

URZADZENIA ANTENOWE	NORMA BRANŻOWA	BN-84
	Antenowe urządzenia radiokomunikacyjne zakresu od 14 kHz do 30 MHz <b>Metody badań parametrów elektrycznych</b>	3332-01/03
		Grupa katalogowa 1934

### 1. WSTĘP

Przedmiotem arkusza normy są metody badań parametrów elektrycznych nadawczych i odbiorczych traktów antenowych dla zakresu częstotliwości od 14 kHz do 30 MHz.

Dopuszcza się stosowanie innych metod pomiarowych, poza wymienionymi, zapewniających uzyskanie dokładności wg tabl. 2.

### 2. BADANIA

#### 2.1. Program badań

2.1.1. Ustalenie przedmiotów badań. Wskaźnikami ustalającymi przedmioty badań są:

dla traktów antenowych odbiorczych - kierunkowość anteny  $D_0$ , przyjęta w jej projekcie,

dla traktów antenowych nadawczych - znamionowa moc wyjściowa nadajnika  $P_n$ .

Dla anten odbiorczych o kierunkowości  $D_0 \leq 1,6$  oraz dla traktów nadawczych zasilanych mocą  $P_n < 1$  kW, badania można ograniczyć do:

- sprawdzenia działania ze współpracującą aparaturą nadawczą lub odbiorczą,

- sprawdzenia zgodności podstawowych wymiarów anten z wymiarami podanymi w dokumentacji,  
- określenia stref ochronnych<sup>1)</sup>.

2.1.2. Przedmioty badań i ich dziedziny. Dla kierunkowości  $D_0 > 1,6$  i dla znamionowych mocy nadajników  $P_n \geq 1$  kW, przedmioty badań, ich dziedziny oraz informacje dotyczące wymagań i badań podano w tabl. 1.

2.2. Warunki badań - wg BN-82/3332-01/00 p. 2.1.

#### 2.3. Opis badań

2.3.1. Badania w paśmie częstotliwości  $\langle f_d, f_g \rangle$ . Badania wielkości elektrycznej  $Y(f)$ , będącej funkcją częstotliwości  $f$  i mającej podstawowe znaczenie dla eksploatacji traktu antenowego, należy wykonać dla ciągu częstotliwości.

$$f_1 = f_d, f_2, \dots, f_{N-1}, f_N = f_g, \quad (1)$$

który umożliwia pełne rozpoznanie badanej wielkości w paśmie  $\langle f_d, f_g \rangle$ , w szczególności wartości ekstremalnych z dokładnością wynikającą z tabl. 2.

<sup>1)</sup> Patrz Informacje dodatkowe p. 5.

Zgłoszona przez Instytut Łączności (O)  
Ustanowiona przez Dyrektora Instytutu Łączności dnia 5 grudnia 1984 r.  
jako norma obowiązująca od dnia 1 lipca 1985 r.  
(Dz. Norm. i Miar nr 3/1985 poz. 6)

Tablica 1. Przedmioty badania

Lp.	Przedmiot badania	Dziedzina badania		Wymaganie wg	Badanie wg
		$1,6 < D_0 \leq 10$ $1 \text{ kW} < P_n \leq 5 \text{ kW}$	$D_0 > 10$ $P_n > 5 \text{ kW}$		
1	2	3	4	5	6
1	Impedancja wejściowa anteny	-	+	ark. 00 p. 2.1	2.3.4 i 2.3.5
2	Własny współczynnik odbicia traktu antenowego nadawczego	+	+	ark. 01 p. 2.1.2	2.3.4 i 2.3.5
3	Własny współczynnik odbicia toru zasilającego	+	+	ark. 02 p. 2.1.3	2.3.6 i 2.3.7
4	Charakterystyka promieniowania anteny <sup>1)</sup>	+	+	ark. 01 p. 2.2.1	2.3.8
5	Sektory obsługiwanie $S_i$	-	+	ark. 01 p. 2.2.2	2.3.9
6	Wskaźnik kierunkowości $M$	-	+		
7	Granice strefy ochronnej <sup>2)</sup>	+	+	ark. 00 p. 2.1	-
8	Współczynnik symetrii anteny, toru zasilającego i traktu antenowego, znamionowo symetrycznych	-	+	ark. 01 p. 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3	2.3.5
9	Współczynnik sprzężenia elektromagnetycznego między antenami i między traktami antenowymi	-	+	ark. 01 p. 2.4	2.3.10 i 2.3.11
10	Sprawność toru zasilającego	-	+	ark. 02 p. 2.1.1, 2.1.2	2.3.12
11	Azymut usytuowania anteny kierunkowej	+	+	ark. 00 p. 2.5	2.3.13

Tablica 2. Dokładność wyznaczania wielkości elektrycznych

Lp.	Wielkość badana	Wymagana dokładność	
		jednostka	miara
1	2	3	4
1	Częstotliwość jako wielkość odniesienia podczas pomiarów innych wielkości elektrycznych	%	1
2	Impedancja dwójników (traktów antenowych, anten, torów zasilających) $Z = R + jX$ , $R$ - część rzeczywista, $X$ - część urojona	%	15
3	Moduł współczynnika odbicia	-	$0,12   \rho   \pm 0,05$
4	Impedancja falowa toru zasilającego - w związku z wymaganiami wg tabl. 1 lp. 3	%	5
5	Charakterystyka promieniowania anteny <sup>1)</sup> - dla wiązki głównej - dla pozostałych wiązek	dB dB	1 3
6	Granice strefy ochronnej <sup>2)</sup>	dB	6
7	Współczynnik symetrii anteny, toru zasilającego i traktu antenowego - znamionowo symetrycznych	dB	6
8	Współczynnik sprzężenia elektromagnetycznego między antenami i między traktami antenowymi	dB	6
9	Sprawność toru zasilającego	%	15
10	Azymut usytuowania w terenie anteny kierunkowej w odniesieniu do rozwar- tości wiązki głównej	%	0,5

1) Patrz Informacje dodatkowe p. 6,

2) Patrz Informacje dodatkowe p. 5.

**2.3.2. Kompatybilność badanego obiektu i aparatury pomiarowej ze względu na symetrię względem ziemi.** Przy pomiarach wszystkich parametrów traktów antenowych, charakter symetrii względem ziemi stosowanego osprzętu pomiarowego powinien być zgodny z charakterem symetrii względem ziemi badanego obiektu. Odstępstwo od tego wymagania jest dopuszczalne tylko wtedy, gdy wypadkowy uchyb pomiaru badanej wielkości elektrycznej, mimo zastosowania w osprzęcie pomiarowym elementu o symetrii odmiennej od symetrii badanego obiektu, pozostaje w granicach ustalonych w 2.3.3.

**2.3.3. Wymagana dokładność.** Dokładności wyznaczania parametrów elektrycznych nie powinny być gorsze niż podane w tabl. 2.

W tabl. 2 zastosowano następujące oznaczenia:

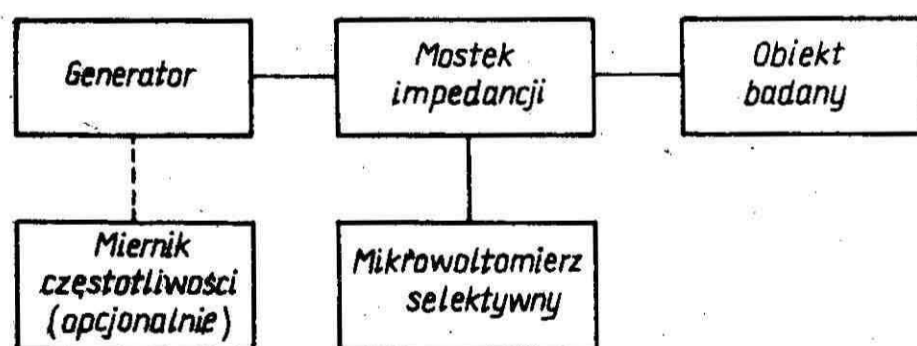
- miara dokładności, w procentach (%), oznacza wielkość względną  $100 \frac{ABS(\Delta Y)}{Y}$ , gdzie  $ABS$  jest wartością bezwzględną,  $Y$  jest wielkością badaną, a  $\Delta Y$  oznacza bezwzględny uchyb tej wielkości;

- miara dokładności, w decybelach (dB), oznacza wielkość  $W \lg \left\{ \frac{ABS[(Y \pm \Delta Y)]}{Y} \right\}$ , gdzie  $W$  oznacza liczbę 10 lub liczbę 20, a  $ABS$  jest albo wartością bezwzględną, gdy  $Y$  jest wielkością rzeczywistą, albo modulem, gdy  $Y$  jest wielkością zespoloną;

- wielkość  $| \rho |$  oznacza moduł współczynnika odbicia.

**2.3.4. Badanie impedancji dwójników anten, traktów antenowych i części traktów antenowych  $Z = R + jX$  albo badanie zespolonego współczynnika odbicia  $\rho$**  należy przeprowadzić selektywnie jedną z dwóch metod:

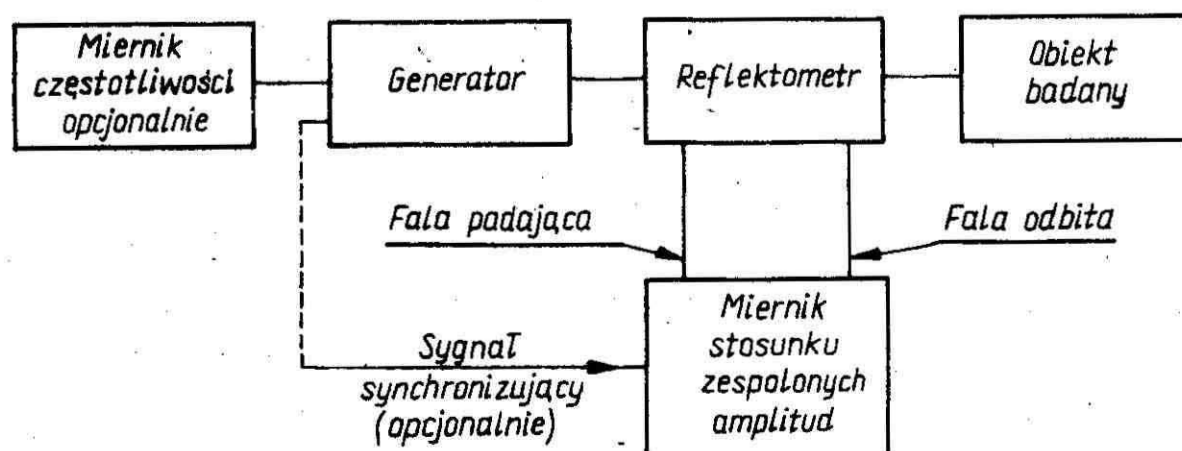
- metodą mostkową<sup>1)</sup>, w układzie wg rys. 1,



BN-84/3332-01/03-1

Rys. 1. Układ do pomiaru impedancji metodą mostkową

- metodą reflektometryczną<sup>2)</sup> w układzie wg rys.2.



BN-84/3332-01/03-2

Rys. 2. Układ do pomiaru impedancji metodą reflektometryczną

**2.3.5. Badanie impedancji i współczynnika symetrii dwójników anten, traktów antenowych i ich części znamionowo symetrycznych względem ziemi,** należy wykonać jedną z następujących metod:

- metodą mostkową<sup>1)</sup>, w układzie wg rys. 1,
- metodą reflektometryczną<sup>3)</sup>, w układzie wg rys.2,
- za pomocą układu wyposażonego w miernik stosunku zespolonych amplitud<sup>4)</sup>.

Warunkiem przeprowadzenia pomiaru współczynnika symetrii jest istnienie w układzie pomiarowym punktu odniesienia (zacisku), którego potencjał może być traktowany jako równy potencjałowi ziemi. Za taki punkt można przyjąć obudowę nadajnika lub zacisk dołączony do jednego końca odcinka przewodu, odizolowanego w całości od ziemi i umieszczonego w pobliżu powierzchni ziemi, którego długość elektryczna jest równa jednej czwartej długości fali.

**2.3.6. Badanie własnego współczynnika odbicia toru zasilającego względem impedancji falowej toru** należy wykonać metodami wg 2.3.4 lub 2.3.5 w warunkach, gdy jeden koniec toru zasilającego - przeciwny względem końca, w którym wykonuje się pomiary - jest zamknięty rezystancją równą impedancji falowej toru.

**2.3.7. Badanie impedancji falowej toru zasilającego  $Z_f$ .** Impedancję falową toru  $Z_f$  należy wyznaczyć na podstawie wzoru

$$Z_f = \frac{1}{2C_o(f_2 - f_1)} \quad (2)$$

w którym:

$C_o$  - pojemność statyczna badanego odcinka toru zasilającego otwartego na końcu, wyrażona w pikofaradach (pF);

$f_1, f_2$  - dwie kolejno po sobie następujące częstotliwości, wyrażone w megahercach (MHz), dla których wzdłuż odcinka toru zwanego na końcu układu się całkowita wielokrotność połówek fali, odpowiednio  $n$  i  $n+1$ , gdzie  $n$  - liczba naturalna.

1) Patrz Informacje dodatkowe, p.7.

2) Patrz Informacje dodatkowe, p.8.

3) Patrz Informacje dodatkowe, p.8 i 9.

4) Patrz Informacje dodatkowe, p.10.

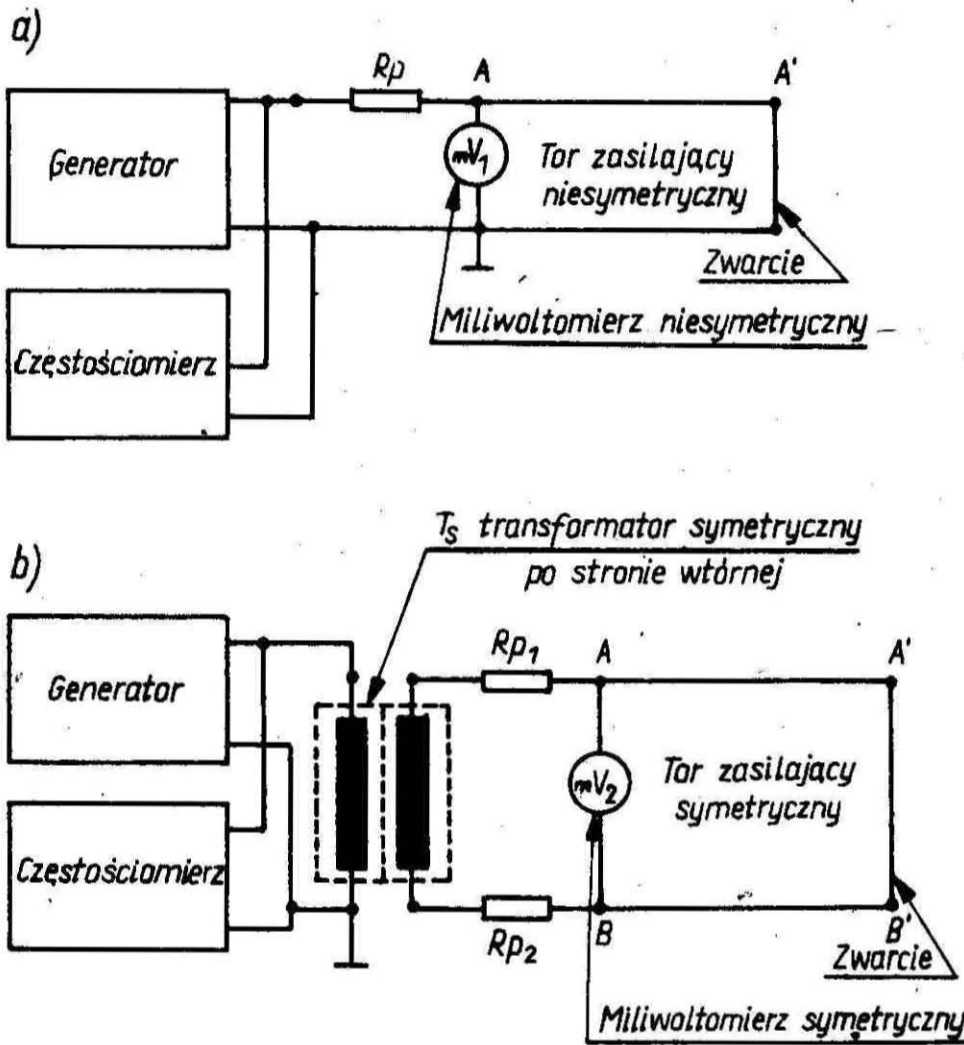
Pojemność  $C_0$  należy wyznaczyć za pomocą mostka przy częstotliwości  $f_0 = 1$  kHz.

Częstotliwość  $f_1$  i  $f_2$  należy wyznaczyć za pomocą układu przedstawionego na rys. 3.

Rezystancje rezystorów  $R_p$ ,  $R_{p1}$  i  $R_{p2}$  powinny spełniać relacje

$$R_p \geq 4Z_{fp}, R_{p1} + R_{p2} \geq 4Z_{fp}, |R_{p1} - R_{p2}| : (R_{p1} + R_{p2}) \leq 0,005 \quad (3)$$

gdzie  $Z_{fp}$  oznacza wartość projektową impedancji falowej toru.



Rys. 3. Układ do wyznaczania częstotliwości rezonansowych odcinka toru zasilającego

a) dla toru niesymetrycznego względem ziemi, b) dla toru symetrycznego względem ziemi.

$V_1$  i  $V_2$  oznaczają miliwoltomierze aperiodyczne, odpowiednio niesymetryczny i symetryczny względem ziemi, o impedancji wejściowej równej co najmniej  $4Z_{fp}$ .

Współczynnik symetrii elektrycznej transformatora symetryzującego  $T_s$ , który należy zastosować dla toru symetrycznego względem ziemi, powinien być równy co najmniej 40 dB<sup>1)</sup>.

Wskaźnikiem odkładania się, wzdłuż badanego odcinka toru, całkowitej wielokrotności połówek fali jest minimalna wartość napięcia wskazanego przez miliwoltomierz  $V$  podczas ciągłej zmian częstotliwości generatora. Powiększając częstotliwość generatora, należy odczytać na mierniku częstotliwości takie dwie kolejno po sobie występujące częstotliwości  $f_1$  i  $f_2$ ,  $f_1 < f_2$ , dla których obserwuje się

<sup>1)</sup> Patrz Informacje dodatkowe, p. 11.

wyraźne minima napięcia. Badania należy rozpocząć od częstotliwości  $f_{\min} = 100$  kHz dla torów stosowanych w zakresach fal długich i średnich i od częstotliwości  $f_{\min} = 2$  MHz dla torów stosowanych w zakresach pośredniofalowym i krótkofalowym.

### 2.3.8. Badanie charakterystyk promieniowania anteny.

Dla anten prototypowych oraz w przypadkach, gdy występuje możliwość zniekształcenia własności kierunkowych anteny przez dźwięczenie, dwuwymiarowe charakterystyki promieniowania należy wyznaczyć za pomocą źródła umieszczonego na pojeździe latającym<sup>2)</sup>.

Dopuszcza się wyznaczenie charakterystyk promieniowania anteny na podstawie badań własności kierunkowych modelu anteny.

2.3.9. Badanie sektorów obsługiwanego  $S_4$  i wskaźnika kierunkowości  $M$  należy przeprowadzić na podstawie zależności charakterystyk promieniowania anteny od kąta azymutu i kąta elewacji, wg ark. 00 p. 1.4.14 i 1.4.16.

2.3.10. Współczynnik sprzężenia elektromagnetycznego między dwiema antenami należy wyznaczyć jedną z dwóch metod:

- metodą dwóch wzajemnie przecechowanych reflektrometrów<sup>3)</sup>,
- przy zastosowaniu woltomierza wektorowego i mikro-woltomierza selektywnego<sup>4)</sup>.

2.3.11. Współczynnik sprzężenia elektromagnetycznego między dwoma traktami antenowymi należy wyznaczyć sposobem opisanym w 2.3.10, zastosowanym na wejściach traktów antenowych.

2.3.12. Badanie sprawności toru zasilającego należy wykonać jedną z następujących metod:

- metodą mostkową<sup>5)</sup>,
- metodą reflektometryczną<sup>6)</sup>,
- za pomocą układu wyposażonego w miernik stosunku zespolonych amplitud<sup>7)</sup>.

2.3.13. Azymut usytuowania anteny kierunkowej należy wyznaczyć metodami geodezyjnymi.

2.4. Ocena wyników badań. Trakt anteny jako całość i jego części składowe - antenę i tor zasilający - należy

<sup>2)</sup> Patrz Informacje dodatkowe p. 6.

<sup>3)</sup> Patrz Informacje dodatkowe p. 12.

<sup>4)</sup> Patrz Informacje dodatkowe p. 13.

<sup>5)</sup> Patrz Informacje dodatkowe, p. 14.

<sup>6)</sup> Patrz Informacje dodatkowe, p. 15.

<sup>7)</sup> Patrz Informacje dodatkowe, p. 16.

uznać jako dopuszczalne do eksploatacji, jeżeli wyniki badań wszystkich ich parametrów są zgodne z wymaganiami ustalonymi w normie. Protokoły badań traktów antenowych i ich części powinny zawierać dla każdego badanego parametru stwierdzenie zgodności lub niezgodności z wymaganiami normy.

### 3. POSTĘPOWANIE W PRZYPADKACH NIEZGODNOŚCI Z WYMAGANIAMI NORMY

W przypadkach stwierdzenia niezgodności badanego parametru z wymaganiami normy, należy ustalić przyczynę odstępstwa parametru od wymagań, usunąć ją i przeprowadzić ponownie badania.

K O N I E C

### INFORMACJE DODATKOWE

#### 1. Instytucja opracowująca normę - Instytut Łączności.

#### 2. Normy związane

BN-82/3332-01/00 Antenowe urządzenia radiokomunikacyjne zakresu od 14 kHz do 30 MHz. Postanowienia ogólne

BN-82/3332-01/01 Antenowe urządzenia radiokomunikacyjne zakresu od 14 kHz do 30 MHz. Wymagania elektryczne dla traktów antenowych

BN-84/3332-01/02 Antenowe urządzenia radiokomunikacyjne zakresu od 14 kHz do 30 MHz. Tory zasilające wymagania elektryczne

#### 3. Zalecenia międzynarodowe

CCIR Recommendation 162-2. Use of directional Antennas in the Bands 4 to 28 MHz - norma zgodna.

CCIR Report 356-2. Use of directional Antennae in the Bands 4 to 28 MHz - norma zgodna.

ITU Radio Regulations 1976 - norma zgodna.

4. Autorzy projektu normy - mgr inż. Ryszard Klimkiewicz, dr inż. Lech Stasiński - Instytut Łączności, Oddział Wrocław.

5. Metody badania granic stref ochronnych nie są objęte niniejszą normą ze względu na brak w kraju doświadczeń w tej dziedzinie. Po zebraniu takich doświadczeń będzie opracowane uzupełnienie do normy.

6. Metodyka pomiarów charakterystyk promieniowania anten z zastosowaniem pojazdu latającego w zakresie częstotliwości do 30 MHz nie jest dotychczas opracowana. Jej opracowanie wymaga szczegółowych badań teoretycznych i praktycznych. Po opracowaniu metodyki będzie wydane uzupełnienie do normy.

7. Pomiar impedancji i zespolonego współczynnika odbicia za pomocą mostka. W przypadku stosowania mostka impedancji typu R-C, którego dekady rezystorowe i pojemnościowe są wyskalowane odpowiednio w milisimensach (mS) i w pikofaradach (pF), impedancję mierzonego obiektu  $Z = R + jX$ , w omach, można wyznaczyć wg wzorów:

$$R = 1000 \text{ g/m}, \quad X = 1000 \text{ b/m}, \quad (I-1)$$

$$b = \frac{k\pi f C}{500}, \quad m = g^2 + b^2, \quad (I-2)$$

w których:

$g$  - sumaryczna przewodność, mS,

$C$  - sumaryczną pojemność, pF,

$k$  - współczynnik zależny od charakteru badanej impedancji  $Z = R + jX$ , przy czym  $k = 1$ , gdy ten charakter jest indukcyjny, albo  $k = -1$ , gdy ten charakter jest pojemnościowy,

$f$  - częstotliwość, MHz.

Przy podanych oznaczeniach, zespolony współczynnik odbicia  $\rho$  dla badanej impedancji względem impedancji falowej  $Z_f$  należy wyznaczyć na podstawie wzoru -

$$\rho = (S^2 - m - j2sb) : (s^2 + m + 2sg), \quad s = 1000 : Z_f \quad (I-3)$$

8. Pomiar impedancji i zespolonego współczynnika odbicia za pomocą reflektometru. Przy zastosowaniu reflektometru, zespolony współczynnik odbicia  $\rho$  dla badanej impedancji  $Z = R + jX$  względem impedancji falowej  $Z_f$  należy wyznaczyć na podstawie wzoru

$$\rho = m(\cos \alpha + j \sin \alpha) \quad (I-4)$$

w którym:

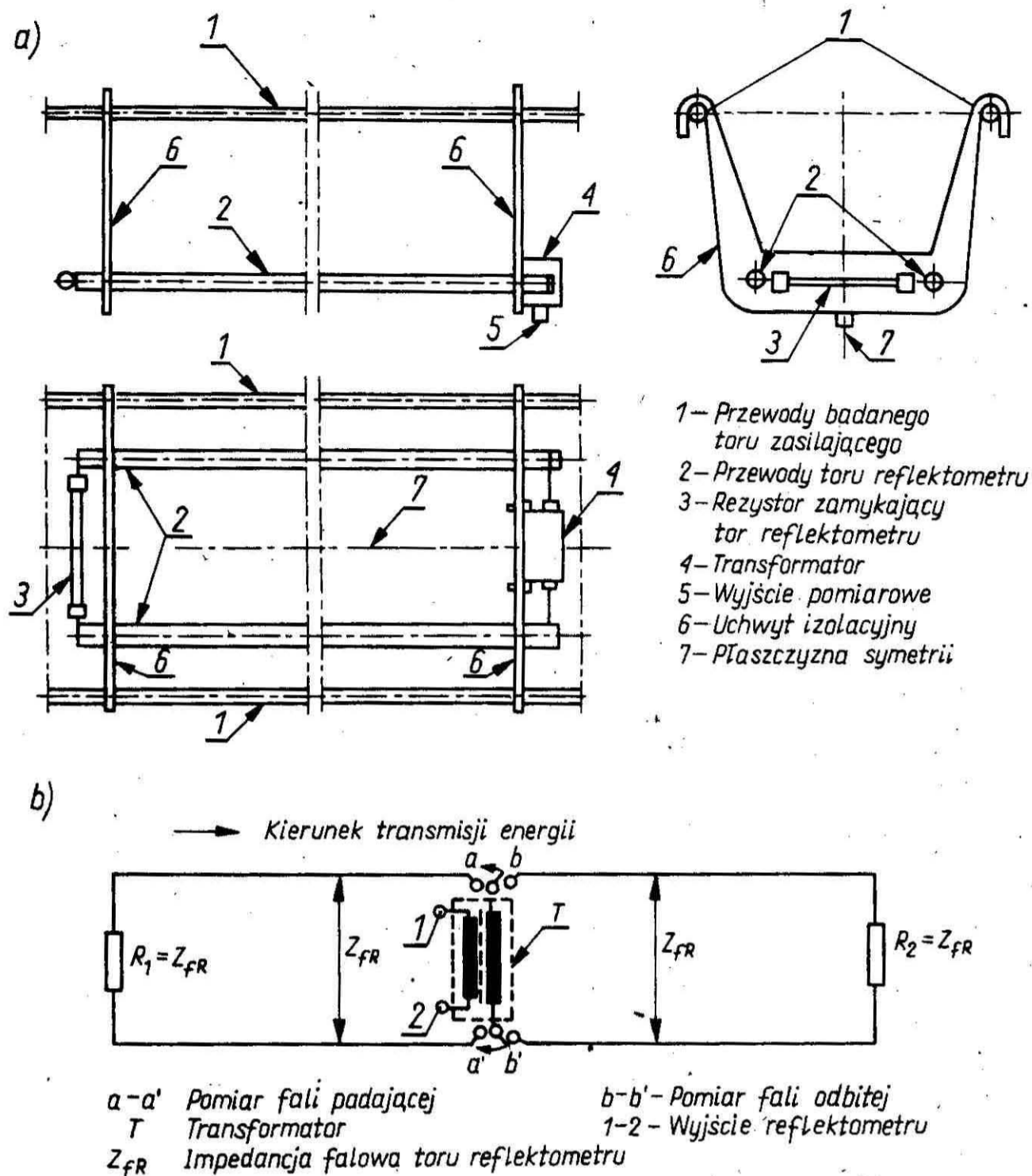
$m = A_o : A_p$  - moduł współczynnika odbicia, równy stosunkowi amplitudy fali odbitej  $A_o$  i amplitudy fali padającej  $A_p$ ,

$\alpha = \alpha_o - \alpha_p$  - argument współczynnika odbicia równy różnicy kąta fazowego fali odbitej  $\alpha_o$  i kąta fazowego fali padającej  $\alpha_p$ .

Przy podanych oznaczeniach, badaną impedancję w miejscu pomiaru należy wyznaczyć na podstawie wzoru

$$Z = R + jX = Z_f \frac{1 + \rho}{1 - \rho} = Z_f \frac{1 - m^2 + j2m \sin \alpha}{1 + m^2 - 2m \cos \alpha} \quad (I-5)$$

9. Reflektometr dla fali modu symetrycznego transmitowanej w otwartym symetrycznym dwudrutowym torze zasilającym. Do pomiarów impedancji w takich torach powinien być stosowany reflektometr o budowie symetrycznej względem ziemi, zawieszony na przewodach badanego toru zasilającego, rys. I-1.



BN-84/3332-01/03-1-1

Rys. 1-1. Reflektometr pomiarowy dla fali modu symetrycznego transmitowanej w otwartym symetrycznym torze zasilajacym:

a) przedstawienie pogladowe polowy reflektometru, b) schemat pelnego reflektometru

Wartość sprzężenia prądowego dla toru badanego i toru reflektometru jest przedstawiona na rys. 1-2, na którym wielkości  $a_0$ ,  $a_1$  i  $b$ , w przekroju prostopadłym do osi toru, oznaczają odpowiednio:

-  $a_0$  oznacza odstęp między osiami przewodów toru badanego,

-  $a_1$  oznacza odstęp między osiami przewodów toru reflektometru,

-  $b$  oznacza odstęp między płaszczyzną przechodzącą przez osie przewodów toru badanego i płaszczyzną przechodzącą przez osie przewodów toru reflektometru.

W celu ograniczenia wpływu fali modu niesymetrycznego, względem ziemi na wyniki pomiarów parametrów fali modu symetrycznego, należy ograniczyć niesymetrię mechaniczną toru reflektometru względem lokalnej płaszczyzny symetrii badanego toru zasilajacego. W dowolnym przekroju prostopadłym do osi układu badanego toru zasilajacego i toru reflektometru, niesymetria ta wg rys. 1-3 jest określona dwoma parametrami:

- kątem  $\psi$  między lokalnymi płaszczyznami symetrii toru badanego i toru reflektometru;

- względnym przesunięciem  $p = 2\delta/a_0$  wskazanym na rys. 1-3b).

Aby błąd pomiaru współczynnika odbicia dla fali modu symetrycznego, spowodowany oddziaływaniem fali modu niesymetrycznego, nie przekraczał 2 dB w warunkach gdy:

- wartość amplitudy prądu fali padajacej modu niesymetrycznego  $I_{pN}$  nie przekracza wartości amplitudy prądu fali padajacej modu symetrycznego  $I_{pS}$ ,  $I_{pN} \leq I_{pS}$ .

- moduł współczynnika odbicia fali modu symetrycznego nie przekracza wartości 0,5,

parametry niesymetrii mechanicznej  $\psi$  i  $\delta$  w dowolnym przekroju poprzecznym układu "tor zasilajacy + tor reflektometru" (rys. 1-3) powinny spełniać warunek

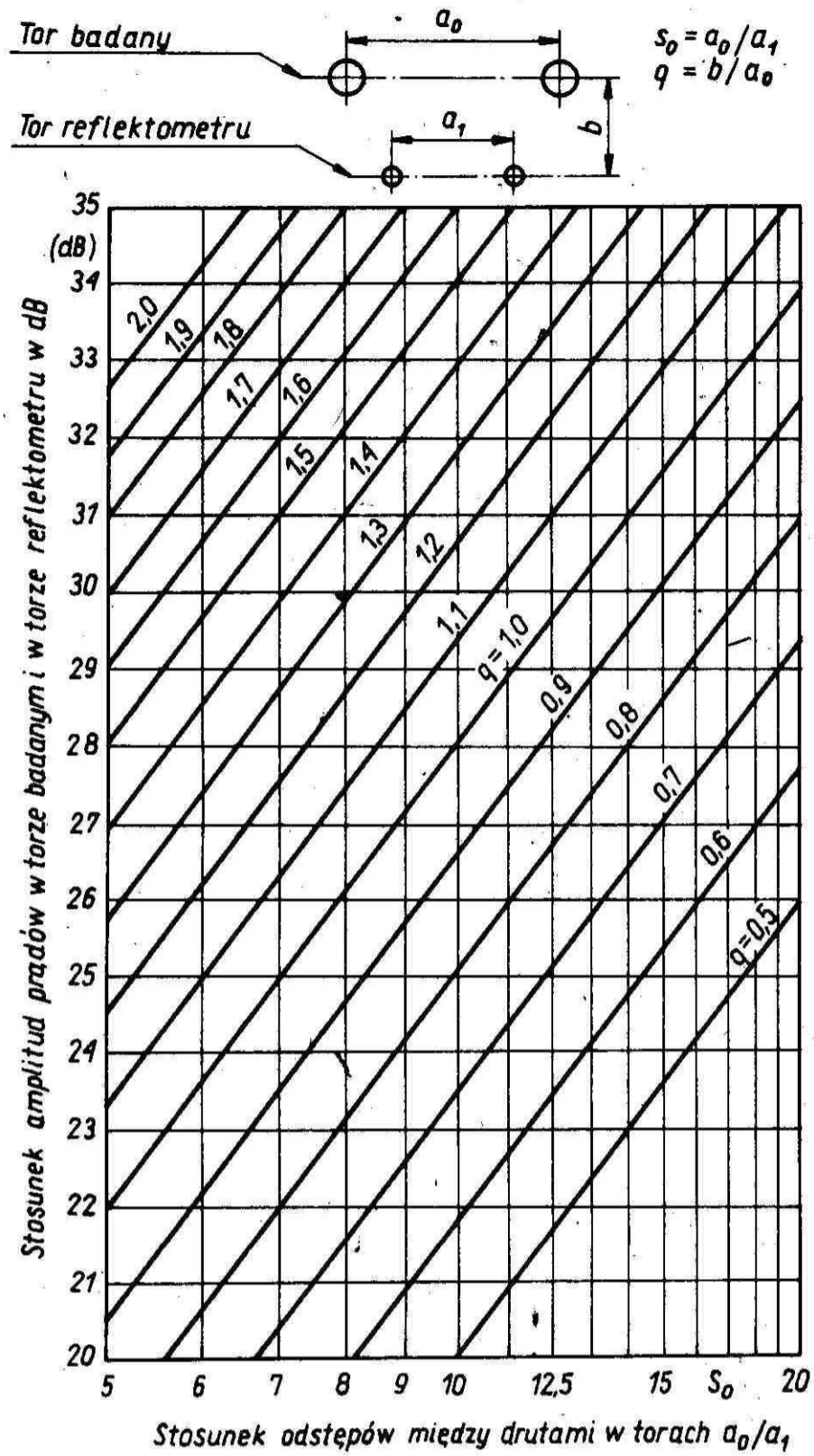
$$1,35q\psi + 0,28(q - 0,15) \leq 1 \quad (1-6)$$

w którym:

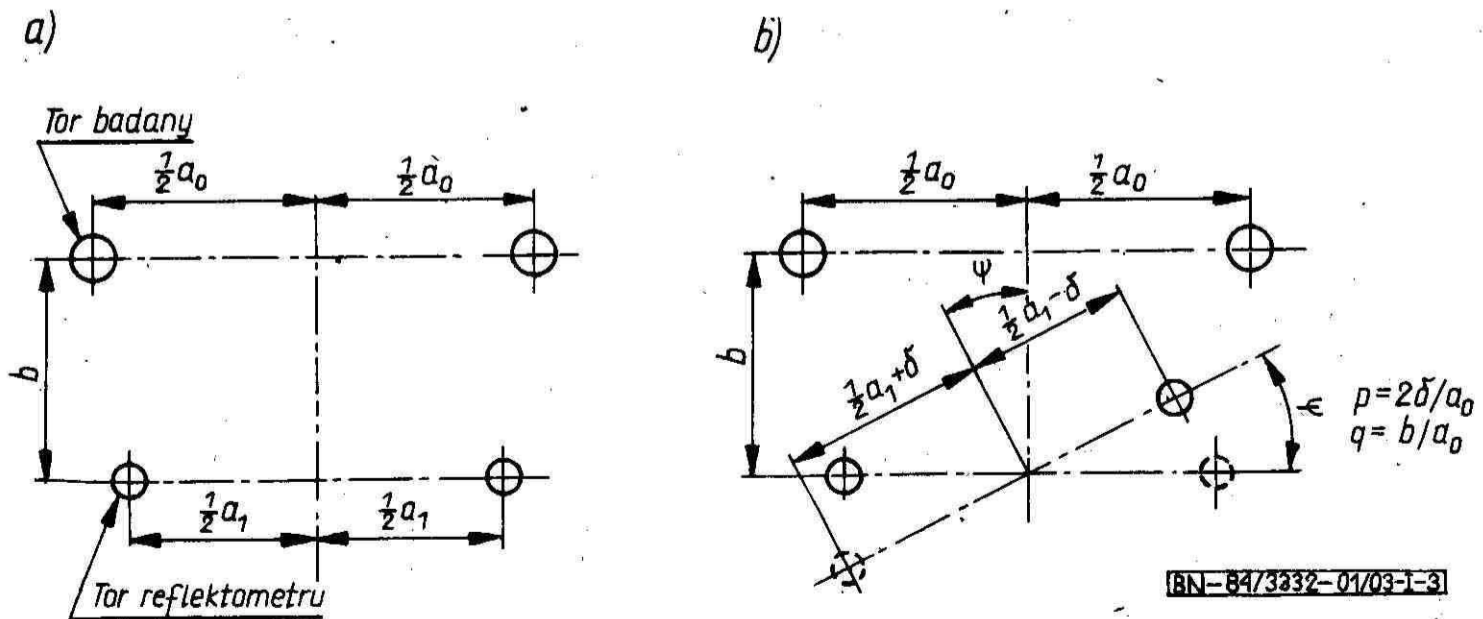
$\psi$  - kąt w stopniach,

$q$  - stosunek  $b/a_0$ ,

$p$  - stosunek  $2\delta/a_0$ .



Rys. 1-2. Wykresy stosunku składowej symetrycznej prądu w dwudrutowym symetrycznym torze zasilającym do prądu w torze reflektometru jako funkcje stosunku odległości między osiami drutów w torach, dla długości toru reflektometru  $l$  równej  $0,25$  długości fali

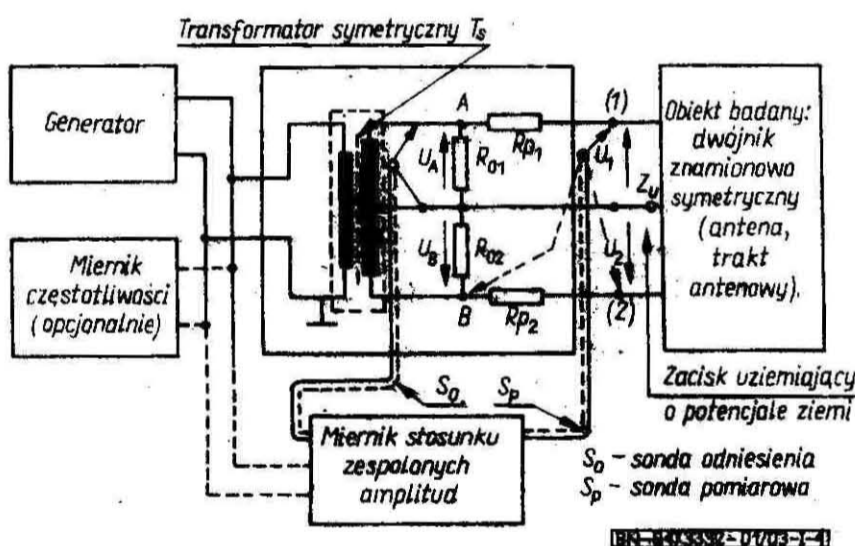


Rys. 1-3. Usytuowanie przewodów toru reflektometru względem przewodów toru badanego  
 a) mechanicznie symetryczne, b) mechanicznie niesymetryczne

Dla tego samego celu zaleca się stosowanie połączenia wyjścia reflektometru zaciski (1 i 2 na rys. I-1b) z miernikiem napięcia albo z miernikiem stosunku zespolonych amplitud, w postaci dwóch kabli współosiowych biegnących jak najbliżej siebie. Kable te powinny stanowić parę zrównoważoną elektrycznie. Pomiedzy wyjścia tych kabli i miernik napięcia powinien być włączony transformator symetryzujący, którego współczynnik symetrii powinien być równy co najmniej 40 db<sup>1)</sup>,

10. Metoda pomiaru impedancji i współczynnika symetrii dwójników znamionowo-symetrycznych względem ziemi za pomocą miernika stosunku zespolonych amplitud. W skład układu pomiarowego wg rys. I-4 wchodzi następujące przyrządy pomiarowe i podzespoły:

- generator;
- miernik częstotliwości (opcjonalnie);
- transformator symetryzujący  $T_s$  o współczynniku symetrii równym co najmniej 40 dB,
- dwie pary rezystorów  $R_{o1}, R_{o2}$  i  $R_{p1}, R_{p2}$  o jednakowych wartościach rezystancji w każdej parze;
- miernik stosunku zespolonych amplitud, np. woltomierz wektorowy.



Rys. I-4. Układ do pomiaru impedancji i współczynnika symetrii dwójnika znamionowo-symetrycznego względem ziemi

Wartości rezystancji rezystorów  $R_{o1}, R_{o2}$  i  $R_{p1}, R_{p2}$  winny spełniać następujące warunki:

$$\left| \frac{R_{o1} + R_{o2} - Z_{wn}}{Z_{wn}} \right| \leq 0,01; \left| \frac{R_{o1} - R_{o2}}{Z_{wn}} \right| \leq 0,005 \quad (I-7)$$

gdzie  $Z_{wn}$  oznacza znamionową impedancję obciążenia strony symetrycznej wtórnej transformatora  $T_s$ ;

$$R_{p1} + R_{p2} \geq 2Z_{wn}; \left| \frac{R_{p1} - R_{p2}}{R_{p1} + R_{p2}} \right| \leq 0,005 \quad (I-8)$$

Punkt połączenia rezystorów  $R_{o1}$  i  $R_{o2}$  z sobą należy połączyć równocześnie ze środkiem uzwojenia symetrycz-

nego "0" transformatora  $T_s$  i z punktem odniesienia o potencjale równym potencjałowi ziemi  $Z_u$ , za pomocą możliwie jak najkrótszego odcinka drutu lub przewodzącej taśmy.

Dla wyznaczenia impedancji i współczynnika symetrii badanego dwójnika należy wyznaczyć, na drodze pomiarów, moduły  $m_B, m_1, m_2$  i argumenty  $\varphi_B, \varphi_1, \varphi_2$  następujących stosunków napięć, odkładających się między punktami A, B, (1), (2) i zaciskiem uziemiającym  $Z_u$ :

$$\frac{U_B}{U_A} = m_B e^{j\varphi_B}, \quad \frac{U_1}{U_A} = m_1 e^{j\varphi_1}, \quad \frac{U_2}{U_A} = m_2 e^{j\varphi_2} \quad (I-9)$$

Stosunki te wyznacza się w ten sposób, że sondę odniesienia  $S_o$  - miernika stosunku amplitud i różnicy faz - dołącza się na czas pomiarów do zacisku A, a sondę pomiarową  $S_p$  dołącza się kolejno do zacisków B, (1) i (2), odczytując za każdym razem na mierniku wartość stosunku amplitud  $m$  i wartość różnicy kątów fazowych  $\varphi$ .

Admitancje dwójnika:

$$\text{- dla fali modu symetrycznego } Y_s = G_s + jB_s;$$

$$\text{- dla fali modu niesymetrycznego } Y_n = G_n + jB_n;$$

należy wyznaczyć na drodze rachunkowej, odpowiednio na podstawie wzorów:

$$\varphi_1 = \varphi_B - \varphi_1; \quad \varphi_2 = \varphi_B - \varphi_2; \quad \varphi_0 = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (I-10)$$

$$M_s = m_1^2 - 2m_1 m_2 \cos \varphi_0 + m_2^2; \quad M_n = M_s + 4m_1 m_2 \cos \varphi_0 \quad (I-11)$$

$$R_p = 0,5(R_{p1} + R_{p2}); \quad D_s = 2R_p M_s; \quad D_n = R_p M_n \quad (I-12)$$

$$G_s = \left[ m_1 (\cos \varphi_1 - m_B \cos \varphi_1) - m_2 (\cos \varphi_2 - m_B \cos \varphi_2) - M_s \right] : D_s \quad (I-13)$$

$$B_s = - \left[ m_1 (\sin \varphi_1 + m_B \sin \varphi_1) - m_2 (\sin \varphi_2 + m_B \sin \varphi_2) \right] : D_s \quad (I-14)$$

$$G_n = 2 \left[ m_1 (\cos \varphi_1 + m_B \cos \varphi_1) + m_2 (\cos \varphi_2 + m_B \cos \varphi_2) - M_n \right] : D_n \quad (I-15)$$

$$B_n = -2 \left[ m_1 (\sin \varphi_1 - m_B \sin \varphi_1) + m_2 (\sin \varphi_2 - m_B \sin \varphi_2) \right] : D_n \quad (I-16)$$

Impedancje dwójnika:

$$\text{- dla fali modu symetrycznego } Z_s = R_s + jX_s,$$

$$\text{- dla fali modu niesymetrycznego } Z_n = R_n + jX_n,$$

należy wyznaczyć odpowiednio ze wzorów:

$$R_s = G_s; \quad A_s; \quad X_s = -B_s; \quad A_s; \quad A_s = B_s^2 - G_s^2 \quad (I-17)$$

$$R_n = G_n; \quad A_n; \quad X_n = -B_n; \quad A_n; \quad A_n = B_n^2 - G_n^2 \quad (I-18)$$

Współczynnik symetrii dwójnika  $W_s$  w decybelach należy wyznaczyć na podstawie wzoru

<sup>1)</sup> Patrz Informacje dodatkowe p. 11.

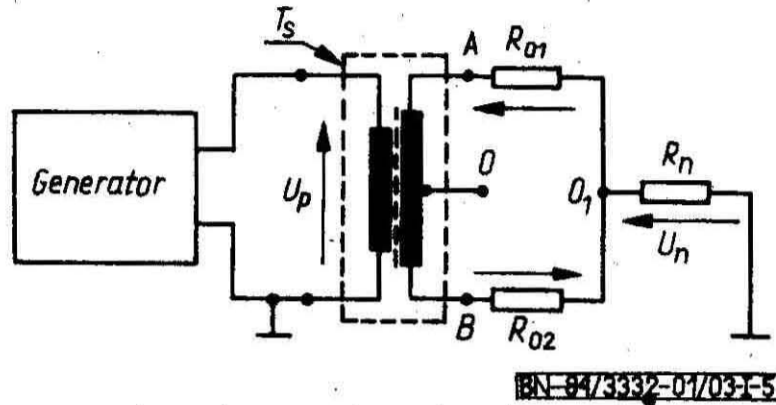


$$W_s = 6 + 10 \log \left| (G_s M_s) : (G_n M_n) \right| \quad (I-19)$$

11. Współczynnik symetrii transformatora symetryzującego  $W_s$ , w rozumieniu niniejszej normy jest określony jako

$$W_s = 20 \log \frac{U_p}{U_n} \quad (I-20)$$

gdzie  $U_p$  i  $U_n$  są napięciami panującymi w układzie wg rys. I-5, zmierzonymi względem punktu generatora o potencjale zerowym.



Rys. I-5. Układ do pomiaru współczynnika symetrii transformatora

Elementy układu pomiarowego powinny spełniać następujące warunki:

$$a) R_{o1} + R_{o2} : Z_{T2} : |R_{o1} - R_{o2}| : Z_{T2} \leq 0,005 \quad (I-21)$$

gdzie  $Z_{T2}$  oznacza znamionową impedancję strony symetrycznej transformatora,

$$b) R_n = Z_{T1} \quad (I-22)$$

gdzie  $Z_{T1}$  oznacza znamionową impedancję wejściową strony niesymetrycznej transformatora.

12. Metoda wyznaczania współczynnika sprzężenia elektromagnetycznego między dwiema antenami lub dwoma traktami antenowymi za pomocą dwóch wzajemnie przecechowanych reflektometrów. Współczynnik sprzężenia elektromagnetycznego między dwiema antenami (1) i (2) jest stosunkiem mocy wydzielonej na rezystancji obciążającej jedną antenę do mocy doprowadzonej do drugiej anteny. Oznaczając przez  $P_1$  moc doprowadzoną do anteny (1) i przez  $P_{21}$  moc wydzieloną na rezystancji obciążenia anteny (2), współczynnik sprzężenia w decybelach możemy zapisać w postaci

$$W_{21} = 10 \log \frac{P_{21}}{P_1} \quad (I-23)$$

Przez wzajemnie przecechowane reflektometry należy rozumieć takie dwa reflektometry (parę reflektometrów), dla których jest znany stosunek napięć na ich wyjściach pomiarowych  $S_{12}$ , gdy reflektometry te są pobudzone dokładnie tą samą falą elektromagnetyczną.

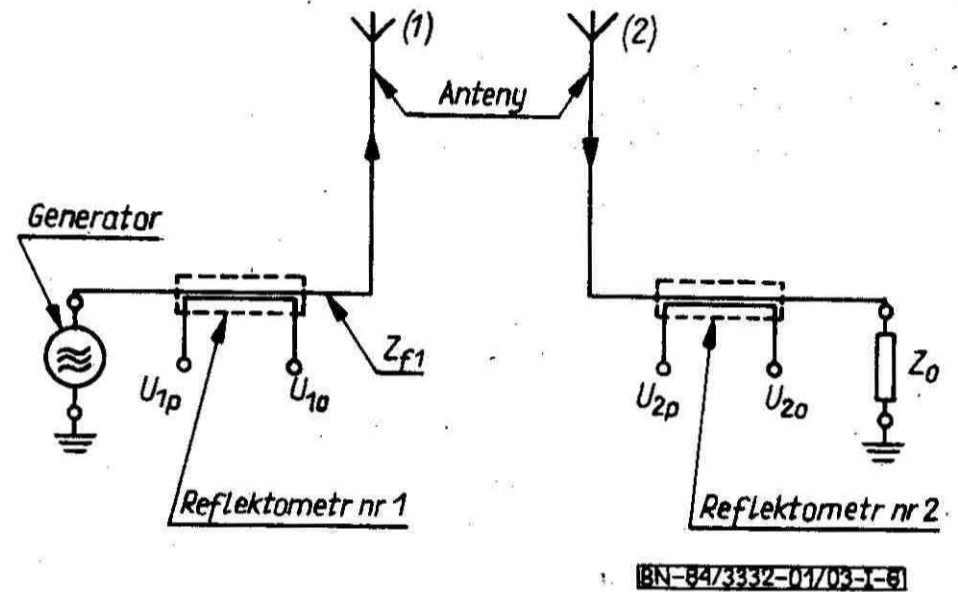
Oznaczając reflektometry numerami 1 i 2 i stosując wskaźniki p i o dla napięć U na wyjściach pomiarowych reflektometrów, skojarzonych odpowiednio z falą padającą i z falą odbitą, stosunek  $S_{12}$  można przedstawić w postaci:

$$S_{12} = \frac{U_{1p}}{U_{2p}} = \frac{U_{1o}}{U_{2o}} \quad (I-24)$$

Pomiar współczynnika sprzężenia należy wykonać w układzie przedstawionym na rys. I-6, w następujących warunkach:

- jedną z anten, na przykład antenę (1) należy zasilić odpowiednią mocą na jej wejściu lub na wejściu jej traktu antenowego; w torze zasilającym tej anteny należy umieścić reflektor nr 1;

- drugą antenę, tzn. antenę (2), należy obciążyć rezystancją  $Z_o$  o wartości równej znamionowej impedancji wejściowej, gdy antena ta jest anteną nadawczą, albo równej znamionowej impedancji obciążenia, gdy antena ta jest anteną odbiorczą. Pomiedzy wejściem tej anteny i obciążeniem  $Z_o$  należy umieścić reflektometr nr 2.



Rys. I-6. Układ do pomiaru współczynnika sprzężenia między antenami metodą dwóch wzajemnie przecechowanych reflektometrów

Współczynnik sprzężenia  $W_{21}$  w decybelach należy wyznaczyć wg wzoru

$$W_{21} = 10 \log \frac{Z_{f1} (1 - |e_2|^2)}{Z_o (1 - |e_1|^2)} - 20 \log S_{12} \quad (I-25)$$

w którym:

- $Z_{f1}$  oznacza impedancję falową toru zasilającego antenę (1);
- $Z_o$  oznacza impedancję obciążenia anteny (2);
- $e_1 = U_{1o}/U_{1p}$  oznacza stosunek amplitud fali odbitej i fali padającej na wyjściach pomiarowych reflektorów nr 1;
- $e_2 = U_{2o}/U_{2p}$  oznacza stosunek jak wyżej, na wyjściach pomiarowych reflektometru nr 2;
- $S_{12}$  oznacza stosunek czułości reflektometrów nr 1 i nr 2,

13. Metoda wyznaczania współczynnika sprzężenia między dwiema antenami za pomocą woltomierza wektorowego i mikrowoltomierza selektywnego. Współczynnik sprzężenia wyznacza się bezpośrednio na podstawie stosunku mocy  $P_{21}/P_1$  wg I-12. Pomiaru mocy  $P_1$  i  $P_{21}$  należy przeprowadzić w następujących warunkach:

- obie anteny powinny być odłączone od ich torów zasilających;

- jedną z anten, na przykład antenę (1) należy zasilić na jej wejściu mocą  $P_1$ ;

- drugą antenę, tzn. antenę (2), należy obciążyć na jej wejściu rezystancją  $Z_0$  o wartości równej znamionowej impedancji wejściowej - gdy antena ta jest anteną nadawczą, albo równej znamionowej impedancji obciążenia - gdy antena ta jest anteną odbiorczą. Następnie należy wyznaczyć moc  $P_{21}$  wydzieloną na rezystancji  $Z_0$ .

Dla anteny symetrycznej względem ziemi, moc doprowadzoną do anteny należy wyznaczyć posługując się układem przedstawionym na rys. 1-4, przy zastosowaniu woltomierza wektorowego, jako miernika stosunku zespolonych amplitud. Moc  $P_1$  należy obliczyć wg wzoru

$$P_1 = \frac{2U_A^2}{(R_{p1} + R_{p2})} \left\{ m_1 [\cos \varphi_1 - m_1] + m_2 [m_B \cos(\varphi_B - \varphi_2) - m_2] \right\} \quad (1-26)$$

w którym:

-  $U_A$  oznacza wartość skuteczną napięcia w punkcie A względem ziemi,

-  $m_1, m_2, m_B$  i  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_B$  oznaczają wielkości opisane w p. 1-10.

Jeżeli współczynnik symetrii anteny symetrycznej względem ziemi  $W_s$  spełnia warunek

$$W_s \geq 26 \text{ db} \quad (1-27)$$

to dla wyznaczenia mocy  $P_1$  wystarczy tylko zmierzyć stosunek  $U_1 : U_A = m_1 \exp(j\varphi_1)$ .

W tym przypadku moc  $P_1$  należy wyznaczyć na podstawie wzoru

$$P_1 = \frac{4U_A^2}{(R_{p1} + R_{p2})} [m_1 (\cos \varphi_1 - m_1)] \quad (1-28)$$

Dla anteny niesymetrycznej względem ziemi, moc doprowadzoną do anteny należy wyznaczyć posługując się układem wg rys. 1-7, w którym  $R_{p1}$  oznacza rezystancję o wartości równej znamionowej impedancji wejściowej anteny.

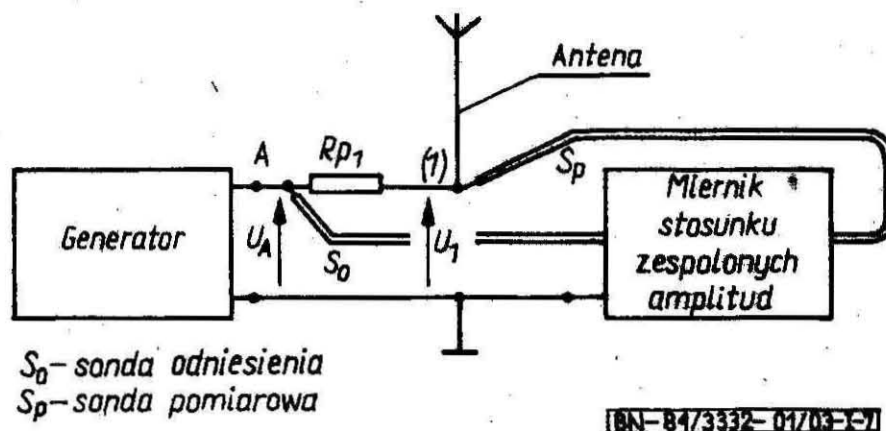
Moc  $P_1$  należy wyliczyć ze wzoru

$$P_1 = \frac{U_A^2}{R_{p1}} [m_1 (\cos \varphi_1 - m_1)] \quad (1-29)$$

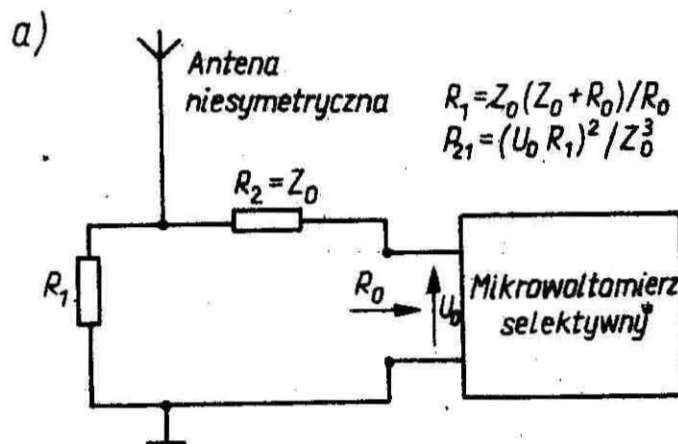
w którym:

-  $U_A$  oznacza wartość skuteczną napięcia w punkcie A względem ziemi;

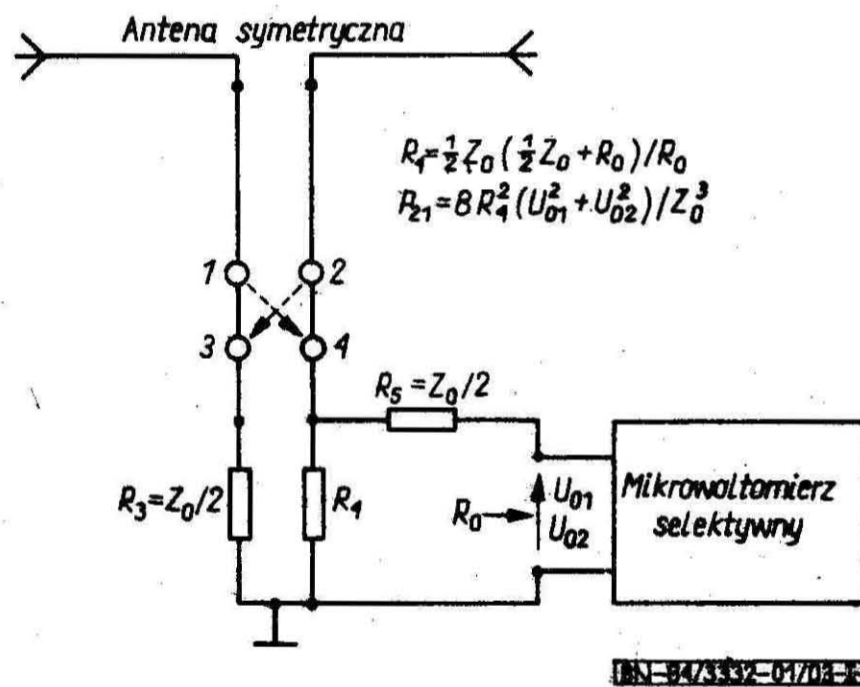
-  $m_1$  i  $\varphi_1$  oznaczają odpowiednio moduł i argument stosunku napięć  $U_1 / U_A = m_1 \exp(j\varphi_1)$ .



Rys. 1-7. Układ do pomiaru mocy  $P_1$ , doprowadzonej do anteny niesymetrycznej względem ziemi



b)



Rys. 1-8. Układ do pomiaru mocy  $P_{21}$ , wydzielonej na rezystancji obciążenia anteny  $Z_0$

a) dla anteny niesymetrycznej względem ziemi, b) dla anteny symetrycznej względem ziemi

Moc  $P_{21}$ , indukowaną w antenie (2) należy wyznaczyć za pomocą układów wg rys. 1-8, posługując się mikrowoltomierzem selektywnym o znanej impedancji wejściowej  $R_0$ .

Dla anteny niesymetrycznej względem ziemi (rys. 1-8a):

- wartości rezystancji rezystorów w układzie powinny spełniać warunki

$$R_1 = \frac{Z_0}{R_0} (R_0 + Z_0), \quad R_2 = Z_0; \quad (1-30)$$

- całkowitą moc wydzieloną na rezystancji obciążenia anteny  $Z_0$  określa wzór

$$P_{21} = \frac{(U_0 R_1)^2}{Z_0^3} \quad (1-31)$$

Dla anteny symetrycznej względem ziemi (rys. 1-8b):

- wartości rezystancji rezystorów w układzie powinny spełniać warunki

$$R_2 = \frac{1}{2} Z_0, R_4 = \frac{Z_0}{2R_0} (R_0 + \frac{1}{2} Z_0), R_5 = R_3 \quad (1-32)$$

- całkowita moc wydzielona na rezystancji obciążenia anteny  $Z_0$  jest równa

$$P_{21} = 8R_4 (U_{01}^2 + U_{02}^2) / Z_0^3 \quad (1-33)$$

gdzie  $U_{01}$  i  $U_{02}$  są napięciami wskazanymi przez mi-krowoltomierz w układzie gdy zaciski 1 i 2 anteny są po-łączone z zaciskami 3 i 4 układu pomiarowego w sposób pokazany linią ciągłą (sytuacja pierwsza) oraz gdy są połączo-ne w sposób pokazany linią przerywaną (sytuacja druga).

Współczynnik sprzężenia elektromagnetycznego między antenami należy wyznaczyć na podstawie wzoru

$$W_{21} = 10 \log \frac{P_{21}}{P_1} \quad (1-34)$$

14. Mostkowa metoda pomiaru sprawności toru zasilającego. Dla wyznaczenia sprawności należy zmierzyć za pomocą mostka:

- impedancję badanego toru  $Z_{zw}$  w stanie zwarcia,
- impedancję badanego toru  $Z_{ot}$  w stanie otwarcia.

Na podstawie zmierzonych wielkości należy obliczyć:

- moduł  $a$  stosunku impedancji  $Z_{zw}$  i  $Z_{ot}$ ,

$$a = \text{moduł} \frac{Z_{zw}}{Z_{ot}} \quad (1-35)$$

- kąt fazowy  $\alpha$  stosunku impedancji  $Z_{zw}$  i  $Z_{ot}$ ,

$$\alpha = \text{argument} \frac{Z_{zw}}{Z_{ot}} \quad (1-36)$$

Sprawność toru  $\eta$  należy wyznaczyć wg wzoru

$$\eta = \sqrt{\frac{1+a-2\sqrt{a}\cos(\alpha/2)}{1+a+2\sqrt{a}\cos(\alpha/2)}} \quad (1-37)$$

15. Reflektometryczna metoda wyznaczania sprawności toru zasilającego. Sprawność toru zasilającego  $\eta$  jest rów-na kwadratowi modułu współczynnika odbicia  $|\rho|$  na jed-nym końcu toru zasilającego, gdy drugi koniec toru jest

zwarty (lub rozwarty). Sprawność  $\eta$  należy wyznaczyć ze wzoru

$$\eta = |U_o : U_p|^2 = |I_o : I_p|^2 \quad (1-38)$$

w którym:

-  $U_p, I_p$  są amplitudami odpowiednio napięcia lub prądu fali padającej,

-  $U_o, I_o$  są amplitudami odpowiednio napięcia lub prądu fali odbitej,

zmierzonymi na jednym końcu toru zasilającego, gdy drugi koniec toru jest zwarty (lub rozwarty).

16. Wyznaczanie sprawności toru zasilającego przy pomocy miernika stosunku zespolonych amplitud. Podczas pomiaru należy zastosować układ pomiarowy opisany w p.1-9, dla toru zwanego na końcu. Sprawność toru  $\eta$  należy wyznaczyć wg wzoru

$$\eta = \frac{X}{Y} \quad (1-39)$$

w którym:

$$X = (k+1)^2 M_s - 2(k+1)C_1 + C_2,$$

$$Y = (k-1)^2 M_s + 2(k-1)C_1 + C_2;$$

gdzie:

$$k = (R_{p1} + R_{p2}) / Z_f,$$

$$C_1 = m_1 (\cos \varphi_1 - m_B \cos \varphi_1) - m_2 (\cos \varphi_2 - m_B \cos \varphi_2)$$

$$C_2 = 1 - 2m_B \cos \varphi_B + m_B^2, M_s = m_1^2 - 2m_1 m_2 \cos \varphi_0 + m_2^2;$$

-  $Z_f$  jest impedancją falową toru dla fali modu symetrycznego;

- parametry  $m_1, m_2, m_B, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_B, \varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$  są dokładnie tymi samymi wielkościami, które są zdefinio-wane w p. 1-9.