

ZOFIA MAJDANOWA

528.516.089.6

Badania geodezyjne polskich dalmierzy mikrofalowych typu TELEMETR

Wstęp

Rezultatem prac prowadzonych w Polsce nad zbudowaniem geodezyjnego dalmierza mikrofalowego było skonstruowanie w 1962 roku w Katedrze Radiolokacji Politechniki Warszawskiej modelu dalmierza radiowego, nazwanego KG-1. Dalmierz ten poddany został badaniom geodezyjnym w Instytucie Geodezji i Kartografii, które oprócz zalet ujawniły szereg jego wad eksploatacyjnych wynikających między innymi z dosyć dużego ciężaru (stacja główna — 16 kg, stacja pomocnicza — 13 kg), znacznych rozmiarów i ekscentrycznej anteny. Otrzymane wyniki wykazały, że jeśli chodzi o dokładność instrument spełnił założone wymagania; dla boków do 5 km otrzymywano błędy prawdziwe ± 5 cm.

Zebrane doświadczenia pozwoliły opracować następną wersję dalmierza radiowego o mniejszych wymiarach i ciężarze (stacja główna — 10,6 kg, stacja pomocnicza — 9,8 kg) różniącą się poza tym od poprzedniej niewielkimi zmianami konstrukcyjnymi oraz anteną umieszczoną na górnej płycie obudowy. Instrument nowej wersji nazwany został Telemetrem OG-1. Pierwszą serię prototypową dalmierzy typu Telemetr OG-1 w ilości czterech egzemplarzy zbudowano na Politechnice Warszawskiej przy współudziale pracowników Zakładu Pomiarów Podstawowych IGiK.

Przewidując większe zapotrzebowanie służby geodezyjnej w Polsce jak i zagranicą na te instrumenty, postanowiono uruchomić ich produkcję w jednym z zakładów przemysłu elektronicznego. W latach 1964—1965 Warszawskie Zakłady Radiowe „RAWAR” zbudowały serię prototypową dalmierzy radiowych, nazwaną Telemetrami RG-1 dla odróżnienia od egzemplarzy politechnicznych. Niestety „RAWAR” z powodu braku zamówień nie podjął produkcji następnych serii i poprzestał na zbudowanych tylko czterech kompletach prototypowych.

Układ pomiarowy dalmierzy mikrofalowych Telemetr OG-1 i RG-1 składa się z dwóch niewymiennych stacji:

- 1) stacji głównej, w której dokonuje się pomiaru przesunięcia fazowego fali wzorcowej zrealizowanego w układzie fazomierza zbudowanego na lampie oscyloskopowej,
- 2) stacji pomocniczej, która spełnia rolę stacji retransmitującej.

Podstawowe częstotliwości wzorcowe stacji pomocniczych dalmierzy Telemetr OG-1 i RG-1 ustalone są jak niżej:

TELEMETR OG-1	TELEMETR RG-1
$F = 15\,000\,000\text{ Hz,}$	$F = 14\,998\,000\text{ Hz,}$
$F_{10} = 13\,500\,000\text{ Hz,}$	$F_{10} = 13\,498\,200\text{ Hz,}$
$F_{100} = 14\,850\,000\text{ Hz.}$	$F_{100} = 14\,848\,020\text{ Hz.}$

Systematyczna poprawka wynikająca ze zmiany częstotliwości kwarców w Telemetrze RG-1 wprowadzana jest do pomierzonych boków wg wzoru:

$$D_0 - D_{RG} = 13,3 \cdot 10^{-5} \cdot D.$$

Fale wzorcowe nałożone są na falę nośną o częstotliwości ok. 9200 MHz co odpowiada długości fali ok. 3 cm.

W celu częściowej eliminacji błędów spowodowanych odbiciami fali elektromagnetycznej od ziemi, częstotliwość nośna może być przestrajana w granicach 400 MHz, co pozwala wykonać kilkunastokrotny pomiar odległości przy zmianie różnicy faz fali nośnej bezpośredniej i odbitej spotykających się w jednym punkcie. Uśrednienie wskazań fazomierza przy kilkunastu różnych falach nośnych daje znaczną kompensację błędu odbicia.

Ze względu na parametry użytkowe Telemetry zaliczane są do średniej klasy dalmierzy. Ich zasięg dla typów OG-1 wynosi: 100 m do 15 km, dla RG-1: 100 m do 20 km.

Szczegółowe dane dotyczące budowy i zasady działania polskich dalmierzy radiowych opisane zostały w pracy konstruktora dr K. Holeyko.

W Zakładzie Pomiarów Podstawowych IGiK prowadzone były badania tzw. „typu” poszczególnych kompletów prototypowych dalmierzy radiowych. Celem tych badań było określenie dla każdego instrumentu:

- 1) optymalnego zakresu pracy,
- 2) poprawek,
- 3) praktycznego zasięgu,
- 4) indywidualnych cech eksploatacyjnych,
- 5) dokładności.

Egzemplarze serii prototypowych poddawane były badaniom polowym w szczególnie niekorzystnych warunkach terenowych i atmosferycznych

celem wykrycia wszystkich ukrytych wad instrumentów. Na podstawie opracowanych i przeanalizowanych wyników pomiarowych wg podanych wyżej punktów sporządzano protokoły szczegółowo omawiające zalety i wady każdego instrumentu. Protokoły te służyły producentowi do dokonywania pewnych ulepszeń i zmian w dalmierzach.

Oprócz badań tzw. „typu” przeprowadzane są w Instytucie Geodezji i Kartografii badania dalmierzy mikrofalowych przed oddaniem ich do eksploatacji w przedsiębiorstwach.

Efektem tych badań jest opracowanie metryki dalmierza, w której podane są jego cechy indywidualne jak: poprawki, roboczy zakres przestrajania częstotliwości nośnej i maksymalny zasięg.

Przed wyznaczeniem geodezyjnie charakterystycznych danych dalmierzy, bezwzględnie koniecznym warunkiem zachowania ich dokładności jest prawidłowe ustawienie częstotliwości wzorcowych generatorów kwarcowych. Zagadnienie to zostało szczegółowo opisane w pracy [7]. Dokładność boków mierzonych dalmierzami elektromagnetycznymi zależy zarówno od prawidłowego wyznaczenia poprawek instrumentów, jak również od stałej ich aktualizacji.

Stały nadzór Instytutu Geodezji i Kartografii nad pracami geodezyjnymi w zakresie pomiarów elektromagnetycznych odległości zobowiązuje Zakład Pomiarów Podstawowych do okresowych kontroli dalmierzy. Jako zasadę przyjęto, iż sprawdzanie dalmierzy należy wykonywać trzy razy w ciągu sezonu pomiarowego, a ponowne wyznaczenie poprawek jest konieczne po naprawie uszkodzeń układu mikrofalowego.

Określenie optymalnego zakresu pracy

Przed wyznaczeniem poprawek dalmierzy radiowych należy dokonać wyboru optymalnego zakresu pracy instrumentu, co sprowadza się do ustalenia zakresu przestrajania klustronów i podania miejsc na których należy wykonywać pomiar.

Jak już podałam na wstępie zakres przestrajania częstotliwości nośnej w dalmierzach typu Telemetr wynosi około 400 MHz. Częstotliwość nośna przestrajana jest przez ustawianie położenia wyskalowanego bębna nazwanego wnęką w zakresie od 0 do 14 działek. Podczas pomiarów dalmierzami radiowymi najpierw ustawiana jest częstotliwość nośna wg wskazań wnęki stacji pomocniczej, a do niej dostraja się stację główną. Należy tu podkreślić, że numery zestrojenia częstotliwości nośnych są orientacyjne, nie odpowiadają z góry założonym określonym częstotliwościom i w związku z tym nie są takie same w obu stacjach. Pełny zakres zestrojenia dalmierzy jest mierzony laboratoryjnie, stanowi to zwykle maksy-

malny zakres przestrajania częstotliwości, w którym jest jeszcze możliwa praca instrumentu.

Pomiary geodezyjne dla wyznaczenia optymalnego zakresu pracy instrumentu wykonywane są na krótkim (270 m) odcinku. Polegają one na pomiarze wybranego boku na wszystkich możliwych do zestrojenia działkach wnęki, w celu sprawdzenia charakterystyki klistronu w pełnym zakresie przestrajania. Pomiary te wykonuje się kilkakrotnie przestrajając stację pomocniczą w kierunku rosnących wskazań wnęki i odwrotnie. W czasie obserwacji notuje się w dzienniku pomiarowym numery wnęk stacji pomocniczej i stacji głównej, oraz w obydwu stacjach promieniowaną moc wskazywaną przez zegar „prąd kryształka”. Po wykonaniu kilku serii oblicza się średnie wartości poczetów, średnie wskazania prądu kryształka i zestawia wyniki w tabeli. Po przeanalizowaniu wyników pomiarów geodezyjnych dokonuje się wyboru na ogół 12 kolejnych działek wnęki stacji pomocniczej na podstawie:

- 1) kształtu krzywej charakteryzującej pracę klistronu,
- 2) wielkości mocy promieniowanych przez obydwie stacje.

Zwraca się przy tym szczególną uwagę, by w wybranym zakresie przebieg charakterystyki klistronu był możliwie spokojny, bez pojedynczych punktów ekstremalnych, a wskazania prądu kryształka były dostatecznie wysokie, co ma wpływ na zasięg dalmierzy.

Wyniki badań w tym zakresie otrzymane w Instytucie dla wielu kompletów dalmierzy zestawiono w tablicy 1.

Wyznaczanie poprawek dalmierzy

Dla dalmierzy typu Telemetr wyznacza się trzy poprawki:

- 1) stałą poprawkę instrumentu,
- 2) zmienną poprawkę zależną od ustawienia wnęki,
- 3) zmienną poprawkę zależną od odczytu F_{di} .

Stała poprawka dalmierzy ma charakter geometryczny. Jest to różnica drogi przebiegu fali elektromagnetycznej między centrami elektrycznymi w dalmierzach, a odległością wyznaczoną przez centry geodezyjne obydwu punktów ograniczających mierzony odcinek. Jakkolwiek poprawkę tą można w przybliżeniu ustalić laboratoryjnie, to jednak ze względu na przemieszczanie się miejsca zera elektrycznego podczas przestrajania częstotliwości nośnej, dokładne jej wyznaczenie musi być przeprowadzone metodami geodezyjnymi.

Stałą poprawkę Telemetrów wyznacza się na bokach wzorcowych pomierzonych uprzednio drutami inwarowymi, lub dalmierzem świetlnym np. Geodimetrem NASM-4B. Długość boków wzorcowych przyjmuje się

Tablica 1

Telemetr	Data	Nr węzła st. pom.	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
OG-1 Nr 1	1965	Wnuka s.g.	1,8	1,2	1,8	2,3	2,8	3,3	4,1	4,6	4,9	5,3	5,9	6,2	6,8	7,1							
		sr. od- czyt	63,6	65,0	62,7	64,0	65,4	62,2	64,2	63,0	63,5	63,5	64,2	63,3	62,5	61,3							
		Prąd k. s.p.	170	170	195	200	195	187	165	145	132	122	105	95	90	85							
		Prąd k. s.q.	110	120	120	110	100	95	90	85	80	70	65	60	50	40							
OG-1 Nr 6	1964	Wnuka s.g.	1,4	2,3	3,2	3,8	4,3	5,0	5,3	6,0	6,4	6,8	7,2	8,2	8,8	7,4	9,6	10,2	10,8	11,0	11,3	12,2	12,5
		sr. od- czyt	83,0	83,0	83,8	83,3	82,3	82,6	82,1	82,5	83,2	82,6	83,2	82,0	81,5	81,5	80,5	82,0	82,5	83,0	83,3	83,0	82,5
		Prąd k. s.p.	175	180	175	160	150	130	115	100	95	105	100	115	125	135	135	140	125	115	100	80	70
		Prąd k. s.q.	175	170	165	150	145	130	115	95	80	70	65	60	60	65	50	50	45	40	30	30	25
RG-1 Nr 1	1966	Wnuka s.g.	0,9	1,6	2,1	2,7	3,3	3,6	4,4	5,0	5,5	6,0	6,3	6,7	6,2	6,8	7,0	7,2	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6
		sr. od- czyt	99,8	99,6	100,0	100,1	99,5	99,0	99,6	99,6	100,1	101,2	101,8	102,0	102,1	97,8	95,8	97,5	99,6	101,6	101,5	105,6	106,5
		Prąd k. s.p.	130	125	125	135	160	180	180	140	125	95	75	50	65	90	65	50	50	80	130	100	80
		Prąd k. s.q.	45	50	55	60	65	65	65	70	70	65	80	100	135	145	165	165	180	175	155	140	100
RG-1 Nr 2	1966	Wnuka s.g.	1,5	1,8	2,4	2,8	3,4	3,8	4,3	4,8	5,2	5,7	6,1	6,6	7,0	7,3	7,7	8,3	8,7	9,0	9,6	10,5	10,7
		sr. od- czyt	62,4	61,6	61,8	61,8	61,8	62,5	62,2	65,6	65,0	63,5	62,8	61,6	61,6	61,4	61,4	62,0	62,8	63,6	64,7	65,2	65,3
		Prąd k. s.p.	210	210	190	180	170	150	135	110	85	60	50	40	60	80	90	95	100	105	110	115	115
		Prąd k. s.q.	110	105	90	90	95	105	120	145	160	175	180	185	185	180	150	145	140	135	120	110	100

od 200 m do 10 km wybierając je w terenie płaskim o możliwie jednolitym pokryciu. Pomiaru odległości odcinków wzorcowych wykonuje się w wybranym uprzednio zakresie przestrajania wñki. Jako jedną serię pomiarową przyjmuje się obserwacje na 12 działkach; za jeden pomiar uwaŹa się 4 serie, z których dwie pomierzono wg wzrastających wskazañ wñki stacji pomocniczej, a dwie wg malejących.

Bardzo waznym czynnikiem przy pomiarach odległoŹci metodami elektromagnetycznymi jest pomiar aktualnych warunków meteorologicznych jak: temperatura powietrza, wilgotnoŹć powietrza i ciŹnienie atmosferyczne. WielkoŹci te są mierzone dwukrotnie podczas kaŹdej serii na obu koñcach odległoŹci wzorcowej, a następnie uŹrednione reprezentuj warunki meteorologiczne na trasie przebiegu fali elektromagnetycznej. Na ich podstawie stosując nomogramy (5), lub tablice (2) moŹna wyznaczyć współczynniki refrakcji:

$$(n-1) \cdot 10^{-6} = \frac{103,49}{T} (p-e) + \frac{86,26}{T} \left(1 + \frac{4748}{T}\right) \cdot e$$

gdzie: n = współczynnik refrakcji,

p = ciŹnienie atmosferyczne w mm Hg,

e = (t , t') ciŹnienie pary wodnej w powietrzu w mm Hg,

T = temperatura powietrza w skali Kelwina.

WartoŹci t i t' mierzone są aspiracyjnym psychrometrem Assmanna, p — altimetrem Paulina. Pomierzone odległoŹci redukowane są ze względu na współczynnik refrakcji według wzoru:

$$D_0 = \frac{D_{\text{pom}}}{n}$$

Ze względu na duŹy wpływ warunków meteorologicznych na jakoŹć otrzymywanych wyników obserwacji, a jednocześnie ze względu na trudne ustalenie a priori ich rozkładu wzdłuż mierzonego odcinka ustalono, Źe pomiary dla wyznaczenia stałej instrumentu muszą być wykonywane w dwóch dniach, które powinny się charakteryzować duŹ turbulencyjnoŹci powietrza.

Po obliczeniu i przeanalizowaniu materiału pomiarowego przystępuje się do okreŹlenia stałej poprawki. Oblicza się dla kaŹdej serii różnice

$$D_B - D_{Si} = V_{0i}$$

Źrednia V_0 ze wszystkich pomierzonych serii jest przyjmowana jako poprawka instrumentu, jeŹeli błąd jej wyznaczenia nie przekracza 1 cm.

Poprawka okreŹlona laboratoryjnie przez producentów wynosi dla wszystkich dalmierzy 74 cm. Jak wynika z przedstawionych w tablicy 2 zestawieñ, wyznaczane poprawki są o ± 10 cm różne od załoŹonej, co potwierdza koniecznoŹć jej wyznaczania metodami geodezyjnymi.

Druga z kolei poprawka dalmierzy

$$V_1 = f(W_n)$$

jest funkcją przestrajania częstotliwości nośnej według ustawienia wskazań wnęki. Wyznacza się ją przez wielokrotny pomiar boku o długości około 500 m, na którym w minimalnym stopniu występuje efekt odbić od

Tablica 2

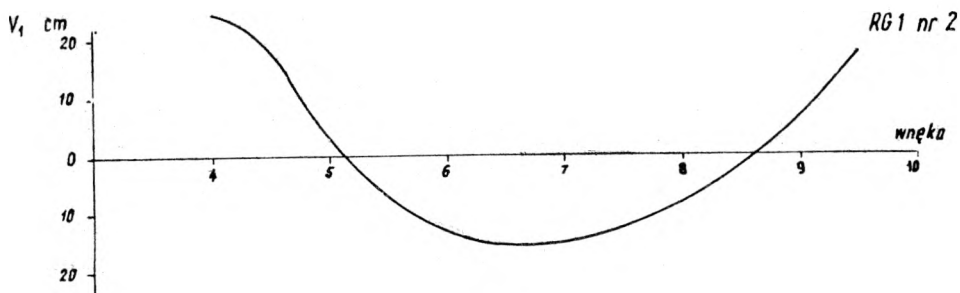
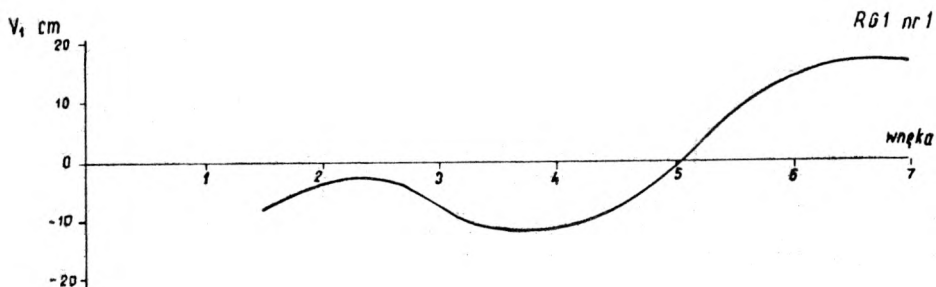
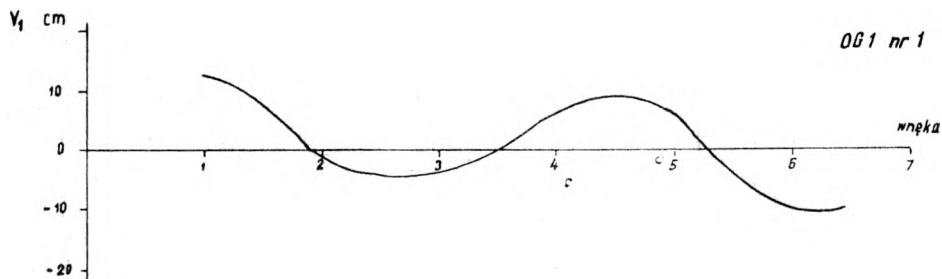
Telemetr OG-1 Nr 4			Telemetr OG-1 Nr 7			Telemetr RG-1 Nr 1			Telemetr RG-1 Nr 2		
D_B	$D_B - D_s$	V_{oi}	D_B	$D_B - D_s$	V_{oi}	D_B	$D_B - D_s$	V_{oi}	D_B	$D_B - D_s$	V_{oi}
276,830	-72,8	-1,2	145,410	-72,3	-2,1	276,380	-80,2	-5,0	276,380	-83,2	+1,3
	73,4	-0,6		71,1	-3,3		83,2	-2,0		82,3	+0,4
	71,7	-2,3		72,4	-2,0		84,0	-1,2		82,6	+0,7
	69,1	-4,9		75,0	+0,6		83,5	-1,7		82,3	+0,4
	74,5	+0,5		77,4	+3,0		86,0	+0,8		80,9	-1,0
	75,1	+1,1		76,5	+2,1		84,2	-1,0		80,4	-1,5
	73,0	-1,0		77,0	+2,6		85,0	-0,2		84,0	+2,1
	74,2	+0,2		76,8	+2,4		83,8	-1,4		81,5	-0,4
3132,375	76,2	+2,2	796,695	74,4	0,0	796,695	84,4	-0,8	5630,944	78,6	-3,3
	77,5	+3,5		75,8	+1,4		85,9	+0,7		80,6	-1,3
	74,6	+0,6		71,9	-2,5		83,7	-1,5		80,8	-1,1
	73,7	-0,3		68,3	-6,1		85,7	+0,5		81,0	-0,9
	70,8	-3,2		78,0	+3,6		88,0	+2,8		83,2	+1,3
	72,9	-1,1		73,4	-1,0		83,4	+1,8		82,8	+0,9
	74,2	+0,2		76,6	+2,2		86,2	+1,0		82,6	+0,7
	72,5	-1,5		68,7	-5,7		88,7	+3,5		84,3	+2,4
6845,947	77,2	+3,2	1233,475	77,4	+3,0	6845,947	82,6	-2,6	6830,709	89,8	+7,9
	76,9	+2,9		76,5	+2,1		82,3	-2,9		86,2	+4,3
	78,0	+4,0		77,0	+2,6		80,9	-4,3		87,2	+5,3
	74,5	+0,5		76,8	+2,4		80,4	-4,8		85,6	+3,7
	79,0	+5,0		72,4	-2,0		85,3	+0,1		84,2	+2,3
	74,0	0,0		73,8	-0,6		87,0	+1,8		83,0	+1,1
	78,5	+4,5		73,1	-1,3		88,3	+3,1		82,6	+0,7
	77,0	+3,0		74,3	-0,1		86,0	+0,8		82,5	+0,6
9796,157	71,0	-3,0	6845,947	73,1	-1,3	9796,157	80,3	-4,9	10578,597	78,6	-3,3
	68,0	-6,0		69,8	-4,6		79,8	+5,4		77,7	-4,2
	70,0	-4,0		71,7	-2,7		78,9	+6,7		76,2	-5,7
	69,5	-4,5		72,6	-1,8		79,9	+4,7		76,5	-5,4
	73,4	-0,6		74,5	+0,1		94,3	-0,9		80,1	-1,8
	74,5	+0,5		78,6	+4,2		95,8	+0,6		80,2	-1,7
	76,2	+2,2		77,0	+2,6		96,2	+1,0		80,3	-1,6
	75,0	+1,0		76,5	+2,1		93,0	-2,2		78,9	-3,0
$V_0 = -74,03$ cm $M_0 = \pm 0,49$ cm			$V_0 = -74,40$ cm $M_0 = \pm 0,47$ cm			$V_0 = -85,22$ cm $M_0 = \pm 0,51$ cm			$V_0 = -81,90$ cm $M_0 = \pm 0,52$ cm		

ziemi. Jak stwierdzono w instrumentach typu Telemetr, nie można zależności zmiany poprawki instrumentu od zmiany zakresu przestrajania częstotliwości nośnej aproksymować krzywą pierwszego a nawet drugiego stopnia. Poprzestano wobec tego na sporządzeniu jej wykresu. Za pod-

stawę do obliczenia miejsc charakterystycznych służy wzór:

$$V_1 = V_{\text{sr}} - \left[\frac{(F_{di} - F_{gi}) + (F_d - F_g)}{4} \right]$$

$$V_{\text{sr}} = \left[\frac{(F_{di} - F_{gi}) + (F_d - F_g)}{4} \right]^{-1}_n$$



Rys. 1

gdzie: F_{di} i F_{gi} — położenie przerw w podstawie kołowej czasu dla dwóch podzakresów częstotliwości wzorcowej F ;

F_d i F_g — położenie przerw przesuniętych o 180° względem poprzednich.

Wykresy poprawek V_1 dla kilku badanych Telemetrów przedstawiono na rysunku 1. W niektórych egzemplarzach instrumentów wykres poprawki V_1 jest przesunięty dla obserwacji wykonanych przy wzrastającym odczycie wnętrza w stosunku do wyników otrzymanych przy malejących ustawieniach wnętrza. Zależność ta ma duże znaczenie przy wykonywaniu nieparzystej ilości serii oraz w wypadku pracy na niepełnym zakresie przesłajania instrumentu. Natomiast gdy pomiary wykonywane są w taki sam sposób i w takim samym zakresie wnętrza, w jakim była wyznaczona poprawka V_1 , zjawisko to nie ma żadnego znaczenia. Natomiast zawsze należy uwzględnić tę poprawkę przy rozpatrywaniu i analizowaniu zagadnienia odbić fali elektromagnetycznej od ziemi i przedmiotów stałych. W przeciwnym bowiem wypadku otrzymać można wyniki obciążone pełnym wpływem zmiany poprawki instrumentu.

W dalmierzach radiowych typu Telemetr OG-1 i RG-1 pomiar przesunięcia fazowego odbywa się na oscyloskopowym fazomierzu. Przesunięcie fazowe mierzy się przez odczyt położenia przerwy w kołowej podstawie czasu na odpowiedniej skali nałożonej na ekran. Skala opisana jest w ten sposób, że pełny kąt 2 podzielony jest na 100 działek. Odpowiada to połowie fali wzorcowej czyli 10 metrom.

Wspólną cechą fazomierzy jest to, że ich wskazania są jednakowe dla kątów znajdujących się w przedziałach:

$$0 < \varphi < 2\pi; \quad 2\pi < \varphi < 4\pi \quad \text{itd.}$$

Tak więc dla odległości różniących się o całkowitą wielokrotność połowy długości fali, wskazania fazomierza są takie same. Można więc napisać równanie

$$l = \frac{\lambda}{2} \left(n + \frac{\varphi}{100} \right),$$

z którego wynika, że na odległości l mieści się całkowita liczba odcinków $\frac{\lambda}{2}$ oraz pewna reszta wskazywana przez fazomierz. Wyznaczenie liczby n odbywa się przez kilkakrotny pomiar przesunięcia fali o różnych długościach:

$$\lambda_2 = \frac{10}{9} \lambda_1 \quad \text{i} \quad \lambda_3 = \frac{100}{99} \lambda_1 \quad (\lambda_1 = 20 \text{ m}).$$

Po ułożeniu i rozwiązaniu równań wiążących przesunięcie fazowe dla trzech zakresów fal otrzymuje się liczbę n .

Badania dalmierzy radiowych przeprowadzone przez Podera i Lilley'a jak również badania Tellurometru MRA-1 prowadzone w latach ubiegłych w IGiK wykazały, że istnieje poprawka cykliczna, która jest funkcją odczytu na lampie oscyloskopowej. Pod tym kątem przeprowadzono badania Telemetrów, przyjmując za wyjściowy wzór

$$V_2 = b_1 + b_2 \cdot \sin [7,2 (F_{di} + b_3)]^\circ$$

gdzie: b_1 = przesunięcie osi,

b_2 = współczynnik liczbowy,

b_3 = przesunięcie miejsca zera lampy oscyloskopowej,

F_{di} = odczyt na lampie oscyloskopowej.

Po rozwinięciu i przekształceniu wzór na poprawkę V_2 otrzymano w postaci

$$V_2 = x + y \cdot \sin [7,2 F_{di}]^\circ + z \cdot \cos [7,2 F_{di}]^\circ$$

gdzie: $x = b_1$,

$$y = b_2 \cdot \cos 7,2^\circ \cdot b_3,$$

$$z = b_2 \cdot \sin 7,2^\circ \cdot b_3;$$

$$b_2 = \frac{y}{b_3 \cdot \cos 7,2^\circ} = \frac{z}{b_3 \sin 7,2^\circ},$$

$$\operatorname{tg} 7,2^\circ \cdot b_3 = \frac{z}{y}.$$

Do wyznaczenia poprawki potrzebne są odczyty w pełnym zakresie lampy oscyloskopowej i ich błędy prawdziwe. Zrealizowane to zostało przez pomiar boku wzorcowego o długości 276 m, który wzdłuż linii pomiarowej poczynawszy od punktu głównego ma zastabilizowane co 1 metr i co 2 metry punkty pośrednie. Dla każdego pomierzonego odcinka otrzymano błędy prawdziwe. Po ułożeniu równań według wzorów podanych wyżej i rozwiązaniu ich metodą najmniejszych kwadratów, otrzymano dla badanych Telemetrów poprawki:

$$\text{OG-1 nr 1 1964} \quad V_2 = 1,6 + 1,3 \sin [7,2 (F_{di} - 11,8)]^\circ; \quad M_0 = \pm 0,8 \text{ cm};$$

$$\text{OG-1 nr 1 1966} \quad V_2 = 0,4 + 1,2 \sin [7,2 (F_{di} - 17,9)]^\circ; \quad M_0 = \pm 1,1 \text{ cm};$$

$$\text{OG-1 nr 4 1964} \quad V_2 = 0,2 + 1,0 \sin [7,2 (F_{di} + 7,0)]^\circ; \quad M_0 = \pm 0,7 \text{ cm};$$

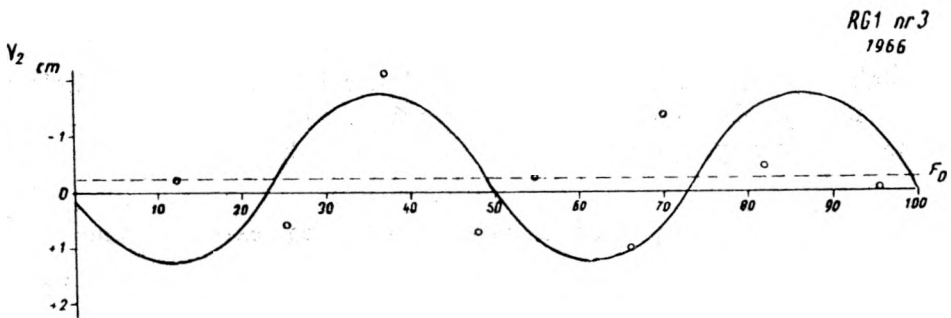
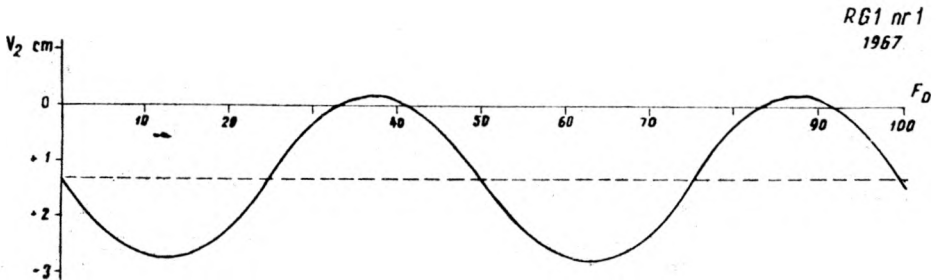
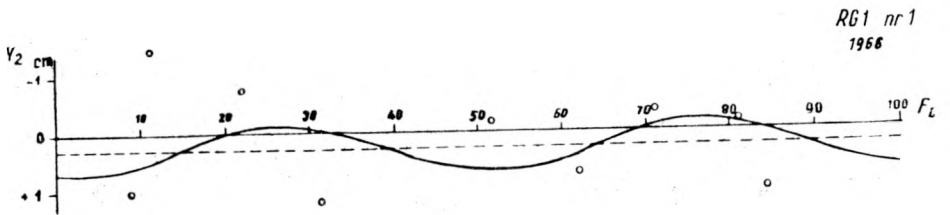
$$\text{OG-1 nr 4 1965} \quad V_2 = -1,7 + 1,5 \sin [7,2 (F_{di} + 8,4)]^\circ; \quad M_0 = \pm 1,2 \text{ cm};$$

RG-1 nr 1 $V_2 = 0,1 + 1,5 \sin [7,2 (F_{dl} + 0,6)]^\circ$; $M_0 = \pm 0,6$ cm;
1966

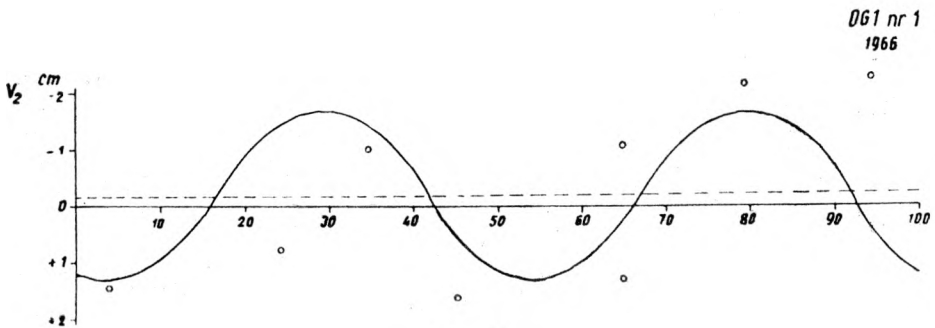
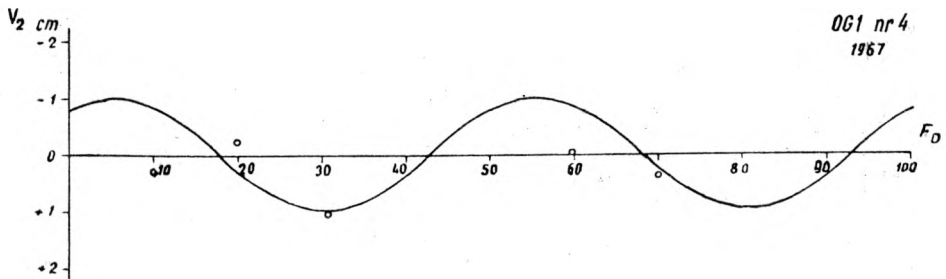
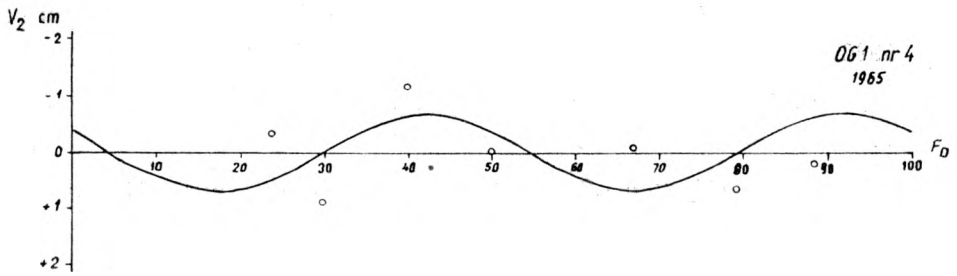
RG-1 nr 1 $V_2 = -1,2 + 0,4 \sin [7,2 (F_{dl} + 10,6)]^\circ$; $M_0 = \pm 0,8$ cm;
1967

RG-1 nr 3 $V_2 = -1,7 + 1,5 \sin [7,2 (F_{dl} + 1,1)]^\circ$; $M_0 = \pm 1,3$ cm;
1967

wykresy poprawek V_2 badanych dalmierzy przedstawiono na rysunkach 2a i 2b.



Rys. 2a



Rys. 2b

Jak wynika z przeprowadzonych badań cykliczna poprawka Telemetrów maksymalnie osiąga wartość 1,5 cm i z tego powodu zaleca się jej wprowadzanie tylko do pomiarów o wysokiej dokładności.

Wyznaczanie praktycznego zasięgu i uwagi eksploatacyjne

Praktyczny zasięg instrumentu określany jest wstępnie w laboratorium. Przez połączenie różków stacji głównej i pomocniczej kalibrowanym tłumikiem mikrofalowym stwarza się warunki podobne jak dla określonej

przestrzeni. Teoretycznie można wyliczyć orientacyjny zasięg instrumentu znając maksymalną wartość tłumienia, jak w pracy (8). Rzeczywista wartość zasięgu różni się jednak od obliczonej teoretycznie o około 2 km, ponieważ w laboratorium nie uwzględnia się wpływu warunków meteorologicznych na tłumienie sygnału.

Praktyczne badanie zasięgu Telemetrów wykonuje się na bokach długich, począwszy od 15 kilometrów. Zwiększając odległości osiąga się taki moment, w którym niemożliwe jest zrobienie pomiaru ze względu na odbierany słaby sygnał. Za maksymalny zasięg instrumentu przyjmuje się odległość na której można wykonać pomiar. Badane instrumenty miały zasięg 15÷20 km.

Podczas wykonywania pomiarów zestawiane są uwagi eksploatacyjne wg punktów:

- 1) czas nagrzewania się stacji,
- 2) uwagi o jakości obrazu na lampie oscyloskopowej,
- 3) uwagi o zerowaniu układu,
- 4) wskazania zegarów,
- 5) łatwość zestrzajania stacji,
- 6) łączność głosowa,
- 7) uwagi o pracy termostatu,
- 8) działanie wszystkich przełączników.

W przypadku wystąpienia w badanym instrumencie objawów utrudniających pracę w terenie, dalmierz jest poprawiany przed oddaniem do eksploatacji.

Dokładność dalmierzy radiowych typu Telemetr

Podstawą określenia dokładności pomiarów wykonywanych dalmierzami mikrofalowymi jest błąd standartowy podany w formie:

$$M_s = \pm (A + B \cdot 10^{-6} D).$$

Współczynniki A i B tego wzoru określone są metodą najmniejszych kwadratów, na podstawie błędów prawdziwych, których wartości bezwzględne przyjmowane są jako wyrazy wolne równań błędów. Za błędy prawdziwe przyjmuje się różnice:

$$D_B - D_T = v,$$

gdzie: D_B = długość wzorcowa,

D_T = długość pomierzona Telemetrem.

Jest oczywistą rzeczą, że dokładność przyjmowanych do obliczeń boków wzorcowych kilkakrotnie przewyższa dokładność boków mierzonych dalmierzami mikrofalowymi. Przy tych założeniach obliczono współczynniki

A i B dla zbioru obserwacji wielu typów dalmierzy radiowych i otrzymano wzór na błąd standardowy

$$M_s = (3 + 5 \cdot 10^{-6} D) \text{ cm.}$$

Policzono również na podstawie wielu obserwacji współczynniki A i B dla dalmierzy typu Telemetr i otrzymano:

1) przy przyjęciu odległości do 1 kilometra

$$A = 4,0; \quad B = 2,0; \quad m_0 = \pm 1,5 \text{ cm;}$$

2) przy przyjęciu odległości do 10 kilometrów

$$A = 2,7; \quad B = 7,0; \quad m_0 = \pm 0,8 \text{ cm.}$$

Jak wynika z podanych wyżej przykładów błąd standardowy obliczony dla wszystkich typów dalmierzy elektromagnetycznych w pełni odpowiada dokładności Telemetrów i może być przyjmowany do oceny dokładności pomierzonych przy ich pomocy boków. Dla potwierdzenia słuszności tego wzoru zestawiono pomiary na bokach wzorcowych (bazowych) w tablicy 3 i otrzymano następujący przykład błędów:

$$\begin{aligned} M &\leq M_s && \text{w } 71\%, \\ M_s &< M \leq 2M_s && \text{w } 25\%, \\ 2M_s &< M \leq 3M_s && \text{w } 4\%. \end{aligned}$$

Tablica 3

Dl. wzorcowa. D_B	M_s	OG-1 Nr 1		OG-1 Nr 4		RG-1 Nr 1		RG-1 Nr 2		RG-1 Nr 3	
		Ilość serii	v	Ilość serii	v	Ilość serii	v	Ilość serii	v	Ilość serii	v
145,410	3,1	6	+4,6								
144,078	3,1	8	-3,9					4	-2,0		
276,380	3,2	4	-3,8	6	+2,8	4	-0,1	8	+1,1	4	+1,3
796,695	3,4	8	+4,2			4	-2,1	4	-0,6	4	-1,6
1 233,475	3,6										
1 332,272	3,6	4	+0,2	4	+7,4			4	-9,9		
2 108,463	4,0	4	-2,7	8	+3,4						
3 143,732	4,5	4	+10,2	6	+9,0						
3 423,515	4,5	2	+4,2	6	+5,8						
4 327,677	5,2	5	-9,1	2	+0,5						
4 809,171	5,5	4	+4,3	10	-1,9						
4 541,091	5,2			8	+4,3						
5 061,401	5,5			4	+7,1						
5 237,346	5,6	4	+6,9					4	+6,7		
5 630,944	6,0							4	+4,9		
5 745,057	6,0			4	+8,4						
6 845,947	6,5	14	+5,8			4	+1,1			4	+1,5
6 830,709	6,5	6	-5,4			12	+3,2	8	-2,4	6	+1,0
7 411,867	6,7	4	+3,4	4	+0,6	8	-3,2	4	+3,0	12	-0,1
9 796,867	7,9							8	+0,4		
10 578,597	8,3	4	-2,8	4	+2,2	4	-4,3	8	+7,0		
15 727,849	11,0							2	+7,2		
199,995	3,1	3	+2,1	4	+0,1						
300,014	3,2	3	+1,2	3	+8,6						
500,009	3,3	4	-2,6	6	-2,8						

Przedstawione wyniki są zgodne z rozkładem błędów publikowanym przez nas w pracy o Tellurometrze MRA-1 (3).

Na taki rozkład błędów wydają się mieć decydujący wpływ warunki zewnętrzne. Nie można wykluczyć jednak wpływu czynników instrumentalnych, ponieważ jak wykazują doświadczenia nawet w bardzo dobrych warunkach około 5% obserwacji otrzymuje błędy w granicach $3M_s$. Błąd przekraczający $3M_s$ może być uważany za błąd grubo.

Dalsze badania dalmierzy obejmowały zastosowanie ich do pomiarów odległości w konkretnych sieciach geodezyjnych, lecz analiza tych prac będzie przedmiotem następnego opracowania.

LITERATURA

- [1] Holeyko K., Demczuk M.: Dalmierz mikrofalowy Telemetr OG-1 — Zasada działania. Przegląd Geodezyjny nr 4 i 5 1965.
- [2] Dąbrowski W.: Tablice do obliczania współczynnika załamania powietrza (wskaznika refrakcji) dla zakresu mikrofalowego. Prace IGiK, tom X, zeszyt 2/22, 1963.
- [3] Krzemiński W., Dąbrowski W., Majdanowa Z.: Pomiary Tellurometrem MRA-1 na bazach geodezyjnych w Polsce. Prace IGiK, tom XI, zeszyt 2/24, 1964.
- [4] Lilly J. E.: Tellurometric cyclic zero error. XIII General IUGG Assembly, Berkeley 1963.
- [5] Majdanowa Z.: Geodezyjne badania dalmierzy elektromagnetycznych stosowanych w Polsce. Referat przedstawiony na Sympozjum Służb Geodezyjnych na temat elektronicznych pomiarów odległości, Warszawa 1967.
- [6] Majdanowa Z.: Nomogramy do obliczania współczynnika załamania powietrza. Prace IGiK, Tom XI, zeszyt 2/24, 1964.
- [7] Otyś A.: Niektóre metody kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy elektromagnetycznych. Prace IGiK, Tom XV, zeszyt 2/35, 1968.
- [8] Stencki T.: Badania laboratoryjne dalmierzy elektromagnetycznych. Prace IGiK, Tom XV, zeszyt 3/36, 1968.

Recenzował: Sam. Prac. Nauk. mgr inż. Wojciech Krzemiński

Rękopis złożono w Redakcji w czerwcu 1969 r.

ЗОФИЯ МАЙДАНОВА

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЬСКИХ РАДИОДАЛЬНОМЕРОВ ТИПА ТЕЛЕМЕТР

Резюме

В Отделе основных сетей ИГиК проводятся уже с 1962 г. исследования польских дальномеров типа „Телеметр”.

Исследования т.н. „типовые” проводимые для прототипных комплектов имеют целью определение:

- 1) радиуса работы инструмента,
- 2) поправок,
- 3) практического радиуса действия,
- 4) эксплуатационных характеристик,
- 5) точности.

Кроме исследований т.н. „типовых” проводятся в ИГиК геодезические и лабораторные исследования перед оформлением аттестата инструмента.

В работе даны методы и результаты исследований дальномеров типа „Телеметр” а также оценка их точности для определения стандартной ошибки.

ZOFIA MAJDANOWA

GEODETIC EXAMINATIONS OF POLISH-MADE MICROWAVE MEASURING EQUIPMENT TYPE TELEMETR

Summary

Since 1962 at the Department of Geodetic Survey of the Institute of Geodesy and Cartography the examinations of polish-made MDM equipment of Telemetr type are continued.

These investigations called „type-test” concern the prototype series of Telemetr and are intended to determine:

- 1) range of variation of the carrier wave frequency,
- 2) instrumental corrections,
- 3) practical range of the instrument,
- 4) individual exploitation factors,
- 5) accuracy of instruments.

Apart from these „type-tests” the Institute is carrying out the laboratory and the geodetic examinations of separate instruments for making its certificates.

The paper contains the description of the method and the results of the „type-tests” as well as the estimation of the accuracy of the Telemetr instrument for determination its standard error.

