Co to są straty odbiciowe RL i jaki jest ich stosunek do SWR

W numerze 6 naszego Biuletynu z grudnia 2006 roku opisałem współczynnik fali stojącej „SWR". Biuletyn jest dostępny na naszym portalu, dla przypomnienia pod adresem: http://sp8-ral.com/images/biuletyny/2006/Biuletyn6/Biuletyn6_2006.htm .
Poniższy opis, jest kontynuacją opisu SWR i powiązanych z nim innych określeń.

W instrukcji producentów sprzętu radiowego, czy w danych technicznych np. tranzystora, często możemy spotkać określenie „return loss" w skrócie RL, zamiast znanego nam dobrze terminu SWR.
Return loss, to po polsku straty odbiciowe (nie straty powrotu, jak prosto można by przetłumaczyć).
Zacznijmy od typowej linii transmisyjnej. Dla przypomnienia, jeśli obciążenie Z_L ma taką samą impedancję jak charakterystyczna impedancja Z_0 linii transmisyjnej, to cała przenoszona moc jest wydzielona w obciążeniu linii. Jeśli obciążenie ma inną impedancję, większą lub mniejszą od Z_0, to jakaś część przekazywanej energii będzie odbita z powrotem do źródła. Fala padająca i fala odbita zakłócają się wzajemnie tworząc w linii transmisyjnej tzw. falę stojącą. Im większa jest różnica w impedancjach pomiędzy linią a obciążeniem, tym większa będzie amplituda interferencji – fali stojącej.

Jeżeli charakter napięć (padającego i odbitego) w linii jest pomierzony, to ich wzajemny stosunek nazywa się napięciowym współczynnikiem fali stojącej VSWR. Odnosi się to również do prądu płynącego w linii, i pomierzony ich stosunek oznaczamy jako ISWR. Ponieważ łatwiej jest mierzyć napięcie w linii niż prąd, to zwykle używamy VSWR. W tych samych warunkach ISWR i VSWR maja te same wartości, ale zwykle używamy pojęcia SWR jako bardziej znanego i ogólnego.

Bardzo rzadko napięcie i prąd w linii transmisyjnej mierzymy bezpośrednio. Zwykle używamy tzw. sprzęgaczy kierunkowych aby zmierzyć napięcie, które jest proporcjonalne do mocy padającej i odbitej. W mierniku SWR stosunek tych napięć zamieniamy na pomiar SWR'a. Rodzi się pytanie, czy nie prościej byłoby zmierzyć i zobrazować moc padającą i odbitą? W warunkach amatorskich jest to dość trudne, i dlatego używamy mierników SWR, które opisują związek między Z_L a Z_O, tak więc nasz miernik pokazuje nam współczynnik fali stojące - SWR.

W radiokomunikacji profesjonalnej sytuacja jest inna. Profesjonaliści chcą wiedzieć ile mocy z linii transmisyjnej jest dostarczane do urządzenia lub anteny a ile jest odbijane z powrotem. Nie stosują pojęcia SWR a pojęcie RL. Są zainteresowani bardziej efektywnością systemów. Do bezpośrednich pomiarów mocy używają bardziej wyrafinowanych systemów pomiarowych, niż amatorzy.

Straty odbiciowe (Return Loss) RL jest to stosunek mocy sygnału odbitego od końca linii transmisyjnej do mocy sygnału wejściowego. RL jest mierzony w dziedzinie częstotliwości i podaje się go w dB.
Straty odbiciowe RL i SWR w zasadzie mierzą tą samą „rzecz" – ile mocy w linii transmisyjnej jest wysyłane do obciążenia, a ile jest odbite. Natomiast wynik pomiarów wyrażany jest w innych jednostkach.

Straty odbiciowe: $(RL) = 10\log_{10}\left(\frac{P_{odb}}{P_{pad}}\right)$ dB

Ponieważ P_{odb} nigdy nie jest większe od P_{pad}, to RL jest zawsze ujemne. Im większa jest ujemna wartość RL, tym mniejsza jest moc odbita w porównaniu do mocy przesłanej. Jeśli cała moc jest przeniesiona do obciążenia w przypadku gdy $Z_L = Z_O$ to wówczas RL= ∞dB. Jeżeli żadna moc nie jest przesłana do obciążenia, np. w przypadku linii otwartej lub zwartej to RL = 0dB.

Dla wprawy można pokusić się i obliczyć RL dla następujących wartości P_{pad} i P_{odb}:

1. P_{pad} = 100W, P_{odb} = 25W
2. P_{pad} = 100W, P_{odb} = 1W
3. P_{pad} = 1W, P_{odb} = 0,1W

Poniższa tabela pokazuje serię wartości dla różnych P_{pad} i P_{odb} i odpowiadającej im wartości RL. Zauważmy, że RL zależy tylko od stosunku wartości mocy. RL ma tą samą wartość jeśli P_{odb}/P_{pad} ma tą samą wartość.

P pad (W)	P odb (W)	P odb / P pad	RL (dB)
1	0,1	0,1	-10
1	0,5	0,5	-3
10	1	0,1	-10
100	0,2	0,002	-27
100	1	0,01	-20
100	5	0,05	-13
100	50	0,5	-3
100	100	1	0
100	20	0,2	-7

RL może być obliczony bezpośrednio ze stosunków mocy w dBm (w odniesieniu do 1mW), lub w dBW (w odniesieniu do 1W). W tym przypadku, RL = $P_{odb} - P_{pad}$, ponieważ logarytm był już wcześniej obliczony dla dBm lub dBW. Nie obliczamy przez dzielenie, ale przez odejmowanie. Na przykład jeżeli P_{pad} = 10dBm a P_{odb} = 0,5dBm, to:
RL = 0,5-10 = - 9,5dBm.

Oczywiście obliczenia przeprowadzamy w tych samych jednostkach, nie można bezpośrednio odjąć dBW od dBm. Ale można zamienić jedną z jednostek odpowiednio na drugą i wówczas przeprowadzić odejmowanie. Np. jeżeli mamy P_{pad} =10dBW a P_{odb} = 20dBm, to: 1W=1000x1mW, i aby zamienić dBW w dBm należy dodać $\log_{10}(1000)$=30dB i otrzymujemy P_{pad}=40dBm, czyli RL=20dBm - 40dBm= -20dBm.
Nasuwa się oczywisty wniosek, że jeżeli RL ma większą wartość ujemną, to mniejsza część mocy jest odbita od obciążenia. Korzystna jest większa wartość ujemna RL, tak jak korzystny jest niższy SWR.

Konwersja SWR do RL.

Jeżeli SWR i RL mierzą tę samą „rzecz" – moc odbitą, jako część mocy padającej, to czy można wzajemnie ich zamienić? Oczywiście tak. (polecam stronę: http://www.minicircuits.com/pages/pdfs/dg03-111.pdf). Jakie równanie musimy zastosować? Zaczniemy od zamiany RL odwrotnie do stosunku mocy:

$$\frac{P_{odb}}{P_{pad}} = \log^{-1}(0.1 \text{ x RL})$$

Teraz możemy użyć równania do obliczenia SWR z mocy padającej i odbitej:

$$SWR = \frac{1+\sqrt{\frac{P_{odb}}{P_{pad}}}}{1-\sqrt{\frac{P_{odb}}{P_{pad}}}}$$

Poniższa tabela pokazuje relacje pomiędzy SWR a RL (przykład):

Podb/Ppad	RL (dB)	SWR
0,0001	-40	1.02
0,0100	-20	1.22
0,1000	-10	1.92
0,6310	-2	8.72
0,9772	-0,1	173.72

Możemy spróbować zrobić to w inny sposób, z SWR do RL.
Zacznijmy od równania opisującego SWR ze stosunku mocy padającej i odbitej:

$$\frac{P_{odb}}{P_{pad}} = \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2$$

Teraz możemy przekonwertować do RL używając równania do obliczenia strat odbicia:

$$RL = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{odb}}{P_{pad}} \right)$$

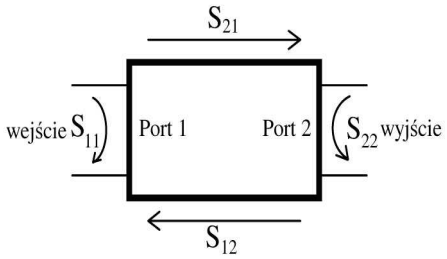
W tabeli poniższej pokazano serię wartości dla stosunku $\frac{P_{odb}}{P_{pad}}$ i RL w odniesieniu do SWR

SWR	Podb/Ppad	RL (dB)
1.01	0.005	-23.0
1.2	0.091	-10.4
2	0.333	-4.8
3	0.500	-3.0
10	0.818	-0.9

Stosując powyższe wzory można samemu w arkuszu kalkulacyjnym automatycznie przekonwertować wartość SWR do RL.

Większość profesjonalnych przyrządów stosowanych w technice pomiarowej takich jak generatory, analizatory widma etc, kalibrowanych jest w jednostkach dB i pokrewnych im np. dBm. Wielkości wyrażone w decybelach lepiej opisują zjawiska, których zakres może przekraczać zjawiska wyrażone „linearnie" tak jak w przypadku pomiaru SWR.
Przykładem mogą być duże wartości ujemne RL, przy których wartość SWR staje się bliska zeru, i jest coraz mniejsza i mniejsza (trudna do odczytu na mierniku). Dużo łatwiej jest pracować z większymi wartościami RL określonymi w dB, tak jak powszechnie robimy to w przypadku wzmocnienia czy tłumienia.

Innym powodem jest to, że o urządzeniach możemy myśleć jako o „czarnych skrzynkach", które mają dwa porty – wejściowy 1 i wyjściowy 2. Zachowanie urządzenia możemy opisać matematycznie poprzez związki pomiędzy sygnałami w tych portach.
Dla uproszczenia pomijamy zasilanie tej „czarnej skrzynki".



.

Są techniki opisujące relacje pomiędzy portami. Każda z tych relacji polega na zbiorze konstrukcji matematycznych zwanych parametrami. Parametry takie jak Z, H czy T, opisują urządzenia, które pod pewnymi względami określają typ produktu lub urządzenia. Np. parametr T opisuje urządzenie w warunkach odnoszących się do transmisji sygnałów, a np. parametr Z opisuje urządzenie charakteryzujące jego impedancję. Każdy typ parametru jest matematycznym zbiorem używanym w stosownym środowisku.

Najbardziej wspólnym zbiorem parametrów, używanym przez projektantów systemów w.cz. jest parametr S, zwany parametrem rozpraszania. Parametry S opisują zdarzenia, które wynikają z przenikania (rozpraszania) sygnałów pomiędzy portami urządzenia, lub nawet w tym samym porcie. Mamy cztery parametry S: S_{11}, S_{12}, S_{21} i S_{22} tak jak opisane jest na rysunku powyżej. Indeksy cyfrowe pokazują kierunek rozpraszania. Pierwsza liczba, to port, w którym mierzymy sygnał, a druga, to port do którego sygnał podajemy. Na przykład S_{21} opisuje sygnał w porcie 2, który wynika z sygnału podanego do portu 1. W przypadku np. „czarnej skrzynki" pracującej jako wzmacniacz, S_{21} opisuje jego wzmocnienie. Jeśli „czarna skrzynka" jest linią transmisyjną, to parametr S_{21} opisuje straty tej linii.
We wzmacniaczu, S_{12} opisuje izolację pomiędzy portem wyjściowym a portami wejściowymi. S_{11} opisuje zdarzenia w porcie wejściowym, przy podaniu sygnału do niego i pomiary tego sygnału, który wraca z powrotem do tego portu. I to jest właśnie definicja strat odbiciowych RL. Podobnie S_{22} określa straty odbiciowe w porcie wyjściowym. Tak więc, ułożone te cztery parametry - S w macierz, określają – wzmocnienie, izolację i dwie straty powrotu i opisują wzmacniacz, linię transmisyjną, filtr, etc.

Na podstawie QST jan. 2009

Jacek SP8BAI
sp8bai@arrl.net