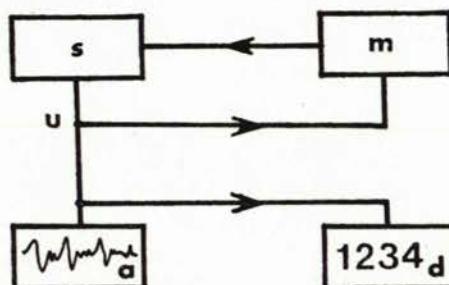


POVRATNA VEZA (FEEDBACK) KAO SREDSTVO POVEĆANJA LINEARITETA I MJERNOG PODRUČJA SENZORA ZA ODREĐIVANJE LINEARNIH POMAKA

Radovan MARJANOVIĆ — Zagreb*

Primjene senzora za određivanje linearnih pomaka su vrlo raznolike, pa stoga postoji i čitav niz različitih konstrukcija senzora [7], koje su podređene takvim primjenama. Ipak je u izvjesnim situacijama potrebno primjeniti dodatna konstruktivna rješenja da se postignu zadovoljavajući parametri točnosti koje senzor ili čitav mjerni sistem trebaju zadovoljiti. Kao što se za eliminaciju promjene temperature primjenjuju kompezacijske konstrukcije (izradene iz materijala — različitih termičkih koeficijenata istezanja) ili metoda mjerenja temperature pomoću mjernog senzora i uvođenje korekcije mjernog signala, moguće je primjenom povratne veze povećati linearitet i mjereno područje u nizu aplikacija koje primijenjuju induktivne LVDT ili kapacitivne DCDT senzore. U tu svrhu se koristi signal (u) s mjernog senzora (s) kao izvor informacije tj. indikator stanja senzora. Dodatnim uređajem (m) moguće je korigirati položaj mjernog senzora u onaj koji je optimalan za dati sistem, sl. 1.



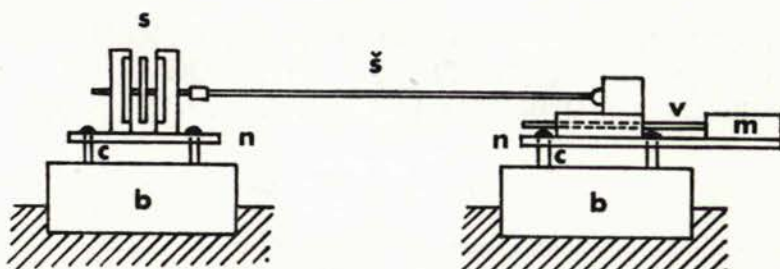
sl. 1 Princip povratne veze

U daljem tekstu navedeni uređaji predstavljaju konstruktivno rješenje mehaničke povratne veze za ekstenzometar s karbon-fiber štapom i ekstenzometar s invarnom žicom te elektrostatske tj. kapacitivne povratne veze za LaCoste and Romberg gravimetar, koju je autor sagradio za vrijeme svog studijskog boravka u S. R. Njemačkoj u Institutu za fizikalnu geodeziju TH Darmstadt tokom mjeseca jula 1984. godine.

* Adresa autora: Dr Radovan Marjanović, dipl. inž. GRN fakultet, 41000 Zagreb, Pierottijeva br. 6.

POVRATNA VEZA KOD EKSTENZOMETRA S KARBON-FIBER ŠTAPOM

Ekstenzometar se sastoji iz DCDT senzora (s), normala duljine tj. karbon-fiber štapa (š), sidrenih klinova i nosača (n) te motora (m) i vretena (v) za podešavanje položaja senzora, sl. 2.



sl. 2 Ekstenzometar s karbon-fiber štapom i uređajem za promjenu nultočke senzora (povratnom vezom)

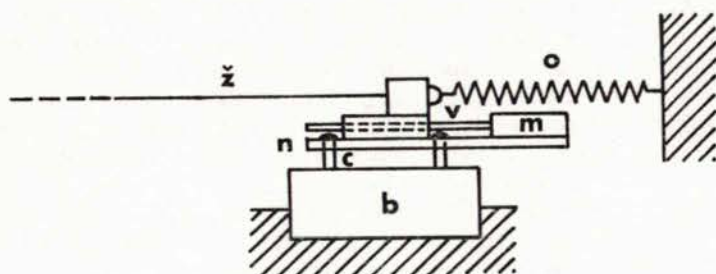
Sidreni klinovi (c) se ugrađuju u čvrstu zdravu stijenu (b) ili beton na točkama između kojih želimo određivati promjenu duljine [6]. Razmakom sidrenih klinova je stoga određena duljina baze ekstenzometra. Na sidrene klinove se postavljaju nosači senzora i nosači karbon-fiber štapa tj. motora za podešavanje. Motor je preko prenosnih zupčanika (zbog usporenja pomaka) povezan s nosačem štapa, te omogućuje njegovo uzdužno pomicanje. Kako je srednja ploča DCDT senzora kruto povezana sa štapom, svako pomicanje motora registrira se preko senzora. Kad se srednja ploča otkloni u neku stranu, a signal sa senzora dostigne graničnu vrijednost primijenjenog registracijskog uređaja, uključuje se motor koji za određeni iznos pomiče štap u suprotnom smjeru. Taj postupak se ponavlja ukoliko je signal još uvijek veći od granične vrijednosti. Pri tom je granična vrijednost određena mjernim područjem analognog pisača, A/D konvertora ili optimalno odabranim linearnim područjem senzora. Na taj način je moguće registrirati signale koji su višestruko veći od mjernog područja uređaja za registraciju, na pr. u mjernom području pisača od 100 mV moguće je registrirati signale kojima amplituda odgovara naponu od 1V s time da se, devet puta uz pomoć motora, senzor pomakne za pomak koji odgovara naponu od 100 mV. Uređaj također može biti primijenjen kod digitalne registracije jer je njime moguće umjesto skupih 16 ili više bitnih tj. 4 ili više-cifrenih A/D konvertora koristiti jeftine 8 bitne A/D konvertore.

Ipak je u tu svrhu bolje koristiti razdjelnik stalnog napona (njem. Gegen-spannung). Razlog je taj što uz pomoć motora nije uvijek moguće senzor pomaknuti za isti iznos dok razdjelnik stalnog napona daje strogo definirane stalne napone.

Uključivanje motora ili razdjelnika stalnog napona moguće je uz pomoć kontakata tj. mikro-prekidača smještenih na analognom pisaču ili koristeći električne impulse iz A/D konvertora. Ako je u sklopu mjernog sistema predviđen mikroprocesor ili mikrokompjuter veći dio ovih radnji moguće je potpuno automatizirati programom mjerenja [5].

POVRATNA VEZA KOD EKSTENZOMETRA S INVARNOM ŽICOM

Nedostatak opisanog ekstenzometra s karbon-fiber štapom, koji ima uređaj za automatsko podešavanje nultočke senzora je u tome što usprkos primjenenom finom navoju na vretenu za pomicanje nosača štapa, prilikom promjene smjera obrtanja motora postoji mrtvi hod. Iako u laboratorijskim ispitivanjima posljedice tih nedostataka nisu ustanovljene, može se pretpostaviti da bi utjecaji mogli biti uočljivi kod mjerenja pomaka signala s ekstremno malim amplitudama. Primjeni li se invarna žica s utegom za zatezanje [5], [6], mrtvi hod prilikom promjene smjera obrtanja motora moguće je potpuno izbjeći. I taj tip ekstenzometra je ispitan laboratorijski, međutim, za rad uređaja bez smetnji treba ga malo preinačiti. Razlog tome je mala snaga raspoloživog DC motora odnosno velika masa utega za zatezanje. Da se rastereti DC motor, sl. 3, na suprotnu stranu nosača invarne žice (n) učvršćena je, u nerastegnutom stanju 20 cm duga spiralna opruga (o) i nategnuta do duljine od oko 40 cm, tj. do duljine koja omogućuje nesmetani rad DC motora. Zbog stalnog kontakta invarne žice i njenog nosača, utjecaj elastičnog popuštanja opruge nije zamjetljiv.

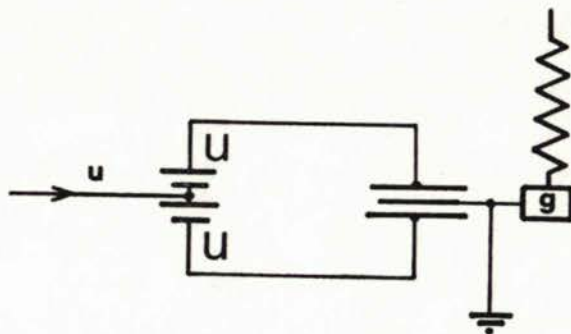


sl. 3 Ekstenzometar s invarnom žicom i s uređajem za promjenu nultočke tj. povratnom vezom

POVRATNA VEZA KOD LaCOSTE AND ROMBERG GRAVIMETRA

Princip povratne veze koristi se već duži niz godina kod gravimetara. Već su od prije poznate mehaničke i elektrostatske tj. kapacitivne povratne veze. Prije navedeni princip mehaničke povratne veze koristi se tako da DC motor direktno pokreće vijak za promjenu mjernog područja instrumenta. Takva konstrukcija koristi se već duži niz godina za registraciju sile uzročnice Zemljinih doba. [2], [3]. Iako se ovim načinom postižu vrlo dobri rezultati pribjegava se novim rješenjima. Poznate su i konstrukcije elektrostatske povratne veze za gravimetre [1], [9]. Pri tom ulogu pomicanja klina s utegom preuzimaju statički naboji koji se formiraju između ploča kondenzatora smještenih ispod i iznad klina i ploče smještene na samom klinu, poput kapacitivnog senzora za registraciju položaja klina, sl. 4.

Dovođenjem istosmjernog napona na vanjske ploče u odnosu na srednju, kondenzatori se nabijaju do vrijednosti napona U . Pritom se javlja sila F koja nastoji poništiti taj naboj tj. privući ploče kondenzatora. Kako je srednja ploča tj. klin pomičan ploča se otklanja na stranu na kojoj djeluje veća sila privla-



sl. 4 Princip kapacitivne povratne veze kod gravimetra s kapacitivnim senzorom

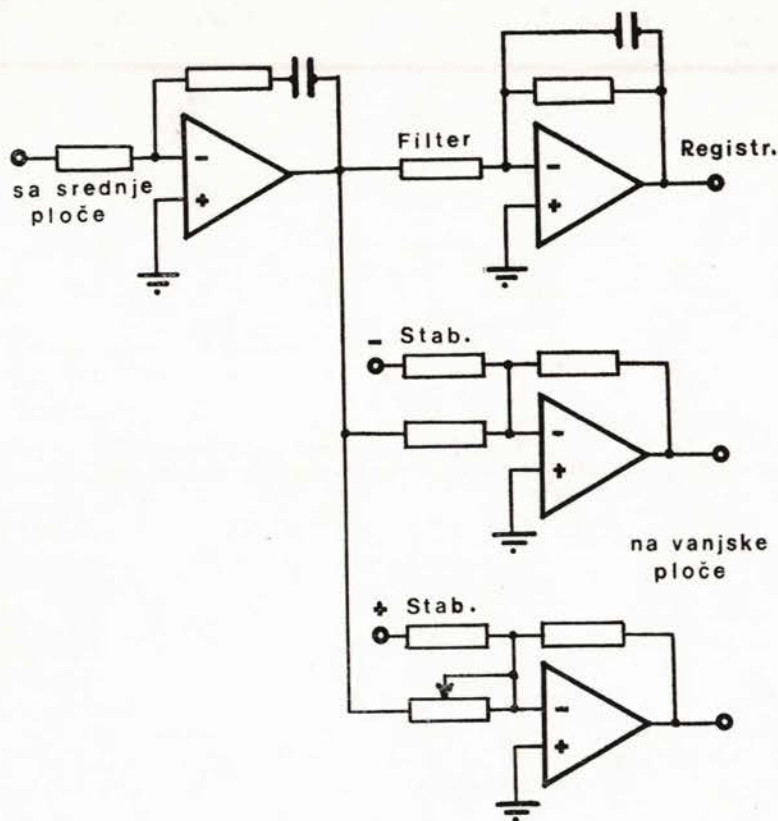
čenja F . Zbog toga je potrebno na vanjske ploče kondenzatora dovesti napon koji je obrnuto proporcionalan kapacitetu kondenzatora koje oni tvore sa srednjom pločom. To znači da se klin sa srednjom pločom treba otkloniti na onu stranu na kojoj je veći razmak između ploča kondenzatora sve dotle dok se ne uspostavi ravnoteža. Ako bismo kontinuirano registrirali silu tj. napon s kojim bismo dotjerivali srednju ploču kondenzatora za registraciju u sredinu, ustanovili bi da će se on mijenjati prema zakonu promjene sile uzročnice Zemljinih doba. Prednost ovakvog načina registracije je u velikom i stabilnom korisnom mjernom signalu u odnosu na direktno registrirani signal s kapacitivnog senzora. Prednosti su također u poboljšanom linearitetu čitavog sistema, jer je linearitet mjernog senzora parametar koji je povezan s mjernim područjem i osjetljivošću samog senzora [5], [7]. Kapacitivnom povratnom vezom moguće je, također, eliminirati periodične pogreške vretena za promjenu mjernog područja [10]. Moore i Farrell [8] objasnili su zakon i poteškoću u primjeni kapacitivne povratne veze kod gravimetara. Za sistem sa sl. 4 vrijedi

$$F = \frac{2C_0}{d} \left[uU + \frac{\delta}{d} (u^2 + U^2) \right],$$

gdje je C_0 kapacitet između vanjskih ploča kondenzatora i srednje ploče kada je ona u sredini, $\pm U$ je diferencijalni napon na vanjskim pločama, u je napon povratne veze, $2d$ je razmak nepomičnih ploča, a δ je udaljenost pomične ploče od srednjeg položaja.

Najveći nedostatak za ovaj tip povratne veze je nelinearni član u funkciji s kojom sila F djeluje da bi se centralna ploča dovela u srednji položaj. Zbog toga je bilo potrebno da se položaj vanjskih ploča kondenzatora može podešavati. To je, međutim, jako povećalo troškove izrade već i onako vrlo skupog LaCoste and Romberg gravimetra.

Harrison i Sato [4] uspjeli su izbjeći mehaničko simetriranje vanjskih ploča kondenzatora. U njihovoj konstrukciji se napon, koji se dovodi na vanjske ploče, može za male iznose podešavati tako da vanjska ploča koja je bliža srednjoj dobiva niži napon sl. 5. Time je nelinearni član u funkciji prema Moore-u i Farrell-u moguće eliminirati. Osobitost te konstrukcije je u tome što su ploče senzora za registraciju položaja, istovremeno i ploče elektrostatske povratne veze. Izmjenična komponenta tj. mjerni signal odvađa se pomoću kondenzatora



sl. 5 Principijelna električna shema elektrostatske povratne veze za LaCoste and Romberg gravimetar

od istosmjernog napona koji se koristi za elektrostatsku povratnu vezu. Time je omogućeno da se povratna veza naknadno ugradi i u uređaje koji nemaju tvornički simetrirane ploče kapacitivnog senzora.

Prema ovom principu izrađena je povratna veza za LaCoste and Romberg gravimetar ET 16 Instituta za fizikalnu geodeziju TH Darmstadt, koji se s uspjehom može koristiti i za LaCoste and Romberg model G, tj. za prenosne gravimetre.

Primjenjujući povratnu vezu i na LaCoste and Romberg modele G i D u mogućnosti smo da mjerenja na terenu obavimo bez pomicanja vijka za promjenu mjernog područja, a time postizemo maksimalnu moguću točnost. Razlog tome je optimalno postavljen položaj opruge i čitavog mjernog sistema tokom mjerenja.

LITERATURA:

- [1] Block, B., Moore, R. D.: Measurements in the earth mode frequency range by an electrostatic sensing and feedback gravimeter, *Journal of Geophysical Research*, 1966, 71, 4361—4375.

- [2] Clarkson, H. N., LaCoste, L. J. B.: An improved instrument for measurement of tidal variations in gravity, *Transactions of the American Geophysical Union*, 1956, 37, 266—272.
- [3] Clarkson, H. N., LaCoste, L. J. B.: Improvements in tidal gravity meters and their simultaneous comparison, *Transactions of the American Geophysical Union*, 1957, 38, 8—16.
- [4] Harrison, J. C., Sato, T.: Implementation of electro-static feedback with a LaCoste-Romberg model G gravity meter, *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89, 7957—7961.
- [5] Marjanović, R.: Beiträge zur Deformationsmessung mit mechanischen Extensometern, Dissertation, Darmstadt, 1982.
- [6] Marjanović, R.: Mjerenje deformacija ekstenzometrima i tilmetrima, *Geodetski list*, Zagreb, 1984, 1—3, 15—24.
- [7] Marjanović, R.: Senzori za određivanje linearnih pomaka, *Geodetski list*, Zagreb, 1984, 4—6, 107—116.
- [8] Moore, R. D., Farrell, W. E.: Linearization and calibration of electrostatically feedback gravity meters, *Journal of Geophysical Research*, 1970, 75, 928—932.
- [9] Weber, J., Larson, J. V.: Operation of LaCoste and Romberg gravimeter at sensitivity approaching the thermal fluctuation limits, *Journal of Geophysical Research*, 1966, 71, 6005—6009.
- [10] Weichel, B. C.: Methoden zur Genauigkeitssteigerung in der Präzisionsgravimetrie, DGK Reihe C, München 1980, Nr. 260.

SAŽETAK

U ovom radu je na primjeru dvije konstrukcije ekstenzometara objašnjen princip povratne veze tj. uređaja za automatsko podešavanje nultočke senzora za određivanje linearnih pomaka. U drugom dijelu je opisana elektrostatska povratna veza za LaCoste and Romberg gravimetar model ET i prenosni model G.

ABSTRACT

In this work on example of two extensometer constructions the principles of a feedback and a device for zeroadjustment of the sensor for sensing linear displacements are explained. In the second part an electrostatic feedback for LaCoste and Romberg gravity meter model ET and model G is described.

Primljeno: 1984-12-20