

Współczynnik fali stojącej – SWR - wyjaśnienie

Poniższy opis, głównie przeznaczony jest dla tych, co próbują obcinać tzw. „feeder” (czyt. fider), czyli kabel łączący nadajnik z anteną w celu dopasowania impedancyjnego układu.

W rozmowach na pasmach amatorskich, słyszy się niekiedy niestworzone a niekiedy wręcz kuriozalne opowieści dotyczące SWR'a. Niektórzy próbują udowodniać, że SWR może być mniejszy od jedności. ☺

W krótkim opisie postaram się wyjaśnić na przykładach, co można pominąć, a czego możemy obawiać się obserwując nasz SWR.

Co to jest SWR?

SWR bardziej poprawnie powinien być nazywany: VSWR (od: „napięciowy współczynnik fali stojącej”). Co to oznacza? Najlepszą drogą do zrozumienia SWR są przykłady.

Typowy układ nadawczy, to nadajnik podłączony do linii transmisyjnej, który z kolei jest podłączony do anteny. Kiedy uruchomimy nasz TX, to napięcie w.cz. pojawia się na wejściu linii transmisyjnej. To napięcie przesyłane jest przez linię do jej końca i jest nazywane napięciem padającym. Część tego napięcia jest odbijana przez dołączoną antenę i wędruje z powrotem linią transmisyjną do nadajnika jako napięcie odbite. Można to porównać do zjawiska echa, gdzie głos odbija się od przeszkody i wraca do nas w postaci właśnie echa.

SWR jest miarą zdarzeń pomiędzy napięciem padającym i odbitym oraz w jakim pozostają stosunku do siebie.

Zobaczmy, co dzieje się, kiedy nadajnik jest podłączony do kabla koncentrycznego o oporności 50 Ω i anteny również o oporności 50 Ω . Załóżmy, że kabel koncentryczny jest bezstratny a z nadajnika promieniuje 1W mocy. Gdybyśmy do wyjścia nadajnika podłączyli teraz oscyloskop, to zobaczylibyśmy na ekranie przebieg sinusoidalny. Amplituda tej sinusoidy jest ściśle związana z mocą, jaką emituje nadajnik. Sinusoida o większej amplitudzie, odpowiada większej mocy. Ta fala energii przechodzi przez linię transmisyjną i dochodzi do anteny. Jeśli impedancja anteny jest równa 50 Ω , i składa się tylko z części rzeczywistej (brak części urojonej – reaktancji), tak jak kabla, to cała energia jest wypromieniowana przez antenę. Gdziekolwiek teraz, byśmy nie mierzyli napięcie w linii transmisyjnej, to w każdym jej punkcie, kształt i wielkość tego napięcia będzie taka sama jak wychodząca z nadajnika. Taką sytuację spotyka się w warunkach dopasowania i wówczas SWR równy jest 1:1. Sytuacja idealna, ale w życiu niestety niespotykana.

W przypadku rezystancyjnego obciążenia, SWR może być łatwo obliczony jako stosunek równy: R/Z_0 lub Z_0/R , i w każdym przypadku rezultat jest równy lub większy od 1.0.

Każda linia transmisyjna, np. w postaci kabla koncentrycznego charakteryzuje się impedancją własną, zależną od jego budowy, tj. średnicą przewodnika, odległością przewodnika od ekranu, oraz jakim materiałem wypełniona jest przestrzeń pomiędzy przewodnikiem a ekranem. Na tę cechę charakterystyczną koncentryka nie mamy wpływu, parametr ten podają wszyscy producenci kabli koncentrycznych.

Co stanie się, jeśli antena nie jest o oporności 50 Ω , a przypuścimy 100 Ω , a kabel o oporności 50 Ω ? SWR w tym układzie równy jest 2:1 (100/50). Teraz energia dostarczona do anteny jest w części wypromieniowana, a w części wraca jako fala odbita z powrotem do nadajnika. Spowodowane jest to niedopasowaniem anteny do linii, stąd fala odbita. Przy takim SWR, 33% napięcia w.cz. wraca jako echo z powrotem do nadajnika. Poniższa tabela podaje ile procent napięcia w.cz. oraz mocy, wraca jako odbite przy różnych SWR.

VSWR	% napięcia	% mocy	VSWR	% napięcia	% mocy
1.0:1	0	0	1.8:1	29	8.2
1.1:1	5	0.2	1.9:1	31	9.6
1.2:1	9	0.8	2.0:1	33	11
1.3:1	13	1.7	2.5:1	43	18.4
1.4:1	17	2.8	3.0:1	50	25
1.5:1	20	4	4.0:1	56	36
1.6:1	23	5.3	5.0:1	67	44.4
1.7:1	26	6.7	10.0:1	82	67

W przypadku takiego niedopasowania, zobaczmy, co stało się w linii transmisyjnej. Poprzednio, przy dopasowaniu, napięcie w.cz. w linii w każdym jej punkcie było takie same. Teraz, gdybyśmy mierzyli napięcie wzdłuż linii, to zobaczylibyśmy, że napięcie to zmienia się, raz jest większe a raz mniejsze w zależności od jego fazy. Te wracające 33% napięcia raz dodaje się do napięcia padającego a raz odejmuje. W różnych punktach linii mamy raz 133% napięcia, a w innym punkcie 66% napięcia przy dopasowaniu nadajnika do linii. Współczynnik napięciowy jest równy 133/66 lub inaczej 2.0.

Ten współczynnik napięciowy określa SWR (współczynnik fali stojącej). Napięcie wzdłuż linii transmisyjnej zmienia się z długością linii i jest różne od tego, co wysyła nadajnik, to zjawisko nazywane jest falą stojącą.

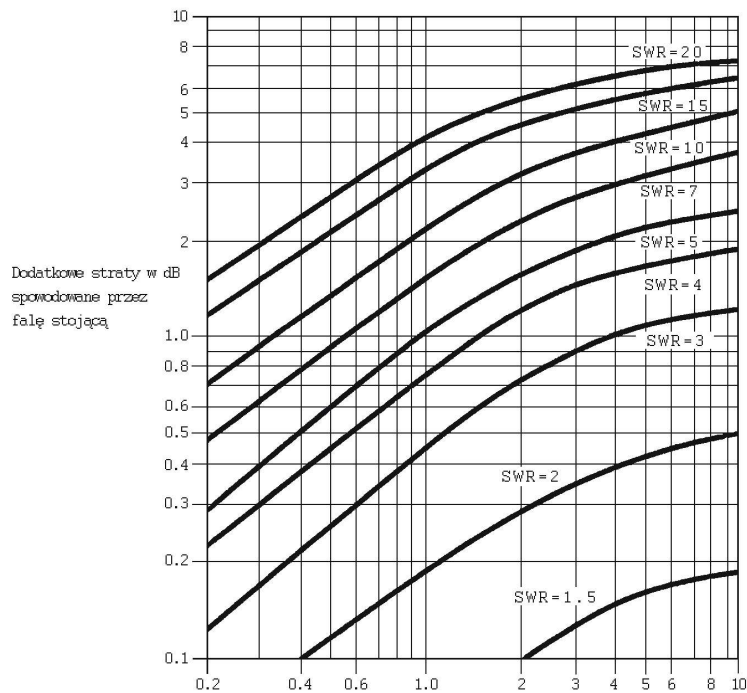
Fala stojąca pojawia się tylko wtedy, kiedy występuje niedopasowanie linii.

Czy wysoki SWR prowadzi do zmniejszenia mocy wypromieniowanej?

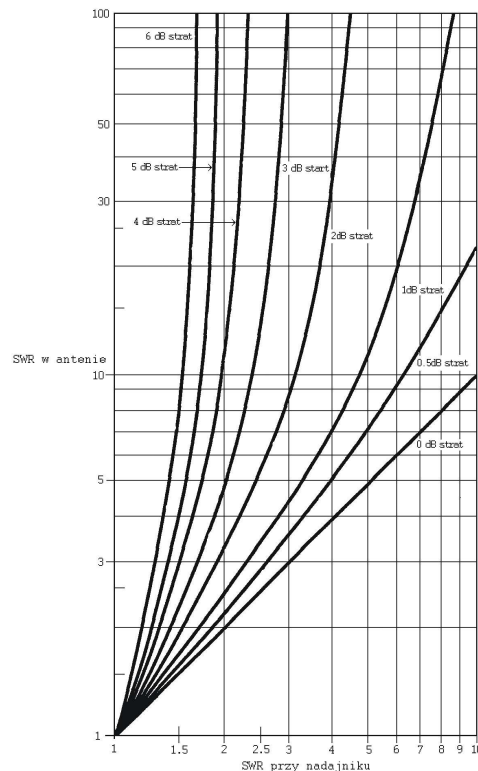
Można wierzyć lub nie, ale w obu przypadkach 100% mocy jest wypromieniowane przez antenę. W pierwszym przypadku, przy dopasowaniu 50 Ω z każdej strony, jest zrozumiałe, że przy braku fali odbitej wszystko to, co dostarczamy do anteny jest przez nią wypromieniowane. W drugim przypadku 33% napięcia wraca z powrotem do nadajnika, ale tu nie ginie, ale odbija się, i razem z falą padającą wędruje z powrotem do anteny wzdłuż linii. Odbita energia wędruje w linii w jedną i drugą stronę, aż w końcu cała zostanie wypromieniowana. Dzieje się tak w linii, w której nie ma strat przesyłowych i nieważne jest, jaki jest SWR, w końcu cała moc zostanie dostarczona do anteny i wypromieniowana. Następne przykłady pokażą, co może się zdarzyć jeszcze.

Czy wysoki SWR to źle, czy nie?

Teraz, kiedy zrozumieliśmy, co to jest SWR, kilka przykładów pokaże, dlaczego w tych samych warunkach wysoki SWR może prowadzić do zmniejszenia mocy wypromieniowanej, a w innych nie jest problemem. Łatwą drogą do zobrazowania jak SWR działa na system antenowy jest użycie dwóch wykresów.



Rysunek 1 Wykres pokazujący dodatkowe straty w linii transmisyjnej w zależności od SWR



Rysunek 2 - Wykres pokazujący faktyczny SWR w antenie oparty o mierzony SWR przy nadajniku z linia transmisyjną ze stratami

W poprzednich przykładach, linia transmisyjna była bezstratna i cała moc dostarczona do anteny została wypromieniowana. Ponieważ każda linia transmisyjna ma straty to spotkamy zupełnie inne warunki. Teraz pokażę bardziej praktyczną sytuację. Tym razem mamy jakąś długość kabla o oporności 50Ω o stratach 3dB (50% mocy) i antenę o oporności 50Ω . Zatem w dalszym ciągu SWR równy jest 1:1. Nasz nadajnik produkuje moc równą, 1W, ale tylko 0.5W zostaje dostarczone do anteny. Ponieważ SWR jest 1:1, to nie ma żadnych strat spowodowanych niedopasowaniem. To bardzo prosta sytuacja i żadne wykresy są tu niepotrzebne. Wszystko jest jasne. Teraz, weźmy antenę o oporności 100Ω i z tym samym kablem. SWR jest równe 2:1 przy antenie, ponieważ $100/50=2.0$. Patrząc na rysunek 1, widzimy, że dodatkowe straty wynikające ze strat w kablu i z powodu niedopasowania wynoszą 0.35dB. W tym przypadku, całkowite straty wyniosą 3.35dB naszego sygnału a do anteny zostanie dostarczone 0.46W. Przy SWR 1:1 dostarczone było 0.5W, teraz 0.46W – praktycznie żadna różnica. Ale jak to będzie, jeśli SWR będzie 3:1 z tym samym kablem? Znowu korzystając z rysunki 1, widzimy, że dodatkowe straty wyniosą 0.9dB, a całkowite 3.9dB, i moc dostarczona do anteny wyniesie 0.41W. Dalej niewiele dodatkowych strat przy SWR 3:1. W normalnych warunkach propagacyjnych strata o 0.9dB jest zupełnie niezauważalna.

Czy to już wszystko?

Przy długiej i bardzo stratnej linii transmisyjnej, nawet przy bardzo dobrym dopasowaniu, może okazać się, że do anteny nie dochodzi żadna moc.

Wyobraźmy sobie antenę na 2m, która zasilana jest kablem RG8X (odpowiednikiem jest RG213) o długości 40m. Producent określa, że na 144MHz i na tej długości straty wyniosą 4.5dB, co wydaje się do zaakceptowania. Pomiary SWR przy nadajniku wskazują 2:1, co również jest do zaakceptowania, chociaż mogłoby być lepiej. Co jest złe w tym przypadku? Pamiętamy, że fala odbita wędruje tam i z powrotem wzdłuż linii. Wcześniej, powiedziane było, że w końcu i tak zostanie ona wypromieniowana, ale to było przy założeniu, że linia jest bez strat. Teraz historia jest zupełnie inna – mamy kabel ze stratami. Każda fala odbita jest tłumiona o 4.5dB, lub o 9dB przy powrocie do anteny itd. Straty w kablu spowodują, że , fala odbita jest całkowicie tłumiona, a nie wypromieniowana. Ale cóż w tym złego? Popatrzmy na rysunek 2, z SWR'em przy nadajniku 2:1 i stratami w kablu 4.5dB, wykres pokazuje, że SWR przy antenie wynosi 20:1 !. To znacznie, znacznie więcej niż przy nadajniku. Wracamy do rysunku 1 i widzimy, że SWR 20:1 przy antenie dodaje dodatkowo 7dB strat z powodu niedopasowania. Praktycznie, system antenowy, o którym myśleliśmy, że ma tylko 4 dB strat, w rzeczywistości ma 11dB strat. W konsekwencji mniej niż 1/10 mocy naszego nadajnika zostanie wypromieniowana!.

Jeśli ten sam kabel jest otwarty na końcu (antena nie jest podłączona) i mierzy kilkaset metrów, to SWR mierzony przy nadajniku pokaże SWR 1:1. Dlaczego? Ponieważ tworzy się linia długa o charakterystycznej impedancji kabla, a straty odbiciowe „zdechają” w odpowiednio długim kablu.

Wniosek z tego taki, że pomiary SWR powinny być robione przy antenie, szczególnie, jeśli używamy długiego kabla koncentrycznego. Pomiar SWR'a przy nadajniku może być zawodny. A drugi wniosek to taki, że dobrze jest znać straty w kablu, które podaje producent kabla, a które odnoszą się do SWR'a 1:1 lub doskonałego dopasowania. Wszystko to, co powoduje niedopasowanie, daje dodatkowe straty.