

Doc. dr hab. inż. HENRYK Z. KOWALSKI

Zastępca dyrektora IGIK

Dr inż. MIECZYŚLAW SMÓŁKA

Mgr inż. ANDRZEJ M. SKIRMUNT

Instytut Geodezji i Kartografii

Dział Mechaniczno-Konstrukcyjny

Liniowy przetwornik cyfrowy opracowany w Instytucie Geodezji i Kartografii

1. Wstęp

Zastosowanie w opracowaniach geodezyjnych i kartograficznych cyfrowej techniki obliczeniowej wywołało potrzebę automatyzacji w budowie przyrządów geodezyjnych, kartograficznych i fotogrametrycznych. Przyrządy te znalazły zastosowanie w realizacji prac pomiarowych w długim łańcuchu czynności, w wyniku których uzyskujemy mapę lub współrzędne terenu. W celu zaspokojenia rosnącego zapotrzebowania na nowe urządzenia podjęto produkcję optoelektronicznych tachimetrów, teodolitów z cyfrową prezentacją wyników oraz cyfrowych urządzeń do prac kameralnych, zwłaszcza fotogrametrycznych. Wszystkie te nowoczesne urządzenia, łącznie z maszynami obliczeniowymi, mają na celu ujednolicenie i usprawnienie techniki pozyskiwania, przetwarzania i obrazowania informacji geodezyjno-kartograficznych.

Z punktu widzenia automatyzacji pomiarów istotnego znaczenia nabierają urządzenia służące do pomiaru wielkości liniowych i kątowych z cyfrową prezentacją wyników. Urządzenia takie noszą nazwę przetworników (konwerterów) [4, 5, 6].

W Instytucie Geodezji i Kartografii opracowano w pierwszej kolejności liniowy przetwornik cyfrowy w kilku wersjach konstrukcyjnych, o zakresach pomiarowych od kilku milimetrów do 115 mm i dokładności od 0,01 mm do 0,001 mm. Przetworniki te znajdują zastosowanie w budowie wielu urządzeń geodezyjnych i kartograficznych, a także przyrządów metrologicznych przewidzianych do produkcji w najbliższych latach.

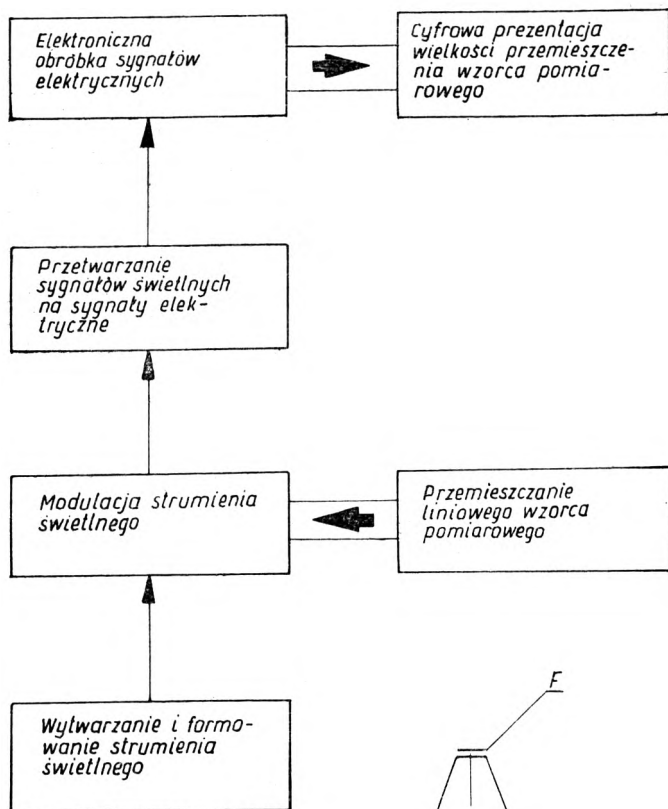
2. Zasada działania liniowego przetwornika cyfrowego

Omawiane urządzenie należy do dużej grupy optoelektronicznych przyrządów pomiarowych i ze względu na zasadę działania jest zaliczane do klasy przetworników fotoelektrycznych. Podstawową funkcją tego typu urządzeń jest

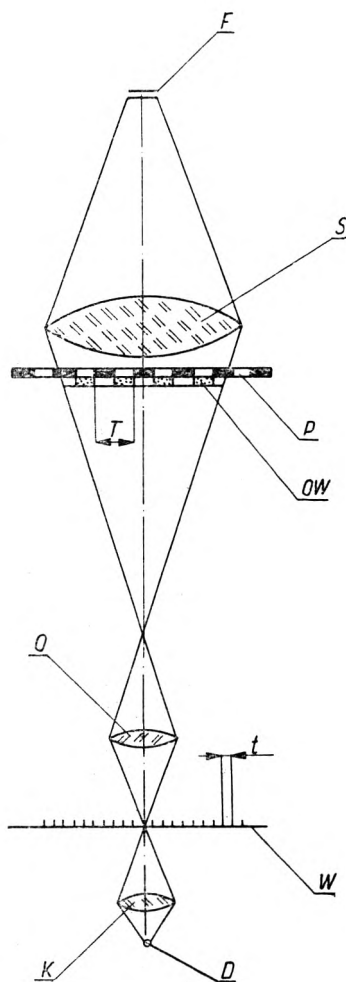
umożliwienie przetworzenia informacji analogowej (ciągłej), w omawianym wypadku wielkości przemieszczenia liniowego, na dogodną w percepcji lub wykorzystywaną bezpośrednio w procesach automatyzacji postać cyfrową (impulsową). Funkcja ta jest realizowana drogą wprowadzenia zmian odpowiednio wytworzonego i ukształtowanego w urządzeniu stałego strumienia świetlnego oraz przetworzenia go na sygnały elektryczne. Zmiany te powstają na skutek modulacji strumienia, stymulowanej przemieszczaniem wzorca wielkości liniowej, charakteryzującego się odpowiednim zespołem cech wyróżniających.

Ogólną zasadą funkcjonowania liniowych przetworników fotoelektrycznych, w których zarówno zmiany strumienia świetlnego, zmiany sygnałów elektrycznych, jak i prezentowany w końcowym rezultacie odczyt cyfrowy pozostają w ścisłym związku z wielkością przemieszczenia wzorca, przedstawia rysunek 1.

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych opracowano oryginalną koncepcję urządzenia pracującego na zaprezentowanej wyżej zasadzie [1, 3]. Układ przedstawiony schematycznie na rysunku 2 ukazuje ideę tego rozwiązania, którą w rozwiniętej formie wykorzystano przy projektowaniu przetwornika HKL 70. W układzie tym strumień energii świetlnej, wytworzony za pomocą źródła światła *D* i formowany przez kolimator *K*, natrafia na swej drodze do fotodetektora *F* na zespół złożony z przesuwnej podziałki wzorcowej *W*, obiektywu *O* i nieruchomej przesłony prążkowej *P*. Wszystkie te trzy elementy są tak ustawione względem siebie i względem kolimatora *K*, że powiększony obraz zerowych prążków dyfrakcyjnych podziałki, składającej się z linii równoległych i równoodległych od siebie, na przemian przezroczystych i nieprzezroczystych, jest tworzony za pomocą obiektywu *O* w płaszczyźnie przesłony prążkowej *P* [3]. Przesłona ta stanowi odpowiednio powiększony i zarejestrowany obraz zerowych prążków dyfrakcji tej podziałki.

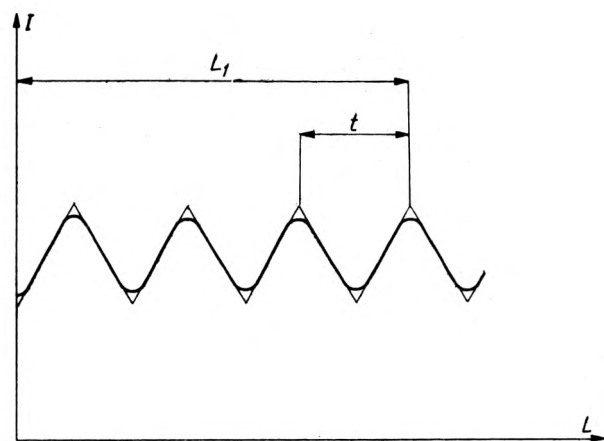


Rys. 1

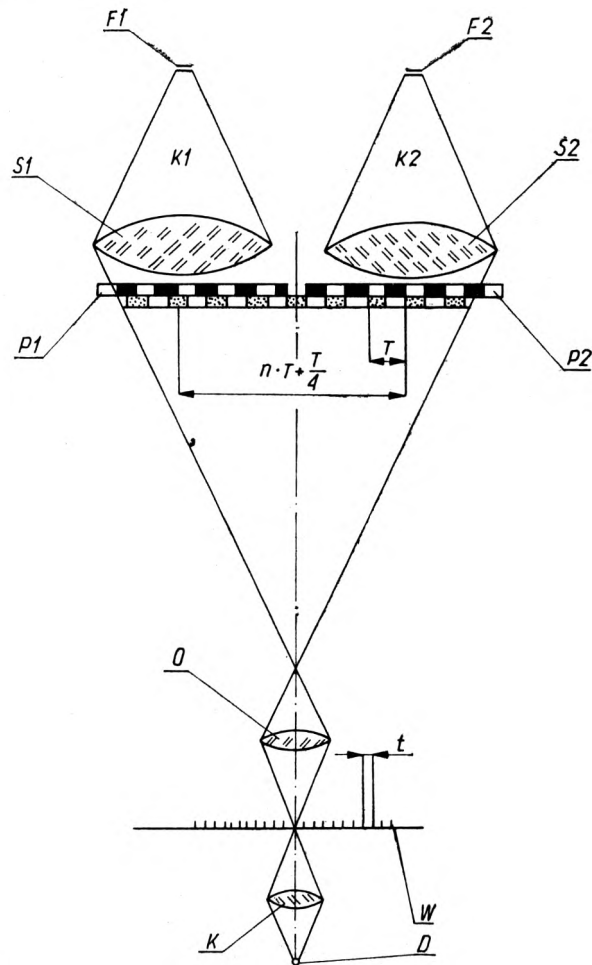


Rys. 2

Podczas przemieszczania podziałki W są wytwarzane impulsy świetlne w wyniku równoczesnego przesłaniania wielu przestrzeni międzyprążkowych przesłony P przez przesuwające się względem nich prążki powiększonego obrazu OW . A zatem, zespół funkcjonalny złożony z podziałki, obiektywu i przesłony dokonuje modulacji strumienia świetlnego i w zastosowaniu do dalszych elementów przetwornika pełni rolę generatora impulsów świetlnych, których charakter przedstawia rysunek 3. Jest tu widoczna ścisła zależność między przebiegiem zmian natężenia strumienia świetlnego I w funkcji przemieszczenia L podziałki a jej własnościami metrologicznymi, co sprowadza się osta-



Rys. 3



Rys. 4

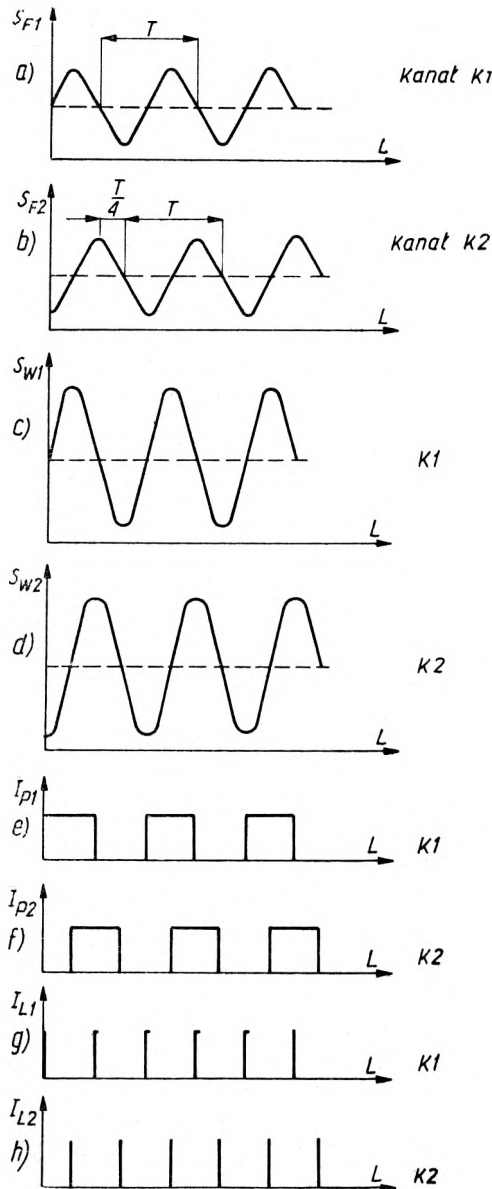
tecnie do równości okresu t podziałki i przedstawionego przebiegu.

Tak uzyskane impulsy świetlne przez soczewkę S trafiają do fotodetektora F , gdzie są zamieniane na odpowiadające im zmiany sygnału elektrycznego, których okres również wynosi t .

Jest rzeczą znamioną dla działania takiego generatora, wynikającą z całkowitego wypełnienia pola widzenia obiektywu prążkami podziałki, że powstająca za przesłoną zmiana strumienia świetlnego jest uśrednionym sygnałem wynikłym ze wzajemnego oddziaływania tych prążków i zespołu prążków przesłony. Stanowi to istotną cechę charakterystyczną omawianego układu i ma zasadnicze znaczenie dla niezawodności jego pracy.

Idea podstawowego układu przetwornika, przedstawiona na rysunku 2, była punktem wyjścia do opracowania koncepcji takiego przyrządu, który zaspokoi istotną w większości automatycznych procesów pomiarowych potrzebę dy-

sprowadzenia ciągłą informację o kierunku przesuwania wzorca pomiarowego, a tym samym umożliwi bezpośrednie utworzenie dwu pól pomiarowych — dodatniej i ujemnej. Detekcja tego kierunku jest możliwa dopiero po podziale strumienia świetlnego na dwa kanały informacyjne i po wprowadzeniu stałego przesunięcia fazowego między informację uzyskiwane z poszczególnych kanałów. Jak ilustruje to rysunek 4, uzyskanie detekcji kierunku jest możliwe drogą prostej modyfikacji układu z rysunku 2. Podział na dwa kanały jest tu przykładowo rozwiązany przez rozdzielenie przesyłanej prądkowej na dwie części $P1$ i $P2$, z któ-



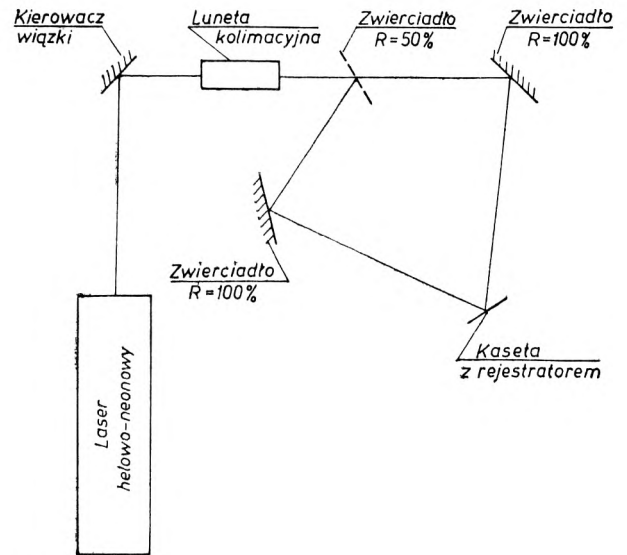
Rys. 5

rych każda współpracuje za pośrednictwem soczewek $S1$ i $S2$ z odpowiednimi fotodetektorami $F1$ i $F2$. Jest charakterystyczne i, jak już wspomniano, nieoptyczne dla prawidłowej dwukierunkowej pracy układu wprowadzenie przesunięcia fazowego, które powinno wynosić

$$\varphi = nT + \frac{T}{4}$$

gdzie: $n = 1, 2, 3, \dots$

Mechanizm współdziałania przesłony, podziałki wzorcowej i fotodetektora w poszczególnych kanałach jest analogiczny z opisanym już wcześniej układem przedstawionym na rysunku 2. Wobec tego, zmiany natężenia strumienia świetlnego za ekranami i odpowiadające im zmiany sygnału elektrycznego S_{F1} , S_{F2} na fotodetektorach dla poszczególnych kanałów mają charakter jak na rysunku 5a, b. Zmiany o takim charakterze są parametrem wejściowym dla odpowiednich układów elektronicznych, których zadaniem w



Rys. 6

efekcie końcowym jest cyfrowa prezentacja wielkości przemieszczenia wzorca.

Istnieje bardzo wiele możliwości rozwiązań takich układów elektronicznych, lecz w ogólności mechanizm ich działania obejmuje następujące podstawowe operacje:

- wzmacnianie sygnałów z fotodetektorów obydwu kanałów, czego rezultatem są sygnały SW_1 , SW_2 przedstawione na rysunku 5c, d;
- formowanie wzmacnionych sygnałów SW_1 , SW_2 w impulsy prostokątne IP_1 , IP_2 (rys. 5e, f);
- generacja impulsów IL_1 , IL_2 odpowiadających narastającym i opadającym zboczom impulsów prostokątnych IP_1 , IP_2 (rys. 5g, h);
- ustalenie kierunków zliczania impulsów IL_1 , IL_2 ;
- jednoczesne zliczanie dla obydwu kanałów, impulsów IL_1 , IL_2 z uwzględnieniem kierunku liczenia (dodawanie lub odejmowanie);
- cyfrowa prezentacja wyniku zliczania na odpowiednich wyświetlaczach.

Jak wynika z przedstawionych przebiegów elektrycznych, przemieszczeniu podziałki wzorcowej o jedną wartość t towarzyszy wygenerowanie i zliczenie w układach elektronicznych czterech impulsów. Dlatego też przemieszczenie podziałki o okresie np. 0,04 mm umożliwia prezentację cyfrową wyniku tego ruchu z rozdzielczością 0,01 mm, a w przypadku podziałki o okresie 0,004 mm z rozdzielczością 1 μm . Istnieje tu zatem bezpośredni związek między rozdzielczością oraz w konsekwencji możliwą do osiągnięcia dokładnością przetwornika, a odpowiednimi własnościami metrologicznymi zastosowanych podziałek wzorcowych. Dlatego niżej przedstawiono w skrócie ideę metod zastosowanych do wykonywania podziałek.

3. Wykonywanie podziałek wzorcowych

Ze względu na mechanizm generacji impulsów świetlnych podziałka musi stanowić opisany już zbiór linii naniesionych na odpowiednio stabilne podłoże, które jednocześnie w minimalnym stopniu tłumi formowany strumień świetlny. Podłożem, w wystarczającym stopniu spełniającym te wymagania, jest płyta o grubości kilku milimetrów, wykonana ze szkła optycznego o wysokiej jakości.

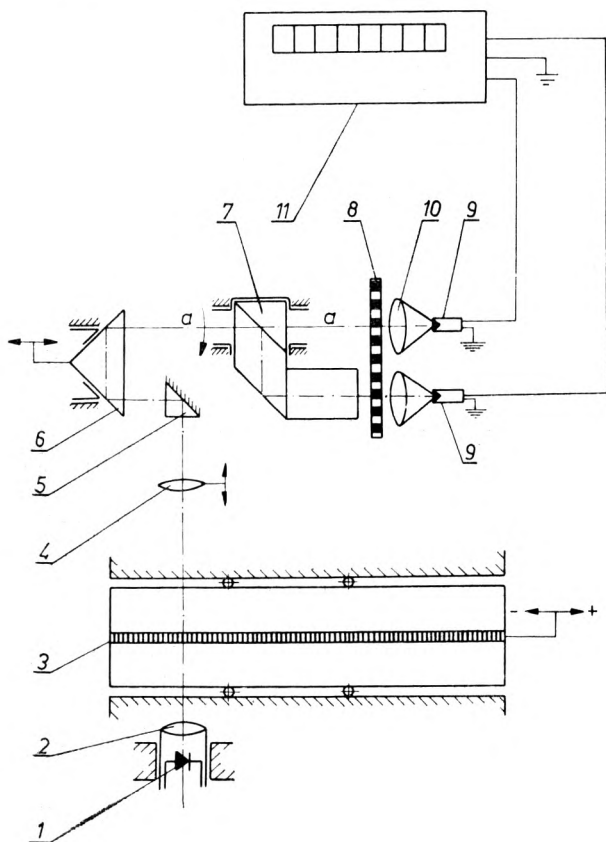
Biorąc pod uwagę potrzebę budowy przetworników zapewniających dokładności pomiaru od 0,01 mm do 0,001 mm, obiektem zainteresowań i prowadzonych w IGIK prac badawczych stały się dwie, aktualnie najbardziej dokładne metody wykonywania podziałek oparte na wykorzystaniu:

- holograficznej rejestracji wzoru interferencyjnego;
- fotograficznej rejestracji wyniku kolejnych ekspozycji obrazu szczeliny, przy zastosowaniu interferometru laserowego do ustalania rozmieszczenia poszczególnych naświetlanych obszarów na materiale rejestrującym.

Pierwsza z tych metod polega na doprowadzeniu, za pomocą odpowiedniego układu, do interferencji dwóch spójnych i płaskich fal świetlnych, których źródłem jest laser, a następnie zarejestrowaniu tak powstałego przestrzennego wzoru interferencyjnego na wysokorozdzielczych materiałach holograficznych [1, 2, 7]. Występuje tu ścisła zależność między długością fali generowanej przez laser, kątem zbież-

Metoda druga sprowadza się do wykonywania w równo-
odległych od siebie miejscach, na materiale rejestrującym,
ciągu pojedynczych ekspozycji obrazu szczeliny. Ekspozycje
te wykonywane są podczas powolnego przemieszczania ma-
teriału rejestrującego względem stałej szczeliny. Moment
wykonania ekspozycji ustalany jest przez minikomputer,
uzyskujący metrologiczną informację o aktualnym położe-
niu zespołu dokonującego przesuwania materiału rejestru-
jącego. Informacja ta pochodzi od wysokiej klasy interfe-
rometru laserowego, którego zwierciadło ruchome jest za-
mocowane do wymienionego zespołu.

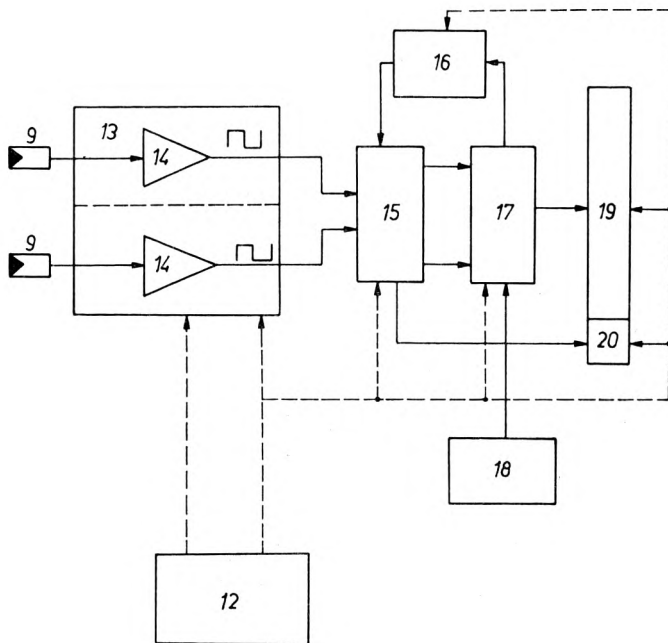
Konstrukcja przetwornika HKL 70 jest konsekwentną realizacją przyjętej i wyżej omówionej koncepcji urządzenia. Konfigurację elementów mających zasadnicze znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania konstrukcji HKL 70 przedstawiono schematycznie na rysunku 7.



Strumień świetlny jest tu wytwarzany i formowany przez diodę elektroluminescencyjną 1 emitującą w zakresie bliskiej podczerwieni oraz soczewkę kondensorową 2. Natrafia on dalej na zespół generatora impulsów świetlnych, złożony z następujących podstawowych elementów:

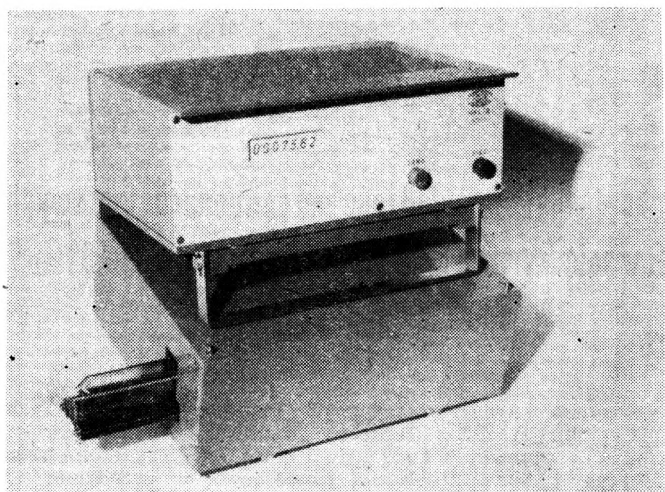
- podziałki wzorcowej 3, umieszczonej w precyzyjnych przewodnicach pryzmatycznych;
- obiektywu 4;
- zespołu pryzmatycznego 7;
- przesłony prążkowej 8.

Na szczególną uwagę w generatorze impulsów zasługuje zespół pryzmatyczny 7. Spełnia on jednocześnie dwa, omówione już i zilustrowane na rys. 4, wymagania dotyczące możliwości utworzenia dwu torów informacyjnych sygnału oraz wprowadzenia właściwego przesunięcia fazowego między sygnałami świetlnymi w tych kanałach. Pierwszy z nich, zespół 7, realizuje drogą optycznego podziału strumienia świetlnego na dwie równe pod względem natężenia części, zaś właściwe przesunięcie fazowe osiągane jest przez obrót tego zespołu wokół osi $a-a$. A zatem, w płaszczyźnie przesłony 8 uzyskiwane są dwa, przesunięte fazowo względem siebie obrazy fragmentu podziałki 3. Impulsy świetlne generowane, w konsekwencji przemieszczania podziałki wzorcowej 3, trafiają po zogniskowaniu przez soczewkę 10 na fototranzystory 9, skąd przetworzone już na odpowiadające im sygnały elektryczne są przekazywane do części elektronicznej 11 HKL 70, której schemat blokowy przedstawiono na rysunku 8.



z fotodetektorów 9 są przekazywane dwukanałowo do zespołu elektronicznego przetwornika analogowo-cyfrowego 14 (rys. 8), gdzie są wzmacniane przez układy wzmacniaczy 13 i jednocześnie porównywane z pewnym napięciem odniesienia. W wyniku takiej operacji na dwu wyjściach bloku 13 uformowane zostają impulsy prostokątne (rys. 5e, f). Impulsy te trafiają następnie do układu detektora kierunku zliczania 15, gdzie jednocześnie z wykrywaniem kierunku przemieszczenia wzorca dokonuje się generacja impulsów odpowiadających zarówno narastającym, jak i opadającym zboczom impulsów prostokątnych (rys. 5g, h). Impulsy te są wprowadzane dalej do układu licznika rewersyjnego 17, skąd po dokonaniu operacji zliczania uzyskiwana jest informacja dla zespołu wyświetlaczy 19 oraz do bloku 16 wykrywającego przejścia przez początek ustalonego z góry układu półosi pomiarowych.

Jeżeli założymy przykładowo, że kierunek przesuwania wzorca w prawo (rys. 7) jest kierunkiem dodatnim, a w lewo kierunkiem ujemnym i ponadto ustalimy punkt zera tej osi za pomocą bloku zerowania 18, to w wyniku współpracy bloków 15, 16, 17, 18 licznik 17 przy przemieszczaniu wzorca w prawo będzie dokonywał operacji dodawania, a operacji odejmowania przy ruchu w lewo. Wynikiem tego jest:



Rys. 9

b) w przypadku półosi ujemnej:
 — wyświetlenie znaku (—) za pomocą członu 20 sygnalizacji kierunku przemieszczenia, sterowanego blokiem 15;
 — wyświetlenie w bloku 19 stale rosnących bezwzględnych wartości cyfrowych pomiaru, lecz już ze znakiem (—) przy ruchu w lewo, zaś dla ruchu w prawo wartości malejących.

Przetwornik HKL 70, wyposażony w transmisyjną podziałkę o gęstości 25 linii/mm umożliwia uzyskanie cyfrowego wyniku pomiaru przemieszczeń z dokładnością lepszą niż 0,01 mm w zakresie od 0 do 115 mm. Jednocześnie ma on możliwość zerowania w dowolnej chwili odczytu, co jest jednoznaczne z dowolnością wyboru miejsca zerowego półosi pomiarowych. Ogólny widok jednej z wersji tego przyrządu przedstawia rysunek 9.

5. Zastosowanie liniowego przetwornika cyfrowego

Opracowany w Instytucie Geodezji i Kartografii liniowy przetwornik cyfrowy może służyć zarówno do pomiaru, jak i zadawania wielkości liniowych. Możliwość ustalania początku pomiaru (możliwość zerowania) w dowolnym miej-

scu wzdłuż całego zakresu pomiarowego pozwala operować zarówno wielkościami dodatnimi, jak i ujemnymi. Zastosowanie jednocześnie dwu przetworników umożliwia pracę w układzie współrzędnych prostokątnych, którego początek można ustalać w dowolnym miejscu zakresu pomiarowego. Dodanie i odpowiednie ustawienie trzeciego przetwornika zamienia płaski układ współrzędnych prostokątnych na prostokątny układ przestrzenny.

Omawiany przetwornik jest opracowany w dwu wersjach konstrukcyjnych — w postaci oddzielnego zespołu pomiarowego oraz w postaci zespołu stanowiącego integralną część składową kompleksowego urządzenia pomiarowego. Pierwsza wersja znajduje zastosowanie przede wszystkim w tych wypadkach kiedy zachodzi konieczność lub celowość zastąpienia, w urządzeniach istniejących, konwencjonalnych zespołów pomiarowych zespołami pomiarowymi z cyfrową prezentacją wyników. Druga wersja przetwornika będzie miała zastosowanie w nowych konstrukcjach przyrządów pomiarowych.

Już w 1980 roku przewiduje się zastosowanie liniowego przetwornika cyfrowego do budowy nanośnika szczegółów. Przetwornik ten znajdzie też zastosowanie w konstrukcji urządzenia przeznaczonego do pomiaru okształtów szyn kolejowych. Omawiany przetwornik w różnych wersjach konstrukcyjnych będzie wykorzystany do opracowania zestawu przyrządów do pomiaru okształtów i przemieszczeń w górnictwie.

Praktyczne zastosowanie liniowego przetwornika cyfrowego w tak różnorodnych warunkach będzie najlepszym sprawdzianem jego jakości i przyczyni się do opracowania nowych wersji konstrukcyjnych tego przyrządu.

LITERATURA

- [1] Kowalski H. Z.: Wykorzystanie interferencji światła spójnego (zarejestrowanego pola interferencyjnego) do pomiaru wielkości liniowej i kątowej. Prace IGiK. T. XXIV 1977 z. 3 (57)
- [2] Kowalski H. Z., Markowski W.: Niektóre problemy związane z otrzymywaniem podziałek holograficznych. Prace IGiK. T. XXVI 1975 z. 3 (63)
- [3] Kowalski H. Z. i inni: Urządzenie do bezpośredniego cyfrowego pomiaru przemieszczeń liniowych i kątowych. Patenty: PRL nr 105 392, USA nr 4 112 295, RFN nr 2 557 136, Francja nr 2 296 836, Kanada nr 1 056 593, Szwajcaria nr 602 981
- [4] Konuchow N. E.: Optoelektronnyje izmeritelnyje priebrazowatel. Energijs. 1977
- [5] Szlandin W. M.: Cyfrowyie izmeritelnyje priebrazowatel i pribory. Wysszaja szkoła. 1973
- [6] Ratner K. M.: Analog to digital converters. Electromechanical Design. 1965 No 1 p. 321—334
- [7] McPhedran R. C. i inni: Profile formation in holographic diffraction gratings. Optics and Laser Technology. 1973

Warunki prenumeraty Przeglądu Geodezyjnego

Prenumeratę krajową przyjmują oddziały RSW „Prasa-Książka-Ruch” oraz urzędy pocztowe i doręczyciele w następujących terminach:

- do 25 listopada na I kwartał, I półrocze i na cały rok następny
- do 10 marca na II kwartał, do 10 czerwca na III kwartał i II półrocze, do 10 września na IV kwartał.

Cena prenumeraty naszego czasopisma w 1980 roku wynosi:

kwartalna	— 90 zł
półroczna	— 180 zł
roczna	— 360 zł
1 egzemplarz	— 30 zł

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę przyjmuje Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto PKO nr 1153-201045-139-11. Prenumerata ta jest droższa od krajowej o 50% dla zleceniodawców indywidualnych i o 100% dla instytucji i zakładów pracy.

Egzemplarze archiwalne czasopism wydawanych przez Wydawnictwo „Sigma” — NOT można nabywać w Dziale Handlowym przy ul. Mazowieckiej 12, 00-048 Warszawa, tel. 26-80-16.