

część 1

# Analizator widma 70MHz

Jednym z wielu przydatnych przyrządów pomiarowych w pracowni radioamatora jest analizator widma. Opisane poniżej urządzenie jest prostą, a zarazem łatwą do zrealizowania konstrukcją, która umożliwia pomiary układów w dziedzinie częstotliwości, szczególnie znakomicie ułatwia strojenie i badanie stopni przemiany częstotliwości oraz wzmacniaczy, w tym także wzmacniaczy mocy (PA).

Analizator widma wyświetla informacje o widmie, czyli sile sygnału w funkcji częstotliwości i jest niezmiernie użyteczny przy badaniach wszelkich układów radiowych, gdzie istotna jest wiedza o harmonicznym przenoszonym sygnału, przenikaniu heterodyny itp. Niestety, koszt profesjonalnego analizatora widma leży poza możliwościami finansowymi zdecydowanej większości radioamatorów. W Internecie opublikowano szereg konstrukcji, które mogą być samodzielnie zrealizowane w warunkach amatorskich. Są to opracowania o różnym stopniu skomplikowania i zakresie nakładów finansowych – różne są też parametry techniczne, w szczególności pasmo częstotliwości roboczych. Jedną z najlepszych amatorskich konstrukcji analizatora widma jest bez wątpienia układ, który zaprojektował i wykonał Matjaž Vidmar, S53MV. Jego konstrukcja wymaga jednak dużego nakładu pracy i sporego doświadczenia w uruchamianiu układów w.c.z., tym samym nie jest łatwa do powielenia.

Prezentowany poniżej układ analizatora wyróżnia jedna zasadnicza cecha: nie ma tutaj żadnego elementu strojonego czy dobieranego! Wszystkie zastosowane elementy filtrujące i dopasowujące są niestrojonymi cewkami SMD lub przewlekany albo też filtrami ceramicznymi, kwarcowymi oraz filtrami z falą powierzchniową (SAW). Zastosowanie tych elementów ogromnie upraszcza urucha-

## Parametry elektryczne analizatora widma SQ4AVS

Przystawka do NWT500 lub NWT200 (program WinNWT)	
Pasmo częstotliwości mierzonych	100kHz...72MHz
Maks. poziom sygnału wejściowego	-10dBm
Zakres dynamiczny	około 60dB
	(lepsza z układem NWT 200)
Min poziom oscylatora lokalnego	0dBm
	(wymagana korekcja tłumikiem, by zapewnić wymagany poziom wysterowania układu AD831)
Filtry rozdzielczości	300kHz, 15kHz
Filtr wideo	wąski, szeroki, wyłączony
Zasilanie +12V stab. / 0,3 A	

mianie układu. Tego typu niestrojone elementy wykorzystuje się także powszechnie w rozwiązaniach profesjonalnych, gdyż umożliwia to automatyzację produkcji i zmniejsza koszt jednostkowy urządzenia. W zastosowaniach amatorskich pozwala natomiast na łatwe odwzorowanie przez średnio zaawansowanych radioamatorów. Proponowany układ jest przystawką do popularnego wśród radioamatorów analizatora obwodów (wobuloskopu) NWT500, może również współpracować z NWT200. Przyjęta koncepcja budowy pozwoliła na maksymalne uproszczenie układu przy zachowaniu niezłych parametrów przyrządu.

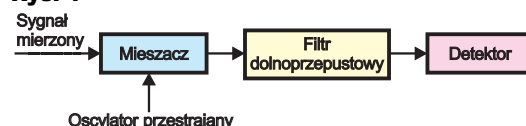
## Historia i dzień dzisiejszy

Pierwowzorem analizatora widma był mikrowoltomierz selektywny. Urządzenie to było w zasadzie zwykłym odbiornikiem radiowym bez automatycznej regulacji wzmocnienia, ale za to ze starannie skalibrowanym miernikiem poziomu sygnału. Posługiwanie się tym przyrządem było kłopotliwe i pracochłonne, ponieważ wymagało ręcznego przestrajania częstotliwości i oddzielnego odczytywania siły każdego mierzonych sygnału. Po podłączeniu mikrowoltomierza selektywnego do oscyloskopu oraz zsynchronizowaniu podstawy czasu z częstotliwością

przestrajanej heterodyny, otrzymano analizator widma, który pozwalał w szybki sposób zorientować się nie tylko w sile mierzonych sygnałów, ale także w ich częstotliwości. W pierwszych analizatorach używano lampy oscyloskopowej do zobrazowania częstotliwości i siły mierzonego sygnału. Wraz z rozwojem techniki procesorowej, coraz częściej funkcję obrazującą zaczął pełnić monitor komputera. Zastosowanie komputera ułatwia nie tylko precyzyjny odczyt częstotliwości, lecz również dokumentację wyników pomiaru w postaci np. plików typu PDF lub nawet obrazów z ekranu. W przypadku pierwszych analizatorów widma do dokumentacji wyników pomiarów służył aparat fotograficzny wraz ze specjalną przystawką.

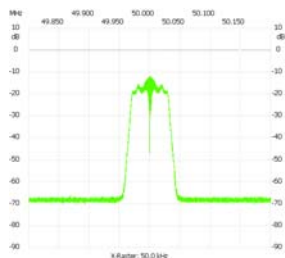
## Rozwiązania układowe

Obecnie w praktyce amatorskiej stosuje się dwa zasadnicze rozwiązania analizatorów widma: pierwsze – polegające na zastosowaniu bezpośredniej przemiany częstotliwości, oraz drugie – gdzie używa się podwójnej lub potrójnej przemiany częstotliwości, przy czym najpierw jest wykonywana przemiana „w górę”. Pierwsza metoda polega na zastosowaniu pojedynczego mieszacza częstotliwości, wyodrębnieniu różnicowego produktu mieszania w filtrze dolnoprzepustowym, który następnie poddaje się detekcji, jak pokazano na **rysunku 1**. Cechą charakterystyczną tego typu układów w przypadku stosowania sprzężenia pojemnościowego po mieszaczu jest występowanie w widmie sygnału charakterystycznego wgłębienia dla częstotliwości

**Rys. 1**

NIT 4 Linux & Windows 28 grudnia 2009, 12:29

Start Frequency: 49.80000 MHz; Final Frequency: 50.19920 MHz  
Step size: 0.040 MHz; measurement: 9999

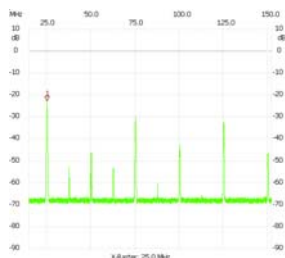


Kanal 2  
min: -11.8948 50.0011609MHz  
max: -70.1288 50.1776909MHz

Rys. 2

NIT 4 Linux & Windows 28 grudnia 2009, 11:53

Start Frequency: 14.800000 MHz; Final Frequency: 152.80254 MHz  
Step size: 13.723 MHz; measurement: 9999



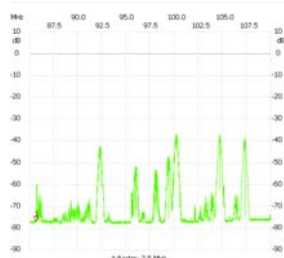
Kanal 1  
min: 25.037358 MHz  
max: 22.9288 MHz

Kanal 2  
min: -21.5649 25.0099129MHz  
max: -70.1288 18.2170279MHz

Rys. 3

NIT 4 Linux & Windows 28 grudnia 2009, 1:21

Start Frequency: 92.300000 MHz; Final Frequency: 98.884000 MHz  
Step size: 2.000 MHz; measurement: 8888



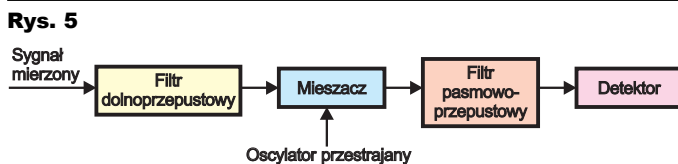
Kanal 1  
min: 92.315000 MHz  
max: 92.315000 MHz

Kanal 2  
min: 92.315000 MHz  
max: 92.315000 MHz

Rys. 4

dokładnie równej częstotliwości mierzonej. Wgłębienie powstaje, gdy produkt mieszania jest napięciem stałym lub sygnałem o bardzo małej częstotliwości, dla którego reakcja kondensatora sprzęgającego jest bardzo duża. Dla małych częstotliwości zdudnienia w tym układzie bardzo wyraźnie rosną szumy. Wcięcie w widmie może co prawda służyć do bardzo dokładnego określenia częstotliwości mierzonej, jednak zwiększenie szumów zwiększa błąd pomiarów amplitudy (rysunek 2). W układzie tym każdy sygnał możemy odebrać dwukrotnie: pierwszy raz, gdy częstotliwość mierzona jest większa od częstotliwości odbieranej, a drugi raz – gdy jest mniejsza, np. częstotliwość 1kHz, przy częstotliwości mierzonej 4000kHz uzyskamy, gdy częstotliwość oscylatora będzie wyższa o 1kHz od częstotliwości mierzonej (wyniesie 4001kHz) oraz gdy będzie mniejsza od częstotliwości mierzonej o 1kHz (3999kHz). Dodatkowo w układach z bezpośrednią przemianą częstotliwości, w przypadku zawartości w sygnale lokalnego oscylatora harmonicznym, otrzymamy zafalszowane wyniki pomiarów – sytuacja taka pokazana jest na rysunku 3. Mierzony był sygnał prostokątny o współczynniku wypełnienia 50%. Z rozwinięcia szeregu Fouriera wiadomo, że sygnał taki powinien zawierać wyłącznie nieparzyste harmoniczne. Widzimy na rysunku 3 wyraźnie, że faktycznie tak jest: sygnałami o największej mocy są rzeczywiście sygnały 25MHz (sygnał podstawowy), 75MHz (trzecia harmoniczna) i 125MHz (piąta harmoniczna). Stosunkowo wysoki poziom parzystych harmonicznym wynika z nieidealnej symetrii mierzonego sygnału 25MHz. Potwierdza to proste doświadczenie:

Rys. 5



F mierzone < F dolnoprzepustowego

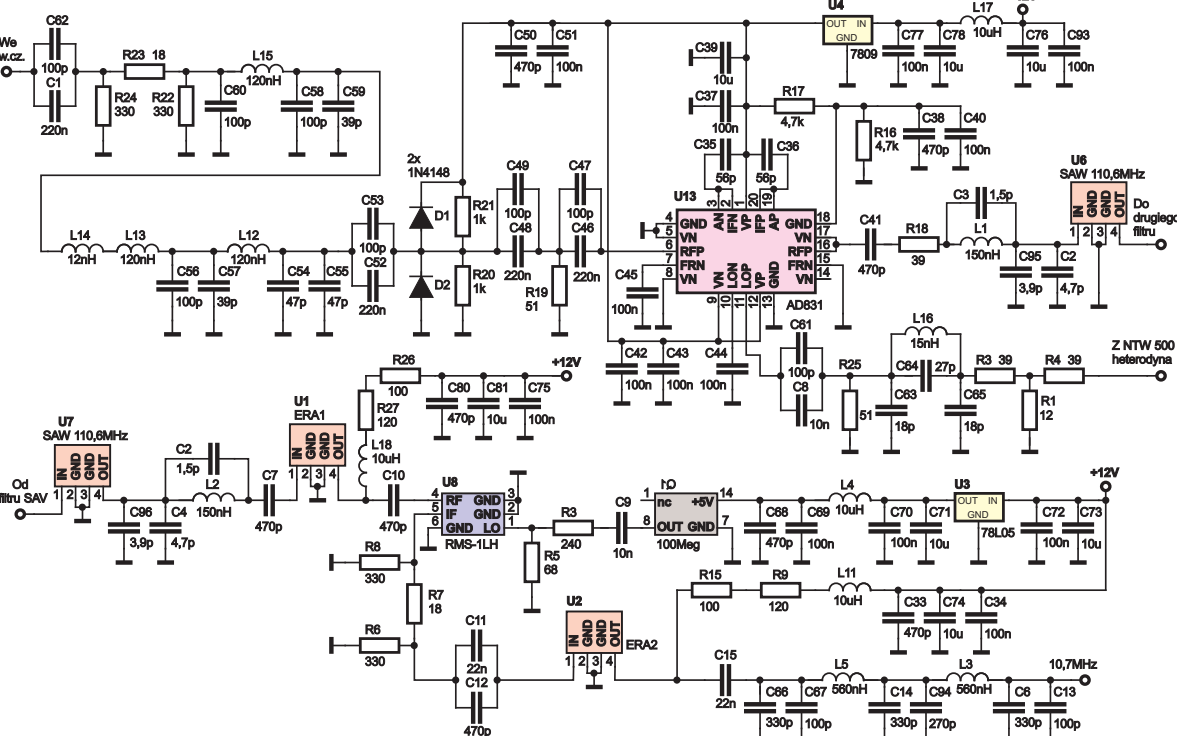
po zmniejszeniu częstotliwości taktującej przesyłki, siła parzystych harmonicznym znacznie spada, a zatem za brak idealnej symetrii sygnału mierzonego w rzeczywistości odpowiadały skończone czasy propagacji przesyłki. Na pierwszy rzut oka nie można jednak w żaden sensowny sposób wyjaśnić pochodzenia sygnałów o częstotliwościach równych połowie wielokrotności częstotliwości mierzonej 25MHz. Jednak już proste wyliczenia pozwalają łatwo znaleźć przyczynę: są to wielokrotności częstotliwości oscylatora przestrajanego i częstotliwości mierzonej! W opisywanym przypadku sygnału 32,5MHz jest to druga harmoniczna oscylatora (75MHz) i trzecia harmoniczna sygnału mierzonego 25MHz. Mimo swoich ograniczeń układ z bezpośrednią przemianą pozwolił

np. na pomiar widma UKF, jak pokazano na rysunku 4 (sygnał o częstotliwości 92,3MHz jest częstotliwością programu I Polskiego Radia w Białymstoku) – jednakże, ze względu na wymienione wcześniej wady, taki układ analizatora jest stosowany rzadko – raczej jako pierwszy krok do bardziej zaawansowanej konstrukcji. Znacznie częściej w analizatorach widmach stosowane są układy z przemianą częstotliwości „w górę”. Schemat blokowy takiego układu pokazano na rysunku 5. Działanie tego układu zostanie wyjaśnione na przykładzie: w układzie z częstotliwością pośrednią 100MHz oraz częstotliwością heterodyny 80MHz mogliśmy odebrać sygnał 20MHz (20 + 80 = 100), jak również 180MHz (180 – 80 = 100). Zastosowanie na wejściu prostego filtra dolnoprzepustowego o częstotliwości niższej od częstotliwości pośredniej usuwa drugi z produktów mieszania. Niestety, jako że charakterystyka filtrów dolnoprzepustowych nigdy nie jest idealnie stroma, trzeba zachować rozsądny odstęp pomiędzy maksymalną częstotliwością mierzoną a częstotliwością pośrednią.

## Opis układu

Moduł przemiany częstotliwości przedstawiony jest na rysunku 6, a moduł filtrów 10,7MHz z detektorem na rysunku 7.

Rys. 6

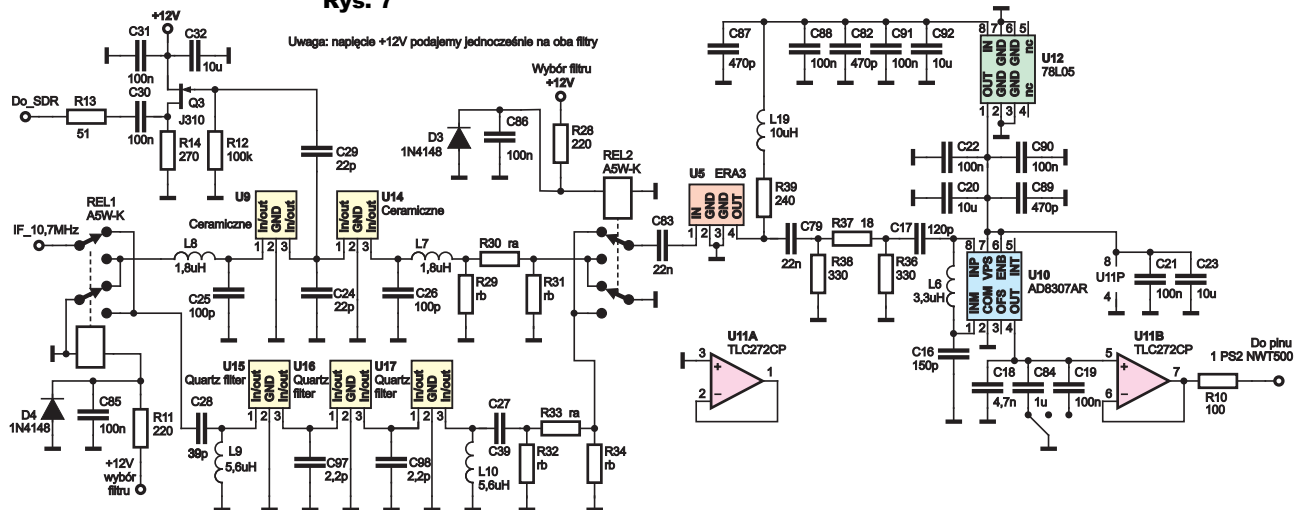


Opisywany poniżej układ jest odbiornikiem z podwójną przemianą częstotliwości o paśmie pracy 72MHz i jest wersją o znacznie poprawionych parametrach układu publikowanego na <http://sites.google.com/site/sq4avs2/analizatorwidmanwt2>. Pierwsza częstotliwość pośrednia wynosi 110,7MHz. Zastosowano tutaj filtry z falą powierzchniową (SAW) o częstotliwości środkowej 110,6MHz i szerokości przepuszczonego pasma ponad 1,5MHz. Druga częstotliwość pośrednia wynosi 10,7MHz i w niej zapewniana jest właściwa selektywność układu. Problemem, który wymusza zastosowanie drugiej przemiany częstotliwości, są trudności wykonania filtrów o wąskich pasmach na częstotliwość 110,7MHz. W torze drugiej przemiany pracują filtry o szerokości pasma 300kHz (ceramiczne) i 15kHz (kwarcowe). Sygnał mierzony podawany jest przez tłumik 3dB na filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 72MHz, a następnie przechodzi na mieszacz AD831. Wybór układu mieszacza jest nieprzypadkowy, albowiem AD831 charakteryzuje się bardzo dużą liniowością przemiany, a tym samym odpornością na modulację skrośną. Przy zerowym wzmacnieniu, parametr IP3+, mówiący o odporności skrośnej (niewrażliwości na przesterowanie), wynosi +24dBm, co jest wartością naprawdę dużą. Dodatkową zaletą zastosowanego mieszacza jest bardzo niski poziom sygnału wymaganego doysterowania mieszacza (zaledwie -10dBm, co znakomicie ułatwia ekranowanie) oraz brak konieczności starannego dopasowania mieszacza (co jest koniecznością w przypadku mieszaczy diodowych). Wejście mieszacza zabezpieczone jest za pomocą diod typu 1N4148, mniejszy poziom ograniczania przez diody można uzyskać zasilając układ polaryzujący diody (R20, R21) z niższego napięcia (dodając np. dodatkowy stabilizator scalony). Rezystory 51Ω występujące w układzie zapewniają zachowanie w niewrażliwych punktach typowej rezystancji 50Ω. Na wejściu sygnału heterodyny zastosowany jest filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia około 220MHz. Właściwy poziom sygnału w.c. oscylatora zapewnia tłumik typu T. Zbyt duży poziom heterodyny powod o w a ł b y wzrost mocy niepożądan ych produktów mieszania. Pasma wyjściowe mieszacza ograniczone jest za pomocą kondensatorów

C35, C36 o wartości 56pF. Wartości kondensatorów ograniczających pasmo mieszacza wyliczono według noty aplikacyjnej producenta. Zastosowany mieszacz aktywny pobiera dość duży prąd (typowo 100mA) i jest wyraźnie ciepły podczas pracy; jest to zjawisko normalne i nie powinno budzić żadnych obaw. Rezystancja wyjściowa tego mieszacza wynosi kilkanaście omów i połączona jest z rezystancją szeregową 39Ω, co daje rezystancję wyjściową na poziomie około 50Ω, a tym samym ułatwia dopasowanie do znormalizowanej impedancji. W układzie dopasowania filtru SAW zastosowano obwody typu L. Przyjęte rozwiązanie jest bardzo proste, a jednocześnie wyjątkowo skuteczne. W celu poprawy selektywności, w układzie zastosowano dwa filtry SAW połączone szeregowo. Tłumienie zespołu filtrów SAW wraz z rezystorem dopasowującym wynosi od 8 do 11dB. Sygnał po filtrach SAW wzmacniany jest o około 10dB we wzmacniaczu MMIC typu ERA1. Układy MMIC są monolitycznymi wzmacniaczami w.c. o impedancjach wejścia i wyjścia zbliżonych do 50Ω w szerokim paśmie pracy. Wzmacniacze MMIC mają cztery wyprowadzenia: wejście, wyjście (które jest jednocześnie wejściem zasilającym: zasilanie odbywa się przez szeregowo połączony opornik z dławikiem) oraz dwa wyprowadzenia masy. Zastosowanie dwóch wyprowadzeń masy ma na celu zachowanie jak najmniejszej indukcyjności połączenia z masą na wysokich częstotliwościach, a tym samym poszerza pasmo pracy wzmacniacza. Układy MMIC pracują nawet do 8–10GHz, w zależności od typu. Wzmocniony sygnał o częstotliwości 110,7MHz podawany jest procesowi przemiany częstotliwości w mieszaczu diodowym o zdecydowanie mniejszej odporności na przesterowanie niż zastosowany na wejściu układ AD831. Użyty mieszacz diodowy jest mieszaczem niskopoziomowym. Większą odporność na przesterowanie mają mieszacze wysokopoziomowe, jednak wymagają one oscylatora o większej mocy. Wymagania stawiane drugiemu mieszaczowi są jednak znacznie mniejsze,

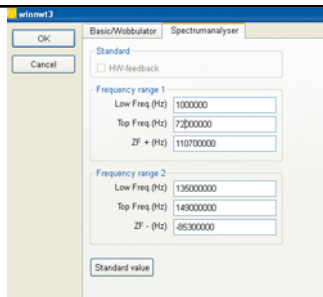
ze względu na znacznie ograniczone pasmo pracy przez filtr SAW. Tłumienie przemiany mieszacza diodowego wynosi około 6dB. Sygnał wejściowy 110,7MHz mieszany jest z sygnałem 100MHz. W układzie wykorzystany jest produkt różnicowy 10,7MHz. Sygnał 100MHz uzyskiwany jest z typowego generatora typu TTL, a właściwy poziomysterowania mieszacza zapewnia dzielnik napięcia 240Ω/68Ω. Zapewnia on również dopasowanie impedancji mieszacza od strony wejścia oscylatora. Nie należy obawiać się sterowania mieszacza sygnałem prostokątnym, gdyż diody w każdym mieszaczu diodowym pracują jak klucze i same z siebie ograniczają sygnał oscylatora. Sygnał z wyjścia mieszacza, po przejściu przez tłumik, jest kierowany na kolejny układ MMIC, który wzmacnia zarówno produkt różnicowy, jak i sumacyjny mieszania, a jednocześnie zachowuje impedancję 50Ω. Widać tutaj, że mieszacze diodowe wymagają dużo bardziej starannego dopasowania niż mieszacze aktywne. Wzmocniony sygnał z wyjścia mieszacza, zawierający produkty mieszania (10,7MHz i 210,7MHz), przechodzi na filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia około 13MHz, który usuwa produkt sumacyjny mieszania (210,7MHz). Sygnał o częstotliwości 10,7MHz kierowany jest na jeden z dwóch filtrów pasmowych o częstotliwości środkowej 10,7MHz. Zastosowane filtry mają różne pasmo robocze. Pierwszy z tych filtrów ma pasmo 300kHz i wykorzystuje typowe filtry ceramiczne z odbiorników radiowych. W układzie tym nie należy stosować starszych filtrów polskiej produkcji typu FCM10,7 tylko nowsze np. typu QCF10M7, ponieważ filtry nowszej generacji mają mniejsze tłumienie w paśmie przepustowym i większe w paśmie zaporowym. W filtrze wąskim zastosowano filtry trójkońcówkowe, pochodzące z rozbiórki filtrów kwarcowych stosowanych w polskich radiotelefonach bazowych UKF. Można tu jednak wykorzystać dowolne inne filtry kwarcowe w obudowie HC49. W układzie należy zastosować trzy takie same filtry połączone

Rys. 7





szeregowo. Małe pojemności pomiędzy filtrami 2–3pF zapewniają równomierną charakterystykę w całym paśmie filtru bez zbyt dużych zafalowań. Dopasowanie filtrów zrealizowane jest tak, jak wcześniej filtrów SAW, za pomocą obwodów typu L. Impedancja filtrów ceramicznych wynosi 330Ω, natomiast filtrów kwarcowych około 2,5kΩ. Pomiędzy filtrami szerokopasmowymi umieszczony został wtórnik źródłowy, który umożliwia wyprowadzenie sygnału 10,7MHz na zewnątrz i podłączenie np. do odbiornika SDR – w ten prosty sposób uzyskamy skaner radiowy o paśmie 72MHz lub analizator widma o dużej rozdzielczości. Za pomocą algorytmów FFT można bez większego problemu uzyskać rozdzielczość częstotliwościową analizatora na poziomie pojedynczych herców. Po filtrach umieszczone są tłumiki typu PI (Π) – ich zadaniem jest wyrównanie wzmocnień w obu torach filtrów tak, aby układ pokazywał jednakowy poziom sygnału w.cz., niezależnie od wybranego filtra. Wybrany tłumik można złożyć z dwóch elementów połączonych równolegle, co pozwala uzyskać precyzyjnie wyliczone



Rys. 8

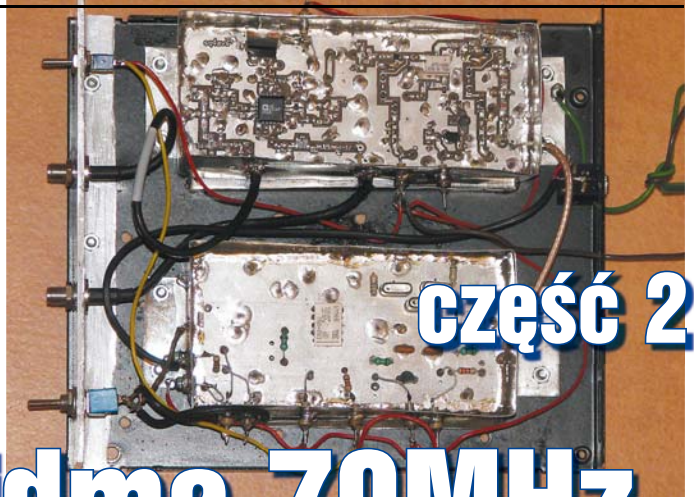
wartości tłumienia. Wartości elementów tłumika można obliczyć np. za pomocą programu QUCS. W konstrukcji modelowej tłumik w torze z filtrem szerokim okazał się niepotrzebny (w miejsce rezystora szeregowego tłumika wlotowo opornik 0Ω i nie lutowano oporników równoległych do masy). Natomiast w filtrze wąskopasmowym ustalone zostało tłumienie 6dB (zależy od posiadanych filtrów). Jest to sytuacja typowa, jako że tłumienie filtrów kwarcowych w paśmie przepustowym jest znacznie mniejsze niż filtrów piezoceramicznych. Do wyboru filtrów użyte zostały przełączniki 5V polaryzowane, prąd cewek przełącznika ograniczony jest za pomocą rezystorów 220Ω. Filtr aktualnie nieużywany jest zwierany do masy, co zmniejsza przenikanie sygnałów przez pojemności pasożytnicze styków przełącznika. Sygnał po przejściu przez jeden z filtrów drugiej przemiany częstotliwości wzmocniany jest we wzmacniaczu MMIC typu ERA3, a następnie poddawany detekcji w scalonym detektorze sygnału w.cz. typu AD8307. Rezystancja wejściowa układu AD8307 wynosi około 1kΩ. Dopasowanie między układem ERA3 a układem AD8307 zrealizowane jest za pomocą obwodu LC. Rozwiązanie takie w stosunku do układu z

dopasowaniem rezystorowym za pomocą rezystora 51Ω przynosi zysk ponad 10dB, a jednocześnie zmniejsza wrażliwość na sygnały zakłócające. Zastosowany obwód dopasowujący działa jak filtr. Układ AD8307 zasilany jest z napięcia +5V przez stabilizator typu 78L05. Sygnał z wyjścia detektora filtrowany jest w tzw. filtrze wideo. Stała czasowa tego filtru zależy od wartości kondensatora podłączonego aktualnie do masy (przy zastosowaniu przełącznika 3-pozycyjnego, można wybrać jeden z dwóch kondensatorów, albo wyłączyć filtr). Sygnał z wyjścia detektora AD8307 buforowany jest we wzmacniaczu operacyjnym typu TLC272. Zaletą tego wzmacniacza jest fakt, że może dawać sygnały wyjściowe bliskie poziomowi masy. Konfigurację oprogramowania sterującego pracą analizatora przedstawia **rysunek 8**. Konfiguracji oprogramowania dokonuje się w zakładce Setting, Option. Podczas pomiarów wybieramy jako kanał pomiarowy zewnętrzną sondę na AD8307. Kalibrację z sygnałem wzorcowym przeprowadza się za pomocą opcji display shift.

Za miesiąc, w drugiej części artykułu zostaną podane ważne wskazówki dotyczące prawidłowego montażu i użytkowania przyrządu.

**Rafał Orodziński SQ4AVS**  
sq4avs@gmail.com

R E K L A M A



# Analizator widma 70MHz

## Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy modułu przemiany częstotliwości przedstawiony jest na **rysunkach 9a** (górna warstwa) i **9b** (dolna warstwa), a modułu filtrów 10,7MHz z detektorem na **rysunkach 10a** (górna warstwa) i **10b** (dolna warstwa).

Układ zmontowany poprawnie ze sprawnych elementów, zasilony napięciem stabilizowanym +12 V powinien pracować od razu i nie wymaga żadnego uruchomienia. Jedyną czynnością, jaką możemy wykonać kontrolnie, jest zbadanie charakterystyk filtrów zastosowanych w układzie, dobór poziomu heterodyny i poprawność napięć stałych. W układzie trzeba zwrócić szczególną uwagę na jak najlepsze ekranowanie obu modułów (modułu przemiany częstotliwości i modułu filtrów 10,7MHz z detektorem). Wymagane jest zamknięcie każdego z nich w oddzielnej puszcze z blachy. W urządzeniu modelowym ekrany zostały wykonane z blachy stalowej ocynowanej o grubości 0,4mm (blacha do pieczenia ciasta niekarbowana). Połączenia między modułami wykonano za pomocą cienkiego kabla ekranowanego. Kondensatory połączone równolegle 220nF i 100pF w torze w.c.z. montowane są na sobie na tzw. kanapkę. Pod spodem montowany jest zawsze kon-

densator o mniejszej pojemności. Montując mieszacz diodowy, należy zwrócić uwagę na fakt, że kropką oznaczone jest wyprowadzenie 6, a nie wyprowadzenie 1, jak to jest zazwyczaj. Układ wymaga oddzielnego zasilacza, niż układ wobuloskopu NWT, a to ze względu na zasilanie układu NWT przez mostek Graetza i związane z tym różnice w potencjałach mas obu urządzeń. Kondensatory filtru wideo podłączone są do zewnętrznego przełącznika, umieszczonego na płycie czołowej urządzenia za pomocą kabla ekranowanego m.c.z. Złe ekranowanie w.c.z. zmniejsza zakres dynamiczny analizatora. Otwory pod wzmacniaczami MMIC należy wypełnić roztopioną cyną. Całość układu wykonana jest na laminacie szklano-epoksydowym o grubości 0,8mm. Duża liczba przelotek pomiędzy dolną a górną warstwą masy minimalizuje przenikanie sygnału przez pojemności pasozytne. Zasilanie układu powinno być doprowadzone poprzez kondensatory przepustowe – w przypadku ich braku mogą być zastąpione izolowanym przewodem przechodzącym przez cienką rurkę miedzianą

lub jakikolwiek element, który pozwoli poprowadzić przewód zasilający do środka układu i nie wywoła zwarcia. Jako złącza wykorzystano gniazda SMA – wynika to z faktu, że są one standardem, które autor stosuje w swoich urządzeniach. Można oczywiście wykorzystać także typowe gniazda BNC-50.

NWT 4 Linux & Windows 28 grudnia 2009, 11:52

Start Frequency: 14.800000 MHz, Final Frequency: 152.002504 MHz  
Step size: 13.723 kHz, Measurements: 9999

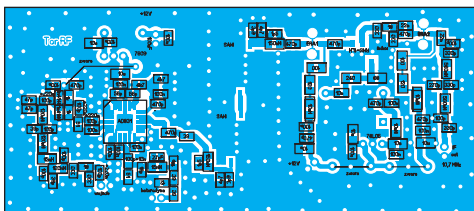


Kursor 1:  
25.03750 MHz  
Kanal2: -17.110 dB  
Kursor 2:  
max: -14.6008 25.009129 MHz  
min: -69.7468 16.0076249 MHz

Rys. 11

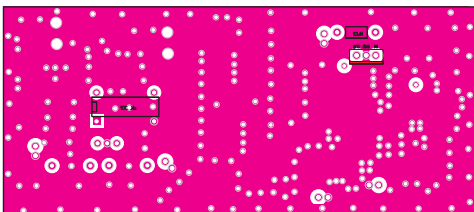
## Pomiary

Bardzo ważne jest, aby podczas pomiarów poziom mierzonego sygnału w.c.z. nie był zbyt duży, gdyż spowoduje to przesterowanie mieszacza i powstawanie produktów intermodulacyjnych. Sytuację taką pokazano na **rysunku 11**, gdzie jedynymi sygnałami mierzonymi powinny być nieparzyste wielokrotności sygnału 25MHz. Pojawienie się sygnałów, których nie ma normalnie w widmie sygnału mierzonego, wynika z nieliniowości działania mieszacza. Maksymalny mierzony poziom sygnału to około -10dBm. Większe sygnały nie powinny być mierzone. Poziom sygnału najprościej można obniżyć za pomocą tłumika o regulowanym tłumieniu. Jest to istotne, ponieważ mimo zabezpieczeń podanie zdecydowanie zbyt silnego sygnału może nawet doprowadzić do uszkodzenia pierwszego mieszacza (AD831). Podczas pomiarów należy pamiętać, że zastosowanie węższego filtra daje więcej informacji o mierzonym sygnale i preferowane jest w przypadku badania widma w węższym zakresie częstotliwości. Stosowanie szerokiego filtra jest wskazane w przypadku pomiaru zawartości harmonicznych i produktów mieszania, gdy sygnały odległe są o kilka MHz. Czas

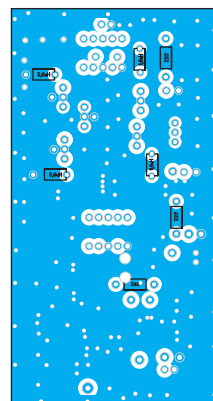


Rys. 9a Skala 50%

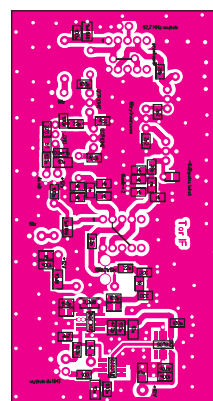
Rys. 9b Skala 50%



Rys. 10a



Rys. 10b Skala 50%



skanowania powinien być dłuższy dla węższych filtrów niż dla szerszych i w programie WinNWT regulowany jest przez liczbę próbek. Zastosowanie szybkiego przemiatania widma przy jednoczesnym załączeniu filtra wąskopasmowego powoduje zafalszowanie wyników pomiarów, które są zaniżane – zjawisko to nosi nazwę odczulania i występuje również w profesjonalnych analizatorach widma. Filtr wideo zmniejsza „zaszumienie” sygnału mierzzonego. Im wolniejszy czas skanowania, tym węższy filtr wideo możemy zastosować. Należy przy tym pamiętać, że zbyt wąski filtr wideo również zaniży wyniki pomiarów.

Dynamika przyrządu ograniczona jest sygnałami niepożądanymi, które powstają w LO syntezera DDS przyrządu NWT500 i wynosi około 60dB, co jest wartością w wielu zastosowaniach całkowicie wystarczającą.

Większość elementów nietypowych, jak mieszacz diodowy czy wzmacniacze MMIC, została pozyskana z używanych modułów dostępnych na giełdach i serwisach aukcyjnych. Układy te można też kupić w sklepach internetowych, a ich cena wynosi od kilku (wzmacniacze MMIC) do kilkunastu złotych za sztukę (mieszacze diodowe). Zastosowane wzmacniacze MMIC można zastąpić innymi po korekcji opornika redukującego napięcie zasilania. Dobierając inny typ układu, należy kierować się wartościami wzmocnienia i punktem kompresji jednodesybelowej.

Widoczne na fotografii modelu niewielkie różnice w porównaniu ze schematem wynikają z modyfikacji układu. Szereg cennych wskazówek o tym układzie dostępnych jest na forum grupy SP-HomeMade (<http://sp-hm.pl/>) – tam też można zadać pytania Kolegom, którzy wcześniej zbudowali ten użyteczny przyrząd.

## Wyposażenie dodatkowe

W celu pełnego wykorzystania analizatora widma warto wyposażyć go w dwa dodatkowe układy: regulowany tłumik oraz wzmacniacz wyjściowy. Układy te mogą być wykonane również jako samodzielne urządzenia – na pewno będą bardzo przydatne w pracowni każdego radioamatora.

## Tłumik regulowany

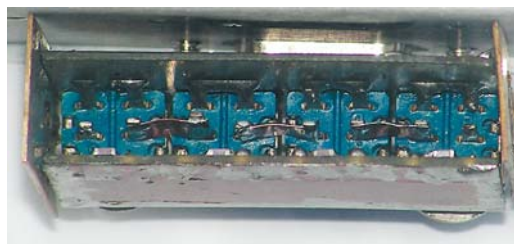
Opisany poniżej tłumik umożliwia regulację poziomu sygnału w.cz. z jednoczesnym zachowaniem dopasowania impedancyjnego. Impedancja wejścia i wyjścia tłumika wynosi 50Ω, co jest powszechnym standardem w technice w.cz. Układ oparty jest na rozwiązaniu Matyja Vidmara S53MV. W tym projekcie na szczególną uwagę zasługują przede wszystkim bardzo przemyślana konstrukcja mechaniczna. W analizatorze widma wykorzystana jest wersja tłumika 4\*10dB. W dalszej części opisu pokazano rozwiązanie bardziej

uniwersalne, które umożliwia zbudowanie układu z tłumieniem aż do 131dB regulowanym co 1dB. Moim zdaniem każdy, kto zajmuje się techniką w.cz., powinien mieć co najmniej dwa takie układy. Maksymalny poziom mocy, jaki można dostarczyć do proponowanego tłumika, wynosi 200mW i ograniczony jest przez moc strat zastosowanych elementów (rezystory 0805), natomiast pasmo pracy wynosi 500MHz. Większe moce można mierzyć z użyciem np. sprzęgacza kierunkowego (ang. *directional coupler*) albo dodatkowego tłumika wstępnego o większej dopuszczalnej mocy strat. Nasz tłumik może być wykorzystany nie tylko w analizatorze widma, ale też np. w generatorze do regulacji poziomu sygnału wyjściowego, pomiarów czułości odbiornika czy parametrów MDS, IP3 – zastosowań jest bardzo wiele. Funkcję przełączników pełnią typowe, a przy tym tanie, miniaturowe przełączniki bistabilne z dwoma parami styków. Ich końcówki muszą być dobrze oczyszczone i pocynowane przed montażem, gdyż późniejsza wymiana jest utrudniona, zaś zbyt długie grzanie niepocynowanych wstępnie wypro-

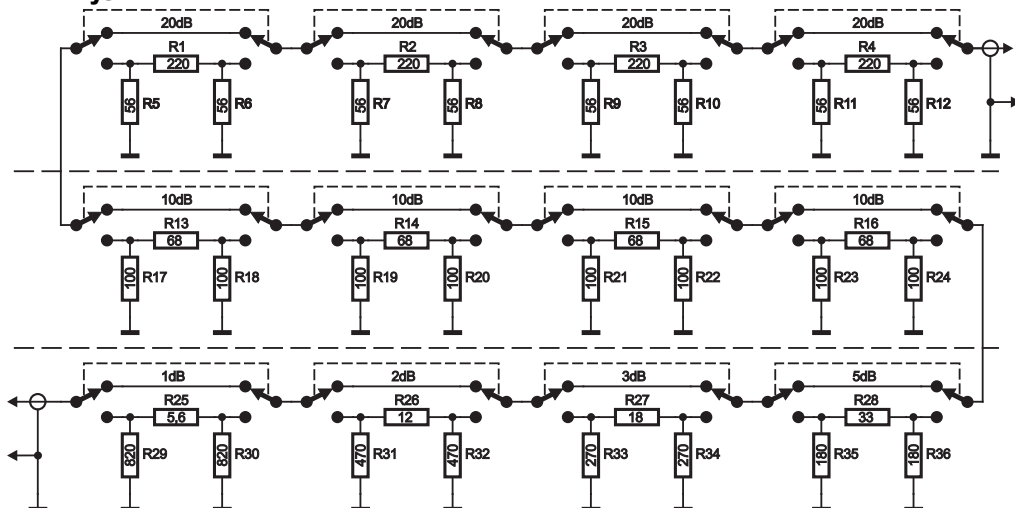


Fot. 1

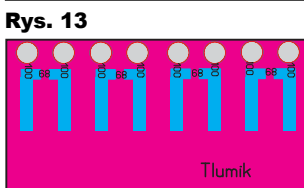
Fot. 2



Rys. 14



Rys. 12

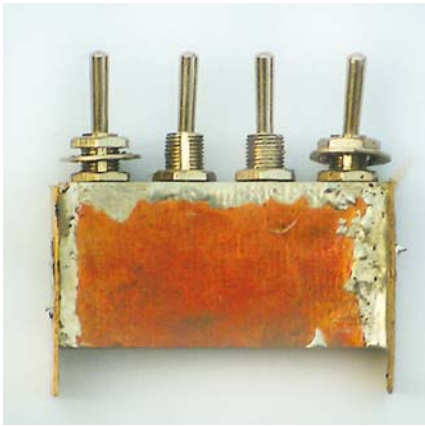


Rys. 13

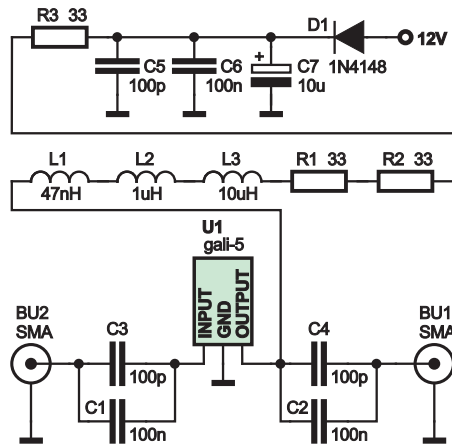
sek, a jedynie pocynowane ścieżki i metalizację otworów. Schemat tłumika w wersji o tłumieniu 131dB pokazano na rysunku 14. Układ składa się z trzech szeregowo połączonych sekcji po cztery tłumiki (4\*20dB), (4\*10dB) oraz (1, 2, 3 i 5dB), co umożliwia nastawienie dowolnej wartości tłumienia w zakresie od 1dB do 131dB. Konstrukcja każdej z sekcji jest identyczna – tłumiki różnią się jedynie wartościami zastosowanych elementów. Nastawiony poziom tłumienia jest sumą załączonych poszczególnych tłumików. Przy prostocie układu elektronicznego układ wymaga kilku nieskomplikowanych prac mechanicznych: szczegóły konstrukcji przedstawione są na fotografiach 1-5. Widoczne na fotografiach 1 i 2 połączenia środkowych par styków wykonane są oryginalnie z czterech równoległych połączonych odcinków drutu srebrzonego o średnicy 0,5mm i długości około 7,5mm. Do przylutowania kawałków srebrzanki niezbędna jest pęseta. W swoim tłumiku zastosowałem połączenie z kawałka folii miedzianej. Jest to rozwiązanie trochę lepiej pracujące powyżej 1GHz. Lutowanie należy prowadzić

na tyle szybko, aby nie uszkodzić przełączników. Nóżki przełącznika są wygięte tak, żeby dotykały ścieżek na płycie. Duże otwory na płycie z rezystorami wypełnione są roztopioną cyną, co zapewnia małą indukcyjność połączenia z masą rezystorów tłumika. Widoczne na fotografii ele-





Fot. 3



Rys. 15

menty „nalutowane” na opornikach – to kondensatory kompensujące, które rozszerzają zakres pracy tłumika do 2GHz – nie są w tym rozwiązaniu niezbędne (1pF). Kabel doprowadzający sygnał wchodzi na środkowy styk przełącznika przez otwór wykonany w bocznej ścianie tłumika (fotografia 4). Przewód przylutowany jest bezpośrednio do tłumika po odizolowaniu oplo-



Fot. 4

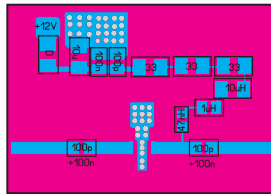
tu, jak pokazano na fotografii 5. Układ powinien mieć jeszcze ekran z przodu (w miej-



Fot. 5

nie wygięte profile. Na ekrany tłumika użyto blach mosiężnych o grubości 0,5mm. Blachę

Rys. 16



scu montowania nakrętek przełączników), wycięty z kawałka blachy mosiężnej i połączony (poprzez lutownię) z resztą obudowy tłumika. Jak pokazuje praktyka, prościej jest wycinać proste kawałki blachy i lutować je, niż wykonywać odpowied-

nią można bez najmniejszego problemu ciąć ostrymi nożycami. Aby uzyskać duże wartości tłumienia, należy łączyć tłumiki szeregowo, lutując je bokami. Tył obudowy tłumika należy ekranować folią miedzianą, łącząc górną i dolną stronę tłumika. Ekranowanie tłumika należy wykonać jako ostatnią czynność. Na kable sygnałowe należy nałożyć pierścienki ferrytowe, żeby wyeliminować przepływ prądów w.cz. przez ekran kabla. Jako złącza wejściowe i wyjściowe najlepiej zastosować SMA. Cały układ należy dodatkowo umieścić w obudowie ekranowanej. Pokazane na rysunkach montażowych wartości elementów dotyczą tłumika w wersji 4\*10dB. Więcej fotografii przedstawiających budowę oraz połączenie kilku sekcji w jeden tłumik o większym tłumieniu można znaleźć na stronie <http://lea.hamradio.si/~s53mv/dds/attenuator.html>.

### Wzmacniacz wejściowy

Mierząc sygnał za pomocą analizatora widma, spotykamy się również z sytuacją gdy poziom sygnału wejściowego jest zbyt mały. Rozwiązaniem jest wtedy zastosowanie zewnętrznego wzmacniacza. Impedancja wejścia i wyjścia opisanego wzmacniacza wynosi 50Ω. Schemat ideowy układu pokazany jest na rysunku 15, a montażowy – na rysunku 16. W układzie wykorzystano specjalizowane układy scalone firmy Mini-Circuits serii GALI. W opisanym urządzeniu wykorzystano wzmacniacz GALI-5. Cena układu GALI-5 na Allegro to wydatek rzędu 10zł za sztukę. Zastosowany wzmacniacz ma wzmocnienie zmieniające się

w zakresie od 22dB przy częstotliwości 1MHz do 19,5dB przy częstotliwości 1GHz (wzmocnienia wyraźnie spada wraz ze wzrostem częstotliwości wzmacnianego sygnału). Tłumienie odbicia na wejściu wzmacniacza wynosi typowo 20dB, zaś na wyjściu około 15dB, co jest wartością bardzo dobrą (układ jest dobrze dopasowany na wejściu i wyjściu do impedancji 50Ω). Wzmacniacz jest również bezwarunkowo stabilny. Punkt kompresji 1dB zastosowanego wzmacniacza wynosi 18dBm, tzn. wzmacniacz ograniczy swe wzmocnienie o 1dB względem znacznie słabszych sygnałów wejściowych przy mocy wyjściowej 18dBm (około 60mW). W praktyce, z tego wzmacniacza można uzyskać bez widocznych zniekształceń moc ok. 20mW. Niestety, tak duża odporność na przesterowanie wzmacniacza okupiona jest znacznym poborem prądu, sięgającym do 65mA. Poziom szumów wzmacniacza wynosi 3,5dB w całym zakresie częstotliwości pracy, co jest całkiem niezłą wartością, jak na tak szerokopasmowy wzmacniacz. Wzmacniacz zbudowany jest na płycie z laminatu szklano-epoksydowego FR-4 o grubości 0,8mm. Duża liczba zastosowanych przelotek zapewnia odpowiednio niską impedancję masy dla w.c.z. i odprowadzanie ciepła ze wzmacniacza w.c.z.. Zasilanie wzmacniacza odbywa się przez szeregowe połączenie rezystory o rozmiarze 1206 i dławiki o różnych wartościach indukcyjności. Taka kombinacja zastosowanych elementów umożliwia odsprężenie układu w szerokim zakresie częstotliwości. Sygnały wejściowe i wyjściowe odsprężane są kombinacją równoległe połączonych kondensatorów 100pF typu NP0 w obudowie 0805 i 100nF typu Z5U w obudowie 1206. Na spodzie montowany jest kondensator 100pF, a na nim lutowany jest jeszcze jeden kondensator rozmiaru 1206. Taka kombinacja elementów zapewnia bardzo szerokopasmową pracę całości. Istnieją co prawda specjalne, pracujące szerokopasmowo kondensatory (w zakresie np. od setek kHz do 20GHz), ale ich cena przekracza 20 zł za sztukę! Zastosowana dioda zabezpiecza układ przed odwrotnym podłączeniem zasilania i uszkodzeniem wzmacniacza GALI. Układy tego typu stosowałem wielokrotnie w swoich konstrukcjach i zawsze z powodzeniem. W przeciwieństwie do starszych serii układów wzmacniaczy szerokopasmowych (np. ERA), układy GALI są znacznie bardziej odporne na uszkodzenia. Również ten układ warto zbudować niezależnie od analizatora widma, w liczbie 2-3 sztuk, gdyż przyda się on również np. w pomiarach sygnałów małej mocy, czy też podczas różnych eksperymentów, w sytuacji gdy potrzebne jest dodatkowe wzmocnienie sygnału. W przypadku szeregowego łączenia wzmacniaczy warto poszczególne stopnie rozdzielić tłumikiem o tłumieniu ok. 3dB, co zapobiega możliwości wzbudzenia szeregowo połączonych wzmacniaczy. W układzie można zastosować również inne wzmacniacze serii GALI – w tym wypadku zmianie ulegnie wartość oporników

redukujących napięcie zasilania, otrzymamy też inne wzmocnienie układu i poziom kompresji jednodocybelowej (odporność na przesterowanie). Szczegółowe dane, łącznie z wartością opornika redukującego, znajdziemy w karcie katalogowej wybranego elementu. Wszystkie nowoczesne elementy półprzewodnikowe w.c.z. są wrażliwe na wyładowania statyczne i powinny być lutowane z zachowaniem odpowiednich środków ostrożności, za pomocą lutownicy oporowej (grzałkowej) z uziemionym grotiem. Lutując wzmacniacz GALI, należy pamiętać, że środkowe wyprowadzenie powinno być dokładnie przylutowane do masy. Układ warto zamknąć w ekranującej obudowie, zaś jako złącza zastosować gniazda SMA. W opisanych powyżej układach nie należy zmieniać grubości laminatu, gdyż wpływa to na impedancję ścieżek sygnałowych.

Chciałbym podziękować Kolegom: **Waldkowi 3Z6AEF, Zenkowi SP3JBI,**

**Jarkowi SP4XYD, Markowi SP4RUG i Krzysztofowi SP6NXI,** za cenne uwagi podczas pracy nad analizatorem, a także firmie Alfine za nieodpłatne przekazanie układów firmy Analog Devices wykorzystanych w tym projekcie.

**Rafał Orodziński SQ4AVS**  
sq4avs@gmail.com

Odnośniki:

Analizator widma SP8BAI, „Świat Radio” 10/2009, 11/2009

<http://lea.hamradio.si/~s53mv/spectana/sa.html>

<http://lea.hamradio.si/~s53mv/dds/attenuator.html>

<http://lea.hamradio.si/~s53mv/spectana/tg.html>

Spektrumanalizator – Vorsatz FA – SAV zum FA – Netzwerktester (5,6) 2009  
Funkamateurlist:  
[http://www.minicircuits.com/pages/s-params/GALI-5+\\_VIEW.pdf](http://www.minicircuits.com/pages/s-params/GALI-5+_VIEW.pdf)

## Wykaz elementów

### Analizator widma

#### Rezystory

Uwaga: wszystkie zastosowane elementy, jeśli nie zaznaczono inaczej, są typu 0805

R1	.....	12Ω
R2,R4,R18	.....	39Ω
R3	.....	240Ω (1206)
R5	.....	68Ω
R7,R23,R37	.....	18Ω
R8,R6,R22,R24,R36,R38	.....	330Ω
R9,R27	.....	120Ω
R10	.....	100Ω
R11,R28	.....	220Ω przewlekany
R12	.....	100kΩ
R13,R19,R25	.....	51Ω
R14	.....	270Ω
R15,R26	.....	100Ω (obudowa 1206)
R16,R17	.....	4,7kΩ
R20,R21	.....	1kΩ
R29,R31,R32,R34	.....	rb (patrz tekst)
R30,R33	.....	ra (patrz tekst)
R39	.....	240Ω przewlekany

#### Kondensatory

C1,C46,C48,C52	.....	220nF
C2,C4	.....	4,7pF
C3,C5	.....	1,5pF
C6,C14,C66	.....	330pF
C7,C10,C12,C33,C38,C41,C50,C68,C80,C82,C87,C89	.....	470pF
C8,C9	.....	10nF
C97,C98	.....	2,2pF
C11,C15,C79,C83	.....	22nF
C13,C25,C26,C47,C49,C53,C56,C58,C60-C62,C67	.....	100pF
C16	.....	150pF
C17	.....	120pF
C18	.....	4,7nF

C19..... 100nFL9,L10..... 5,6μH przewlekany

C20,C23,C32,C39,C71,C73,C74,C76,C78,C81,C92..... 10μF L4,L11,L18,L19..... 10μH (1206)

L17..... 10μH przewlekany

(16V, 1206 lub obudowa B -można użyć również tantalowych)

C21,C22,C30,C31,C34,C37,C40,C42

-C45,C51,C69,C70,C72,C75,C77,C8

5,C86,C88,C90,C91,C93..... 100nF

C24,C29..... 22pF

C27,C28,C57,C59..... 39pF

C35,C36..... 56pF

C54,C55..... 47pF

C63,C65..... 18pF

C64..... 27pF

C84..... 1μF

C94..... 270pF

C95,C96..... 3,9pF

**Półprzewodniki**

D1-D4..... 1N4148 (0805)

U1..... ERA1

U2..... ERA2

U3..... 78L05

U4..... 7809

U5..... ERA3

U10..... AD8307AR (SOIC)

U11..... TLC272

U12..... 78L05 (SOIC)

U13..... AD831

Q1..... 100MHz generator TTL

Q3..... J310

U8..... RMS-1LH

**Indukcyjne**

L14..... 12nH (1008)

L16..... 15nH (1008)

L12,L13,L15..... 1 2 0 n H (1008)

L1,L2..... 150nH (1008)

L3,L5..... 560nH (1008)

L7,L8..... 1,8μH przewlekany

L6..... 3,3μH (1008)

#### Filtry

U6,U7..... SAW -110,6MHz

U9,U14... ceramiczne np. QCF10M7

U15,U16,U17..... kwarcowe

obudowa HC49U (patrz tekst)

#### Tłumik regulowany

**Rezystory 0805**

R1-R4..... 220Ω

R5-R12..... 56Ω

R13-R16..... 68Ω

R17-R24..... 100Ω

R25..... 5,6Ω

R26..... 12Ω

R27..... 18Ω

R29,R30..... 820Ω

R31,R32..... 470Ω

R33,R34..... 270Ω

R35,R36..... 180Ω

#### Wzmacniacz wejściowy

**Rezystory**

R1-R3..... 33Ω1206

#### Kondensatory

C1,C2..... 100nF 1206, Z5U

C3-C5..... 100pF 0805, NP0

C6..... 100nF 0805, X7R

C7..... 10μF/25V ceramiczny 1206

(można również użyć kondensatora tantalowego)

#### Półprzewodniki

D1..... 1N4148 (MiniMELF)

U1..... GALI-5

#### Indukcyjne

L1..... 47nH 0603

L2..... 1μH 0805

L3..... 10μH 1206

#### Złącza

BU1,BU2..... SMA

Płytki drukowane są dostępne w sieci handlowej AVT jako kit szkolny:

**AVT2939/1 – Analizator widma, AVT2939/2 – Tłumik regulowany, AVT2939/3 – Wzmacniacz wejściowy.**