



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Zakład Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji (Z-1)

Kierunki rozwoju metod pomiarów anten w Instytucie Łączności (Z-1)

Praca nr 01300056

Warszawa, grudzień 2006

Kierunki rozwoju metod pomiarów anten w Instytucie Łączności (Z-1)
Praca nr 01300056

Słowa kluczowe: anteny, pomiary anten, laboratorium antenowe

Kierownik pracy: dr inż. Jacek Jarkowski

Wykonawcy pracy: inż. Andrzej Dusiński
Ewa Wielowieyska

Autor opracowania: mgr inż. Rafał Pawlak

Kierownik Zakładu: mgr inż. Aleksander Orłowski

Spis treści

1.	Dokumentacja anten.....	4
1.1.	Podstawowe dane techniczne i parametry anten.....	4
1.2.	Wymagania zasadnicze odnośnie anten.....	7
2.	Pomiary charakterystyk anten.....	7
2.1.	Charakterystyka promieniowania oraz zysk.....	7
2.2.	Tłumienie polaryzacji ortogonalnej XPD.....	9
2.3.	Współczynnik fali stojącej.....	9
3.	Metody pomiarowe.....	9
3.1.	Pomiar charakterystyki promieniowania.....	9
3.2.	Pomiar zysku.....	11
3.3.	Pomiar tłumienia polaryzacji ortogonalnej.....	13
3.4.	Pomiar współczynnika fali stojącej.....	13
4.	Niezbędne wyposażenie i aparatura pomiarowa.....	13
5.	Przegląd wyposażenia pomiarowego stosowanego w Z-1.....	14
5.1.	Pole pomiarowe.....	14
5.2.	Stół obrotowy model RST 020.....	14
5.3.	Ruchomy maszt antenowy model RSM 010.....	15
5.4.	Sterownik model RSC 02.....	16
5.5.	Anteny pomiarowe.....	16
5.6.	Generatory RF i analizatory widma RF.....	19
5.7.	Analizator sieci.....	21
	Literatura:.....	21

W niniejszym rozdziale przedstawiono wybrane zagadnienia dotyczące pomiaru parametrów anten przeznaczonych do pracy w zakresach częstotliwości powyżej 1 GHz w radiowych systemach dostępowych punkt do wielu punktów oraz łączach radiowych punkt-punkt (liniach radiowych). Należy podkreślić, że w normach ETSI rozróżnia się dane techniczne i parametry anten, które są przyjmowane na podstawie deklaracji producenta anteny oraz takie, które należy określić na podstawie wykonanych pomiarów. Odpowiednie zalecenia i normy zawierają również opisy metod pomiarów oraz dopuszczalne / wymagane wartości graniczne.

1. Dokumentacja anten

1.1. Podstawowe dane techniczne i parametry anten

Dokumentacja anteny sporządzona przez producenta powinna zawierać następujące informacje niezbędne do prawidłowej instalacji, eksploatacji i/lub przeprowadzenia pomiarów anteny:

1. Przeznaczenie anteny: np. stacja radiowa systemu punkt-punkt lub systemu punkt-wielopunkt, do instalacji na otwartym powietrzu lub wewnątrz pomieszczeń.
2. Rodzaj anteny: np. dookólna, sektorowa, kierunkowa, z pojedynczą wiązką lub wielowiązkowa.
4. Polaryzacja anteny: np. liniowa pozioma, liniowa pionowa, kołowa prawoskrętna, kołowa lewoskrętna.
3. Zakres częstotliwości anteny: – producent powinien określić, w jakim zakresie częstotliwości $[f_{\min}, f_{\max}]$ antena ma deklarowane parametry.

Pomiary parametrów anteny wykonywane są zwykle na trzech częstotliwościach: minimalnej f_{\min} , maksymalnej f_{\max} oraz środkowej częstotliwości tego zakresu.

5. Klasę charakterystyki promieniowania anteny (*Radiation Pattern Envelope, RPE*).

RPE definiuje się we współrzędnych prostokątnych w formie szablonu, wewnątrz którego powinna się mieścić charakterystyka odwzorowująca związek pomiędzy mocą promieniowaną przez antenę, a kątem określonym względem osi anteny.

Odpowiednie szablony definiuje się dla zgodnej (*co-polar*) i ortogonalnej (*cross-polar*) polaryzacji anteny pomiarowej (nadawczej) względem anteny badanej (odbiorczej).

Uwaga. Polaryzacjami wzajemnie ortogonalnymi są:

- polaryzacja liniowa pozioma i polaryzacja liniowa pionowa,
- polaryzacja kołowa prawoskrętna i polaryzacja kołowa lewoskrętna.

Wymagania dotyczące klasy RPE zależą od zakresu częstotliwości i środowiska pracy stacji, której elementem jest antena. W normach ETSI wyróżniono cztery klasy charakterystyki promieniowania anteny (por. tab. 1):

- o klasa 1 – anteny przeznaczone do pracy w sieciach, w których występują potencjalnie **małe** zakłócenia – w klasie 1 wyróżnia się podklasy oznaczone: 1A, 1B, 1C;
- o klasa 2 – anteny przeznaczone do pracy w sieciach, w których występują potencjalnie duże zakłócenia;
- o klasa 3 – anteny przeznaczone do pracy w sieciach, w których występują potencjalnie bardzo duże zakłócenia – w klasie 3 wyróżnia się podklasy oznaczone: 3A, 3B, 3C;

- o klasa 4 – anteny przeznaczone do pracy w sieciach, w których występują potencjalnie ekstremalnie duże zakłócenia.

Tab. 1 Klasy charakterystyki promieniowania anteny

Zakres częstotliwości	Klasa RPE
1 ÷ 3 GHz	1A, 1B, 1C, 2, 3
3 ÷ 14 GHz	2, 3, 4
14 ÷ 20 GHz	2, 3
20 ÷ 24 GHz	2, 3
24 ÷ 30 GHz	2, 3
30 ÷ 47 GHz	2, 3A, 3B, 3C
47 ÷ 60 GHz	2, 3A, 3B

6. Zysk w zakresie częstotliwości pracy anteny.
7. Tłumienie polaryzacji ortogonalnej (*Cross-Polar Discrimination, XPD*).

Tłumienie polaryzacji ortogonalnej wyznacza różnicę pomiędzy wyrażonym w dB zyskiem anteny, określonym przy zgodnej polaryzacji anteny pomiarowej (nadawczej) i badanej (odbiorczej), a wyrażonym w dB zyskiem anteny określonym przy ortogonalnej polaryzacji anteny pomiarowej i badanej.

Wymagania dotyczące kategorii XPD zależą od zakresu częstotliwości i środowiska pracy stacji, której elementem jest antena. W normach ETSI wyróżniono trzy kategorie tłumienia polaryzacji ortogonalnej (por. tab. (por. tab. 2):

- o XPD 1, w przypadku anten, odnośnie których wymaga się normalnego tłumienia polaryzacji ortogonalnej.
- o XPD 2, w przypadku anten, odnośnie których wymaga się zwiększonego tłumienia polaryzacji ortogonalnej.
- o XPD 3 w przypadku anten, odnośnie których wymaga się zwiększonego tłumienia polaryzacji ortogonalnej w rozszerzonym obszarze kątowym.

Tab. 2 Kategorie tłumienia polaryzacji ortogonalnej

Zakres częstotliwości [GHz]	Kategoria tłumienia polaryzacji ortogonalnej		
	XPD 1 [dB]	XPD 2 [dB]	XPD 3 [dB]
1 ÷ 3	20 (klasa 1C)	25 (klasa 1A, 1B, 2, 3)	–
3 ÷ 14	27	35	35
14 ÷ 20	27	34	34
20 ÷ 24	27	34	34
24 ÷ 30	27	34	34
30 ÷ 47	27	30	30
47 ÷ 60	27	–	–

8. Tłumienie promieniowania wstecznego (*Front-to-Back Ratio*)

Tłumienie promieniowania wstecznego wyznacza różnicę pomiędzy wyrażonym w dB zyskiem dla kierunku głównego listka charakterystyki anteny, a wyrażonym w dB zyskiem tej anteny dla kierunku przeciwnego.

9. Tłumienie niedopasowania (*Return Loss*) albo współczynnik fali stojącej (**WFS** lub ang. VSWR). Producent powinien zadeklarować minimalną wartość tłumienia niedopasowania i / lub maksymalną wartość WFS w ustalonym zakresie częstotliwości pracy anteny.
10. Separacja lub tłumienie przesłuchu pomiędzy złączami antenowymi w ustalonym paśmie pracy anteny (dotyczy wyłącznie anten z co najmniej dwoma złączami antenowymi).
11. Charakterystyka środowiska pracy – producent powinien określić zakres temperatury pracy anteny oraz jej odporność (wytrzymałość) na wiatr i oblodzenie.

Przyjmuje się dwa zakresy temperatury: $-33 \div 40^{\circ}\text{C}$ albo $-45 \div 45^{\circ}\text{C}$.

W zależności od tego, czy antena jest przewidziana do zastosowań powszechnego użytku, czy do zastosowań profesjonalnych, przewiduje się następujące prędkości wiatru i grubość oblodzenia:

Rodzaj zastosowania	Prędkość wiatru [m/s]	Oblodzenie o gęstości 7 kN/m^3 [mm]
Powszechnego użytku	55	25
Profesjonalne	70	25

12. Stabilność anteny (mechaniczna) – producent powinien zadeklarować, w jakich warunkach pracy (dotyczy prędkości wiatru i oblodzenia) antena zachowuje się stabilnie. W zależności od tego, czy antena jest przewidziana do zastosowań powszechnego użytku, czy do zastosowań profesjonalnych, przewiduje się następujące prędkości wiatru i grubość oblodzenia:

Rodzaj zastosowania	Prędkość wiatru [m/s]	Oblodzenie o gęstości 7 kN/m^3 [mm]
Powszechnego użytku	30	25
Profesjonalne	45	25

13. Rodzaj złącza antenowego – producent powinien określić rodzaj złącza, w jakie wyposażona jest antena, podając jednocześnie wartość impedancji wejściowej anteny Z_{we} . W radiowych systemach dostępowych, w przypadku stosowania kabli współosiowych, typową wartością jest $Z_{we} = 50 \Omega$. W pasmach mikrofalowych stosowane są również falowody prostokątne. W celu dołączenia anteny zakończonej falowodem do typowej aparatury pomiarowej w zakresach do ok. 50 GHz stosuje się adaptery: falowód / złącze współosiowe 2,9 mm lub falowód / złącze współosiowe 2,4 mm.

W szczególnych przypadkach może pojawić się konieczność badania innych charakterystyk anteny np. poziomu intermodulacji.

1.2. Wymagania zasadnicze odnośnie anten

Zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie ETSI EN 301 126-3-1 V1.1.2, dotyczącej anten przeznaczonych do pracy w systemach punkt-punkt, obowiązkowe jest wykonanie pomiarów następujących parametrów anteny:

- charakterystyka promieniowania,
- zysk,
- tłumienie polaryzacji ortogonalnej.

Zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie ETSI EN 301 126-3-2 V1.2.1, dotyczącej anten przeznaczonych do pracy w systemach punkt-wielopunkt, obowiązkowe jest wykonanie pomiarów następujących parametrów anteny:

- charakterystyka promieniowania,
- zysk.

W praktyce, oprócz ww. parametrów wykonuje się również pomiary współczynnika fali stojącej.

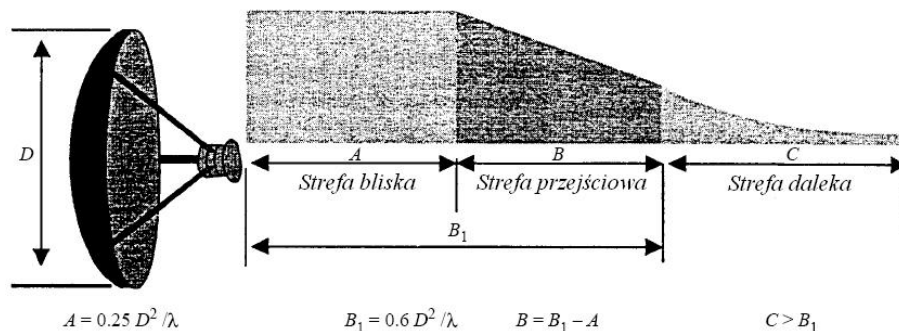
2. Pomiary charakterystyk anten

2.1. Charakterystyka promieniowania oraz zysk

Pomiar parametrów anteny należy wykonywać w strefie dalekiej promieniowania anteny, czyli w obszarze, gdzie fala promieniowana jest płaska.

Strefa daleka, nazywana także obszarem Fraunhofera jest obszarem, gdzie gęstość mocy maleje wraz z kwadratem odległości, a rozkład natężenia pola przyjmuje podobny kształt, jak charakterystyka anteny.

Na rys. 1 pokazano położenie stref promieniowania anteny parabolicznej, w zależności od odległości.



Rys. 1 Rozkład stref promieniowania anteny parabolicznej, w zależności od odległości

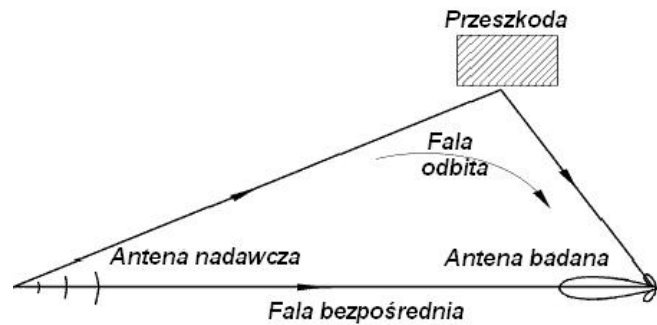
Legenda: D – średnica anteny
 λ – długość fali

Strefa daleka promieniowania anteny rozpoczyna się w odległości nie mniejszej niż $2D^2 / \lambda$ (gdzie D oznacza średnicę anteny o aperturze kołowej) lub $2L^2 / \lambda$ (gdzie L oznacza długość anteny o aperturze liniowej) od anteny nadawczej.

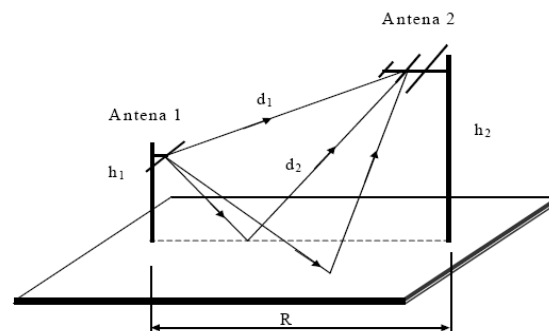
Pomiary charakterystyki promieniowania oraz zysku mogą być wykonywane albo w specjalnie do tego celu przystosowanej komorze bezodbiciowej, albo na poligonie (polu) pomiarowym. Idealnym rozwiązaniem są ekranowane hale, w których ściany wyłożono

materiałami pochłaniającymi fale elektromagnetyczne, o wymiarach odpowiednich do badania charakterystyk promieniowania anten. Pomieszczenia tego rodzaju są jednak niezwykle kosztowne, w związku z czym pomiary wykonywane są przeważnie na polu pomiarowym.

Należy zdawać sobie sprawę z tego, że w rzeczywistych warunkach pomiarowych na otwartym polu pomiarowym trzeba się liczyć z występowaniem zakłóceń od zewnętrznych źródeł promieniujących fale o częstotliwościach zbliżonych do częstotliwości pomiarowej oraz wielodrogowością sygnału pomiarowego (wpływem fali odbitej od podłoża oraz odległych obiektów stałych i ruchomych).



Rys. 2 Wpływ przeszkód na pomiar charakterystyki promieniowania



Rys. 3 Wpływ odbicia fali od podłoża na pomiar charakterystyki promieniowania

Jeżeli w pobliżu stanowiska pomiarowego znajdują się obiekty (przeszkody) odbijające fale elektromagnetyczne, to do anteny badanej oprócz fali bezpośredniej (rys. 3) mogą dochodzić fale odbite od tych obiektów. Odbicia te wywierają istotny wpływ na poziom listków bocznych, a w rezultacie ograniczają dokładność pomiaru charakterystyki promieniowania poza obszarem wiązki głównej.

Naturalnym sposobem minimalizacji wpływu odbić bocznych na pomiar charakterystyki promieniowania jest zmniejszenie tłumienia propagacji fali bezpośredniej, a więc poprawienie stosunku mocy fali bezpośredniej do mocy fali odbitej (i innych zakłóceń) poprzez zmniejszanie odległości pomiarowej. Ze względu na ograniczenia wpływu odbić, korzystniejsze jest zmniejszanie odległości pomiarowej.

Fale odbite od podłoża pomiędzy anteną badaną a anteną pomiarową (nadawczą) interferują z falą bezpośrednią. W wyniku interferencji w otoczeniu anteny badanej powstaje fala stojąca. Rozkład fali stojącej zależy od odległości pomiarowej (R), czyli odległości pomiędzy anteną badaną i nadawczą, wysokości zawieszenia obu anten (h_1 i h_2) oraz częstotliwości, na której wykonywany jest pomiar. Zjawisko to wymaga szczegółowej analizy uwzględniającej lokalne charakterystyki stanowiska pomiarowego, której podstawy można znaleźć w normach [2]

Zatem wyboru odległości pomiarowej dotyczą dwa sprzeczne wymagania. Ostateczne ustalenie odległości pomiarowej jest rozwiązaniem kompromisowym, a wybór konkretnej odległości opiera się m.in. na znajomości właściwości stanowiska pomiarowego i doświadczeniu osób wykonujących pomiary.

Innym istotnym warunkiem jest wybór polaryzacji anteny nadawczej:

- pomiary anten z polaryzacją liniową powinny być wykonywane z użyciem anteny nadawczej z polaryzacją liniową,
- pomiary anten z polaryzacją kołową mogą być wykonywane z użyciem anteny nadawczej z polaryzacją liniową lub kołową.

2.2. Tłumienie polaryzacji ortogonalnej XPD

Wartość tłumienia polaryzacji ortogonalnej określa się po zmierzeniu wartości zysku przy polaryzacji anten pomiarowej (nadawczej) i badanej (odbiorczej) zgodnej oraz przy polaryzacji ortogonalnej – jest ono równe różnicy pomiędzy zyskiem określonym przy polaryzacji zgodnej a zyskiem określonym przy polaryzacji ortogonalnej. Np. jeżeli wartość XPD wynosi 25 dB, to znaczy, że poziom sygnału odbieranego w polaryzacji ortogonalnej jest o 25 dB niższy niż poziom sygnału odbieranego w polaryzacji zgodnej.

2.3. Współczynnik fali stojącej

Impedancja wejściowa anteny Z_{we} (impedancja widziana na zaciskach anteny) jest definiowana jako stosunek napięcia na zaciskach anteny do prądu wpływającego do anteny. Faktyczna impedancja wejściowa anteny różni się od wartości znamionowej linii transmisyjnej Z_0 . Wskutek niedopasowania w linii transmisyjnej powstaje zjawisko fali stojącej. Miarą dopasowania impedancji wejściowej anteny Z_{we} do impedancji znamionowej Z_0 jest współczynnik fali stojącej (WFS), definiowany jako stosunek maksymalnego (U_{max}) do minimalnego (U_{min}) napięcia w linii zasilającej.

$$WFS = U_{max} / U_{min}$$

WFS jest on liczbą rzeczywistą zawierającą się w przedziale od 1 (WFS = 1 oznacza, że $Z_{we} = Z_0$) do ∞ (całkowite niedopasowanie, albo $Z_{we} = 0$ – zwarcie, albo $Z_{we} = \infty$ – rozwarcie na zakończeniu do linii przesyłowej). W rzeczywistości zawsze $WFS > 1$. Wartość impedancji Z_0 wynosi zwykle 50 Ω

Uwaga: Z zasady wzajemności wynika, że parametry anteny traktowanej jako antena nadawcza (a więc np. Z_{we}) są identyczne z parametrami tej samej anteny traktowanej jako antena odbiorcza (a więc np. Z_{wy}), czyli $Z_{we} = Z_{wy}$.

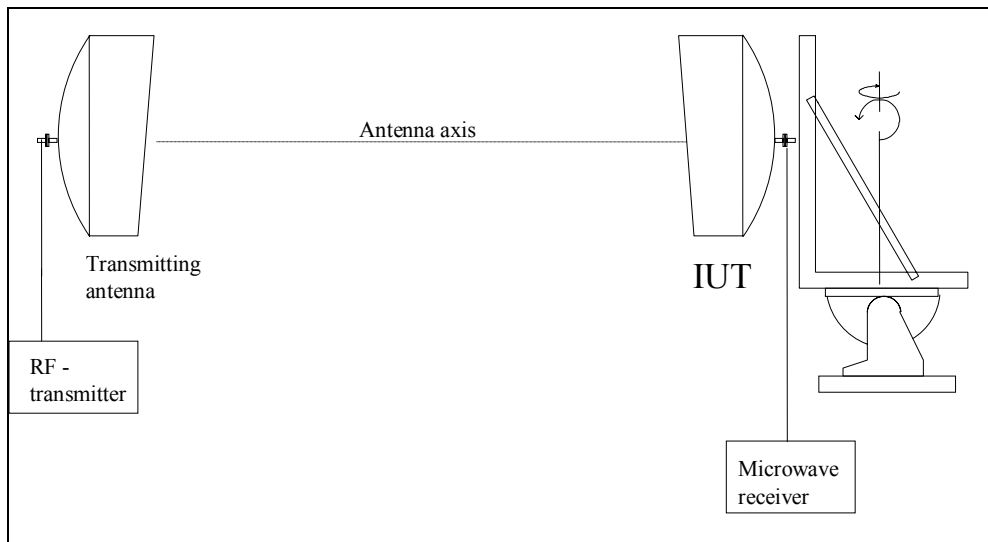
Na podstawie wartości współczynnika fali stojącej można określić tłumienie niedopasowania $RL = 20 \log (WFS + 1 / WFS - 1)$.

3. Metody pomiarowe

3.1. Pomiar charakterystyki promieniowania

Celem pomiaru jest weryfikacja, czy zmierzona charakterystyka promieniowania anteny, dla zadeklarowanej przez producenta klasy RPE anteny oraz zakresu częstotliwości, nie wykracza poza przyjęty odpowiednio szablon, zarówno dla charakterystyki w płaszczyźnie poziomej (azymutalnej) jak i pionowej (elewacyjnej).

Przykład stanowiska zalecanego do pomiaru charakterystyki promieniowania anteny wzięty z normy ETSI EN 301 126-3-1 [5] przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 Stanowisko do pomiaru charakterystyk promieniowania

Legenda:

- 1 – antena nadawcza (transmitting antenna),
- 2 – generator RF (RF transmitter),
- 3 – antena badana – odbiorcza (IUT),
- 4 – odbiornik pomiarowy lub analizator widma (Microwave receiver).

Na stanowisku pomiarowym wg rys. 4 można zmieniać wysokość zawieszenia oraz obracać antenę badaną (IUT) wokół osi pionowej i poziomej.

Antenę badaną umieszcza się w polu RF wytwarzanym przez antenę nadawczą. Pomiar powinien zostać wykonany, co najmniej na częstotliwościach skrajnych pasma pracy (minimalnej i maksymalnej) oraz na częstotliwości środkowej pasma pracy; zarówno dla polaryzacji anten nadawczej i badanej (odbiorczej) zgodnych (*co-polar*), jak i ortogonalnych (*cross-polar*). Przed rozpoczęciem pomiaru należy zapewnić właściwe usytuowanie anten – jest to tzw. wstępne wyrównywanie położenia anten. Odbywa się to na częstotliwości środkowej pasma pracy – częstotliwość oraz poziom mocy ustawiane są na generatorze RF. Antenę badaną (IUT) należy tak zamocować w uchwycie pomiarowym zespolonym ze pozycjonerem, w ten sposób, aby jej polaryzacja była równoległa lub prostopadła do płaszczyzny poziomej zawierającej kierunek propagacji. Antena nadawcza powinna być tak zamocować w uchwycie pomiarowym zespolonym z masztem antenowym, aby jej polaryzacja była zgodna z polaryzacją anteny badanej. Zmieniając położenie anten w płaszczyźnie poziomej oraz pionowej należy uzyskać jak największą wartość sygnału obserwowanego na analizatorze widma. Następnie należy zmienić polaryzację anteny nadawczej na ortogonalną i dostroić polaryzację anteny badanej tak, aby uzyskać jak najmniejszą wartość sygnału obserwowanego na analizatorze widma, po czym należy wrócić do poprzedniej polaryzacji anteny nadawczej. Po zakończeniu wstępnego wyrównywania położenia anten można dokonać pomiaru charakterystyki promieniowania. Dla zadanej częstotliwości (np. środkowej pasma pracy) i ustalonego (stałego) poziomu mocy na generatorze RF, pomiaru charakterystyki promieniowania sprowadza się do rejestracji poziomu mocy na analizatorze widma dołączonego do anteny badanej, w zależności od jej położenia kąтового. Otrzymane wyniki, po unormowaniu względem wartości maksymalnej i przeskalowaniu w odniesieniu do zysku, stanowią przekroje przestrzennej charakterystyki

promieniowania anteny w określonej płaszczyźnie. Prześzenną charakterystykę promieniowania uzyskuje się w wyniku wykonania pomiarów w dwóch ortogonalnych płaszczyznach przycinających się wzdłuż osi wiązki głównej.

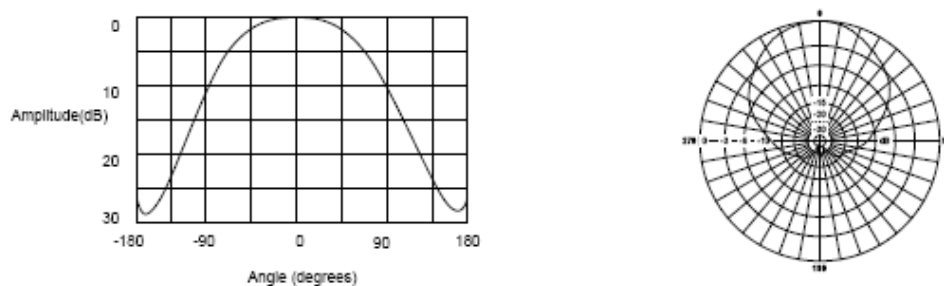
Ponieważ posługiwanie się wykresem przestrzennym nie jest wygodne, więc przeważnie przedstawia się dwa wzajemnie prostopadłe przekroje tej charakterystyki (we współrzędnych biegunowych lub prostokątnych, w skali liniowej lub logarytmicznej). Dla anten o polaryzacji liniowej, jako ortogonalne płaszczyzny pomiaru wybiera się zazwyczaj płaszczyzny równoległe do wektorów pola elektrycznego i magnetycznego (wektory pola elektrycznego E i magnetycznego H są ortogonalne względem siebie oraz względem tzw. wektora Poytinga S , który wskazuje kierunek przepływu mocy i jest równoległy do kierunku propagacji fali).

Pomiar charakterystyki w płaszczyźnie poziomej (azymutalnej) odbywa się w zakresie od 0° do 360° , natomiast w płaszczyźnie pionowej (elewacyjnej) w zakresie od -90° do $+90^\circ$; zarówno dla polaryzacji zgodnych (*co-polar*), jak i ortogonalnych (*cross-polar*), por. rys. 5.

Zmiana częstotliwości, na której odbywa się pomiar, nie wymaga ponownego przeprowadzania wstępnego wyrównywania położenia anten. Wstępne wyrównywanie położenia anten należy powtórzyć tylko wówczas, gdy zmienia się mechaniczne ustawienie anteny (np. zmiana płaszczyzny pomiarowej wymagająca zmiany zamocowania anteny).

Uwaga: Należy zauważyć, że w przypadku wykorzystania stołu obrotowego jako pozycjonera anteny badanej, obrót stołu odbywa się wyłącznie w płaszczyźnie poziomej. W związku z tym w celu pomiaru charakterystyki w płaszczyźnie pionowej należy antenę badaną obrócić o 90° względem położenia przy pomiarze charakterystyki w płaszczyźnie poziomej.

Przykład zobrazowania tej samej charakterystyki promieniowania anteny we współrzędnych prostokątnych i biegunowych pokazano na rys. 5.



Rys. 5 Charakterystyka promieniowania anteny

3.2. Pomiar zysku

Celem pomiaru jest weryfikacja, czy zmierzona wartość zysku, dla zadeklarowanej przez producenta klasy RPE anteny oraz zakresu częstotliwości, nie jest mniejsza niż dopuszczalna wartość minimalna, określona w odpowiedniej normie. Określenie wartości zysku jest także istotne ze względu na unormowanie charakterystyki promieniowania i jej ocenę wg odpowiedniej klasy RPE anteny.

Pomiar zysku odbywa się w dwóch etapach: pierwszym, z wykorzystaniem anteny badanej oraz drugim, z wykorzystaniem anteny odniesienia o znanej wartości zysku w funkcji częstotliwości. Antenę badaną i antenę pomocniczą umieszcza się w polu RF wytwarzanym przez antenę nadawczą. Pomiar powinien zostać wykonany, co najmniej na częstotliwościach skrajnych pasma pracy (minimalnej i maksymalnej) oraz na częstotliwości środkowej pasma pracy; zarówno dla polaryzacji anten nadawczej i badanej (odbiorczej) zgodnych (*co-polar*),

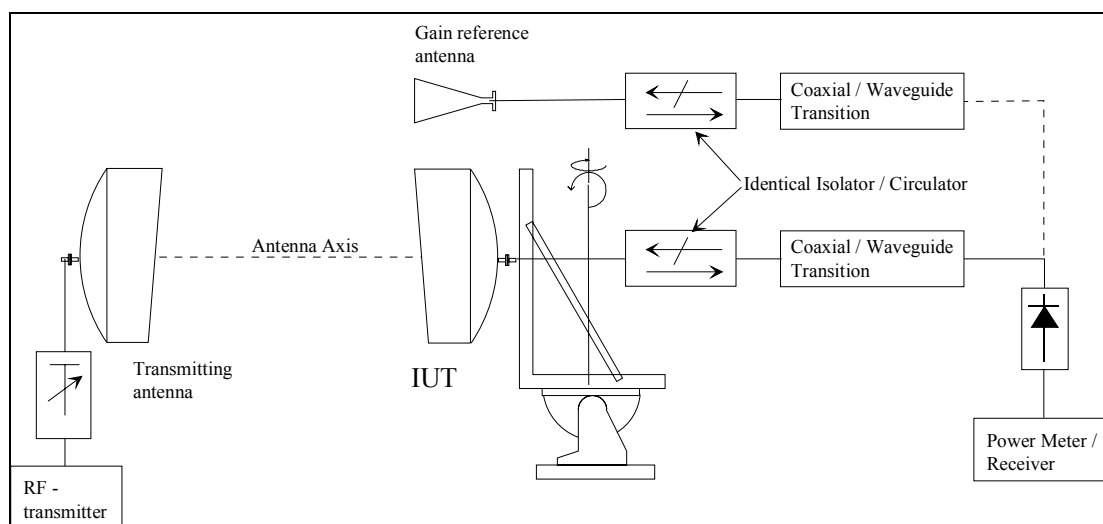
jak i ortogonalnych (*cross-polar*). Przed rozpoczęciem pomiaru należy zapewnić właściwe usytuowanie anten – jest to tzw. wstępne wyrównywanie położenia anten. Dotyczy to pomiarów wykonywanych z wykorzystaniem anteny badanej oraz anteny odniesienia. Procedura wstępnego wyrównywania położenia anten jest tak, jak opisano to przy pomiarze charakterystyki promieniowania. Po zakończeniu wstępnego wyrównywania położenia anten można dokonać pomiaru zysku anteny.

W pierwszym etapie, z wykorzystaniem anteny badanej, dla zadanej częstotliwości (np. środkowej pasma pracy) i ustalonego (stałego) poziomu mocy na generatorze RF, należy zmierzyć poziom mocy A_1 na analizatorze widma dołączonym do anteny badanej. Następnie w miejsce anteny badanej należy podłączyć antenę odniesienia o znanym zysku G_0 i (po wstępnym wyrównywaniu położenia anten) zmierzyć poziom mocy A_2 na analizatorze widma. Zysk anteny badanej: $G_b = G_0 + (A_1 - A_2)$. Zmiana częstotliwości, na której odbywa się pomiar, nie wymaga ponownego przeprowadzania wstępnego wyrównywania położenia anten. Wstępne wyrównywanie położenia anten należy powtórzyć tylko wówczas, gdy zmienia się mechaniczne ustawienie anteny (np. zmiana płaszczyzny pomiarowej wymagająca zmiany zamocowania anteny).

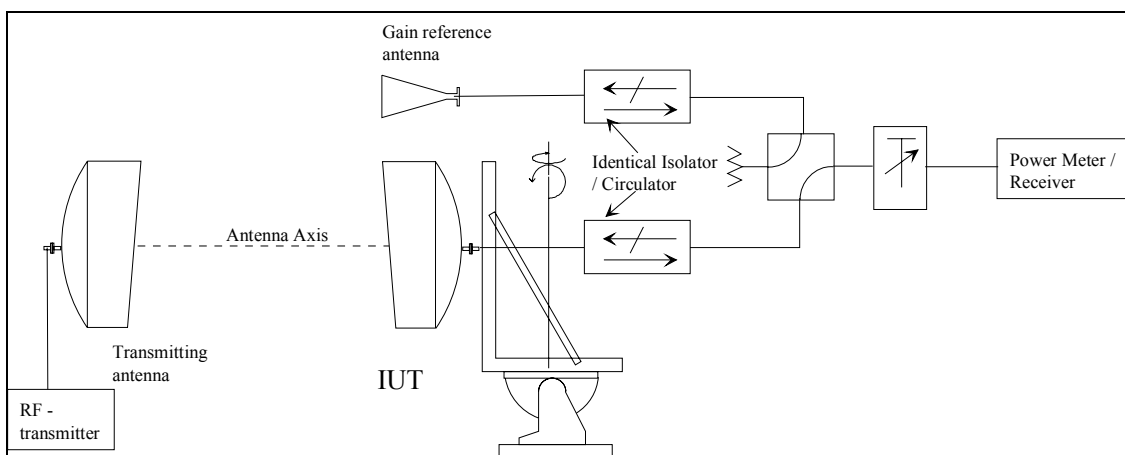
Dwa przykłady stanowisk zalecanych do pomiaru zysku anteny wzięte z normy ETSI EN 301 126-3-2 [6] przedstawiono na rys. 6 i 7.

W przypadku przedstawionym na rys. 6, dotyczącym anteny współpracującej z torem współosiowym w miejsce anteny badanej, jest podstawiana antena wzorcowa o znanym zysku.

W przypadku przedstawiony na rys. 7, dotyczy anteny współpracującej z torem falowodowym.



Rys. 6 Stanowisko do pomiaru zysku anteny z torem współosiowym



Rys. 7 Stanowisko do pomiaru zysku anteny z torem falowodowym

3.3. Pomiar tłumienia polaryzacji ortogonalnej

Określenie wartości tłumienia polaryzacji ortogonalnej polega na obliczeniu różnicy pomiędzy zyskiem wyznaczonym dla polaryzacji zgodnej i zyskiem wyznaczonym dla polaryzacji ortogonalnej. Celem określenia wartości tłumienia polaryzacji ortogonalnej jest weryfikacja, czy wartość ta, dla zadeklarowanej przez producenta klasy RPE anteny oraz zakresu częstotliwości, nie jest mniejsza niż dopuszczalna wartość minimalna, określona w odpowiedniej normie.

3.4. Pomiar współczynnika fali stojącej

Celem pomiaru jest weryfikacja, czy zmierzona wartość współczynnika fali stojącej spełnia wymagania dotyczące anten określonego systemu i/lub jest zgodna z wartością deklarowaną przez producenta anteny.

Do pomiaru wartości WFS najczęściej stosuje się analizator sieci, pozwalający automatycznie w zadanym zakresie częstotliwości, określić wartość WFS (parametr S_{11}).

4. Niezbędne wyposażenie i aparatura pomiarowa

Zatem do wykonania pomiarów podstawowych parametrów anteny, takich jak: charakterystyki promieniowania, zysk energetyczny, do wyznaczenia tłumienia polaryzacji ortogonalnej oraz wartości współczynnika fali stojącej anteny niezbędne są następujące przyrządy pomiarowe:

- pomiar charakterystyki promieniowania: generator RF^{/*}, analizator widma^{/*}, maszt antenowy do zamocowania anteny nadawczej, antena nadawcza, pozycjoner do zamocowania anteny badanej, kable i złącza RF;
- pomiar zysku: generator RF^{/*}, analizator widma^{/*}, maszt antenowy do zamocowania anteny nadawczej, antena nadawcza, pozycjoner do zamocowania anteny badanej oraz anteny odniesienia, antena odniesienia, kable i złącza RF;
- tłumienia polaryzacji ortogonalnej: jest obliczane na podstawie zmierzonych wartości zysku – dodatkowa aparatura nie jest wymagana;

- pomiar współczynnika fali stojącej: pozycjoner do zamocowania anteny badanej, analizator sieci.

^{/*} Wraz z odpowiednimi adapterami umożliwiającymi połączenia anteny ze standardem złącz RF, w które jest wyposażona aparatura na stanowisku pomiarowym, tłumikami poprawiającymi warunki dopasowania i kablami RF.

Uwaga: Ww. pomiary powinny być wykonywane albo w specjalnie do tego celu przystosowanej komorze bezodbiciowej, albo na poligonie (polu) pomiarowym.

5. Przegląd wyposażenia pomiarowego stosowanego w Z-1

5.1. Pole pomiarowe

Pole pomiarowe używane w Zakładzie Systemów Radiowych (Z-1), zlokalizowane na dachu budynku głównego Instytutu Łączności, wykonano jako pokryty arkuszami blachy prostokątny pomost o wymiarach 21 m × 12 m. Wymiary te określają pośrednio najniższą częstotliwość, przy której można wykonywać pomiary charakterystyk anten.

Podstawowym wyposażeniem pola pomiarowego są:

1. Stół obrotowy (*Turntable*) model RST 020 ^{/*} przeznaczony do obracanie, umieszczonego na nim badanego urządzenia wokół jego osi pionowej.
2. Ruchomy maszt antenowy (*Mobile Antenna Mast*) model RSM 010 ^{/*}, który umożliwia zmianę wysokości zawieszenia oraz polaryzacji anteny pomiarowej.
3. Sterownik / pozycjoner (*Positioning Controller*) model RSC 02 ^{/*}, który umożliwia ręczne lub za pośrednictwem szyny GPIB sterowanie pracą stołu obrotowego i masztu antenowego.

5.2. Stół obrotowy model RST 020

Stół obrotowy (*Turntable*) model RST 020 jest wykonany jako urządzenie wolnostojące, na kółkach co ułatwia jego przemieszczanie w celu dostosowania odległości pomiarowej do aktualnych potrzeb. Mechanizm napędowy tego stołu umożliwia sterowanie prędkością obrotową, łagodny start i zatrzymanie obracającego się blatu. W IŁ wykonano dodatkowy element umożliwiający zamocowanie do stołu pionowej rury stosowanej w przypadku badania anten przewidzianych do montażu na stalowym maszcie. Sterowanie stołem obrotowym odbywa się za pośrednictwem kompatybilnego sterownika (*RSC controller*). Urządzenia są połączone dwoma kablami światłowodowymi.

Podstawowe parametry stołu obrotowego model RST 020:

- Zakres obrotu:
 - nastawa programowana w granicach: albo od 0° do 359°, albo od 0° do 705°, albo od 0° do nieskończoności (ciągły obrót),
 - ogranicznik mechaniczny;
- Kierunek obrotu: zgodny lub przeciwny kierunkowi obrotu zegara;
- Rozdzielczość kątowa: 1°;
- Dokładność ustawiania: ± 0,5°;

^{/*} Wszystkie urządzenia produkcji "euro EMC GmbH".

- Powtarzalność ustawiania: $\pm 0,5^{\circ}$;
- Wysokość blatu stołu od podłogi: 24 cm,
lub po zamontowaniu specjalnego wspornika 80 cm;
- Średnica blatu stołu: 120 cm;
- Dopuszczalne obciążenie blatu:
 - 500 kg przy obciążeniu równomiernie rozłożonym;
 - 80 kg przy obciążeniu punktowym;
- Szybkość obrotowa: od $2^{\circ}/s$ do $30^{\circ}/s$;
- Moment obrotowy: 100 Nm;
- Sterowanie: dwużyłowy (dupleks) kabel światłowodowy,
komunikacja za pomocą protokołu RS232;
- Zasilanie: AC 230 V $+10/-15\%$ maks. 300 VA;
- Zakres temperatury pracy: od $-10^{\circ}C$ do $+45^{\circ}C$.

5.3. Ruchomy maszt antenowy model RSM 010

Maszt antenowy (Mobile Antenna Mast) RSM 010 jest masztem wolnostojącym, wspartym na podstawie wyposażonej w kółka, co ułatwia jego przemieszczanie. Maszt antenowy jest mocowany w taki sposób do podstawy, że może być łatwo i szybko złożony. Wspornik anteny pomiarowej jest przesuwany wzdłuż masztu za pomocą dwóch pasów zębatach. Zastosowanie w mechanizmie napędowym samoblokującej się przekładni zębatej oraz odpowiednich hamulców minimalizuje ryzyko wypadku nawet w przypadku awarii zasilania.

Sterowanie masztem antenowym odbywa się za pośrednictwem kompatybilnego sterownika (*RSC controller*). Urządzenia są połączone dwoma kablami światłowodowymi. System sterowania szybkością umożliwiają łagodny start i zatrzymanie anteny bez szarpnięć, przez co osiąga się dużą powtarzalność ustawiania wysokości anteny. Użytkownik może ustawić jedną z dziewięciu prędkości przesuwania anteny pomiarowej.

Podstawowe parametry masztu antenowego model RSM 010:

- Maksymalna wysokość zawieszenia anteny: 432 cm ponad płaszczyznę odniesienia;
- Minimalna wysokość zawieszenia anteny: 85 cm ponad płaszczyznę odniesienia;
- Szybkość podnoszenia: od 1 cm/s do 15 cm/s;
- Nieliniowość: ≤ 10 mm;
- Błąd powtarzalności: ≤ 10 mm;
- Nachylenie anteny: od 0° do $\pm 15^{\circ}$;
- Ustawienie polaryzacji anteny: $0/45/90^{\circ}$;
- Dopuszczalna masa anteny w zależności od odległości zawieszenia (d) środka anteny od masztu:
 - d = 1200 mm do 8 kg,
 - d = 500 mm do 12 kg;
- Sterowanie: dwużyłowy (dupleks) kabel światłowodowy,
komunikacja za pomocą protokołu RS232;
- Zasilanie: AC 230 V $+10/-15\%$ maks. 300 VA;
- Zakres temperatury pracy: od $-10^{\circ}C$ do $+45^{\circ}C$.

5.4. Sterownik model RSC 02

Sterownik / pozycjoner (Positioning Controller) model RSC 02 jest wykonany jako panel 19". Dla każdego ze sterowanych urządzeń, stołu obrotowego i masztu, jest przeznaczone osobne menu konfiguracyjne. Dane konfiguracyjne mogą być wpisywane przy użyciu klawiszy umieszczonych na płycie czołowej sterownika. Sterownik model RSC 02 jest wyposażony również w interfejs IEC 625-1/2 dzięki czemu możliwe jest wykorzystanie go w zautomatyzowanych systemach pomiarowych.

Sterownik RSC 02 umożliwia:

- Automatyczną kalibrację ustawień stołu obrotowego i masztu antenowego;
- Wprowadzenie ograniczeń ustawienia wysokości zawieszenia anteny pomiarowej osobno dla polaryzacji poziomej i pionowej;
- Zapisanie w pamięci współczynników zależnych od polaryzacji anteny w celu odpowiedniej korekcyjnej ustawienia wysokości zawieszenia anteny przy zmianie polaryzacji;
- Wprowadzenie offsetu wysokości zawieszenia anteny pomiarowej;
- Bateriajny podtrzymanie pamięci z zapisanymi danymi konfiguracyjnymi dla obsługiwanych urządzeń.

Połączenia sterownika ze stołem obrotowym i masztem antenowym za pośrednictwem plastikowych kabli światłowodowych (niemetalowych), umożliwia ułożenie tych kabli na powierzchni platformy pomiarowej bez obawy, że spowodują istotne zaburzenia badanego pola, staną się źródłem zakłóceń radioelektrycznych lub będą podatne na zakłócenia związane z polami elektromagnetycznymi występującymi na stanowisku pomiarowym.

Podstawowe parametry sterownika model RSC 02:

- Interfejs pomiarowy: zgodny z IEC 625-1/2 (IEEE 488-1/2);
- Zestaw poleceń sterujących: SCPI Ver. 1991.0 oraz EMCO;
- Sterowanie urządzeniami: dwa dwużyłowe (dupleks) kable światłowodowe o długości do 60 m, komunikacja za pomocą protokołu RS232;
- Zasilanie: AC 230 V +10/-15% maks. 300 VA;
- Zakres temperatury pracy: od -10°C do $+45^{\circ}\text{C}$.

5.5. Anteny pomiarowe

Laboratorium Zakładu Systemów Radiowych dysponuje zestawem anten pomiarowych pokrywającym zakres częstotliwości od 9 kHz do 40 GHz. Poniżej podano podstawowe parametry wybranych anten przydatnych do pomiarów w zakresie częstotliwości powyżej 500 MHz.

A. Antena logarytmiczno-periodyczna produkcji EMCO, typ 3147:

- zakres częstotliwości: 200 MHz ÷ 5 GHz;
- polaryzacja: pozioma lub pionowa;
- impedancja wejściowa: 50 Ω ;

- VSWR: (średnio) 1,25, (maks.) 1,7;
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 80 W do 1 GHz, 40 W do 5 GHz;
 - złącze: N (f).
- B. Antena rożkowa (*Double-Ridged Waveguide Horn Antenna*), produkcji EMCO, typ 3115:
- zakres częstotliwości: 1 ÷ 18 GHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wejściowa: 50 Ω;
 - VSWR:
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 300 W;
 - złącze: N (f).
- C. Antena rożkowa (*Pyramidal Horn Antenna*), produkcji EMCO, typ 3160-04:
- zakres częstotliwości: 2,6 ÷ 3,95 GHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wejściowa: 50 Ω;
 - VSWR: < 1,5;
 - współczynnik antenowy (AF): 23,8 dB(1/m);
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 200 W;
 - złącze: N (f).
- D. Antena rożkowa (*Pyramidal Horn Antenna*), produkcji EMCO, typ 3160-05:
- zakres częstotliwości: 3,95 ÷ 5,85 GHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wejściowa: 50 Ω;
 - VSWR: < 1,5;
 - współczynnik antenowy (AF): 27,3 dB(1/m);
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 200 W;
 - złącze: N (f).
- E. Antena rożkowa (*Pyramidal Horn Antenna*), produkcji EMCO, typ 3160-09:
- zakres częstotliwości: 18 ÷ 26,5 GHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wejściowa: 50 Ω;
 - VSWR: < 1,5;
 - współczynnik antenowy (AF): 40,3 dB(1/m);
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 50 W;
 - złącze: K (f).
- F. Antena rożkowa (*Pyramidal Horn Antenna*), produkcji EMCO, typ 3160-10:
- zakres częstotliwości: 26,5 ÷ 40 GHz;

- polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wejściowa: 50 Ω ;
 - VSWR: < 1,5;
 - współczynnik antenowy (AF): 40,3 dB(1/m);
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 10 W;
 - złącze: K (f).
- G. Strojony dipol półfalowy, produkcji Anritsu Corporation, typ MP534A:
- zakres częstotliwości: 200 MHz ÷ 520 MHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wejściowa: 50 Ω ;
 - VSWR: ≤ 2 ;
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 10 W;
 - złącze: N (f).
- H. Strojony dipol półfalowy, produkcji Anritsu Corporation, typ MP651A:
- zakres częstotliwości: 470 ÷ 1700 MHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wejściowa: 50 Ω ;
 - VSWR: ≤ 2 ;
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 10 W;
 - złącze: N (f).
- I. Dipol półfalowy, produkcji EMCO, typ 3125-2450:
- zakres częstotliwości: 2440 ÷ 2460 MHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wyjściowa: 50 Ω ;
 - VSWR: < 1,7;
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 1 W;
 - złącze: SMA (f).
- J. Dipol półfalowy, produkcji EMCO, typ 3125-1880:
- zakres częstotliwości: 1850 ÷ 1910 MHz;
 - polaryzacja: pozioma lub pionowa;
 - impedancja wyjściowa: 50 Ω ;
 - VSWR: < 1,7;
 - maksymalna moc nadajnika fali ciągłej (*CW Power*): 1 W;
 - złącze: SMA (f).

5.6 Generatory RF i analizatory widma RF

Laboratorium Zakładu Systemów Radiowych dysponuje generatorami i analizatorami widma, które mogą być wykorzystywane m.in. w procedurach badania anten w zakresie częstotliwości do 40 GHz. Poniżej podano podstawowe parametry wybranych przyrządów.

A. Generator sygnałowy, produkcji Rohde & Schwarz, model SMIQ:

- zakres częstotliwości: 300 kHz ÷ 6,4 GHz;
- rozdzielczość nastawy: 0,1 Hz;
- stałość częstotliwości: $< 1 \times 10^{-9}$ /dzień;
- poziom wyjściowy RF:
 - kalibrowany w zakresie: od -144 dBm do +10 dBm (PEP);
 - rozdzielczość: 0,1 dB;
 - całkowita niepewność poziomu (CW):
 - przy częstotliwości $f \leq 2,5$ GHz: $< 0,5$ dB;
 - przy częstotliwości $f > 2,5$ GHz do 4 GHz: $< 0,9$ dB;
 - przy częstotliwości $f > 4$ GHz do 6,4 GHz: $< 1,2$ dB;
- impedancja wyjściowa: 50 Ω ;
- złącze: N (f).

B. Mikrofalowy generator sygnałowy, produkcji Rohde & Schwarz, model SMP 02:

- zakres częstotliwości: 10 MHz ÷ 20 GHz;
- rozdzielczość nastawy: 0,1 Hz;
- stałość częstotliwości: $< 1 \times 10^{-8}$ /dzień;
- poziom wyjściowy RF:
 - zakres poziomu RF: od -130 dBm do +11,5 dBm;
 - rozdzielczość: 0,1 dB;
 - niepewność nastaw:
 - $\pm 0,9$ dB, poziom > -60 dBm, przy częstotliwości 10 do 2000 MHz,
 - $\pm 1,4$ dB, poziom ≤ -60 dBm, przy częstotliwości 10 do 2000 MHz,
 - $\pm 1,0$ dB, poziom > -60 dBm, przy częstotliwości 2 do 20 GHz,
 - $\pm 1,5$ dB, poziom ≤ -60 dBm, przy częstotliwości 2 do 20 GHz;
- impedancja wyjściowa: 50 Ω ;
- złącze: N (f).

C. Analizator widma, produkcji Rohde & Schwarz, model FSU:

- zakres częstotliwości: 20 Hz ÷ 46 GHz;
- rozdzielczość częstotliwości: 0,01 Hz;
- rozdzielczość szerokości pasma:
 - pasmo 3 dB: 10 Hz to 20 MHz w sekwencji 1/2/3/5, oraz 50 MHz;
- filtry VBW: 1 Hz do 10 MHz w sekwencji 1/2/3/5;

- czas przeszukiwania (*sweep time*):
(span ≥ 10 Hz) 2,5 ms do 16000 s w krokach $\leq 10\%$,
(span 0 Hz) 1 μ s do 16000 s w krokach 5%;
- stałość częstotliwości: 1×10^{-7} /rok;
- całkowity błąd (w okresie 1 roku): $1,8 \times 10^{-7}$;
- impedancja wejściowa: 50 Ω ;
- VSWR (nastawa tłumika RF ≥ 10 dB, sprzężenie DC), zależnie od częstotliwości:
 - $f < 3,6$ GHz $< 1,5$;
 - $3,6$ GHz $\leq f < 18$ GHz $< 1,8$;
 - 18 GHz $\leq f < 26,5$ GHz $< 2,0$;
 - $26,5$ GHz $\leq f < 40$ GHz $< 2,5$;
 - 40 GHz $\leq f \leq 50$ GHz $< 3,0$.
- złącze: N (f) lub zamiennie K (f).

D. Analizator widma, produkcji Hewlett-Packard, model HP 8593E:

- zakres częstotliwości: 9 kHz \div 22 GHz;
- stałość częstotliwości: $\pm 1 \times 10^{-7}$ /rok;
- rozdzielczość szerokości pasma:
pasmo 3 dB: 1 kHz do 3 MHz w sekwencji 1/3/10,
- filtry VBW: 30 Hz do 1 MHz w sekwencjach 1/3;
- maksymalne poziomy sygnałów wejściowych: +30 dBm (1 W);
- impedancja: 50 Ω ;
- złącze: N (f).

E. Zestaw Microwave System Analyser, produkcji IFR.Ltd., model IFR 6845:

Jest to przyrząd wyposażony w generator i analizator widma, które mogą być przestrajane współbieżnie. Może również spełniać funkcje skalarnego analizatora sieci.

- zakres częstotliwości: 10 MHz \div 46 GHz;
- rozdzielczość: 1 Hz, powyżej 24 GHz: 2 Hz;
- poziom wyjściowy RF:
 - kalibrowany w zakresie: od -80 dBm do $+0$ dBm (typowo);
 - dokładność nastawy poziomu: do 24 GHz ± 1 dB, powyżej $\pm 1,5$ dB;
- maksymalny poziom sygnałów wejściowych: +10 dBm (10 mW);
- impedancja: 50 Ω ;
- złącze: N (f) lub zamiennie 2,9 mm (f).

5.7 Analizator sieci

Laboratorium Zakładu Systemów Radiowych w procedurach badania anten korzysta również z analizatora sieci model HP 8753ES, produkcji Hewlett-Packard. Poniżej podano podstawowe parametry tego przyrządu.

- zakres częstotliwości: 30 kHz ÷ 6 GHz;
- rozdzielczość: 1 Hz;
- maksymalna moc wyjściowa: 10 dBm;
- maksymalna moc wejściowa: 10 dBm;
- znamionowa impedancja: 50 Ω;

Literatura:

- [1] IEEE Std 145-1993. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas.
- [2] IEEE Std 149-1979. IEEE Standard Test Procedures for Antennas.
- [3] ANSI C63.5:2004. American National Standard for Calibration of Antennas Used for Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control.
- [4] National Physical Laboratory. M.J. Alexander. Measurement Good Practice Guide. Calibration and Use of EMC Antennas.
- [5] ETSI EN 301 126-3-1 V1.1.2 (2002-12). Fixed Radio Systems; Conformance testing; Part 3-1: Point-to-Point antennas; Definitions, general requirements and test procedures.
- [6] ETSI EN 301 126-3-2 V1.2.1 (2003-12). Fixed Radio Systems; Conformance testing; Part 3-2: Point-to-Multipoint antennas; Definitions, general requirements and test procedures.
- [7] ETSI EN 300 833 V1.4.1 (2002-11). Fixed Radio Systems; Point-to-point antennas; Antennas for point-to-point fixed radio systems operating in the frequency band 3 GHz to 60 GHz.
- [8] ETSI TR 101 938 V1.2.1 (2002-06). Fixed Radio Systems; Electronically steerable antennas; Multipoint (MP) antennas; Fixed Wireless Access (FWA) radio systems.
- [9] ETSI TR 102 031-2 V1.1.1 (2002-01). Fixed Radio Systems; Point-to-point and point-to-multipoint equipment; Use of circular polarization in multipoint systems; Part 2: Antenna parameters.
- [10] ETSI EN 302 217-4-2 V1.1.3 (2004-12). Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas; Part 4-2: Harmonized EN covering essential requirements of Article 3.2 of R&TTE Directive for antennas.
- [11] ETSI EN 301 751 V1.2.1 (2002-11). Fixed Radio Systems; Point-to-Point equipments and antennas; Generic harmonized standard for Point-to-Point digital fixed radio systems and antennas covering the essential requirements under article 3.2 of the 1999/5/EC Directive.