

KRZYSZTOF HOLEJKO

621.396.96 : 913.145

Elektroniczny odległościomierz geodezyjny KG

1. Wstęp

W ostatnich latach coraz szerzej wchodzą w użycie elektroniczne przyrządy do bezpośredniego pomiaru odległości. W Polsce pracami nad zagadnieniem precyzyjnych pomiarów odległości metodami radiotechnicznymi zajmuje się Katedra Techniki Fal Ultrakrótkich Politechniki Warszawskiej.

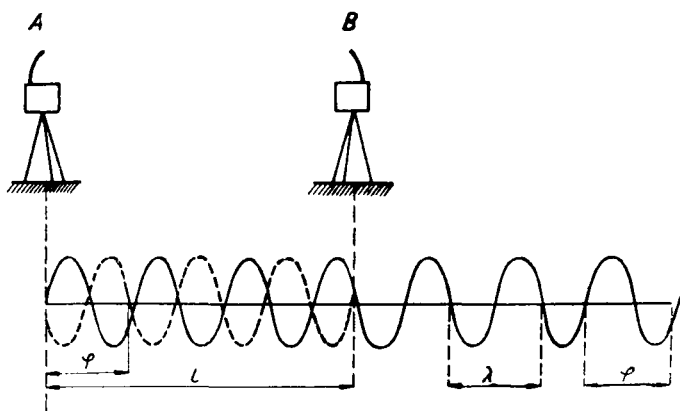
W wyniku tych prac został sporządzony projekt elektronicznego odległościomierza geodezyjnego. Na podstawie tego projektu wykonany został w Warszawskich Zakładach Radiowych prototyp urządzenia. Prototyp ten przeznaczony był początkowo do pomiaru krótkich odległości (do 3 km) z dokładnością rzędu ± 5 cm. Po wykonaniu wstępnych pomiarów, w Katedrze podjęto prace nad usprawnieniem przyrządu. Wykonano między innymi nowy układ mikrofalowy, antenę, poprawiono generator częstotliwości wzorcowych i zastosowano automatyczną regulację częstotliwości. Pozwoliło to na zwiększenie zasięgu urządzenia i znaczne ułatwienie jego obsługi przy jednoczesnym zachowaniu wymiarów i ciężaru instrumentu.

W czerwcu i sierpniu 1962 r. Katedra Techniki Fal Ultrakrótkich oraz Instytut Geodezji i Kartografii przeprowadziły wspólnie pomiary próbne. Pomiary te wykazały, że przyrząd może mierzyć boki o długości od 100 m do 8 km z dokładnością rzędu ± 5 cm. W chwili opracowywania niniejszej publikacji przygotowuje się w Katedrze następny model przyrządu, charakteryzujący się mniejszymi wymiarami, mniejszym ciężarem oraz lepszym przystosowaniem do prac polowych.

2. Zasada pomiaru

Niniejsza praca ma na celu omówienie budowy odległociomierza typu KG i wyników dokonanych nim pomiarów. Czytelnik, który nie zetknął się jeszcze bliżej z zagadnieniem pomiarów odległości metodami radiotechnicznymi, może znaleźć odpowiedni materiał w literaturze.

Zasada pomiaru, podobnie jak w większości tego typu urządzeń, oparta jest na pomiarze przesunięcia fazowego wzorcowej sinusoidalnej fali elektromagnetycznej, rozchodzącej się wzdłuż mierzonego odcinka, na końcach którego ustawione są odpowiednie układy pomiarowe wchodzące w skład przyrządu (rys. 32). W trakcie pomiaru fala wzorcowa transmitowana jest od jednego końca mierzonego boku do drugiego i z powrotem.



Rys. 32. Przebieg fali wzorcowej w przestrzeni pomiarowej

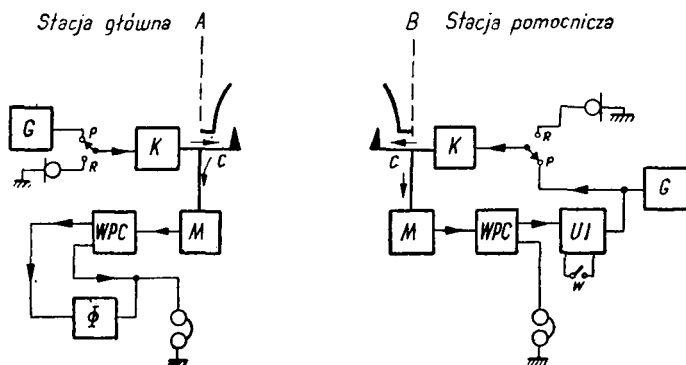
Miarą przesunięcia fazowego fali wzorcowej na mierzonym odcinku jest stosunek $\frac{l}{\lambda}$, gdzie l jest długością boku, a λ długością fali wzorcowej.

Łatwo można zauważyć, że przy długości fali rzędu kilkunastu metrów w każdej chwili czasowej wzdłuż boku o długości $2l$ odkłada się pewna całkowita ilość odcinków λ oraz pewna reszta φ mniejsza od długości fali. W omawianym układzie reszta φ wskazywana jest wprost przez przyrząd, natomiast całkowita ilość fal wzorcowych n wyznaczana jest na podstawie kilku innych odczytów przyrządu, otrzymanych przy różnych, odpowiednio dobranych częstotliwościach fal wzorcowych. Częstotliwości te są tak dobrane, że różnice pomiędzy wskazaniem przyrządu występującym przy podstawowej częstotliwości wzorcowej, a wskazaniem występującym przy innych częstotliwościach pozwalają wprost wyznaczyć poszczególne cyfry liczby n .

W celu eliminacji wpływu terenu, na którym znajduje się mierzony odcinek, jak również w celu koncentracji transmitowanej fali wzdłuż tego odcinka, fale wzorcowe nałożone są na odpowiednią radiową falę nośną.

3. Układ pomiarowy i zasada pracy

Pomiar odległości realizowany jest w zestawie pomiarowym, którego schemat blokowy uwidoczniony jest na rys. 33. Zestaw pomiarowy składa się z dwóch układów pomiarowych ustawionych na końcach mierzonego odcinka.



Rys. 33. Schemat blokowy układu pomiarowego

Część znajdującą się w punkcie A jest tzw. stacją główną, zaopatrzoną w odpowiedni wskaźnik, z którego — na podstawie odpowiednich odczytów — oblicza się odległość.

Część znajdującą się w punkcie B jest tzw. stacją pomocniczą, spełniającą w trakcie pomiaru pomocniczą rolę i obsługa której jest znacznie uproszczona. Obie stacje posiadają telefoniczne połączenie ultrakrótkofalowe umożliwiające porozumienie się operatorów.

Zasada pracy układu jest następująca:

W każdej części układu znajduje się klustron refleksowy (K) (rys. 33), wytwarzający falę nośną w paśmie 3 cm. Częstotliwości tych klustronów są tak dobrane, że ich różnica jest stała i równa 36 MHz. Częstotliwość ta jest tzw. częstotliwością pośrednią na którą nastrojone są wzmacniacze pośredniej częstotliwości odbiorników (WPC). Każdy z klustronów modulowany jest częstotliwościowo jednym z następujących napięć:

- w przypadku rozmowy — napięciem akustycznym wytwarzanym przez mikrofon,
- w przypadku pomiaru — odpowiednim napięciem o częstotliwości wzorcowej.

Podstawową częstotliwością wzorcową jest częstotliwość $F = 15$ MHz stabilizowana kwarcem. Kwarc ten umieszczony jest w termostacie w stacji pomocniczej. Oprócz tej częstotliwości wytwarzane są w generatorze stacji pomocniczej (G) dwie inne częstotliwości F_{10} i F_{100} , wynoszące odpowiednio 13,5 MHz oraz 14,85 MHz. Częstotliwości te włączane są w zależności od operatora i służą do wyznaczania ilości fal w mierzonym odcinku.

Należy tu dodać, że częstotliwości F_{10} i F_{100} pozwalają jedynie wyznaczyć ilość jednostek i dziesiątek odcinków falowych mieszczących się w odległości $2l$, a tym samym ilość jednostek i dziesiątek odcinków $\frac{\lambda}{2}$ w odległości l . Ponieważ podstawowa częstotliwość wzorcowa wynosi 15 MHz przeto $\frac{\lambda}{2}$ wynosi około 10 m. Stąd widać, że przyrząd pokazuje jednoznacznie odległość tylko do 1 km. Przy odległościach większych mierzona odległość należy znać z dokładnością do 1 km.

Równocześnie z modulacją klustronu stacji pomocniczej częstotliwościami F , lub F_{10} , czy F_{100} , klustron stacji głównej modulowany jest częstotliwościowo napięciem o częstotliwości różniącej się o 2 kHz od odpowiedniej częstotliwości wzorcowej stacji pomocniczej. Częstotliwości stacji głównej i pomocniczej ustawione są przy tym parami w sposób opisany w tabl. 1.

Tablica 1

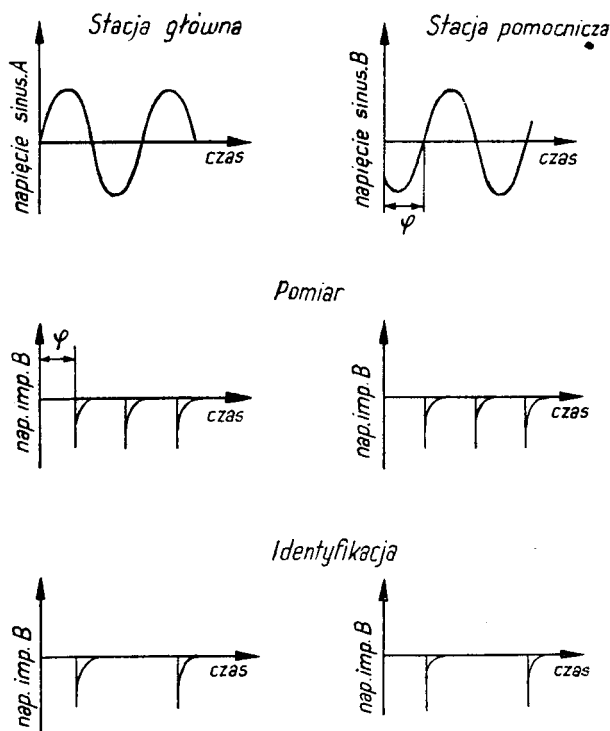
Zestawienie częstotliwości wzorcowych

Numer pomiaru	Stacja pomocnicza	Stacja główna
	Częstotliwość w MHz	
1	$F = 15,000$	$\begin{cases} F_G = 15,002 \\ F_D = 14,998 \end{cases}$
2	$F_{10} = 13,500$	$F_{10} = 13,498$
3	$F_{100} = 14,850$	$F_{100} = 14,848$

W wyniku tego, że na każdy mieszacz (M) obu stacji dostają się fale tak zmodulowane, na wyjściu mieszaczy otrzymuje się sygnały o częstotliwości pośredniej, modulowane amplitudowo sinusoidalnym sygnałem o częstotliwości 2 kHz. Sygnały te, po wzmocnieniu i detekcji, dają na wyjściu odbiorników napięcia o częstotliwości 2 kHz. Różnica faz tych napięć, występujących w obu stacjach jednocześnie, proporcjonalna jest do opóźnienia fazowego odpowiednich sygnałów wzorcowych F , F_{10} czy F_{100} na drodze równej podwójnej odległości obu stacji.

W celu pomierzenia tej różnicy faz informacja o fazie przebiegu wyjściowego stacji pomocniczej przesyłana jest do stacji głównej. Zrealizowane jest to w następujący sposób.

Wyjściowy przebieg sinusoidalny o częstotliwości 2 kHz stacji pomocniczej zamieniony zostaje w tzw. układzie impulsowym (UI) na ciąg impulsów o częstotliwości powtarzania 4 kHz i szerokości około 20 μ s (rys. 34). Przebieg ten moduluje dodatkowo klistron (K). Po odbiorze w stacji głównej przebieg impulsowy zostaje oddzielony od sinusoidalnego sygnału wyjściowego (rys. 34), po czym na oscyloskopowym fazo-



Rys. 34. Kształtowanie impulsów zwrotnych w układzie impulsowym

mierzu (Φ) dokonuje się pomiaru przesunięcia fazowego obu tych przebiegów.

Fazomierz wykonany jest w taki sposób, że sinusoidalny przebieg wyjściowy stacji głównej powoduje kołowy ruch plamki po ekranie lampy, natomiast impulsy przychodzące ze stacji pomocniczej powodują wygaszenie plamki na ekranie. Dzięki temu kątowne położenie wygaszonej przerwy, mierzone względem odpowiednio wygrawerowanej na lam-

pie skali, pozwala odczytywać wprost przesunięcie fazowe. Dla przykładu na rys. 35 uwidoczniiony jest obraz na lampie. Skala według której odczytuje się przesunięcie fazowe wykonana jest w taki sposób, że pełny kąt skali (360°) podzielony jest na 100 działek. Przy takim podziale pełny kąt (100 działek) odpowiada odległości $\frac{\lambda}{2} \approx 10$ m, a jedna działka -- odległości 10 cm.

Przesyłanie impulsów zwrotnych na częstotliwości powtarzania równej podwójnej częstotliwości sygnału różnicowego umożliwia po pierwsze zmniejszenie błędów pomiaru użytego fazomierza, po drugie — lepsze rozdzielenie sygnału zwrotnego od sygnału sinusoidalnego.

W celu rozróżnienia, który z impulsów zwrotnych wskazuje właściwe przesunięcie fazowe zastosowano wyłącznik *W* (rys. 33), umożliwiającą przejście na ciąg impulsów zwrotnych o częstotliwości 2 kHz. Przejście to dokonywane jest na żądanie operatora stacji głównej, przy czym operator ten obserwuje lampę oscylograficzną zawsze jest zorientowany, który z ciągów impulsowych (4 czy 2 kHz) jest wysyłany. Przejście na ciąg impulsów 2 kHz, tj. usunięcie jednej z dwu przerw, nazywane jest identyfikacją.

W metodzie tej odczyt właściwy równy jest średniej z odczytu zidentyfikowanego oraz drugiego odczytu (znikającego w czasie identyfikacji) zmniejszonego o wartość połowy kąta pełnego skali oscyloskopowego fazomierza (50 działek).

W omawianym urządzeniu został zastosowany sposób umożliwiający eliminację wewnętrznych przesunięć fazowych wprowadzanych przez poszczególne układy obu stacji.

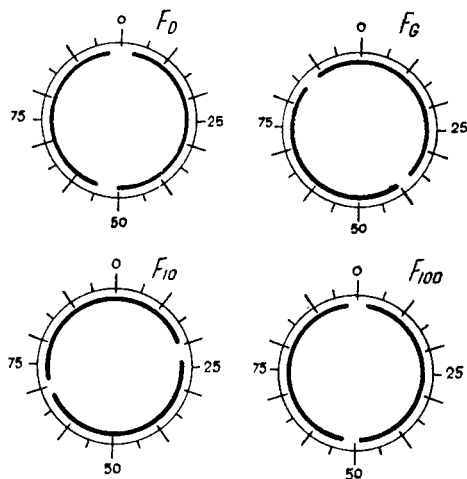
Sposób ten polega na tym, że jako wynik końcowy pomiaru przesunięcia fazowego φ bierze się średnią z dwu pomiarów przeprowadzanych przy użyciu częstotliwości wzorcowych F_D i F_G w stacji głównej. Dzięki wykonaniu 2 pomiarów na częstotliwościach F_D i F_G (tabl. 1) położenie przerwy na lampie przesuwają się względem środka skali raz w lewą, a raz w prawą stronę.

Ponieważ wewnętrzne przesunięcie fazowe wprowadzane przez przyrząd powoduje przesuwanie się przerwy zawsze w jednym kierunku, przeto średnia z odczytów F_D i F_G będzie wolna od tych przesunięć.

Na rys. 35 przedstawiony jest widok lampy oscyloskopowej z położeniami przerw, zdejmowanymi na różnych częstotliwościach wzorcowych. W dalszej części artykułu omówiona zostanie metoda obliczania odległości na podstawie powyższych odczytów.

Tor częstotliwości nośnych wykonany jest w mikrofalowym paśmie 3 cm. Odpowiednie rozgałęzienie mocy promieniowanej i odbieranej pomiędzy anteną, a nadajnik i odbiornik zrealizowane jest w cyrkula-

torze ferrytowym (C). Obie stacje pracują przy tym na polaryzacji pionowej wysyłanych fal. Antena wykonana jest w postaci wycinka parabolidy obrotowej, oświetlanego odpowiednią szerokopasmową tubą. Dzięki takiej konstrukcji antena jest dobrze dopasowana do falowodu zasilającego.



Rys. 35. Położenie przerw na lampie oscyloskopowej

W celu wyeliminowania wpływu odbić od ziemi i otaczających przedmiotów terenowych na dokładność pomiaru, fale nośne obu stacji zmieniane są w zakresie $300 \div 500$ MHz. Ostateczny wynik pomiaru przesunięcia fazowego φ oblicza się przy tym, jako średnią z wszystkich pomiarów wykonanych przy różnych częstotliwościach nośnych. Zwykle pomiarów takich w jednej serii pomiarowej wykonuje się około $13 \div 15$.

4. Niektóre dane konstrukcyjne urządzenia

W skład całego wyposażenia pomiarowego wchodzi 2 stacje, 2 statywy, 2 akumulatory oraz urządzenia pomocnicze do pomiaru warunków meteorologicznych, tj. 2 psychrometry i 2 barometry (pomiar temperatury dokonywany jest suchym termometrem psychrometru).

Przyrząd posiada następujące dane techniczne:

1. Zasięg $100 \text{ m} \div 8 \text{ km}$,
2. Dokładność $\pm 5 \text{ cm}$,
3. Podstawowe częstotliwości wzorcowe 15, 13,5, 14,85 MHz,
4. Częstotliwości nośne $94 \text{ MHz} \pm 200 \text{ MHz}$,
5. Szerokość charakterystyki antenowej $4,5^\circ$ przy 3 dB,

6. Czas nagrzewania się układu od chwili włączenia do chwili rozpoczęcia pomiaru $10 \div 20$ minut, w zależności od temperatury zewnętrznej,
7. Zasilanie — akumulator 12 V, 37 Ah,
8. Pobór prądu stacja główna 3,8 A, stacja pomocnicza 3,2 A,
9. Ciężar stacja główna 16 kg, stacja pomocnicza 13 kg,
10. Wymiary stacji stacja główna $41 \times 41 \times 23$ cm, stacja pomocnicza $41 \times 41 \times 23$ cm.

Zasilanie obu stacji odbywa się z akumulatora poprzez tranzystorową przetwornicę umieszczoną wewnątrz przyrządu. Wewnątrz obudo-



Rys. 36

wy przyrządu znajduje się również schowek na słuchawki, laryngofon i kabel zasilający. Dzięki zastosowaniu laryngofonu i zapinanych słuchawek operator ma w trakcie pomiaru wolne ręce.

Reflektor anteny umocowany jest na lewej bocznej ścianie przyrządu. Rozwiązanie takie jest rozwiązaniem chwilowym podyktowanym koniecznością umocowania nowo wykonanej anteny do istniejącej już obudowy przyrządu. W wykonaniu seryjnym reflektor umocowany zostanie na wierzchu obudowy.

Przyrząd zaopatrzony jest w mierniki kontrolne pozwalające sprawdzać prawidłową pracę i zestrojenie obu stacji. Ogólny widok przyrządu przedstawiony jest na rys. 36.

5. Obliczanie odległości na podstawie odczytów

W celu uwidocznienia metody obliczania odległości rozpatrzony zostanie przykład obliczenia boku o długości ok. 2,5 km. Wykonane w tym pomiarze odczyty przesunięć fazowych, na różnych częstotliwościach, zestawione są w tabl. 2, natomiast obraz lampy oscyloskopowej dla tych odczytów przedstawiony jest na rys. 35.

Tablica 2

Zestawienie odczytów

Częstotliwość	Odczyt zidentyfikowany	Odczyt niezidentyfikowany
F	$\begin{cases} F_G = 88,5 \\ F_D = 2,0 \end{cases}$	$\begin{cases} F_{Gn} = 40,0 \\ F_{Dn} = 54,5 \end{cases}$
F_{10}	$F_{10} = 71,5$	$F_{10n} = 24,0$
F_{100}	$F_{100} = 52,0$	$F_{100n} = 2,0$

W tablicy tej odczyty F_D , F_G , F_{10} i F_{100} oznaczają odczyty zidentyfikowane. Odczyty F_{Gn} , F_{Dn} , F_{10n} i F_{100n} są odczytami niezidentyfikowanymi.

Średnie przesunięcie fazowe na częstotliwości F oblicza się następująco:

$$\varphi = \frac{\frac{F_D - F_G}{2} + \frac{F_{Dn} - F_{Gn}}{2}}{2} = \frac{\frac{102,0 - 88,5}{2} + \frac{54,5 - 40,0}{2}}{2} = 7,0 \text{ dz} \quad (1)$$

Ilość jednostek odcinków $\frac{\lambda}{2}$ zawartych w mierzonej odległości (l) wyznacza ilość dziesiątek liczby równej różnicy odczytów:

$$F_D - F_{10} \quad \text{lub} \quad F_{Dn} - F_{10n} \quad (2)$$

po podstawieniu otrzymuje się:

$$102,0 - 71,5 = 30,5 \quad \text{lub} \quad 54,5 - 24 = 30,5$$

stąd ilość jednostek fal wynosi 3.

Ilość dziesiątek odcinków $\frac{\lambda}{2}$ zawartych w odległości l wyznacza z kolei ilość dziesiątek liczby równej różnicy odczytów:

$$F_D - F_{100} \quad \text{lub} \quad F_{D_n} - F_{100_n} \quad (3)$$

po podstawieniu:

$$102,0 - 52,0 = 50 \quad \text{lub} \quad 54,2 - 2,0 = 52,5$$

stąd ilość dziesiątek fal wynosi 5.

Ponieważ mierzona odległość l zawiera się w granicach $2 < l < 3$ km, przeto ilość setek półfalowych odcinków mieszcząca się w mierzonym boku wyniesie 2. Stąd stosunek $\frac{l}{\frac{\lambda}{2}}$ wynosi:

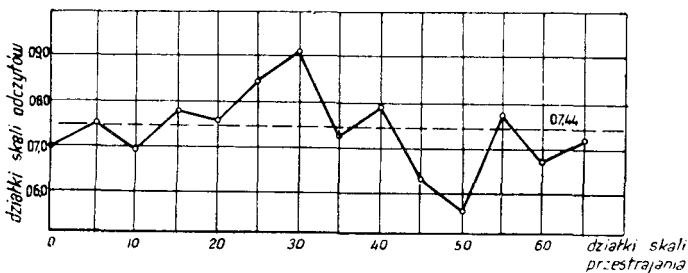
$$\frac{l}{\frac{\lambda}{2}} = 253,070.$$

Przyjmując w pierwszym przybliżeniu, że długość fali $\lambda = 20$ m, otrzymuje się przybliżoną wartość odległości

$$D_{p_1} = 2530,70 \text{ m}. \quad (4)$$

Odległość D_{p_1} obliczona przy założeniu, że prędkość rozchodzenia się fal wynosi 300 000 km/s obarczona jest znacznym błędem. W celu dokładnego obliczenia odległości mierzonej należy:

1. Wykonać serię pomiarów na różnych częstotliwościach nośnych w celu eliminacji wpływu odbić od ziemi.
2. Wyznaczyć dokładnie długość fali wzorcowej przez dokładne wyznaczenie prędkości rozchodzenia się fal.
3. Wprowadzić stałą poprawkę instrumentu.



Rys. 37. Wykres rozrzutów

Ad. 1. Seria pomiarów przeprowadzana na 13 różnych częstotliwościach wzorcowych przedstawiona jest na rys. 37. Na osi odciętych wykresu znajdują się działki skali przestrzajania klistronu. Zakres od 1—64

działek odpowiada przestrojeniu o ok. $300 \div 500$ MHz w zależności od egzemplarza klistronu. Na osi rzędnych wykresu naniesione są średnie wartości odczytów.

Odczyty uwidocznione w tabeli 2 i na rys. 35 dotyczą częstotliwości nośnej odpowiadającej 10 działkom na rys. 37. W omawianym przypadku średnia ze wszystkich 13 odczytów wynosi 7,4 dz.

Stąd poprawiona odległość:

$$D_{p_2} = 2530,74 \text{ m.} \quad (5)$$

Ad. 2. W celu uwzględnienia poprawki na prędkość rozchodzenia się fal ostatni wynik należy podzielić przez stosunek:

$$p = \frac{300\,000}{V} = \frac{300\,000}{\frac{C}{n_r}} = 1,000692 \cdot n_r, \quad (6)$$

gdzie:

v — prędkość rozchodzenia się fal radiowych w danych warunkach atmosferycznych,

c — prędkość rozchodzenia się fal radiowych w próżni równa $299792,5 \pm 0,4$ km/s,

n_r — współczynnik refrakcji.

Wartość współczynnika refrakcji zależy od warunków atmosferycznych. Zależność tę podaje formuła Essena i Froom'a.

$$(n_r - 1) \cdot 10^{-6} = \frac{103,49}{T} (p - e) + \frac{86,26}{T} \cdot \left(1 + \frac{5748}{T}\right) \cdot e, \quad (7)$$

gdzie:

T — temperatura w °K,

p — ciśnienie atmosferyczne w mm Hg,

e — prężność pary wodnej w mm Hg.

W trakcie wykonywania pomiaru odległości dokonuje się kilkakrotnie pomiaru warunków meteorologicznych na obu końcach mierzonego boku. Przy obliczaniu współczynnika refrakcji należy wziąć średnią wartość dla warunków meteorologicznych, ze wszystkich uzyskanych pomiarów. W konkretnym przypadku uzyskano następujące średnie warunki meteorologiczne:

$$t = 20,6^\circ\text{C}, \quad e = 7,4 \text{ mm Hg}, \quad p = 751,8 \text{ mm Hg}.$$

Natomiast współczynnik refrakcji, obliczony wg wzoru (7), wynosi $n_r = 1,000307$ stąd:

$$D_{p_3} = \frac{D_{p_2}}{p} = \frac{2530,74}{1,000307 \cdot 1,000692} = 2528,22 \text{ m.}$$

Ad. 3. Stała poprawka instrumentu wynosi — 0,77 m i wynika stąd, że droga fali pomiarowej jest o 77 cm dłuższa od mierzonej odległości, wyznaczonej przez odpowiednie piony spuszczone ze środka obudowy obu instrumentów. Poprawka ta, obliczona teoretycznie, była kilkakrotnie sprawdzana w trakcie pomiaru.

Ostatecznie wynik pomiaru D_p wynosi:

$$D_p = D_{p_3} - 0,77 \text{ m} = 2528,223 - 0,77 = 2527,45 \text{ m}.$$

Dla zorientowania się w dokładności pomiaru ostatni wynik należy porównać z odległością wzorcową. Odległość ta mierzona była metodami geodezyjnymi z błędem względnym rzędu $1 \cdot 10^{-6}$. Przy takiej wysokiej dokładności, w porównaniu z dokładnością odległościomierza, długość wzorcową można traktować jako prawdziwą.

Długość wzorcową wynosiła:

$$D_w = 2527,44.$$

Stąd różnica $D_w - D_p$ może być przyjęta jako błąd prawdziwy (M).

$$M = D_w - D_p = -0,01 \text{ m}.$$

6. Wyniki badania polowego

(opracowane wspólnie z W. Krzemińskim)

Prototyp radiowego odległościomierza geodezyjnego został w maju 1962 r. przez Katedrę Techniki Fal Ultrakrótkich PW udostępniony Pracowni Pomiarów Elektromagnetycznych IGiK, w celu wypróbowania i przebadania go w warunkach polowych.

Pomiary przeprowadzono w ostatnich dniach maja i pierwszych dniach czerwca (I grupa pomiarów) oraz w połowie sierpnia 1962 r. (II grupa). Jako odcinków kontrolnych użyto boków siatki bazowej „Komorowo” (rys. 38) oraz samej bazy z ustabilizowanymi odpowiednio punktami pośrednimi. W ten sposób dysponowano jedenastoma różnymi odległościami wzorcowymi od 500 m do 5 km. Siatka bazowa „Komorowo” położona jest w terenie płaskim wysokości średniej 120 m nad poziomem morza. Celowe przebiegają od 7 do ok. 30 m nad powierzchnią gruntu, przy czym pokrycie gruntu na poszczególnych bokach siatki jest różne (las, łąka, zabudowania). Jedynie sama baza położona jest w przecince leśnej, przy czym wzdłuż całej długości celowa przebiega równolegle i nieco poniżej linii energetycznej wysokiego napięcia. Błąd względny wyznaczenia odcinków siatki bazowej wynosi od $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ do $\pm 1,5 \cdot 10^{-6}$. Tak wysoka dokładność w porównaniu z dokładnością odległościomierza pozwala przyjąć długość odcinków kontrolnych za bezbłędne, a różnice $D_w - D_p$ uważać za błędy prawdziwe.

Tablica 3

Zestawienie wyników pomiarów

Lp. i nr odcinka	Data czas	$D_{wzorc.}$ m	$D_{pom.}$ m	Ilość serii	m	$M - D_w - D_p$	Uwagi wilgotność – mmHg
1 I	7.06.62 16,0 – 18,5	500,01	499,93	3	$\pm 0,03$	$+0,08$	pogodnie, słońce, lekki wiatr, temp. $+16^\circ\text{C}$, wilg. 5,6
2. II	29.05.62 13,5 – 17,0	576,20	576,13	2	$\pm 0,03$	$+0,07$	pochmurno, bezwietrznie, temp. $+18^\circ\text{C}$, wilg. 9,0
3. III	7.06.62 11,0 – 12,5	960,02	959,96	2	$\pm 0,05$	$+0,06$	zachmurzenie zmienne, temp. $+13^\circ\text{C}$, wilg. 5,3
4. IV	8.06.62 11,0 – 13,0	1032,26	1032,27	3	$\pm 0,02$	$-0,01$	słonecznie, bezwietrznie, temp. $+18^\circ\text{C}$, wilg. 6,2
5. V	30.05.62 19,0 – 20,0	1076,20	1076,19	2	$\pm 0,06$	$+0,01$	pochmurno, przelotne opady, temp. $+13^\circ\text{C}$, wilg. 9,0
6. VII	14.06.62 12,8 – 15,0	1901,75	1091,69	4	$\pm 0,03$	$+0,06$	zachmurzenie zmienne, lekki wiatr, temp. $+19^\circ\text{C}$, wilg. 7,0
7. VII	14.08.62 9,5 – 10,7	1902,02	1902,09	2	$\pm 0,02$	$-0,07$	pochmurno, lekki wiatr, temp. $+15^\circ\text{C}$, wilg. 9,4
8. VII	19.08.62 17,2 – 17,8	1902,02	1902,08	2	$\pm 0,02$	$-0,06$	pochmurno, lekki wiatr, temp. $+19^\circ\text{C}$, wilg. 9,1
9. VI	15.08.62 10,7 – 11,8	2108,51	2108,47	3	$\pm 0,02$	$+0,04$	zachmurzenie zmienne, lekki wiatr, temp. $+15^\circ\text{C}$, wilg. 8,8
10. VI	31.05.62 11,2 – 14,2	2108,46	2108,45	3	$\pm 0,06$	$+0,01$	zachmurzenie, przelotny deszcz, temp. $+16^\circ\text{C}$, wilg. 8,5
11. VI	6.06.62 11,0 – 17,0	2108,46	2108,35	4	$\pm 0,07$	$+0,11$	pochmurno, silny wiatr, temp. $+10^\circ\text{C}$, wilg. 4,8
12. VIII	14.08.62 11,8 – 18,3	2527,44	2527,43	3	$\pm 0,03$	$+0,01$	pochmurno, bezwietrznie, temp. $+16^\circ\text{C}$, wilg. 9,2
13. VIII	27.08.62 12,3 – 13,2	2527,44	2527,47	2	$\pm 0,02$	$-0,03$	słonecznie, wiatr, temp. $+23^\circ\text{C}$, wilg. 11,2
14. VIII	16.06.62 16,0 – 17,0	2527,19	2527,18	2	$\pm 0,02$	$+0,01$	słonecznie, wiatr, temp. $+20^\circ\text{C}$, wilg. 8,0
15. IX	16.08.62 17,0 – 17,5	3143,83	3143,79	2	$\pm 0,02$	$+0,03$	zachmurzenie zmienne, przelotne opady, lekki wiatr, temp. $+22^\circ\text{C}$, wilg. 14,6
16. X	16.08.62 15,5 – 16,2	3423,59	3423,60	2	$\pm 0,03$	$-0,01$	słonecznie, sucho, lekki wiatr, temp. $+22^\circ\text{C}$, wilg. 13,7
17. X	17.08.62 10,0 – 11,0	5061,53	5061,58	2	$\pm 0,02$	$-0,05$	słonecznie, sucho, bezwietrznie, temp. $+22^\circ\text{C}$, wilg. 13,7

Otrzymane wyniki, acz jeszcze dosyć szczupłe i osągnięte w nienajlepszych i nietypowych warunkach (niesprawny w pomiarach personel) mogą posłużyć do wstępnej oceny instrumentu.

Jego dokładność można zarówno na podstawie niezgodności wewnętrznych i błędów prawdziwych określić na ± 5 cm. W rozpatrywanym zakresie odległości do 5 km, błąd ten nie zależał od długości mierzonego odcinka. W jednym przypadku (pomiar 11) otrzymano błąd skrajnie duży — 11 cm, przy błędzie średnim obliczonym z niezgodności wewnętrznych ± 7 cm. Pomiar ten wykonany był w bardzo złych warunkach i nie może być uważany za typowy.

Warto tu dodać, że pomiary wykonywane w pierwszej grupie pomiarów charakteryzowały się znacznie większymi rozrzutami poszczególnych pomiarów w serii pomiarowej. Ponieważ warunki odbić od ziemi były w obu seriach pomiarowych mniej więcej jednakowe (ten sam teren, jednakowa wilgotność gruntu i te same pokrycie roślinne) przeto należy sądzić, że różnice w rozrzutach spowodowane były raczej zbyt intensywną modulacją fali nośnej sygnałem o częstotliwości wzorcowej i związana z tym większą trudnością i krytycznością zestrojenia obu stacji.

W przerwie pomiędzy obiema grupami pomiarów dokonano zmniejszenia wskaźnika modulacji. W drugiej grupie pomiarów rozrzuty poszczególnych pomiarów od wartości średniej nie przekraczały przeciętnie ± 20 cm, a w sporadycznych przypadkach ± 30 cm.

Sam instrument jest prosty w obsłudze i nie wymaga specjalnych kwalifikacji obsługującego. Nie wyklucza to konieczności posiadania w zespole, bądź w grupie zespołów pomiarowych, wykwalifikowanego technika mogącego w razie potrzeby usunąć drobne uszkodzenia.

Obok pomiarów przedstawionych w tabl. 3 wykonano pomiar odległości 15 km. Wobec braku odległości wzorcowej pomiar ten może scharakteryzować błąd obliczony z niezgodności wewnętrznych serii $\pm 0,03$ m. Należy dodać, że nie wykonano pełnej serii 13 pomiarów wobec słabego odbieranego sygnału. Pomiar ten miał na celu zorientowanie co do ewentualnego zasięgu instrumentu, zasadniczo przewidzianego do pomiaru odległości krótszych — rzędu 8 km.

Krótki okres pracy instrumentu nie pozwolił na ocenę stałości częstotliwości wzorcowej. Wydaje się ona być dobra. Konieczne jednak jest kontrolowanie jej co jakiś czas, zwłaszcza w pierwszym okresie pracy.

Ogólnie można stwierdzić, że instrument ten spełnia wszystkie warunki stawiane odległościomierzom tego typu.

W zakończeniu pragnę złożyć wyrazy podziękowania doc. dr S. Słowińskiemu za przejrzenie i ocenę niniejszej pracy.

LITERATURA

- [1] *Holejko K.*: Fizyczne podstawy pomiarów krótkich odległości geodezyjnych za pomocą przyrządów elektronicznych. Archiwum Elektrotechniki, tom X, zeszyt 3, Warszawa 1960.
- [2] *Holejko K.*: Wpływ odbić od ziemi na dokładność pomiaru niektórych elektronicznych odległościomierzy geodezyjnych. Archiwum Elektrotechniki, tom X, zeszyt 3, Warszawa 1961.
- [3] *Wadley T. L.*: The tellurometer system of distance measurement. Empire Survey Review, Vol XIV, 105, 106.

Rękopis złożono w Redakcji w październiku 1962 r.

КШИШТОФ ХОЛЕЙКО

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ РАДИОДАЛЬНОМЕР ТИПА КГ

Резюме

Представляется описание геодезического радиодальномера типа КГ, разработанного на Кафедре Техники Ультракоротких Волн Варшавского Политехнического Института.

Измерение расстояния описываемым радиодальномером заключается в определении фазового сдвига эталонной электромагнитной волны синусоидальной формы, которая распространяется вдоль измеряемой стороны, на концах которой устанавливается измерительная аппаратура. Эта аппаратура состоит из двух станций, главной и вспомогательной.

Главная станция имеет осциллоскопный фазомер. Вспомогательная станция во время измерений играет вспомогательную роль ретрансляционной станции. Обслуживание этой станции значительно проще главной. Оператор на главной станции, который по существу производит измерение, имеет возможность в любой момент проконтролировать правильность работы вспомогательной станции. Между станциями имеется ультракоротковолновая телефонная связь.

Показания фазомера на главной станции пропорциональны к фазовому сдвигу эталонной волны, полученному на удвоенному расстоянии, т. е. к вспомогательной станции и обратно.

Измерение расстояния заключается в определении числа полных длин эталонных волн и их остатка, получаемого в виде фазового сдвига. Это целое число полных длин волн укладываемых в расстоянии получается из нескольких отсчетов по фазометру, при двух различных соответственно подобранных частотах эталонной волны.

Несущая волна имеет длину около 3 см, основная эталонная частота составляет 15 мГц. В разработанной аппаратуре применен метод элиминирующий фазовые сдвиги вводимые собственной радиосистемой.

Для увеличения точности отсчета система собрана особым способом, так что на экране осциллопической трубки одновременно изображаются два разрывы, один из которых можно временно исключить. По этим двум разрывам (рис. 35) получается два отсчета, при чем средняя по ним является искомой величиной фазового сдвига.

Система работает на вертикальной поляризации, а нужное распределение мощности высокой частоты для передатчика, антенны и приемника производится в ферритовом циркуляторе.

Вся аппаратура очень проста в обслуживании, и по опыту проведенному до настоящего времени, позволяет измерять расстояния до 8 км с точностью ± 5 см.

Описываемый радиодальномер является прототипной системой и во время когда пишется настоящая статья, разрабатывается вторая модель. Новая разработка характеризуется значительно уменьшенными габаритами и весом.

KRZYSZTOF HOLEJKO

ELECTRONIC DISTANCE-METER FOR GEODETIC APPLICATIONS TYPE KG

Summary

The present paper contains some information regarding the electronic distance meter, which has been developed at the Ultra-Short Wave Department, Technical University of Warsaw.

The distance measurement is based on the phase shift measurement of a standard sinusoidal radio wave, travelling along the measured distance.

Two points limiting the measured distance are equipped with suitable instruments. One of them called the Main station is provided with an appropriate oscilloscope phase meter. The other one called the Response station plays in the measuring process only an auxiliary retransmitting role, and its operation is quite simple.

The operator of the Main station who carries out the entire measurement, is able to check at every moment the proper operation of the Response station. Both stations are linked by the duplex telephone opera-

ting on the same channel as used for measurement. The phase meter readings are proportional to the phase shift of a standard radio wave travelling the double measured distance from the Main to the Response station and back again.

To find the distance under measurement it is necessary to measure the phase shift of the standard wave and to determine the full number of waves contained in twice the measured distance. In order to determine the unknown number of waves, several phase measurements at two different standard frequencies are performed. The main standard frequency is 15 Mc/s, and the wavelength of the carrier is about 3 cm.

To avoid phase shift errors caused by the instrument circuitry, a special method to eliminate them is used.

The instrument is developed in such a way that on the phase meter screen a circular time base is seen, with two breaks of which one can be removed.

Those breaks give two readings and the proper reading is mean of those two.

The signal in both stations is transmitted on a vertical polarisation, and the proper separation of the microwave power between the transmitter receiver and the antenna is accomplished by means of a ferrite circulator.

The instrument allows to measure the distances up to 8 km with the accuracy of ± 5 cm.

The operation of the instrument is simple. The equipment just described in the paper is a prototype. At the present time a new model of such an instrument which is much lighter and of smaller dimensions is under development.