

Balun - anatomia nieznanego

„Balun” to jeden z elementów naszych anten, którego cel i funkcja należy do najmniej zrozumiałych. Często czytamy sprzeczne ze sobą opinie na temat anten, które najlepiej działają z balunem, a które bez, poparte mniej lub bardziej pomysłowymi teoriami.

Balun i impedancja

Zdanie: „Ten dipol ma impedancję 50 omów, dlatego nie wymaga balunu”. To zdanie przedstawia jedną z głównych tajemnic związanych z balunem - nie ma związku między impedancją anteny i baluna. Kiedy czytasz „balun 4:1”, musisz czytać: „balun z dołączonym transformatorem impedancyjnym 4:1”.

W rzeczywistości to „transformator impedancji” przekształca impedancję, a nie balun. Qui pro quo wynika z faktu, że możliwe jest budowanie obwodów elektronicznych, które jednocześnie pełnią rolę baluna i transformatora impedancyjnego. Podobnie jak telefon komórkowy z wbudowaną kamerą: ma wiele komponentów, ale są to dwie logicznie odrębne funkcje. Mogę też mieć prosty telefon lub aparat.

Funkcja „transformatora impedancji” jest bardzo widoczna, ponieważ jest wykrywana przez jedyny instrument zwykle stosowany przez entuzjastów radia: SWR-meter.

W rzeczywistości niedostosowana impedancja sprawia, że „prerażająca ręka” SWR dotyka i wywołuje najbardziej ukryte obawy. Natomiast efekty baluna są znacznie bardziej subtelne i mogą nie zostać w pełni użyte, a przez to powodować zakłócenia TVI, małe zakłócenia w mikrofonie lub zmniejszoną wydajność anteny. Wszystkie te połączone fakty doprowadziły do identyfikacji słowa „balun” z obwodem dostosowującym impedancję, niezbędnym tylko wtedy, gdy nie jest to już 50 Ohm.

Balun i kabel koncentryczny

Balun działa na dwa sposoby. Jeden jest związany z nierównowagą anteny (którą omówimy w dalszej części), a drugi jest ściśle związany z naturą naszego ulubionego kabla: kabla koncentrycznego.

Pytanie: Z ilu przewodów jest wykonany kabel koncentryczny?

Z pewnością prawie wszyscy odpowiedzą że dwa: środkowy i ekran. Ta odpowiedź jest poprawna tylko wtedy, gdy przepuścimy prąd stały, mierząc omomierzem, zobaczymy, że przewodniki są w rzeczywistości dwa.

Jeśli jednak przepuścimy prąd przemienny o wysokiej częstotliwości, sytuacja się zmieni. W rzeczywistości pojawia się zjawisko zwane efektem naskórkowości: prąd przemienny nie przepływa przez przewodnik (cały jego przekrój), a jedynie przez cienką warstwę w pobliżu jego powierzchni. Wykorzystana warstwa jest tym cieńsza, im wyższa jest częstotliwość.

Już przy 1MHz powstaje warstwa przewodząca o grubości zaledwie 66 mikronów. Rezultatem tego efektu jest to, że jeśli przepuścimy prąd przemienny w środku rurki miedzianej, nie będziemy mieć śladu tego prądu w.cz. na zewnętrznej powierzchni tej rurki i będziemy w stanie przepuścić drugi prąd przemienny w.cz. po stronie zewnętrznej tej rurki, tak jakby między powierzchnią wewnętrzną i zewnętrzną rurki istniała całkowita izolacja. W kablu koncentrycznym pola elektromagnetyczne, które transportują energię w.cz. powodują, że prądy płyną po **zewnątrznej powierzchni centralnego przewodu** i po **wewnętrznej powierzchni ekranu**.

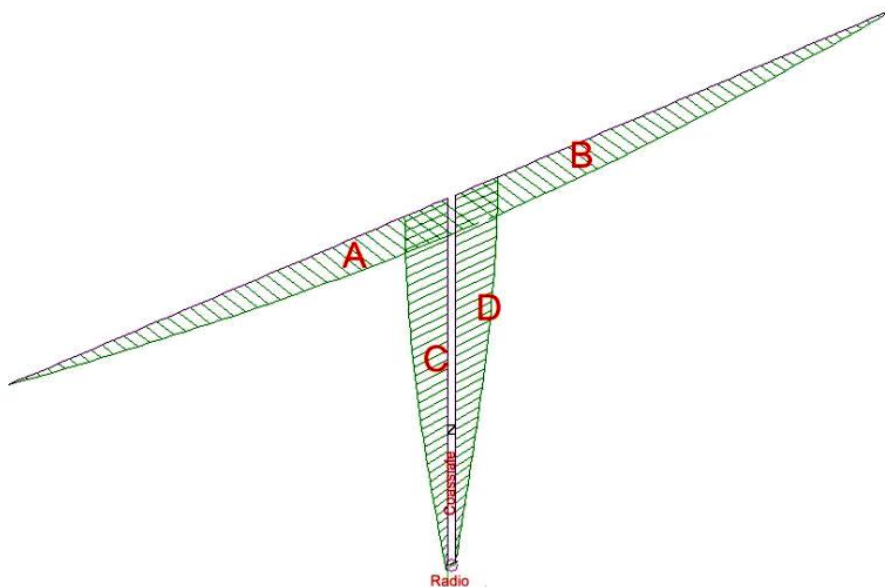
Jeśli więc mówimy o prądach przemiennych o wysokiej częstotliwości, odpowiedź na pytanie „ile przewodów ma kabel koncentryczny?” brzmi TRZY: przewód centralny, wewnętrzna strona ekranu i zewnętrzna strona ekranu!

Promieniowanie

Promieniowanie to zjawisko, w którym prąd przemienny przekształca się w pole elektromagnetyczne, które rozchodzi się w eterze. Promieniowanie występuje, gdy prąd przemienny przepływa przez przewodnik o długości porównywalnej z długością fali danej częstotliwości. Jak więc doprowadzić ten prąd z radia do anteny za pomocą drutu, unikając jego promieniowania? Innymi słowy, dlaczego radio nadaje z anteny, a nie z wielu metrów kabla koncentrycznego? Rozwiązaniem jest konfiguracja (budowa) przewodów w celu utworzenia linii przesyłowej. Linia przesyłowa składa się z dwóch równoległych przewodów, w których płyną identyczne, ale przeciwne prądy. Prąd płynący w pierwszym drucie wytwarza bardzo silne pole elektromagnetyczne; prąd płynący w drugim drucie wytwarza jednak równie silne, ale przeciwne pole elektromagnetyczne. Oba przewodniki będąc bardzo blisko siebie, pola te sumują i znoszą się prawie całkowicie.

W ten sposób energia nie jest przekazywana do otaczającego eteru, ale pozostaje zamknięta w linii i jest „popychana” w górę, w kierunku anteny. Prąd ten nazywany jest prądem różnicowym, ponieważ w każdym punkcie występuje prąd równy i przeciwny do tego, który płynie w punkcie odpowiadającym w sąsiednim przewodzie i nie promieniuje.

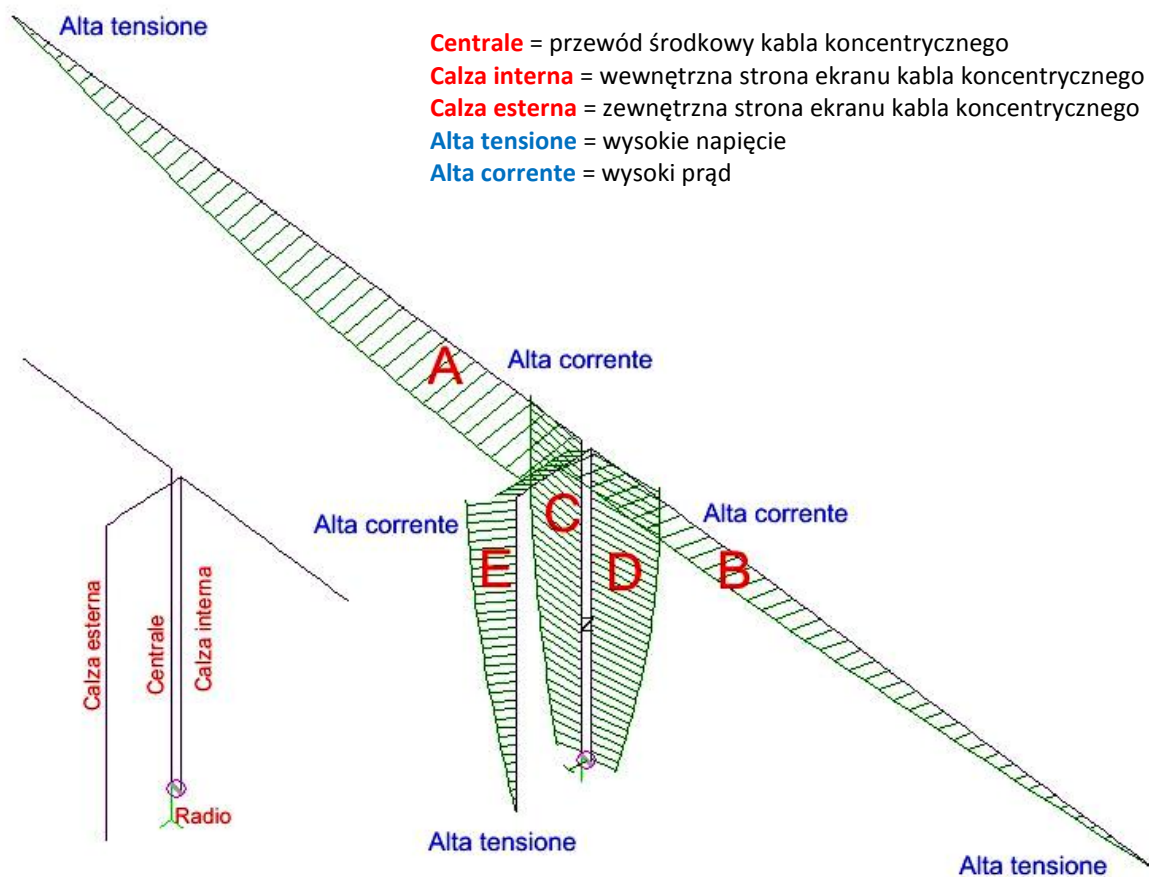
Zobaczmy symulację prądów płynących w dipolu zasilanym linią:



Na rysunku widzimy, że prądy płynące w dipolu (A i B) są większe bliżej środka anteny i bliskie zeru w kierunku końcówek anteny, gdzie zamiast prądu występuje najwyższe napięcie. Odpowiada to między innymi dokładnie temu, co wyjaśnia każdy traktat o antenach. Bardzo silne prądy płyną również w linii przesyłowej (C i D); w szczególności „wybrzuszony” kształt prądów w linii zasilającej wynika z faktu, że po pojawieniu się, ma on bardzo duży SWR (dostosowane linie mają stały prąd we wszystkich punktach). Mimo to wyraźnie widać, że prądy C i D w każdym punkcie są zawsze jednakowej wielkości, ale o przeciwnym kierunku, wzajemnie się znosząc. Ta linia transmisyjna nie promieniuje (zero).

„Trzeci przewód”

Załóżmy, że budujemy idealnie symetryczną antenę, do której bezpośrednio podłączamy kabel koncentryczny, który będzie biegł od radia. Teraz podążamy ścieżką prądów wzdłuż kabla, pomagając sobie z poniższym rysunkiem.



Prąd (C), który unosi się wzdłuż przewodu centralnego, dociera do ramienia dipola i zaczyna go zasilać, promieniując z niego energię (A). Prąd (D), który natomiast unosi się po wewnętrznej stronie ekranu, po osiągnięciu szczytu znajduje dwa przewodniki: jeden jest następnym ramieniem dipola (B), a drugi jest zewnętrzną powierzchnią tego samego ekranu (E), który, jak pamiętamy, jest postrzegany jako całkowicie izolowany przewodnik (w stosunku do powierzchni wewnętrznej ekranu).

Prąd pojawia się na dwa sposoby i dzieli: po części płynie do ramienia dipola (B), po części po zewnętrznej stronie ekranu. Problem polega na tym, że prąd (E) przepływający przez zewnętrzną stronę ekranu nie ma przeciwnego odpowiadającego mu prądu, zdolnego do jego anulowania-zneutralizowania (jak to miało miejsce w przypadku C i D), więc promieniuje tak, jakby był częścią anteny.

Tego rodzaju prądy są definiowane jako prądy w trybie wspólnym (zakłócającym), aby odróżnić je od prądów różnicowych (znoszących się) przedstawionych powyżej.

Wpływ prądów w trybie wspólnym (zakłócającym)

Wstrząsy elektryczne (kopanie napięcia) - jak wiadomo, fale stojące powstają wewnątrz ramion dipola, które powodują tworzenie węzłów napięcia i wyrzuteń prądowych. Tłumacząc w kategoriach elementarnych, duże prądy będą płynąć w niektórych częściach

dipola, ale napięcie będzie niskie; w innych punktach napięcie będzie bardzo wysokie, a prądy bardzo niskie.

Jak widać na poprzednich rysunkach, we wspólnym dipolu półfalowym największe prądy znajdują się w środku, podczas gdy najwyższe napięcia powstają na końcach; w rzeczywistości zaleca się, aby **nie dotykać** końców dipola podczas transmisji, ponieważ grozi porażeniem.

Cóż, zewnętrzny ekran kabla współosiowego jest postrzegany dokładnie tak, jakby był trzecim ramieniem dipola. Podobnie jak w rzeczywistym dipolu, powstaje na nim układ fal w stanie ustalonym, powodując wysokie prądy w niektórych punktach i wysokie napięcia w innych.

Problem polega na tym, że podczas gdy końce dipola znajdują się w wolnym i bezpiecznym środowisku, koniec „trzeciego ramienia”, zewnętrznej strony ekranu, jest podłączony do naszego radia, gdzie jesteśmy z mikrofonem w rękę. Teraz możemy mieć szczęście i mieć aktualnie „wybrzuszenie” prądu w radiu, ale możemy jednak mieć pecha i spotkać się z węzłem napięcia: będzie tam kilka tysięcy woltów, desperacko szukających drogi do ziemi. Może to powodować na przykład słynne „wstrząsy elektryczne (kopanie napięcia) przez mikrofon”.

Zakłócenia przez promieniowanie współosiowego kabla- Drugi problem polega na tym, że współosiowy kabel przebiegając przez ściany i kanały pomieszczeń promieniuje. Gdy będzie przechodził w pobliżu różnych kabli, telewizora, telefonu lub innych urządzeń, będzie promieniował bezpośrednio na nie, powodując irytujące zakłócenia.

Zdeformowane kształty promieniowania anteny- Trzeci problem polega na tym, że energia promieniowana przez koncentryczny kabel nie jest emitowana przez dipol; kształt promieniowania anteny jest zaburzony, a w niektórych antenach (takich jak Yagi) jest niszczone, co znacznie pogarsza wydajność.

Nierozsądne jest zatem, pracować przy pomocy takiej instalacji antenowej, która w niekontrolowany sposób wkradając się do budynku, zakłóca działanie i jeszcze może nas „pokopać”.

Wysoki SWR - obecność niechcianego „trzeciego” ramienia podłączonego do anteny może prowadzić do nieoczekiwanych oscylacji SWR i trudności w zestrojeniu anteny.

W rzeczywistości antena jest przystosowana do pracy z jej elementami, a nie z dodatkowym losowym „promieniowaniem”, które pojawia się np. w domu.

Dlaczego czasami efekty nie są widoczne?

Prądy w trybie wspólnym (zakłócający, ten „trzeci” przewód) nie zawsze powodują oczywiste efekty. Zobaczmy, jakie są powody, dla których czasem problemy nie są zauważane.

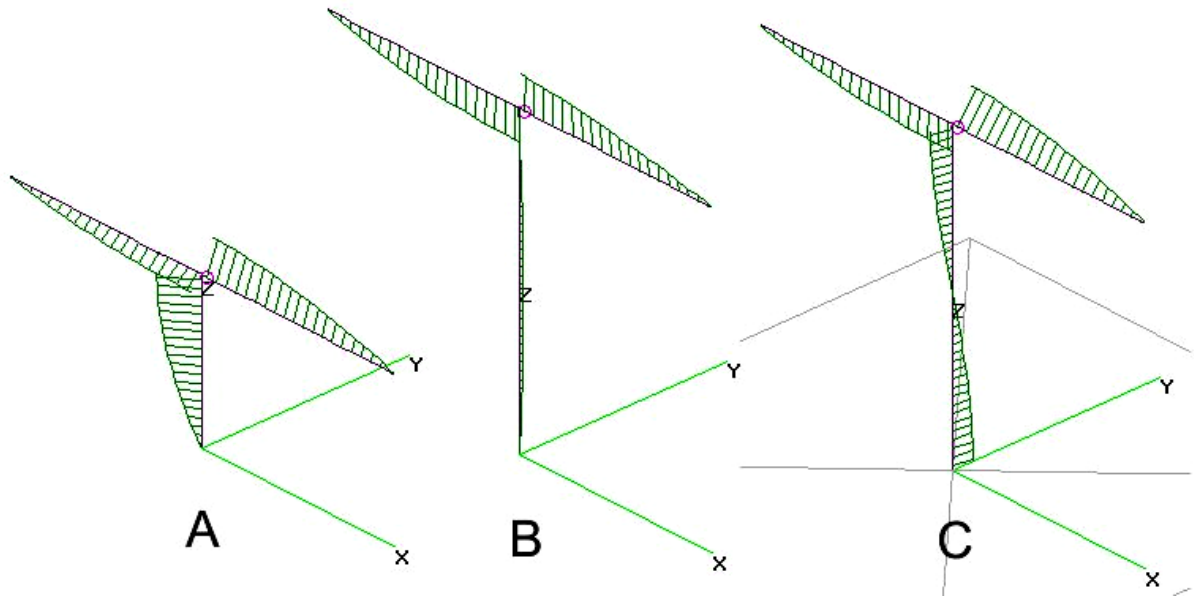
Niska moc - urządzenia małej mocy, takie jak QRP, generują skromne prądy właśnie ze względu na małą moc. Prądy te, chociaż występują, nie wywołują oczywistych efektów, takich jak silne wstrząsy elektryczne (kopanie napięciem) lub zakłócenia. Z tego powodu wiele namiętnych krótkofalowców wierzy, że przy takich urządzeniach balun nie jest potrzebny. Zamiast tego prądy w trybie wspólnym (zakłócającym) nadal zakłócają kształt promieniowania anteny i wpływają na SWR. Właśnie wtedy, gdy moc jest niska, to nie trzeba jej marnować!

Długość kabla współosiowego - Jak już powiedzieliśmy, gdy prąd dociera do ramienia dipola połączanego z ekranem, znajduje dwie ścieżki: same ramię dipola i zewnętrzną część ekranu.

Prąd jest dzielony zgodnie z impedancją, którą „oferują” te dwie ścieżki. Impedancja dipola 1/2 fali jest z pewnością niska, biorąc pod uwagę, że został specjalnie zwymiarowany (przycięty), aby był rezonansowy. Impedancja ekranu jest jednak różna w zależności od jego długości i pasywnych reakcji, jakie napotyka na swojej drodze.

Zobaczmy następujące przypadki:

- A) Linia długa 1/4 fali (lub jej wielokrotność nieparzysta) w pustej przestrzeni
- B) 1/2 fali długiej linii (lub jej wielokrotność) w pustej przestrzeni
- C) Długa linia 1/2 fali (lub jej wielokrotność) podłączona do idealnej ziemi

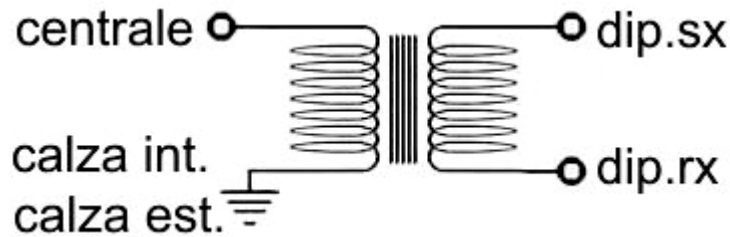


Jak widać, najgorszym przypadkiem jest fala 1/4 (rys. A), biorąc pod uwagę, że ekran ma najniższą impedancję. Z drugiej strony, półfala (rys. B), mająca bardzo wysoką impedancję, jest praktycznie idealna i nie pozwala na przepływ prądów na współosiowym kablu. Jednak ta sama półfala, jeśli jest podłączona do idealnej ziemi (rys. C), wraca, jest to jeden z najgorszych przypadków, z bardzo silnym promieniowaniem. Te efekty długości linii na prądy w trybie wspólnym (zakłócającym) są prawdopodobnie podstawą wielu mitów i legend o najlepszych możliwych długościach kabli współosiowych.

W rzeczywistych przypadkach zewnętrzny ekran pary przewodu współosiowego połączonego pojemnościowo i indukcyjnie ze wszystkim, co spotyka na swojej drodze, w tym z ziemią, powoduje iż bardzo trudno jest dokładnie ustalić jego impedancję. Z pomiarów eksperymentalnych, które przeprowadziłem dla prądów w trybie wspólnym (zakłócającym) na linii półfalowej, byłem w stanie zobaczyć znaczne wahania wartości, które zmieniały się od doskonałych, po bardzo złe, po prostu przez ruszanie lub przesunięcie kabla. Zasadniczo, z dużym prawdopodobieństwem, linia znajdzie się w sytuacji impedancji pośredniej, w większości przypadków powodując prądy o nie nadmiernej intensywności, ale powodując katastrofalne skutki tylko w określonych sytuacjach i/lub częstotliwościach.

Jak działa balun

Tak zwany balun praktycznie wykorzystuje transformator.

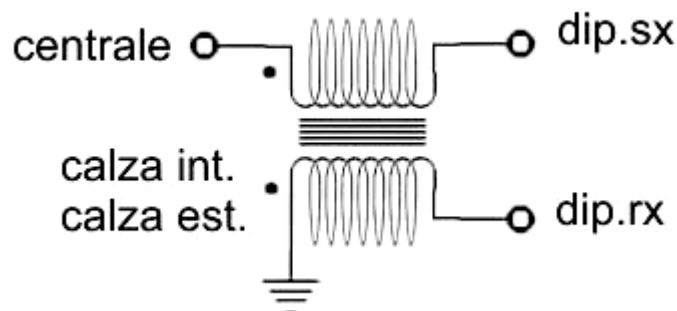


Środkowy przewód [**centrale**] i wewnętrzny ekran [**calza int.**] przenoszą prąd, który przechodzi przez lewe uzwojenie, wytwarzając pole elektromagnetyczne w rdzeniu. To generuje równoważny prąd w prawym uzwojeniu, który jednak ma działać tylko na ramiona dipola.

Autotransformatory również należą do tej samej rodziny, mają uzwojenia nie oddzielone w zakresie DC, ale mają taką samą pracę w AC, jak wspomniany powyżej transformator. Zmieniając stosunek liczby zwojów po obu stronach, urządzenie to może pełnić funkcję transformatora impedancyjnego jak i funkcję baluna.

Rzeczywisty balun

Ten balun stosuje inną zasadę. Oto schemat:



To, co widzisz, nie jest transformatorem, ale linią tworzącą indukcyjność. W praktyce jest to cewka wykonana z dwóch równoległych przewodów. Zobaczmy, jak to działa.

Jak wiadomo, cewka tworzy indukcyjność. Indukcyjność dla prądu stałego jest praktycznie przezroczysta (przedstawia sobą tylko jakąś rezystancję); jeśli mierzysz końce cewki za pomocą omomierza, są one zwarte. Jednak poprzez przyłożenie prądu przemiennego i wytwarzane przez to pole elektromagnetyczne powoduje, że indukcyjność zaczyna stanowić przeszkodę (nie bez powodu nazywaną „impedancją”), która jest przeciwna przepływowi prądu. Im wyższa częstotliwość, tym bardziej wzrasta impedancja i tym bardziej indukcyjność jest przeciwna przepływowi prądu.

Podstawowa koncepcja obecnego baluna jest następująca:

- **prądy różnicowe**, to znaczy prądy wytwarzane przez radio i płynące w układzie kabla współosiowego, jak wiemy, znoszą się wzajemnie i nie wytwarzają pól elektromagnetycznych wokół siebie; nie wytwarzając pól, nie ma na nie wpływu indukcyjność;
- **prądy w trybie wspólnym** (zakłócającym) wytwarzają pola elektromagnetyczne; mogą być one zatrzymywane przez indukcyjność.

Balun dla prądu na rysunku jest zatem urządzeniem, które zatrzymuje prądy w trybie wspólnym (zakłócającym), przepuszczając prądy różnicowe.

Prąd pobudzający prawy dipol przechodzi od lewej do prawej, ponieważ towarzyszy mu prąd pobudzający lewy dipol, który niweluje pole. Po dotarciu na miejsce nie może jednak wrócić do zewnętrznej strony ekranu, ponieważ sam musi wrócić, wytwarzając pole elektromagnetyczne, które spowodowałoby zablokowanie przez indukcyjność. Baluny dla prądu są również nazywane dławikami, co oznacza: w rzeczywistości działają one poprzez „dławienie” przejścia dla prądów w trybie wspólnym (zakłócającym). Najczęstszym i najtańszym balunem tego typu jest tak zwany tzw „prymitywny balun”, składający się z kilku zwojów kabla koncentrycznego nawiniętego na elemencie cylindrycznym (nie ferromagnetycznym) lub po prostu kilka zwojów przewodu (w powietrzu).

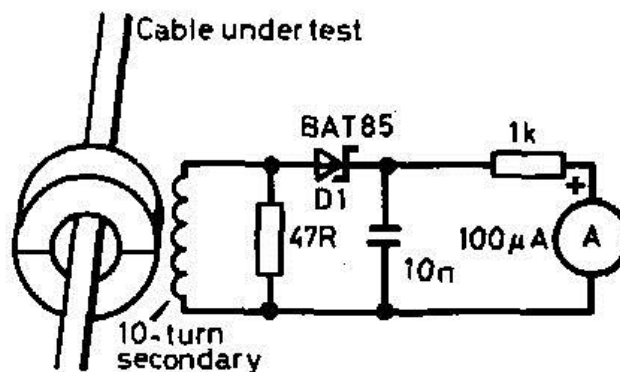
Im niższa częstotliwość, tym bardziej potrzebujesz większej indukcyjności i można ją nawinąć na rdzeń ferrytowy; dla wysokich częstotliwości można ją nawinąć jako powietrzną lub też na rdzeń ferrytowy (odpowiednio dobierając) w celu uzyskania mniejszych wymiarów baluna.



Jak „zobaczyć” prąd w trybie wspólnym (zakłócającym)?

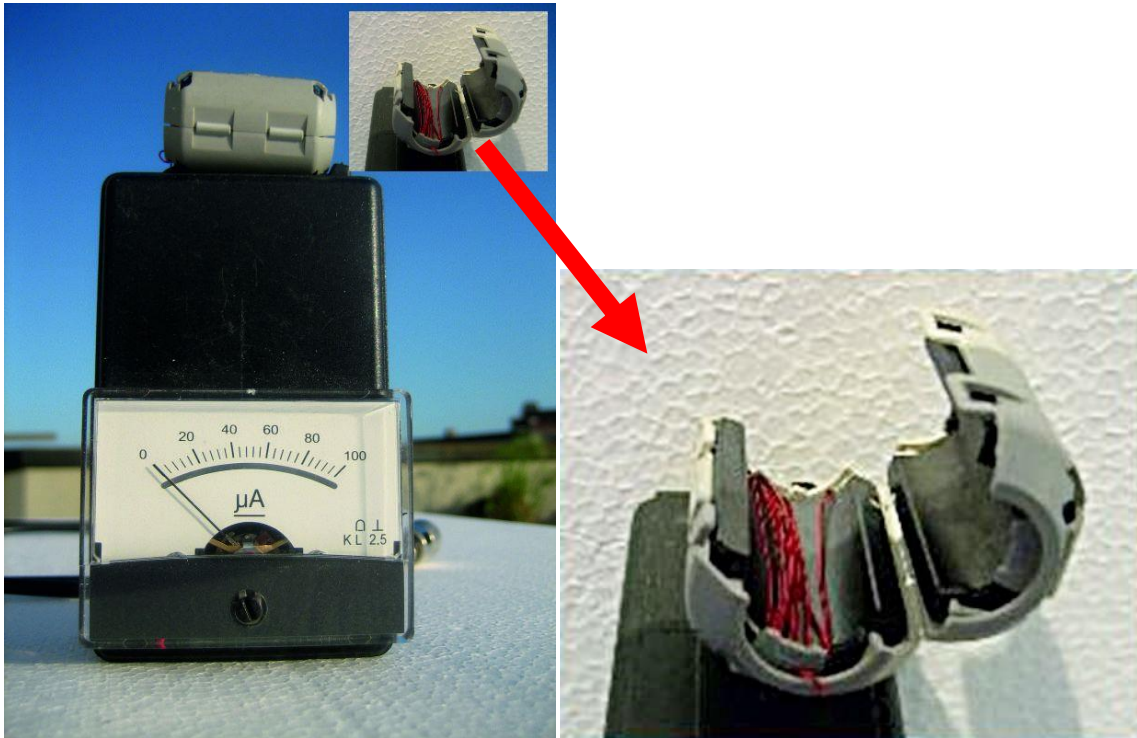
Prąd w trybie wspólnym (zakłócającym) jest mierzony za pomocą bardzo prostego przyrządu, który można samodzielnie wykonać niewielkim kosztem i wysiłkiem.

Oto schemat:

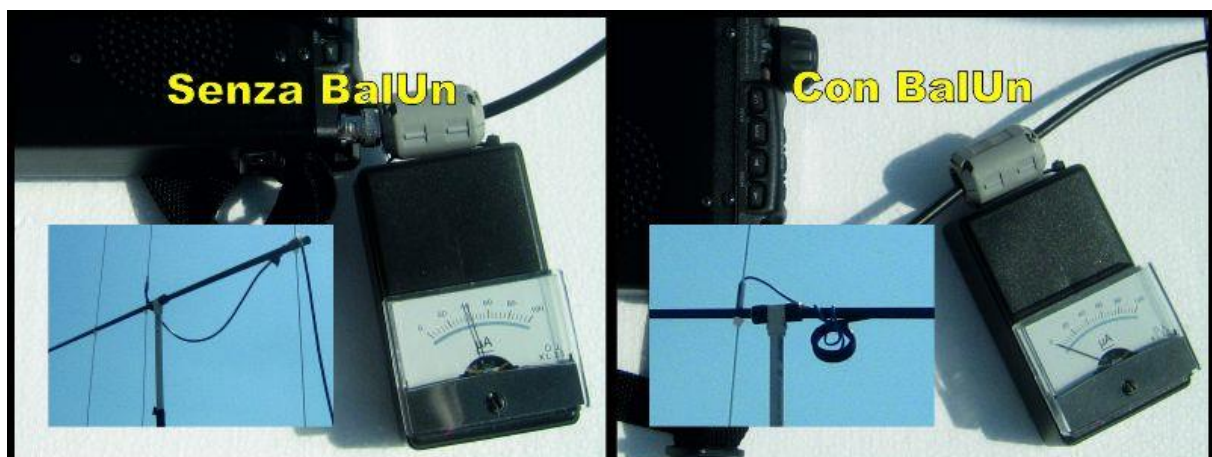


W praktyce jest to niewielki, nie dostrojony odbiornik, który indukcyjnie łączy się z linią transmisyjną – kablem koncentrycznym. Sygnał wykrywany, prostowany przez diodę podawany jest do mikroamperomierza, który zapewnia oszacowanie przepływającego prądu. Komponenty nie są krytyczne: dioda może być dowolną diodą (szybką), taką jak germanowa lub Schottky. W ten sposób zbudowany przyrząd ma dość liniową charakterystykę. Jego celem nie jest zapewnienie dokładnych pomiarów, ale możliwość stwierdzenia, czy prądy są silne, słabsze, lub nie występują.

Oto zbudowany przyrząd:



Sonda składa się z ferrytu zatraskowego (takiego jak na różnych kablach komputerowych), na którym nawinięto uzwojenie wtórne emaliowanym drutem. Przyrząd w akcji: pomiar prądu w trybie wspólnym (zakłócającym) dla anteny Yagi na 144MHz, najpierw w wersji bez balunu, a następnie z tzw „prymitywnym balunem”:



Jak widać, na pierwszym zdjęciu (antena bez balunu) przyrząd wykrywa prądy wspólne (zakłócające), które z pewnością „mieszają” w działaniu anteny. Na drugim zdjęciu (antena z balunem) prosty dławik (powietrzny - tu kilka zwojów kabla koncentrycznego) zapewnia doskonałą ochronę, eliminując niepożądany prąd.

Wnioski

Podsumowując, jeśli stawiamy pytanie: czy potrzebuję baluna ?, to nie możemy odpowiedzieć, ale możemy zadać sobie inne pytanie: czy chcę mieć antenę i kabel który wnikając do mieszkania powoduje zakłócenia ?. Jeśli odpowiedź brzmi „nie”, to potrzebujemy baluna!

Tekst przetłumaczony przez inż. Jacka SQ9BEC i nieco przeredagowany z artykułu: „Il balun: anatomia di uno sconosciuto”. May 18, 2013, IZ2UUF Davide Achilli

PS.

W sumie sprowadza się to do wykonania dla naszej (dodałbym, każdej anteny) dobrego baluna prądowego 1:1, przystosowanego do zakresu częstotliwości. Inny dla KF, inny dla UKF. W Internecie jest bardzo dużo opisów omawiających jak wykonać balun prądowy 1:1. Przez ćwierć wieku „kombinowania” z wieloma rodzajami anten, sam się przekonałem o skuteczności baluna prądowego.

2020-05-08 73! SQ9BEC