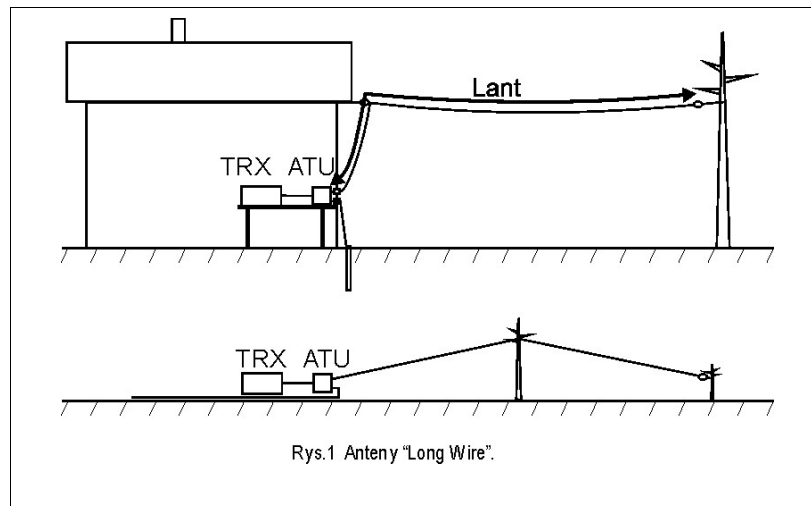


Antena „Long Wire” (LW) jest rzeczywiście najprostszą anteną wielopasmową o niekrytycznych wymiarach. Aby używać jej z powodzeniem trzeba jednak zadbać o uziemienie i dopasowanie.

## Budowa anteny LW.

„Long Wire” (LW) to antena utworzona przez pojedynczy przewód zawieszony w wolnej przestrzeni, dołączony jednym końcem wprost do uziemionego nadajnika lub skrzynki antenowej (ATU). Najczęściej jest on poziomy ale równie dobrze może być ukośny, załamany – zależnie od warunków terenowych. Drugim „ramieniem” anteny jest przeciwwaga lub uziemienie, w którym płynie prąd porównywalny z prądem w antenie. Właściwości uziemienia i przeciwwag w sposób istotny wpływają na efektywność anteny.



Antena LW może mieć dowolną długość ale trzeba mieć świadomość, jak to wpływa na jej własności. Długość anteny decyduje o jej charakterystyce promieniowania, rezystancji w punkcie zasilania i sprawności.

Długość anteny LW jest mierzona od punktu zasilania do przeciwległego końca. Dokładnie: od zacisku skrzynki antenowej!

Anteny typu LW są znane od początku rozwoju radiokomunikacji w różnych odmianach i były różnie nazywane: „Odwrócone L”, antena Fuchsa czy „Random Wire”. Różnią się układem przestrzennym ewentualnie sposobem sprzężenia z nadajnikiem. W każdym jednak przypadku składają się z pojedynczego przewodu zasilanego na końcu wprost z uziemionego nadajnika. Wciąż są popularne, bo najtańsze i najprostsze, a wręcz idealne do pracy terenowej. Dla amatorów prostych urządzeń QRP, wybór anteny LW oznacza konsekwentną realizację koncepcji nawiązania łączności jak najprostszymi środkami; od klucza sztorcowego, aż po prostą, drutową antenę.

## Długość anteny.

Długość anteny powinna być dostosowana do częstotliwości pracy, a raczej długości fali  $\lambda$ . Najkorzystniejsza jest długość odpowiadająca dokładnie wielokrotności  $\lambda/2$ , czyli połówki fali, aby antena była w rezonansie. Dla podstawowych 5 pasm amatorskich można dobrać długość kompromisową spełniającą ten warunek. Dla pełnego kompletu pasm nie da się uzyskać rezonansu na wszystkich częstotliwościach ale proste układy dopasowujące pozwalają na zestrojenie anteny o każdej niemal długości. Stosujemy więc takie długości, jakie możemy zrealizować w dostępnej przestrzeni korygując je ewentualnie pod kątem łatwiejszego dopasowania lub uzyskania pożądanej charakterystyki na określonych częstotliwościach. Wpływ długości na parametry anten LW jest omówiony dalej.

Przy obliczaniu długości anteny wychodzimy od długości fali na danej częstotliwości i uwzględniamy współczynnik skrócenia. W przybliżonych rachunkach stosujemy współczynnik skrócenia  $K=0.95$ . Dla anten harmonicznych o długości  $\lambda/2$  i dłuższych można stosować wzór praktyczny:

$$L[m]=150 \times (n-0,05) / f \text{ [MHz]} \quad (n - \text{liczba połówek fali})$$

W tabeli podano przykładowe długości anten na różnych częstotliwościach dla współczynnika skrócenia  $K=0.95$ . Tłustym drukiem wyróżniono długości dla najpopularniejszego wykonania anteny harmonicznej 41m dla 5 pasm. Warto zwrócić uwagę na fakt, że antena zwymiarowana dokładnie na  $\lambda/2$  dla 3,65MHz na wyższych pasmach nie będzie w rezonansie. Antena planowana jako harmoniczna na 5 pasm, będzie musiała mieć długość kompromisową np. 41m. Inne przydatne w praktyce długości wynoszą odpowiednio: 10,05, 20,5 i 82m. Wszystkie takie anteny na najniższym paśmie mają długość  $\lambda/4$ , co wcale nie przeszkadza w ich efektywnym wykorzystaniu.

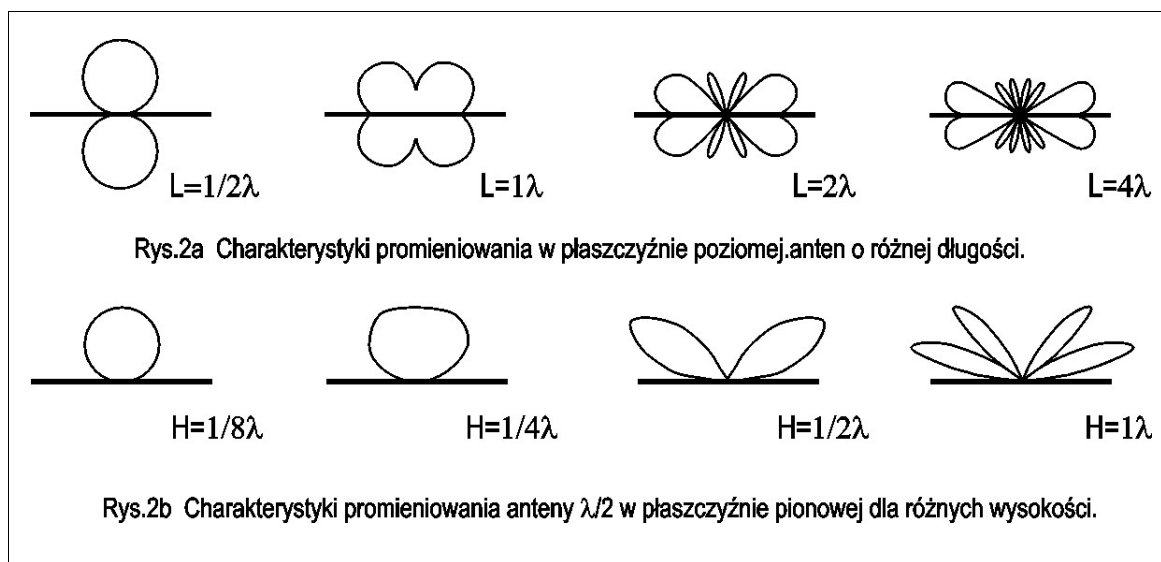
### Długości anten harmonicznych dla pasm amatorskich (K=0.95)

f [MHz]	$L_{\lambda/4}$ [m]	$L_{\lambda/2}$ [m]	$L_{\lambda}$ [m]	$L_{2\lambda}$ [m]	$L_{3\lambda}$ [m]	$L_{3\lambda}$ [m]
1.85	<b>38.52</b>	77.05				
3.65	19.54	<b>39.07</b>	80.20			
7.05	10.11	20.21	<b>41.49</b>	84.04		
10.07	7.07	14.14	29.03	58.51	88.59	
14.17	5.03	10.05	20.64	<b>41.80</b>	62.97	84.13
18.12	3.93	7.87	16.14	32.70	49.26	65.82
21.22	3.36	6.71	13.78	27.92	<b>42.05</b>	56.19
24.94	2.86	5.71	11.73	23.76	35.79	47.81
28.84	2.47	4.94	10.14	20.55	30.95	<b>41.35</b>

#### Charakterystyka promieniowania.

Antena LW promieniuje całą swoją długością. Mało tego, promieniuje też przeciwaga i linia uziemienia, jeśli ma większą długość. Jak najmniejsza część anteny powinna więc być wewnątrz budynku, a uziemienie jak najkrótsze. Przy odbiorze ta część anteny, która jest w pobliżu lub wewnątrz budynku „łapie” z kolei zakłócenia od urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Anteny LW są więc „głośnie” zarówno przy nadawaniu, jak i przy odbiorze.

Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie poziomej zmienia się radykalnie z długością anteny. Od „ósemkowej” dla krótkich anten aż po wielolistkową, wydłużoną zgodnie z kierunkiem anteny, przy większych długościach.



Rys.2a Charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie poziomej anten o różnej długości.

Rys.2b Charakterystyki promieniowania anteny  $\lambda/2$  w płaszczyźnie pionowej dla różnych wysokości.

Na Rys.2 pokazano charakterystyki teoretyczne dla wibratora symetrycznego, dla różnych długości i wysokości nad ziemią. Charakterystyki anten zasilanych na końcu są częściowo asymetryczne. W rzeczywistych antenach listki boczne są rozmyte, a minima charakterystyk mniej wyraźne.

Najważniejszą cechą długich anten LW jest ich widoczna kierunkowość w kierunku wzdłużnym. Można to wykorzystać w warunkach polowych, gdzie łatwo wybrać kierunek zawieszenia. Niektórzy amatorzy eksperymentują z powodzeniem z antenami o długości 100-200m. Jeśli taka antena zostanie obciążona rezystancją na wolnym końcu, jej charakterystyka staje się jednokierunkowa, z wyraźnym zyskiem. Obciążona antena LW nosi nazwę Beverage.

Wysokość zawieszenia anteny wpływa z kolei na charakterystykę promieniowania w płaszczyźnie pionowej. Anteny na małych wysokościach – poniżej  $\lambda/4$  - promieniają pod dużym kątem. Są więc przydatne tylko do lokalnych łączności, zwłaszcza że mają też małą sprawność. Przy wzroście wysokości kąt promieniowania obniża się i na wysokości  $\lambda/2$  wynosi ok. 30 stopni (dla anteny półfalowej). Powyżej  $\lambda/2$  kąt nadal obniża się i pojawiają się listki boczne. Charakterystyka wysoko wiszących anten jest już wielolistkowa, z szerokim zakresem kątów emisji. Dłuższe anteny mają niższe kąty promieniowania w płaszczyźnie pionowej.

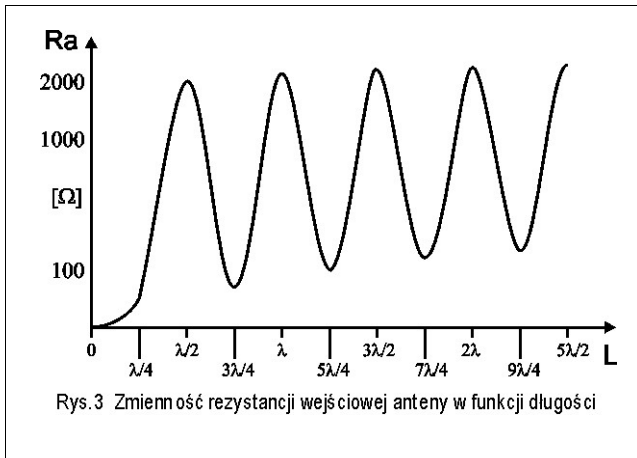
Praktycznie wykonane anteny, które mają różne proporcje części pionowej do poziomej, wiszą ukośnie lub w pobliżu budynków mogą mieć zupełnie inne własności kierunkowe. Konfiguracja „Odwrócone L”, o zbliżonych długościach części pionowej i poziomej może mieć charakterystykę bliską dookólnej. Anteny załamane lub ukośne wykazują zwiększoną kierunkowość wzdłużną.

Z punktu widzenia charakterystyki promieniowania nie chyba optymalnej długości i wysokości dla wielopasmowej

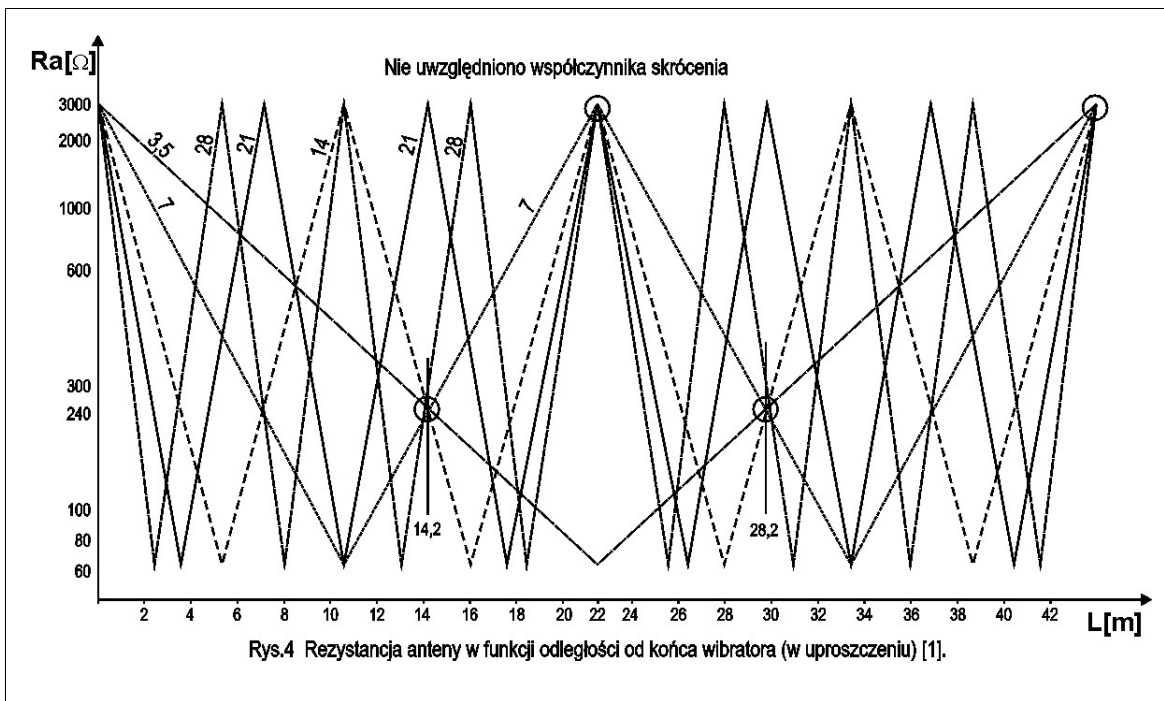
anteny LW. Musimy się liczyć z odmienną charakterystyką dla każdego pasma.

### Rezystancja w punkcie zasilania.

Rezystancja zasilania anteny LW również silnie zależy od jej długości. Zmienia się w zakresie od kilkudziesięciu do kilku tysięcy omów. Reaktancja również jest bardzo zmienna i osiąga wartość zerową tylko przy wielokrotnościach wartości  $\lambda/4$ .



Na wykresie pokazującym zmienność rezystancji anteny widać charakterystyczne minima i maksima. Wartości minimalne (40-170om) występują dla nieparzystych wielokrotności  $\lambda/4$ . Maksima (1000-3000om) dla wielokrotności  $\lambda/2$  - są to długości rezonansowe - przy których w antenie występuje fala stojąca. Rzeczywiste wartości zależą od stratności anteny, sprzężeń z obiektami w otoczeniu i wpływu ziemi.



Gdy anteny używamy na wielu pasmach, dobrze jest wiedzieć, jakich rezystancji wejściowych możemy się spodziewać na każdym z nich. Wykres na Rys.4 pokazuje w uproszczeniu zmienność rezystancji anteny na różnych pasmach w funkcji odległości od jej końca. Na wykresie jest kilka interesujących punktów. Przede wszystkim 2 punkty rezonansu dla  $L=21,2$  oraz  $L=42,4$ m. Tu mamy maksymalną rezystancję, a reaktancję zbliżoną do zera i to na kilku pasmach. Stąd bierze się zalecana często długość 41m (po uwzględnieniu skrócenia) dająca rezonans na 5 pasmach. Taką długość ma wiele znanych z literatury anten wielopasmowych. Dla 4 pasm uzyskamy rezonans dla długości 20,5m. Praca w rezonansie jest korzystna z punktu widzenia sprawności. Rezystancja anteny jest wtedy maksymalna, a więc prądy zasilania najmniejsze i najmniejsze straty. Należy raczej unikać długości, gdzie rezystancja wejściowa osiąga minimum - wtedy sprawność jest najmniejsza.

Są jeszcze 2 inne charakterystyczne punkty, gdzie rezystancja dla 4 pasm jest zbliżona. Są to długości 14,2 i 28,4m (po uwzględnieniu współczynnika skrócenia 13,5 i 27m). Przy tych długościach antena nie będzie w rezonansie ale wartość rezystancji rzędu kilkuset omów stwarza szansę szerokopasmowego dopasowania. Fakt ten wykorzystano już dawno projektując znane anteny Windom, FD4, G5RV i Doublet.

## Sprawność.

Przez sprawność anteny rozumie się jej zdolność zamiany mocy w.cz. nadajnika na pole elektromagnetyczne. Sprawność anteny LW zależy przede wszystkim od jej długości, rezystancji uziemienia i wysokości zawieszenia.

Długość  $\lambda/4$  można przyjmować za graniczną. Anteny krótsze mają małe rezystancje promieniowania co obniża ich sprawność. Czwierćfalowa antena z dobrym uziemieniem jest już jak najbardziej akceptowalna (jak np. znana antena GP, co prawda pionowa ale podlegająca podobnym prawom). Korzystna z punktu widzenia sprawności jest długość  $\lambda/2$  i jej wielokrotności. Takie anteny mają wysokie rezystancje, a więc niskie amplitudy prądu w punkcie zasilania. Dzięki temu mamy najniższe straty w obwodzie uziemienia. Sprawność anteny o bardzo niskiej rezystancji wejściowej będzie z kolei uzależniona głównie od rezystancji uziemienia.

Uziemienie jako „druga połowa” anteny LW w zasadzie decyduje o sprawności. Jeśli uziemienie ma znaczny opór omowy dla prądu w.cz. to moc nadajnika może pójść w większości na grzanie ziemi zamiast zamienić się na pole elektromagnetyczne.

Wysokość zawieszenia nie powinna być raczej mniejsza niż  $\lambda/4$ . Im bliżej ziemi tym bardziej wpływ gruntu obniża sprawność.

## Uziemienie.

Anteny LW są z natury niesymetryczne, więc uziemienie jest niezbędne, aby w sposób kontrolowany zamykał się obwód prądu w.cz. Bez uziemienia prąd w.cz. zwany wyrównawczym popłynie przez masę nadajnika i zasilacz do sieci, co może spowodować zakłócenia sprzętu RTV w okolicy albo nawet naszej własnej aparatury. Sprawność anteny bez dobrego uziemienia może być znacznie obniżona. Zwiększą się też zakłócenia przy odbiorze. Zakłócenia od źle uziemionych anten niesymetrycznych przy pracy QRP na ogół nie są groźne. Przy dużej mocy mogą być już nie do opanowania, a napięcia w.cz. na masie nadajnika nawet niebezpieczne dla operatora.

Najbardziej wymagające w zakresie uziemienia są anteny o niskiej rezystancji ( $\lambda/4$  i nieparzyste wielokrotności  $\lambda/4$ ). W tych przypadkach trzeba raczej polegać na przeciwwagach.

Wpływ uziemienia na pracę anteny, a zwłaszcza jej sprawność jest najmniejszy przy antenach pracujących w rezonansie (długość  $\lambda/2$  i jej wielokrotności). Rezystancja wejściowa takich anten jest duża, więc w uziemiu płyną mniejsze prądy i straty w obwodzie uziemienia są mniejsze. Nie znaczy to jednak, że anteny pracujące w rezonansie mogą się obyć bez uziemienia.

Uziemienie można zrealizować na różne sposoby. Najlepsze są zakopane sieci promieniście rozłożonych przewodów i wbite głęboko pręty. Najłatwiej jednak wykorzystać istniejące instalacje. Mogą to być rury wodociągowe (kran ogrodowy), centralnego ogrzewania, masywne balustrady balkonów, płoty lub inne przewodzące obiekty o dużej długości i masie, zwłaszcza mające powiązanie z ziemią. Amatorzy pracy w terenie wspominają też o wykorzystaniu jako uziemienia (lub raczej przeciwwagi) samochodu albo zatopieniu przewodu uziemiającego w wodzie. Zawsze warto wykorzystać wszystkie dostępne punkty uziemienia, łącząc je razem przewodem o dużym przekroju.

Sam punkt dobrego uziemienia to jeszcze nie wszystko. Potrzebne jest połączenie go z zaciskiem uziemienia skrzynki antenowej. Teoretycy piszą: „długość przewodu uziemiającego nie powinna być dłuższa niż  $\lambda/10$ ”. Istotnie, dłuższy przewód uziemiający będzie promieniował i może mieć na dodatek swoje rezonanse. Niestety, dla częstotliwości 28MHz, oznacza to długość mniejszą niż 1m! Jeżeli mamy wiele metrów przewodu uziemiającego, to zakopanie na jego końcu choćby czołgu może już nie wpływać na efekty. Gdy linia uziemienia ma przypadkiem długość  $\lambda/4$  lub jej nieparzystą wielokrotność, to przy skrzynce antenowej uzyskujemy wysoką rezystancję, więc uziemienie nie będzie funkcjonować. Na masie nadajnika możemy wtedy zaobserwować spore napięcia w.cz. Linia uziemienia o takiej długości może być skuteczniejsza jako przeciwwaga nie połączona z ziemią.

Jak ocenić skuteczność naszego uziemienia? Obserwować zmiany WFS na wyjściu nadajnika w momencie dotknięcia dłonią obudowy skrzynki antenowej. Jeśli WFS przy dotknięciu zmienia się - uziemienie jest nieskuteczne. Podobne obserwacje możemy poczynić przy odbiorze. Zdarza się, że przyłożenie dłoni zmienia poziom zakłóceń, zwłaszcza jeśli w pobliżu mamy telewizor lub komputer. Jeden z praktyków polecał dołączanie na próbę do zacisku uziemienia skrzynki lub TRXa odcinka przewodu o długości kilku metrów. Jeśli zmienia to WFS na wyjściu nadajnika - to uziemienie jest niedostateczne.

Wykorzystując istniejące instalacje do uziemienia trzeba wykazać się ostrożnością i wyobraźnią. Nie można używać jako uziemienia przewodów zerowych i ochronnych sieci prądu zmiennego. W przypadku rur wodociągowych czy ciepłowniczych trzeba sprawdzić, czy nie są łączone przez izolacyjne uszczelki i złączki.

Realizacja dobrego uziemienia jest jak widać trudna. Jest to chyba najtrudniejszy element w instalacji z anteną LW. Trudno też w warunkach amatorskich zmierzyć rezystancję wykonanego uziemienia.

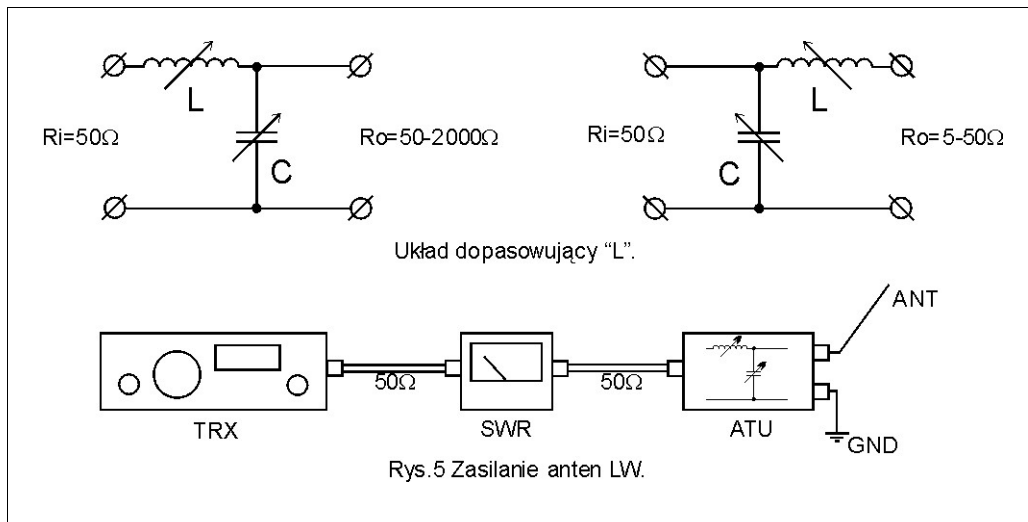
Alternatywą lub uzupełnieniem dla uziemienia są przeciwwagi, czyli przewody o długości co najmniej  $\lambda/4$ , dla każdej częstotliwości pracy, dołączone do zacisku uziemienia skrzynki antenowej. Przeciwwagi mogą wisieć w powietrzu, leżeć na ziemi lub być zakopane. Powinny mieć długość  $\lambda/4$ , bo wtedy ma minimalną rezystancję dla prądu w.cz. w punkcie przyłączenia. Długość przeciwwag zakopanych ma już mniejsze znaczenie, bo przewody w ziemi nie mają już wyraźnych rezonansów. W warunkach polowych, rozwinięty na trawie przewód, to proste i skuteczne rozwiązanie. W miastach, na wyższych piętrach trzeba próbować wieszać przeciwwagi tam, gdzie jest miejsce, w przedłużeniu anteny, pionowo w dół lub w bok. W każdym przypadku im więcej przeciwwag, tym lepiej ale nawet jedna przeciwwaga poprawi nam symetrię zasilania anteny.

Antena LW z pięcioma zakopаныmi przeciwwagami (dla poszczególnych pasm) przestaje niestety już być prostą anteną, a czwterćfalowa antena z czwterćfalową przeciwwagą staje się po prostu półfalowym dipolem. Mój wniosek z rozważań o uziemieniu jest więc taki: warto wieszać antenę LW, jeśli mamy pod ręką dobry punkt uziemienia. Jeśli

nie mamy, to lepiej pomyśleć o dipolach, zamiast przekopywać trawniki.

## Zasilanie anten LW.

Do zasilania anteny LW musimy stosować układ dopasowujący, aby rezystancję z zakresu 40-2000om sprowadzić do wartości 50om optymalnej dla większości nadajników. Poza transformacją rezystancji trzeba jeszcze kompensować składową bierną, gdyż w większości przypadków antena nie jest w rezonansie. Dokładne dopasowanie do 50om jest istotne bo większość nadajników na układ kontroli obciążenia (ALC), który redukuje moc przy wzroście WFS. Dla WFS=2 moc na ogół spada do połowy wartości znamionowej.



Najlepszym sposobem dopasowania jest zastosowanie przestrajanych obwodów LC, które prawidłowo wykonane mają małe straty i pozwalają na dokładne dostrojenie aż do WFS=1. Najprostszym, często stosowanym w praktyce jest obwód typu „L” składający się z jednej indukcyjności i jednego kondensatora. Jego zalety to: prostota, szeroki zakres dopasowania, właściwości filtracyjne dolnoprzepustowe i możliwość uziemienia kondensatora strojeniowego. Wartości elementów L i C zależą od częstotliwości pracy i wielkości rezystancji, jakie do siebie dopasowujemy. Dla każdej kombinacji: f, Ri, Ro jest tylko jedna prawidłowa para wartości L i C zapewniających transformację. Układ „L” może transformować rezystancję „w górę” lub „w dół” ale jego konfiguracje są wtedy odmienne. Kondensator obwodu musi znajdować się po stronie większej rezystancji. Przy dłuższych antenach LW jest więc włączyć po stronie anteny. Krótkie anteny, niskoomowe, wymagają obwodu „L” z kondensatorem po stronie linii 50om.

**Tabela przykładowych wartości obwodu „L”  
dla różnych rezystancji obciążenia Ro.**

Rezystancja wejściowa Ri=50om.

f [MHz]	Ro=60om	Ro=240om	Ro=600om	Ro=2000om
1.8	1.98uH/659pF	8.60uH/719pF	14.70uH/ 489pF	27.60uH/276pF
3.65	0.98uH/325pF	4.40uH/370pF	7.20uH/ 241pF	13.60uH/136pF
7.05	0.51uH/168pF	2.20uH/183pF	3.75uH/ 125pF	7.05uH/ 70pF
14.15	0.25uH/ 84pF	1.10uH/ 91pF	1.86uH/ 62pF	3.50uH/ 35pF
21.2	0.17uH/ 56pF	0.73uH/ 61pF	1.25uH/ 42pF	2.35uH/ 23pF
28.5	0.12uH/ 42pF	0.54uH/ 45pF	0.93uH/ 31pF	1.74uH/ 17pF

Podana tabela pozwala zorientować się jakie wartości elementów LC są potrzebne do realizacji dopasowania „L” na różnych pasmach. W praktyce stosuje się cewki z przełączanymi odczepami lub wariometry i kondensatory strojeniowe od odbiorników radiowych. Przy doborze elementów trzeba zwrócić uwagę na dobroć cewki oraz wytrzymałość napięciową kondensatora. Przy pracy QRP dowolne miniaturowe kondensatory strojeniowe spełniają swoje zadanie.

Do kontroli dostrojenia niezbędny będzie reflektometr lub mostek WFS, włączony między nadajnikiem, a układem dopasowującym. Na niektórych częstotliwościach strojenie może być bardzo ostre, więc WFS warto sprawdzać nawet po przestrojeniu o 200kHz.

Dopasowanie anten harmonicznych, o wysokich rezystancjach może czasem sprawiać kłopoty. Nie zawsze w takiej sytuacji radzą sobie automatyczne skrzynki antenowe. Niektóre układy dopasowania mogą mieć też obniżoną sprawność transformując 50om na rezystancję rzędu 2000om.

Przy odpowiednich długościach anten, kiedy można spodziewać się ich rezystancji w zakresie 100-600om, można

próbować dopasowania transformatorem szerokopasmowym 1:4, 1:6 lub 1:9. Może się to udać w pewnych przypadkach ale trudno uzyskać mały WFS na wielu pasmach. Transformatory szerokopasmowe mogą wprowadzać znaczne straty, kiedy pracują z wysokoomowym obciążeniem, obciążonym na dodatek składową reaktancyjną. Musimy mieć też pewność, że na wszystkich używanych częstotliwościach rezystancja uziemienia jest znacznie niższa od rezystancji samego wibratora anteny.

### **Podsumownie.**

Jeśli nie mamy miejsca, pieniędzy i czasu na poważne systemy antenowe to „Long Wire” umożliwi nam start w każdej niemal sytuacji. Przy znajomości i zastosowaniu kilku podstawowych reguł na pewno nie powiemy, że to zła antena. Ale są oczywiście anteny dużo lepsze! Tylko czy musimy mieć wieloelementową „Yagi”, aby mieć frajdę z pracy QRP?

*Marcin Świetliński, SP5JNW.*

### **Literatura.**

- [1] Amatorskie anteny KF i UKF, Z. Bieńkowski, E.Lipiński, Wkił, Warszawa 1978
- [2] Antennenbuch, K.Rothamel, Deutcher Militarverlag, Berlin1966
- [3] Sprawocznik Radiolubitiela Korotkovołnika, S.G.Bunin, Ł.P.Jailenko, Technika, Kiew 1984

**.PDF**

Dokument utworzony: 13.05.2005 Aktualizacje:17.06.2005