

UDK 520.8
Originalni znanstveni radANALIZA RAZLIKE TOČNOSTI FOTOELEKTRIČNE
REGISTRACIJE VREMENA POSTIGNUTE NA JEDNOM
NIVOU I PET NIVOVA AMPLITUDNE DISKRIMINACIJE*

Nikola SOLARIĆ — Zagreb**

1. UVOD

Pri ispitivanju fotoelektričnog uređaja s pet nivoa amplitudne diskriminacije na pasaznom instrumentu u Zagrebu [3] obavljene su tri serije probnih mjerenja. U jeseni 1976. godine izvršena je I serija mjerenja na fotoelektričnom uređaju koji je izrađen po zamisli autora. Pri mjerenju javljale su se smetnje koje su prije vremena pokretale monostabil u elektroničkim vratima. Da bi se izbjegle ove smetnje uređaj je prepravljen tako da signal iz fotokaskade, osim na amplitudne diskriminator, odlazi jednim dijelom na filter i diferencijator. Signal s izlaza diferencijatora pokreće monostabil. Na ovaj način uspjelo je otkloniti naprijed navedenu smetnju, ukoliko je odnos napona šum/signal manji od $1 : 2$.

2. DRUGA SERIJA PROBNIH MJERENJA

Za vrijeme II serije probnih opažanja uspoređivana je točnost registracije vremena prolaza zvijezde preko pojedinih rubova vizirne rešetke na jednom i pet nivoa amplitudne diskriminacije. U tu svrhu, mjereno je vrijeme prolaza slike zvijezde preko svakog ruba vizirne rešetke. Iz ovih vremena određivano je vrijeme prolaza zvijezde kroz sredinu vidnog polja diskriminacijom na jednom i pet nivoa a isto tako i srednja pogreška ovih mjerenja.

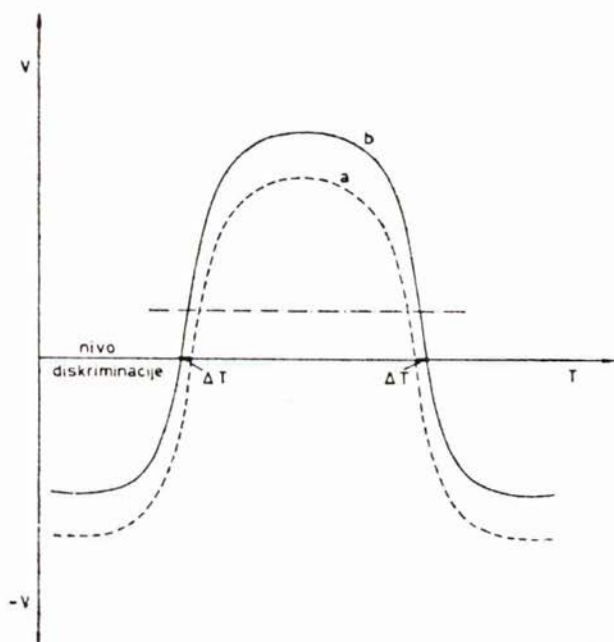
Za vrijeme II serije mjerenja 3. VII 1977. opažano je 16 zvijezda a 11. VII 1977. 11 zvijezda. Srednja pogreška aritmetičke sredine srednjeg vremena prolaza zvijezde kroz sredinu vidnog polja, prije filtracije niskofrekventnog šuma, pri opažanju 3. i 11. VII 1977. bila je $\pm 0^s028$ za mjerenja na pet nivoa amplitudne diskriminacije, a $\pm 0^s032$ za mjerenja na jednom nivou diskriminacije. U ovom je slučaju točnost na pet nivoa diskriminacije samo za $(12 \pm 1)\%$ veća nego na jednom nivou a srednja pogreška određivanja vremena prolaza zvijezde veoma je velika. Niskofrekventni šum pomakne registrirano vrijeme prolaza na jednom i pet nivoa diskriminacije. Zato su i popravke (iz kojih su računane srednje pogreške određivanja vremena prolaza zvijezde) na jednom i pet nivoa bile veoma velike, približno istih predznaka i veličina. Utjecaj niskofrekventne smetnje većim se dijelom otkla-

* U ovom radu objavljuju se rezultati istraživanja što ih financira Samoupravna interesna zajednica za znanstveni rad (SIZ III), a koji su izvođeni u okviru znanstvenog zadatka »Revalorizacija osnovnih geodetskih radova«.

** Adresa autora: Prof. dr Nikola Solarić, Geodetski fakultet Zagreb, Kačićeva 26.

nja na suprotnim dijelovima vizirne rešetke, kao što je to vidljivo iz sl. 1. Crtkanom linijom prikazan je čisti signal, a punom linijom signal koji je zbog niskofrekventnog šuma podignut. Zbog tog se zvijezda opaža na prvom rubu vizirne rešetke za interval vremena ΔT prije, a na drugom rubu za ΔT kasnije. Ove pogreške u registraciji vremena suprotnog su predznaka, te se na parnom broju rubova većim dijelom poništavaju. Tako je korekcija sata određena fotoelektričnim uređajem većim dijelom oslobođena nepovoljnog utjecaja niskofrekventnog šuma.

Da bi se dobila što realnija ocjena razlike točnosti registracije vremena diskriminacijom na jednom nivou i pet nivoua iz II serije mjerenja izračunata je korekcija sata u_5 nivoua i u_1 nivou. Točnost određivanja korekcije sata na pet nivoua amplitudne diskriminacije 3. VII 1977. bila je 27% veća nego na jednom nivou, a 11. VII 1977



Sl. 1. Prikaz pogreške određivanja vremena prolaza zvijezde preko ruba rešetke izazvane šumom veoma niske frekvencije; a — čisti signal, b — čisti signal + niskofrekventni šum, V — električni napon, T — vrijeme

točnost mjerenja na pet nivoua bila za 18% veća nego na jednom nivou. Iako je malo noći opažano, mislim da se slobodno može zaključiti da je točnost u određivanju korekcije sata diskriminacijom na pet nivoua veća za približno $(22 \pm 5)\%$ nego na jednom nivou. Kao što će se vidjeti i III serija mjerenja daje približno isti postotak. Kada bi, za cijelo vrijeme prolaza slike zvijezde preko vizirne rešetke, mjerenja na svim nivoima bila jednoliko raspoređena, diskriminacijom na pet nivoua teoretski točnost određivanja vremena bila bi približno 55% veća nego na jednom nivou.

Iako povećanje od 22% na prvi pogled možda izgleda malo ali ono donosi značajnu uštedu u vremenu. Naime, u slučaju da moramo odrediti geografsku dužinu stajališta s nekom unaprijed zadanom točnošću, tada fotoelektričnim uređajem koji ima pet nivoa amplitudne diskriminacije na opažanje će se utrošiti 40% manje vremena nego fotoelektričnim uređajem koji ima samo jedan nivo diskriminacije. To znači da je umjesto, na primjer 10 sati potrebnih za opažanje fotoelektričnim uređajem s jednim nivoom diskriminacije, na fotoelektričnom uređaju s pet nivoa diskriminacije dovoljno opažati 6 sati. Iz ovog možemo zaključiti da se fotoelektričnim uređajem s pet nivoa amplitudne diskriminacije postiže znatno povećanje točnosti u odnosu na točnost koja se postiže diskriminacijom samo na jednom nivou.

3. TREĆA SERIJA PROBNIH MJERENJA

Za vrijeme III serije probnih opažanja od 19. X do 20. X 1977. godine signal zvijezde s izlaza fotokaskade registriran je pisačem, da bi se što bolje ispitaio niskofrekventni šum. Iz zapisanog signala na ovaj način očitano je za svaku zvijezdu približno 1000 ordinata i 1000 apscisa i te vrijednosti unešene su u stolno elektroničko računalo Hewlett Packard system 9845. Pomoću tako unijetih podataka u elektroničko računalo, učinjena je Fourierova analiza signala zvijezde dobivenog s fotoelektričnog uređaja. Prema izračunatim veličinama Fourierovih koeficijenata C_1 vidi se, da postoji s jedne strane dosta veliki niskofrekventni šum i da je šum visokih frekvencija približno konstantan. To se slikovito vidi i iz Fourierovog linijskog spektra (periodograma) prikazanog na sl. 2.

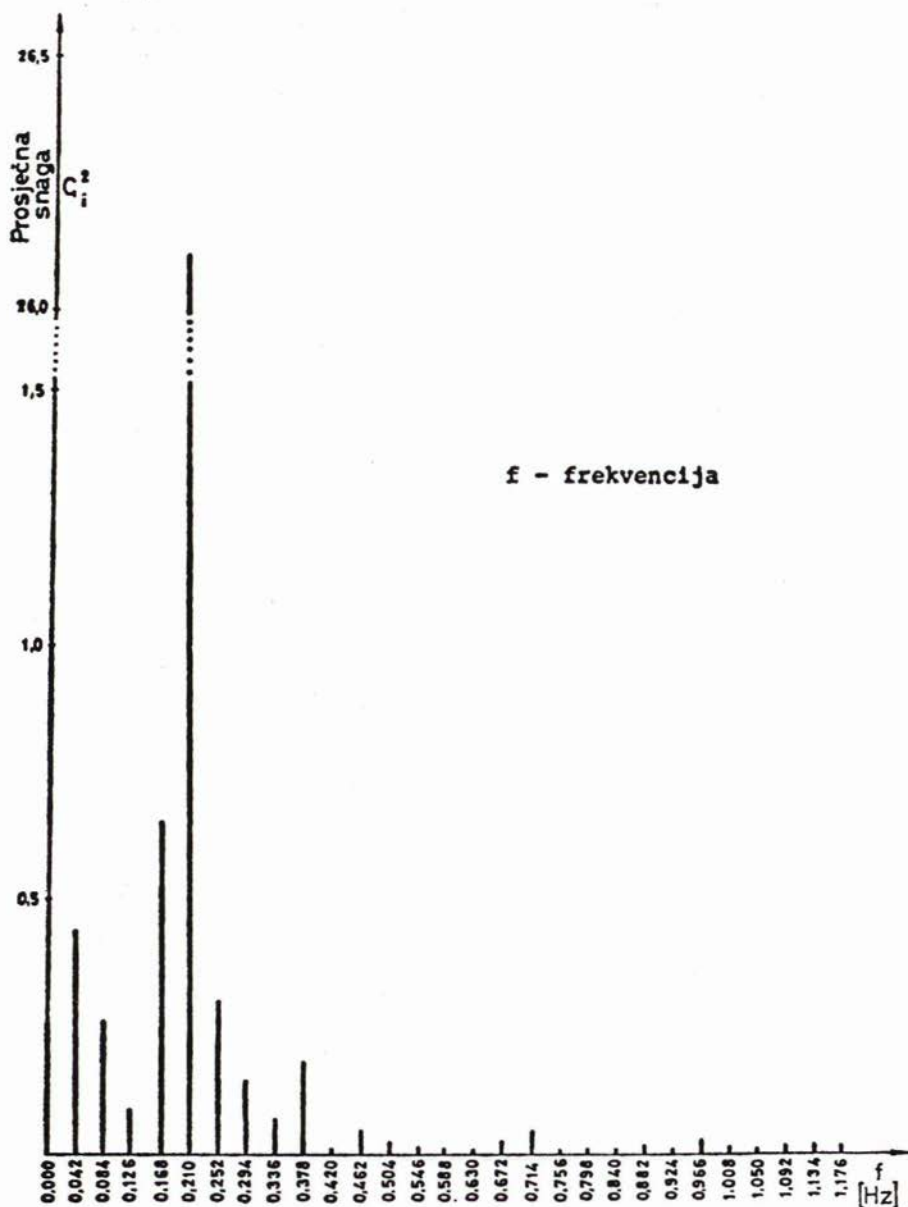
Funkcija autokovarijance naprijed navedenog signala zvijezde još očitije pokazuje postojanje nisko i visoko frekventnog šuma kao i da su ovi šumovi naročito u blizini korisne frekvencije, veoma veliki (sl. 3 dio krivulje označen slovima a i b). Karakteristično je da je funkcija autokovarijance signala kod svih zvijezda ukazivala na veoma veliki šum s obje strane frekvencije »čistog signala«. Utjecaj dijela šuma u blizini frekvencije čistog signala (na sl. 3 dio krivulje označen slovom a) na točnost registracije vremena otklanja se djelomično diskriminacijom na pet nivoa, dok se na jednom nivou diskriminacije smanjuje samo na više rubova vizirne rešetke.

Da bi se ocijenila veličina niskofrekventnog šuma, Fourierovom analizom izračunat je oblik smetnje. Ovaj niskofrekventni šum mijenjao se za svake pojedine zvijezde, a u prosjeku izgleda kako je prikazano na sl. 4.

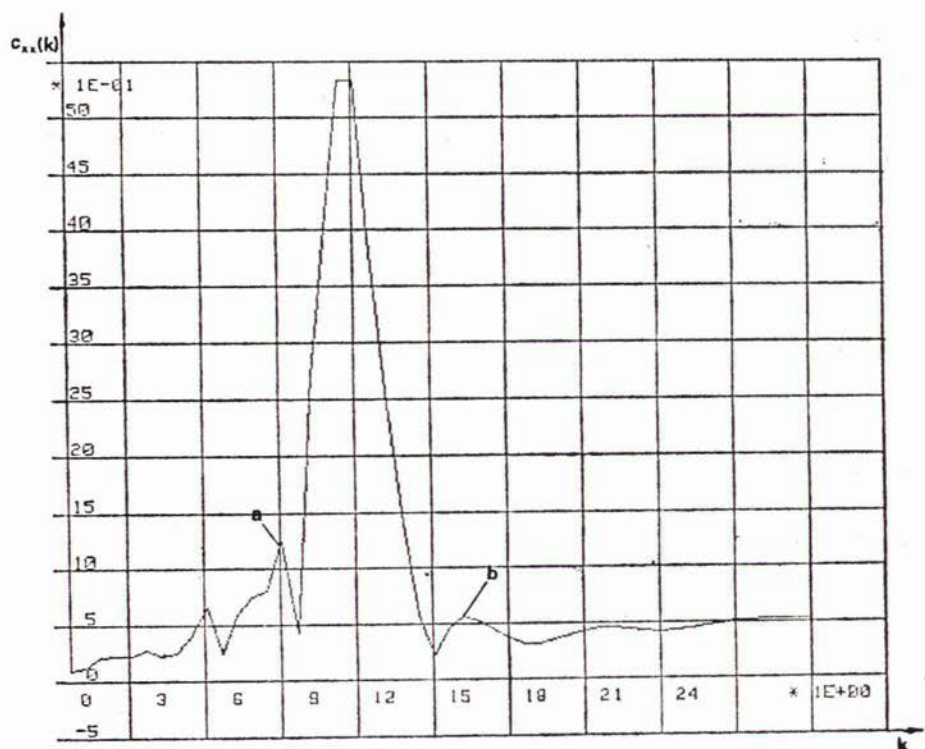
Za što realnije ocjenjivanje razlike postignute točnosti opažanja, registracijom, vremena na jednom i na pet nivoa diskriminacije, učinjena je Fourierova analiza signala od pet zvijezda opažanih 19. X 1977. godine i pet zvijezda opažanih 20. X 1977. Za signale zvijezda registrirane pisačem izračunati su Fourierovi koeficijenti od 0. do 6. reda. Budući da je u Fourierovom redu ograničen broj koeficijenata i da se približuje mjerenoj signalu tako da je $(vv) = \text{minimum}$, na ovaj način su rezane više frekvencije signala (vidi krivulju 0-6 na sl. 4.) Izračunate su nultočke x_1 Fourierovog reda signala zvijezde u kojem su sadržani Fourierovi koeficijenti »čistog« signala na primjer od 4. do 6. reda (vidi sl. 5).

Razlika između nultočaka x_1 i x'_1 određena na naprijed opisani način daje utjecaj niskofrekventnog šuma na registraciju vremena na jednom i na pet nivoa diskrimi-

nacije. Ukoliko se vrijeme prolaza slike zvijezde preko pojedinog ruba vizirne rešetke, očitano iz signala zapisanog pisacem, korigira za utjecaj niskofrekventnog šuma Δt_{SR} . dobiva se, iz obračuna 10 zvijezda opažanih 19. i 20. X 1977. godine točnost registracije vremenana na pet nivoa veća za $(30 \pm 5)\%$, nego na jednom nivou.



Sl. 2. Fourierov linijski spektar (periodogram) signala zvijezde broj 43 FK4, (prikazanog na sl. 4, krivulja S)



Sl. 3. Funkcija autokovarijanca signala zvijezde broj 43 FK4 (prikazanog na sl. 4, krivulja S); k — pomak u vremenu u jedinicama $[0,6 \cdot s]$, $c_{xx}(k)$ — autokovarijanca, $c_{xx}(k) =$

$$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}); \text{ vidi na primjer [1]}$$

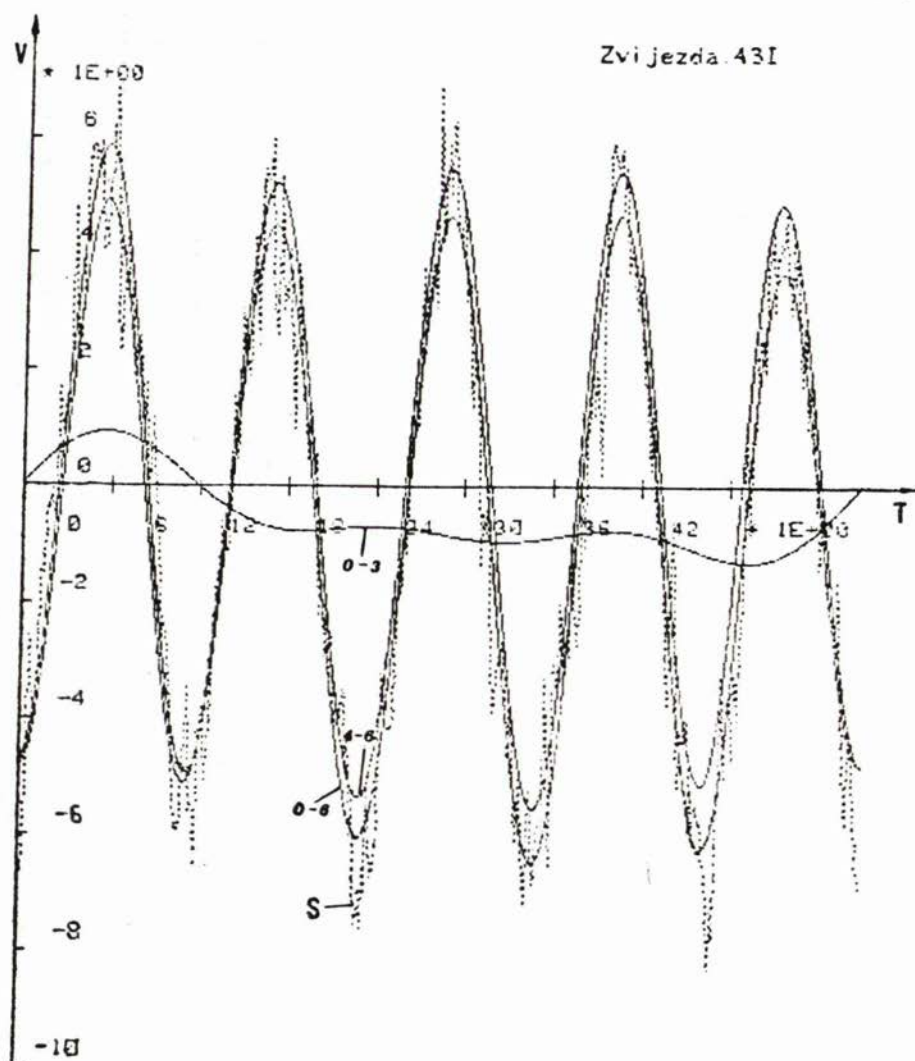
Utjecaj niskofrekventnog šuma na registraciju vremena koji se ne otklanja na susjednim rubovima vizirne rešetke, izražen u postotku može se izračunati tako da se na svim rubovima zbroje utjecaji niskofrekventnog šuma na registraciju vremena $\sum \Delta t_{SR}$ i njihove apsolutne vrijednosti $\sum |\Delta t_{SR}|$ a zatim ove dvije sume stave u omjer. Tako smo za deset zvijezda opažanih 19. i 20. X 1977. izračunali da se na susjednim rubovima vizirne rešetke nije poništalo samo $(30 \pm 6)\%$ utjecaja niskofrekventnog šuma na registraciju vremena.

Iz ovako izračunatih postotaka dobiveno je, da je točnost na fotoelektričnom uređaju s pet nivoa diskriminacije veća za $(26 \pm 5)\%$ nego na samo jednom nivou, ako se uzme u obzir da nema niskofrekventnog filtra i da se samo jedan dio utjecaja niskofrekventnog šuma poništava na susjednim rubovima vizirne rešetke.

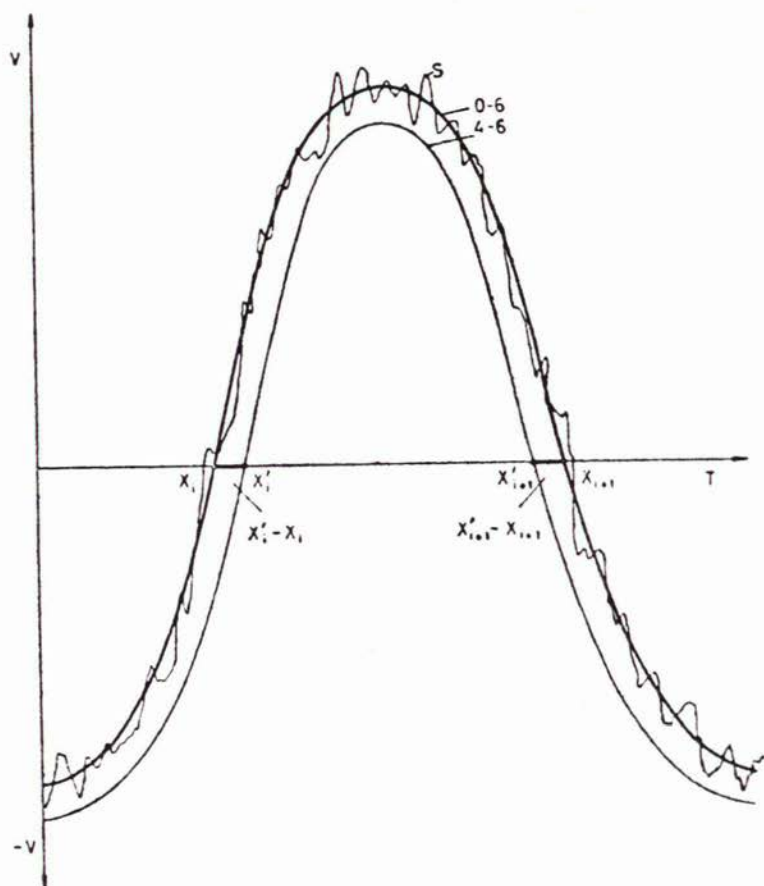
Iz II serije mjerenja dobiveno je da je točnost na pet nivoa diskriminacije veća za $(22 \pm 5)\%$ nego na jednom nivou. Vidimo da se ovaj postotak dobro podudara u granicama točnosti s postotkom od $(26 \pm 5)\%$ koji smo dobili posve drugim putem u III seriji probnih mjerenja.

4. ZAKLJUČAK

Pomoću fotoelektričnog uređaja s pet nivoa amplitudne diskriminacije dobiva se pet puta više informacija nego s uobičajenim jednim nivoom što omogućava smanjivanje nepovoljnog utjecaja šuma na točnost određivanja vremena prolaza zvijezde kroz meridijan. Iz II serije probnih opažanja dobiveno je, da je točnost diskriminacije na pet nivoa veća za $(22 \pm 5)\%$ nego na jednom nivou. Iako na prvi pogled



Sl. 4. Signal zvijezde broj 43 FK4 (opažane u I položaju instrumenta, dne 20. X 1977. god.) Fourierov red ovog signala s određenim brojem članova; T — vrijeme, V — električni napon S — signal zvijezde registriran pislačem, 0-6 — signal zvijezde predstavljen Fourierovim redom, u kojem su koeficijenti C_0 do C_6 i φ_0 do φ_6 . 0-3 — signal zvijezde predstavljen Fourierovim redom u kojem su koeficijenti C_0 do C_3 i φ_0 do φ_3 . 4-6 — signal zvijezde predstavljen Fourierovim redom u kojem su koeficijenti C_4 i φ_4 do C_6 i φ_6 .



Sl. 5. Prikaz računanja veličine utjecaja niskofrekventnog šuma na registraciju vremena; T — vrijeme, V — napon, S — signal zvijezde registriran pislačem, 0-6 — signal zvijezde predstavljen Fourierovim redom u kojem su koeficijenti od 0. do 6. reda, 4-6 signal zvijezde predstavljen Fourierovim redom u kojem su koeficijenti od 4. do 6. reda, x_i i x_{i+1} — nultočke Fourierovog reda u kojem su koeficijenti od 0. do 6. reda, x'_i i x'_{i+1} — nultočke Fourierovog reda u kojem su koeficijenti od 4. do 6. reda, $x'_i - x_i$ i $x'_{i+1} - x_{i+1}$ — utjecaj niskofrekventnog šuma na registriranje vremena

ovo povećanje točnosti može izgledati malo ali ono donosi značajnu uštedu u vremenu. Naime, u slučaju da moramo odrediti geografsku dužinu stajališta s nekom unaprijed zadanom točnošću, tada fotoelektričnim uređajem koji ima pet nivoa amplitudne diskriminacije na opažanje će se utrošiti 40% manje vremena nego fotoelektričnim uređajem koji ima samo jedan nivo diskriminacije. Iz ovog možemo zaključiti da se fotoelektričnim uređajem s pet nivoa amplitudne diskriminacije postiže znatno povećanje točnosti u odnosu na točnost koja se postiže diskriminacijom samo na jednom nivou.

Osim toga, fotoelektrični uređaj s pet nivoa amplitudne diskriminacije u Zagrebu omogućava da se, gotovo automatski, dobiva srednje vrijeme prolaza slike zvijezde kroz sredinu vidnog polja durbina. Ako se na vrijeme punog sata i minute uključivanja elektroničkog brojila doda očitavanje elektroničkog brojila poslije prolaza slike zvijezde kroz vidno polje, dobiva se gotovo automatski aritmetička sredina vremena prolaza zvijezde preko svih nivoa amplitudne diskriminacije i svih pukotina vizirne rešetke iz I i II položaja instrumenta. Na ovaj se način postupak obrade podataka znatno pojednostavljuje.

Poslije izrade fotoelektričnog uređaja s pet nivoa diskriminacije u Zagrebu i obrane disertacione radnje 1979. godine [5] napravljen je fotoelektrični uređaj s tri nivoa diskriminacije na Astronomskom observatoriju u Rigi kod profesora K. A. Steinsa 1980. godine [2]. Ovim uređajem u Rigi postignuto je povećanje točnosti čak oko 50%, a u literaturi se poziva na N. Solarić [4]. To je još jedan dokaz da je ideja o registraciji vremena prolaza zvijezda amplitudnom diskriminacijom na više nivoa bila pravilna.

5. LITERATURA

- [1] Jenkins, M. G., Watts, G. D.: Spectral analysis and its applications. Holden-day 19, San Francisco 1968.
- [2] Ojdov Dan-Aa: Registracija momentov prohođenija zvezd na neskolkih urovnjah, Astronomija (avtomatičeskaja registracija momentov prohođenija zvezd, Latvijski gos. univ. P. Stučki, Riga 1980.
- [3] Solarić, N.: Fotoelektrični uređaj na pasažnom instrumentu s pet nivoa amplitudne diskriminacije, Geodetski list 1975, 10—12, 175—186.
- [4] Solarić N.: Fotoelektričeskaja ustanovka, dlja registraciji momentov prohođenija zvezd v Zagrebe, International Symposium «Photoelectrical Registration of Star Transits», Moscow 1976.
- [5] Solarić, N.: Fotoelektrični uređaj za registraciju vremena prolaza zvijezda, Zbornik radova Geodetskog fakulteta Zagreb, Niz B, svezak 6, Zagreb 1980.

SAŽETAK

Analiza II serije probnih opažanja fotoelektričnim uređajem na pasažnom instrumentu u Zagrebu pokazala je, da je točnost registracije vremena prolaza zvijezde diskriminacijom na pet amplitudnih nivoa veća za 22% nego diskriminacijom samo na jednom nivou (kao što je uobičajeno). Ovo povećanje točnosti mjerenja donosi značajnu uštedu u vremenu od približno 40%, ako treba odrediti geografsku dužinu stajališta s unaprijed zadanom točnošću. Mjerenja III serije probnih opažanja obrađena Fourierovom analizom potvrdila su naprijed navedeni postotak iz II serije mjerenja. Navedeno povećanje točnosti diskriminacijom na pet nivoa može biti i veće naročito kod fotoelektričnih uređaja koji imaju male niskofrekventne šumove. Osim veće točnosti fotoelektričnim uređajem s pet nivoa diskriminacije u Zagrebu dobiva se gotovo automatski srednje vrijeme prolaza slike zvijezde kroz sredinu vidnog polja durbina.

SUMMARY

Analysis of the second series of test observations on the photoelectrical device in Zagreb has shown that the accuracy of the registration of the stellar transit using the discrimination on five amplitude levels is 22% greater than with the discrimination

Iz mjerenja u III seriji Fourierovom analizom došlo se do zaključka da je točnost na pet nivoa diskriminacije veća za $(26 \pm 5)\%$ nego na jednom nivou. Ovaj postotak dobro se podudara u granicama točnosti od $(22 \pm 5)\%$ koji smo postigli u II seriji mjerenja direktnim određivanjem korekcije sata. Da bi se mogao točno odrediti ovaj postotak trebat će još opažati više večeri, jer rezultati mjerenja znatno variraju od večeri do večeri u ovisnosti od vremenskih prilika.

only on one level as usual. This increase of measuring accuracy brings a significant saving in time of about 40%, if the longitude of a place is to be determined with a certain accuracy. The measurement of the third series of test observations worked out using the Fourier's analysis have confirmed the above stated percentage of the second series of measurement. Besides the increased accuracy with the photoelectrical device with five discrimination levels in Zagreb, one gets almost automatically the mean instant of the stellar image through the center of the field of view of the telescope.

Primljeno: 1980. 09. 15