

T2FD

Tilted Terminated Folded Dipole



Anteny z falą bieżącą

Anteny z falą bieżącą to osobna klasa anten, do której zaliczamy anteny Beveridge, anteny rombowe, anteny typu T2FD i inne. Są to anteny szerokopasmowe mogące umożliwić pracę na wielu albo nawet na wszystkich zakresach częstotliwości. W warunkach wielkomiejskich krótkofalowiec może powiesić często tylko jedną antenę i może to być antena z falą bieżącą.

Antena T2FD jest jedną z najpopularniejszych anten wśród krótkofalarskiej braci. Poniżej przedstawiono opis tej anteny, teorię jej pracy, warunki konieczne do efektywnego jej wykorzystania oraz praktyczne porady wykonania i strojenia tej anteny. Pozwoli to radioamatorowi skonstruować antenę T2FD ze świadomością jej realnych możliwości.

Dla tych co nie mają miejsca na rozwieszenie anteny T2FD istnieją konstrukcje anteny Beveridge (specjalnie opracowane) przeznaczone do ograniczonych warunków miejskich.

Istnieją także anteny podziemne (*Anteny Beveridge i anteny podziemne nie są jednak przedmiotem niniejszego tłumaczenia i te fragmenty tekstu zostały pominięte – przyp. tłum.*).

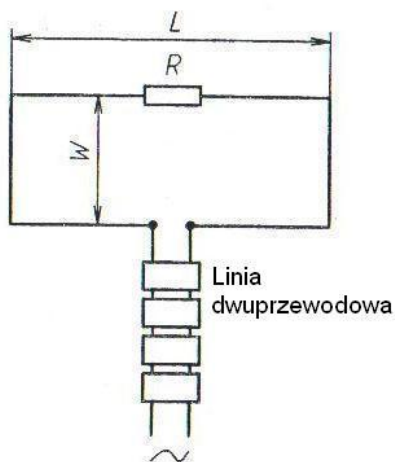
1. Antena z falą bieżącą T2FD

Przy braku miejsca w warunkach miejskich trudno o zrobienie „pola antenowego”, gdzie każda antena będzie pracowała w wybranym przez nas zakresie fal. Dlatego pośród radioamatorów popularne są szerokopasmowe anteny z falą bieżącą. Nie potrzebują dużo miejsca, a jedna antena umożliwia pracę na wielu zakresach amatorskich częstotliwości.

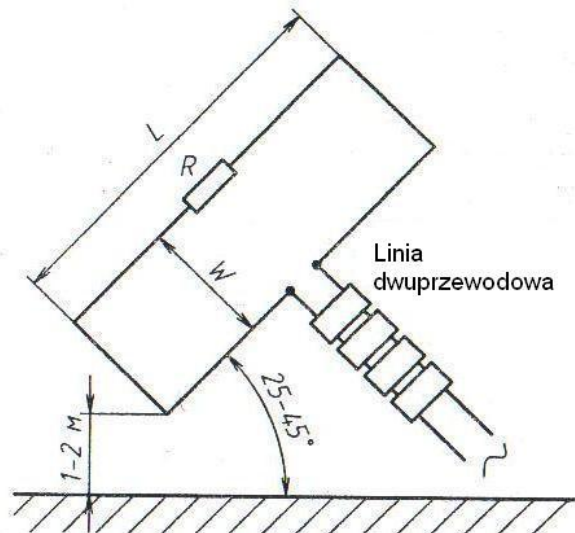
1.1 Szerokopasmowy obciążony wibrator (dipol pętlowy)

Taki dipol został opracowany w latach trzydziestych ubiegłego stulecia. Na rys.1 pokazana jest konstrukcja klasycznego obciążonego dipola pętlowego. Taka antena była wykorzystywana do zabezpieczenia łączności w centrach łączności w czasie drugiej wojny światowej. Była też wykorzystywana na okrętach wojennych.

Dla zmniejszenia miejsca antena była rozwieszana pod kątem około 30 stopni do ziemi czy pokładu okrętu. Taka odmiana znana jest pod nazwą „zamkniętego pochylonego wibratora pętlowego” lub krócej TTFD (Tilted Terminated Folded Dipole). Zwyczajowo nazywamy je T2FD. I pod taką nazwą znana jest europejskim krótkofalowcom. Na rys.2 widać klasyczne rozwieszenie anteny T2FD.



rys.1 Klasyczny szerokopasmowy obciążony dipol



rys.2 Klasyczna antena T2FD

Umieszczenie anteny pod kątem ma wyższość nad rozwieszeniem horyzontalnym (poziowym). Po pierwsze – zajmuje mniej miejsca, a po drugie – przy promieniowaniu anteny pojawia się istotna składowa fali elektromagnetycznej, mająca pionową polaryzację. Spowodowało to, że na całym świecie taki montaż T2FD – pod kątem – stał się popularniejszy w porównaniu z montażem horyzontalnym tej anteny.

Po zakończeniu drugiej wojny radioamatorzy przystąpili do eksperymentów z antenami. Antena T2FD także nie mogła ująć uwadze pasjonatów łączności radiowej. W literaturze krótkofalarskiej po raz pierwszy była opisana w USA przez W3HH w 1949 roku [1]. Od tamtej pory pojawiło się wiele publikacji dotyczącej tej anteny w wielu czasopismach na całym świecie. W USA znana jest pod nazwą „anteny W3HH” dzięki tym samym W3HH za wkład pracy w rozpropagowanie tej konstrukcji wśród krótkofalowców. Spróbujmy teraz omówić podstawowe właściwości anteny T2FD.

1.2 Wymiary anteny T2FD

Rozmiary anteny T2FD, pokazane na rys.2, można opisać takimi wzorami :

$$L = 100/F$$

$$W = 3/F$$

gdzie :

L – długość anteny w metrach

F – najniższa częstotliwość pracy anteny w MHz

W – odstęp pomiędzy ramionami anteny w metrach

Są to wzory opracowane na podstawie wielu eksperymentów z tą anteną. Antena wykonana przy ich użyciu będzie poprawnie pracowała w pięciokrotnym interwale częstotliwości. Dla przykładu obliczmy antenę T2FD dla pasma 20 metrów :

$$L = 100/14 = 7,14 \text{ m}$$

$$W = 3/14 = 0,21 \text{ m}$$

I tak, długość anteny wynosi 7,14 metra, a odstęp pomiędzy wibratorami (ramionami) 21 cm. Antena będzie poprawnie pracowała w zakresie częstotliwości od 14 MHz do 70 MHz ($14 \cdot 5 = 70$). To wcale nie znaczy, że antena nie będzie pracowała poniżej 14 MHz i powyżej 70 MHz. Poniżej 14 MHz będzie pracowała, tylko z gorszą efektywnością, a wykres promieniowania zbliży się do kulistego. Powyżej 70 MHz efektywność nie będzie znacząco spadała ale możliwy jest większy SWR na niektórych wycinkach częstotliwości. Wykres promieniowania anteny przedstawia sobą bardzo skomplikowaną i nieokreślona figurę.

Antena T2FD jest nieskomplikowana w swojej budowie. Dzięki swojej dużej szerokopasmowości, rozmiary anteny mogą się różnić od tych obliczonych według wzorów. Szerokość anteny może być mniejsza o 30% i większa o 40 % od obliczonej. Podobnie z długością. O 10% może być krótsza i do 40% dłuższa od obliczonej. Pozwala to na znaczne uproszczenia jeżeli chodzi o dokładność wykonania tej anteny.

W **Tab.1** pokazane są dane do wykonania T2FD do pracy na pasmach amatorskich, które wynikają z przedstawionych wcześniej wzorów. Antena w pełni jest zdatna do pracy na częstotliwościach wyższych od obliczonych. Przykładowo antena obliczona dla zakresu 1,9 ... 9,5 MHz, będzie przyzwoicie pracowała w zakresie 9,5 ... 30 MHz.

Tab.1

Zakres roboczych częstotliwości [MHz]	Długość L [m]	Odstęp W [m]
1,9 ... 9,5	52,63	1,57
3,5 ... 17,5	28,57	0,85
7,0 ... 35	14,28	0,43
10 ... 50	10	0,3
14 ... 70	7,14	0,21
18 ... 90	5,5	0,16
21 ... 105	4,76	0,14
25 ... 125	4	0,12
26 ... 130	3,84	0,11
28 ... 140	3,56	0,1
50 ... 250	2	0,06

1.3 Wzmocnienie anteny T2FD

Wzmocnienie anteny można określić według poniższej formuły :

Wzmocnienie anteny – jest to odniesienie gęstości strumienia mocy, wytwarzanej (formowanej) przez daną antenę w odległej przestrzeni w danym kierunku do gęstości strumienia mocy wytworzonej przez idealną izotropową antenę przy założeniu, że moc doprowadzona do obu anten jest jednakowa.

Czasami w miejsce anteny izotropowej wprowadza się inną, dipol czy ćwierćfalowy pionowy wibrator, umieszczony w znanych warunkach.

Jak z tego widać trudno jest dostatecznie dokładnie określić wzmocnienie anteny T2FD. Wynika to z tego, że jej wykres promieniowania jest silnie „poszatkowany” i nie można z całą pewnością określić, gdzie jest główny, a gdzie boczny listek promieniowania. Doświadczenie krótkofalowców mówi, że na niższych częstotliwościach antena ma wzmocnienie sygnałów odbieranych (lub nadawanych) o 5 ... 7dB słabiej w odniesieniu do dipola półfalowego. Mówiąc inaczej : wzmocnienie tej anteny jest minus 5 ... 7dB. Na wyższych częstotliwościach pracy anteny jej wzmocnienie, dające się określić poprzez dużo bardziej zaawansowane metody obliczeniowe, może wynosić od -3 ...-1 dB w odniesieniu do półfalowego dipola. Tak więc właściwszym byłoby mówić nie o wzmocnieniu, ale o „osłabieniu” (tłumieniu) sygnału przez tę antenę.

Ale wiele innych konstrukcji antenowych będących namiastkami anten, a wykorzystywanych przez krótkofalowców ma jeszcze gorsze wzmocnienie (czy też jeszcze większe „osłabienie”). Tak więc antena T2FD na ich tle nie wygląda wcale tak kiepsko.

1.4 Opór wejściowy i obciążenie anteny T2FD

Przez długi czas można było przeczytać, że opór obciążenia anteny T2FD powinien być równy oporowi falowemu fidera zasilającego tę antenę. Jednak praktyka pokazuje, że optymalny opór obciążenia powinno być trochę większy niż opór falowy linii zasilającej. W **Tab.2** pokazane są oporności wejściowe anteny, pokazanej na rys.2, w zależności od oporności jej obciążenia [2].

Tab.2

Impedancja linii zasilającej antenę [Ω]	Optymalna oporność obciążenia anteny [Ω]	Współczynnik transformacji dla fidera $Z=50\Omega$	Współczynnik transformacji dla fidera $Z=75\Omega$
600	650	12 : 1	8 : 1
450	500	9 : 1	6 : 1
300	390	6 : 1	4 : 1

W literaturze krótkofalarskiej nie zaleca się wykorzystywać anteny T2FD mającej oporność wejściową równą 300 omów. Obliczono, że T2FD najlepiej pracuje z opornością wejściową równą 600 omów.

Do dawno ustalonych zasad pracy anteny T2FD nowe dane wniósł L.B.Cebik. W jego pracy [3] został wyznaczony, z pomocą oprogramowania dla anten KF, SWR dla T2FD o oporności obciążenia 390Ω zasilanej fiderem o oporności falowej 300Ω . Okazało się, że dla niektórych fragmentów pasm SWR takiej anteny był bardzo niekorzystny i wynosił 9:1 ! W związku z tym okazało się zrozumiałe dlaczego nie należy zasilać anteny z rezystorem obciążającym o oporności 390 omów kablem o oporności falowej 300 omów. W pracy [3] została określona optymalna oporność obciążenia anteny i oporność falowa fidera dla anteny T2FD z wykorzystaniem podanych wcześniej wzorów. Z obliczeń wynika, że najlepsza oporność rezystora obciążającego wynosi 850 omów, a impedancja dwuprzewodowej linii zasilającej powinna mieć 900 omów. Taka antena w przedziale roboczych częstotliwości zapewnia SWR nie większy niż 2:1.

W praktycznej realizacji takiej anteny mamy do czynienia z zasadniczą trudnością pozyskania linii zasilającej o impedancji 900 omów. Z obliczeń wynika, że stosunek średnicy przewodu z jakiego zrobiony byłby ten fider (dla izolacji powietrznej) do odległości pomiędzy liniami wyniósłby powyżej 1000 ! Nietrudno zauważyć, że praktyczne wykonanie takiej linii jest bardzo kłopotliwe. Gdybyśmy dla jej wykonania zastosowali dielektryk, to jego rozmiary byłyby ogromne.

W krótkofalarskiej praktyce najczęściej mamy do czynienia z dwuprzewodową linią zasilającą o impedancji 300 lub 450 omów. Dlatego też radioamatorzy konstruują takie właśnie anteny.

1.5 Rezystor obciążający antenę T2FD

Nie cała moc w.cz doprowadzona do anteny jest zamieniana na fale radiowe. Pewna jej część absorbowana jest przez rezystor obciążający i zamieniana bezpowrotnie na ciepło. W wielu publikacjach poświęconych antenie T2FD zawarta jest informacja, że dla niezawodnej pracy tej anteny koniecznym jest, aby moc tracona na oporności obciążenia wynosiła nie mniej niż 30% mocy doprowadzonej do anteny. Rezystor obciążający powinien być bezindukcyjny.

Chcąc wykonać takie obciążenie należy dobierać rezystory z tej samej serii produkcyjnej (tj. kupować na przykład obsadzone na tej samej taśmie). Oporniki powinny być wysoko omowe o odpowiedniej mocy (2W ... 5W) łączone szeregowo i równoległe do uzyskania wymaganej oporności obciążenia. Należy też zadbać żeby moc wypadkowa obciążenia była odpowiednia do mocy rozproszenia. Przykładowo jeżeli planujemy, że na obciążeniu tracona będzie moc 50 W to musimy zastosować 25 rezystorów o mocy 2W. Wiele współczesnych oporników potrafi przez krótki czas bez problemu znieść obciążenie 2 ... 3 razy większe od mocy nominalnej. Jednak nie należy nadużywać tej własności bowiem wymiana rezystorów w obciążeniu T2FD nastrocza wiele problemów związanych z demontażem anteny. Zgodnie z prawem Marfiego antena psuje się kiedy jest propagacja i nam na niej zależy albo jest wyjątkowo podła pogoda do prac antenowych. Dlatego lepiej od razu zastosować obciążenie o większej mocy albo nie przekraczać mocy doprowadzanej do anteny i tym samym nie zwiększać mocy traconej na obciążeniu.

Równoległe łączenie elementarnych oporników, z których składa się obciążenie, jest lepsze od szeregowego. Każdy opornik ma swoją indukcyjność. Przy szeregowym łączeniu może ona stanowić istotną wielkość. Przy równoległym łączeniu – odwrotnie. Co prawda rośnie wypadkowa pojemność obciążenia (ok. 2pF) co z kolei przy połączeniu szeregowym ma znaczenie marginalne.

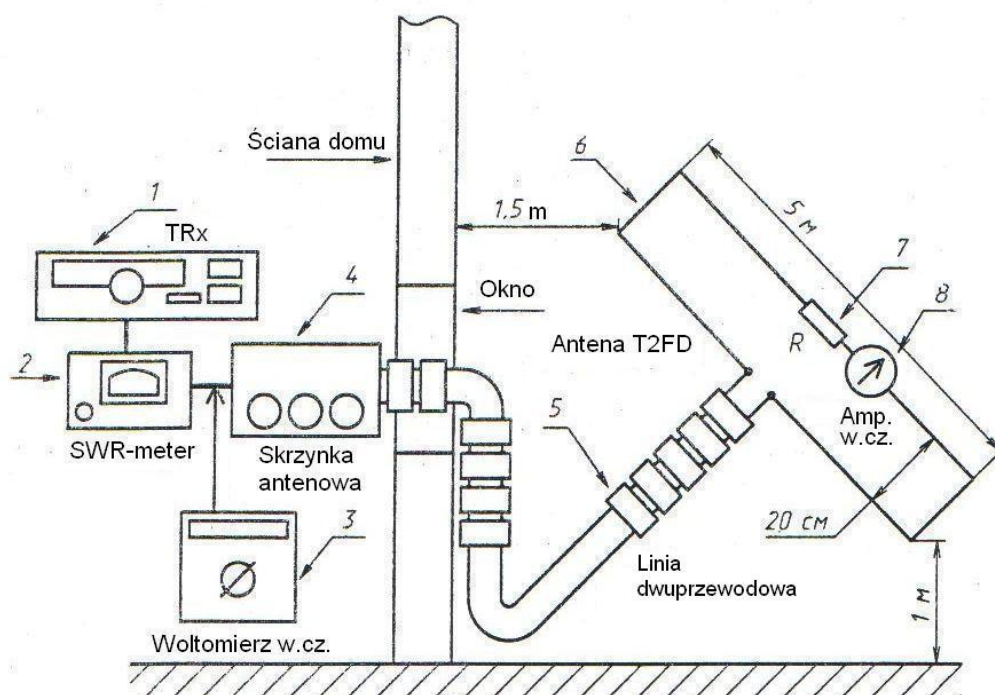
Kolejnym argumentem przemawiającym za równoległym łączeniem jest większa niezawodność w działaniu takiego obciążenia. Przy szeregowym połączeniu, uszkodzenie jednego opornika powoduje awarię całego obciążenia. Przy uszkodzeniu jednego z rezystorów w układzie połączeń równoległych zmieni się wypadkowa oporność obciążenia, ale dalsza praca jest możliwa. Podobnie w trakcie burzy, kiedy w antenę trafi piorun i możliwe jest uszkodzenie rezystorów wchodzących w skład obciążenia anteny. Połączenie szeregowe oporników obciążenia możliwe jest tylko w skrajnym przypadku.

1.6 Moc tracona w obciążeniu

W poprzednim paragrafie pokazano, że moc tracona w obciążeniu anteny T2FD stanowi 30% mocy doprowadzonej do anteny. Jednak, nie do końca jest to prawdą. W swojej pracy [3] I.Cebik dokładnie określił moc traconą w obciążeniu w antenie T2FD. Okazało się, że w trakcie pracy anteny na niższych częstotliwościach moc tracona w obciążeniu może dochodzić nawet do 90% mocy doprowadzonej! Wychodząc z tego założenia, pierwsza jedna trzecia obliczonego zakresu pracy anteny T2FD (**Tab.1**) jest zupełnie nieefektywna – większa część mocy nadajnika nagrzewa rezystory w obciążeniu. Podobnie nieefektywna jest praca tej anteny w czasie odbioru – większa część energii odbiorczej jest rozpraszana w obciążeniu (jest to dokładnie wytłumaczone w lit.[3]).

Ja także zauważyłem ten fakt, że antena T2FD w swoim początkowym zakresie często w trakcie odbioru jest „cicha”. Często też musiałem „podkręcać” wzmocnienie toru odbiorczego TRX-a.

Dane pokazane w [3], a zwłaszcza poziom mocy traconej w obciążeniu, bardzo mnie zaskoczyły. Postanowiłem sprawdzić doświadczalnie, jaka naprawdę część mocy jest tracona w obciążeniu tej anteny. Do tego celu użyłem eksperymentalnej anteny T2FD o długości pięciu metrów. Sposób jej umocowania pokazano na rysunku poniżej.

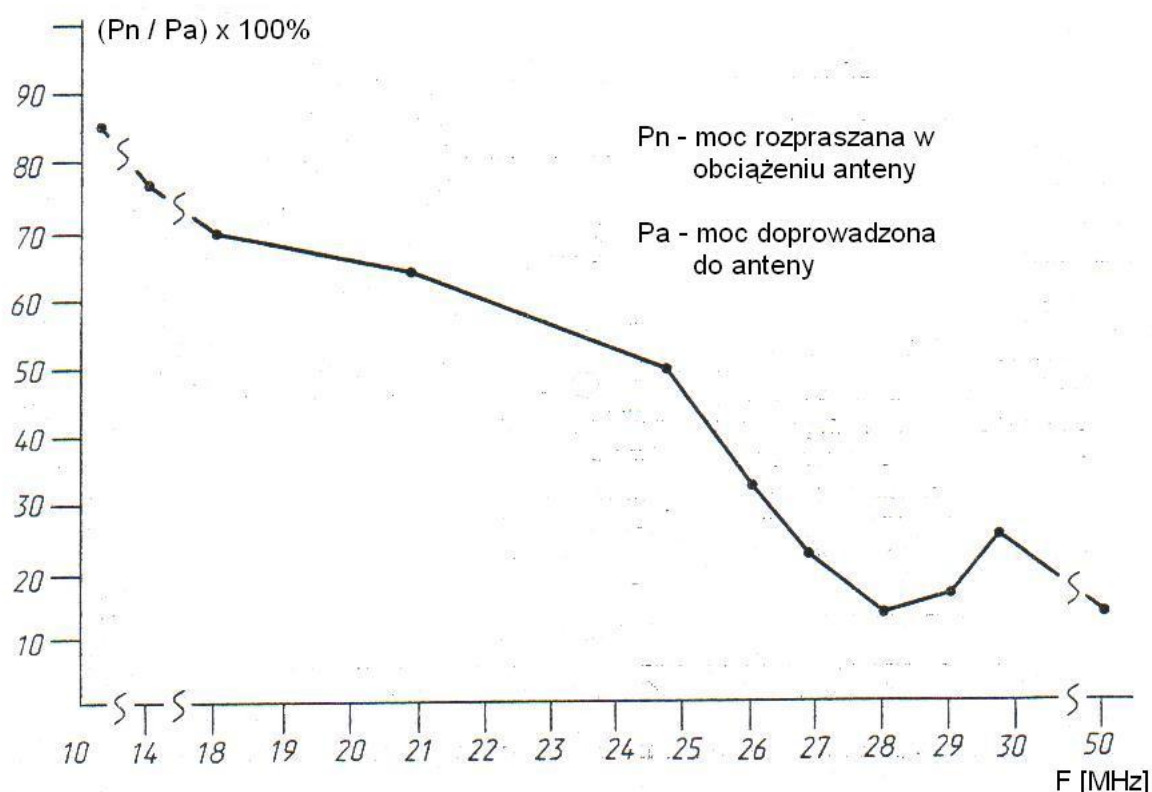


rys.3 Ustawienie eksperymentalnej anteny T2FD

Do zasilania anteny wykorzystano nadajnik (1), który przez SWR (2) był podłączony do urządzenia dopasowującego (4). Przy eksperymentach z anteną osiągnięto SWR bliski 1:1 pomiędzy nadajnikiem a dopasowaniem anteny. Na wejściu dopasowania włączony był woltomierz w.cz. (3), dzięki któremu można było określić napięcie na wejściu tego dopasowania. Znając napięcie można było określić moc doprowadzoną. Jako urządzenia dopasowujące wykorzystałem „samoróbki” opisane w [4] s.194.

Przed próbami wyznaczyłem praktycznie KPD (?) w całym zakresie częstotliwości roboczych mojego dopasowania. Na jego wyjściu podłączona była standardowa linia dwuprzewodowa o impedancji 450 omów, która bezpośrednio zasilala antenę (6). Wymiary anteny są pokazane na rys. 8.3. Szeregowo z obciążeniem (7) anteny włączony był amperomierz w.cz. (8). Pozwalał na obserwację wielkości prądu płynącego przez obciążenie. Obciążenie i amperomierz (jego skala) były tak usytuowane, bym mógł je widzieć z okna. Amperomierz też był „samoróbką” opisaną w [4] s.77. Mojej konstrukcji było także obciążenie. Składało się z czterech równolegle połączonych oporników ($R=2k$ i mocy 2 W każdy). Wpadkowa rezystancja wynosiła równo $R=500 \Omega$.

Po przeprowadzeniu prób sporządziłem grafik, na którym przedstawiona jest zależność mocy rozproszonej w obciążeniu w funkcji częstotliwości pracy nadajnika – rys.4. Był on sporządzony z uwzględnieniem współczynnika tłumienia urządzenia dopasowującego. Nie uwzględniono natomiast, tłumienia linii zasilającej, która dla tych częstotliwości ma niewielką wartość. Oczywiście są jeszcze inne czynniki, zwiększające uchyby moich pomiarów – oczywiście niewielkie ☺



rys.4 Wykres mocy traconej (rozpraszanej) w obciążeniu anteny

Antena T2FD o długości pięciu metrów jest obliczona do pracy na częstotliwościach poniżej 20 MHz. Jak widać na wykresie, na częstotliwości 21 MHz w obciążeniu rozpraszanych jest 65% mocy doprowadzonej do anteny. Nie należy oczekiwać wysokiej efektywności od anteny przy takich poziomach strat. Zaczynając od 27 MHz wysokość strat w obciążeniu nie przekracza 25% mocy doprowadzonej. Tak więc, aby poziom mocy traconej nie przewyższał 25%, jej długość powinna stanowić nie jedną trzecią najmniejszej długości fali, a jedną drugą. I dalej, długość anteny T2FD z minimalnymi stratami w obciążeniu powinna być określona wg. następujących wzorów :

$$L = 150/F$$

$$W = 3/F$$

gdzie :

L – długość anteny [m]

F – najniższa częstotliwość pracy anteny [MHz]

W – odstęp pomiędzy przewodnikami anteny [m]

Wymiary anteny T2FD obliczone wg tych formuł pokazane są w tabeli poniżej. W obciążeniu anteny, wykonanej zgodnie z tymi wymiarami, będzie tracone nie więcej niż 25% mocy doprowadzonej.

Częstotliwość pracy [MHz]	Długość L [m]	Szerokość (odstęp) W [m]
1,9 ... 9,5	79	1,57
3,5 ... 17,5	43	0,85
7,0 ... 35	21,4	0,43
10 ... 50	15	0,3
14 ... 70	10,7	0,21
18 ... 90	8,3	0,16
21 ... 105	7,14	0,14
25 ... 125	6	0,12
26 ... 130	5,76	0,11
28 ... 140	5,35	0,1
50 ... 250	3	0,06

Wymiary anteny T2FD z niskim poziomem strat w obciążeniu

1.7 Zasilanie anteny T2FD

Do zasilania anteny T2FD optymalne jest użycie dwuprzewodowej linii o odpowiedniej impedancji (**Tab.2**). W takim przypadku należy pomiędzy nadajnikiem a anteną użyć dopasowania. To może być jeden z tych układów opisanych w literaturze [4].

W dzisiejszych czasach jednak bardziej popularny jest kabel koncentryczny niż linia dwuprzewodowa. On także może być wykorzystany do zasilania tej anteny. Wówczas jako urządzenie dopasowujące

można wykorzystać szerokopasmowy transformator. W **Tab.2** pokazane są wielkości współczynnika transformacji dla kabla koncentrycznego o impedancji 50Ω i 75Ω dla anten T2FD o różnej oporności wewnętrznej.

Szerokopasmowy transformator ma następujące wymagania. Po pierwsze, powinien wytrzymać pracę na wyższych częstotliwościach z dużą mocą doprowadzoną do anteny. Po drugie, transformator powinien zapewniać pracę w zakresie częstotliwości roboczych anteny. Możliwe jest wykorzystanie transformatorów wykonanych samodzielnie, konstrukcja których wielokrotnie była przedstawiana w krótkofalarskiej literaturze, jak i transformatorów komercyjnych. Podejdźmy poważnie do konstruowania dopasowania samodzielnie, przeznaczonego do zasilania T2FD. Ta antena ma dużą składowa bierną. W zależności od częstotliwości roboczej anteny składowa bierna może mieć zarówno charakter pojemnościowy jak i indukcyjny. Nie każde samodzielnie wykonane dopasowanie poradzi sobie z takim obciążeniem.

Chcę przytoczyć swoje doświadczenie z pracy z tymi antenami. Do swojej pierwszej anteny T2FD wykorzystałem dopasowanie od anteny Beveridge, mającej długość 80 metrów umieszczonej na wysokości 1,5 metra od ziemi. Ten szerokopasmowy transformator o współczynniku transformacji 6:1 wykorzystywał do zasilania anteny kabel koncentryczny o impedancji 75 omów. Sam Beveridge obciążony był rezystorem 400 omów. Dla tej konfiguracji SWR nie przewyższał 2,5:1 przy pracy anteny na zakresach pomiędzy 160 a 10 metrami. Przy wykorzystaniu tego dopasowania w T2FD, obliczonego do pracy w paśmie od 40 do 10 metrów, SWR w niektórych fragmentach pasma amatorskiego wynosił nawet 5:1. Transformator przy pracy anteny T2FD w trakcie nadawania silnie się nagrzewał czego nigdy nie doświadczyłem w pracy z anteną Beveridge. Tylko dokładny dobór pierścienia ferrytowego do dopasowania i eksperymenty z doborem uzwojenia pozwoliły zniżyć SWR do poziomu 2,5:1.

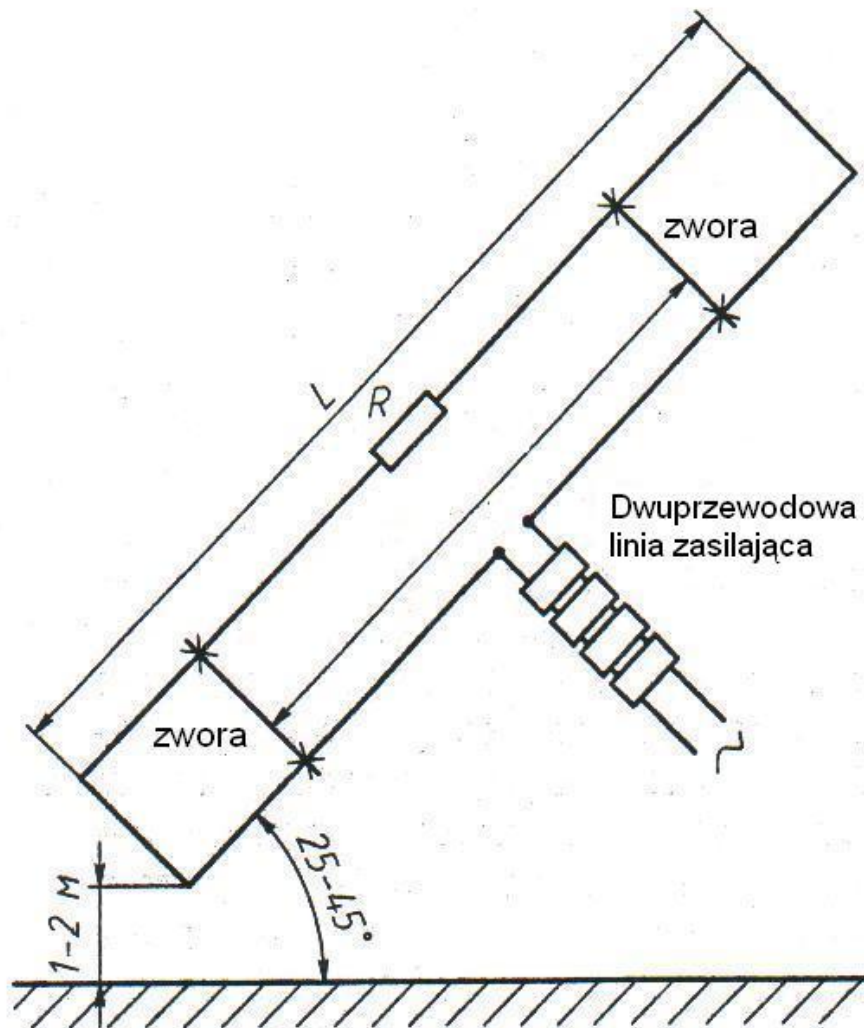
Przy wykorzystaniu do zasilania anteny T2FD dwuprzewodowej linii, problemy z dopasowaniem anteny z nadajnikiem przy użyciu urządzenia dopasowującego jest zdecydowanie prostsze. Dlatego do zasilania tego typu anteny - polecam je. Zastosowanie szerokopasmowego transformatora można rozpatrywać jako wariant kompromisowy zasilania T2FD. Należy zwrócić uwagę, że zastosowanie szerokopasmowego transformatora o współczynniku transformacji 18:1, przeznaczonego do zasilania T2FD (obliczonego wg lit. [3]) przy użyciu kabla koncentrycznego o impedancji 50 omów, jest bardzo trudnym zadaniem... .

1.8 Strojenie anteny T2FD

Strojenie anteny T2FD składa się z następujących kroków. W całym zakresie roboczym anteny należy mierzyć SWR w kablu koncentrycznym przez szerokopasmowy podwyższający transformator. Przy zasilaniu anteny przewodem symetrycznym poprzez dopasowanie należy dążyć do optymalnej pracy tego dopasowania. Każdy krótkofalowiec wykorzystujący konkretne dopasowanie może o nim powiedzieć : dopasowuje lub nie dopasowuje konkretne obciążenie.

W trakcie strojenia anteny dokładamy lub ujmujemy rezystory wchodzące w skład obciążenia. Kryterium dostrojenia anteny będzie minimalny SWR na pasmach amatorskich. Poza nimi SWR może być wysoki. W trakcie strojenia, żeby obniżyć SWR we właściwą stronę, można antenę skracać

stosując symetryczne zwory , jak pokazano na rys.5. Zwory powinny być umieszczane symetrycznie od końców anteny. Ten warunek nie jest jednak bezwzględny. Jeżeli dostępny jest tylko jeden koniec anteny to zworki można umieszczać tylko na tym końcu. Ważne jest to żeby ta zwora spowodowała obniżenie współczynnika SWR na części pasma wykorzystywanego przez radioamatorów.

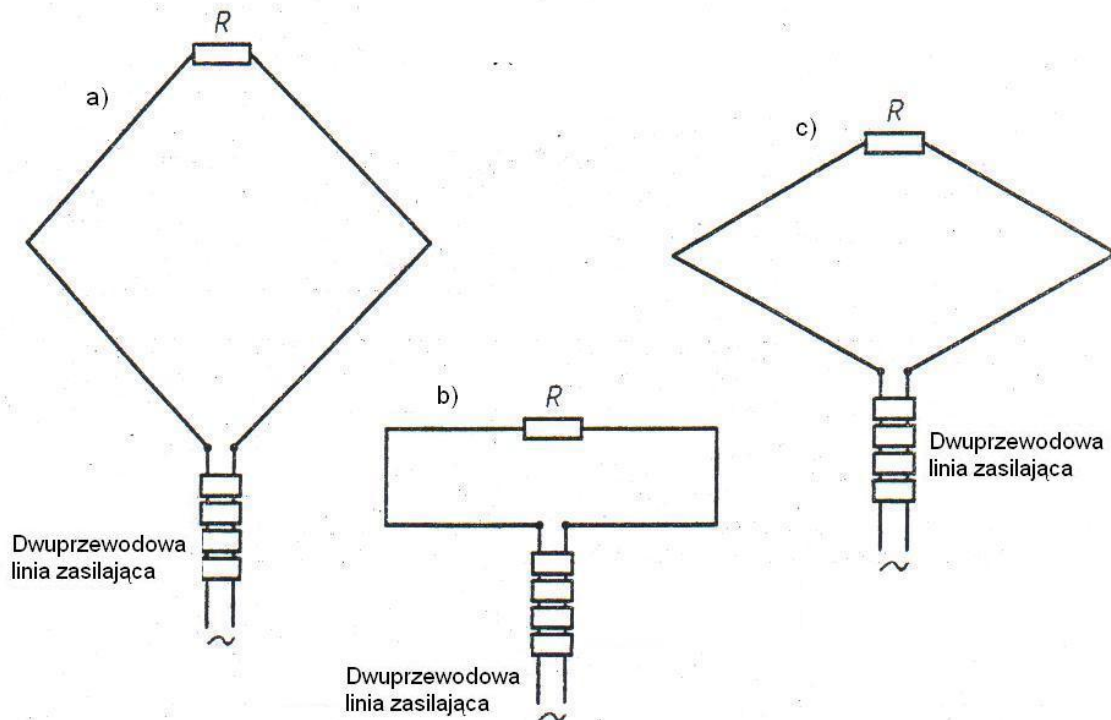


rys. 5 Umieszczenie zworek

1.9 Teoretyczne podstawy pracy anteny T2FD

Powyżej został przedstawiony obszerny materiał dotyczący praktycznych aspektów pracy anteny T2FD. Opierając się na nim spróbujmy przedstawić teoretyczne zasady pracy tej anteny. Praktyka będzie dobrym potwierdzeniem teorii.

Tak więc co przedstawia sobą antena T2FD od strony teoretycznej? Czasami te anteny nazywane są „namiastką anteny rombowej”. I rzeczywiście tak jest. Jeżeli stopniowo będziemy ścisnąć antenę rombową (rys.6a) to po chwili otrzymamy antenę T2FD (rys.6b i rys.6c).



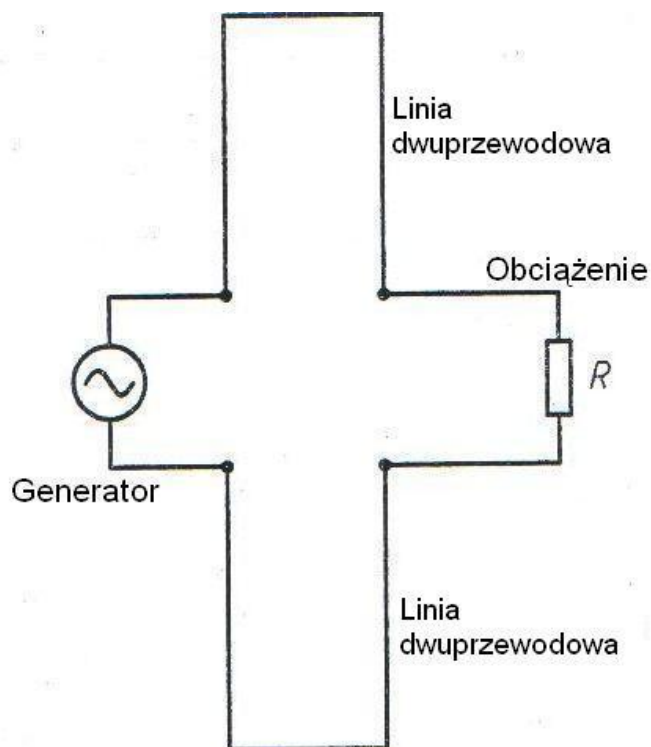
rys.6 Przejście od anteny rombowej do anteny T2FD

Jednak praca anteny T2FD różni się od pracy anteny rombowej. Antena rombowa rozwieszona w przestrzeni promieniuje efektywnie. Maksymalne promieniowanie tej anteny jest od największej jej szerokości. Wobec znacznej wartości promieniowania energii elektromagnetycznej przez ramiona anteny rombowej, SWR w linii zasilającej antenę jest bliski 1:1. Rzeczywiście, ta część energii w.cz., która nie jest wypromieniowana przez antenę jest absorbowana przez rezystancję obciążenia R. Nawet jeżeli jakaś część niewypromieniowanej energii i nie zaabsorbowanej przez obciążenie R, odbijając się od niego, przechodząc w kierunku linii zasilającej przez antenę, jest w znacznej części wypromieniowana. W rezultacie otrzymamy wzmocnienie tylnych i bocznych listków w charakterystyce promieniowania anteny.

Z pracy anteny rombowej wiadomo, że im wyższa częstotliwość doprowadzona do wejścia anteny, tym silniejsze promieniowanie anteny. W ogólnym przypadku im niższy poziom tylnego listka tym SWR w linii zasilającej jest bliższy wartości 1:1. Rzeczywiście, im dłuższą drogę przejdzie prąd w.cz. wzdłuż ramion anteny, tym większe będzie promieniowanie od tego ramienia. Przy przechodzeniu fali

odbitej od obciążenia do linii zasilającej większa część energii w.cz. będzie wypromieniowana i nigdy nie osiągnie punktów zasilania anteny.

Praca anteny T2FD zasadniczo różni się od pracy anten rombów. Sposób pracy T2FD zależy od tego czy jej przewody są skręcone. Rozpatrzmy klasyczną antenę T2FD, która pokazana jest na rys.2. Od klasycznej anteny T2FD można przejść do schematu zastępczego tej anteny. Ramiona T2FD przedstawiają sobą zamknięte na końcach odcinki linii dwuprzewodowej. Impedancja falowa takiej linii zależy od odległości pomiędzy jej ramionami. Zatem, na schemacie zastępczym antenę T2FD można przedstawić dwoma zamkniętymi odcinkami dwuprzewodowej linii i podłączoną do niej opornością obciążenia. Schemat zastępczy takiej anteny pokazano na rys.7.

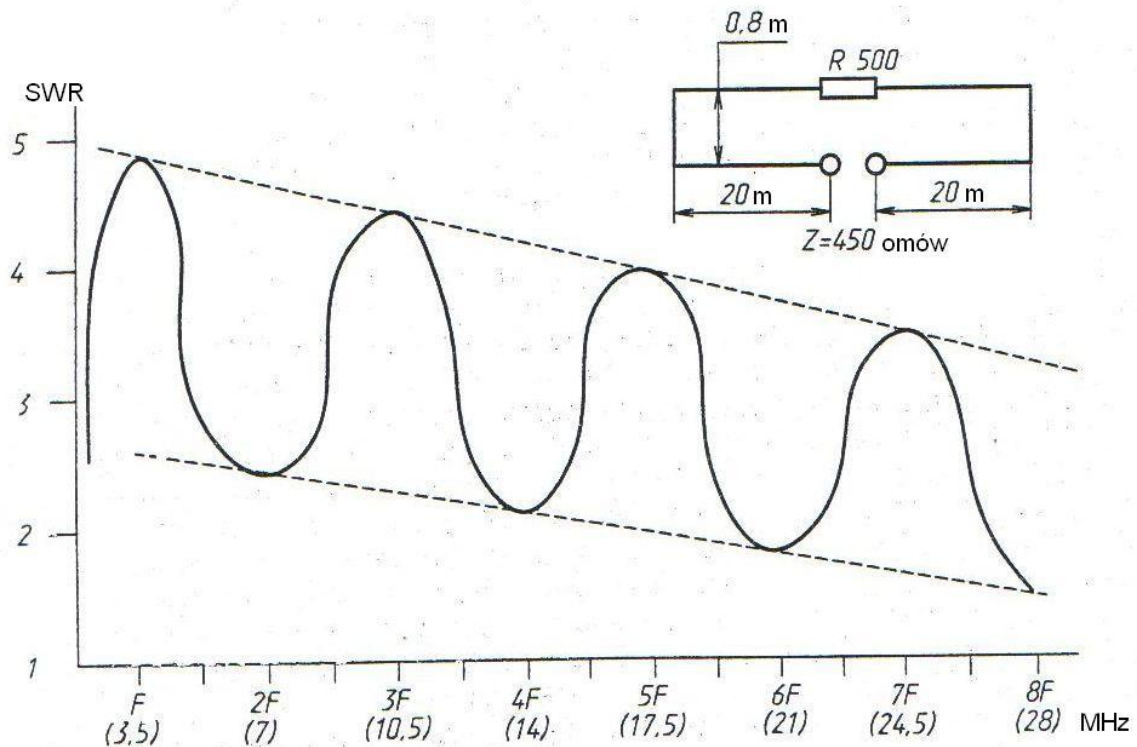


rys.7 Schemat zastępczy anteny T2FD

Z teorii dwuprzewodowych linii przesyłowych wiemy, że zamknięta na końcu, posiada duży opór jeżeli układa się w niej nieparzysta liczba ćwiartek fali. I odwrotnie, zwarta na końcu ćwierćfalowa linia posiada bardzo małą impedancję, praktycznie równą oporności strat tej linii, jeżeli na jej długości układa się całkowita liczba półfal. Tak więc przy zmianie częstotliwości, kiedy układają się nieparzyste liczby ćwiartek fali, linia zwarta będzie odłączać obciążenie, a na częstotliwościach gdzie układa się całkowita liczba półfal - podłączać.

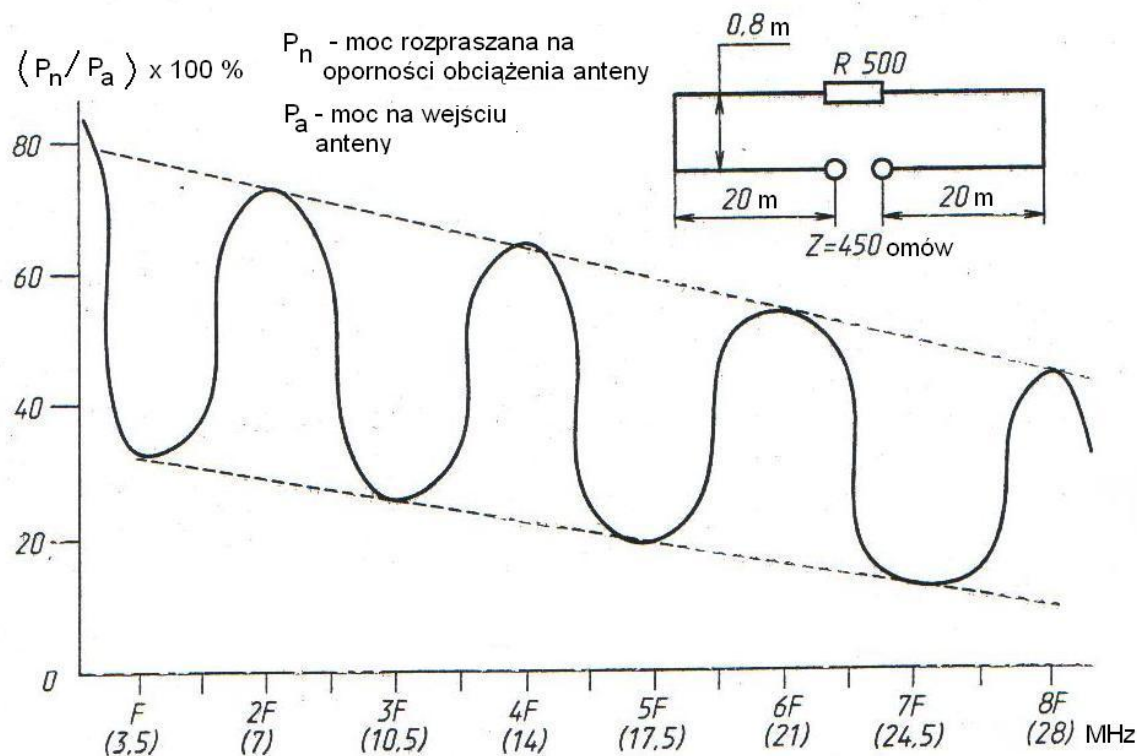
Wychodząc z tego założenia, możemy sporządzić teoretyczny wykres anteny T2FD. Jest pokazany na rys.8. Składa się z minimum i maksimum. Pierwsze maksimum SWR będzie na częstotliwości F , równej pierwszej częstotliwości rezonansowej ćwierćfalowego rezonatora. Dalej ze zmianą F będzie

następował minimum SWR, gdzie zwarta linia dwuprzewodowa będąca ekwiwalentem półfalowego wtórnika i maksima SWR, gdzie zwarta linia zachowuje się jak ćwierćfalowy izolator.



rys.8 Wykres SWR anteny T2FD

Im większe promieniowanie linii, tym mniejsza będzie różnica pomiędzy minimami a maksymami współczynnika SWR. Oczywiście, im wyższa częstotliwość pracy anteny, tym większe będzie promieniowanie dwuprzewodowej linii, z której zbudowana jest. Zatem ze wzrostem częstotliwości nadajnika zmniejsza się stosunek pomiędzy minimum SWR a jego maksimum, anteny T2FD. Jasnym jest także, że maksymalna moc absorbowana przez obciążenie będzie przy małym SWR w antenie. I odwrotnie – mała moc będzie absorbowana przez obciążenie przy dużych współczynnikach SWR. Na częstotliwościach, gdzie długość rezonatora jest poniżej pierwszego ćwierćfalowego rezonansu zwartej linii, promieniowanie tej linii, w ogólnym przypadku, jest niewielkie a w obciążeniu tracona jest duża moc. Teoretyczny wykres mocy rozproszonej w obciążeniu anteny T2FD pokazany jest na rys.9.



rys.9 Wykres mocy rozpraszanej w obciążeniu anteny T2FD

Rozpatrzmy teraz wpływ odległości pomiędzy przewodami anteny na jej pracę. Tak więc, im większa odległość pomiędzy „górną” i „dolną” częścią anteny T2FD tym większe jest jej promieniowanie. Zatem, mniejsza wartość SWR w jego maksimach, mniejszy stosunek pomiędzy maksimum a minimum SWR-a. Na rys.10 przedstawione są wykresy SWR dla mniejszej i większej odległości pomiędzy przewodnikami („ramionami”) T2FD.

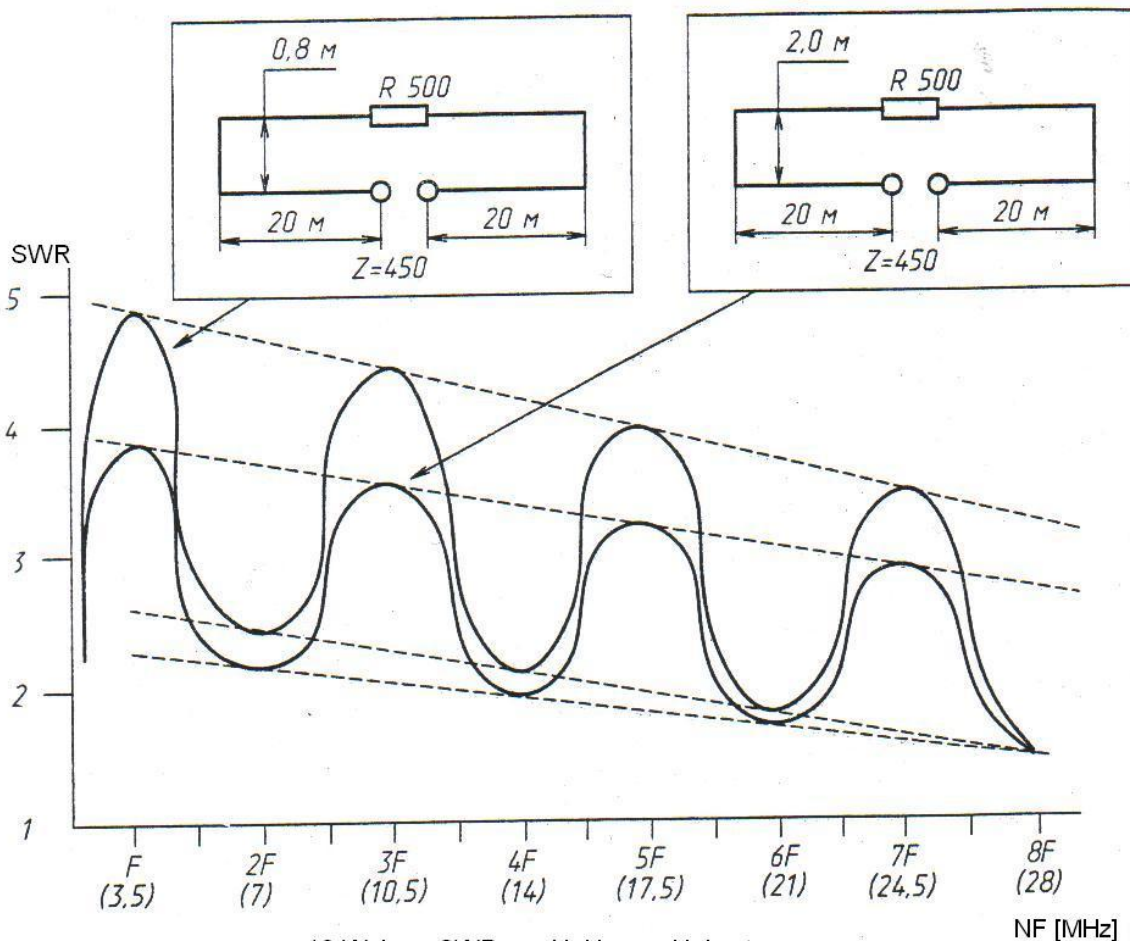
Ciekawe, czy teoretyczne podstawy pracy tej anteny potwierdza praktyka? Jeżeli popatrzymy na wykres rzeczywistego SWR tej anteny to widzimy jej maksima i minima. Odległość pomiędzy nimi odpowiada częstotliwości pierwszego rezonansu ramion anteny. Przeanalizowałem dziesiątki wykresów SWR przedstawianych przez „firmowych” konstruktorów anteny T2FD. I rzeczywiście, potwierdzały one przedstawioną powyżej analizę pracy tej anteny.

Jakie więc są wnioski zmierzające do zwiększenia efektywności pracy anteny T2FD?

Pierwszy jest taki, że koniecznie, wszystkimi sposobami, należy dążyć do zwiększenia promieniowania ramion anteny. W tym celu trzeba zwiększać rozstaw pomiędzy przewodami anteny („górną” i jej „dołem”) oraz długość samej anteny.

Długość anteny należy tak dobierać żeby minimum SWR-a było w miejscach występowania amatorskich częstotliwości. Powinna być nie mniejsza niż $\lambda/2$. Przy mniejszej długości anteny rośnie wielkość mocy rozpraszanej w obciążeniu i zmniejsza się promieniowanie anteny.

Doborem wielkości oporności obciążenia T2FD można osiągnąć dalsze zmniejszenie SWR.



rys.10 Wykres SWR wąskiej i szerokiej anteny

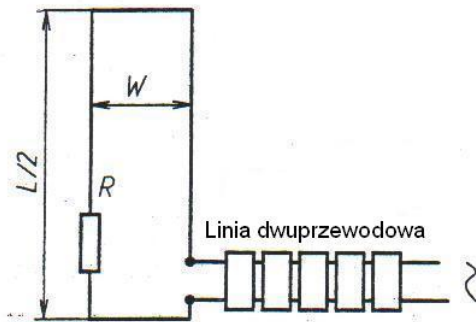
Do wykonania T2FD należy wykorzystywać gruby przewód. Im jest on grubszy – tym większa jest efektywność pracy anteny.

1.10 Niesymetryczna antena T2FD

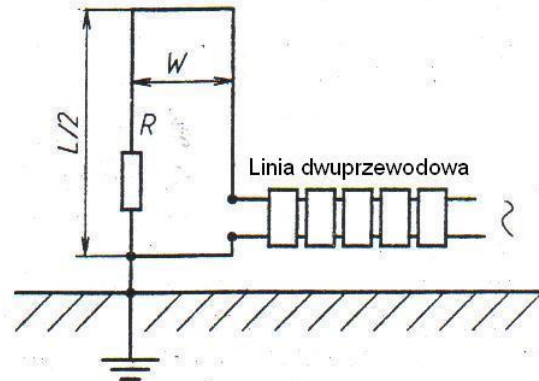
W warunkach miejskich często nie ma miejsca do powieszenia pełnowymiarowej anteny T2FD. W takim przypadku można rozważyć wykorzystanie jej niesymetrycznego wariantu, dwukrotnie krótszego. Konstrukcja takiej anteny jest pokazana na rys.11. Zakres częstotliwości roboczych jest w zasadzie taki sam jak anteny pełnowymiarowej. SWR jest nawet lepszy. Niestety efektywność pracy jest gorsza o nawet 4dB od klasycznej T2FD. Tak więc z tej anteny należy korzystać w sytuacjach „bez wyjścia”.

Ta antena nie potrzebuje „radiowej ziemi” w trakcie pracy. Istnienie przewodzącej ziemi pod anteną ma mały wpływ na jej dopasowanie do dwuprzewodowej linii. Są to niewątpliwe zalety anteny umożliwiające rozwieszenie jej praktycznie w każdych warunkach miejskich – nad betonowym dachem czy przy ceglanej ścianie. Obecność dobrej, przewodzącej powierzchni pod anteną powoduje, zgodnie z obliczeniami, odbicie fal radiowych co powoduje zwiększenie jej efektywności. Z ostrożnością należy podchodzić do niesymetrycznych anten z falą bieżącą zasilanych tak jak na rys.12.

, tj. z bezpośrednim połączeniem z ziemią w pobliżu obciążenia R. Takie rozwiązania można czasami spotkać w literaturze krótkofalarskiej. Przy odpowiednim wykonaniu mogą zapewnić wysoką efektywność pracy, tak jak antena nie uziemiona.

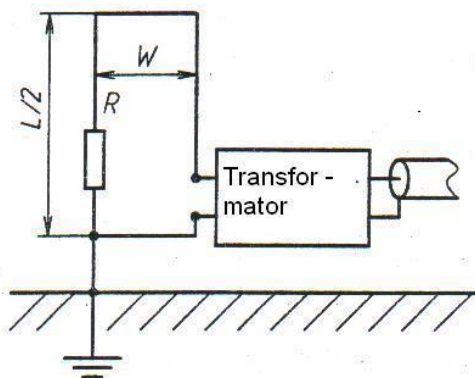


rys.11 Antena niesymetryczna z falą bieżącą

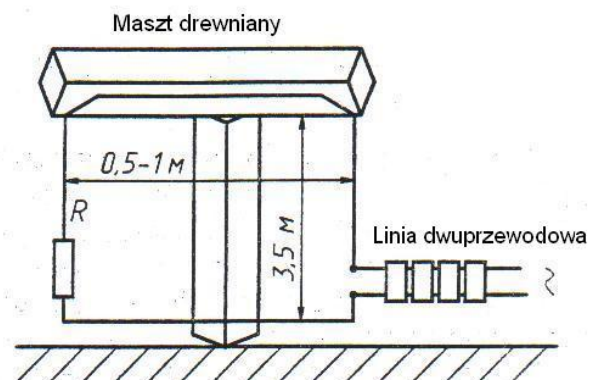


rys.12 Antena niesymetryczna z falą bieżącą i uziemionym obciążeniem

Jednakże, przy pracy takich anten mogą wystąpić problemy w ich dopasowaniu. Rośnie ilość zakłóceń RTV. Lepszym wariantem zasilania uziemionej anteny jest użycie przewodu koncentrycznego z szerokopasmowym transformatorem na wyjściu tak jak na rys.13. Transformator powinien znajdować się bezpośrednio przy antenie. Moje doświadczenie, dotyczące wykorzystania anten niesymetrycznych z uziemionym obciążeniem, nie pozwala mi na rekomendację tych anten i ich powielanie przez radioamatorów.



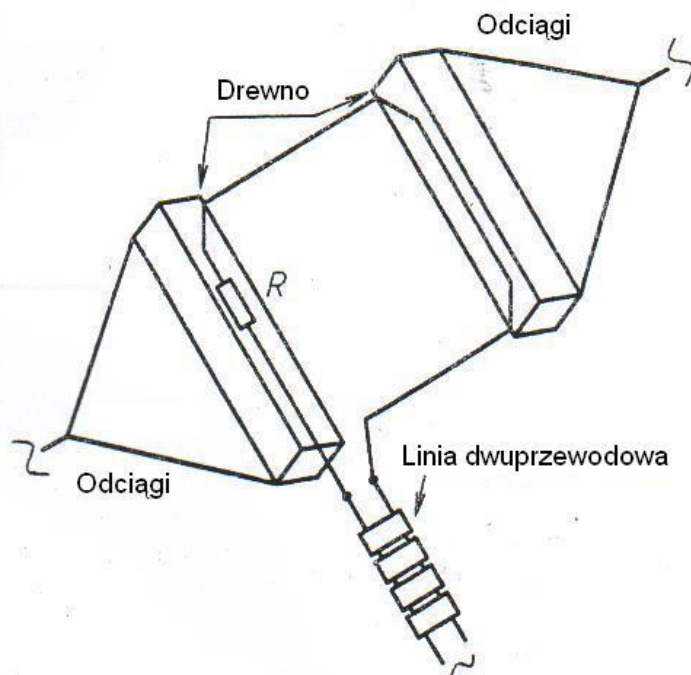
rys.13 Zasilanie anteny niesymetrycznej z falą bieżącą



rys.14 Antena na drewnianym maszcie

Podczas prac konstrukcyjnych z niesymetryczną pionową anteną z falą bieżącą w warunkach amatorskich może być zrobiona z rurek o średnicy 10 ... 40 mm. Wariant zastępczy takiej anteny to wykorzystanie przewodu miedzianego o średnicy 1 ... 4 mm. Taką anteną można zawiesić na

drewnianym maszcie – rys.14. Antena może być rozpostarta pomiędzy odpowiednimi podporami, tak jak na rys.15.



rys.15 Zawieszenie anteny w wolnej przestrzeni

Widziałem takie anteny (niesymetryczne, pionowe z falą bieżącą) mocowane na wojskowych samochodach łączności. Pętla, o rozmiarach 350 x 50 cm, wykonana z aluminiowej rurki o średnicy 40 mm, leżała na dachu samochodu. W trakcie pracy była podnoszona. Jako obciążenie wykorzystane było obciążenie zdolne rozproszyć moc 1 kW. Antena zasilana była przez automatyczną skrzynkę antenową. Choć ta antena przeznaczona była do łączności na małe odległości, to można było nią pracować w sieci nadajników odległych od siebie od 500 km do 1000 km.

LITERATURA :

1. Countryman G.L. An Experimental All-Band Nondirectional Transmitting Antenna, QST, June 1949. P. 54-55
2. Rothammels ANTENNENBUCH (edited by Alois Krischke), 11 Edition. Franckh-Kosmos, Verlag – GmbH@Co., Stuttgart, 1995.
3. Cebik L.B. Modeling the T2FD : Antennas : Tales and Technicals // CD Version 1.0, Produced by antenneX.
4. Grigorow I.N. Strojenie i dopasowanie. – M.: IP RadioSoft, 2002. – 272 s. ISBN 5-93037-087-7.

Źródło : I. N. Grigorow Anteny, konstrukcje miejskie , Rozdział 2, s 103 do 117, wyd. Moskwa, RadioSoft 2003,

Tłumaczenie : SP1VDV

sp1vdv@wp.pl