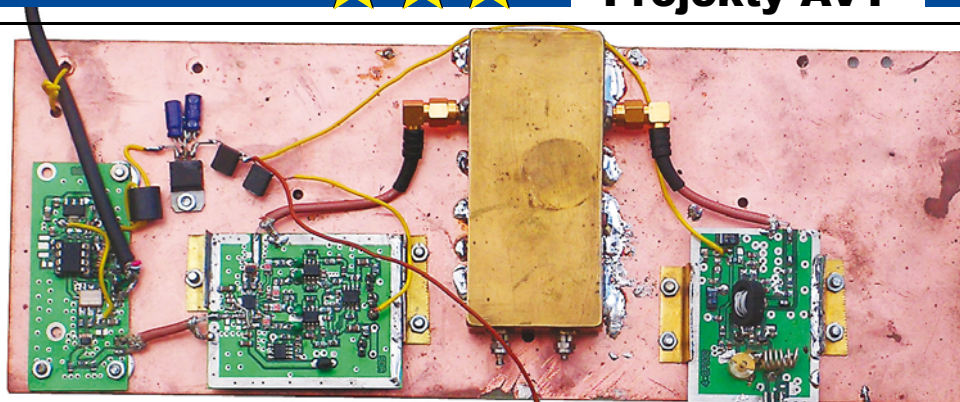




Odbiornik SDR na pasmo 2m

Wielokrotnie w literaturze były opisywane odbiorniki w technologii SDR na „niższe” pasma amatorskie do 50MHz włącznie. Układy takie mają liczne zalety, ale też pewne wady. Do odbioru z wykorzystaniem techniki SDR na wyższych pasmach, w tym 2m, stosuje się dwa rozwiązania, w pierwszym, stosunkowo prostym i tanim, wykorzystuje się tradycyjną przemianę na częstotliwość pośrednią, która leży w zakresie pracy klasycznych odbiorników SDR. Drugie rozwiązanie polega na użyciu specjalizowanych układów demodulatorów I/Q lub budowie takiego urządzenia z elementów dyskretnych. Opisywane urządzenie jest klasycznym odbiornikiem radiowym w technologii SDR, bez torów pośredniej częstotliwości, z wykorzystaniem specjalizowanego układu scalonego, czego wynikiem jest bardzo duża prostota, łatwość uruchomienia i niska cena. Zastosowany układ zapewnia bardzo dobre parametry dynamiczne przy minimalnej liczbie elementów. Ceny układów tego typu będą spadać, bowiem technika fazowa I/Q wchodzi bardzo odważnie do odbioru i nadawania radiowego, a w niektórych zastosowaniach jest już standardem, np. w telefonii komórkowej GSM, sieciach Wi-Fi, tunerach TV SAT. Układy tego typu można też budować samodzielnie z elementów dyskretnych. Znane są amatorskie konstrukcje układów wykorzystujących metodę fazową, pracujące aż do 24GHz (autor Matjaz Vidmar S53MV). Istnieją również specjalizowane układy, wykorzystujące technikę I/Q, pracujące w zakresie do 30GHz (jednak ich cena wynosi kilkaset euro za sztukę).

Jeśli chodzi o prezentowany odbiornik, to Krzysztof SP7DCS, jeden z najlepszych operatorów pracujących techniką EME, testował go na pasmach 2m (bezpośrednio) i 23cm po podłączeniu do konwertera nadawczo-odbiorczego (tzw. transwertera). W technice EME używa się Księżyca jako „lustra” odbijającego fale radiowe. Umożliwia to przeprowadzenie łączności na falach ultrakrótkich i mikrofalowych, gdy stacje się nie widzą i są od siebie bardzo odległe (podstawowy warunek: obie stacje muszą widzieć Księżyc). Nazwa EME

wywodzi się od Earth-Moon-Earth (Ziemia-Księżyc-Ziemia). Według autora tego tekstu jest to najtrudniejsza technika łączności, wykorzystywana przez radioamatorów. Stacja przeprowadzająca łączności tą techniką musi dysponować efektywnym systemem antenowym (o dużym zysku, często jest to wiele anten z odpowiednim sumatorem uzupełnionym o niskoszumny przedwzmacniacz), dobrym odbiornikiem oraz dużymi mocami nadajnika. Inne zastosowania tego układu będą pokazane na końcu artykułu.

Układ LT5517

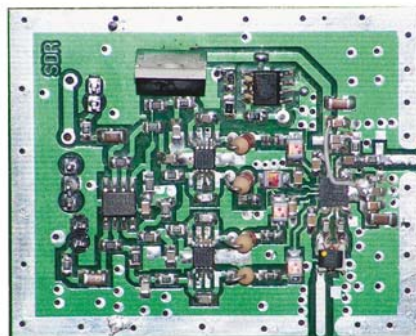
Układ LT5517 jest odbiornikiem I/Q (**fotografie 1 i 2**) pracującym, według danych producenta, w zakresie częstotliwości 40-900MHz. Szumy tego układu wynoszą przy 144MHz (pasmo amatorskie 2m) około 9dB, wzmocnienie 4,5dB, IIP3 (parametr mówiący o odporności na silne sygnały) +23dBm. W paśmie 430MHz (70cm) szumy układu wynoszą około 11dB, wzmocnienie 4dB, IIP3 +21,5dBm. Parametry układu nieco pogarszają się ze wzrostem częstotliwości odbieranej. Odpowiednie wykresy przedstawiające parametry układu LT5517 w funkcji częstotliwości, zainteresowani znajdą w karcie katalogowej układu. Wartości parametru IIP3 (odporność na przesterowanie) są naprawdę wysokie. Takie wartości trudno jest uzyskać nawet w mieszaczu diodowym sterowanym mocą 50mW (+17dBm) ze względu na trudności w dopasowaniu wszystkich wrót, rosnące ze wzrostem częstotliwości. Układ LT5517

wymaga mocy oscylatora w zakresie -15 do 0dBm (optymalnie około -10dBm), co jest wartością bardzo małą, w porównaniu do mieszacza diodowego. Błąd niezrównoważenia amplitudy wynosi maksymalnie 0,3dB, zaś fazy: 0,7 stopnia. Deklarowane przez producenta wartości są parametrami dobrymi, ale w praktyce okazują się niestety nieco gorsze, głównie ze względu na wpływ transformatora dopasowującego.

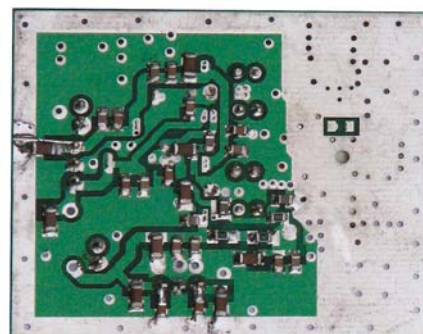
Współczynnik szumów

Niepokojącym parametrem wydaje się stosunkowo wysoka wartość współczynnika szumów własnych, dla pasma 70cm wynosząca 11dB (w mieszaczu diodowym około 7dB). Jednak w zakresie UKF praktycznie każdy odbiornik wymaga wzmacniacza antenowego. W przypadku wzmacniacza antenowego o szumach 0,5dB, wzmocnieniu 20dB oraz następującego po nim mieszacza (LT5517 pasmo 70cm) o szumach 11dB i wzmocnieniu 4dB, szumy wypadkowe wyniosą 0,93dB, a wzmocnienie 24dB. Dla porównania dla takiego samego wzmacniacza antenowego (G=20dB, NF=0,5dB) i mieszacza diodowego o tłumieniu przemiany 7dB i szumach 7dB, wypadkowe wzmocnienie wynosi 13dB, a szumy 0,65dB. Jeśli zastosujemy dodatkowy wzmacniacz w torze p.c., by skompensować tłumienie mieszacza diodowego o współczynniku szumów 1dB i wzmocnieniu 11dB, wypadkowe szumy toru odbiorczego wyniosą 0,7dB, a wzmocnienie 24dB. Różnica na korzyść układu klasycznego wynosi tylko

Fot. 1



Fot. 2



0,23dB. Parametry LT5517 w paśmie 2m będą lepsze niż w paśmie 70cm. W praktyce różnice nie będą wyraźne, a ponadto duży wpływ na współczynnik szumów na zakresie UKF ma tłumienie pomiędzy anteną odbiorczą a wejściem wzmacniacza, zależne od długości i jakości zastosowanego kabla antenowego, a nawet sposobu zarobienia złącz. Trzeba pamiętać, że jeśli mamy bardzo dobry wzmacniacz o szumach 0,5dB, a tłumienie kabla między anteną a jego wejściem wynosi tylko 1dB, to wypadkowe szumy wynoszą już $0,5+1=1,5\text{dB}$! Dlatego w stacjach pracujących bardziej wyczynowo wzmacniacz najczęściej umieszcza się tuż przy antenie i wtedy określamy go jako przedwzmacniacz.

Wartość współczynnika szumów jest szczególnie ważna przy odbiorze bardzo słabych sygnałów, co w ogóle często możliwe bywa tylko tam, gdzie poziom zakłóceń tła jest mały (np. na wsi). Natomiast w dużych aglomeracjach miejskich o możliwości odbioru decyduje nie wartość współczynnika szumów, tylko odporność układu na zakłócenia, a ta jest w opisywanym układzie wysoka, dzięki czemu można zastosować wzmacniacz o nieco większym wzmocnieniu, aby jeszcze bardziej zmniejszyć wpływ szumów układu LT5517 i zrównać się pod tym względem z układem klasycznym. Oczywiście zastosowany wzmacniacz również musi mieć odpowiednio dużą odporność na przesterowanie. Kto chce, może sam wykonać wzmacniacz wejściowy o jeszcze niższym poziomie szumów. Odpowiedni kalkulator, liczący parametry układów, jest na stronie internetowej <http://www.microwaves101.com/encyclopedia/cascade.cfm> (używając kalkulatora, należy stosować znak kropki, a nie przecinka).

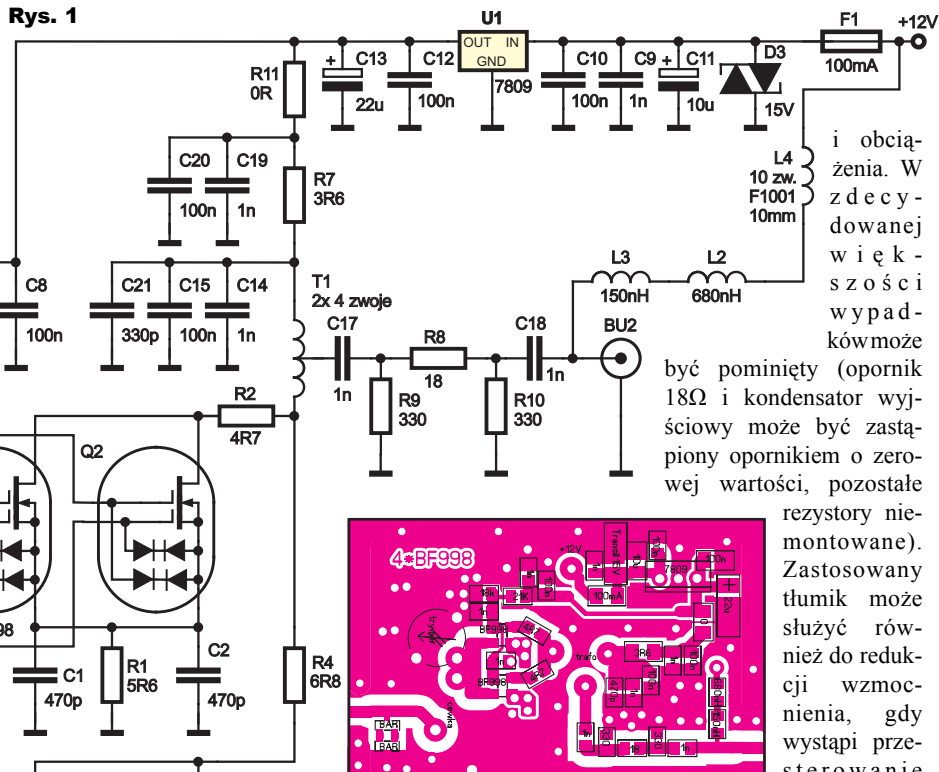
Wzmacniacz antenowy

Opisany właśnie wpływ wzmacniacza antenowego na parametry toru odbiorczego jest bardzo istotny w zakresach powyżej 50 MHz. Na marginesie warto dodać, że układy konstruo-

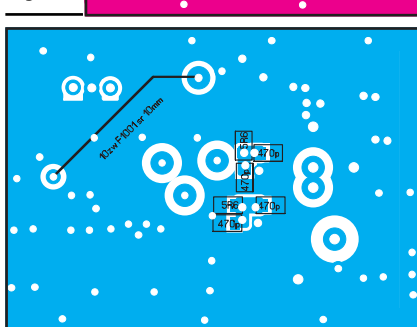
wane przez zaawansowanych amatorów, zajmujących się techniką radiową, generalnie mają znacznie lepsze parametry odporności na silne sygnały i niższe współczynniki szumów niż popularne wzmacniacze stosowane przez producentów sprzętu RTV. Jeśli chodzi o wartość współczynnika szumów, to wyjątek od tej reguły stanowią głowice konwerterów satelitarnych, gdzie stosowane są optymalizowane na daną częstotliwość tranzystory - parametry są trudne do pobicia w wykonaniu amatorskim (na paśmie 10GHz). Opisany dalej wzmacniacz przeznaczony jest na pasmo 144MHz, bazuje na konfiguracji zaproponowanej przez Roberta Vilhe S53WW. Schemat wzmacniacz pokazany jest na **rysunku 1**, natomiast schematy montażowe na **rysunkach 2 i 3 (fotografie 3 i 4)**. Układ ten wyróżnia zastosowanie czterech tranzystorów dwubramkowych typu MOSFET połączonych równolegle. Rozwiązanie takie powoduje obniżenie szumów wzmacniacza i wzrost odporności na silne sygnały. Najlepiej stosować tranzystory MOSFET BF998 produkcji firmy Infineon (dawny Siemens). Tranzystor BF998 produkuje też wiele firm, dlatego mają

różny współczynnik szumów. Tranzystory Infineona mają współczynnik szumów na poziomie 0,6dB, NXP (Philips) 0,7dB, a Vishaya 1dB. Niska impedancja anteny (50Ω) dopasowywana jest do wysokiej impedancji bramek pierwszych tranzystorów za pomocą obwodu rezonansowego z odczepem. Odczep znajduje się na drugim zwoju od strony masy (jeden z Kolegów lepsze rezultaty otrzymał, gdy odczep znajdował się na trzecim zwoju od strony masy). W obwodach źródeł znajdują się rezystory ustalające stałoprądowy punkt pracy. Źródła są odsprężone dla sygnałów w.cz. za pomocą kondensatorów 470pF typu NP0. W drenach tranzystorów umieszczono oporniki 6,8Ω, które mają mały wpływ na wzmocnienie, a znacząco zapobiegają samowzbudzeniu. Wyjście wzmacniacza dopasowane jest do 50Ω za pomocą transformatora szerokopasmowego, nawiniętego na rdzeniu z symetryzatora antenowego. Wlutowując ten transformator, należy pamiętać, by jego wyprowadzenia były jak najkrótsze. Obecny na wyjściu wzmacniacza tłumik o tłumieniu 3dB zapobiega utracie stabilności praktycznie dla dowolnej impedancji źródła sygnału

Rys. 1



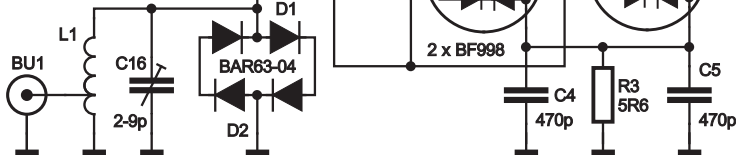
Rys. 2



Rys. 3

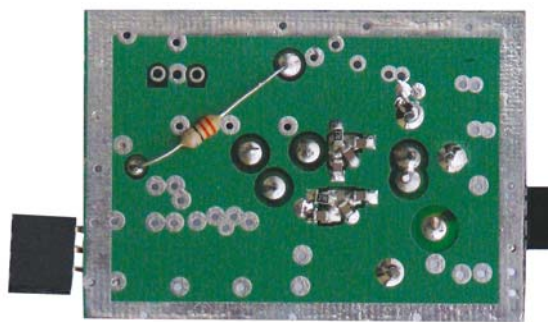
gich bramek MOSFET-ów ustala wzmocnienie układu i wpływa na szumy. Wartość 4V jest optymalna. Obwód wejściowy stroimy na maksimum sygnału, stroi się on dość pła-

6 zw., śr. 5mm
długość 10mm
odczep 2 zw. od masy





Fot. 3



Fot. 4

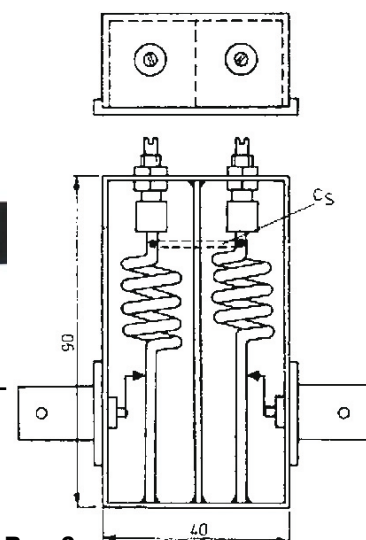
sko (nie ma bardzo wyraźnego maksimum). Na wejściu można zastosować połączone odwrotnie równoległe diody PIN. Nie są one niezbędne, a chronią wzmacniacz przed dużymi sygnałami w.cz., nie będąc jednocześnie źródłem zniekształceń intermodulacyjnych (w przeciwieństwie do klasycznych diod). Zamontowanie diod PIN powoduje bardzo nieznaczny wzrost współczynnika szumów wzmacniacza: z tym zabezpieczeniem około 0,55dB, przy wzmacnieniu 21dB (z tłumikiem 3dB). Przy zasilaniu 12V układ pobiera dość dużo prądu, około 45mA, ale dzięki temu ma dobre właściwości intermodulacyjne (odporność na przesterowanie). O odporności na intermodulację w tym wzmacniaczu w dużym stopniu decyduje też przekładnia transformatora dopasowującego T1. Elementy L2, L3, L4 (mocowane na płytce od strony masy) są potrzebne, gdy chcemy zasilić (przed)wzmacniacz przez kabel antenowy. Wtedy ważna jest dioda transil D3, zabezpieczająca przed przepięciami. Pomocniczy bezpiecznik polimerowy 100mA może być zastąpiony rezystorem 0Ω o rozmiarze 1206. Tranzystory BF998 montowane są grupami po dwa w postaci „kanapki” (nalutowane jeden na drugi). W przypadku kondensatorów odsprzegających 1nF nie wolno zamieniać ceramiki NP0 na inny rodzaj. W razie problemów z kupieniem kondensatorów z ceramiki NP0 należy złożyć wymaganą pojemność z dwóch mniejszych kondensatorów NP0 np. o pojemności 560pF (lutowanych na sobie). Zastosowany we wzmacniaczu kondensator dostrojczy powinien być dobrej jakości trymerem foliowym (nie należy stosować trymera ceramicznego). Wzmacniacz zbudowany jest na płytce z laminatu szklano-epoksydowego o grubości 0,8mm i powinien być umieszczony w obudowie ekranującej. Cewka wejściowa powinna być umieszczona 2...3mm powyżej masy, i minimum 1cm od ekranu zewnętrznego. Wypadkowa charakterystyka wzmacniacza z filtrem i załączonym tłumikiem 30dB (o tę wartość należy zwiększyć wzmacnienie wzmacniacza) pokazana jest na **rysunkach 4 i 5**. Wypadkowe wzmacnienie wzmacniacza z filtrem wynosi około 17dB (−12,88dB + 30dB). Rzeczywiste wzmacnienie wzmacnia-

cza wynosi około 24dB (17dB + 3dB tłumik + 4dB tłumienie filtra w paśmie przepustowym). Uzyskany współczynnik szumów, niewiele mniejszy niż dla samego tranzystora, wynika ze strat w obwodach dopasowujących (wzmacniacz na jednym tranzystorze ma współczynnik szumów na poziomie 0,8dB). Taki wzmacniacz można też wykorzystać w innych urządzeniach w pasmach zbliżonych do 2m.

Filtr na pasmo 2m

Rola tego elementu jest szczególnie ważna w układach SDR, ponieważ odbierają one również sygnały radiowe na nieparzystych wielokrotnościach częstotliwości oscylatora. Filtr powinien więc zapewnić wysokie tłumienie nieparzystych wielokrotności częstotliwości odbieranej. Jest to bardzo ważne. Opisany dalej układ filtra pochodzi z Anglii, a w Polsce znany jest z „Poradnika UltraKrótkoFalowca” Zdzisława Bieńkowskiego, SP6LB. Budowa filtra pokazana jest na **rysunku 6**. Filtr zbudowany jest z dwóch rezonatorów, „skracanych” pojemnościami (trymery rurkowe) o pojemności 15pF. Zastosowane trymery powinny być dobrej jakości. Każda z cewek znajduje się w oddzielnej komorze. Rezonatory sprzężone są między sobą za pomocą odcinka drutu w izolacji polietylenowej pochodzącego z kabla koncentrycznego z litą żyłą (nie linką), odizolowanego na końcach i przechodzącego od jednej komory do drugiej. Oczywiście można w tym miejscu zastosować sam drut i przepust plastikowy. Wielkość sprzężenia powinna być dobrana eksperymentalnie (zbliżanie drutu

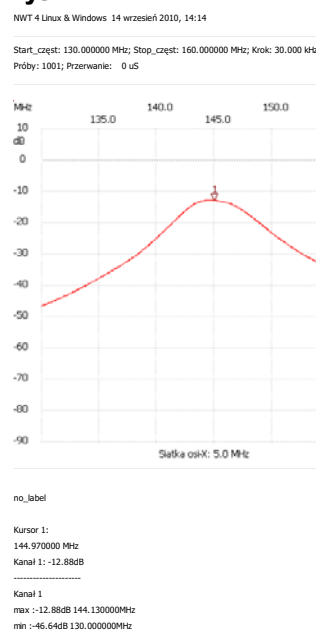
do drugiej z cewek, przy lekkim jego zagięciu), a cały proces strojenia



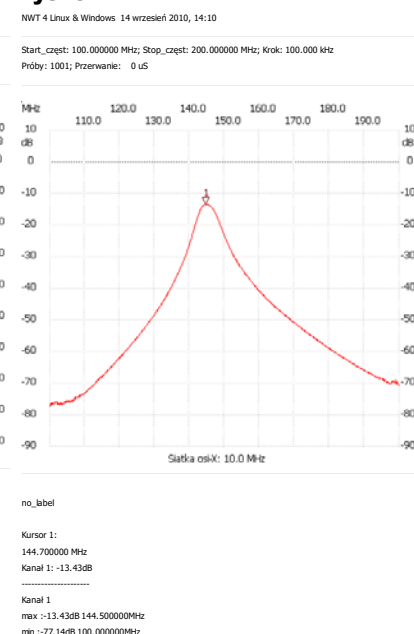
Rys. 6

najlepiej obserwować na ekranie wobuloskopu. Stroimy filtr, zmieniając pojemność trymerów. Otrzymana charakterystyka filtra pokazana jest na **rysunku 7**. Wielkość sprzężenia decyduje o tłumieniu oraz zafalowaniach w paśmie przepustowym, jak również stromości zboczy i stratach w paśmie przepuszczania. Słabsze sprzężenie rezonatorów spowoduje większe straty w paśmie przepustowym filtra, ale jednocześnie bardziej strome zbocza. Większe tłumienie filtra w paśmie przepustowym może być łatwo skompensowane za pomocą odpowiedniego wzmacniacza w.cz. Dopasowanie impedancyjne uzyskane jest dzięki stosowaniu odczepów na rezonatorach (można poeksperymentować z ich położeniem). Rezonatory wykonane są z drutu srebrzonego o średnicy 1,5mm (może być od 1 do 2mm, lepszy jest drut o większej grubości), średnica nawinięcia cewek wynosi 15mm, zaś liczba zwojów 4. Cały filtr osłonięty jest obudową z blach mosiężnych o grubości 1mm. Jako wyprowadzenia filtra zastosowano złącza typu SMA, poszczególne moduły odbiornika połączono

Rys. 4



Rys. 5

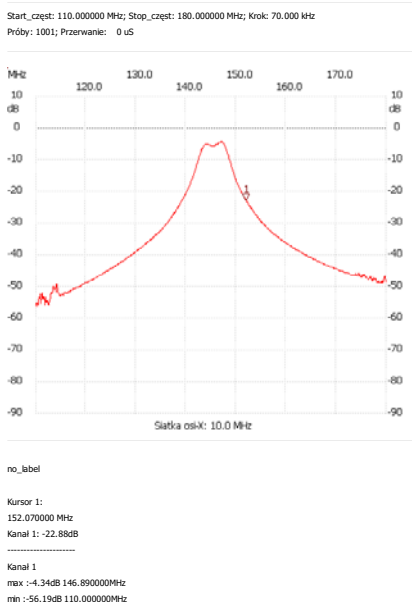


za pomocą odcinków kabla koncentrycznego z odpowiednimi złączkami. Do lutowania obudowy filtru należy używać lutownicy o mocy minimum kilkudziesięciu watów. Najlepiej użyć specjalnego lutowni zawierającego srebro (tzw. „cyna do układów w.cz.”), z nieco tylko gorszym rezultatem może być ono zastąpione zwykłą cyną. Przy lutowaniu układów w.cz powyżej 100MHz używamy jak najmniejszych ilości lutowni, zapewniając jednak dobry kontakt elektryczny. Od jakości i staranności wykonania filtru w dużej mierze zależą będą parametry całego odbiornika. Filtr można zastąpić dowolnym innym filtrem na częstotliwość 2m o odpowiednio dobrych parametrach. Wiele opisów takich filtrów znajduje się w literaturze i Internecie.

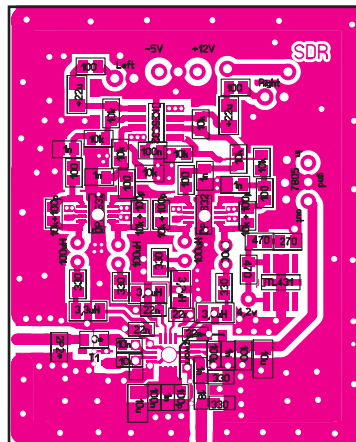
Odbiornik

Schemat ideowy odbiornika pokazany jest na **rysunku 8**, a montażowy na **rysunkach 9 i 10**. Układ LT5517 wymaga heterodyny o częstotliwości dwukrotnie wyższej niż częstotliwość odbierana. Jest to potrzebne do otrzymania sygnałów w.cz., przesuniętych w fazie o 90 stopni na częstotliwości pracy odbiornika (zasada działania odbiornika I/Q). Dużą wygodą dla konstruktora jest w tym układzie wewnętrzne dopasowanie toru oscylatora przemiany do 50Ω. Wejście odbiornika ma impedancję zbliżoną do 200Ω i powinno być dopasowane symetrycznie do impedancji 50Ω. Dopasowanie takie najprościej wykonać za pomocą transformatora szerokopasmowego WBC4-6TLB o przekładni impedancyjnej 1 do 4 (np. -6TLB). Pasma częstotliwości pracy odbiornika w dużym stopniu zależy od jakości zastosowanego transformatora – powinien on mieć nie tylko odpowiednie pasmo przenoszenia, małe tłumienie na częstotliwości pracy, ale i jak najmniejszy błąd nierównoważenia amplitudy i fazy. Transformatory tego typu w obudowie, którą można wluutować do tej płytki, produkuje wiele firm. Kondensator na wejściu transformatora, o pojemności około 2,2pF, zwiększa szerokopasmowość układu (poprawia przenoszenie wyższych częstotliwości szczególnie powyżej 200MHz). Pojemność ta powinna być dobrana eksperymentalnie. Wykorzystując transformator dopasowujący, należy pamiętać o izolacji wejść symetrycznych odbiornika od składowej stałej, za pomocą kondensatorów odsprężających odpowiedniej jakości. Możliwe jest również dopasowanie za pomocą obwodu typu CLC pokazanego na **rysunku 11**. Wadą tego rozwiązania jest ograniczenie częstotliwości pracy do jednego pasma i konieczność zestrojenia układu. W przypadku pasma 2m, zastosowane kondensatory mają wartość 22pF (rozmiar 0603), a cewka 135nH. Dostrojenie na maksimum odbieranego sygnału odbywa się za pomocą cewki (montowana od strony masy). Schemat montażowy takiej wersji układu pokazany jest na **rysunku 12**.

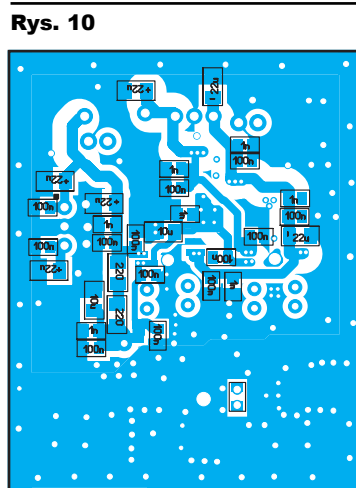
W układzie tym nie montuje się transformatora, a brakujące połączenie wykonuje się za pomocą opornika 0Ω, o rozmiarze 1206. W układzie teoretycznie można zastosować również dopasowanie asymetryczne, ale powoduje ono pogorszenie parametrów szumowych, zmniejszenie wzmocnienia i odporności na przesterowanie. W rzeczywistości odbiornik może pracować już od 3,5MHz, chociaż gwarantowana częstotliwość pracy zaczyna się od 40MHz. Wymaga to dodania kondensatorów odsprężających o wartości 100nF po transformatorze i w torze heterodyny (nalutowania ich na kondensatory 1nF) oraz zastosowania odpowiednich filtrów pasmowych. Pasma pracy tego układu od dołu ograniczają sprzężenia pojemnościowe w samym układzie scalonym (tor heterodyny); na niższych pasmach KF układ wymaga też większej mocy heterodyny. W układzie zastosowano szereg elementów odsprężających o różnych pojemnościach. Kondensator o najmniejszej pojemności lutowany jest najbliżej wyprowadzeń układu LT5517. Część m.cz. odbiornika została zapożyczona z opracowania odbiornika HPSDR. Wejścia układu LT5517 powinny być obciążone (według karty katalogowej) impedancją 2x300Ω (obciążenie symetryczne), w przeciwnym wypadku wzmocnienie układu LT5517 wyraźnie spada i dla 2x50Ω jest mniejsze aż o 6,85dB względem obciążenia 2x300Ω. Sygnał z wyjść różnicowych układu LT5517 (I, I- i Q, Q-) wzmacniany jest przez dwa podwójne, w pełni różnicowe, wzmacniacze typu OPA1632 (ok. 15zł/szt.). Układy te wyróżniają się bardzo małymi szumami. OPA1632 mają przy częstotliwości 10kHz gęstość szumów 1,3nV/√Hz, nato-



Rys. 7



Rys. 9

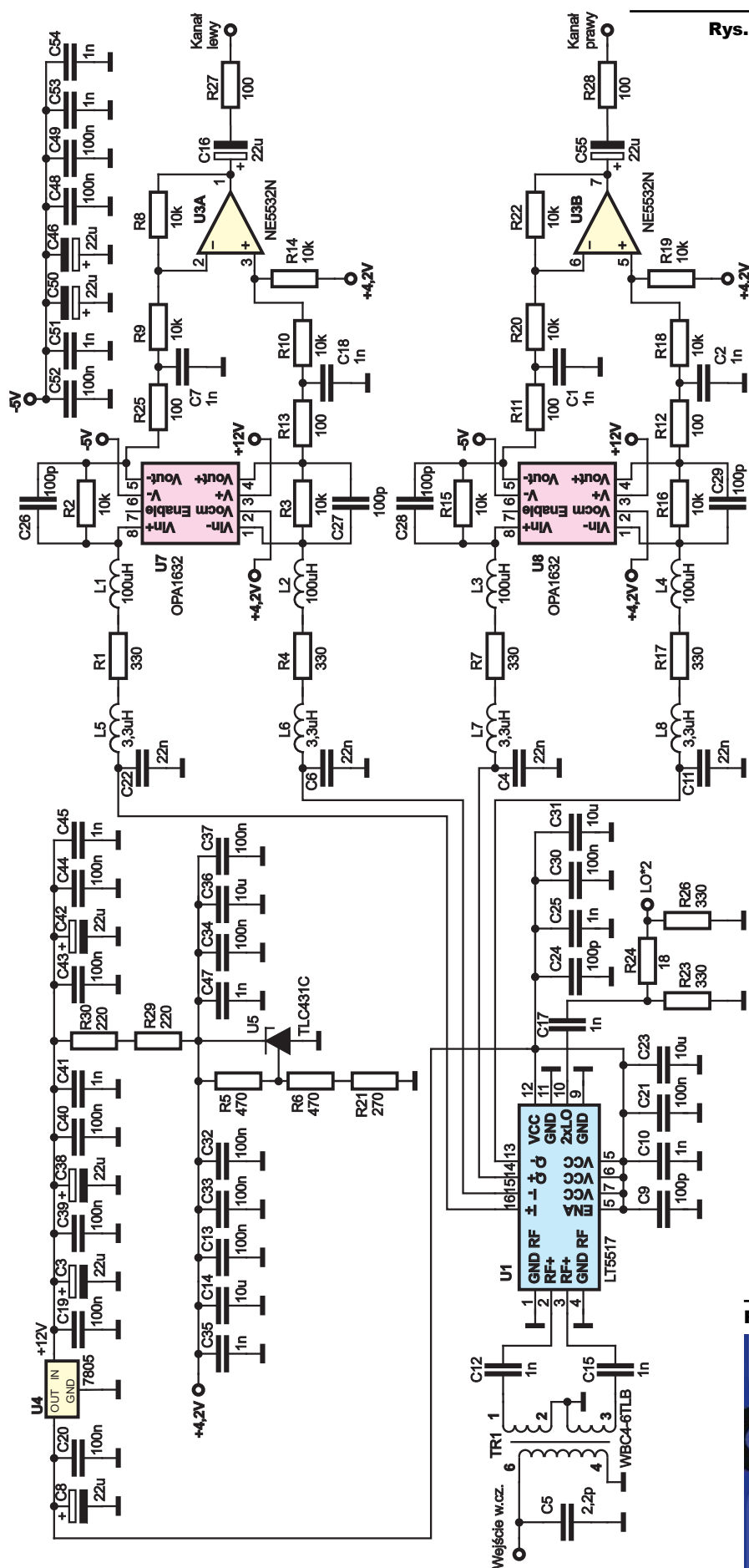


Rys. 10

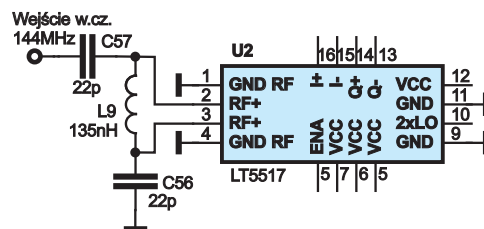
miast NE5532 około 5nV/√Hz, co wyrażone w jednostkach mocy daje różnicę aż 15 razy. Ponadto zniekształcenia układu OPA1632 wynoszą tylko 0,000022%. Kondensatory 100pF zmniejszają wzmocnienie wzmacniacza dla sygnałów wysokoczęstotliwościowych. Składowe wysokoczęstotliwościowe mieszania usuwają również dławiki podłączone do wejść. Sygnał ze wzmacniaczy OPA1632 jest podawany na wzmacniacz różnicowy zbudowany na NE5532, bo parametry szumowe nie są tu krytyczne. Na wyjściu wzmacniaczy operacyjnych NE5532 umieszczone są rezystory 100Ω, które zapobiegają wzbudzeniu układu, które może być powodowane przez pojemnościowe obciążenie (kable audio prowadzące do karty dźwiękowej komputera). W układzie można również użyć wzmacniacza typu LM833. W przypadku stosowania wzmacniaczy NE5532 lepsze są wersje z rozszerzonym zakresem napięć zasilania (±3V do ±20V). Napięcie odniesienia 4,2V wytwarza popularny TL431 w wersji SMD.

Synteza

Najlepiej by było zastosować syntezer SI5570 o oznaczeniu SI570BBB000141DG (układ w tej wersji pracuje według specyfikacji producenta do 810MHz, a w praktyce częstotliwość pracy wynosi aż do 945MHz). Wadą tej wersji SI570 jest dość wysoka cena. Układ SI570 w tańszej wersji SI570BBC000141DG, najbardziej popularnej wśród amatorów, pracuje tylko do 280MHz i nie jest możliwe osiągnięcie w nim wyższej częstotliwości. Problem ten może być jednak rozwiązany przez zastosowanie podwójacza częstotliwości na wyjściu SI570, co ograniczy



Rys. 8



Rys. 11

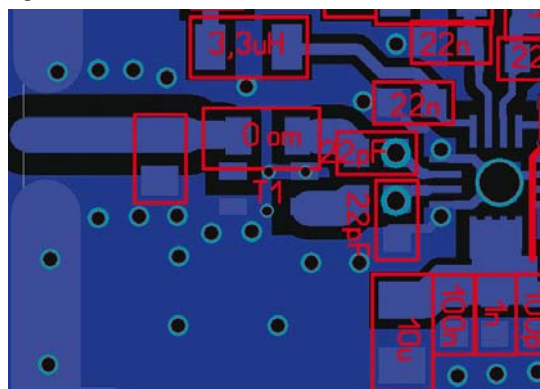
pasmo odbiornika do 2m (LT5517 wymaga częstotliwości oscylatora dwukrotnie wyższej niż częstotliwość pracy odbiornika). Oba wymienione układy mają wyjście różnicowe w standardzie LVDS. Układ najprościej zmontować na płytce syntezy SI570 (fotografia 5) dostępnej w AVT jako kit AVT-2912 (EdW 9/2009).

Najlepiej, gdy układy syntezy pracują z obciążeniem transformatorowym (odbywa się na nim sumowanie sygnału). Należy zadbać, by zastosowany transformator posiadał odpowiednią maksymalną częstotliwość pracy. Wartości elementów tłumika na płytce syntezy należy zmienić tak, by rezystory tłumika π podłączone do masy, miały wartość 100Ω, a opornik łączący te rezystory miał wartość 62Ω. Bez względu na rodzaj zastosowanego generatora wskazane jest użycie termostatu stabilizującego temperaturę pracy, a tym samym częstotliwość pracy generatora (kit AVT-2954/2). Mnożnik częstotliwości wpisany do programu radiowego, sterującego z syntezem SI570 powinien być równy 2 w przypadku pracy z układem SI570 o częstotliwości pracy do 810 MHz, natomiast mieć wartość 1 (jeden) w przypadku powielania sygnału syntezy w zewnętrznym powielaczu.

Montaż i uruchomienie modułu LT5517

Całość układu zmontowana jest na płytce laminatu szklano-epoksydowego (FR4) o grubości 0,8mm, pokrytego dwustronnie miedzią. Poprawnie zmontowany układ powinien zadziałać od pierwszego włączenia. Układ zbudowany jest z elementów SMD o różnych wymiarach (0603, 0805, 1206). Zastosowanie elementów 0603 wynikało z gęstego rastra nóżek układu LT5517, co wymusiło dużą gęstość upakowania elementów. W układzie wzmacniaczy OPA1632 i NE5532 wszystkie użyte elementy rezystancyjne powinny mieć tolerancję 1%. W przypadku konden-

Rys. 12



satorów 22nF, najlepiej zastosować dobre kondensatory ceramiczne z materiału NP0 (COG) lub przynajmniej dokładnie dobrane kondensatory z ceramiki X7R tak, by różnica między nimi wyniosła maksymalnie 2%. Niektóre egzemplarze TL431 mają tendencję do wzbudzania się nawet przy obciążeniu pojemnościowym równym 20μF, choć według katalogu taka pojemność powinna wystarczyć. Wzbudzenie stabilizatora najprościej wykręcić za pomocą oscyloskopu – w takim przypadku należy zastąpić kondensator 10μF odprężający napięcie 4,2V kondensatorem o większej pojemności, np. 100μF (tantal) lub usunąć oba kondensatory 10μF (C14, C36).

Problemem może być też (de)montaż układu LT5517. Przed wlutowaniem tego układu trzeba się upewnić co do numeracji nóżek i położenia znacznika na obudowie, bowiem demontaż byłby kłopotliwy (lutownicą na gorące powietrze). Autor przylutował układ za pomocą zwykłej lutownicy oporowej. Należy położyć kroplę topnika o konsystencji syropu (ważne, by był gęsty), ustawić układ tak, aby wszystkie wyprowadzenia znalazły się na odpowiednich miejscach i zostawić do odparowania topnika (można użyć suszarki do włosów w celu przyspieszenia odparowywania rozpuszczalnika). Następnie należy zalać układ z dwóch stron roztopioną kalafonią, przylutować niezalane kalafonią wyprowadzenia układu scalonego, oczyścić pozostałe wyprowadzenia spirytusem i je przylutować. W przypadku zwarcia wyprowadzeń, nadmiar lutowni można usunąć przez odciągnięcie za pomocą plecionki nasączonej kalafonią (np. ekranu miedzianego z kabla koncentrycznego lub specjalnej taśmy). Należy również w odpowiedni sposób przylutować transformator, by po stronie wtórnej środków podłączony był do masy. Układ może być zasilany w dwojaki sposób. Pierwsza wersja (optymalna) wymaga dwóch napięć +12V i -5V. W drugiej napięcie pracy układu scalonego wynosi 12V, a wszystkie kondensatory odprężające ujemne napięcie zasilania zastąpione są opornikami o wartości 0Ω. W poprawnie zmontowanym układzie LT5517 występują następujące napięcia stałe: na wejściach RF około 2,1V, na wyjściach I, I-, Q, Q- około 4,2V, na wyjściu toru heterodyny 1V. Na wyjściach wzmacniacza oraz na wyjściu układu TL431 powinno występować napięcie około 4,2V. Pobór prądu układu scalonego LT5517 wynosi około 90mA (moc 0,45W). W przypadku prawidłowych wszystkich napięć, przylutowujemy do masy pad termiczny układu LT5517 za pomocą kropli cyny. Układ OPA1632 występuje w dwóch wersjach obudów SO8 i MSOP8. Można zastosować obie wersje, a w przypadku SO8 należy podgiąć lekko skrajne nóżki układu scalonego. Nie jest to może rozwiązanie najładniejsze, ale to jedyna metoda umożliwiająca zamienne stosowanie układów w różnych wersjach obudów. Dostępność układów OPA1632 w różnych wersjach obudów na rynku jest bardzo zmienna. W

Wykaz elementów

Wzmacniacz w.cz.

Rezystory

R1,R3	5,6Ω (0805)
R2,R4	4,7Ω (0805)
R5	18kΩ (0805)
R6	21kΩ (0805)
R7	3,6Ω (1206)
R8	18Ω (0805)
R9,R10	330Ω (0805)
R11	0Ω (1206)

Kondensatory

C1,C2,C4,C5,C21	470pF (NP0)
C3,C6,C7,C9, C14,C17-C19	1nF (0805 NP0)
C8,C10,C12,C15,C20	100nF (0805)
C11	10μF/25V tantalowy
C13	22μF/16V tantalowy
C16	trymer 2-9pF czerwony

Półprzewodniki

D1,D2	BAR63-04
D3	Transil 15V dwustronny
Q1-4	BF998 (patrz tekst)
U1	7809

Pozostałe

L1	6 zwojów, średnica nawinięcia 5mm, długość 10mm, odczep 2 zw. od masy
T1	2 + 4 zwoje na rdzeniu dwuotworowym, wysokość rdzenia około 6mm
L3	150nH (0805) montowane tylko w przypadku zasilania wzmacniacza przez kabel antenowy
L2	680nH (0805) montowane tylko w przypadku zasilania wzmacniacza przez kabel antenowy
L4	10 zwojów F1001 o średnicy 10mm, montowane tylko w przypadku zasilania wzmacniacza przez kabel antenowy
F1	bezpiecznik polimerowy 100mA

Odbiornik

Rezystory

R1,R4,R7,R17	330Ω (0805 1%)
R2,R3,R8-R10,R14-R16,R18-R20,R22	10kΩ (0805 1%)
R5,R6	470Ω (0805)
R11-R13,R25,R27,R28	100Ω (0805 1%)
R21	270Ω (0805)
R23,R26	330Ω (0805)
R24	18Ω (0805)
R29,R30	220Ω (1206)

Kondensatory

C1,C2,C7,C17,C18,C35,C41,C45,C47,C51,C53,C54	1nF (0805 NP0)
C3,C8,C16,C38,C42,C46,C50,C55	22μF/25V tantal (SMD)
C4,C6,C11,C22	22nF (0603 NP0, dają się też wlutować elementy o rozmiarze 0805), patrz tekst
C5	2,2pF (0805)
C9,C24	100pF (0603 NP0)
C10,C12,C15,C25	1nF (0603 NP0)
C13,C19,C20,C32 -C34,C37,C39,C40,C43,C44,C48, C49,C52	100nF (0805)
C14,C23,C31,C36	10μF/25V (1206)
C21,C30	100nF (0603)
C26-C29	100pF (0805 NP0)

Półprzewodniki

U1	LT5517
U3	NE5532N
U4	7805
U5	TL431 (SOIC8)
U7,U8	OPA1632 (SO8), MSOP8

Pozostałe

L1-L4	100μH osiowy
L5-L8	3,3μH (1008)
TR1	WBC4-6TLB (Coilcraft)

Płyta drukowana jest dostępna

w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2970.

przypadku stosowania wzmacniacza OPA1632 w wersji MSOP8 wyprowadzony pad termiczny przylutowany ma być do masy. Odbiornik najlepiej zamknąć w ekranującej obudowie. W wersji prototypowej wszystkie bloki odbiornika połączone zostały na kawałku laminatu jednostronnego z wykorzystaniem warstwy miedzi jako wspólnej masy (**fotografia tytułowa**). Bardziej szczegółowe rysunki montażowe zainteresowani znajdą w Elportalu.

Zastosowania

Opisany układ może odbierać praktycznie wszystkie najbardziej popularne rodzaje modulacji stosowane w radiokomunikacji amatorskiej, czyli CW, SSB, NBFM (wąskopasmowy FM używany głównie w urządzeniach mobilnych) oraz AM. Liczba i rodzaj odbieranych emisji zależne są oczywiście od zastosowanego oprogramowania. Układ nie jest jednak w stanie odbierać szerokopasmowej

modulacji częstotliwości wykorzystywanej przez stacje komercyjne (rozgłośnie radiowe). Najbardziej polecanym programem do odbioru SDR jest program PowerSDR (GSDR) i w pewnych zastosowaniach Winrad. Po niewielkim przestrojeniu filtra i wzmacniacza antenowego, możliwy jest odbiór stacji np. lotniczych czy niektórych służb profesjonalnych.

Rafał Orodziński
sq4avs@gmail.com

<http://lea.hamradio.si/~s53ww/4xbf998/4xbf998.htm>

Zdzisław Bieńkowski *Poradnik UltraKrótkoFalowca*
Karta katalogowa układu LT5517
<http://sp7dcs.vgj.pl/>

Fot. 5

