

STANJE RAZVOJA ELEKTRONSKIH RAZDALJEMEROV

Mag. Dušan Kogoj,
dipl. ing. geod.

FAGG-oddelek za geodezijo
Jamova 2, 61000 Ljubljana, YU

IZVLEČEK

V članku je predstavljen osnovni princip delovanja sodobnih faznih razdaljemerov na primeru WILD Di 3000 ter princip delovanja novejših najpreciznejših serijskih razdaljemerov namenjenih uporabi v geodeziji na primeru KERN ME 5000.

ZUSAMENFASSUNG

In der Arbeit das Grundprinzip des Impulsmessverfahren beim neue elektrooptische Entfernungsmessungsgerate mit WILD Di 3000 und das Prinzip des Phasenvergleichsverfahren beim neusten Prazisiongerate mit KERN Mekometer ME 5000 vorgestellt ist.

1. UVOD

V zadnjem času so v razvoju elektronskih razdaljemerov izredno napredovali impulzni razdaljemer, ki so bili še pred kratkim neuporabni za geodetske namene, saj niso zagotavljali zadostne natančnosti. Z novim principom merjenja časa potovanja svetlobnega impulza so se po natančnosti praktično izenačili s faznimi razdaljemer, njihova uporabnost pa je celo večja.

Najpreciznejši razdaljemer so še vedno fazni razdaljemer. Način določanja ničel z zvezno spreminjajočo modulacijsko frekvenco, ki je bil uporabljen že davno pri Wildovem DI 10, se znova uveljavlja.

2. IMPULZNI RAZDALJEMERI

Osnovni princip delovanja impulznega razdaljemera je merjenje časa dvakratnega prehoda svetlobnega impulza med dvema točkama. Na podlagi izmerjenega časa je dolžina:

$$s = v \cdot t/2$$

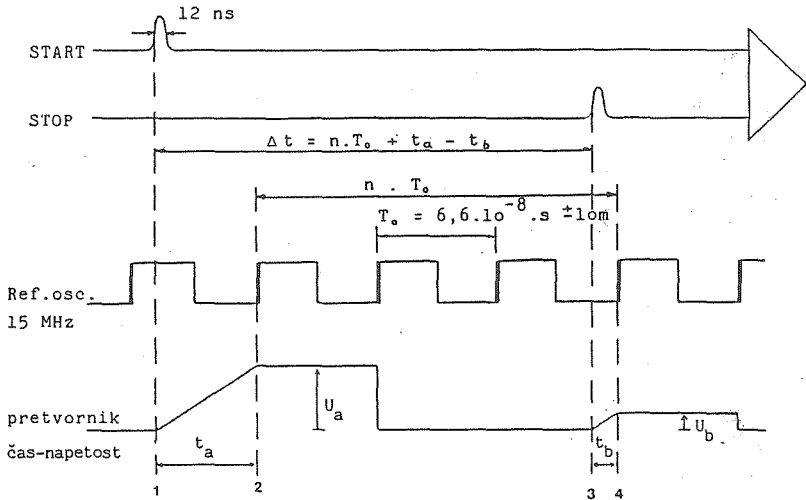
Glede na to, da je hitrost svetlobe izredno velika, so časovni intervali t izredno kratki. Potrebna je torej izredna natančnost določitve časovnega intervala, ki je potreben, da svetlobni impulz, ki ga odda instrument, preteče pot med točkama, med katerima želimo izmeriti dolžino. Za ilustracijo naj omenim, da je potrebno za določitev dolžine z natančnostjo 1 cm izmeriti čas z natančnostjo $7 \cdot 10^{-11}$ s. Kljub temu, da je osnovni princip merjenja z impulznimi razdaljemer zelo enostaven, se niso mogli prebiti v široko prakso predvsem zaradi omejene natančnosti, ki je bila posledica prav problema visoke natančnosti določitve časovnega intervala. Ta problem so začeli reševati v tovarni FENNEL in do danes postopek merjenja časa zelo izpopolnili. Njim se je pridružila tovarna WILD, ki je izdelala razdaljemer Di 3000, namenjen široki uporabi. Poglejmo si princip merjenja časa, ki ga uporablja ta instrument.

Izvor svetlobe razdaljemera Wild Di 3000 je GaAs laserska dioda. Instrument oddaja zelo kratke impulze širine 12 ns, kar odgovarja približno poti 3.6 m. Čas potovanja impulza se meri na osnovi primerjave odhodnega in povratnega impulza z referenčnim signalom frekvence 15 MHz. Na sliki 2.1 je shematsko prikazan način merjenja časa.

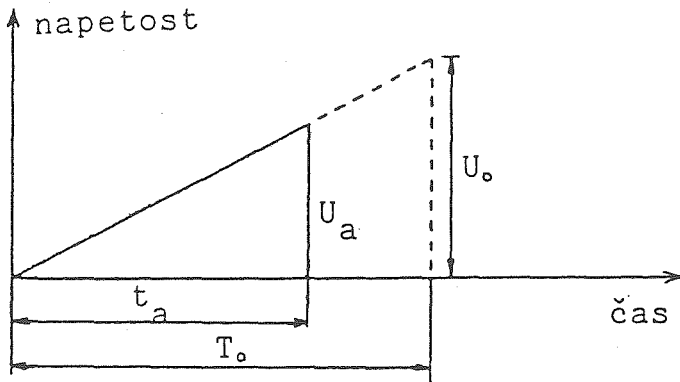
Referenčno nihanje frekvence 15 MHz omogoča merjenje časa z natančnostjo $7 \cdot 10^{-8}$ (10 m), kar predstavlja grobi odčitek - T_0 . Fini

odčitek, ki ga predstavljata intervala t_a in t_b , pa se določa s pomočjo pretvornika, v katerem se napetost menja linearno s časom. V trenutku 1 oz. 3 odhodni oz. povratni signal sproži enakomerno polnjenje kondenzatorja, ki ga prekine referenčni signal v trenutku 2 oz. 4. Namesto časovnih intervalov t_a in t_b merimo napetost na ustreznih kondenzatorjih U_a in U_b . V tem primeru velja razmerje (slika 2.2):

$$t_a/t_0 = U_a/U_0 \text{ in } t_b/t_0 = U_b/U_0$$



Slika 2.1 Način merjenja časa



Slika 2.2 Razmerje med časom in napetostjo na kondenzatorjih

Tako se enostavno indirektno določita časovna intervala ta in t_b . Celotni časovni interval med odhodom in povratkom svetlobnega impulza je:

$$t = n \cdot T_0 + t_a - t_b$$

Na ta način se natančnost določitve časovnega intervala zelo poveča. Ena meritev zagotavlja natančnost 1 cm, ta pa se poveča z velikim številom meritev. Di 3000 namreč vsake 0.5 ms odda nov impulz. Tako v 0.8 s razdaljemer 100 krat ponovi posamezno meritev. Končna vrednost je aritmetična sredina posameznih meritev, njena zagotovljena natančnost pa je (5 mm + 1 ppm). Pri 1000 ponovitvah v 3.5 s se natančnost še poveča (3 mm + 1 ppm). Inštrument omogoča, da število ponovitev meritev, oziroma časovni interval merjenja določamo sami. Natančnost impulznih razdaljemerov je praktično enaka natančnosti faznih razdaljemerov s tem, da imajo prvi določene prednosti:

- krajši čas merjenja,
- večji doseg (energija je skoncentrirana na impulz),
- pri krajših razdaljah je mogoče merjenje brez reflektorjev in
- manjša masa.

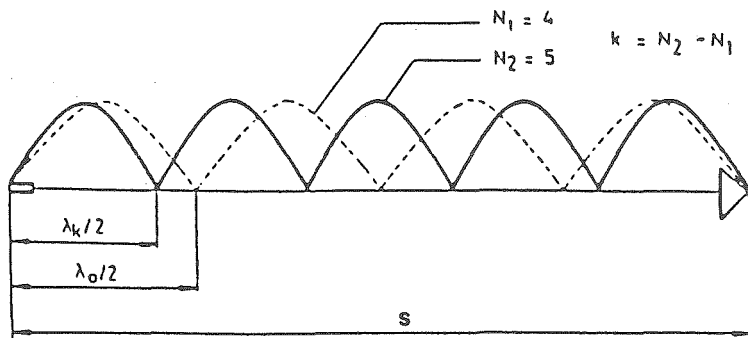
3. PRECIZNI RAZDALJEMERI

Bistvena sprememba se je zgodila v razvoju

preciznih razdaljemerov. Tovarna KERN (danes pod okriljem WILD-a) je skonstruirala naslednika znanega Mekometra ME 3000, Mekometer ME 5000. Instrumenta sta si še najbolj podobna po imenu. Ob nekaterih istih karkteristikah je novi mekometer popolnoma nanovo zasnovan instrument. Največja sprememba se je zgodila prav v samem principu merjenja. Obdelavo pulzne frekvence v prostorskem resonatorju je zamenjal shyntesizer, ki neprekinjeno oddaja modulaicijsko frekvenco, s tem pa odpadejo številne težave. Iskanje ničel s spreminjanjem dolžine optične poti (ME 3000) je zamenjal način z zvezno spreminljivo modulaicijsko frekvenco (ME 5000). V principu isti način uporablja tudi razdaljemer Geomensor CR 204.

Izvor nosilnega valovanja Mekometra ME 5000 je He-Ne laser, ki neprekinjeno oddaja linearno polarizirano svetlobno valovanje valovne dolžine 632.8 nm. Zunanja električna napetost frekvence približno 500 MHz, katere izvor je kvarčni kristal in je krmiljena preko synthesizerja, spremeni optične lastnosti elektrooptičnega kristala (modulator). Na osnovi te napetosti se spremeni smer polarizacije prehajajočega svetlobnega žarka (zunanja modulacija - Fitzeau princip).

Instrument primerja kota zasuka nihanje ravnine (fazo) izhodnega in povratnega žarka. Kota sta enaka v primeru, ko je mer-



Slika 3.1 Primer izmerjene dolžine kot celoštevilčni mnogokratnik polovične modulaicijske valovne dolžine $\lambda_0/2$ oziroma $\lambda_k/2$, s pripadajočo modulaicijsko frekvenco $f_0 = c/\lambda_0$ oziroma $f_k = c/\lambda_k$ (c - hitrost svetlobe). Količina k je potrebna pri izračunu dolžine po enačbi 1.

jena dolžina enaka celoštevilčnemu mnogokratniku polovične modulacijske valovne dolžine (30 cm) (slika 2.1). Takrat je svetlobni tok, ki pade na detekcijsko diodo enak nič - ničelni položaj, ničla.

Pri ME 5000 se torej ne meri faza, temveč frekvenca, ki se spreminja s korakom 0.3 ppm toliko časa, dokler ni dosežen ničelni položaj. Natančnost določitve "frekvenčne ničle" (frekvence pri ničelnem položaju), mora biti seveda večja, kot je osnovni korak spremembe frekvence. To je doseženo z Woblerjem, ki modulacijski signal sinusno frekvenčno modulira v ritmu 2 kHz in "dvigom" frekvence ± 5 kHz ("high range") oz. ± 25 kHz ("low range"). S tem je doseženo, da ob točno določenih ničli (vsklajeni slučaj), doseže detekcijsko diodo moduliran svetlobni žarek frekvence 4 kHz. Kadar ničla ni določena dovolj točno, nastopi amplitudna razlika frekvence 2 kHz.

Z določitvijo ničelnega položaja je izvršena precizna meritev. Celotno število polovičnih

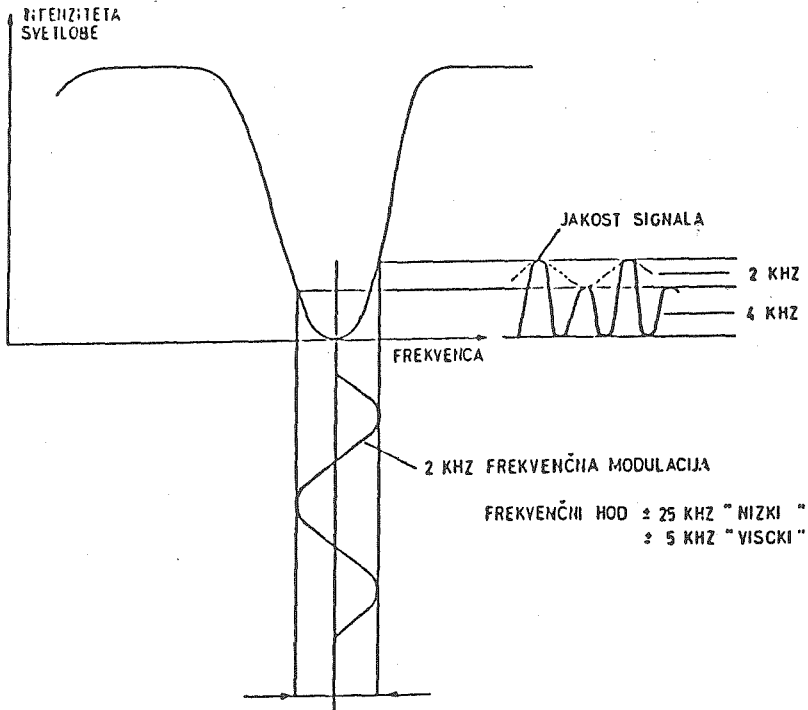
modulacijskih valovnih dolžin (N) na pretečeni merski poti (slika 3.1) se izračuna iz razlik frekvence med dvema sosednjima ničelnima položajema (ničla). Točno se ta razlika določi z merjenjem frekvenc pri k ničlah. Dolžino izračuna interni računalnik po enačbi:

$$S = R_{nd} \cdot k \cdot \frac{f_0}{(f_k - f_0)} \cdot \frac{c}{(2f_0)}$$

kjer je

- k število frekvenčnih razlik
- R_{nd} zaokroženo na celo število
- c hitrost svetlobe (299707186.9 m/s)
- f_0 frekvenca prve ničle
- f_k frekvenca k-te ničle

Določanje števila polovičnih modulacijskih valov je pri kratkih dolžinah omejeno (10 m) zaradi omejene koristne širine synthesizerja približno 15 MHz (od ~470 do ~490 MHz). V odvisnosti od omejene frekvenčne ločljivosti synthesizerje velja to tudi pri večjih dolžinah (>8 km). Pri znani približni dolžini (nat. +0.2 m) ali z zunanjim krmiljenjem in-



Slika 3.2 Nastavitev frekvence za ničelni položaj z 2 kHz frekvenčno modulacijo

strumenta se lahko tako gornje kot spodnje območje razširi.

Merjenje dolžin z ME 5000 temelji torej na merjenju velikosti modulacijskih frekvenc. Vrednosti frekvenc se določajo vedno pri istem faznem položaju sprejemnega signala. Določitev števila valovnih dolžin na merjeni poti je izvedena indirektno s spreminjanjem modulacijske frekvence v določenih razmakih. Najmanjši frekvenčni

razmak 161.744 Hz odgovarja spremembi valovne dolžine za približno 0.1 mm. Merjenje poteka popolnoma avtomatsko.

Mogoče je potrebno omeniti, da se za razliko od ME 3000, dolžine, ki jih prikaže razdaljemer ME 5000, nanašajo na primerjalni lomni količnik. Pravo dolžino dobimo ob upoštevanju dejanskih (izmerjenih) meteoroloških pogojev v času merjenja.