

POLITECHNIKA POZNAŃSKA			
INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ			
Zakład Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej			
Laboratorium Podstaw Telekomunikacji			
Ćwiczenie nr 3			
Temat: Sprzęgacz kierunkowy. Dopasowanie falowe anten			
Rok akademicki:	Wykonawcy:	Data	
Wydział Elektryczny		Wykonania ćwiczenia	Oddania sprawozdania
Studia dzienne	1.		
Nr grupy:	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	6.	Ocena:	
Uwagi:			

1 Cel ćwiczenia

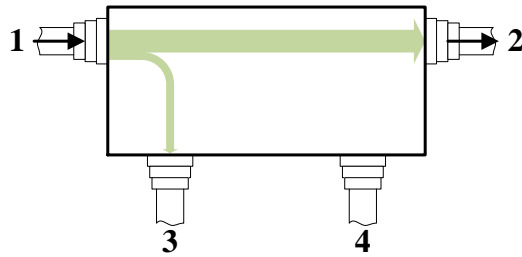
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sprzęgaczem kierunkowym oraz pomiar jego podstawowych parametrów. Zbadany sprzęgacz zostanie następnie wykorzystany do określenia dopasowania falowego anteny dipolowej.

2 Wstęp teoretyczny

2.1 Sprzęgacz kierunkowy

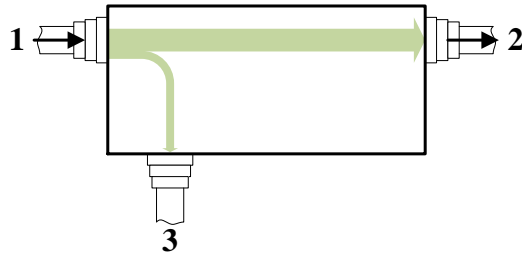
Sprzęgacz kierunkowy jest dzielnikiem mocy wykorzystywanym w technice pomiarowej dla systemów telekomunikacyjnych. Najczęściej przyjmuje postać czterowrotnika, czasami o trzech wyprowadzonych zaciskach. Na jego konstrukcję składają się dwie wzajemnie sprzężone ze sobą linie transmisyjne. Część mocy fali elektromagnetycznej rozchodzącej się w linii głównej zostaje przekazana (poprzez sprzężenie) do jednego z zacisków (wrót) linii wtórnej sprzęgacza. Czynnikiem wpływającym na to do których wrót trafia sygnał sprzężony jest kierunek rozchodzenia się fali w linii głównej.

Podczas analizy pracy sprzęgacza wrotom linii głównej przypisuje się numery 1 i 2. Przyjmując kierunek rozchodzenia się fali od wrót 1 do 2, określamy wrota 1 jako wejściowe, a wrota 2 wyjściowe. Natomiast wrotom linii sprzężonej przypisuje się numery 3 i 4. Jeżeli wrota 3 są wrotami sprzężonymi, to wrota 4 są wrotami izolowanymi.



2-1 Widok sprzęgacza kierunkowego z czterema wrotami: 1 - wrota wejściowe, 2 - wrota wyjściowe, 3 - wrota sprzężone, 4 - wrota izolowane

Bardzo często w sprzęgaczach kierunkowych wrota 4 są od razu wyizolowane, występują wtedy tylko trzy wrota: dwa linii głównej oraz jedno linii wtórnej. W takim przypadku producent od razu narzuca, który zacisk linii głównej jest wejściowy, a który wyjściowy.



2-2 Widok sprzęgacza kierunkowego z trzema wrotami: 1 - wrota wejściowe, 2 - wrota wyjściowe, 3 - wrota sprzężone

2.2 Parametry sprzęgacza kierunkowego

W przypadku idealnego wzmacniacza kierunkowego, podczas propagacji fali z wrót wejściowych do wyjściowych, część fali zostaje przekazana do wrót sprzężonych, natomiast na do wrót izolowanych nie zostaje przekazany żaden sygnał. Technicznie taka realizacja sprzęgaczy jest nieosiągalna. O jakości sprzęgacza decydują wyrażane w decybelach parametry: tłumienność, izolacja, kierunkowość i sprzężenie.

Tłumienność **IL** (ang. *Insertion Loss*) - jest to stosunek mocy sygnału wejściowego do wyjściowego:

$$IL = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

gdzie: P_1 - moc sygnału na wrotach wejściowych, P_2 - moc sygnału na wrotach wyjściowych. Określa ona straty mocy sygnału jakie występują w linii głównej sprzęgacza.

Izolacja **I** (ang. *Isolation*) - jest to stosunek mocy sygnału wejściowego do mocy na wyjściu izolowanym:

$$I = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_4} \right)$$

gdzie: P_1 - moc sygnału na wrotach wejściowych, P_4 - moc sygnału na wyjściu izolowanym.

Sprzężenie **C** (ang. *Coupling*) - jest to stosunek mocy sygnału wejściowego do mocy sygnału na wyjściu sprzężonym:

$$C = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_3} \right)$$

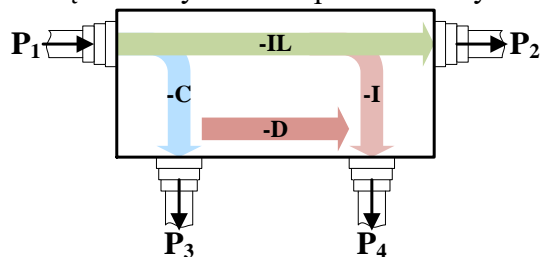
gdzie: P_1 - moc sygnału na wrotach wejściowych, P_3 - moc sygnału na wrotach wyjściowych.

Kierunkowość D (ang. *Directivity*) - jest to stosunek mocy sygnału na wyjściu sprzężonym do mocy sygnału na wyjściu izolowanym:

$$D = 10 \log \left(\frac{P_3}{P_4} \right)$$

gdzie: P_3 - moc sygnału na wrotach wyjściowych, P_4 - moc sygnału na wyjściu izolowanym.

Kierunkowość jest parametrem decydującym o jakości sprzęgacza w kontekście pomiarowym. Określa poziom wyizolowania wrót izolowanych względem poziomu sprzężenia wrót sprzężonych. Im większa wartość kierunkowości tym większa jest moc sygnału na wrotach zgodnych z kierunkiem (sprzężonych) względem wrót wyizolowanych, czyli z tym lepszą dokładnością możemy określić poziom mocy fali padającej.



Rysunek 2-3 Wpływ parametrów sprzęgacza na wartości mocy sygnałów na poszczególnych wrotach

2.3 Dopasowanie falowe anteny

W każdej linii transmisyjnej długiej, czyli takiej której długość jest porównywalna do długości fali padającej, może występować zjawisko odbicia się fali. Dzieje się tak gdy impedancja odbiornika (w rozpatrywanym przypadku anteny) różni się od impedancji falowej linii transmisyjnej (przewodów doprowadzających sygnał do anteny). Część fali trafiającej docierającej do końca linii transmisyjnej zostaje wtedy odebrana przez, a część zostaje odbita w kierunku źródła nadawania sygnału. Aby określić jakość dopasowania falowej odbiornika do linii transmisyjnej określa się tzw. napięciowy współczynnik fali stojącej *VSWR* (ang. *Voltage standing wave ratio*) opisany zależnością:

$$VSWR = \frac{|V_f| + |V_r|}{|V_f| - |V_r|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

gdzie: $|V_f|$ - jest to amplituda napięcia fali padającej, $|V_r|$ - amplituda napięcia fali odbitej, Γ - współczynnik odbicia fali opisany zależnością:

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_f}$$

Analizując dopasowanie falowe odbiornika do linii można wyróżnić trzy charakterystyczne stany pracy:

- zwarcie linii: następuje całkowite odbicie. Fala odbita jest w przeciw fazie do fali propagującej. Współczynnik $\Gamma = -1$, stąd $VSWR = \infty$,
- przerwanie linii (brak obciążenia): następuje całkowite odbicie. Fala odbita jest równa fali propagującej. Współczynnik $\Gamma = 1$. Współczynnik $VSWR = \infty$,

- obciążenie linii impedancją falową: występuje idealne dopasowanie falowe. Cała energia fali zostaje odebrana przez odbiornik, $V_r = 0$, stąd: $\Gamma = 0$ i $VSWR = 1$.

Ze współczynnikiem fali stojącej skojarzone są straty odbiciowe RL (ang. *Return Loss*) definiowane jako:

$$RL = 10 \log \left(\frac{P_r}{P_f} \right) \text{ [dB]}$$

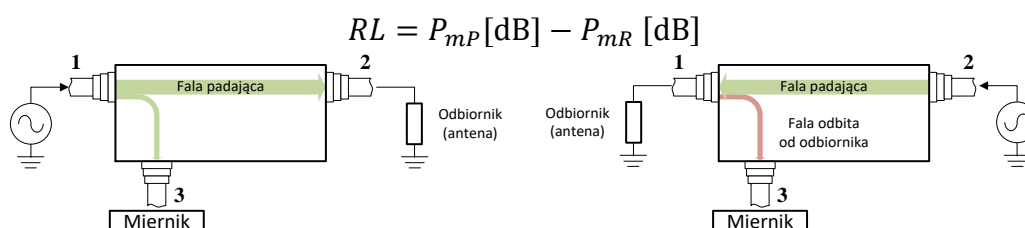
gdzie: P_r - jest to moc fali odbitej, P_f - moc fali padającej.

Można zauważyć, że RL jest reprezentacją tej samej wielkości co Γ , tylko w wyrażonej w skali logarytmicznej. Na podstawie znanej wartości Γ można więc w łatwy sposób wyznaczyć wartość strat odbiciowych:

$$RL = -20 \log(|\Gamma|) \text{ [dB]}$$

2.4 Pomiar strat odbiciowych anteny

Do pomiaru strat odbiciowych RL jak i współczynnika $VSWR$ stosuje się reflektometr. Jest to urządzenie radiotelekomunikacyjne skonstruowane ze sprzęgacza kierunkowego i detektorów mocy. Jeżeli sprzęgacz kierunkowy połączymy tak by fala padająca przechodziła przez tor główny sprzęgacza w kierunku zgodnym to na wrotach sprzężonych będziemy mieli pomiar mocy fali padającej P_{mP} . Natomiast na wrotach izolowanych sprzężona zostanie część fali odbitej o mocy P_{mR} . Wiedząc, że moc fali padającej jest równa sumie mocy fali odbitej i odebranej przez antenę, przy pominięciu strat w sprzęgaczu, można łatwo wyznaczyć RL w dB jako:



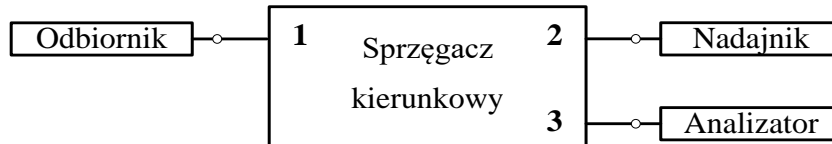
2-4 Schemat pomiarowy dla pomiaru mocy fali padającej (po lewej) oraz mocy odbitej od odbiornika (po prawej)

3 Przebieg ćwiczenia

W ćwiczeniu wykorzystany będzie sprzęgacz kierunkowy z wyprowadzonymi trzema wrotami: wejściowymi, wyjściowymi i sprzężonymi.

3.1 Pomiar kierunkowość anteny

Połączyć układ zgodnie ze schematem ideowym rysunku 3.1. Pozostawić wyjście sprzęgacza kierunkowego otwarte (stan linii bez obciążenia). Ustawić nadajnik radiowy w pozycji LOW. Zmieniając częstotliwość nadawanego sygnału w zakresie od 500 MHz do 600 MHz co 5 MHz odczytywać z analizatora wartość mocy fali odbitej. Następnie obciążać linię impedancją falową 75Ω (stan idealnego dopasowania) i powtórzyć pomiary. Wyniki zapisać w tabeli 3.1. Obliczyć kierunkowość sprzęgacza jako różnicę sygnału pomiędzy stanem bez obciążenia, a stanem idealnego dopasowania.



3-1 Schemat ideowy do pomiaru mocy fali odbitej

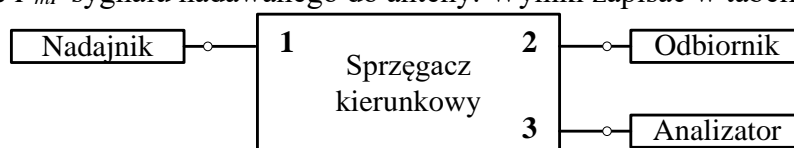
Tabela 3-1 Wyniki pomiarów kierunkowości sprzęgacza kierunkowego

L. p.	f MHz	Z pomiarów		Z obliczeń
		Obciążenie linii		D dB
		brak dBm	75 Ohm dBm	
1	500			
2	505			
3	510			
4	515			
5	520			
6	525			
7	530			
8	535			
9	540			
10	545			
11	550			
12	555			
13	560			
14	565			
15	570			
16	575			
17	580			
18	585			
19	590			
20	595			
21	600			
ŚREDNIA				

Sporządzić wykres kierunkowość w funkcji częstotliwości. Wyznaczyć średnią kierunkowość w zadanym zakresie i na jej podstawie określić jakość sprzęgacza.

3.2 Pomiar dopasowania falowego anten

Wyznaczyć długość dipola półfalowego dla częstotliwości sygnału równej 550 MHz. Podłączyć sprzęgacz kierunkowy pomiędzy anteną a nadajnikiem w kierunku zgodnym (rys 3-2). Zmieniać częstotliwość nadawanego sygnału w zakresie z pkt. 3.1, odczytać z analizatora moc P_{mP} sygnału nadawanego do anteny. Wyniki zapisać w tabeli 3.2.



3-2 Schemat ideowy dla pomiaru mocy fali padającej

Podłączyć sprzęgacz kierunkowy w kierunku przeciwnym, zgodnie ze schematem z rys. 3-1. Zmieniać częstotliwość nadawanego sygnału w zakresie z pkt. 3.1, odczytać z analizatora moc P_{mR} sygnału odbitego do anteny. Wyniki zapisać w tabeli 3.2.

Tabela 3-2 Wyniki pomiarów i obliczeń dla dopasowanie falowego anteny dipolowej

L. p.	Z pomiarów			Z obliczeń		
	f MHz	PmP dBm	PmR dBm	RL dB	$ \Gamma $ -	VSWR -
1	500					
2	505					
3	510					
4	515					
5	520					
6	525					
7	530					
8	535					
9	540					
10	545					
11	550					
12	555					
13	560					
14	565					
15	570					
16	575					
17	580					
18	585					
19	590					
20	595					
21	600					

4 Wnioski

- Określić częstotliwość przy, której antena jest najlepiej dopasowana falowo do układu.
- Spróbować wytłumaczyć ewentualne rozbieżności pomiędzy wartościami wyznaczonymi z pomiarów, a wartościami teoretycznymi dla anteny dipolowej.
- Wyznaczyć współczynnik skrócenia długości badanej anteny dipolowej.

5 Literatura

[1] Jorgesen D., Marki Ch., *Directivity and VSWR Measurements*, Marki microwave Inc., 2012, Morgan Hill, https://www.markimicrowave.com/Assets/appnotes/directivity_and_vswr_measurements.pdf

[2] *How to: Measure Directivity of Directional Couplers:*, RF Explorer, <https://j3.rf-explorer.com/43-rfe/how-to/144-how-to-measure-directivity-for-couplers>

[3] *Directional Couplers*, MicrowavesIOI.com, <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/directional-couplers>