

Krótkie omówienie tematu.

Walter Maxwell W2DU (SK) opublikował dwie książki, w tym Reflections III (wyd. 2010r).

Książka ta opisuje nowatorskie spojrzenie na odbicia w liniach zasilających anteny, odmiennie od tego jak wielu krótkofalowców interpretuje te zjawiska. Walter był w latach 70-tych znanym projektantem anten dla satelitów.

Teza pierwsza.

Główna szokująca teza brzmiała, że w torze antenowym zasilającym antenę o SWR większym od 1:1: **moc odbita dodaje się do mocy padającej i obie wydzielają się na obciążeniu (są wypromieniowane przez antenę). Starty są tylko stratami wynikającymi ze stratności linii zasilającej (straty fali padającej i straty fali odbitej jako energii straconej na stratkach kabla). Podwyższony SWR nie ma wpływu na sprawność anteny.**

Teza druga.

W przekonaniu wielu krótkofalowców: moc oddawana do obciążenia (anteny) równa się mocy padającej minus moc odbita pokazywana w miernikach SWR. To jakoby przeczyło tezie powyższej. Jak wygląda % moc fali odbitej w zależności od SWR?

1:1,2 – 0,8%

1:1,5 – 4%

1:1,9 – 9%

1:3 – 25% (to już dużo)

1:4 – 36% (bardzo dużo).

Można przyjąć że przy SWR 1:1,5 jest jeszcze bardzo dobrze, a 1:2 jest jeszcze akceptowany.

Natomiast przy 1:3 tracimy już 25% mocy nadajnika.

Generalny problem z którym się spotykamy, to podnoszący się wskaźnik SWR na bokach pasma, gdy antena jest zestrojona na rezonans po środku pasma. To zjawisko występuje głównie w pasmach 80m, 10m (szerokie pasmo) lub przy antenach wieloelementowych.

Podejmiemy zatem problem typowej anteny rezonansowej, pracującej w danym paśmie, w której występują różnice w SWR na różnych częstotliwościach (w dół i w górę od częstotliwości rezonansowej).

Zajmiemy się antenami o dużych sprawnościach, a nie krótkimi antenami – wydłużanymi elektrycznie cewkami lub przypadkowymi odcinkami drutów użytych jako antena.

Walter wykonywał w swojej pracowni pomiarowej szereg testów, które potwierdzały jego tezy.

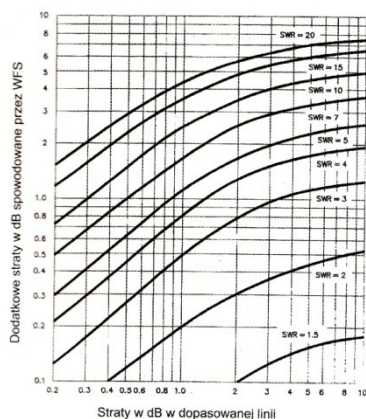
To nas może cieszyć, gdyż większość krótkofalowców dysponuje obecnie nowoczesnymi przyrządami pomiarowymi i można powtórzyć pomiary Waltera, by przekonać się jak zachowuje się faktycznie zjawisko odbicia w liniach zasilających antenę.

Walter tłumaczy opisane zjawisko tak: Moc padająca generowana z nadajnika wchodzi do dopasowanej linii zasilającej i dalej przechodzi do zacisków anteny, która jest niedopasowana do linii zasilającej (na styku kabel-antena $SWR > 1:1$). Tu ulega częściowemu odbiciu zgodnie z wyżej przedstawionymi danymi o procencie mocy odbitej. Fala odbita wraca do dopasowanego połączenia kabel-nadajnik i to ulega lustrzanemu odbiciu w stronę anteny. Moce się dodają i w związku z tym cała (zsumowana) moc na zaciskach anteny ulega wypromieniowaniu (minus straty w antenie –

w tym rozważaniu nie chodzi o sprawność samej anteny).

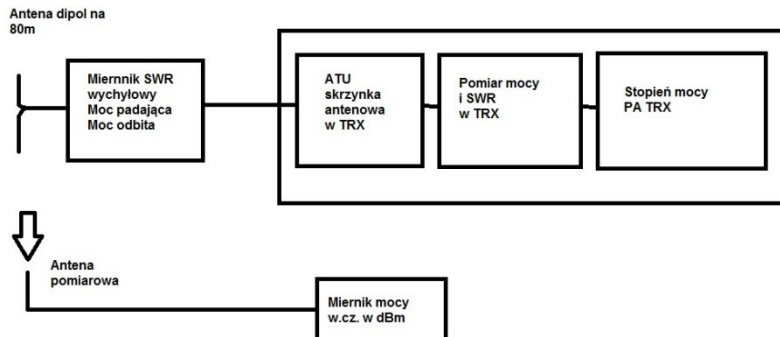
W tej tezie strata w linii zasilającej równa jest TYLKO stracie tak jakby linia była dopasowana czyli SWR 1:1 (tylko stratność kabla dla danej częstotliwości) plus „niewielkie” dodatkowe straty związane z odbiciem. Walter przedstawił wykres wyznaczania strat całkowitych.

Jak posłużyć się wykresem? Obliczamy straty w kablu dla danej częstotliwości zgodnie z jego stratnością i jego długością. Na osi poziomej szukamy obliczoną wartość strat i w zależności od SWR odczytujemy na osi pionowej dodatkowe straty z odbić.



Przykładowo: obliczone straty w kablu wynoszą 1 dB, SWR jest 1:2 to znaczy że dodatkowe straty są 0,2 dB. Łączne straty 1,2 dB.

Zajmiemy się pomiarami by zweryfikować tą tezę. Układ pomiarowy:



Dodajemy dodatkowy miernik mocy za TRX na wejściu do kabla zasilającego antenę, który mierzy wartość mocy fali padającej i odbitej. Będziemy używać mocy 50W nadajnika i emisji FM (tak by mierzyć moc fali ciągłej).

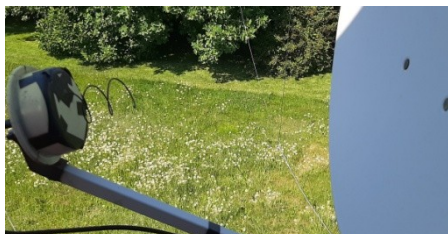
Co będziemy odczytywać?

- moc nadajnika podawaną w TRX (ustawiamy zadaną moc 50W),
- SWR na mierniku w TRX (z użyciem ATU i bez użycia ATU),
- moc padającą na wejściu do linii zasilającej (miernik dodatkowy MFJ),
- moc odbitą na wejściu do linii zasilającej (miernik dodatkowy MFJ).

Powinniśmy de facto mierzyć moc padającą i odbitą na końcu linii zasilającej, ale odbicie następuje na wejściu do nadajnika (*na razie nie określamy dokładnie gdzie*). Dodatkowo jednak będziemy mierzyć natężenie pola wokół anteny czyli będziemy weryfikować jaką moc faktycznie antena emituje – będzie to nasza alternatywa pomiarów na zaciskach antenowych.

Ustawiamy przy każdym pomiarze moc nadajnika na 50W.

Układ pomiarowy natężenia pola wokół anteny – dipol z pasma 80m:



Antena helikana z 2,4 Ghz jako „sonda” pomiarowa.



Talerz jest skierowany na dipol.

Odczyty są na mierniku mocy podający odczyty w dBm. Nie chodzi w tych pomiarach o wartość bezwzględną w dBm, tylko o pomiar różnic przy różnych pomiarach, czyli jak zmienia się wartość natężenia pola elektro-magnetycznego wypromieniowanego przez anteną.

Odniesieniem jest pomiar 50W na częstotliwości której antena ma SWR 1:1 (3,5-3,560 Mhz).

Miernik mocy pokazuje bez sygnału z TX -46dBm z sondy pomiarowej, co nie ma większego znaczenia. Jest to poziom tła odbierany przez naszą „sondę” pomiarową.



Pomiar nr 1. Pomiar mający na celu zweryfikowanie czy mierniki (w TRX i MFJ) pokażą te same wartości mocy na częstotliwości gdzie antena ma SWR 1:1

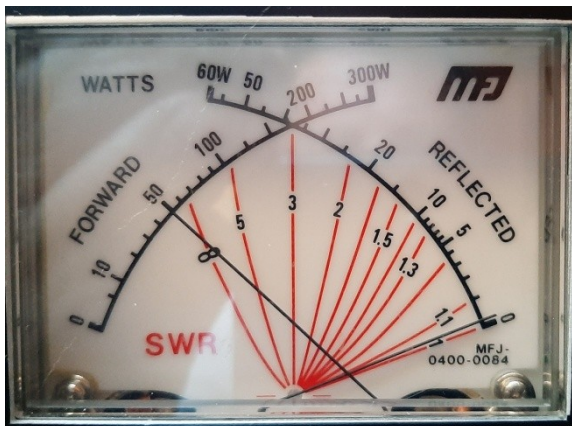
Pomiary dokonuję na antenie dipol symetryczny z 80m, który ma SWR 1:1 na początku pasma, a w okolicy 3,750 ma już SWR na poziomie 1:3.

Układ antenowy (antena) ma niski SWR, co możemy sprawdzić oddzielnym pomiarem.

Odczyt na mierniku w TRX - niski SWR, moc wyjściowa 50W. Odczyt na dodatkowym mierniku mocy na wejściu do linii zasilającej moc padające 50W, moc odbita pomijalnie mała (tak samo niski SWR). Moc padająca minus moc odbita możemy przyjąć 50W. Tu jest wszystko ok – nie ma problemu z taką sytuacją. Takie odczyty są możliwe tylko w punkcie rezonansu anteny i to nie zawsze!.



Ustawiona moc 50W w nadajniku.



Dodatkowy miernik pokazuje także moc padającą 50 W i odbitą pomijalnie małą. Można powiedzieć, że prawie cała moc 50W dochodzi do zacisków anteny i jest wypromieniowana (minus straty omowe w antenie).



Miernik pomiaru mocy wypromieniowanej pokazuje – 25dBm (to będzie nasz pomiar odniesienia).

Pomiar nr 2. Układ antenowy - antena na innej częstotliwości gdzie jest duży SWR ~1:3-1:4 !

W TRX zrobiliśmy "zestrojenie" ATU tak by nadajnik widział dopasowanie do wejścia linii zasilającej. Nadajnik pracuje nadal z mocą 50W i nadajnik widzi SWR ok 1:1,...

Tu zwracam uwagę, nakreślenie „nadajnik widzi dopasowanie do linii zasilającej” – dzięki użyciu ATU. To nie jest tak jednoznacznie opisywane w publikacjach w tym temacie.

Na dodatkowym mierniku za ATU z przed linią zasilającą widzimy duży SWR związany z dużą falą odbitą - bo odbija się od drugiej strony linii zasilającej czyli od zacisków anteny (w uproszczeniu). Co teraz pokazuje miernik na wejściu do kabla?... Moc padająca 70W !!! odbita 25W.

Miernik widzi odbicie od ATU i sumę mocy fali padającej z falą odbitą (niezaprzeczalnie).

To potwierdza tezę Waltera o odbiciach że fale te dodają się.

Jaka jest zatem strata mocy, liczymy: moc padająca minus moc odbita (z naszej drugiej tezy niejako przeczącej pierwszej) 70W - 25 W = 45W, czyli faktyczna strata mocy wynosi 50W (moc z TX) - 45W (różnica mocy padającej i odbitej) = 5W.... wynika z tego że strata to nie 25W (cała fala odbita), a tylko 5W.

Jest to strata (najprawdopodobniej) na odbiciu od skrzynki antenowej (moc strat która wydzieli się na elementach ATU lub być może nawet zostanie wydzielona na elementach PA?)...

Do tych strat dodadzą się tylko stratności wynikające z jakości kabla antenowego, czyli liczone tak jakby było pełne dopasowanie i dodatkowe niewielkie dodatkowe straty wynikające z przepływu fali odbitej w kablu (co było wcześniej opisane).

To wyliczenie pokazuje nam, że jakoby zarówno twierdzenie Waltera jest poprawne oraz drugie twierdzenie (zaprzeczenie - że strata to moc padającą minus odbita) też jest poprawne!.

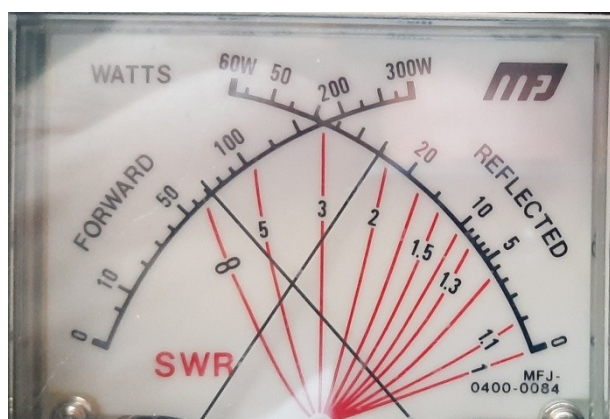
Wydaje się jakoby te tezy nie były sprzeczne. Tyle tylko, że jako moc padającą nie możemy przyjmować w tym przypadku jako moc wyjściową nadajnika 50W, a moc jaka jest faktycznie mierzona 70W i to jest kluczem do rozważań tego problemu.... czy tak jest faktycznie?

Czyli dylemat polega na tym, że nie od mocy wyjściowej nadajnika odejmuje się moc odbitą tylko od sumy mocy (padającej i odbitej).

Natomiast powszechnie mówi się że fala odbita w całości jest stratą.



ATU zestrojone na 1:1 (bez ATU jest ok. 1:3). Miernik w TRX pokazuje, że nadajnik oddaje moc 50W.



Miernik na wejściu linii antenowej (czyli za ATU) pokazuje 70 W mocy padającej i 25W mocy odbitej. Różnica tych moc to 45W czyli antena powinna emitować moc 45W przy mocy z nadajnika 50W.



Miernik natężenia pola pokazuje -25,6 dBm – czyli widzi dokładnie tylko tą stratę ok. 5W (plus dodatkowe w kablu). To nadal potwierdza tezę Waltera.

Pomiar nr 3. Przypadek, gdy ATU jest wyłączone, wyjście nadajnika (50 ohm) jest podłączone wprost na linię zasilającą, nadajnik „widzi” duży SWR na poziomie ok. 1:3~1:4.

Kolejny pomiar kluczowy. Występuje brak dopasowania widziany przez nadajnik. Nadajnik posiada układ ALC, który ogranicza moc w przypadku dużego SWR. Nadal mamy zadaną moc 50W, że z taką mocą ma pracować TRX. Co obserwujemy na miernikach? Moc nadajnika zostaje ograniczona do ok 30W - co pokazuje zarówno miernik w TRX jak i dodatkowy miernik!!!. Moc odbita jest ok 15W.

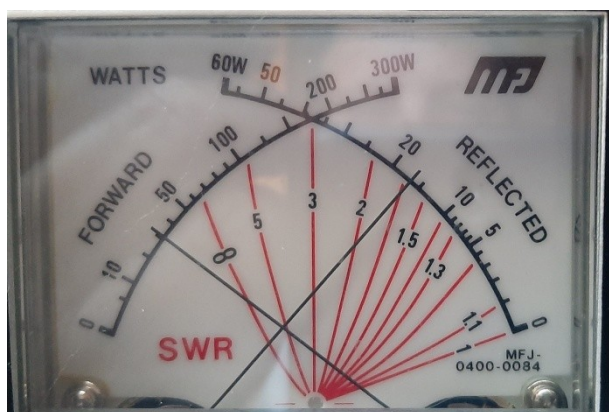
Zatem strata liczona jako moc padająca minus odbita wynosi: $30W - 15W = 15W$.

I ta strata wydzieli się zatem w elementach nadajnika !!!

W tym pomiarze potwierdza się teza druga o liczeniu straty mocy fali odbitej, a nie potwierdza się teza Waltera.



HI-SWR – nadajnik ogranicza moc.



Miernik pokazuje spadek mocy nadajnika i wysoki SWR 1:5 i dużą moc odbitą nie dodającą się do mocy padającej!!!

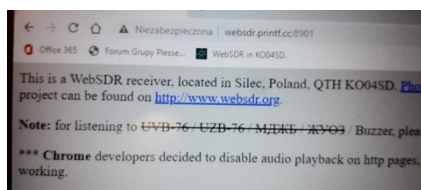


Miernik pola pokazuje spadek mocy promieniowanej o 4,1dB, czyli ponad połowę, co by zgadzało się z wyliczeniem.

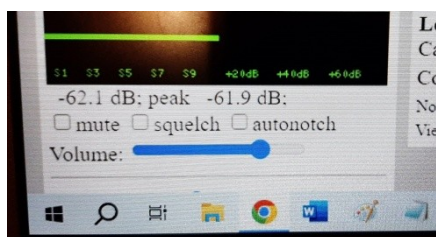
Wskazany SWR w granicach 1:5 może wynikać z błędów pomiaru miernika, innymi czynnikami na to wpływającymi, gdyż pomiary tej anteny innymi metodami wskazują nieco mniejszy SWR na tej częstotliwości.

Test końcowy. Weryfikacja poziomów odbieranych sygnałów przez odległy odbiornik Web-SDR w trzech przypadkach. Sygnał na częstotliwości gdzie antena ma SWR 1:1, praca na częstotliwości gdzie antena ma SWR ~1:3-1;4 z włączonym ATU i z wyłączonym ATU.

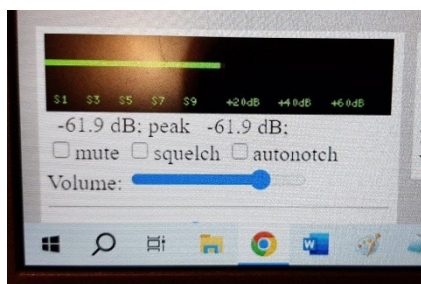
Odbiornik Web-sdr Silec, Polska.



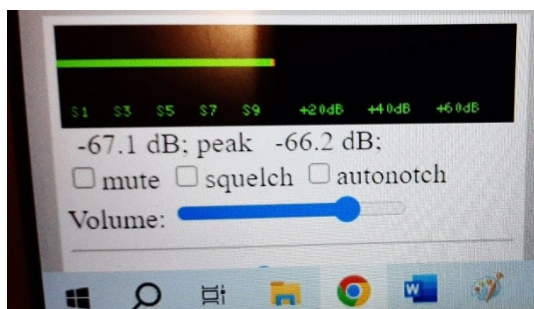
Poziom sygnału na 3,560 MHz (SWR ~1;1) wynosi -61,9 dB.



Poziom sygnału na 3,750 MHz (SWR ~1:3) z włączonym ATU (on) wynosi - 61,9 dB



Poziom sygnału na 3,750 MHz (SWR ~1:3) z wyłączony ATU (off) wynosi – 66,2 dB (4,3 dB mniej, podobnie jak wynosił pomiar spadku natężenia pola wokół anteny w tym przypadku).



Poziom odbieranego sygnału przez odbiornik Web-sdr na częstotliwości gdzie SWR wynosi 1:1 był taki sam jak na częstotliwości gdzie SWR wynosi 1:3 (z użyciem ATU). Bez użycia ATU był niższy.

WNIOSKI:

1. Tezę Waltera można uznać za słuszną, ale tylko w przypadku, gdy używamy ATU pomiędzy nadajnikiem a linią zasilającą przy wysokim SWR. W przypadku gdy nadajnik jest podłączony wprost na niedopasowany układ antenowy moc odbita wydzieli się w PA i nie odbije się do "anten".
2. Możemy przyjąć, że obliczanie starty mocy jako moc padająca minus odbita jest twierdzeniem zawsze słusznym, jednak trzeba dobrze rozumieć co to jest moc fali "padającej" – zsumowane moce fali padającej i odbitej.
3. Nie ma konieczności stosowania ATU na zaciskach anteny, wystarczy przy nadajniku. Niedopasowanie na poziomie nie większym niż 1:3~1:4, mieści się w granicach działania ATU w TRX. Powyżej tej wartości TX zostaje wyłączony w transceiverach. Ze względu na to, że przy użyciu ATU część mocy jest mocą strat wydzielaną w ATU (lub/i nadajniku) transceivery mają ograniczenie pracy z wysokim SWR.
4. Nadajniki ulegają uszkodzeniu w przypadku powrotu mocy odbitej do tranzystorów mocy nadajnika w wyniku wzrostu napięć (przebiecia, przeciążenia tranzystorów).
5. „Skrzynki antenowe” przy antenach zachowują się najczęściej jako elementy anteny, są tak widziane od strony linii zasilającej – mają zatem już inne funkcje niż ATU przy nadajniku.
6. W związku z powyższymi wynikami testów okazuje się, że stosowanie anten typu Bazuka, których celem jest zwiększenie szerokości zakresu pracy anteny z niskim SWR jest bezzasadne.

Niestety nie są poprawnie opisywane tezy Waltera różnych publikacjach. Trzeba podkreślić, że jego tezy są słuszne, gdy stosujemy ATU za nadajnikiem, tak by nadajnik zawsze widział pełne dopasowanie do linii zasilającej (która nie przedstawia sobą 50 ohm w sytuacji gdy układ antenowy ma SWR > 1:1). Odbicie mocy następuje w ATU, a nie na końcu linii zasilającej i nie w nadajniku (to jest mylnie interpretowane).

Dla weryfikacji wskazań miernika natężenia pola sprawdziłem w miejscu gdzie SWR jest 1:1, co pokaże jeśli moc emitowana będzie 100W – pokazał o 3 dB więcej w stosunku do 50W - czyli pomiar się zgadza. Drugi test zmieszenie mocy do 5W – pokazał o 10dBmniej w stosunku do 50W – czyli pomiar też się zgadza. Przy pomiarze mocy +/-3dB oznacza zmianę mocy x2, +/-10dB to zmiana x 10.