

Waldemar Sznajder 3Z6AEF

Pomiary
podstawowych parametrów
amatorskich urzędzeń radiowych

WROCLAW 2010

Spis treści

Od autora.....	3
Dlaczego mierzymy? Wstęp.....	4
Co mierzymy? Podstawowe parametry urządzeń amatorskich.....	5
Czym mierzyć? Wyposażenie pomiarowe pracowni radioamatora.....	6
Podstawowe mierniki warsztatowe.....	6
Miernik uniwersalny.....	6
Miernik poziomu mocy i napięcia w.cz.....	7
Inne przyrządy pomiarowe.....	8
Pomocnicze urządzenia pomiarowe.....	8
Regulowany tłumik pomiarowy.....	9
Kalibrator poziomu mocy.....	11
Mostek pomiarowy w.cz.....	13
Tłumik do pomiarów mocy.....	16
Jak mierzyć? Metody podstawowych pomiarów urządzeń N/O.....	17
Pomiar MDS i czułości odbiornika.....	17
Pomiar zniekształceń intermodulacyjnych IMD	18
Pomiar mocy nadajnika	19
Dodatki.....	20
Tabele.....	20
Literatura.....	20
Odnosińki w Internecie.....	20

Od autora

Niniejsze opracowanie jest krótkim podręcznikiem przyrządów oraz prostych metod pomiarowych, które znajdują zastosowanie w warunkach domowego laboratorium krótkofalowca-konstruktora urządzeń radiowych. Jednocześnie stanowi ono dokumentację zestawu pomocniczych urządzeń pomiarowych przygotowanych w ramach **konkursu „Przydatne Urządzenie Krótkofalarskie” na IV Warsztatach SP-QRP w Burzeninie, 2010**. Z tego względu najbardziej rozbudowane są rozdziały bezpośrednio związane ze zgłoszonymi na Konkurs pomocniczymi przyrządami pomiarowymi oraz opisem wykonania pomiarów podstawowych parametrów urządzeń nadawczo-odbiorczych.

Oczywiście to skromne opracowanie nie rości sobie pretensji wyczerpania tematu czy nawet próby pełnego opisu – nie taki był cel. Może ono być potraktowane jako *szkic* do szerszego potraktowania zagadnienia pomiarów w praktyce amatorskiej, będąc postawą do „Podręcznika przyrządów i metod pomiarowych dla radioamatorów”.

Chciałbym podziękować wszystkim, którzy przyczynili się do powstania tej pracy, a w szczególności Kolegom z Dolnośląskiej Grupy Home Made: Jurkowi **SQ6BBA**, Ryszardowi **SP6IFN** oraz Jarkowi **SP6MLF**, jak również uczestnikom technicznego Forum dyskusyjnego **SP-HomeMade Group**.

Mam nadzieję, że opracowanie zostanie życzliwie przyjęte przez krótkofalowców i radioamatorów samodzielnie projektujących i budujących radiowe urządzenia nadawczo-odbiorcze. Szczególnie polecam je tym z Kolegów, którzy rozpoczynają przygodę w tej dziedzinie naszego krótkofalarskiego hobby, życząc jak największej radości w czasie magicznych chwil, kiedy garść elementów elektronicznych zamienia się w użyteczne urządzenie radiowe, zaś z głośnika słycać pierwsze sygnały QSO...

Waldek **3Z6AEF**

Mokronos Górny, wrzesień 2010

Dlaczego mierzymy? Wstęp

Bogate stowarzyszenia radioamatorów (ARRL, RSGB, DARC) utrzymują bardzo dobrze wyposażone laboratoria pomiarowe, gdzie dokonuje się badań urządzeń – nie tylko amatorskich. Szczególną pozycję ma zwłaszcza laboratorium ARRL. Doskonale oprzyrządowane, prowadzone przez profesjonalnych konstruktorów oraz stosujące ściśle określone procedury pomiarowe – zawsze takie same - co pozwala na rzeczywiste porównywanie parametrów różnych urządzeń radiowych. ARRL-Lab wykonuje zestaw pomiarów praktycznie każdego nowego TRX-a wprowadzanego na rynek przez znane firmy. Wyniki pomiarów są publikowane w związkowym czasopiśmie QST - ułatwia to radioamatorom podjęcie odpowiednich decyzji zakupowych, a producentom pokazuje kierunki ewentualnych zmian czy udoskonaleń.

Dlaczego sami producenci nie wykonują pomiarów swych urządzeń? Ależ oczywiście wykonują! Jednak procedury pomiarowe mogą być różne dla różnych wytwórców, a dodatkowo wymogi marketingu powodują, że niechętnie pokazywane są gorsze parametry, zaś mocno eksponowane te lepsze niż u konkurencji...

W warunkach domowego warsztatu radioamatora też wykonuje się różne pomiary. Od najprostszych z użyciem tzw. miernika uniwersalnego czy miernika mocy lub SWR, poprzez bardziej skomplikowane, do których wykorzystuje się np. mierniki i analizatory antenowe, aż do zaawansowanych pomiarów wykonywanych w czasie uruchamiania i testowania budowanych urządzeń.

Konstruktor krótkofalowiec, budujący urządzenia nadawczo-odbiorcze używa przyrządów pomiarowych najpierw do sprawdzania i testowania elementów oraz podzespołów, potem w trakcie budowy, aby ułatwić (a czasem wręcz umożliwić) uruchamianie, a na końcu dokonuje pomiarów i sprawdzenia podstawowych parametrów urządzenia.

Urządzenia nadawczo-odbiorcze budowane przez licencjonowanych krótkofalowców zwolnione są z wymogu badań tzw. homologacyjnych. Jednak muszą one spełniać podstawowe normy (elektryczne, bezpieczeństwa) i przede wszystkim nie mogą powodować zakłóceń na paśmie. Warto również po prostu sprawdzić parametry skonstruowanego urządzenia, aby potem móc porównać z innymi urządzeniami, zbudowanymi przez Kolegów, czy fabrycznymi.

Co mierzymy? Podstawowe parametry urządzeń amatorskich

Podobnie, jak urządzenia fabryczne, każde urządzenie nadawczo-odbiorcze zbudowane przez radioamatora, można scharakteryzować zestawem ściśle określonych parametrów elektrycznych.

Dla urządzenia **nadawczego** będą to następujące parametry:

- Maksymalna moc wyjściowa
- Poziom harmonicznych na wyjściu
- Tłumienie nośnej i drugiej wstęgi przy SBB
-

Natomiast dla **odbiornika** określa się zwykle:

- Czułość odbiornika lub MDS
- Zakres dynamiczny sygnałów wejściowych
- Odporność na zniekształcenia intermodulacyjne
- Liczbę IP3
-

Zarówno dla nadajnika jak i odbiornika (lub TRX-a) określa się też:

- Zakres częstotliwości
- Dopuszczalny zakres napięć zasilających
- Pobór prądu (mocy) zasilania
-

Dodatkowo mierzone są inne, bardziej szczegółowe parametry, takie jak:

- zakres dynamiczny automatycznej regulacji wzmacnienia AGC
- stabilność krótko- i długoterminowa VFO
- szerokości pasma przenoszenia filtrów
- dokładność kalibracji miernika S
- moc wyjściowa wzmacniacza m.cz. odbiornika (przy określonym obciążeniu)

Czym mierzyć? Wyposażenie pomiarowe pracowni radioamatora

Podstawowe mierniki warsztatowe

W każdej pracowni znajdują się podstawowe przyrządy pomiarowe, używane w codziennej pracy. Do najczęściej spotykanych należą: mierniki uniwersalne, częstotściomierze, oscyloskopy. Należy też pamiętać o generatorach, które choć nie są miernikami, to stanowią ważny element wykorzystywany w wielu pomiarach.

Miernik uniwersalny

Obecnie wybór tego rodzaju mierników jest ogromny – najlepiej wybrać dwa:

- prostszy (zarazem tańszy), do mniej precyzyjnych (1..2%) pomiarów napięć i prądów zasilania czy szybkiego sprawdzania elementów
- dokładniejszy (do 0.02 % na zakresach napięcia stałego) – do precyzyjnych pomiarów i kalibracji innych przyrządów

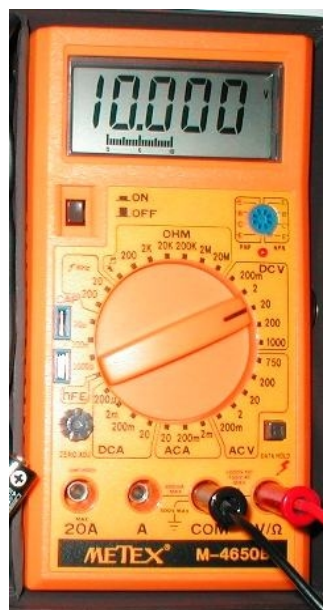
Urządzenia pierwszej grupy to powszechnie spotykane, typowe mierniki uniwersalne, których koszt nie przekracza kilkudziesięciu złotych. Można nimi mierzyć napięcia i prądy, stałe i przemienne (o niskich częstotliwościach). Zwykle umożliwiają też pomiar rezystancji, czasem pojemności, częstotliwości (w ograniczonym zakresie) a nawet impedancji. Wyposażone też są w tester diód oraz szybkie sprawdzanie przejścia (zwarcia) elektrycznego. Reprezentantem tej grupy urządzeń są np. niezłej jakości mierniki firm METEX, UNI-T czy VOLTcraft.

Przyrządów z drugiej grupy można szukać wśród markowych producentów, jak FLUKE, APPA, SANWA, a również METEX czy ESCORT. Jednak ich ceny są zdecydowanie wyższe.

Godnym polecenia, dość drogim, jak na kieszeń amatora, ale wartym swej ceny jest przyrząd PC5000 firmy SANWA. Parametry tego miernika – jako typowe dla tej grupy urządzeń zamieszczone są w Dodatkach.



UT60B



METEX M4650B

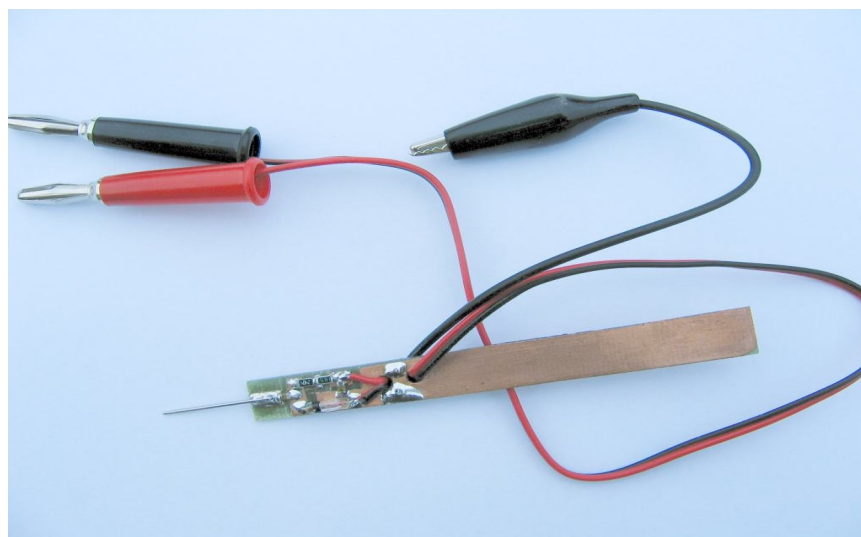


SANWA PC5000

Miernik poziomu mocy i napięcia w.cz.

Jakkolwiek amatorzy używają fabrycznych mierników mocy czy napięcia w.cz., to jednak najczęściej są to przyrządy budowane samodzielnie.

Najprostszą formą takiego przyrządu jest sonda diodowa (próbnik), dołączana do miernika napięcia stałego. Służy ona jako wskaźnik, pozwalający na stwierdzenie obecności napięcia w.cz. i oszacowanie jego poziomu. Można także wyskalować miernik napięcia stałego (na stałe lub przy pomocy tabeli) tak, aby pomiary były dokładniejsze. Przykład sondy tego typu, wykonanej w klasycznym jednodiodowym układzie (zastosowano diodę germanową typu GD507) przedstawiono poniżej:



Jednak, aby wykonywać dokładne pomiary, potrzebny jest bardziej skomplikowany przyrząd. Doskonałym detektorem używanym w tym celu, jest układ scalony **AD8307** firmy Analog Device. Jest to logarytmiczny wzmacniacz, przetwarzający napięcie w.cz. o częstotliwościach z zakresu 0..500 MHz i poziomach od -75 dBm do +17 dBm na napięcie stałe 0,2 .. 2,5 V z liniowością nie gorszą niż 1dB. Z użyciem tego układu można stosunkowo łatwo zbudować miernik poziomu mocy o dynamice do 70..80 dB.

Przykładem zastosowania AD8307 są konstrukcje OZ2CPU czy W7ZOI (zob. odnośniki w Dodatkach). Również analizatory serii NWT opracowane przez **DK3WX**, mierniki MAX Jarka **SP3SWJ** i wiele innych konstrukcji wykorzystuje ten uniwersalny detektor.



Aby pomiary wykonywane przy wykorzystaniu AD8307 były wiarygodne, należy sprawdzić wskazania przyrządu przy pomocy kalibratora, np. takiego jak opisywany dalej kalibrator **K3NHI**.

Inne przyrządy pomiarowe

Oczywiście oprócz przedstawionych powyżej najprostszych przyrządów warsztatowych używa się całej gamy innych, które są równie niezbędne :

- Miernik pojemności i indukcyjności
- Częstościomierz
- Generatory sygnałowe (stałe i przestrajane)
- Oscyloskop analogowy i cyfrowy (DSO)
- Mierniki antenowe, SWR

Ostatnią grupą przyrządów pomiarowych w pracowni radioamatora-konstruktora są zaawansowane urządzenia, których przydatność jest niewątpliwa, jednak stopień skomplikowania a także cena są duże. W tej grupie przyrządów znajdują się wszystkie analizatory (skalarne, wektorowe), różnego rodzaju wobulatory i skomplikowane, specjalizowane zestawy testowe (radiotestery). Fabryczne urządzenia tego typu są bardzo drogie, więc do radioamatorów trafiają te starsze, wycofywane z eksploatacji w profesjonalnych laboratoriach. Często można okazjnie kupić taki przyrząd – a po odnowieniu, kalibracji i uwierzytelnieniu będzie jeszcze długo służył w domowym warsztacie.

Technika komputerowa i rozwój technologii elementów pozwala również na podjęcie wyzwania samodzielnej budowy zaawansowanych przyrządów pomiarowych. Dalej przedstawiono przedstawiono najpopularniejsze opracowania analizatorów VNA/SVNA oraz analizatorów widma.

Omówienie wszystkich wymienionych urządzeń pomiarowych wykracza poza ramy tego opracowania – być może pojawi się w kolejnej rozszerzonej wersji :-)

Pomocnicze urządzenia pomiarowe

Oprócz przyrządów stricte pomiarowych, jak wymienione w poprzednich punktach, wykorzystuje się szereg urządzeń pomocniczych. Stanowią one nieodzowne uzupełnienie domowego laboratorium oraz są niezbędne przy niektórych pomiarach. Oczywiście, przyrządy pomocnicze także są produkowane przez różne firmy, ale w praktycznej działalności radioamatora są one zazwyczaj wykonywane samodzielnie.

Materiały i elementy do budowy urządzeń pomocniczych są obecnie powszechnie dostępne: zakup precyzyjnych, stabilnych rezystorów w.cz. do regulowanego tłumika, firmowych rdzeni Amidon do sprzęgacza kierunkowego czy splittera oraz innych podzespołów nie stanowi większego problemu. Jako, że przyrządy te mają zazwyczaj niewielkie wymiary, więc mogą być zamykane w typowych aluminiowych obudowach, np. firmy Hammond. Ich cena, przy wymaganych gabarytach, nie jest duża. Naturalnie, możliwe jest również samodzielne wykonanie obudów – zwykle da się dobrać odpowiednie kształtowniki aluminiowe, których oferta jest także bardzo bogata.

Dalej przedstawiono wykonania kilku **wybranych** pomocniczych przyrządów, które powinny być łatwe do zbudowania i są obowiązkowym wyposażeniem domowego laboratorium:

- Regulowany tłumik pomiarowy
- Kalibrator poziomu mocy
- Sprzęgacz kierunkowy
- Tłumik do pomiarów mocy
- Sztuczne obciążenie

Regulowany tłumik pomiarowy

Regulowane tłumiki pomiarowe (ang. step attenuator) są bodajże najwzniejszymi i najczęściej wykorzystywanymi przyrządami w praktycznych pomiarach w.cz. Szczególnie użyteczne są właśnie dla radioamatorów, a przy tym łatwe do wykonania oraz kalibracji, którą można przeprowadzić z użyciem źródła napięcia stałego i dokładnego miernika DC.

Tłumiki można wykonać się jako pojedyncze stopnie w konfiguracji PI lub T. Można je wbudować w typowe złącza BNC, uzyskując komplet o typowych, praktycznych tłumieniach. Łącząc je szeregowo, uzyskuje się żądane tłumienie. Poniżej właśnie taki zestaw w wykonaniu Leszka SP6FRE:



Tłumiki regulowane również konstruuje się w oparciu o pojedyncze stopnie PI lub T, zabudowując je w grupach, aby osiągnąć żądaną maksymalną wartość tłumienia. Jako elementy przełączające należy wybrać przełączniki o dobrej jakości i minimalnych pojemnościach międzystykowych – chociaż przy częstotliwościach krótkofalowych (do 30 MHz) także typowe przełączniki „hebelkowe” zdają egzamin.

Obliczenie wartości rezystorów poszczególnych stopni można wykonać posługując się ogólnie znanymi wzorami, lub użyć w tym celu jednego z powszechnych programów komputerowych lub kalkulatorów on-line (zob. linki w Dodatkach). Można też wykorzystać jeden z wielu schematów dostępnych w Internecie – zarówno urządzeń fabrycznych, jak i typowych konstrukcji amatorskich.

W tabeli przedstawiono wartości rezystancji elementów stopnia w konfiguracji PI dla różnych poziomów tłumienia i kilku wykonania tłumików (wartości rezystancji w omach):

	1dB		2dB		3dB		4dB		5dB		6dB		8dB		10dB		16dB		20dB			
	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S		
Elecraft	910	5,6			300	18					150	39			100	68					62	240
K7OWJ	866	5,6	436	11,5	294	17,4			178	30,1					95,3	71,5						
N1FB	910	6,2	470	12	300	18			200	33					100	75					68	270
N9ZIA-1	866	5,6	432	11,5			221	24,3					115	52,3			68,1	154	60,4	249		
N9ZIA-2	866	5,75	432	11,5			220	23,7					115	52,3								
TEORIA	869,548	5,769	436,212	11,615	292,402	17,615	220,971	23,848	178,489	30,398	150,476	37,352	116,143	52,844	92,248	71,151	68,834	153,777	61,111	247,500		
MMELF	910	5,6	453	12	300	17,4	221	23,7			154	39	115	52,3	100	68	68	150	62	240		

Wiersz TEORIA zawiera teoretyczne wartości, wyliczone z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego, natomiast wiersz MMELF – praktyczne wartości najbliższe teoretycznym z szeregu precyzyjnych 1% rezystorów w.c.z. w obudowach MMELF, firmy BEYCHLAG, które zastosowano w regulowanym tłumiku pomiarowym.

Jako przełączniki zastosowano typowe „dalekowschodnie” przełączniki DPDT. Zmierzone pojemności międzystykowe wynoszą dla tego przełącznika 0,2 .. 0,3 pF.

Obudowa tłumika jest podwójna: wewnętrzną wykonano z kawałków laminatu FR-4 o grubości 1,5 mm, zaś przegrody między sekcjami z blachy stalowej ocynowanej o grubości 0,2 mm. Zewnętrzna obudowa wykonana jest z kształtownika aluminiowego (25x45 mm, profil C) o długości 150 mm.

Boki oraz pokrywkę obudowy wykonano z blachy aluminiowej o grubości 2 mm. Do połączenia boków z profilem C użyto domowej metody „spawania” palnikiem gazowym z użyciem stopu AluWeld.

Elektrycznie tłumik stanowi 8 niezależnie włączanych stopni w konfiguracji PI o następujących wartościach tłumienia:

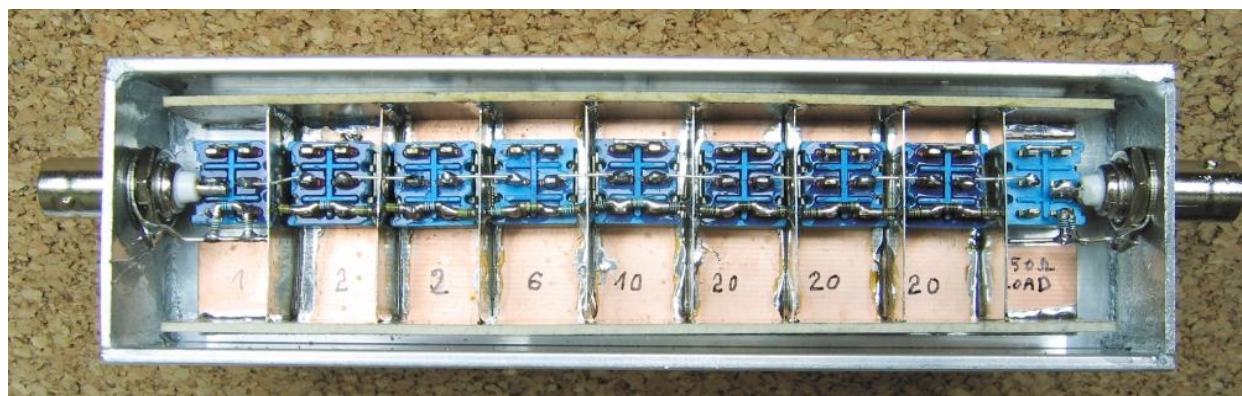
1, 2, 2, 6, 10, 20, 20, 20 [dB]

Umożliwia to ustawienie dowolnej wartości tłumienia w zakresie do 81 dB z krokiem 1 dB.

Zakres pomiarowy jest wystarczający do większości pomiarów, jedynie w niektórych przypadkach trzeba się posłużyć dodatkowymi stopniami tłumienia. Dokładność przyrządu, wynikająca z zastosowania dobrej jakości rezystorów 1% jest również zadowalająca, natomiast zmierzony SWR dla wejścia tłumika nie przekracza wartości 1:1,03 w całym zakładanym zakresie częstotliwości pracy 0..30 MHz.

Ostatni, dziewiąty przełącznik służy do odłączenia tłumika od wyjścia, załączając standardowy terminator 50 omów. Jest to pomocne przy niektórych pomiarach.

Poniżej przedstawiono szczegóły budowy tłumika:



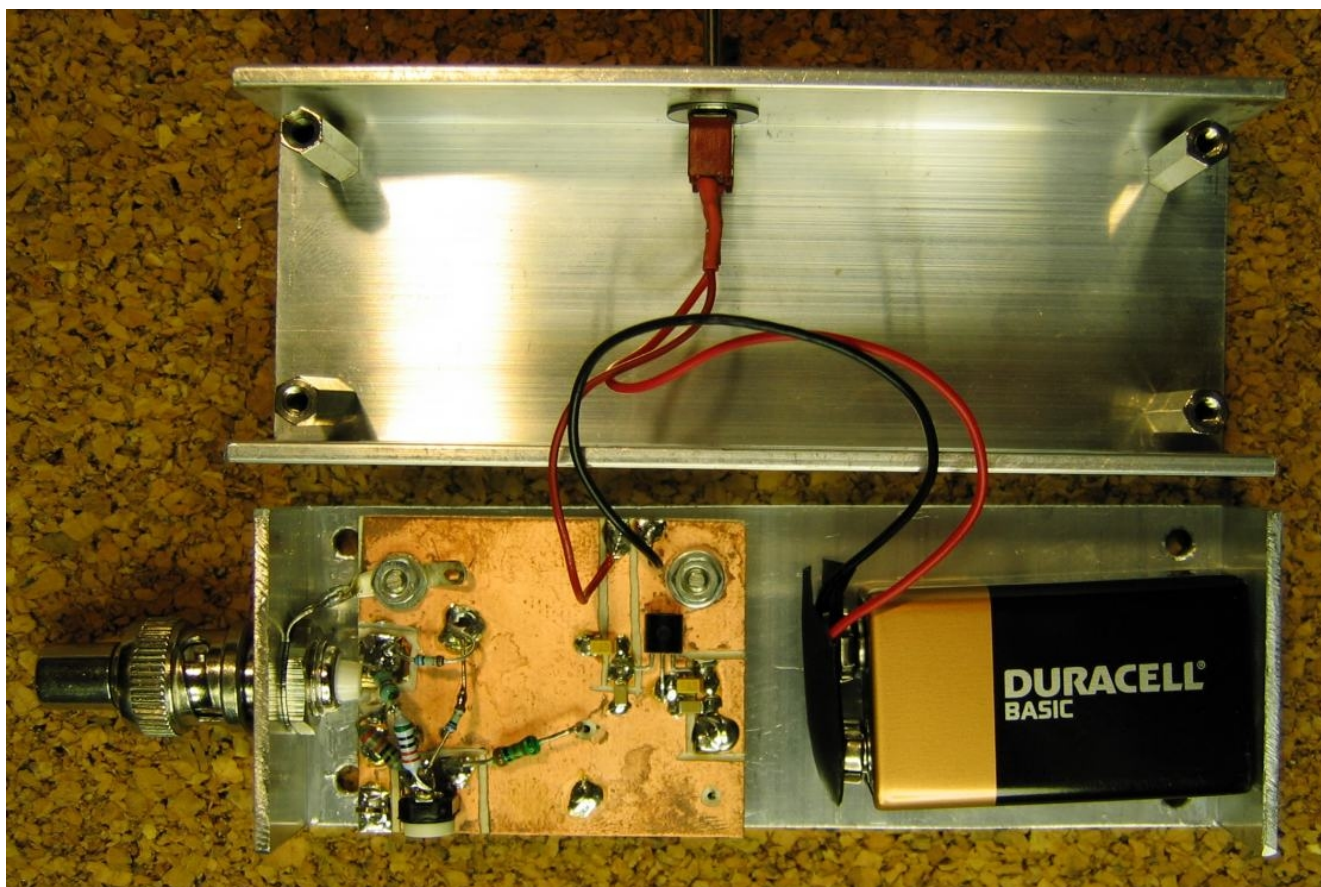
Kalibrator poziomu mocy

Kalibrator poziomu mocy jest prostym generatorem, na którego wyjściu jest sygnał przemienny (przebieg prostokątny) o ściśle określonym poziomie napięcia. Zakładając standardowe obciążenie 50 omów, można w ten sposób kalibrować poziom mocy – z precyzją wystarczającą do amatorskich pomiarów. Kalibrator zaprojektował Bob Kopski, **K3NHI**, a jego opis ukazał się w dwumiesięczniku QEX (Jan/Feb 2004)

Kalibrator został skonstruowany na bazie typowego generatora CMOS 10 MHz, stosowanego w sprzęcie komputerowym. Uzupełniony o stabilizator napięcia zasilania (z baterii 9V) oraz tłumik 20 dB na wyjściu, dostarcza określonego poziomu przebieg prostokątny, którego poziom można bardzo łatwo skalibrować precyzyjnym miernikiem napięcia stałego, jak np. SANWA PC5000.

Po zabudowaniu układu na płytce PCB i umieszczeniu w obudowie wykonanej z typowych kształtowników aluminiowych, uzyskano pożyteczny przyrząd, który posłużył do kalibrowania i uwierzytelniania innych mierników: sond wejściowych analizatorów NWT-7, NWT-500, MAX6 oraz innych, wykorzystujących układ AD8307 jako logarytmiczny wzmacniacz wejściowy. Dodatkowo przyrządem tym można sprawdzać skalibrowanie analizatorów widma, ponieważ przebieg wyjściowy jest prawie idealnie prostokątny – pozwala to z dużą dokładnością sprawdzić wskazania kolejnych nieparzystych prążków sygnału na analizatorze.

Kalibrator zmontowano techniką montażu przestrzennego na kawałku 45x30 mm dwustronnego laminatu FR-4 o grubości 1,5 mm.



Skalowanie kalibratora przeprowadza się ustawiając przy pomocy potencjometru dostrojczego, dokładnie **158 mV** w punkcie testowym:

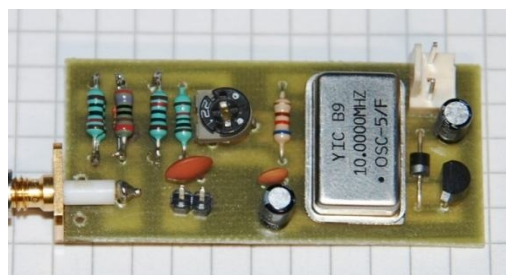


Tak dostrojony kalibrator, dostarcza na wyjściu przebieg prostokątny o napięciu $V_{pp}=31,6\text{mV}$ co pokazywane jest jako:

- **-20 dBm** na przyrządach z wejściem na AD8307
- **-23 dBm** na przyrządach, gdzie moc jest mierzona metodą termiczną
- **-24 dBm** na analizatorze widma (prążek podstawowy)

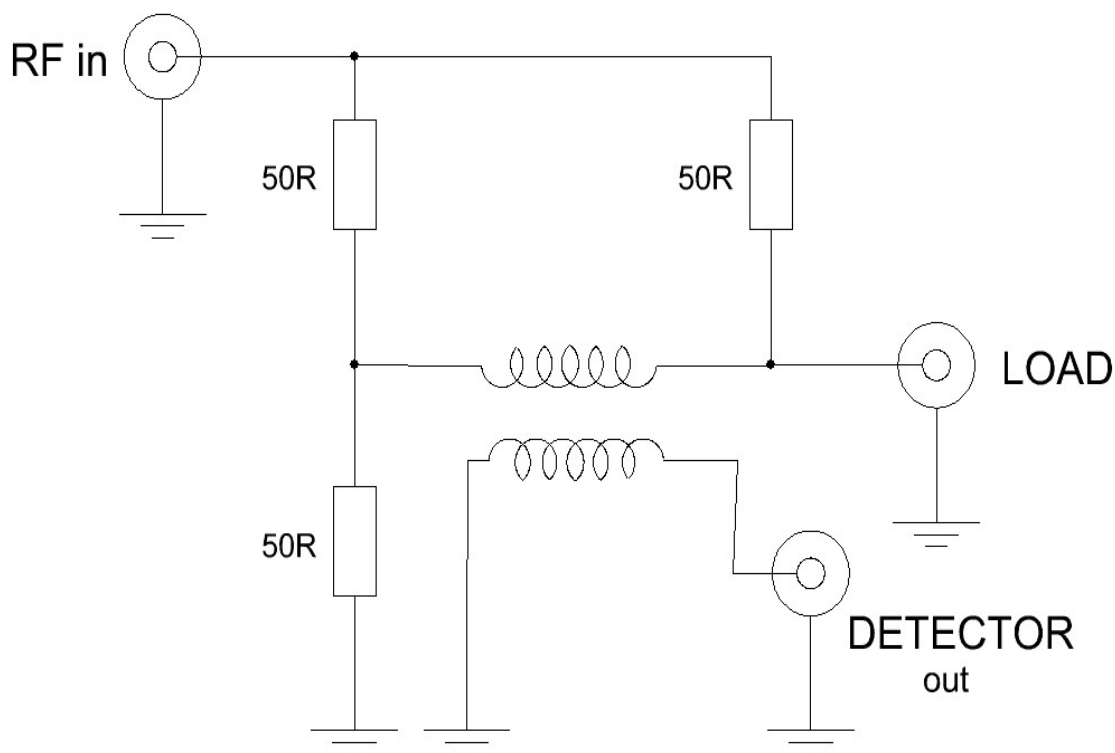
Oczywiście, jak każdy przyrząd pomiarowy, należy go co jakiś czas sprawdzać (uwierzytelnić). Jednak proces ten jest na tyle łatwy (używa się jedynie dokładnego miernika napięcia stałego), że nie jest to kłopotliwe.

Projekt można ewentualnie rozwinąć o dodatkowy automatyczny wyłącznik zasilania (np. z tranzystorem P-MOS). Zalecane jest także użycie precyzyjnego potencjometru wieloobrotowego dla dokładnego ustawienia poziomu sygnału wyjściowego kalibratora. Można także wykonać cały układ na płytce drukowanej, zamiast montażu przestrzennego. Adam **SP5FCS** zaprojektował PCB do kalibratora – projekt jest dostępny na Forum **SP-HM Group**.



Mostek pomiarowy w.cz.

Mostki pomiarowe w.cz. (ang. reflection bridge, Return-Loss bridge) działają na podobnej zasadzie, jak typowe rezystorowe mostki Wheatstona. Zasadniczym ich zastosowaniem jest pomiar impedancji. Można za ich pomocą określać współczynnik SWR, jak również użyć do sumowania sygnałów (ang. hybrid combiner).

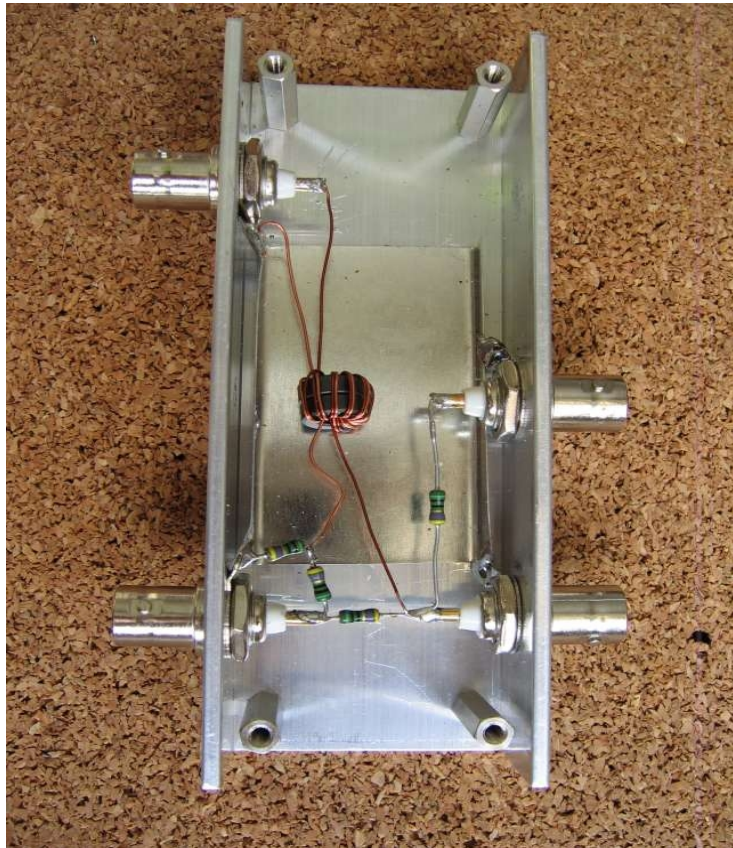


Wykonano dwa mostki pomiarowe: pierwszy jako przystawkę do analizatora NWT-500, a drugi jako przystawkę do analizatora VNA-N2PK. Oczywiście oba przyrządy mogą być używane niezależnie do innych zastosowań.

Pierwszy mostek zbudowano z rezystorów metalizowanych 50 omów, 0,6W 1%. Transformator został nawinięty bifilarnie, 9 zwojów drutem DNE 0,3 mm na rdzeniu złożonym z dwóch rdzeni Amidon T37-43, przy których osiągnięto najlepszą kierunkowość mostka (wypróbowano również rdzenie T37-77 oraz T50-61 osiągając gorsze rezultaty). Montaż wykonano techniką przestrzenną bezpośrednio na złączach BNC. Obudowa jest zrobiona z kształtowników aluminiowych (profile C: 25x45 mm oraz 25x117 mm) odpowiednio dociętych. Zewnętrzne wymiary obudowy wynoszą: 117x45x25 mm. Rozmieszczenie gniazd RF-in oraz DET jest tak dobrane, aby można było podłączyć mostek do analizatora NWT-500 za pomocą krótkich adaptorów BNC (male-male).

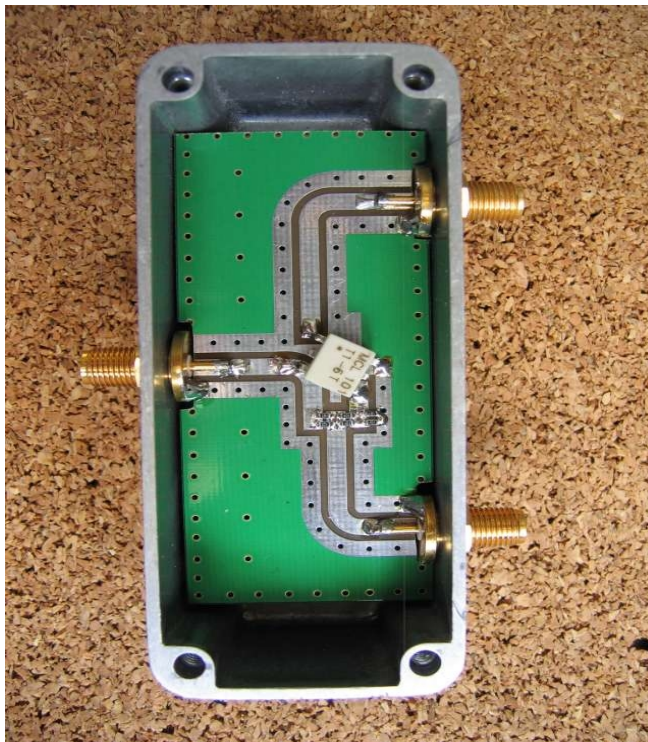
Mostek wyposażono w dodatkowe gniazdo BNC które jest połączone wewnątrz rezystorem 50 omów z gniazdem LOAD. Pozwala to na wykorzystanie oprogramowania WinNWT (autorstwa Andreasa DL4JAL) do pomiarów SWR.

Szczegóły budowy mostka pokazano na kolejnych fotografiach.



Drugi mostek wykonano na płytce PCB zaprojektowanej przez Ivana VE3IVM. Jako transformator wykorzystano gotowy podzespół T1-6T (Mini Circuits), zaś 50 omowe oporniki to 1% elementy SMD. Całość zabudowana jest w obudowie typu 1590A firmy HAMMOND i wyposażona w złącza typu SMA (female). Aby móc wykorzystywać mostek również z kablami zakończonymi wtykami BNC, mostek jest wyposażony w adaptory (przejściówki) SMA-BNC.

Szczegóły konstrukcyjne mostka:



Podstawowym parametrem charakteryzującym mostki RLB jest kierunkowość (ang. directivity). Określa ona (w dB) tłumienie sygnału od LOAD do DETECTOR, przy rezystancyjnym 50 omowym obciążeniu dołączonym do LOAD. Oczywiście parametr ten zależy od częstotliwości i dla dobrych firmowych mostków wynosi co najmniej 35 dB w całym zakresie krótkofalowym.

Wykonane mostki mają następującą kierunkowość :

Mostek T37-43

35 dB przy 1,8 MHz, 38 dB przy 3,5 MHz i nie mniej niż 40 dB dla częstotliwości 7..30 MHz.

Mostek T1-6T

co najmniej 43 dB w zakresie od 0,125 MHz

co najmniej 46 dB w zakresie 25..50 MHz

Osiągnięte parametry kierunkowości należy uznać za zadowalające.

Tłumik do pomiarów mocy

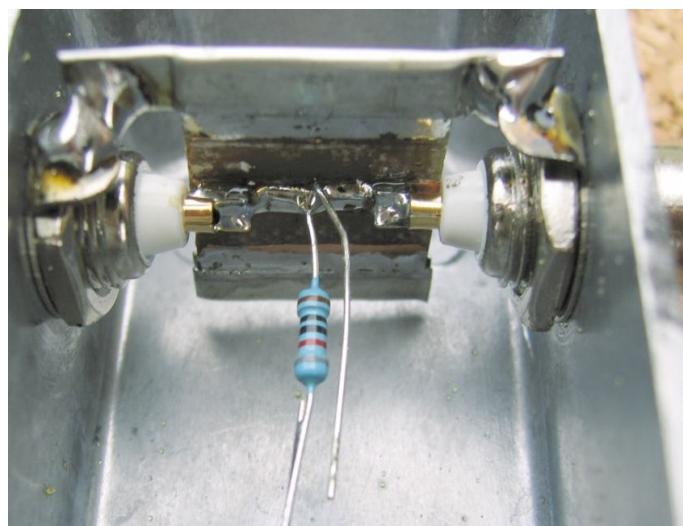
Górne ograniczenie zakresu sond wejściowych popularnych NWT-7/NWT-500 wynosi +10dBm, zaś miernik mocy OZ2CPU ma maksymalny zakres do 1W. Do pomiarów większych mocy z użyciem mierników o ograniczonym zakresie pomiarowym, konieczne jest użycie tłumików. Jednak tłumiki dużej mocy są dość drogie, więc powszechnym rozwiązaniem jest stosowanie sztucznego obciążenia uzupełnionego o odgałęźnik (ang. power tap) – rodzaj dopasowanego rezystorowego dzielnika.

Przyrząd taki poleca do swojego miernika Thomas **OZ2CPU**, a opis na podstawie którego została wykonana poniższa wersja, ukazał się w miesięczniku ARRL QST, nr 01/2001 w artykule W.Haywarda **W7ZOI** i B.Larkina **W7PUA** (zob. odnośnik w spisie Literatury na końcu).

Wykonany przyrząd obniża moc doprowadzaną do sondy wejściowej miernika mocy o 40 dB, zatem rozszerza zakres NWT-7/NWT-500 do 100W, co jest już zupełnie wystarczające w większości przypadków.

Tłumik wykonano z rezystorów metalizowanych 0,6W 1%. Zastosowano 3 * 820 omów oraz 50,1 omów. Jako obudowę wykorzystano fabryczne pudełko typu 1590A firmy HAMMOND (wymiary zewnętrzne ok. 90x30x35 mm). Zastosowano gniazda typu BNC, połączone linią paskową, która została zrobiona z kawałka (15x20 mm) dwustronnego laminatu FR-4 o grubości 0,8 mm. Obie strony laminatu połączone są na krawędziach paskami blachy ocynowanej (grubości 0,2 mm)

Poniższa fotografia przedstawia szczegóły budowy przyrządu. Odcinek drutu przy pierwszym rezystorze 820 omów stanowi pojemność kompensacyjną, którą należy dobrać (docinając) przy kalibracji. Ale nawet bez kalibracji charakterystyka częstotliwościowa przyrządu jest wyrównana w całym zakresie 0..70 MHz (zmierzony SWR jest poniżej 1:1,03).



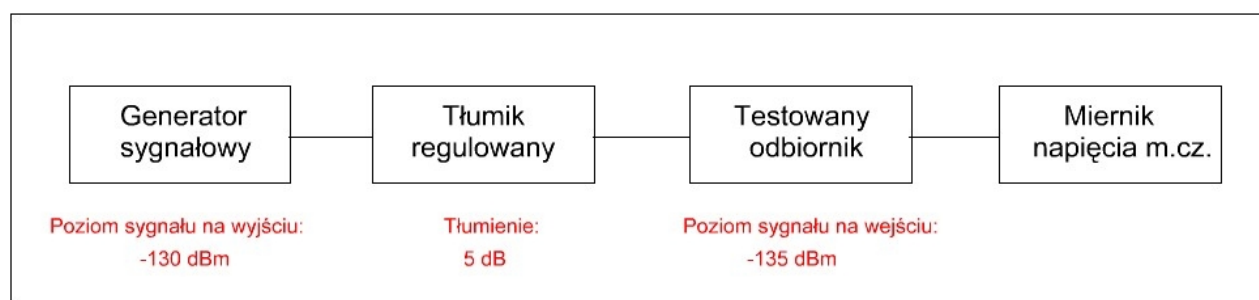
Jak mierzyć? Metody podstawowych pomiarów urządzeń N/O

Jako przykład zastosowania wykonanych przyrządów pomocniczych, przedstawiono poniżej trzy metody pomiarowe, dla wyznaczenia:

- MDS lub czułości odbiornika
- zakresu dynamicznego (współczynnika) zniekształceń intermodulacyjnych 3 rzędu
- pomiar mocy nadajnika

Pomiar MDS i czułości odbiornika

Pomiar parametru MDS (minimum detectable signal) lub czułości odbiornika wykonuje się w układzie według następującego schematu:



Sygnał z kalibrowanego generatora sygnałowego o bardzo małym poziomie podawany jest poprzez tłumik regulowany na wejście antenowe testowanego odbiornika. Na wyjście akustyczne odbiornika (głośnikowe lub słuchawkowe) dołączony jest miernik napięcia m.cz. Najpierw należy dostroić odbiornik do częstotliwości generatora, pamiętając o wcześniejszym wyłączeniu układu automatycznej regulacji wzmacnienia AGC. Następnie przy braku sygnału z generatora wyznacza się poziom napięcia m.cz. na mierniku. Jest to poziom odpowiadający poziomowi szumów własnych odbiornika (noise floor). Następnie włączamy generator i regulujemy tłumienie tak, aby poziom sygnału m.cz. był większy o 3 dB od poprzedniego. W tym momencie poziom sygnału na wejściu odbiornika określa parametr MDS.

Pomiar równie często spotykanego parametru „czułość odbiornika przy $(S+N)/N = 10$ dB” odbywa się dokładnie tak samo, tyle że zamiast 3 dB odstepu przyjmuje się 10 dB.

Pamiętać należy, że tak wyznaczony parametr MDS zależy od szerokości pasma filtra aktualnie wybranego w odbiorniku oraz od częstotliwości, dlatego zawsze podając czułość lub MDS odbiornika, należy zawsze podawać warunki, w jakich zostały zmierzone. Wynik podaje się zwykle w dBm lub μV (przyjmując standardową impedancję wejścia odbiornika 50 omów).

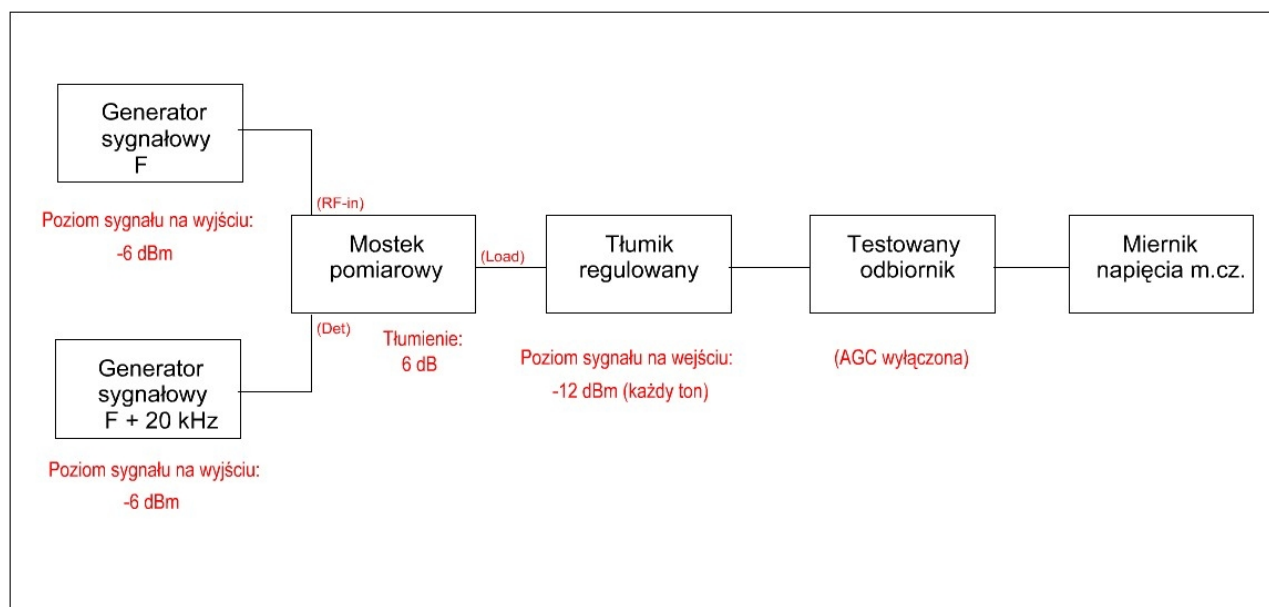
Jako kalibrowany generator sygnału w.cz. można wykorzystać dowolny, stabilny generator – oczywiście może być łatwo wykonany samodzielnie – należy tylko zapewnić jego „szczelność” radiową oraz dokładnie skalibrować, porównując z innym, już skalibrowanym. Do tego celu można wykorzystać kalibrator K3NHI oraz zestaw tłumików.

Jako miernik napięcia m.cz. może być z powodzeniem użyty komputer PC z kartą dźwiękową oraz odpowiednim programem, np. **Audiometer DG8SAQ**.

Przykładowe wartości podane na rysunku odnoszą się do rzeczywistej sytuacji dobrego, współczesnego odbiornika. Rzeczywiste pomiary dla odbiornika w amatorskiej konstrukcji Norcal NC-20 wykonane zostały z wykorzystaniem generatora sygnałowego typu PG-19 z wbudowanym tłumikiem do 110 dB (co 1 dB) oraz zewnętrznym tłumikiem regulowanym 0..80 dB Poziom sygnału z generatora był skalibrowany przez porównanie z sygnałem kalibratora K3NHI. Wyjście głośnikowe poprzez 50-omowy „feedthrough terminal” zostało połączone kablem m.cz. na wejście karty dźwiękowej w PC z uruchomionym i skalibrowanym wcześniej Audiotesterem DG8SAQ. Uzyskane wyniki pomiarów: MDS = 122 dBm zaś czułość przy (S+N)/N=10dB na poziomie -113 dBm (ok. 0.5 uV). Pomiaru dokonano na częstotliwości 14,060 MHz, zaś TRX NC-20 wyposażony jest w wąski, telegraficzny filtr kwarcowy o szerokości pasma ok. 300 Hz.

Pomiar zniekształceń intermodulacyjnych IMD

Pomiar zakresu dynamicznego zniekształceń intermodulacyjnych 3 rzędu wykonuje się w układzie według następującego schematu:



Do wykonania pomiarów potrzebne są dwa, dobrej jakości generatory dostarczające sygnały sinusoidalne s odstępem 20 kHz (stosuje się także odstęp 10 kHz, a nawet 5 kHz). Poziom obu sygnałów musi być jednakowy, ustalony na 6 dBm. Sygnały te trafiają na mostek pomiarowy (RL bridge) pracujący tutaj jako sumator sygnałów (ang. hybrid combiner). Sygnały doprowadza się do gniazd RF-in oraz DETECTOR, natomiast do gniazda LOAD podłączony jest regulowany tłumik, przez który sygnały (każdy o poziomie -12 dBm) trafiają na wejście testowanego odbiornika. Do wyjścia akustycznego odbiornika dołączony jest miernik napięcia m.cz. (albo wejście karty dźwiękowej komputera z odpowiednim programem umożliwiającym pomiary m.cz.).

Doprowadzone do odbiornika silne sygnały (-12 dBm odpowiada poziomowi S9+60dB) powodują powstawanie zniekształceń intermodulacyjnych m.in. trzeciego rzędu, tzn. jeśli np. generatory mają częstotliwości 14.040 MHz oraz 14.060 MHz, to pojawiają się sygnały na częstotliwościach 14.020 MHz oraz 14.080 MHz (ang. third-order products).

Dostrajamy odbiornik na częstotliwość jednego z sygnałów intermodulacyjnych, np. 14.020

MHz i tak ustawiamy tłumik regulowany, aby na wyjściu odbiornika dostać sygnał o 3 dB większy ponad poziom szumów. Wyznaczamy poziom zniekształceń IMD dodając odpowiednio tłumienia do poziomu sygnału z generatora – w powyższym przykładzie, jeśli ustawienie tłumika regulowanego byłoby 30 dB, to:

$$\text{IMD} = -6 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} - 30 \text{ dB} = -42 \text{ dBm}$$

Znając parametr MDS (zmierzony wcześniej) można określić zakres dynamiczny zniekształceń intermodulacyjnych 3 rzędu:

$$\text{IMD DR} = \text{MDS} - \text{IMD}$$

czyli w naszym przykładzie: $\text{IMD DR} = -135 \text{ dBm} - (-42 \text{ dBm}) = -93 \text{ dB}$

Wes W7ZOI opisuje w EMRFD nieco inny sposób wyznaczania parametru IMD DR (w tym samym układzie pomiarowym) – rezultat jest identyczny.

Pomiar mocy nadajnika

Najprostszą chyba metodą pomiaru mocy nadajnika jest dołączenie do wyjścia sztucznego obciążenia (o standardowej wartości 50 omów i odpowiedniej mocy!) i pomiar napięcia na tym obciążeniu. Do pomiaru napięcia można zastosować oscyloskop z odpowiednim zakresem częstotliwości. Oczywiście należy przeliczyć zmierzone napięcie na moc, ale obliczenia te są bardzo proste obowiązują tutaj ogólnie znane wzory:

$$P [\text{W}] = \frac{V_{\text{rms}} * V_{\text{rms}}}{R} \quad \text{oraz} \quad P [\text{W}] = \frac{V_{\text{pp}} * V_{\text{pp}}}{R}$$

Przyjmując $R=50$ omów mamy: $P [\text{mW}] = 2,5 * V_{\text{pp}} * V_{\text{pp}}$

Odczytane zatem z oscyloskopu napięcie międzyszczytowe wystarczy podnieść do kwadratu i pomnożyć 2,5 raza, aby obliczyć moc w miliwatach. Poniższa tabela przedstawia wartość mocy odpowiadającą wybranym wartościom napięcia V_{pp} .

$V_{\text{pp}}[\text{V}]$	10	14	20	35	45	65	100	140	200
$P[\text{W}]$	0,25	0,5	1	3	5	10	25	50	100

Mając do dyspozycji miernik mocy z sondą wejściową na układzie AD8307 (wzmacniacz logarytmiczny firmy Analog Devices) nie można użyć go bezpośrednio w miejsce oscyloskopu, ponieważ mierniki te mają zazwyczaj ograniczony górny zakres pomiarowy. Należy wtedy użyć opisywanego wcześniej **tłumika-odgałęźnika** (power tap), który obniży poziom o 40 dB i umożliwi sonda miernika NWT-7/NWT-500 bezpośredni pomiar mocy do 100W. Poniższa fotografia przedstawia zestawiony układ pomiarowy z wykorzystaniem fabrycznego sztucznego obciążenia 50 omów dużej mocy, tłumika-odgałęźnika oraz miernika NWT-500 wykorzystanego jako miernik poziomu mocy.

Dodatki

Tabele

1. Tabela zamiany dBm – uV
2. Tabela zamiany RL - VSWR
3. Parametry miernika SANWA PC5000

Literatura

W.Hayward W7ZOI, R.Campbell KK7B, B.Larkin W7PUA, *Experimental Methods in RF Design*, ARRL, 2003

The ARRL Handbook 2007, ARRL 2006

Wes Hayward W7ZOI, Bob Larkin W7PUA, *Simple RF-Power Measurement*, ARRL QST, 01/2001

Bob Kopski K3NHI, *A Simple RF Power Calibrator*, ARRL QEX, Jun/Feb 2004

J.Rydzewski, *Pomiary oscyloskopowe*, WNT 1994

EP – oscyloskop cyfrowy

W.Biekietow, K.Charczenko, *Pomiary, badanie i regulacja anten amatorskich*, WKŁ 1974

Odnośniki w Internecie

<http://sp-hm.pl/index.php> - SP - Home Made Group

<http://www.webx.dk/oz2cpu/radios/miliwatt.htm> – Miernik mocy OZ2CPU

<http://www.dk3wx-grp.homepage.t-online.de/> - Analizatory NWT i inne konstrukcje DK3WX

http://www.makarov.ca/vna_bridge_0703.htm – Reflection Bridge VE2IVM