

TADEUSZ STENCKI

528.516/517.089.6

Badania laboratoryjne dalmierzy elektromagnetycznych

1. Wstęp

Przedmiotem niniejszego artykułu jest podanie metodyki badań laboratoryjnych dalmierzy mikrofalowych. Badania laboratoryjne przeprowadzane w Instytucie Geodezji i Kartografii mają na celu sprawdzenie elektrycznych parametrów dalmierzy. Należy podkreślić na wstępie, że opisana niżej metodyka badań odnosi się w ogólnej swej części do dowolnych typów dalmierzy mikrofalowych i w zależności od typu dalmierza może ulegać w szczegółach modyfikacji. Większość badań dotyczy również dalmierzy świetlnych w zakresie ich części elektronicznej. Szczegółowa metodyka badań konkretnych typów dalmierzy jest określona przez wytwórcę i jest przedmiotem fabrycznych metod kontroli. Jednakże w przypadku np. dalmierzy pochodzenia zagranicznego nie mamy dostępu do tego rodzaju fabrycznego dokumentu i dlatego niezbędna jest własna metodyka badań. Najbardziej miarodajnym sposobem stwierdzenia prawidłowej pracy dalmierza są badania geodezyjne polegające, ogólnie rzecz biorąc, na pomiarze znanych odcinków i porównaniu wyników. Badania laboratoryjne natomiast w wypadku ich pomyślnych rezultatów, pozwalają na stwierdzenie, że dalmierz winien pracować prawidłowo, i nie wymagają kłopotliwych prac polowych.

Jest oczywistą rzeczą, że w wypadku uszkodzenia dalmierza tylko metodami laboratoryjnymi można zlokalizować uszkodzenie. Pewien rodzaj badań, jak np. zachowanie się dalmierzy czy ich podzespołów w odpowiednich warunkach klimatycznych (np. w niskiej lub wysokiej temperaturze, lub w odpowiedniej wilgotności atmosfery) daje się również wykonać metodami laboratoryjnymi.

2. Podstawowe parametry dalmierzy

Z punktu widzenia eksploatacji podstawowymi parametrami dalmierzy są:

- zakres długości mierzonych odcinków (zasięg dalmierza),
- dokładność pomiarów,
- kategoria klimatyczna,
- czas gotowości miernika do pracy i czas przeprowadzania serii pomiarowej,
- ciężar, wymiary i moc pobierana ze źródła zasilania.

Poniżej podane zostaną metody pomiarów parametrów elektrycznych, od których zależą wyżej wymienione parametry podstawowe. Zasięg dalmierza zależy od parametrów dotyczących układu mikrofalowego, tj. od promieniowanej mocy, zysku anteny i od czułości części odbiorczej (tj. wzmocnienie wzmacniacza p. cz. i czułości fazomierza). Minimalny mierzony odcinek określany jest odległością poniżej której następuje przesterowanie układu odbiorczego. Dokładność pomiaru zależy od stałości częstotliwości wzorcowej, dokładności fazomierza i wielkości odbić wewnętrznych w części mikrofalowej układu. Czas gotowości miernika do pracy jest określany na ogół przez czas, w którym ustalają się warunki termiczne wewnątrz termostatu generatora częstotliwości wzorcowej. Należy podkreślić, że wyniki uzyskane w trakcie badań laboratoryjnych uwzględniają tylko właściwości samych przyrządów, nie uwzględniają natomiast parametrów przestrzeni, w której odbywa się pomiar i ich wpływ na wskazania. Dotyczy to w szczególności wpływu odbić zewnętrznych, tj. odbić od ziemi i przedmiotów terenowych jakich doznaje fala na drodze propagacji.

3. Badania elektryczne dalmierzy

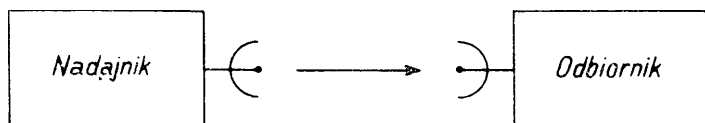
3.1. Orientacyjny pomiar zasięgu

W celu określenia zasięgu dalmierza w warunkach laboratoryjnych, rozpatrzmy układ złożony ze stacji nadawczej i odbiorczej (retransmitującej).

Przestrzeń zawartą między stacjami możemy uważać za ośrodek tłumiący sygnał pochodzący z nadajnika. Wprowadza się pojęcie równoważnika tłumienia transmisji w sposób następujący.

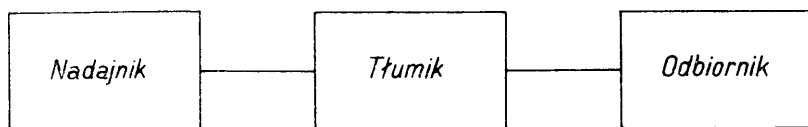
Równoważnikiem tłumienia (T) transmisji danego ośrodka nazywamy stosunek mocy dostarczonej do odbiornika do mocy promieniowanej przez

nadajnik w kierunku odbiornika. Oczywistym jest, że jeżeli nadajnik i odbiornik z układu rysunku 1. połączyć ze sobą poprzez tłumik o tłumieniu równym równoważnikowi tłumienia ośrodka, to w sensie tłumienia sygnału oba te układy będą równoważne.



Rys. 1

Jeżeli chcemy dla wyznaczenia zasięgu dalmierza mikrofalowego wprowadzić między obie stacje tłumik ekwiwalentny mierzonej odległości, to należy znać zależność tłumienia sygnału przez przestrzeń w zależności od odległości.



Rys. 2

Równoważnik transmisji sygnału w swobodnej przestrzeni wyraża się następującym wzorem

$$T_{[dB]} = 10 \lg \frac{G_1 G_2}{16\pi^2} \left(\frac{\lambda}{d} \right)^2, \quad (1)$$

gdzie $G_1 G_2$ — zysk (względem stopy izotropowej) anteny nadawczej i odbiorczej,

d — odległość między anteną odbiorczą a nadawczą,

λ — długość promieniowanej fali.

Dla dwóch anten jednakowych $G_1 = G_2 = G$.

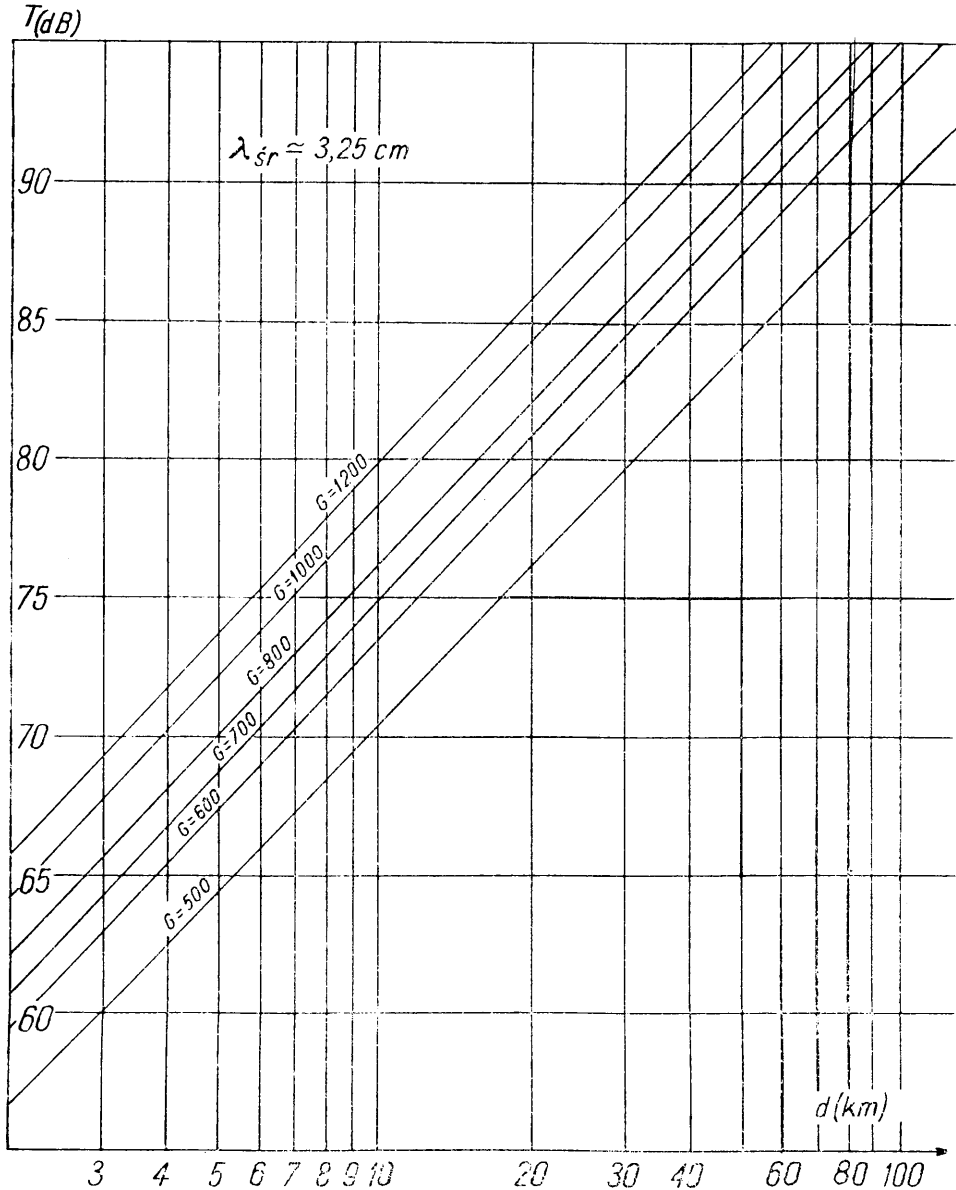
$$T = 10 \lg \frac{G^2 \lambda^2}{16\pi^2 d^2}. \quad (2)$$

Uzyskany rezultat pozwala wyznaczyć zależność współczynnika tłumienia transmisji od mierzonej odległości. Dla dalmierzy pracujących w paśmie X ($\lambda_{sr} \cong 3,25$ cm) przedstawiono na rysunku 3 zależność T od odległości dla różnych wartości zysku anten.

W oparciu o przedstawione wykresy można wyznaczyć zasięg poprzez pomiar współczynnika tłumienia transmisji. W przypadku anten opartych

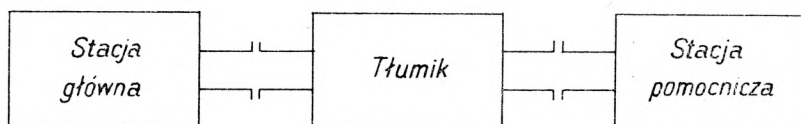
na technice falowodowej (np. rożkowych) pomiar T przeprowadza się w układzie jak na rysunku 4.

W układzie tym między stacją główną i pomocniczą włączony jest kalibrowany tłumik mikrofalowy dopasowany obustronnie. Pomiar polega na znalezieniu maksymalnej wartości tłumienia tłumika, dla której jeszcze

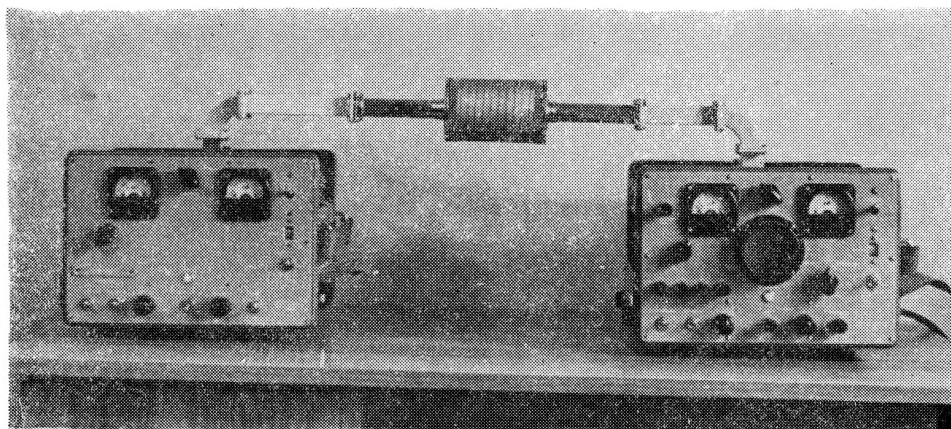


Rys. 3. Wykres współczynnika tłumienia transmisji dla różnych zysków anten

dalmierz daje prawidłowe odczyty (tj. wyraźny odczyt fazomierza). Tłumik łączący stację w czasie pomiaru musi oczywiście być symetrycznym tzn. w obie strony tłumienie jego musi być jednakowe. Jeżeli rozdzielenie sygnału nadawanego od odbieranego następuje poprzez zmianę polaryzacji



Rys. 4. Układ pomiarowy do pomiaru współczynnika tłumienia transmisji



Rys. 5. Stanowisko pomiarowe do pomiaru współczynnika tłumienia transmisji

promieniowanej fali, tłumik pomiarowy musi wtedy zapewnić prawidłową wartość tłumienia dla każdej polaryzacji fali. Znając maksymalną wartość tłumienia możemy posługując się wykresem podanym na rysunku 3 określić orientacyjny zasięg. Rzeczywista wartość zasięgu może się różnić nieco od zmierzonej powyższą metodą dlatego, że wzór (2) w oparciu o który zbudowano wykresy (rys. 3) nie uwzględnia wpływów warunków zewnętrznych na propagację fal. Jednakże w zakresie mikrofal wpływ ten jest znacznie mniejszy niż w wypadku fal dłuższych i wyniki uzyskane powyższym sposobem dają dużą zgodność z praktyką.

Należy zwrócić tutaj uwagę na fakt, że wartość tłumienia wprowadzana przez tłumik jest ekwiwalentna mierzonej odległości jedynie pod względem tłumienia sygnału przez przestrzeń natomiast nie jest jej równoważne pod względem wprowadzanego przesunięcia fazy. Wynika stąd fakt, że za pomocą powyższego układu (rys. 4) nie można wyznaczyć stałej poprawki instrumentu.

3.2. Badanie mocy mikrofalowej

Zasięg łącza radiowego zależy między innymi od mocy promieniowanej przez antenę nadawczą. W wolnej przestrzeni (tzn. bez uwzględnienia wpływu ziemi i otaczających przedmiotów) gęstość mocy w punkcie odbiorczym wyrażona jest za pomocą modułu wektora Poyntinga (S) następującą zależnością

$$S = \frac{P_{\text{pr}}}{4\pi^2 d^2} \quad (3)$$

gdzie P_{pr} — moc promieniowana, d — odległość punktu odbiorczego od anteny nadawczej.

Moc odebrana przez antenę odbiorczą wyraża się następująco:

$$P_{\text{odb}} = SAf^2(\theta\varphi), \quad (4)$$

gdzie P_{odb} — moc odebrana przez antenę odbiorczą,

A — apertura anteny odbiorczej,

$f(\theta\varphi)$ — przestrzenna charakterystyka kierunkowa anteny odbiorczej.

Zatem

$$P_{\text{odb}} = \frac{P_{\text{pr}}}{4\pi^2 d^2} Af^2(\theta\varphi). \quad (5)$$

Wynika stąd wzór na zasięg łącza

$$d = 2\pi \sqrt{\frac{P_{\text{pr}}}{P_{\text{odb}}} Af(\theta\varphi)}. \quad (6)$$

Wzór powyższy wykazuje, że zasięg łącza, a więc i również zakres pomiarowy dalmierza zależy od mocy promieniowanej. Wynika stąd konieczność pomiaru mocy promieniowanej przez nadajnik dalmierza.

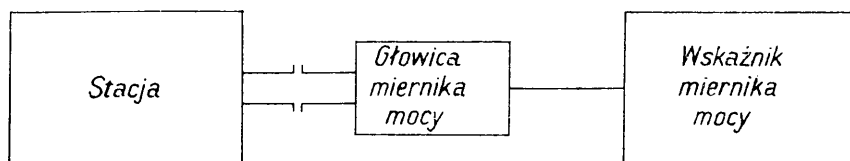
Dokładny pomiar mocy promieniowanej nastręcza duże trudności z powodu praktycznej niemożliwości podłączenia przyrządu pomiarowego do pracującej anteny w taki sposób, aby nie zniekształcać pola elektromagnetycznego w pobliżu anteny. Możliwy jest natomiast pomiar mocy doprowadzonej do anteny. Moc promieniowana jest związana z mocą dostarczoną do anteny przez zależność

$$P_{\text{pr}} = \eta P_{\text{dost}}, \quad (7)$$

gdzie P_{dost} — moc dostarczona do anteny, η — sprawność anteny.

Dla anten mikrofalowych praktycznie można przyjąć $\eta \cong 1$. Wynika to z małych strat wprowadzanych przez reflektor i otaczające przedmioty metalowe (np. obudowę przyrządu). Dlatego, zamiast przeprowadzać badanie mocy promieniowanej przez antenę dalmierza wystarcza dokonać

pomiaru mocy dostarczonej do anteny. Jeżeli antena jest dobrze dopasowana do linii zasilającej ($WFS \leq 1,3$) można zamiast anteny założyć głowicę mikrofalowego miernika mocy (dopasowaną do linii zasilającej) i przeprowadzić pomiar mocy wydzielonej w głowicy (rys. 6). W wypadku wy-



Rys. 6. Układ pomiarowy do pomiaru mocy mikrofalowej dalmierzy

stępowania odbić w torze mikrofalowym moc promieniowana jest mniejsza od mocy zmierzonej w powyższy sposób za pomocą miernika mocy. W tym wypadku należałoby dokonać pomiaru mocy doprowadzonej do anteny metodą reflektometryczną. Między źródło mocy mikrofalowej i antenę należy włączyć reflektometryczny miernik mocy.

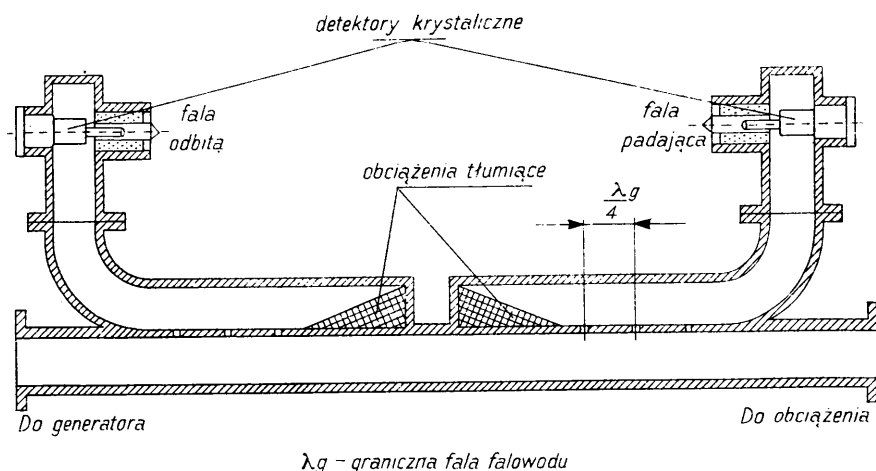
W wypadku występowania odbić moc dostarczona do anteny wynosi

$$P_{\text{dost}} = P_{\text{pad}} - P_{\text{odb}}, \quad (8)$$

gdzie P_{pad} — moc fali padającej, P_{odb} — moc fali odbitej.

Reflektometryczny miernik mocy pozwala na rozdzielenie tych dwóch składników mocy i wyliczenie mocy doprowadzonej do anteny.

Rozdział mocy w falowodzie na dwa składniki realizuje się za pomocą sprzęgaczy kierunkowych. Dwa sprzęgacze kierunkowe będące zasadniczymi elementami reflektometru (rys. 6) połączone są w taki sposób, że na



Rys. 7. Reflektometryczny miernik mocy przejściowej

wyjściu każdego z nich pojawia się sygnał proporcjonalny bądź do mocy zawartej w fali padającej, bądź do mocy zawartej w fali odbitej. Sprzęgacze stanowią odcinki linii sprzężone z linią główną. Sygnały fal o przeciwnych kierunkach mogące się rozchodzić w torach sprzęgaczy pochłaniane są w dopasowanych obciążeniach sztucznych i pozwalają na rozdzielenie obu sygnałów. Jako wskaźniki mierzące amplitudy poszczególnych sygnałów stosowane są detektory krystaliczne (rys. 7).

Sprzężenia obu sprzęgaczy z linią główną, jak również czułości obu detektorów muszą być identyczne. Najczęściej stosowanym typem sprzęgacza jest sprzęgacz wielootworowy. Cechuje się on dużą kierunkowością, wadą jego są jedynie zbyt duże wymiary co sprawia trudności na dłuższych falach zakresu mikrofalowego. Przy pomiarze reflektometrem moc dostarczona do anteny wyraża się wzorem

$$P_{\text{dost}} = C (U_{\text{pad}}^2 - U_{\text{odb}}^2), \quad (9)$$

gdzie C — stała przyrządu wyrażona w W/V^2 , U_{pad} , U_{odb} — napięcia zmierzone przez detektory obu sprzęgaczy.

W praktyce pomiarowej częściej przeprowadza się pomiary metodą absorpcyjną (tj. za pomocą mikrofalowego miernika mocy) ze względu na prostotę aparatury. Często bowiem zależy jedynie na porównawczym pomiarze mocy mającym na celu jedynie sprawdzenie stanu zużycia klistronu i ewentualną jego wymianę.

3.3. Badanie dopasowania anteny dalmierza

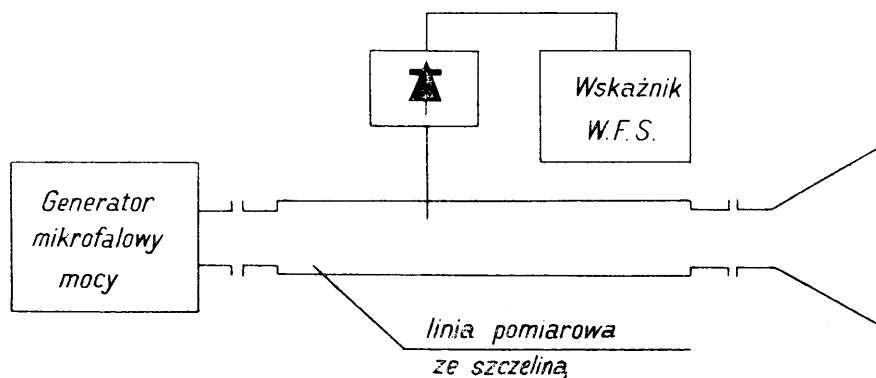
Dokładność pomiaru za pomocą dalmierza zależy w dużej mierze od występowania odbić. Odbicia dzielą się na zewnętrzne tj. odbicia jakim ulega sygnał na trasie propagacji, oraz odbicia wewnętrzne spowodowane niedopasowaniem anteny do impedancji falowej toru mikrofalowego.

Mechanizm występowania odbić wewnętrznych polega na fakcie, że w wypadku niedopasowania anteny, część mocy mikrofalowej ulega odbiciu i wraca z powrotem do źródła w postaci tzw. fali odbitej. W wypadku niedopasowania toru odbiorczego, sygnał przychodzący z współpracującej stacji odbija się od niedopasowanej impedancji detektora diodowego, wraca z powrotem do anteny, odbija się od niej i wraca znów do detektora z inną fazą niż wynikająca z mierzonej odległości. Prowadzi to do błędnych wskazań dalmierza. Występowanie odbić w torze nadawczym powoduje zmniejszenie promieniowanej mocy, co wpływa niekorzystnie na zasięg dalmierza. Oprócz tego sygnał pochodzący od odbicia przedostaje się do toru odbiorczego zniekształcając fazę sygnału heterodyny, co również powoduje błędne wskazania.

Ogólnie rzecz biorąc, występowanie odbić w torze mikrofalowym może być przyczyną dużych błędów wskazań dalmierza i dlatego wymagania dotyczące dopasowania anteny do źródła mikrofalowej są dość ostre.

Pomiar dopasowania wykonuje się metodą pomiaru rozkładu fali w linii pomiarowej lub metodami reflektometrycznymi. Linia pomiarowa stanowi odcinek przewodnicy falowej (takiej samej, jak tor mikrofalowy dalmierza) ze szczeliną wzdłuż której porusza się sonda zakończona detektorem diodowym (rys. 8).

Przesuwając sondę wzdłuż szczeliny możemy badać rozkład napięcia wzdłuż linii. W wypadku braku odbić napięcie na wyjściu detektora sondy ma wartość stałą, przy braku dopasowania przesuwając sondą obserwuje



Rys. 8. Układ do pomiaru dopasowania anteny

się występowanie minimalnych i maksymalnych wartości napięcia (rys. 9). Maksima i minima napięcia odległe są od siebie o pół długości fali (tzn. odległości zarówno między dwoma kolejnymi maksimami, jak i minimami wynosi pół długości fali). Miarą braku dopasowania jest tzw. współczynnik fali stojącej (*WFS*) określony następującym wzorem

$$WFS = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}, \quad (10)$$

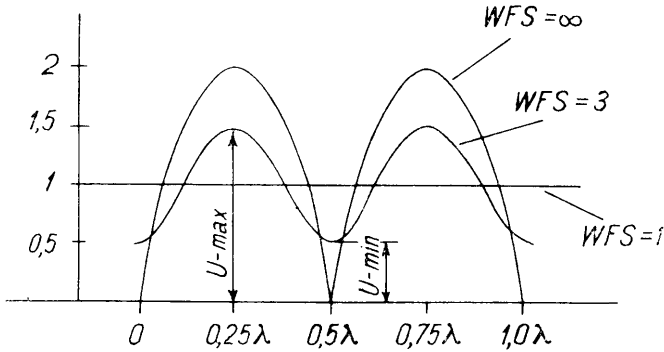
gdzie $U_{\max}$ i $U_{\min}$ — maksymalna i minimalna wartość napięcia na linii (patrz rys. 9).

Dla dopasowania $WFS = 1$, dla pełnego braku dopasowania $WFS = \infty$.

Przy pomiarach reflektometrycznych posługujemy się układem, jak przy pomiarze mocy (rys. 7). Współczynnik fali stojącej jest związany z napięciem na detektorach sprzęgaczy przez następującą zależność

$$WFS = \frac{1 + \frac{U'_{\text{oddb}}}{U'_{\text{pad}}}}{1 - \frac{U'_{\text{oddb}}}{U'_{\text{pad}}}}, \quad (11)$$

gdzie U'_{pad} , U'_{oddb} — napięcia proporcjonalne do napięć fali padającej i odbitej zmierzone przez detektory reflektometru.



Rys. 9. Rozkład napięcia wzdłuż linii przesyłowej

Pomiary dopasowania anteny wykonuje się jedną lub drugą metodą wg następującego porządku:

— między klustron a układ antenowy włącza się linię pomiarową i w całym zakresie częstotliwości roboczych bada się rozkład napięcia i określa WFS ,

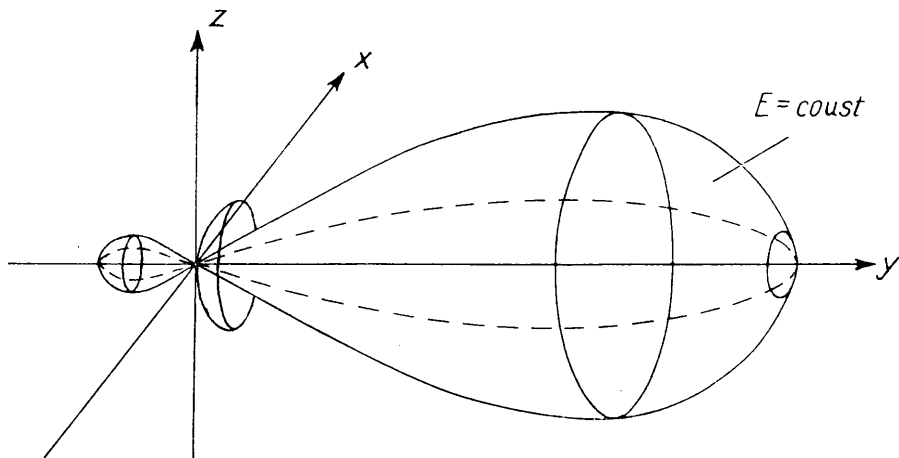
— załącza się klustron poprzez linię pomiarową od strony odbiornika (po odkręceniu różka antenowego) i bada się WFS w całym zakresie częstotliwości roboczych.

Praktycznie, za zakres częstotliwości roboczych dalmierzy (ze względu na zakres dopasowania części mikrofalowych) określa się taki zakres częstotliwości, w którym $WFS \leq 2$.

3.4. Badanie charakterystyki promieniowania anteny dalmierza

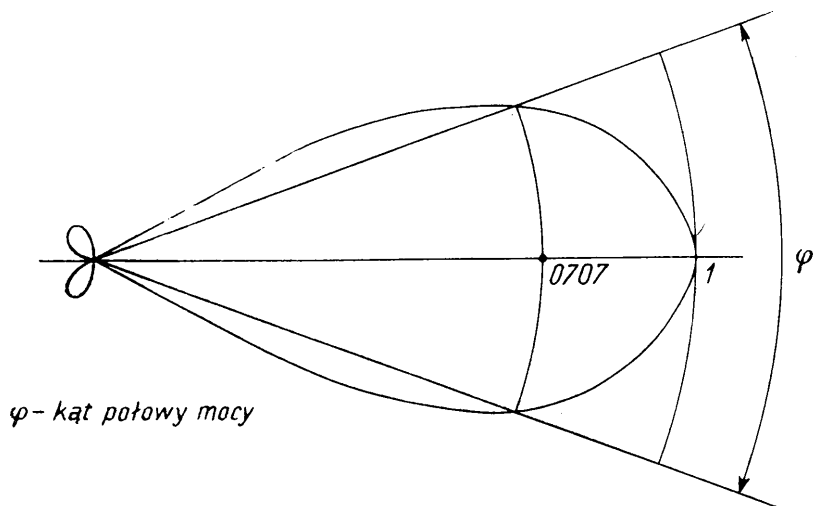
Charakterystyką kierunkową anteny nazywamy zależność natężenia pola elektromagnetycznego (zmierzonego w stałej odległości od promienionwanej anteny) od kierunku. Charakterystyka promieniowania anteny może być zobrazowana przez powierzchnię będącą zbiorem punktów o stałej wielkości natężenia pola (rys. 10). Badanie kształtu powierzchni charakterystyki jest bardzo kłopotliwe i dlatego bada się charakterystykę azymutalną i wertykalną tj. przekroje powierzchni płaszczyznami xy i xz (patrz rys. 10).

Charakterystyka azymutalna jest najłatwiejszą do pomierzenia i najczęściej ograniczamy się do jej badania. Charakterystyka wertykalna jest bardziej kłopotliwa w pomiarach, ze względu na konieczność badania natężenia pola na różnych wysokościach nad ziemią.



Rys. 10. Przykład przestrzennej charakterystyki promieniowania anteny

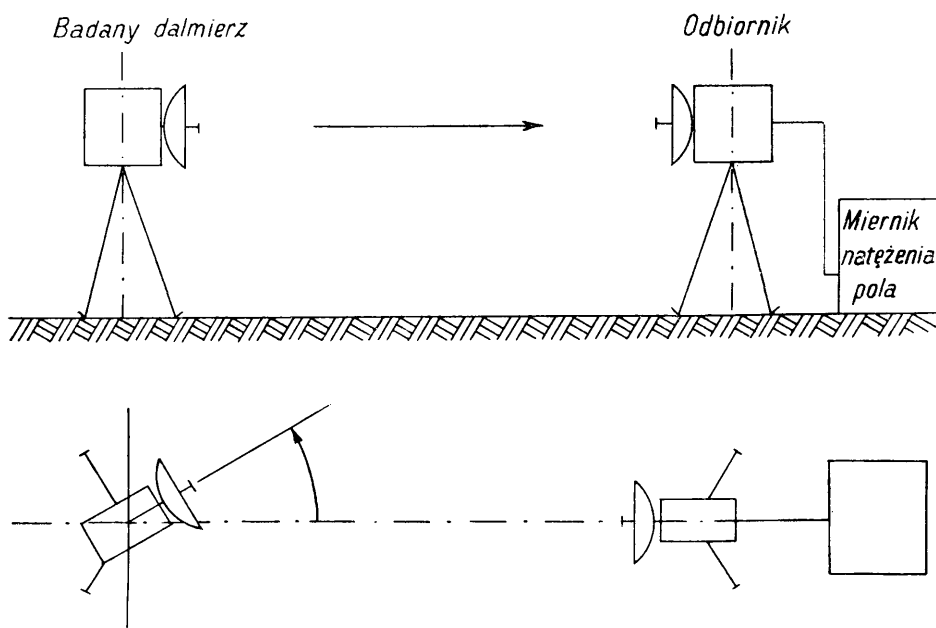
Podawana zwykle przez wytwórców szerokość wiązki głównej charakterystyki (podawana w stopniach) jest wielkością kątową, w której natężenie pola liczone względem kierunku maksymalnego promieniowania spada o 3 dB tj. o ok. 0,707 wartości maksymalnej. W tym zakresie kątowym moc promieniowania przez antenę spada o połowę względem mocy wysyłanej w kierunku maksymalnego promieniowania (rys. 11).



Rys. 11

Szerokość charakterystyki promieniowania anteny dalmierza mikrofalowego ma poważny wpływ na wielkość odbić zewnętrznych. Im węższa jest wiązka promieniowania anteny, tym mniejsza moc jest promieniowana w kierunkach niepożądanych i jednocześnie antena odbiorcza w mniejszym stopniu odbiera sygnały z niepożądanych kierunków. Wobec tego należałoby mieć antenę o jak najwęższej wiązce promieniowania, jednakże przy zbyt wąskiej wiązce byłyby poważne trudności z nacelowaniem dwóch stacji na siebie przy braku widoczności między stacjami oraz wzrastają znacznie wymiary anteny. Dlatego też dla dalmierzy mikrofalowych przyjmuje się szerokość wiązki rzędu kilku stopni (od 3° do 10°), co jest możliwe do uzyskania przy stosunkowo niewielkich wymiarach anteny.

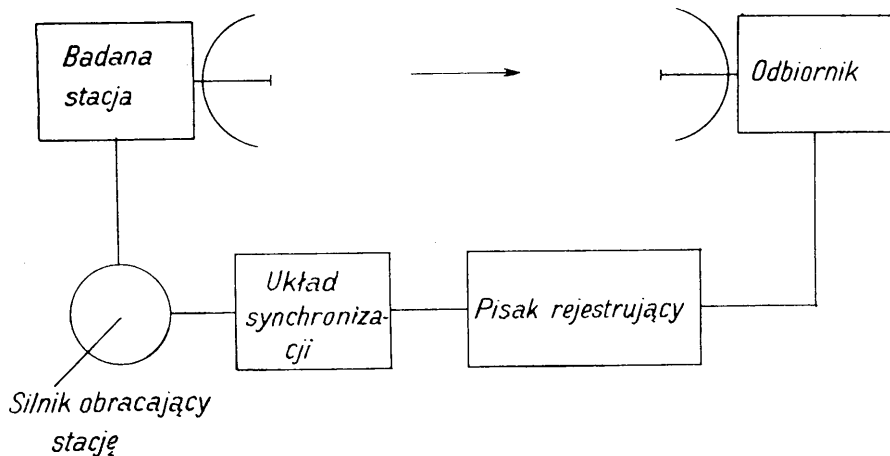
Pomiar charakterystyki anteny dalmierza mikrofalowego najlepiej wykonać traktując ją jako nadawczą ¹⁾. W tym celu umieszcza się dalmierz na statywie i w stałej odległości od niego umieszcza się odbiornik pomiarowy wyposażony we wskaźnik natężenia pola elektromagnetycznego mierzący natężenie w miejscu, w którym umieszczona jest antena odbiornika. Następnie obracając dalmierzem wokół osi pionowej mierzy się natężenie pola dla różnych położeń kątowych dalmierza (rys. 12).



Rys. 12. Układ do pomiaru charakterystyk promieniowania anteny

¹⁾ Możliwy jest również pomiar, traktując antenę jako odbiorczą. Wynika to z ogólnej zasady wzajemności [3]. Jednakże ze względu na specyficzne warunki pracy dalmierza ten sposób jest mniej korzystny.

Wykres zależności $E = f(\varphi)$ jest azymutalną charakterystyką anteny dalmierza. Przy pełnych badaniach systemu antenowego dalmierza należy powyższe pomiary przeprowadzić dla kilku częstotliwości zakresu roboczego (co najmniej dla częstotliwości skrajnych zakresu i dla częstotliwości środkowej). Odległość między antenami winna wynosić co najmniej kilkanaście metrów, oraz w pobliżu anten (dalmierza i anteny miernika natężenia pola (nie powinno być przedmiotów mogących spowodować odbicia (budynki, drzewa itp.).



Rys. 13. Układ do automatycznego pomiaru charakterystyk promieniowania anteny

Pomiar charakterystyki kierunkowej można zautomatyzować posługując się pisakiem rejestrującym natężenie pola. Obrót azymutalny anteny nadawczej musi być zsynchronizowany z posuwem taśmy pisaka (rys. 13). Ze względu na kształt charakterystyk promieniowania anten mikrofalowych posiadających jedną stosunkowo wąską wiązkę główną wygodniej jest przeprowadzić zapis na pisaku we współrzędnych prostokątnych. (Większość pisaków rejestrujących umożliwia właśnie taki zapis).

3.5. Badanie zakresu przestrajania klustronów dalmierzy

Z teorii wpływu odbić na błędy wskazań dalmierzy wiadomo [4], [5], [6], że dla eliminacji wpływu odbić należy dokonać serii pomiarów wykorzystując różne częstotliwości nośne. Wynika stąd konieczność uzyskania zestrojenia obu stacji dalmierzy w pewnym zakresie częstotliwości. W systemach większości dalmierzy radiowych moce promieniowane przez stację główną i pomocniczą różnią się od siebie częstotliwością, różnica ta jest równa częstotliwości pośredniej. Wtedy, jeżeli częstotliwość nośna stacji

głównej wynosi f_{ng} to dla prawidłowego zestrojenia częstotliwość nośna współpracującej z nią stacji pomocniczej f_{np} winna spełniać zależność

$$f_p = |f_{ng} - f_{np}|. \quad (12)$$

gdzie f_p — częstotliwość pośrednia dalmierza.

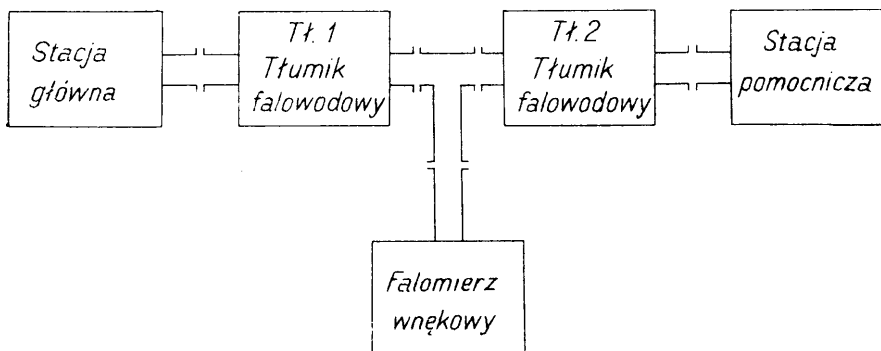
W takim systemie (np. Telemetr RG-1 i RG-10) część sygnału z nadajnika każdej ze stacji doprowadzona do mieszacza odbiornika stanowi sygnał heterodyny. Z równania (12) wynika, że w efekcie zmieszania obu sygnałów otrzymuje się sygnał o częstotliwości pośredniej w dwóch przypadkach, a mianowicie dla

$$\begin{aligned} f_{np} &= f_{ng} - f_p, \\ f_{np} &= f_{ng} + f_p. \end{aligned} \quad (13)$$

Prawidłowe zestrojenie uzyskuje się tylko dla jednej z tych możliwości, dla tej dla której prawidłowo działa układ automatycznej regulacji częstotliwości²⁾. Pomiar zakresu zestrzajania dalmierzy może być przeprowadzony metodami laboratoryjnymi w oparciu o opisaną wyżej metodę pomiaru zasięgu (pkt. 3.1.). Łączy się wtedy wyjścia falowodowe obu stacji poprzez dwa tłumiki T1 i T2 (rys. 14). Między oba te tłumiki łączy się falomierz wnękowy lub heterodynowy, i przeprowadza się zestrojenie obu stacji. Aby uzyskać prawidłowe zestrojenie sumaryczna wartość tłumienia obu tłumików (wyrażona w decybelach) musi być nieco mniejsza od współczynnika tłumienia transmisji zmierzonego w punkcie 3.1.

$$T_1 + T_2 \leq T, \quad (14)$$

gdzie T_1 i T_2 — tłumienia obu tłumików, T — współczynnik tłumienia transmisji.



Rys. 14. Układ do badania zakresu zestrzajania stacji

W układzie tym do falomierza dochodzą dwa sygnały tj. sygnał od stacji pomocniczej i sygnał od stacji głównej. Zadaniem tłumików jest

stłumienie jednego z tych sygnałów do takiej wartości, aby jego wielkość była mniejsza od czułości falomierza (tj. od minimalnego sygnału uruchamiającego falomierz). Wtedy falomierz jest w stanie zmierzyć tylko częstotliwość nośną jednej ze stacji, a zatem odczyt na skali falomierza będzie jednoznaczny. Jeżeli ustawimy tłumienia tłumików w następujący sposób

$$T_2 \leq T \quad T_1 \cong 0, \quad (15)$$

to do falomierza doprowadzony zostanie tylko sygnał ze stacji pomocniczej.

Natomiast przy ustawieniu przeciwnym tj.

$$T_1 \leq T \quad T_2 \cong 0 \quad (16)$$

do falomierza dostanie się tylko sygnał stacji głównej.

Czułość falomierza nie powinna być zbyt duża (mniejsza od czułości odbiornika każdej ze stacji wchodzących w komplet dalmierza) gdyż wówczas do falomierza dochodziłyby zawsze dwa sygnały, bowiem musi być spełniona nierówność (14).

W powyższy sposób przeprowadza się zestrojenie stacji dla skrajnych działek skali dalmierza, dla których można uzyskać jeszcze zestrojenie obu stacji. Zmierzony zakres zestrainia dalmierzy nie jest równoważny zakresowi, w którym przeprowadza się pomiary. Zakres ten jest zwykle węższy; szerokość jego wyznacza się w oparciu o analizę wyników badań geodezyjnych, biorąc za kryterium przebieg błędów pomiaru odległości. Zmierzony laboratoryjnie zakres zestrainia dalmierzy stanowi natomiast maksymalny zakres częstotliwości, w którym jest jeszcze możliwa praca dalmierza.

3.6. Badania fazomierza

W konstrukcjach dalmierzy elektromagnetycznych spotyka się dwa podstawowe rodzaje fazomierzy tj. fazomierze na lampie oscyloskopowej oraz fazomierze o zerowej metodzie odczytu wykorzystujące kalibrowany przesuwnik fazy. W układach fazomierzy z lampą oscyloskopową uchyb pomiaru fazy wynika głównie z niedokładności ustawienia kołowej podstawy czasu, w układach zaś z zerową metodą odczytu z niedokładności przesuwnika fazowego.

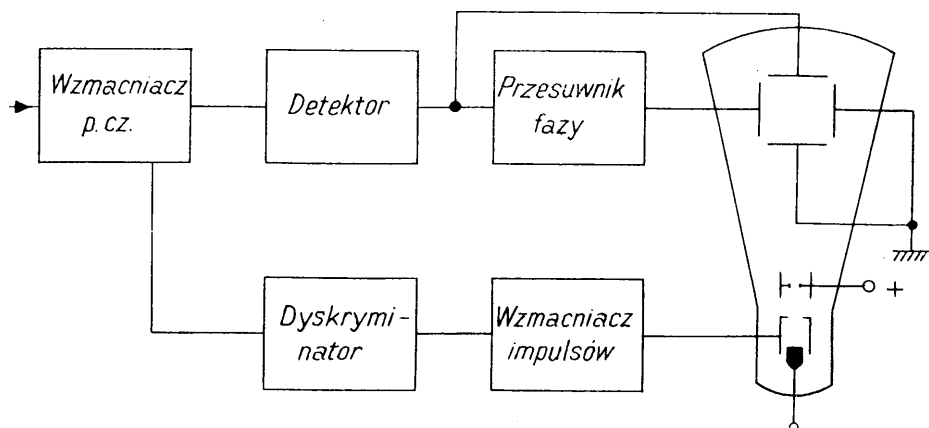
Przykładowe rozwiązanie układowe fazomierza z lampą oscyloskopową podano na rysunku 15, z metodą zerową, zaś na rysunku 16.

W układzie z rysunku 15 dwa napięcia przesunięte względem siebie w fazie o 90° dają na ekranie lampy oscyloskopowej kołową podstawę czasu, impulsy zaś wydzielone na dyskryminatorze sterują jasność świe-

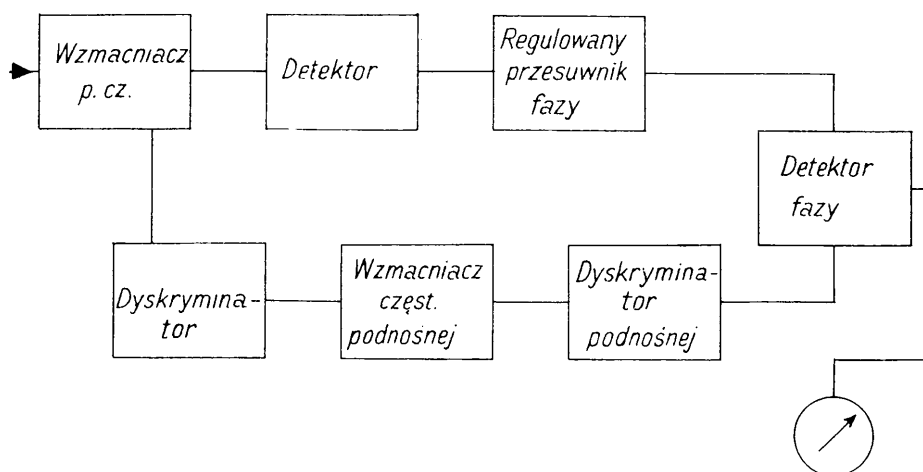
²⁾ Automatyczna regulacja częstotliwości zapobiega rozstrajaniu stacji w czasie pracy. Istnieją jednak dalmierze bez automatycznej regulacji częstotliwości (np. Tellurometr MRA 1).

cenia lampy oscyloskopowej, tworząc przerwę w miejscu uzależnionym od fazy przychodzących impulsów. Kształt impulsów (szerokość, czas narastania) decydują o szerokości przerwy i kontrastowości brzegów przerwy.

W fazomierzu z rysunku 16 dwa napięcia, jedno wydzielone z dyskry-



Rys. 15. Układ fazomierza z lampą oscyloskopową



Rys. 16. Układ fazomierza z zerową metodą odczytu

minatora podnośnej, którego faza zależy od mierzonej odległości i drugie, którego przesunięcie jest regulowane przez przesuwnik fazy, podawane są na detektor fazy. Regulując przesunięcie fazowe przesuwnikiem w granicach od $0 \div 360^\circ$ możemy zawsze uzyskać zanik wskazania miernika wychyłowego.

Metody badania układów fazomierzy polegają na dostarczeniu do zacisków fazomierza dwóch napięć o znanym przesunięciu fazy i porównaniu

tego przesunięcia ze wskazaniem badanego fazomierza. W tym celu należy mieć wzorcowy przesuwnik fazy o przesunięciach nastawianych w zakresie od 0 do 360° .

Inną metodą jest pomiar przesunięcia fazy miernikiem wzorcowym i porównanie wskazań.

Obie wyżej wymienione metody są kłopotliwe z powodu dużej trudności wykonania wzorcowego przesuwnika fazy oraz trudności z uzyskaniem miernika fazy dającego dokładność poniżej 1° .

Pomiary fazomierza wykonuje się dlatego najczęściej podczas prób polowych mierząc serię odcinków różniących się o odległość odpowiadającą niewielkim przesunięciom fazy (np. 10° kątowych). Przeprowadzone w ten sposób pomiary dają obraz błędów nie tylko fazomierza, ale całego toru dalmierza.

3.7. *Badania częstotliwości wzorcowych*

Częstotliwość wzorcowa dalmierza decyduje w głównej mierze o prawidłowości wyników pomiarów. Długość fali odpowiadająca częstotliwości wzorcowej jest niejako „miarą”, którą jest odmierzana odległość. Badania częstotliwości wzorcowych przeprowadza się za pomocą falomierza dowolnego typu dającego wymaganą dokładność np. za pomocą falomierza liczącego. W wypadku pomiarów o większej dokładności należy stosować do falomierza wzorzec zewnętrzny o większej stałości częstotliwości. Pomiary częstotliwości wzorcowych przeprowadza się po uprzednim ustaleniu się częstotliwości wzorcowej dalmierza. Jeżeli chcemy zbadać czas, po którym ustala się częstotliwość wzorcowa dalmierza przeprowadzamy pomiary częstotliwości w czasie nagrzewania się termostatu. Zagadnieniu pomiarów częstotliwości wzorcowych jest poświęcony oddzielny artykuł [8].

3.8. *Badania wzmacniaczy częstotliwości pośredniej*

Zadaniem wzmacniacza częstotliwości pośredniej jest wzmocnienie sygnału pochodzącego od stacji współpracującej do takiego poziomu, aby po demodulacji można było uzyskać odpowiedni sygnał do uruchomienia fazomierza w stacji głównej lub do uruchomienia sygnału odpowiedzi zwrotnej w stacji pomocniczej.

Wyboru, zarówno częstotliwości pośredniej, jak i szerokości pasma przenoszonego przez wzmacniacz dokonuje się przez analizę produktów (tzn. prążków częstotliwości) powstałych przy modulacji klistronu oraz wydzielonych na wyjściu mieszacza w procesie przemiany częstotliwości.

Szerokość pasma wzmacniacza częstotliwości pośredniej winna spełniać zależność

$$f_{\text{imp}} \ll \Delta f \ll f_{\text{wz min}}, \quad (17)$$

gdzie f_{imp} — częstotliwość powtarzania impulsów toru zwrotnego,

$f_{\text{wz min}}$ — minimalna częstotliwość wzorcowa,

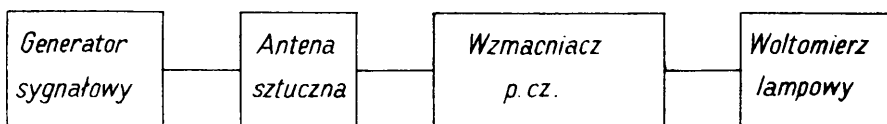
Δf — szerokość pasma wzmacniacza.

Zwykle przyjmuje się $\Delta f = (0,5 \div 1)$ MHz.

Powiększenie szerokości pasma wzmacniaczy częstotliwości pośredniej prowadzi do zwiększenia zakłóceń (na skutek wzmacniania przez wzmacniacz sygnałów niepożądanych) oraz zmniejsza wzmocnienie wzmacniacza przy tej samej liczbie lamp wzmacniających. Zbyt wąskie natomiast pasmo powoduje nieprawidłowe przeniesienie przez wzmacniacz sygnałów niosących informacje oraz utrudnia zestrojenie stacji.

Badanie wzmacniacza częstotliwości pośredniej polega na pomiarze wzmocnienia, badaniu kształtu charakterystyki przenoszenia wzmacniacza, oraz badaniu kształtu charakterystyki dyskryminatora częstotliwości zakańczającego wzmacniacz. Badania wzmacniacza mogą być wykonane metodą pomiaru punktowego (przy użyciu generatora sygnałowego i woltomierza) lub metodą wobuloskopową. Obie te metody pozwalają zmierzyć podstawowe parametry wzmacniacza i są stosowane w laboratoriach.

Metoda pomiaru punktowego, wymaga prostszej aparatury, jest bardziej pracochłonna, daje jednak dokładniejsze rezultaty. Metoda wobuloskopowa daje na ekranie wobulatora kształt charakterystyki przenoszenia wzmacniacza, jest natomiast mniej dokładna. Zwykle metodę wobuloskopową stosujemy przy wstępnym zestrojeniu wzmacniacza (np. nowego lub po naprawie), uzyskane wyniki kontroluje się metodą punktową.



Rys. 17. Układ do pomiaru charakterystyk wzmacniaczy p. cz. metodą punktową

Metoda punktowa (rys. 17) polega na tym, że na wejście wzmacniacza dostarcza się z generatora sygnał o danej częstotliwości, na wyjście wzmacniacza zaś dołącza się woltomierz lampowy, który mierzy sygnał wyjściowy. Wzmocnienie wzmacniacza określa się porównując wielkości sygnału wyjściowego i wejściowego wg wzoru

$$K = 20 \lg \frac{U_{\text{wyj}}}{U_{\text{wej}}} \quad (18)$$

gdzie K — wzmocnienie,

U_{wyj} — napięcie wyjściowe,

U_{wej} — napięcie wejściowe.

W celu imitacji impedancji wyjściowej mieszacza wejście wzmacniacza łączy się z wyjściem generatora sygnałowego poprzez tzw. antenę sztuczną³⁾.

Pomiar kształtu charakterystyki wzmacniacza polega na tym, że do wejścia wzmacniacza dostarczamy z generatora napięcia o częstotliwościach odpowiadających poszczególnym częstotliwościom pasma przenoszenia, o stałej amplitudzie, na wyjściu zaś mierzymy wzmocnienia dla tych częstotliwości. Uzyskany wykres.

$$\frac{K_f}{K_{f_p}} = \varphi(f), \quad (19)$$

gdzie K_f — wzmocnienie dla częstotliwości f wyrażone w V/V,

K_{f_p} — wzmocnienie dla częstotliwości pośredniej wyrażone w V/V,

f — częstotliwość,

— stanowi charakterystykę przenoszenia wzmacniacza

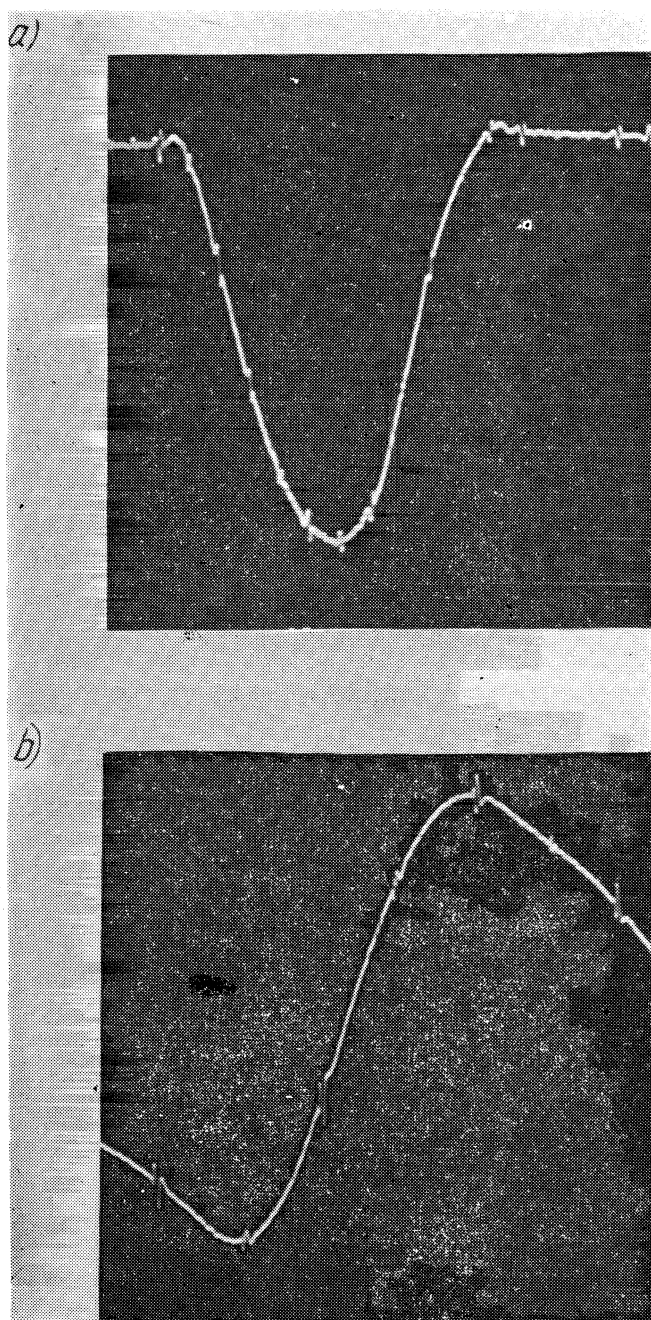
Dla wzmocnień wyrażonych w decybelach obowiązuje oczywiście zależność

$$K_{f[dB]} - K_{f_p[dB]} = \varphi(f).$$

Pomiar charakterystyki przenoszenia dyskryminatora dokonywany jest w taki sam sposób przy podłączeniu woltomierza lampowego na wyjście dyskryminatora. W tym wypadku najlepiej stosować woltomierz z zerem pośrodku lub woltomierz o możliwości pomiaru napięć o różnych polaryzacjach (plus lub minus).

Metody wobuloskopowe umożliwiają bezpośrednią obserwację kształtu charakterystyki przenoszenia na ekranie wobulatora. Wobulator jest przyrządem zawierającym we wspólnej obudowie generator modulowany w częstotliwości, tłumik wzorcowy, układ znaczników częstotliwości oraz oscyloskop ze wzmacniaczem pomiarowym. Zasadę działania wobulatora (Vobuloscope VV3 firmy „Eureka”) ilustruje rysunek 18. Generator wchodzący w skład zestawu wobulatora pracuje w zakresie częstotliwości od f_{min} do f_{max} ustalonym dla wymaganego zakresu pomiaru charakterystyk. Układ wyjściowy i układ automatyki tworzą separator generatora od wyjścia oraz zapewniają dostateczne wzmocnienie sygnału dla tłumika wyjściowego. Układ automatyki usuwa szkodliwą modulację amplitudy napięcia wyjściowego powstałą w procesie modulacji częstotliwości.

³⁾ Antenę sztuczną stanowi układ czwórnikowy złożony z elementów RLC. Impedancja wyjściowa anteny sztucznej zastępuje impedancję anteny rzeczywistej lub w naszym przypadku impedancję wyjściową mieszacza mikrofalowego.



Rys. 20. Przykłady charakterystyk toru p. cz. a) wzmacniacz, b) dyskryminator

nej na ekranie. Dla orientacji w zakresie częstotliwości oglądanego przebiegu na ekranie służą znaczniki częstotliwości, wytwarzane w specjalnym generatorze, wytwarzającym napięcie bogate w częstotliwości harmoniczne. Napięcie znaczników powstaje w momencie, gdy chwilowa częstotliwość napięcia wobulatora staje się równa częstotliwości podstawowej lub harmonicznej generatora znaczników. Znaczniki są widoczne na ekranie równocześnie z oglądaną charakterystyką.

Na wejściu wzmacniacza pomiarowego zastosowano detektor pracujący w układzie detekcji szczytowej, pozwalający na zdjęcie obwiedni charakterystyki badanego układu. W wypadku np. badania wzmacniacza pośredniej częstotliwości zakończonego detektorem lub dyskryminatorem częstotliwości nie potrzeba korzystać z detektora wbudowanego w wobulator, gdyż detektor jest częścią składową mierzonego obiektu.

Układ pomiarowy do zdejmowania charakterystyk przedstawiony jest na rysunku 19. W układzie tym uzyskujemy bezpośrednio obraz badanej charakterystyki przenoszenia wzmacniacza. Przykłady charakterystyk wzmacniacza pośredniej częstotliwości (Telemetr RG1) przedstawia rysunek 20.

4. Wnioski końcowe

Opisany powyżej program badań laboratoryjnych obejmuje pomiary najważniejszych parametrów dalmierzy. Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić poprawność pracy dalmierza i ewentualną jego sprawność do pracy.

Praktyka pozwala na określenie następującego programu pomiarowego dalmierzy:

1. W czasie sezonu pomiarowego — sprawdzenie częstotliwości wzorcowych i ich ewentualna korekcja zestrojenia wzmacniacza częstotliwości pośredniej, sprawdzenie i ewentualna korekcja fazomierza.
2. Po sezonie pomiarowym — sprawdzenie częstotliwości wzorcowych i ich korekcja, sprawdzenie zestrojenia wzmacniaczy częstotliwości pośredniej, sprawdzenie i korekcja fazomierza, pomiar mocy mikrofalowej i sprawdzenie orientacyjnego zasięgu.
3. Pełny zestaw badań winien być wykonany podczas badań nowego dalmierza lub po gruntownej naprawie uszkodzonego egzemplarza.

LITERATURA

- [1] *Harvey A.F.*: Microwave engineering. Academic Press, London and New York 1963, (istnieje przekład rosyjski Harvey A.F. *Tiechnika swierchwyssokich czastot.* Sowietsskoje Radio, Moskwa 1965).
- [2] *Panewki M. Litwin R. Drozdowicz L.*: Teoria i technika mikrofalowa. WNT, Warszawa 1961.
- [3] *Ajzenberg G.Z.*: Korotkowotnowye anteny. Gos. Izd. po woprosam Swiazi u Radio, Moskwa 1962. (istnieje przekład polski Ajzenberg G.Z. *Anteny krótkofalowe.* WNT, Warszawa 1966).
- [4] *Holejko—Demczuk*: Dalmierz mikrofalowy TELEMETR OG-1 — Zasada działania. Przegląd Geodezyjny Nr 4 i 5 r. 1965.
- [5] *Holejko K.*: Wpływ odbić od ziemi na dokładność pomiaru niektórych elektronicznych dalmierzy geodezyjnych. Arch. Elektr., tom X, zeszyt 3, Warszawa 1961.
- [6] *Holejko K.*: Fizyczne podstawy pomiarów krótkich odległości geodezyjnych za pomocą przyrządów elektronicznych Arch. Elektr., tom X, zeszyt 3, Warszawa 1960.
- [7] *Genike A.A.*: Gieodieziczieskije fazowyje radiodalnomiery. Trudy CNIIGAIK. Wyd. 164, Moskwa 1963.
- [8] *Otyś A.*: Niektóre metody kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy elektromagnetycznych. Prace IGIK, tom XV, zeszyt 2 (35), 1968.

*Recenzował: mgr inż. Wojciech Krzemiński
Samodzielny pracownik naukowo-badawczy*

Rękopis złożono w Redakcji w maju 1968 r.

ТАДЭУШ СТЕНЦКИ

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Резюме

Лабораторные исследования электромагнитных дальномеров позволяют узнать их основные электрические параметры. Методика лабораторных исследований приводимых в ИГиК включает следующие измерения:

- ориентировочное определение радиуса действия,
- измерение микроволновой мощности дальномера,
- измерение согласования антенны дальномера,
- исследования формы характеристики излучения антенны,
- измерение диапазона пространств станции дальномера,
- исследования фазомера,
- измерение эталонных частот,
- исследования усилителей промежуточной частоты.

Описанная методика исследований позволяет применять ее при исследованиях дальномеров любого типа после незначительных модификации. Даются измерительные системы позволяющие на реализацию измерений всех перечисленных параметров.

Даются и описывается графики применяемые при определении дальности дальномера в зависимости от полученных в лабораторных условиях коэффициентов затухания трансмисии.

TADEUSZ STENCKI

LABORATORY TESTS OF ELECTROMAGNETIC DISTANCE METERS

S u m m a r y

By means of laboratory tests of electromagnetic distance meters it is possible to determine their fundamental electric parameters. The mode of laboratory testing as made by IGiK contains the following measurements:

- the approximate range of measurement,
- the measurement of the micro-wave power,
- the measurement how to adapt the antenna of the distance meter,
- investigations of the shape of the radiation characteristic of the antenna,
- the measurement of the range of tuning-in of the distance meter station,
- investigations of the phase meter,
- the measurement of standard frequencies,
- investigations of amplifiers of intermediate frequency.

The mode of testing described above can be put to use for any type of distance meter, applying only minor modifications. Test patterns are added by means of which measurements of all the above listed parameters can be made.

Further, the author shows and describes charts for determining the range of distance meters in dependence on the coefficients of transmission fading established by laboratory tests.

