

Transformatory impedancji na bazie rdzeni ferrytowych stosowane do dopasowania anten

Transformator „na ferrycie” jest rzeczą samą w sobie – dobrą i to w całej technice w.cz. poza, niestety, antenami. Jeżeli interesuje Was moje zdanie (inaczej po co byście czytali te słowa ?), to ferrytowe transformatory nie powinny być wykorzystywane do dopasowania anten przy mocy powyżej 100...200W. Przy mocy poniżej 100...200W lepiej też ich nie stosować, jeżeli SWR anteny (poza obecnością reaktancji jX_a w oporze wejściowym) przewyższa 3. Nie jest to absolutnie zakazane – przy dobrej jakości rdzeniach i ich dużych rozmiarach, te progi są jeszcze wyższe.

Nie mam zamiaru rozpatrywać konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych transformatorów ferrytowych. To zostało zrobione w innym rozdziale tej książki, co polecam gorąco tym, których ten temat interesuje (*Inny rozdział „tej książki” to tak naprawdę inna książka. Jest ich w sumie 5 tomów. - przyp. tłum.*)

W tym paragrafie zajmiemy się tylko szczególnym przypadkiem zastosowania transformatorów ferrytowych użytych do dopasowania anten. W tym celu przyjdzie nam zorientować się jak pracują te urządzenia.

Ferrytowe transformatory można podzielić na trzy podstawowe rodzaje :

1. Transformator Szerokopasmowy [TS] – jest to zwyczajny transformator (lub autotransformator). Duża część energii od jednego uzwojenia do drugiego przechodzi przez pole magnetyczne rdzenia (przez ferryt). Jeżeli rdzeń może pracować na danej częstotliwości, a jego rozmiar pozwala, bez wchodzenia w obszar nasycenia, sprostać wymaganiom mocy biernej, to wszystko w porządku. Można otrzymać pożądany współczynnik transformacji impedancji (jako stosunek kwadratu liczby zwoi w uzwojeniach) Wymagane są dobre ferryty w.cz. o dużych rozmiarach.
2. Transformator Szerokopasmowy Na Liniach Długich [TSNLD] – są to transformatory, których uzwojenie wykonane jest z długich linii przesyłowych. Nazywane są także transformatorami z elektromagnetycznym sprzężeniem (w odróżnieniu od TS, gdzie połączenie jest czysto magnetyczne). Ideę tych transformatorów najprościej wytłumaczyć będzie posługując się przykładem transformacji impedancji w stosunku 1:4. Weźmy dwa dostatecznie długie odcinki przewodu koncentrycznego o impedancji falowej równej 100Ω . Początki obydwu połączmy równolegle, a ich końce – szeregowo. Oczywiście jest , że jeżeli kabel jest dopasowany z obu stron, to na początku otrzymamy oporność $Z_{we} = Z_0/2 = 100\Omega/2 = 50\Omega$, a na końcach $Z_{wy} = 2*Z_0 = 2 * 100\Omega = 200\Omega$. Otrzymaliśmy transformację impedancji $Z_{wy}/Z_{we} = 4$. Od góry pasmo takiego transformatora jest ograniczone tylko jakością i stopniem dopasowania linii. A od dołu – ich długością (poniżej pewnej minimalnej długości odcinka linii nie będą pracowały jak linie długie). A dosadnie – pasmo częstotliwości „w dół” jest też potrzebne. W celu poszerzenia pasma w TSNLD, nawija się te przewody na ferrytowe rdzenie. Robi się to w taki sposób , żeby nasz układ połączeń linii (celem spełnienia warunku powyżej) na niskich częstotliwościach przedstawiał autotransformator z wymaganym współczynnikiem transformacji. W naszym przykładzie jest to prosty autotransformator wykonany na dwóch obwodach (uzwojeniach), z odczepem pośrodku. W zakresie niższych częstotliwości pracy TSNLD pracuje jak zwykły transformator magnetyczny, z przekazywaniem energii poprzez ferrytowy rdzeń. Wraz ze wzrostem częstotliwości duża część energii przekazywana jest bezpośrednio przez pole elektromagnetyczne linii długich (*Jest to wyjaśnione w innym rozdziale tego tomu, który został też przetłumaczony – przyp. tłum.*). W zakresie wyższych częstotliwości pracy rdzeń w przekazywaniu tej energii nie bierze udziału – cała energia jest „przepompowywana” tylko w liniach.

W rezultacie otrzymujemy nadzwyczaj szerokie pasmo TSNLD – dochodzące do dziesięciu oktaw. Wymagania co do częstotliwości ferrytowego rdzenia są znacznie niższe niż w transformatorze TS – w tym przypadku ferryt pracuje tylko w zakresie niższych częstotliwości roboczego pasma. Z samej zasady pracy współczynnik transformacji TSNLD nie może być dowolny - jest określony i zależy od konstrukcji transformatora.

W tabelicy poniżej przedstawione są parametry TSNLD, wykorzystywanych w technice antenowej.

Współczynnik transformacji	Rwej	Rwyj	Konstrukcja
1 : 2,25	2Z _o /3	3Z _o /2	Trzy linie. Na wejściu dwie linie szeregowo, trzecia do nich równolegle. Na wyjściu dwie linie równolegle, trzecia z nimi szeregowo
1 : 4	Z _o /2	2Z _o	Dwie linie. Na wejściu połączone równolegle, na wyjściu – szeregowo.
1 : 9	Z _o /3	3Z _o	Trzy linie. Na wejściu połączone równolegle, na wyjściu – szeregowo

Z tych danych wynika, że oporność falowa **Z_o** linii, z której wykonane jest uzwojenie TSNLD, także nie może być dowolna – jest ściśle określona **Rwej** i **Rwyj**. Znalezienie gotowej linii z określoną impedancją **Z_o** często jest niemożliwe. Dlatego też musimy je wykonywać sami w postaci linii dwuprzewodowej. W celu otrzymania małych impedancji **Z_o** należy je ściśle ze sobą skręcać.

Jeżeli oporność falowa jest inna od wymaganej, to zawsze kończy się to fiaskiem. Linie z obu stron nie będą dopasowane, a co potrafi taka niedopasowana linia opisano w innych paragrafach tej książki. Zastosowanie takiej linii w TSNLD oznacza dodatkowe reaktancje i „zatkanie” charakterystyki amplitudowo - częstotliwościowej transformatora na w.cz.

W tabelicy nie uwzględniono wszystkich rodzajów TSNLD. Jest wiele interesujących rozwiązań, które są opisane w innych źródłach.

3. Transformator Szerokopasmowy Z Rdzeniem Rurkowym [TSZRR] (tzw. „okularnik”) – jest to rodzaj transformatora, który jest pośrednim rozwiązaniem pomiędzy TS a TSNLD. Są to transformatory wykonane przy użyciu rdzeni rurkowych. Takie transformatory są często stosowane w stopniach końcowych wzmacniaczy tranzystorowych nadajników. Do wykonania takiego transformatora potrzebny jest prostopadłościenny rdzeń z dwoma równoległymi otworami – nie łatwo go znaleźć, więc radioamatorzy często wykorzystują robione przez siebie takie rdzenie. W tym celu sklejąją ze sobą kilka ferrytowych pierścieni tworząc tym samym „słupkę - rurkę”, a potem dwa takie „słupki” kładą obok siebie. Jedno z uzwojeń takiego transformatora, zgodnie z zasadą, nawinięte jest w postaci jednego zwoju przechodzącego przez oba otwory rdzenia i powinno być wykonane z rurki. To uzwojenie może być też wykonane z ekranu koncentryka. Drugie uzwojenie to kilka uzwojeń grubszego przewodu (częściej jest to wiele cienkich przewodów połączonych równolegle) wewnątrz rurki pierwszego uzwojenia. W zakresie niskich częstotliwości pasma roboczego zasadnicza część energii przekazywana jest przez pole magnetyczne rdzenia. Wraz ze wzrostem częstotliwości większa część energii przechodzi bezpośrednio przez pole elektromagnetyczne pomiędzy uzwojeniami (przewody w rdzeniu mają z nim silne sprzężenie, zwiększające się wraz ze wzrostem częstotliwości). Wobec powyższego wymagania dotyczące ferrytu w transformatorach TSZRR są małe. Podobnie jak w transformatorach TSNLD.

Pasma robocze transformatora TSZRR jest cokolwiek niższe niż w TSNLD (wszystkie uzwojenia chociaż silnie sprzężone przez pole elektromagnetyczne – to jednak nie jest to dopasowana linia), tym nie mniej jest na tyle szerokie, że z zapasem pokrywa cały KF. Dlatego nie bez przyczyny takie właśnie transformatory są w końcówkach wzmacniaczy KF. Istotną zaletą takich transformatorów jest możliwość uzyskania praktycznie dowolnego stopnia transformacji (jako stosunek kwadratu liczby zwoi w uzwojeniach). W zasadzie nie ma obowiązku wykonywania uzwojenia pierwotnego z rurki i nie musi to być jeden zwój. Dostatecznie silne sprzężenie między uzwojeniami można otrzymać, wykorzystując jako uzwojenia grube, wielożyłowe przewody. Może to być także „samoróbka” w rodzaju dziesiątek cienkich, skręconych ze sobą przewodów lub też ekran koncentryka, ściśle wypełniające otwory rdzenia „okularnika”. Pasma robocze takiego transformatora „od góry” jest troszkę mniejsze niż przy wykonaniu uzwojenia pierwotnego z rurki, ale i tak jest dostatecznie duże. W zasadzie w TS uzwojenie też jest nawijane skręconymi przewodami by zapewnić odpowiednie sprzężenie elektromagnetyczne. Jednak w tym transformatorze jest ono silniejsze, co powoduje lepsze

rezultaty w zakresie wyższych częstotliwości.

Dlaczego więc, nie polecam tych transformatorów jako elementów dopasowujących, wykonanych przy użyciu ferrytowych rdzeni ?

Problemem nie są transformatory tylko anteny. Impedancja wejściowa anteny silnie zależy od częstotliwości i zgodnie z regułą, zawiera składową urojoną jX_a . W antenie rezonansowej jX_a (i odpowiednio **SWR**) szybko rośnie na końcach zakresu pracy anteny. W antenach szerokopasmowych zmiany jX_a i **SWR** też są znaczące – dobrym rezultatem okazuje się **SWR** na poziomie „do 2”. Obecność reaktancji w obciążeniu transformatora ferrytowego doprowadza z konieczności do emisji nie tylko mocy czynnej, ale i biernej. Wobec powyższego składowa bierna w obciążeniu oraz pasożytnicze indukcyjności i pojemności uzwojeń przedstawiają sobą obwód rezonansowy, negatywnie oddziałujący na charakterystykę amplitudowo - częstotliwościową transformatora.

W TS istnienie mocy biernej (będącej uzupełnieniem mocy czynnej) doprowadza do przeciążenia rdzenia. W tym przypadku **Q** (dobroć) może być z grubsza określona stosunkiem X_a/R_a . Przy dużym niedopasowaniu szybko rosnąca moc bierna będzie przewyższała możliwości rdzenia. Będzie on wchodził w obszar nasycenia i zacznie się grzać – będą duże straty czynne. Żeby temu zapobiec należy wybierać rdzenie o **Q** razy większej przenoszonej mocy czynnej.

W TSNLD przeciążenie rdzenia możliwe jest tylko w dolnym zakresie pracy, gdzie moc przekazywana jest przez ferryt. W zakresie większych częstotliwości tylko znikoma jej część jest przesyłana w ten sposób. Jednak linie obciążone reaktancją nie będą dopasowane. Będzie w nich powstawała fala stojąca powodująca zaburzenie transformacji. Dlatego w tego typu transformatorach przy istnieniu choćby niewielkiej reaktancji w obciążeniu charakterystyka amplitudowo - częstotliwościowa na w.cz. „zatyka się”.

W TSZRR w niskoczęstotliwościowej części zakresu roboczego także istnieje niebezpieczeństwo przeciążenia rdzenia mocą bierną. W zakresie wyższych częstotliwości poza obecnością reaktancji w obciążeniu zasadnicze znaczenie ma wzajemne oddziaływanie jX_a z pasożytniczą indukcyjnością uzwojeń transformatora.

Przy wszystkich różnicach pomiędzy tymi transformatorami charakterystyka amplitudowo – częstotliwościowa TSZRR jest lepsza niż TSNLD przy obecności reaktancji w obciążeniu.

Jeżeli jednak w dalszym ciągu chcecie budować i wykorzystywać tego rodzaju dopasowanie to zwróćcie uwagę na :

- a) TS - lepiej w ogóle go nie stosować. Podobny jeżeli chodzi o złożoność TSZRR, ma znacznie lepsze parametry.
- b) TSNLD stosować tylko w antenach z mało zmieniającą się w funkcji częstotliwości impedancją, a najlepiej mającą tylko składową czynną (np. anteny aperiodyczne)
- c) Tak więc najlepszym (możliwym do przyjęcia) wyborem pozostaje TSZRR
- d) Orientacyjnie można powiedzieć, że wielkość rdzenia zależna jest od mocy. W praktycznym zastosowaniu powinna być zwiększona do wartości równej iloczynowi mocy czynnej nadajnika pomnożonej przez SWR anteny (jej maksymalną wielkość).
- e) Straty w transformatorze ferrytowym (prawidłowo wykonanym, bez wchodzenia w obszar nasycenia) rzadko bywają niższe niż 0,2 dB, typowo 0,3 ... 0,7 dB. Jest to prawdziwe dla oporności mniejszej od 250 Ω i częstotliwości poniżej 50 MHz.

Źródło : I.W. Gonczarenko, Anteny KF i UKF – podstawy i praktyka (cz.2), Rozdział 3.5.6, Moskwa 2010

Tłumaczenie : SP1VDV

sp1vdv@wp.pl