

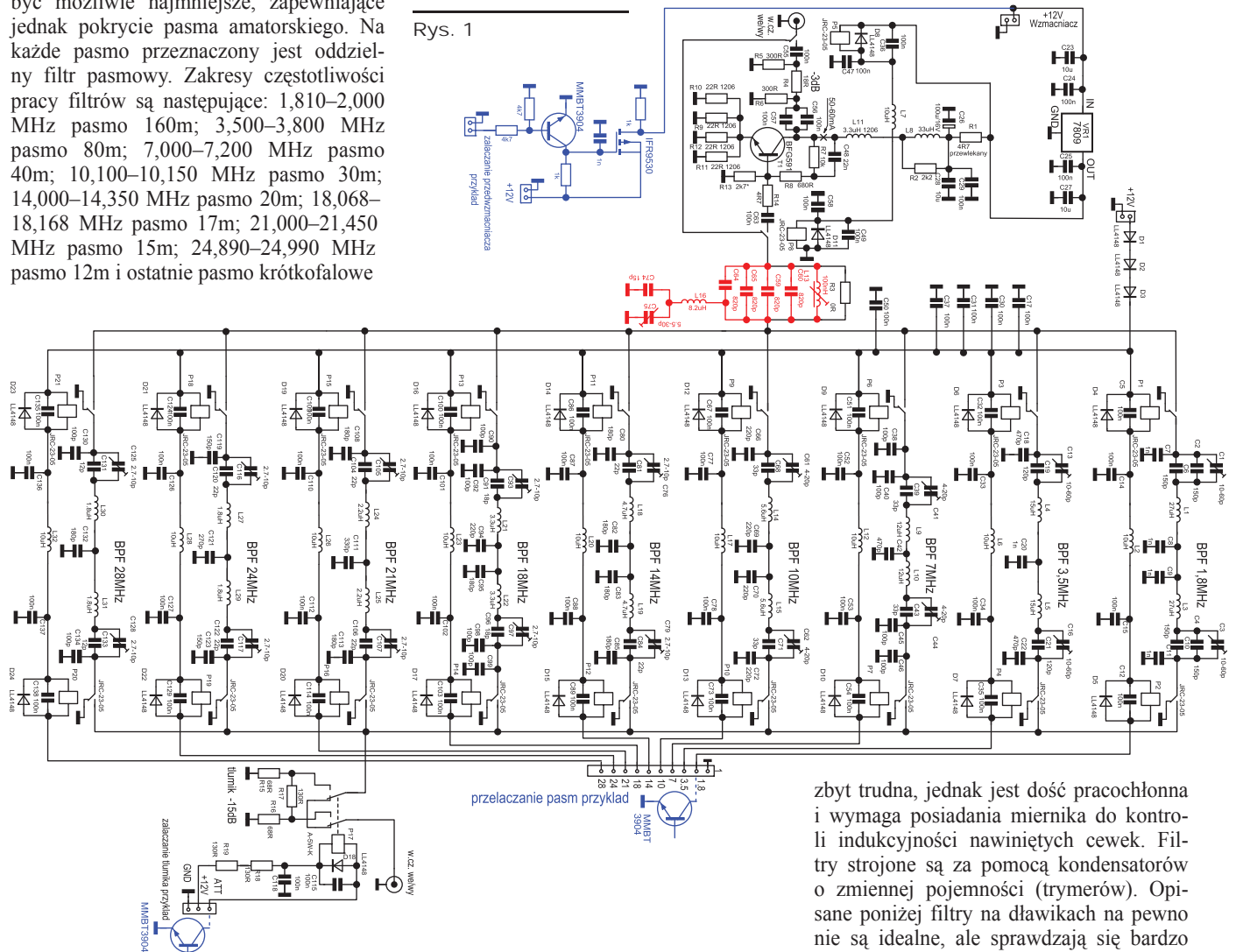
Filtry pasmowe TRX-a na pasma KF

Ważnym elementem każdego odbiornika są filtry wejściowe. Ograniczają one poziom sygnałów niepożądanych, leżących poza pasmem pracy urządzenia, przedostających się na wejście mieszacza odbiornika. Pasma zastosowanych filtrów powinny być możliwie najmniejsze, zapewniające jednak pokrycie pasma amatorskiego. Na każde pasmo przeznaczony jest oddzielny filtr pasmowy. Zakresy częstotliwości pracy filtrów są następujące: 1,810–2,000 MHz pasmo 160m; 3,500–3,800 MHz pasmo 80m; 7,000–7,200 MHz pasmo 40m; 10,100–10,150 MHz pasmo 30m; 14,000–14,350 MHz pasmo 20m; 18,068–18,168 MHz pasmo 17m; 21,000–21,450 MHz pasmo 15m; 24,890–24,990 MHz pasmo 12m i ostatnie pasmo krótkofalowe

28,000–29,700 MHz pasmo 10m. Impedancja wejściowa i wyjściowa opisanych filtrów wynosi 50 omów. Filtry oparte są na rozwiązaniu Markusa Hansena VE7CA, wprowadzono jednak następujące zmiany: wartości elementów filtrów przeliczono tak,

aby można było użyć typowych wartości dławików i kondensatorów, dostępnych w handlu. Obliczono również wartości elementów filtrów dla brakujących czterech pasm krótkofalarskich. Główną korzyścią z zastosowania dławików jest uproszczenie konstrukcji filtrów pasmowych, wyeliminowane jest nawijanie cewek. Sama czynność nawijania cewek nie jest wprawdzie

Rys. 1



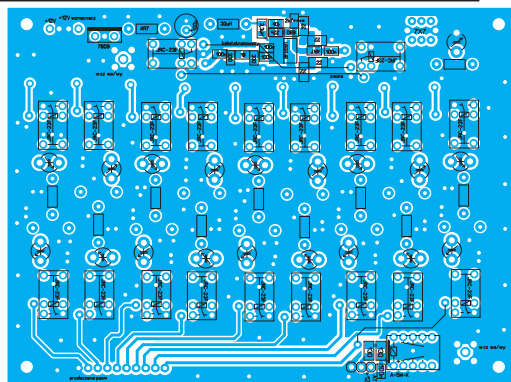
zbyt trudna, jednak jest dość pracochłonna i wymaga posiadania miernika do kontroli indukcyjności nawiniętych cewek. Filtry strojone są za pomocą kondensatorów o zmiennej pojemności (trymerów). Opisane poniżej filtry na dławikach na pewno nie są idealne, ale sprawdzają się bardzo

dobrze w praktyce – zarówno w urządzeniach z bezpośrednią przemianą częstotliwości (homodyny i układy SDR), jak i w klasycznych układach z przemianą częstotliwości, gdy heterodyna pracuje powyżej częstotliwości pośredniej odbiornika. Typowe dławiki jako elementy indukcyjne filtrów pasmowych są powszechnie stosowane w sprzęcie fabrycznym. W przypadku użycia opisanych filtrów w torze urządzenia radionadawczego, sygnał należy najpierw podać na filtry dolnoprzepustowe, a dopiero potem na filtry pasmowe. Takie rozwiązanie polepsza tłumienie poza pasmem przenoszenia filtrów i jest powszechnie stosowane zarówno przez krótkofalowców, jak i w sprzęcie profesjonalnym. Opisany moduł ma dodatkowo załączany opcjonalnie wzmacniacz w.cz. oraz tłumik. Schemat ideowy układu pokazany jest na **rysunku 1** (dostępny także w Elportalu), a schemat montażowy na **rysunkach 2 i 3**. Kolorem niebieskim na schemacie ideowym zaznaczono elementy opcjonalne, znajdujące się poza płytką drukowaną, związane ze sterowaniem wzmacniaczem w.cz. i przekazywanymi, a kolorem czerwonym elementy opcjonalnie montowane na płycie drukowanej. Na schematach montażowych nie pokazano wartości elementów filtrów LC; jest to zrobione specjalnie, wyjaśnienie Czytelnik znajdzie w dalszej części tekstu. Zmontowany układ widać na **fotografiach 4 i 5**.

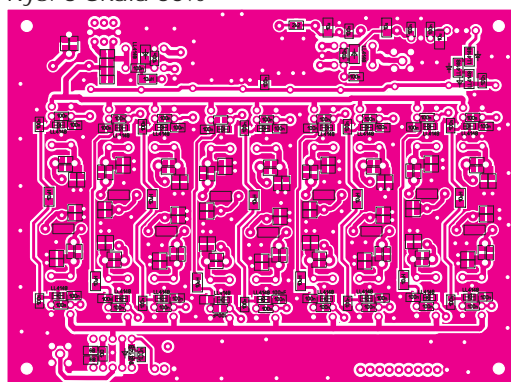
Wzmacniacz w.cz. Wykorzystany w tym układzie wzmacniacz bazuje na wzmacniaczu w.cz., opisanym w artykule: „Filtry pasmowe odbiornika oraz wzmacniacz antenowy” (EdW 10/2009). W porównaniu do oryginału poprawiono jedynie nieco stabilność termiczną i dynamikę układu, dzięki wprowadzeniu ujemnego prądowego sprzężenia zwrotnego w obwodach emiterów tranzystora BFG591. Rezystory w emiterach połączone są równolegle (4 sztuki), co zmniejsza ich indukcyjność pasożytniczą i ma kluczowe znaczenie dla stabilności wzmacniacza. Wzmacniacz, tak jak jego pierwowzór, jest bezwarunkowo stabilny, ma niskie szумы, a jego wzmocnienie wynosi 15 dB. Wzmacniacz załączany jest w praktyce jedynie w przypadku odbioru bardzo słabych sygnałów na pasmach KF powyżej 20 MHz. Wzmacniacz uruchamia się przez podanie napięcia zasilającego +12 V, które zasila jednocześnie cewki przekazywników i powoduje zmianę położenia ich styków tak, że sygnał wejściowy jest wzmacniany. W przypadku braku napięcia zasilającego wzmacniacza, ułożenie styków przekazywnika powoduje, że sygnał przesyłany jest bez strat z pominięciem wzmacniacza. Tuż przy wzmacniaczu musi być wykonane krótkie połączenie przewodem ekranowanym, omijające wzmacniacz w.cz. podczas odbioru. To połączenie widoczne jest zarówno na fotografii, jak i schemacie monta-

żowym. Tranzystor wzmacniacza zasilany jest napięciem 9V przez stabilizator scalony 7809. Dużą ilość ciepła, wytwarzaną w wzmacniaczu (pracuje w klasie A), może odprowadzać odpowiednio wycięta folia miedziana przyłutowana z obu stron tranzystora i położona na jego plastikowej obudowie, wcześniej posmarowana smarem termoprzewodzącym, albo mały radiator przyklejony klejem termoprzewodzącym do obudowy tranzystora czy też pionowa blaszka metalowa przyłutowana do kolektora tranzystora. Punkt pracy wzmacniacza można skorygować doborem rezystancji rezystora R13, prąd spoczynkowy tego wzmacniacza powinien wynieść od 50 do 60mA. Podczas wykorzystywania tych filtrów w nadajniku wzmacniacz w.cz. nie może być zasilany.

Tłumik. Tłumik wykonany jest w konfiguracji PI (II). Wartość tłumienia równa jest wzmocnieniu wzmacniacza w.cz. i wynosi 15 dB. Tłumik stosuje się w dwóch sytuacjach: gdy poziom sygnału wejściowego jest zbyt duży lub w celu obniżenia poziomu produktów intermodulacji. Intermodulacja powstaje na skutek mieszania się sygnałów wejściowych dochodzących z anteny „samych ze sobą” w mieszaczu odbiornika (mieszacze nie są elementami idealnie liniowymi), przez co powstają zakłócające sygnały radiowe, które nie występowały w sygnale odbieranym. Zastosowanie tłumika powoduje poprawienie stosunku poziomu sygnału odbieranego do poziomu produktów intermodulacji. Załączenie tłumika o tłumieniu 6 dB powoduje dwukrotne zmniejszenie sygnału użytecznego (o 1S w radioamatorskiej skali „S”), ale jednocześnie zmniejsza poziom produktów intermodulacji drugiego rzędu o 12dB (4 razy, czyli o 2S), zaś poziom produktów intermodulacji trzeciego rzędu zmniejsza się o 18 dB (8 razy, czyli 3S). Sytuacja, w której musimy załączyć tłumik w celu poprawy odbioru, nie jest wcale taka rzadka, szczególnie w przypadku starszych konstrukcji, o mniejszej odporności na modulację skrośną. Tłumik łączy się, zwi erając cewkę przekazywnika do masy. Przekazywnik łączy się z cewką przekazywnika do masy. Przekazywnik łączy się z cewką przekazywnika do masy. Przekazywnik łączy się z cewką przekazywnika do masy.



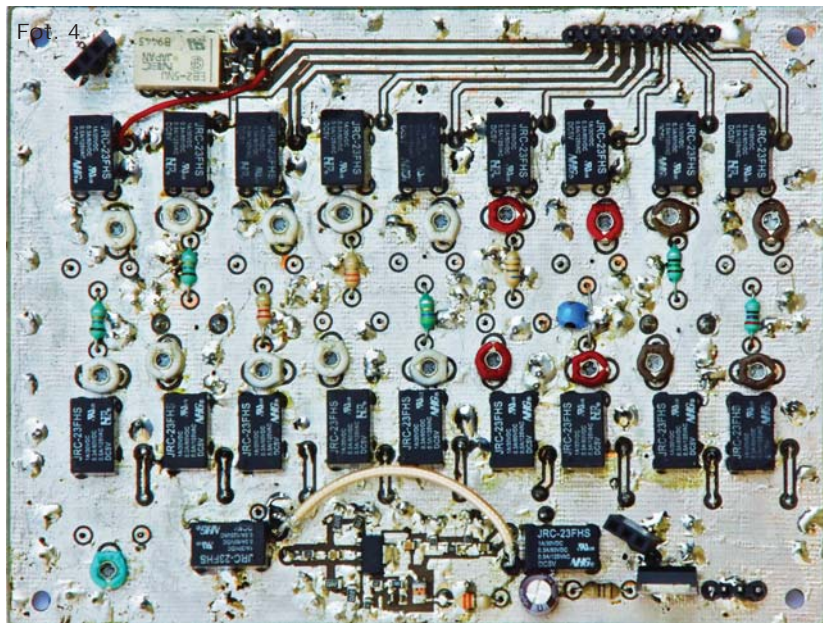
Rys. 2 Skala 50%



Rys. 3 Skala 50%

zarówno przełącznik mechaniczny, jak i tranzystor pracujący w układzie otwartego kolektora. Ponieważ zastosowany przełącznik ma napięcie pracy 5V, a cały układ zasilany jest z 12V, szeregowo z cewką włączone są oporniki o rezystancji 130Ω. W przypadku braku napięcia zasilającego ułożenie styków przekazywnika powoduje, że sygnał przesyłany jest bez strat z pominięciem tłumika.

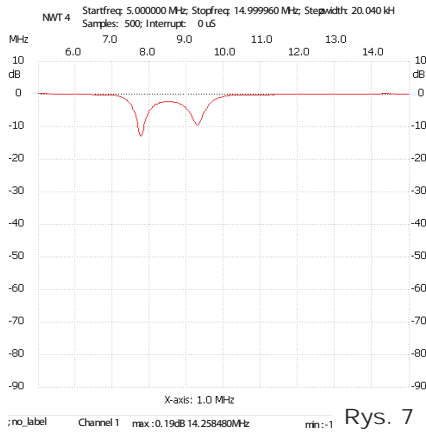
Filtry pasmowe. Wszystkie filtry bazują na tym samym rozwiązaniu układowym i na poszczególnych pasmach różnią się tylko wartościami elementów. W opisywanym układzie trzeba dość często stosować kondensatory o nietypowej wartości. Użykuje się je z dwóch kondensatorów o mniej-



Fot. 4

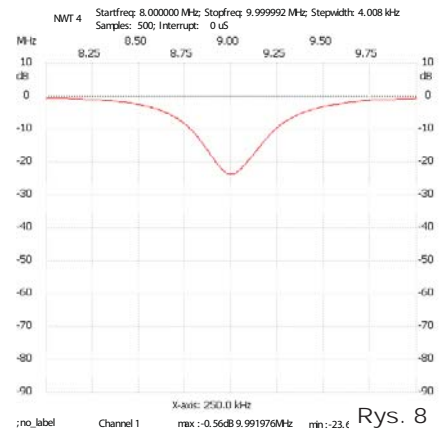
Fot. 6

szej pojemności połączonych równolegle. W układach filtrów LC (ale nie w elementach odsprzęgających) należy stosować tylko kondensatory typu NP0 (C0G). Inne rodzaje ceramiki jak np. X7R powodują złe działanie układu! Do przełączania pasm wykorzystano miniaturowe przełączniki typu JRC23, produkowane przez wiele firm. Zastosowane przełączniki mają napięcie robocze cewki 5V. Cewki przełączników połączone są szeregowo, a napięcie zasilania przełączników obniżane jest trzema szeregowo połączonymi diodami typu 1N4148, dzięki czemu napięcie zasilania przełączników nie przekracza 10,2V, co daje 5,1V na jeden przełącznik. Takie połączenie przełączników upraszcza również płytce drukowaną. Pomiędzy cewkami przełączników znajdują się dławiki, które wraz z kondensatorami działają jak filtry dolnoprzepustowe, poprawiając izolację wejście-wyjście filtru. Przepięcia generowane na cewce przełącznika tłumione są za pomocą diody i kondensatora połączonych równolegle do cewki przełącznika. Poszczególne filtry załączane są przez zwarcie cewek do masy, analogicznie jak w tłumiku – tu również filtr może być włączany zarówno przełącznikiem mechanicznym, jak i kluczem tranzystorowym pracującym w układzie otwartego kolektora. Niewykorzystywane filtry są zwierane do masy, co poprawia izolację wejście-wyjście filtru. W danej chwili może być załączony tylko jeden filtr. Izolacja pomiędzy wejściem a wyjściem filtru w najgorszym wypadku wynosi 50dB i poprawia się wraz z obniżaniem częstotliwości filtru. W każdym filtrze jeden z dławików (cewka) umieszczony jest na spodzie płytki drukowanej, a drugi na warstwie górnej. Takie rozwiązanie zmniejsza niepożądane sprzężenia między dławikami – obwody nie sprzęgają się



Rys. 7

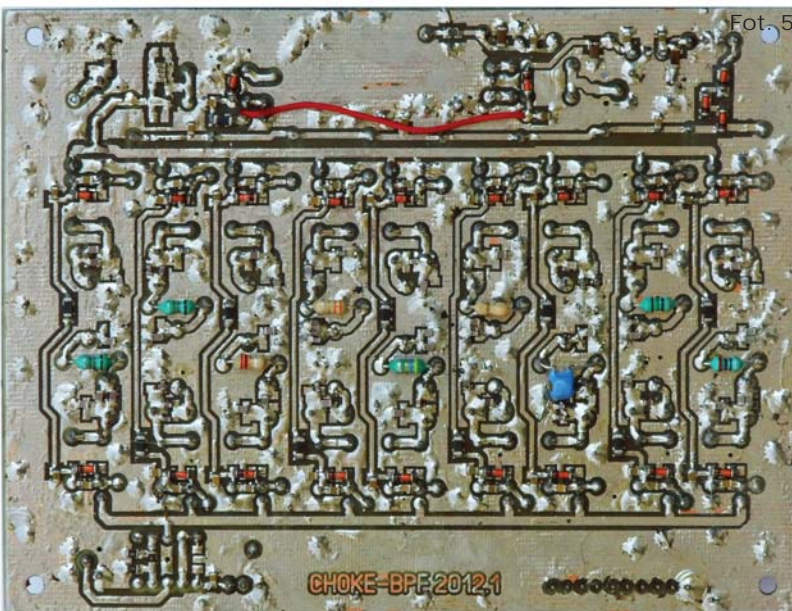
dotąd przez rozproszone pole magnetyczne pochodzące z dławików. W przypadku nawinięcia cewek na rdzeniach pierścieniowych nie ma potrzeby takiego rozmieszczania cewek, ponieważ rdzenie pierścieniowe mają zamknięty strumień magnetyczny. Filtry należy stroić w docelowym miejscu zamontowania, a odległość filtrów od pozostałych elementów metalowych powinna wynosić co najmniej 1 cm. Filtry stroimy, zmieniając pojemność trymerów. Do strojenia filtrów należy używać stroika ceramicznego lub z innego materiału niemagnetycznego. W przypadku zastosowania śrubokręta metalowego do zmiany pojemności trymerów po każdym przestawieniu położenia trymera na czas pomiaru należy wyciągać śrubokręt z trymera, gdyż powoduje on zmianę charakterystyki filtru. Strojenie filtrów ogromnie ułatwia użycie wobuloskopu, jak choćby NWT7 (wciąż dostępny w ofercie AVT). Wykorzystane w układzie tryмеры wykonane są w wersji przewlekanej i jako dielektryk wykorzystują ceramikę. Filtry stroi się tak, aby uzyskać jak najmniejsze tłumienie w paśmie przepustowym filtru i pożądany zakres przeniesienia. Tłumienie poprawnie zestrojonych filtrów w paśmie przepustowym wynosi maksymalnie 3,5 dB. Niemożność prawidłowego zestrojenia filtrów spowodowana jest zwykle błędnymi wartościami pojem-

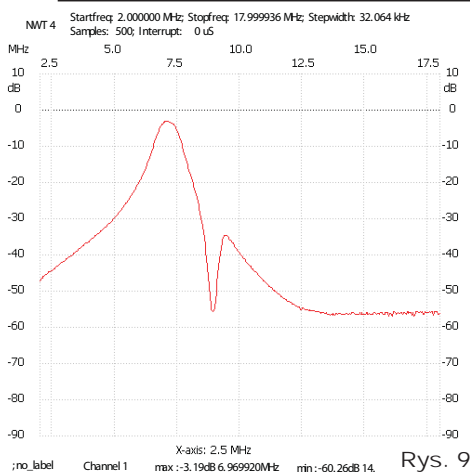


Rys. 8

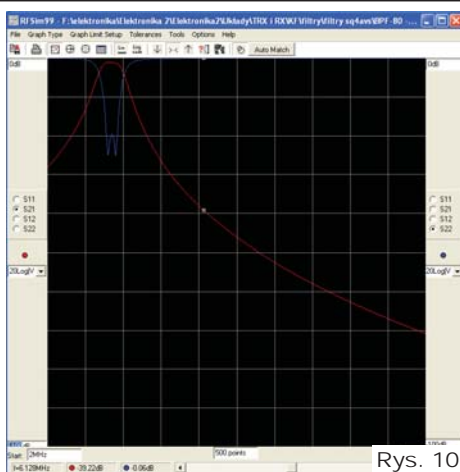
niska dobroć zastosowanych dławików powodowała tłumienie w paśmie przepustowym wynoszące 5 dB. Wymiana na dławiki kupione w innym sklepie całkowicie rozwiązała problem. Bardzo dobrze w roli cewek sprawdziły się dławiki pokazane na **fotografii 6**. Układ ma możliwość zmontowania tzw. pułapki (ang. *trap*), czyli filtru pasmowozaporowego nastrojonego na częstotliwość pośrednią pracy urządzenia. Układ ten montuje się tylko w wypadku zastosowania opisanych filtrów w odbornikach heterodynowych. Zadaniem filtra-pułapki jest tłumienie sygnałów dochodzących do wejścia mieszacza odbornika o częstotliwości filtru kwarcowego. Działanie „pułapki” jest szczególnie dobrze widoczne, gdy częstotliwość filtru kwarcowego i częstotliwość odbierana są do siebie zbliżone np. gdy używamy filtru kwarcowego o częstotliwości pracy około 8,867 MHz, a pracujemy na pasmach 7 i 10MHz. Sygnały z wyjścia filtru pasmowoprzepustowego mogą dostawać się na wejście filtru kwarcowego, „omijając” mieszacz zarówno przez pojemności pasozytnicze, jak i na skutek nieidealnej izolacji pomiędzy wejściem radiowym mieszacza i jego wyjściem. Filtr ten poprawia również wytłumienie sygnału o częstotliwości pośredniej w widmie nadajnika. W filtrze pasmowozaporowym występuje jedyna w całym układzie cewka o indukcyjności 100nH, którą musimy wykonać częściowo „samodzielnie”. Cewkę taką wykonujemy przez odwinięcie z fabrycznej cewki 7x7 (pomyłki montażowe) i użyciem dławików o zbyt małej wartości dobrotci. Taka sytuacja wystąpiła w zmontowanym filtrze na jednym z pasm.

Fot. 5

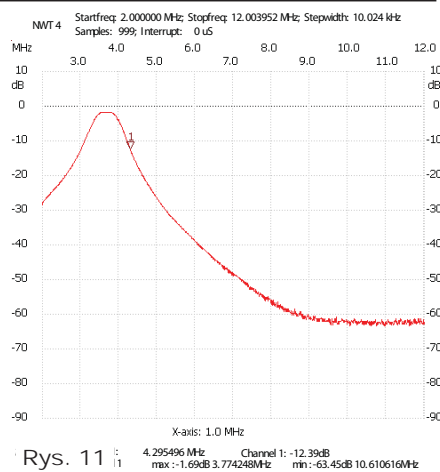




Rys. 9



Rys. 10



Rys. 11

obwodów LC są przesunięte względem siebie, natomiast po zestrojeniu pałpki występuje jeden rezonans o właściwej częstotliwości, ale głębszy. Filtr ten stroimy osobno, bez załączania innych filtrów pasmowych. W przypadku, gdy urządzenie jest homodyną lub układem SDR, filtru tego nie montujemy, do płytki nie wluwujemy elementów L13, L16, C59, C60, C64, C65, C74, C75, a cewkę L13 zastępujemy rezystorem o wartości rezystancji 0 omów (zwora). Działanie filtrów wraz z działaniem filtra pasmowoprzepustowego na pasmo 7 MHz pokazano na **rysunku 9**. W układzie oryginalnym filtry zmontowano w kolejności wzrastającej częstotliwości. Po późniejszych doświadczeniach stwierdzono jednak, że lepiej jest, gdy filtry o zbliżonych częstotliwościach są bardziej oddalone od siebie. Lepszą kombinacją jest np.: filtr na pasmo 160m, następnie filtry na pasma 30m; 12m; 80m; 15m, 10m i 20m, 40m i 17m. Sprzężenie pasozytnicze między filtrami jest wtedy słabsze (częstotliwości sąsiednich obwodów rezonansowych filtrów są bardziej odległe), a tłumienie filtrów w paśmie zaporowym poprawia się. W przypadku, gdy radio przeznaczone jest np. tylko na pięć podstawowych pasm krótkofalarskich, montujemy tylko wybrane filtry, a pomiędzy nimi zostawiamy wolne miejsce (niemontowany filtr), co poprawia tłumienie filtra w paśmie zaporowym. Właśnie z tego powodu nie umieszczono na płycie montażowej opisu wartości elementów filtrów LC. Na **rysunku 11** przedstawiono zmierzoną charakterystykę filtra na pasmo 80m, natomiast na **rysunku 10** wykres z symulacji komputerowej. Na wykresach symulacji czerwonym kolorem oznaczone jest tłumienie filtra, a niebieskim dopasowanie. Wartość dopasowania (parametry S11, S22) w paśmie przepustowym filtra powinna być na poziomie nie większym niż -15dB. Na **rysunku 10** przedstawiono jedynie pomiar tłumienia filtra. Porównując oba wykresy, widzimy, że obie charakterystyki są do siebie bardzo podobne, a nieco gorsze tłumie-

nie prawego zbocza filtra podczas pomiarów wynika głównie z wpływu pojemności pasozytniczych i pola rozproszonego dławików. Jak wcześniej wspomniano, w filtrach można użyć również cewek nawiniętych na rdzeniach pierścieniowych np. firmy Amidon o rozmiarach T37 lub T50. W tym wypadku wymaganą liczbę zwojów obliczymy orientacyjnie popularnym programem *Mini Ring Core Calculator* autorstwa DL5SWB. Każda cewka musi jednak w tym wypadku zostać zmierzona ze względu na fakt, że na indukcyjność cewki wpływa nie tylko materiał, z którego wykonany jest rdzeń, ale i sposób jej nawinięcia. Filtr można zamknąć w puszcze ekranującej, wykonanej z blachy stalowej, w tym wypadku blachę przylutowujemy do krawędzi

płytki drukowanej. Sygnał w.cz. do filtra można przeprowadzić zarówno do złącz SMA (są przewidziane na płycie drukowanej), jak też w ich miejsce zmontować złącza goldpin – wtedy wykorzystujemy tylko jeden z pinów do podłączenia do masy. W materiałach dodatkowych do artykułu zamieszczone są pomiary charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych wszystkich filtrów oraz pliki symulacyjne dla programu rfsim99, na którym wykonano optymalizację poszczególnych filtrów. Na zakończenie chciałbym podziękować Kolegom Waldkowi 3Z6AEF i Waldkowi SP2JJH za cenne uwagi do tego tekstu.

Rafał Orodziński SQ4AVS
sq4avs@gmail.com

Wykaz elementów

Jeśli nie zaznaczono inaczej, wszystkie elementy są w obudowach SMD o rozmiarze 0805

R1 4R7 przewlekany
R2 2,2kΩ
R3 0Ω 1206
R4 18Ω
R7 10kΩ
R8 680Ω
R13 2,7kΩ patrz tekst
R14 4,7Ω
R15,R16 68Ω
R17-R19 130Ω
R5,R6 300Ω
R9-R12 22Ω 1206
C26 100uF/16V elektrolityczny
C48 22nF
C74 15pF
C111 330pF
C121 270pF
C7-C9,C11,C20 1nF
C131,C133 12pF
C18,C22,C42 470pF
C19,C21 120pF
C2,C4,C6,C10,C119,C123 150pF
C23,C27,C28 10uF/25V 1206 ceramiczny
C38,C40,C45,C46,C90,C92,C98,C99,C130,C134 100pF
C39,C43,C68,C71 33pF
C5,C12,C14,C15,C17,C24,C25,C29,C30,C31-C37, C47,C49,C50-C58,C63,C67,C73,C77,C78,C86-

C89,C100-C103,C109,C110,C112,C114,C115,C118,C124, C126,C127,C129,C135-C138 100nF ceramika X7R
C59,C60,C64,C65 820pF
C66,C69,C70,C72,C94 220pF
C80,C82,C83,C85,C95,C108,C113,C132 180pF
C81,C84,C104,C106,C120,C122 22pF
C91,C96 18pF
C75 5,5-30pF trymer
C1,C3,C13,C16 10-60pF trymer
C41,C44,C61,C62 4-20pF trymer
C76,C79,C93,C97,C105,C107,C116,C117,C125,C128 2,7-10pF trymer
L8 33uH osiowy
L11 3,3uH 1206
L13 100nH uzyskana z przeróbki cewki serii 200 patrz tekst
L16 8,2uH osiowy
L1, L3 27uH osiowy
L14,L15 5,6uH osiowy
L18,L19 4,7uH osiowy
L2,L6,L7,L12,L17,L20,L23,L26,L28,L32 10uH obudowa 1206
L21,L22 3,3uH osiowy
L24,L25 2,2uH osiowy
L27,L29,L30,L31 1,8uH osiowy
L4,L5 15uH osiowy
L9,L10 12uH osiowy
P1-P16,P18-P21 JRC-23-05
P17 A5WK – patrz tekst
D1-D24 LL4148 obudowa minime1f
VR1 7809
T1 BFG591

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3076.