c/f \quad (4)$$

jednačinu (2a) možemo pisati u obliku

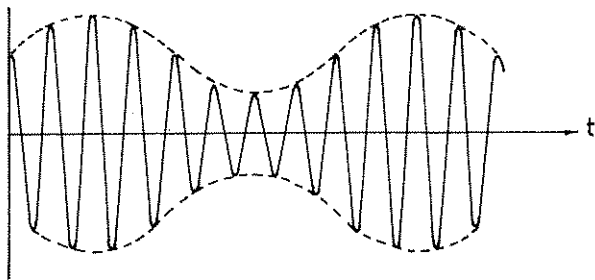
$$2s = (n + \phi) \frac{c}{f} \quad (2b)$$

Uredjajem za mjerenje fazne razlike - nulindikatom - mjeri se samo fazni ugao ϕ° , odnosno razlomak ϕ , tako da u formuli (2) ostaje nepoznato n tj. broj cijelih talasnih dužina u izmjerenoj dvostrukoj dužini $2s$ (na sl.2 $n = 9$). U svrhu određivanja cijelog broja n primjenjuju se, uglavnom, dva postupka. Kod prvog postupka taj broj određuje se na osnovu jedne frekvencije, koja se stalno mijenja unutar određenih granica. Kod daljinomjera koji radi na ovom principu vrši se automatsko određivanje broja n i dužina se pokazuje digitalno na ekranu. Ovaj princip primijenjen je npr. kod Distomata DI 10. Kod drugog postupka određivanje cijelog broja n vrši se upotrebom dviju ili više čvrstih frekvencija, iz čije se razlike sračunava približna dužina. Pri tome je vrijednost mjerene dužine potrebno unaprijed poznavati sa tačnošću od \pm (1 do 2 km).

3. Vrste elektronskih daljinomjera

Nameće se pitanje koje iz širokog spektra elektromagnetnih talasa primijeniti za mjerenje dužina. Kraći talasi kreću se gotovo pravolinijski, kvazioptički, dobro se usmjeravaju i manje su podložni promjenama radi nestabilnosti atmosfere. S druge strane, ovi talasi nisu pogodni za mjerenje faznih razlika. Za ovu svrhu pogodniji su duži talasi koji se, međjutim, ne mogu usnčiti u uzak snop i ne kreću se pravolinijski. Da bi se iskoristile i prednosti dužih i prednosti kraćih talasa, kod elektronskih daljinomjera primijenjeni su i jedni i drugi. Za prenos informacija koriste se kraći talasi, koji se, u svrhu mjerenja faznih razlika, modulišu, što znači da se jedan od njihovih parametara mijenja u ritmu dužih talasa. Najčešće se primjenjuje amplitudna modulacija (sl.3). Pošto promjena amplitude znači ustvari promjenu intenziteta, ovu modulaciju nazivamo i intenzitetskom. Frekvencija čija se energija prenosi oscilovanjem naziva se nosećom, a frekvencija modulacije naziva se modulisanom ili mjernom frekvencijom.

Prema vrsti upotrebljene noseće frekvencije razlikujemo elektrooptičke (svjetlosne) daljinomjere, koji kao noseće



Sl. 3

talase koriste vidljivu svjetlost talasne dužine 380 do 780 nm ili infracrvenu svjetlost talasne dužine cca 800 do 900 nm i radio ili mikrotalasne daljinomjere koji za prenos informacije koriste radio talase mikropodručja, najčešće talasne dužine 8 mm, 3 cm i 10 cm. (Napomena: oznaka nm čita se kao nanometar, a znači isto što i milimikron, tj. $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Dužina modulisanog talasa različita je za razne tipove elektrooptičkih i radiodaljinomjera; najčešće iznosi 4, 5, 10, 20, 30, 50 ili 60 metara, a ima daljinomjera kod kojih ona nije okrugao (cio) broj. Kod daljinomjera koji imaju više čvrstih modulisanih frekvencija, svakoj od njih odgovara tačno određena talasna dužina.

Prednost radio daljinomjera sastoji se u tome što se dužine mogu mjeriti i pri lošijim meteorološkim okolnostima, za razliku od elektrooptičkih daljinomjera koji zahtijevaju povoljnije meteorološke prilike, a prije svega optičko dogledanje krajnjih tačaka mjerene strane. Njihov domet iznosi 50 - 100 km i znatno je veći od dometa elektrooptičkih daljinomjera, koji su namijenjeni za mjerenje kraćih i srednjih udaljenosti. Domet elektrooptičkih daljinomjera iznosi većinom 1 - 5 km, dok neki od njih pod povoljnim meteorološkim uslovima ostvaruju i domet do 10 km danju, odnosno 15 - 20 km noću.

S druge strane radiodaljinomjeri imaju manju tačnost od elektrooptičkih. Osim toga glomazniji su, a za njihovo korišćenje osim samog daljinomjera potreban je i aktivni reflektor, tj. uređaj za pojačavanje i reflektovanje primljenog talasa, što praktično znači da se svaki radio daljinomjer sastoji iz dva identična aparata. Nasuprot tome, kod elektrooptičkih daljinomjera na drugom kraju mjerene strane postavlja se pasivni reflektor u vidu staklene prizme. Pasivni reflektori su u odnosu na daljinomjer jeftini, pa je ekonomično nabaviti više komada, čime se ubrzava proces mjerenja dužina.

4. Tačnost elektronskih daljinomjera

Srednja greška izmjerene strane može se izraziti formulom

$$m_g = \pm (a + b \cdot s) \quad (5)$$

pri čemu veličina a predstavlja sumarni uticaj grešaka prouzrokovanih greškom u mjerenju faznih razlika, greškom adicione konstante i neizbježnim slučajnim greškama centrisanja daljinomjera i reflektora. Veličine pobrojanih grešaka su uglavnom nezavisne od dužine. Vrijednost veličine a kreće se, prema upotrebljenom tipu daljinomjera od 0,2 do 5 cm. Greška u moduliranim frekvencijama i u brzini prostiranja nosećih talasa izazivaju grešku proporcionalnosti označen sa b . Greška u moduliranim frekvencijama znatno se smanjuje korišćenjem visokokvalitetnih kvarcnih stabilizatora, a greška u brzini prostiranja elektromagnetnih talasa korišćenjem što pouzdanijih meteoroloških parametara u trenutku mjerenja. Vrijednost faktora proporcionalnosti kod savremenih daljinomjera iznosi oko 1 do $10 \cdot 10^{-6}$, što znači 1 do 10 mm po kilometru mjerene dužine.

5. Dosadašnji razvoj elektronskih daljinomjera i tendencije daljnjeg razvoja

Prvi elektronski daljinomjer proizveden serijski za praktičnu upotrebu je Bergstrandov Geodimeter koji od 1948.g. proizvodi švedska firma AGA. Ovaj daljinomjer doživio je više izvedbi i danas se proizvodi.

U godinama poslije drugog svjetskog rata u Južnoafričkoj Uniji proizvedeno je više tipova radiodaljinomjera nazvanih Telumetrima (MRA - 1, MRA - 2, MRA - 3, MRA - 4).

Za razliku od ranijih godina kada su većinom konstruisani daljinomjeri za mjerenje dužih i srednjih udaljenosti, u posljednjih desetak godina firme su se uglavnom orijentisale na proizvodnju elektrooptičkih daljinomjera kraćeg dometa 1-5 km. Tako sve poznatije tvornice geodetskih instrumenata proizvode elektrooptičke daljinomjere (Wild, Zeiss, Opton, Kern, AGA, Hewlett-Packard, pa sovjetske, čehoslovačke, poljske, mađarske tvornice itd.).

Razvoj je stalno išao u smislu automatizacije. Pored već zastarjelih tipova postoji čitav niz veoma funkcionalnih poluautomatskih i automatskih elektrooptičkih daljinomjera sa digitalnim očitanjem dužina kao što su Wild-ov DI 10, Kern-ovi DM 1000 i Mekometar Me 3000, više tipova AGA-inih Geodimetara od kojih su neki laserski, više tipova sovjetskih daljinomjera, itd.

Pojedini daljinomjeri imaju ugradjena računala za obračun atmosferske korekcije (infracrveni daljinomjer firme Hewlett-Packard, Wild-ov DI 3), a neki, kao npr. DI 3 ugradjen računar pomoću koga se, na osnovu izmjerene kose dužine i pročitanoj i zauzetog vertikalnog ugla, automatski dobivaju horizontalna dužina i visinska razlika.

Naopse se vrši usavršavanje i automatizacija elektronskih tahimetara. Tako npr. firma Opton iz Oberkochen-a proizvodi elektronske tahimetre Reg-Elta i SM 11, kod kojih se dužine automatski registruju, pa nije potrebno čitanje i zapisivanje podataka, a moguća je kasnija automatska obrada na kompjuteru.

Posebna se pažnja pridaje razvoju tzv. laserskih daljinomjera. Oni se od ostalih elektrooptičkih daljinomjera razlikuju samo po izvorima oscilacija. Dok ovi kao izvore oscilacija koriste razne sijalice, lampe, poluprovodničke diode i sl., kod laserskih daljinomjera primijenjeni su laseri koji proizvode oscilacije koje se odlikuju velikom koherentnosti, stabilnosti i probojnosti. Stoga se laserskim daljinomjerima postiže izuzetno velika tačnost, praktično ograničena samo tačnošću s kojom poznajemo brzinu svjetlosti u vakuumu. Za sada su ovi daljinomjeri veoma skupi.

Svaki pojedini tip daljinomjera ima svoje mogućnosti i osobnosti, pa je prije rada s njima potrebno dobro proučiti uputstvo koje daje proizvođač. Za postizanje visokovrijednih rezultata potrebno je solidno teoretsko znanje i praktično iskustvo, koje se stiče radom na terenu. Preporučuje se povremeno ispitivanje parametara (konstanti) koji su podložni manjim promjenama, pošto se sa starenjem u izvjesnoj mjeri mijenjaju osobine ugradjenih elektronskih dijelova.

Najzad, spomenimo da se u našoj zemlji koristi mnogo različitih, starijih i novijih tipova elektrooptičkih i radio-daljinomjera. I u SR BiH privredne organizacije i visokoškolske ustanove raspolažu izvjesnim brojem elektrooptičkih daljinomjera srednjeg i kraćeg dometa kao što su EOS, Distomat DI 10, DI 3, Hewlett-Packard, itd.