

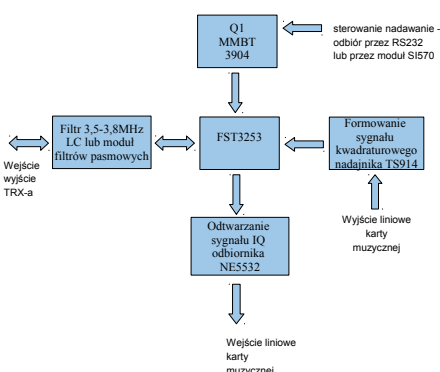
TRX SDR na fale krótkie

Opisane w artykule urządzenie jest układem nadawczo-odbiorczym i pracuje w całym zakresie fal krótkich z wykorzystaniem techniki SDR. Technika SDR bazuje na układach z bezpośrednią przemianą częstotliwości, w których wytłumienie kanału lustrzanego odbywa się z wykorzystaniem zależności amplitudowo-fazowych. Funkcję przesuwników fazowych małej częstotliwości, zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej, w układach SDR pełni komputer z kartą dźwiękową, sterowaną odpowiednim programem. Opisany układ zbudowany jest w sposób typowy i podczas jego uruchamiania nie występują żadne niespodzianki. Do uruchomienia tego układu wystarczy woltomierz napięcia stałego. Bardzo pożądany jest też wobuloskop (np. serii NWT – potrzebny do zestrojenia obwodów wejściowych), czasami przydatny może okazać się oscyloskop, ale jego posiadanie nie jest niezbędne. Obwody wejściowo-wyjściowe można zestroić również na „słuch”, kierując się siłą odbieranego sygnału, jest to jednak metoda bardziej pracochłonna i nieprzynosząca tak dobrych rezultatów jak użycie wobuloskopu. Opisany układ umożliwia zbudowanie wielopasmowego TRX-a na cały zakres fal krótkich. W wersji najprostszej (i najtańszej) może

pracować tylko na jednym paśmie. W stosunku do wcześniejszej wersji tego urządzenia różni się głównie zastąpieniem dość trudno dostępnych i kosztownych wzmacniaczy typu OPA1632 przez wzmacniacze NE5532 lub podobne o identycznym rozkładzie wyprowadzeń. Stosując wzmacniacze operacyjne innego typu, należy wybierać typy moliwie niskoszumne, o małych zniekształceniach. Znaczący wpływ na jakość opisanego urządzenia radiowego będzie miała też karta dźwiękowa obecna w komputerze. Do pierwszych prób wystarczy karta zintegrowana, jednak do w miarę komfortowej pracy należy użyć karty typu Audigy lub równoważnej. W oddzielnym artykule zostanie również niedługo opisane użycie tego układu w... *radioastronomii*, a konkretnie do odbioru promieniowania radiowego Jowisza. Do głównych zalet omawianego układu należy zaliczyć niski koszt zastosowanych elementów, dużą prostotę i dobre parametry dynamiczne urządzenia, zależne jednak od karty dźwiękowej w komputerze. W układzie tym wykorzystano szereg rozwiązań opisywanych wcześniej przez autora. Zaletą urządzenia jest również konstrukcja modułowa, która upraszcza eksperymenty. W różnych wariantach różniących się szczegółami konstrukcyjnymi układ ten odtworzono parokrotnie z bardzo dobrym skutkiem.

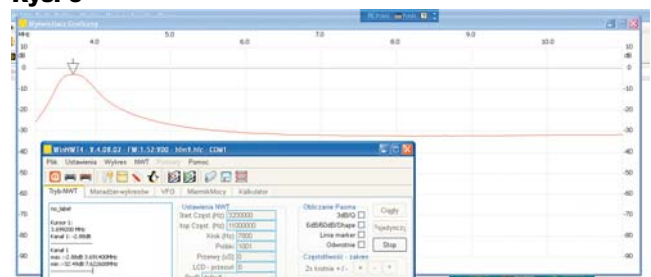
Charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową zaprojektowanego filtra pokazano na **rysunku 3**. Nie jest to wprawdzie filtr o zbyt dobrych parametrach, układ jednak będzie współpracował z filtrem dolnoprzepustowym nadajnika, pracującym również podczas odbioru, co bardzo poprawi parametry odbiornika w przypadku budowania układu w wersji jednopasmowej. Odpowiedni moduł filtrów pasmowych na cały zakres KF zostanie opisany później.

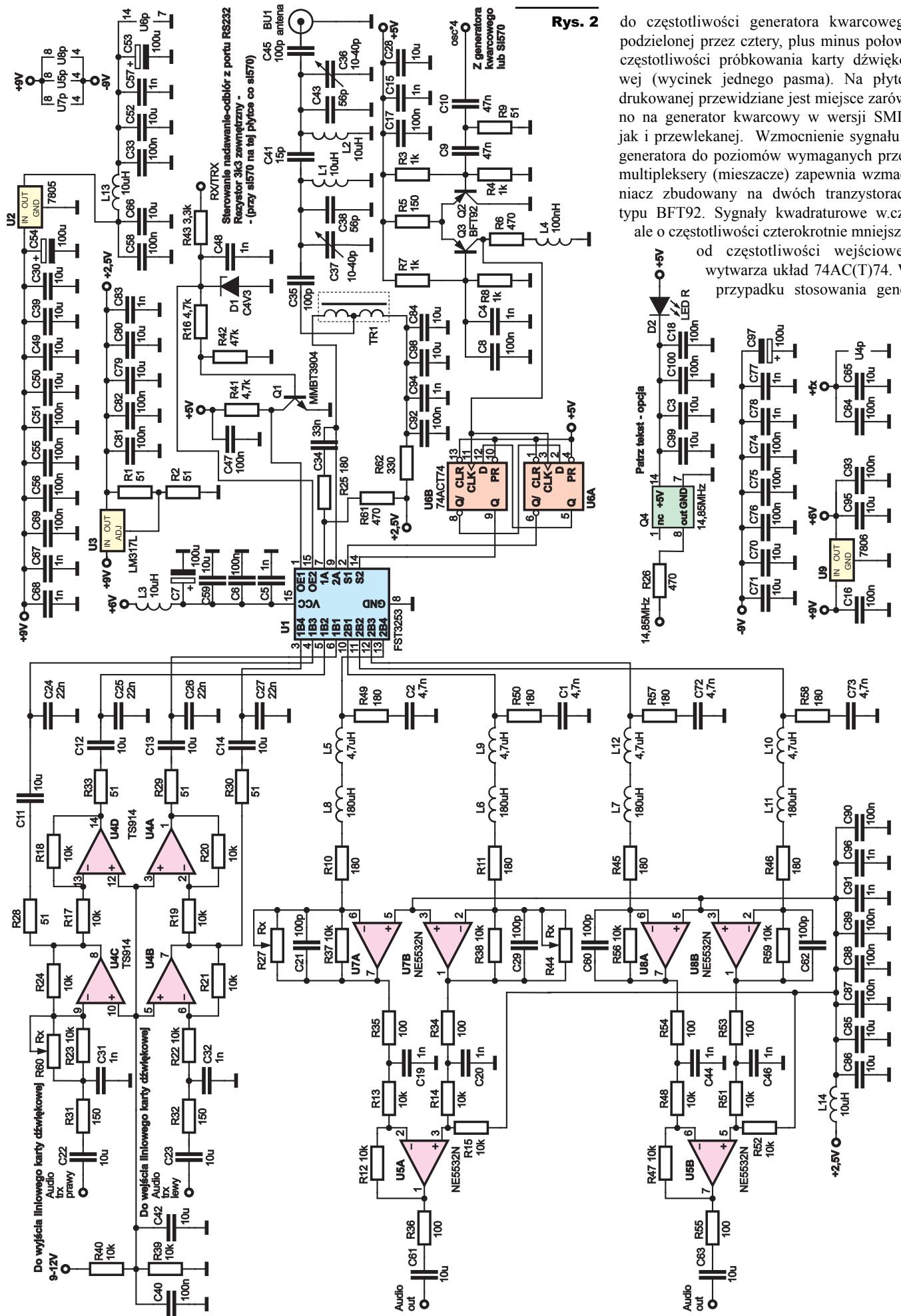
Generator w.cz. zbudowany jest na układzie SI570 i wykorzystuje płytke dostępną w AVT, jako kit AVT-2912, opisaną w artykule „Power SDR”. Opisany tam układ został wielokrotnie sprawdzony i nie stwarza praktycznie żadnych problemów podczas uruchamiania. Początkujący powinni docenić fakt, że nie wymaga on mozolnego wlotowywania układu o dużej liczbie nóżek o gęstym rastrze, jak w przypadku układów DDS. Układ SI570 ma obudowę, której montaż nie powinien stwarzać problemów nawet początkującemu. Zaletą układu SI570 jest duża czystość widmowa sygnału oscylatora. Wadą jest nie najlepsza stabilność częstotliwości w funkcji temperatury otoczenia; wada ta może być jednak usunięta przez stabilizację temperatury układu, co zostanie opisane w dalszych odcinkach tego artykułu wraz z odpowiednim układem elektronicznym. Początkujący mogą użyć generatora o stałej częstotliwości pracy, co ograniczy zakres przestrajania

Rys. 1


Elementy wspólne TRX-a

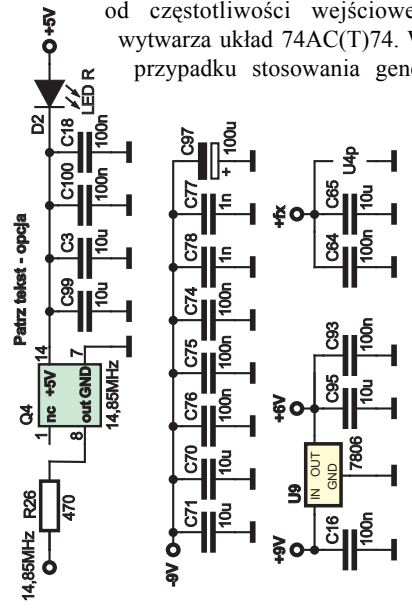
Schemat blokowy urządzenia pokazano na **rysunku 1**, a ideowy na **rysunku 2**. Duża część podukładów jest wspólna zarówno dla nadajnika, jak i odbiornika, co pozwoliło zredukować liczbę zastosowanych elementów do minimum. Filtr wejściowy zbudowany jest na popularnych dławikach osiowych i strojony jest za pomocą trymerów ceramicz-

Rys. 3




Rys. 2

do częstotliwości generatora kwarcowego podzielonej przez cztery, plus minus połowa częstotliwości próbkowania karty dźwiękowej (wycinek jednego pasma). Na płycie drukowanej przewidziane jest miejsce zarówno na generator kwarcowy w wersji SMD, jak i przewlekanej. Wzmocnienie sygnału z generatora do poziomów wymaganych przez multiplexery (mieszacze) zapewnia wzmacniacz zbudowany na dwóch tranzystorach typu BFT92. Sygnały kwadraturowe w.c., ale o częstotliwości czterokrotnie mniejszej od częstotliwości wejściowej, wytwarza układ 74AC(T)74. W przypadku stosowania gene-

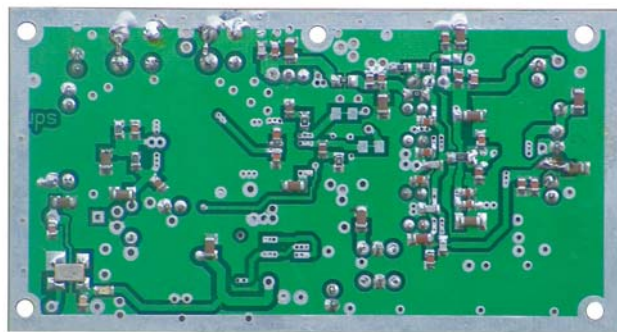


ratora o poziomach sygnału w standardzie TTL lub CMOS, konieczne jest zastosowanie dzielnika oporowego ograniczającego poziom sygnału wejściowego do około 0,25V lub niemontowanie toru wzmacniacza na tranzystorach BFT92 i podłączenie sygnału z generatora bezpośrednio do układu AC(T)74. W przypadku stosowania generatora monolitycznego zasilanego z 3,3V, montujemy szeregową diodę LED obniżającą napięcie zasilania generatora z 5V do około 3,5V. W przypadku stosowania generatora zasilanego z 5V, w miejsce diody LED montujemy zworę (opornik 0 omów). Większość generatorów TCXO (termokompensowanych) ma sygnał wyjściowy o amplitudzie około 1V i wymaga zastosowania wzmacniacza sygnałów w.cz. W egzemplarzu modelowym sygnał z generatora TCXO o częstotliwości 14,85MHz (3,3V) podłączony został przez opornik szeregowy o wartości 470Ω do wejścia wzmacniacza. Pojedynczy generator TCXO o częstotliwości 14,85MHz umożliwia pokrycie odcinka SSB (fonia) w centrum polskiej aktywności na paśmie 80m. Otrzymana częstotliwość po podziale przez układ AC(T)74 jest częstotliwością środkową zarówno nadajnika, jak i odbiornika i występuje na wyprowadzeniach 2 i 14 układu FST3253. Sygnał w.cz. sterujący pracą mieszacza idzie przez rezystory o wartości 0Ω z odpowiednich wyjść układu AC(T)74 (rezystory te mogą być zastąpione innymi z zakresu od 22Ω do 100Ω o rozmiarze 0603). Zastosowanie rezystorów o wartości różnej od 0Ω poprawia w niektórych wypadkach wytlumienie kanału lustrzanego, ich montaż nie jest jednak niezbędny. Jako mieszacze zastosowano układ FST3253. Układ ten zawiera dwa niezależnie wybierane multiplexery typu 1 z 4. Jeden z multiplexerów pracuje w torze nadajnika, drugi w torze odbiornika. Stanem aktywującym multiplexer (mieszacz) jest stan niski (piny 1,15 układu FST3253). W danej chwili może być aktywny tylko jeden mieszacz, co osiągnięto przez zastosowanie inwertera na tranzystorze MMBT3904. Użycie w tym miejscu tranzystora MMBT3904 jest dość przypadkowe, funkcję tę może pełnić praktycznie dowolny tranzystor npn. Zastosowana w układzie dioda Zenera ogranicza poziom stanu wysokiego do około 4V. Bez zastosowania tej diody i z podaniem na wejście wyboru mieszacza napięcia większego niż około 6V układ FST3253 ulega uszkodzeniu. Przyjęte rozwiązanie pozwala na bezpośrednie sterowanie układu z portu RS232 komputera.

Nadajnik

Układ SDR, zarówno w torze nadajnika, jak i odbiornika, wymaga dwóch sygnałów przesuniętych między sobą o 90° (kwadraturowych I i Q) oraz w niektórych układach dodatkowo sygnałów komplementarnych do kwadraturowych (sygnałów analogicznych z sygnałami

IQ, ale przesuniętych w fazie o 180°). Odwracanie fazy o 180° zrealizowane jest z użyciem wzmacniaczy operacyjnych, pracujących w konfiguracji wzmacniacza odwracającego. Układ zawiera cztery identyczne wzmacniacze odwracające, przy czym dwa pracują dodatkowo jako wzmacniacze buforujące sygnał z karty dźwiękowej komputera. Na wejściu wzmacniaczy buforujących znajdują się filtry dolnoprzepustowe usuwające składowe w.cz., jakie mogłoby nanieść się na sygnał m.cz. z toru nadajnika. Na wyjściach wzmacniaczy operacyjnych znajdują się rezystory ograniczające o wartości od 33 do 51Ω (wszystkie oporniki muszą mieć jednakową wartość, lepsza jest mniejsza wartość oporności – nie każdy jednak ze wzmacniaczy równie dobrze ją „znosi”). Przy doborze wzmacniaczy operacyjnych pracujących w torze nadajnika kluczową rolę odgrywa typ zastosowanego wzmacniacza operacyjnego. W tym miejscu powinny być zastosowane wzmacniacze o dużej wydolności prądowej wyjścia i potrafiące sterować obciążeniem o charakterze pojemnościowym. Duża część z powszechnie dostępnych wzmacniaczy ma zbyt małą wydajność prądową lub wzbudza się podczas sterowania obciążenia o charakterze pojemnościowym. Po kilku eksperymentach w układzie zastosowano wzmacniacz typu TS914, lepszym wyborem jest wzmacniacz typu TLE2064, jest on jednak trudniej dostępny. Dwa wymienione tutaj wzmacniacze operacyjne mają najlepszy stosunek jakości do ceny. Istnieją wzmacniacze operacyjne lepsze do tego zastosowania, jednak cena ich wynosi nawet 50 zł za sztukę. Użycie w tym miejscu wzmacniacza o niższej wydajności prądowej wyjścia (np. TL084) powoduje wzrost zniekształceń sygnału nadawanego (rosnący wyrażnie ze wzrostem mocy nadajnika), spadek mocy ze wzrostem odchylenia od częstotliwości środkowej pracy urządzenia ($f_{\text{generatora}}/4$) i pogorszenie wytlumienia wstęgi bocznej. Wszystkie wymienione wzmacniacze mają identyczny rozkład wyprowadzeń, co otwiera szerokie pole do eksperymentów. Wzmacniacze te mogą być zasilane na stałe lub, co jest lepszym rozwiązaniem, tylko na czas nadawania (taka opcja jest przewidziana również na proponowanej płycie).



Rezystor o wartości 180Ω na wyjściu multiplexera zapewnia impedancję wyjścia nadajnika od strony w.cz. na poziomie około 200Ω. Transformator o przekładni 1 do 4 obniża tę impedancję do znormalizowanej impedancji filtru, równej 50Ω. Transformator nawinięty jest na rdzeniu F1001 (2 razy po 8 zwojów) dwoma przewodami jednocześnie, przy czym najlepiej użyć przewodów różniących się kolorem. Koniec jednego z uzwojeń łączymy z początkiem drugiego uzwojenia. Moc nadajnika wynosi około 1mW. Układ wymaga zastosowania odpowiedniego wzmacniacza mocy, który zostanie opisany później. Element oznaczony na schemacie *rx* jest potencjometrem wieloobrotowym SMD, umożliwiającym dokładną regulację wzmacnienia jednego z kanałów nadajnika (równoważenie modulatora). Wypadkowa wartość rezystancji potencjometru z rezystancją równoległą, włączoną na stałe, powinna dać wartość bardzo zbliżoną do analogicznego opornika o stałej wartości rezystancji w drugim kanale. Układ ma

R E K L A M A

niwelować różnice wzmocnienia na poziomie maksymalnie 2 procent. Analogiczne potencjometry znajdują się w torze odbiornika i pełnią taką samą funkcję. W opcji podstawowej potencjometrów tych nie ma potrzeby montować, do czego mogą być one przydatne zostanie wyjaśnione w podsumowaniu, na końcu opisu urządzenia.

Odbiornik

Sygnał w.cz. z wejścia antenowego transformowany jest w górę w stosunku 1 do 4 (transformacja z 50 na 200Ω). Rozwiązanie takie poprawia stosunek sygnału do szumu. Różnicowy sygnał mieszania (sygnał odbierany minus sygnał sterujący pracą mieszacza) pojawia się na wyjściach układu FST3253, w praktyce są to 4 sygnały m.cz. przesunięte względem siebie o 90°. Napięcie zasilające układy cyfrowe wytwarzają dwa stabilizatory scalone oddzielnie dla układu multipleksera i oddzielnie dla układu 74ACT74 (przerzutników D). Układ FST3253 zasilany jest z napięcia 6V, co zwiększa szybkość przełączania układu i jest bardzo korzystne w prezentowanym układzie. Przyjęte rozwiązanie redukuje przenoszenie zakłóceń w układzie, bo stabilizatory scalone działają jak filtry. Każde z wyjść multipleksera obciążone jest impedancją zbliżoną do 200Ω w szerokim zakresie częstotliwości, a stałą impedancję, niezależnie od częstotliwości, zapewnia układ zwany diplexerem (rezystory 180Ω, dławiki 180μH i kondensatory

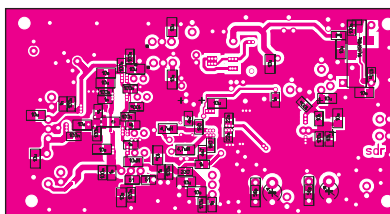
4,7nF). Opisany układ diplexera zaproponował Marco IK10DO. Uzyskane właściwości diplexera pozwalają wykorzystać go w układzie z pasmem karty dźwiękowej na poziomie 192kHz. Sygnał m.cz. wzmacniany jest przez dwa podwójne wzmacniacze operacyjne, pracujące w konfiguracji wzmacniacza odwracającego, co łatwo pozwala uzyskać dopasowanie każdego z torów multipleksera do wymaganej impedancji 200Ω. Wzmocnienie wzmacniacza operacyjnego zależy od ilorazu rezystancji w sprzężeniu zwrotnym wzmacniacza i rezystancji na jego wejściu. Kondensatory 100pF w torze sprzężenia zwrotnego wzmacniacza NE5532 zmniejszają wzmocnienie wzmacniacza dla sygnałów wysokoczęstotliwościowych i działają jako filtr dolnoprzepustowy. Sygnał ze wzmacniaczy NE5532, dopasowujących impedancję, podawany jest na wzmacniacz odejmujący na układzie NE5532. Parametry szumowe tego wzmacniacza nie są już tak istotne, bo o całkowitych szumach w układzie decyduje w sumie pierwszy stopień. Na wyjściach wzmacniaczy operacyjnych, z których sygnał idzie na wejście audio karty dźwiękowej, umieszczone są oporniki o wartościach 100Ω. Oporniki te zapobiegają wzbudzeniom układu wywołanym obciążeniem pojemnościowym wzmacniacza (kable audio prowadzące do karty dźwiękowej komputera). Napięcie referencyjne dla wzmacniaczy operacyjnych wytwarza stabilizator LM317L. Warto w tym układzie zwrócić uwagę na małe wartości rezystancji ustalającej napięcie wyjściowe stabilizatora. Stabilizator LM317L, w przeciwieństwie do stabilizatorów serii 7800, musi być wstępnie obciążony przez układ zewnętrzny, by stabilizował napięcie. Funkcję obciążenia pełnią oporniki 51Ω, wartość ich nie jest krytyczna i można je zwiększyć, pamiętając, że układy różnych producentów wymagają różnej wartości minimalnego prądu obciążenia. Napięcie odniesienia wynosi w tym układzie 2,5V. Zastosowany w układzie polaryzacji wzmacniacza U5 opornik pokazany na płytce o wartości 0Ω i rozmiarze 1206 pełni funkcję zwory.

Montaż układu

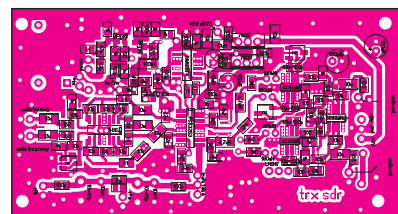
Układ zbudowany jest prawie w całości z wykorzystaniem elementów SMD o rozmiarze 0805, wyjątek stanowią kondensatory ceramiczne o wartości 10μF, które mają obudowę o rozmiarze 1206, dwa oporniki z typoszeregu 0603 montowane opcjonalnie oraz elementy indukcyjne. Opisany układ zmontowano na dwustronnej płytce z laminatu szklanego z metalizacjami otworów i soldermaskami (rysunki 4 i 5). W układzie użyto szereg elementów odsprzęgających o wartości 1nF, 100nF i 10μF. Wszystkie zastosowane w układzie kondensatory są kondensatorami ceramicznymi. Kondensatory 10μF można zastąpić kondensatorami tantalowymi. W przypadku zastosowania (elektrolitycznych) kondensatorów tantalowych szczególną uwagę należy zwrócić na ich biegunowość. Jak pokazała praktyka, najczęstszym błędem jest odwrotne wlutowanie kondensatora elektrolitycznego, czego konsekwencją jest zniszczenie odwrotnie włączonego kondensatora i zwarcie. Bardzo duża liczba zastosowanych elementów odsprzęgających wynika z konieczności zapewnienia dobrego odsprzężenia układu w szerokim zakresie częstotliwości. Kondensatory 1nF powinny być typu NP0 (COG), w razie problemu kupienia kondensatorów o takiej pojemności można je zastąpić kondensatorami np. 820pF. Powszechnie stosowane kondensatory X7R (produkowane zwykle od pojemności 1nF wzwyż) mają znacznie gorsze właściwości odsprzęgające. Kondensatory ceramiczne 22nF i 4,7nF zastosowane w układzie powinny odznaczać się możliwie niskim rozrzutem pojemności. Idealem byłoby tu również użycie kondensatorów typu NP0 (COG), wadą ich jest jednak bardzo wysoka cena wynosząca około paru złotych za sztukę przy tej wartości pojemności, czasami można je jednak kupić na serwisach aukcyjnych za ułamek tej kwoty. Kondensatory X7R również będą pracować, jednak osiągnięte wyniki będą nieco gorsze. Wszystkie rezystory, zastosowane w otoczeniu wzmacniaczy operacyjnych, powinny mieć tolerancję 1% – zapewniają one najlepszy stosunek ceny do otrzymanych parametrów. Cewki 180μH są typowymi dławikami osiowymi. Układ FST3253 może być bez żadnych zmian zastąpiony układem 74CBT3253. Kondensatory 100pF w układzie sprzężenia zwrotnego wzmacniaczy NE5532 montujemy na rezystorach 10kΩ. Cały układ jest zasilany napięciem symetrycznym ±9V, co jest

R E K L A M A

Rys. 4. Skala 50%



Rys. 5. Skala 50%

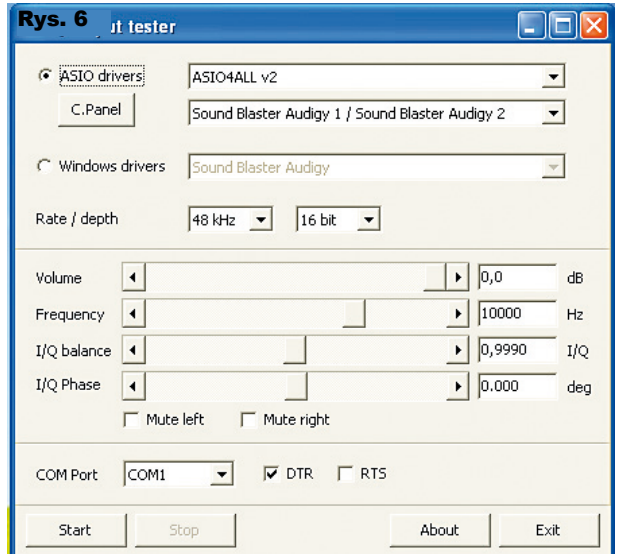


niewielką niedogodnością układu. W układzie można wykorzystać również zasilanie napięciem niesymetrycznym. W tym wypadku wskazane byłoby użycie wzmacniaczy z wyjściem typu *rail to rail* lub przynajmniej wzmacniaczy NE5532 w wersji z rozszerzonym zakresem napięć zasilania (wzmacniacze NE5532 występują w wersjach z napięciem zasilania ± 5 do $\pm 15V$ i ± 3 do $\pm 20V$). Aby wykonać układ zasilany z pojedynczego napięcia zasilania, konieczne jest zastąpienie przynajmniej paru kondensatorów odsprężających ujemne napięcie zasilania opornikami o wartości 0Ω (najlepiej wszystkich). Praca układów NE5532 przy pojedynczym napięciu zasilania psuje nieco dynamikę układu i wymaga zmniejszenia wartości rezystancji w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniaczy z $10k\Omega$ na $4,7k\Omega$ przy jednoczesnym proporcjonalnym wzroście pojemności w obwodzie ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniaczy operacyjnych. W dalszej części artykułu zostanie opisana odpowiednia przetwornica (opcja), która umożliwi rozwiązanie tego problemu. Cały układ najlepiej umieścić w obudowie ekranującej z cienkiej blachy. Zamiast układu 74AC(T)74 można zastosować również układ serii LVC. Układy serii LVC pracują poprawnie przy 5V zasilania, co wynika z ich danych katalogowych (oryginalnie są to układy stworzone do pracy przy 3,3V w układach pośredniczących pomiędzy logiką 3,3 i 5V). Użycie układu serii LVC daje możliwość odbioru pasma 6m. Wykorzystane przerzutniki powinny mieć jak najwyższą częstotliwość pracy. Należy również pamiętać, że występują znaczne różnice szybkości pracy układów, w zależności od producenta, nawet w obrębie tej samej rodziny układów (np. ACT).

Uruchomienie układu

Pierwszą czynnością jaką musimy wykonać, jest podłączenie zewnętrznego filtra pasmowego lub zestrojenie filtra obecnego na płytce. W przypadku prawidłowej pracy odbiornika, na wejściach 2 i 14 układu FST3253 powinniśmy uzyskać sygnał o częstotliwości będącej częstotliwością czterokrotnie mniejszą od częstotliwości generatora. Napięcie stałe mierzone w tym miejscu za pomocą multimetru cyfrowego powinno wynosić około 2,5V. Napięcia na wszystkich wyprowadzeniach wzmacniaczy operacyjnych powinny być równe napięciu odniesienia wytwarzanemu przez źródło napięcia odniesienia (2,5V). Przebiegi obecne w praktycznie wszystkich kluczowych punktach tego układu można znaleźć na stronie <http://sites.google.com/site/sq4avs/trx-sdr> – opisany układ jest dość podobny do wyżej opisywanego. Odbiornik najlepiej wstępnie sprawdzić, wykorzystując program Rocky. Szczegółowa instrukcja korzystania z tego programu znajduje się <http://sites.google.com/site/sq4avs/sdr>.

W przypadku używania systemów nowszych niż Windows XP najlepiej użyć programu SDRadio (opis w EdW 2/2010). W prawidłowo działającym układzie widoczny jest jeden sygnał, sygnał lustrzany powinien być wytłumiony. W celu sprawdzenia toru nadawczego instalujemy programy IQout (http://www.m0kgk.co.uk/sdr/iqout_setup.exe) i drivery ASIO4ALL (http://tip-pach.business.t-online.de/asio-4all/ASIO4ALL_2_9_English.exe). Wyjście karty m.cz. podłączamy do wejść TRX, podłączamy napięcie zasilające poczwórny wzmacniacz operacyjny (TS914) i wprowadzamy TRX-a w stan nadawania przez podanie napięcia z zakresu od 6 do 12V na wyprowadzenie *tr/rx*. Uruchamiamy program IQ output tester (**rysunek 6**) i generujemy ton 10kHz (jego dokładna częstotliwość nie ma większego znaczenia). Wartość I/Q Balance powinna podczas testów wynosić 1, a I/Q Phase 0. Każda większa zmiana tych wartości będzie powodowała złe wytłumienie kanału lustrzanego. W przypadku prawidłowej pracy nadajnika powinniśmy uzyskać po filtrze pasmowym (obciążonym impedancją znamionową 50Ω) sygnał o częstotliwości pracy generatora w.cz. podzielonej przez 4



powiększonej (lub pomniejszonej) o częstotliwość sygnału audio generowaną przez komputer. Zamiana między sobą kanałów audio powinno spowodować, że otrzymamy drugi z produktów mieszania, to znaczy jeśli za pierwszym razem otrzymaliśmy produkt będący sumą częstotliwości, za drugim razem powinniśmy otrzymać produkt będący różnicą częstotliwości. Szczegółowy opis podłączenie urządzenia do komputera opisany będzie w kolejnym artykule.

Rafał Orodziński SQ4AVS
sq4avs@gmail.com

Wykaz elementów

Rezystory

R1-R2,R9,R28-30,R33	51 Ω 0805
R3-R4,R7-R8,R61	1k Ω 0805
R5,R31-R32	150 Ω 0805
R6	470 Ω 0805
R10-R11,R25,R45-R46,R49-R50,R57-R58	180 Ω 0805 1%
R12-R15, R17-R24,R37-R40,R47,R48,R51,R52,R56,R59	10k Ω 0805 1%
R16,R41	4,7k Ω 0805
R26	470 Ω (przewlekany, opcja)
R27,R44,R60	Rx wieloobrotowy smd (patrz tekst)
R34-R36,R53-R55	100 Ω 0805 1%
R42	47k 0805
R43	3,3k Ω 0805
R62	330 Ω 0805
R63	0 Ω 1206 (patrz tekst)

Kondensatory

C1,C2,C72,C73	4,7nF 0805 NPO (patrz tekst)
C3,C11-C14,C22,C23,C28,C30,C39,C42,C49,C50,C52,C59,C61,C63,C65,C66,C70,C71,C79,C80,C84-C86,C95,C98,C99	10 μ F 1206
C4,C5,C15,C19,C20,C31,C32,C44,C46,C48,C57,C67,C68,C77,C78,C83,C91,C 94,C96	1nF 0805 NPO
C6,C8,C16-C18,C33,C40,C47,C55,C56,C58,C64,C69,C74-C76,C81,C82,C87-C90,C92,C93,C100,C101	100nF 0805
C7,C53,C54,C97	100 μ F/16V

C9,C10	47nF 0805
C21,C29,C35,C45,C60,C62	100pF 0805 NPO
C24-C27	22nF 0805 NPO (patrz tekst)
C34	33nF 0805 NPO (patrz tekst)
C36,C37	10-40pF trymer ceramiczny 5mm
C38,C43	56pF 0805 NPO
C41	15pF 0805 NPO

Półprzewodniki

D1	C4V3
D2	LED 0805 Czerwona
U1	FST3253 SMD
U2	7805
U3	LM317L (TO92)
U4	TS914 SMD
U5,U7,U8	NE5532 SMD
U6	74AC(T)74 SMD
U9	7806
Q1	MMBT3904
Q2,Q3	BFT92
Q4	14,85MHz (opcja)

Indukcyjne

L5,L9,L10,L12	4,7 μ H 1008
L1,L2	10 μ H osiowy
L4	100nH 1008
L3,L13,L14	10 μ H 1206
L6-L8,L11	180 μ H osiowy
Tr1	2*8 zwojów 10*6*4 F1001 można również użyć FT37-43

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2954.