

Większość urządzeń, przystosowanych do pracy w zakresie UKF, pracuje z modulacją częstotliwości (FM). W kraju jest kilka firm zajmujących się sprowadzaniem radiotelefonów FM renomowanych firm zachodnich: Yaesu, Icom, Standard, Alinco. Urządzenia te mają szeroki zakres częstotliwości pracy (przeważnie 140...174MHz), a więc mogą być wykorzystywane zarówno w profesjonalnych sieciach, jak i w pasmie amatorskim 2m. Nie są to jednak urządzenia tanie i nie wszystkich krótkofalowców stać na zakup takiego sprzętu. Chodzi tutaj głównie o młodzież szkolną, która stosunkowo łatwo zdobywa uprawnienia radiooperatorskie kategorii B, a potem - z braku sprzętu - nie może dalej rozwijać swojego hobby. Ponieważ większość opisów budowy sprzętu krótkofalarskiego dotyczy urządzeń pracujących w niższym zakresie fal krótkich, a więc nie do wykorzystania przez posiadaczy zezwoleń amatorskich kategorii B, proponujemy wykonanie bardzo prostego radiotelefonu na pasmo 2m.

Najprostszy radiotelefon FM - 2m

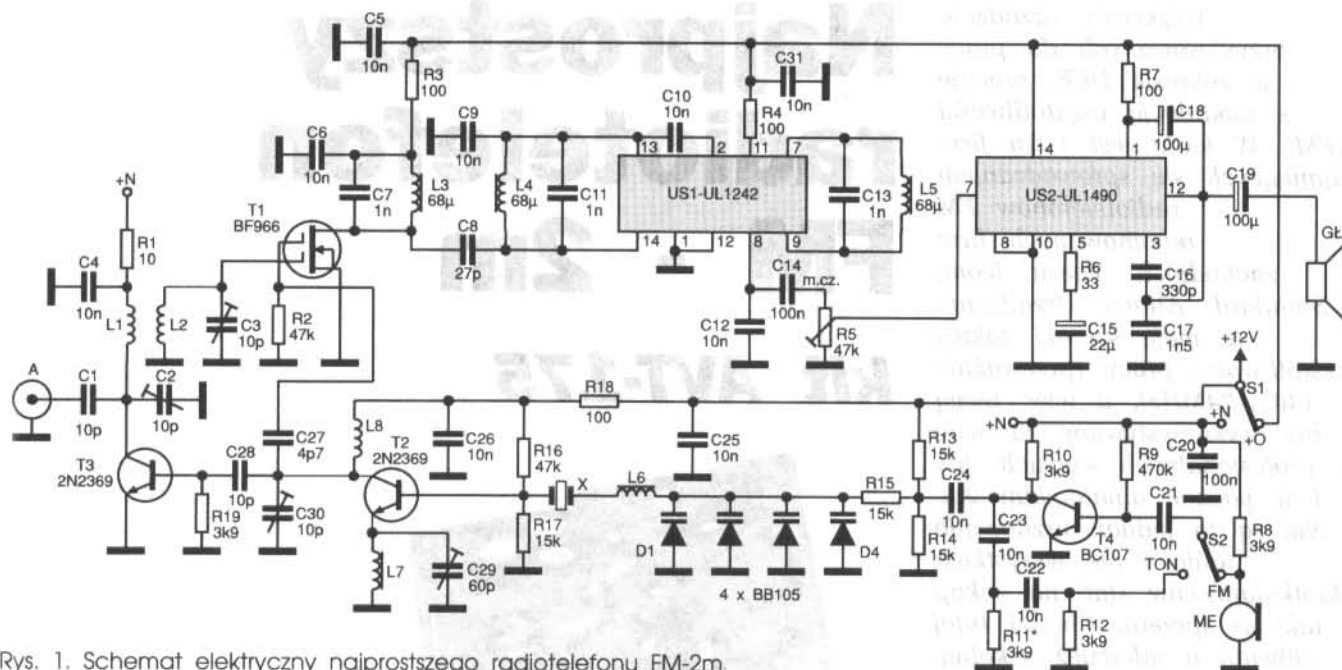
kit AVT-175



Radiotelefony przystosowane do modulacji częstotliwości mają nadajnik wyposażony w modulator FM, a odbiornik - w demodulator FM. Inaczej mówiąc, sygnały m.c. z mikrofonu moduluje częstotliwość fali nośnej w nadajniku, a w odbiorniku następuje zamiana sygnałów zmodulowanych częstotliwościowo na sygnały zmodulowane amplitudowo, bo tylko takie są przetwarzane przez głośnik na falę dźwiękową. W amatorskich urządzeniach FM wartość dewiacji jest zbliżona do 3kHz. Praca emisją FM w zakresie UKF odbywa się z reguły na ściśle określonych częstotliwościach, tzw. „kanałach”. Odstęp międzykanałowy wynosi najczęściej 12,5 lub 25kHz. Maksymalna odchyłka częstotliwości powinna być nie większa od ± 1 kHz. W związku z tymi wymaganiami generatory, zarówno odbiornika jak i nadajnika, są sterowane rezonatorami kwarcowymi, które zapewniają wystarczającą stabilność częstotliwości. Zwykle jest tak, że jeden rezonator przypada na jeden kanał (oddzielnie w odbiorniku i nadajniku). Ponieważ stosowanie

wielopozycyjnych przełączników oraz dużej liczby rezonatorów kwarcowych jest niewygodne i kosztowne, najnowsze transceivery FM (radiotelefony) posiadają syntezery częstotliwości, które sterowane są najczęściej poprzez układy mikroprocesorowe.

Do zwiększenia zasięgu w zakresie UKF wykorzystywane są stacje przekątnikowe, zwane przemiennikami częstotliwości. Odbierają one sygnały na jednej częstotliwości pasma, a nadają je na innej. Przyjęto, że częstotliwość odbioru przemiennika w pasmie 2m jest niższa o 600kHz od częstotliwości nadawania. Dzięki przemiennikom, zainstalowanym zwykle na szczytach górskich lub dachach wysokich budynków, możliwe jest przeprowadzenie łączności ze stacjami oddalonymi o około 100km (a w sprzyjających warunkach propagacyjnych i przy zastosowaniu anten kierunkowych - dużo dalej). Przemienniki posiadają przeważnie anteny o polaryzacji pionowej i są wyposażone w układ automatycznego włączenia nadajnika tonem akustycznym 1750Hz.



Rys. 1. Schemat elektryczny najprostszego radiotelefonu FM-2m.

Przedstawiamy opis wykonania prostego jednokanałowego radiotelefonu do pracy w pasmie 2m (145MHz) z modulacją częstotliwości i przystosowanego do pracy poprzez przemienniki.

Schemat elektryczny radiotelefonu przedstawiono na rys. 1. Urządzenie jest tak pomyślane, aby przy pomocy jednego rezonatora kwarcowego możliwa była praca (zarówno nadawanie jak i odbiór) poprzez przemienniki amatorskie FM. Z tego założenia wynika, że częstotliwość pośrednia w naszym urządzeniu, jako różnica częstotliwości nadawania i odbioru, musi wynosić dokładnie 600 kHz i na taką częstotliwość muszą być zestrojone obwody LC.

Odbierany sygnał w pasmie częstotliwości 145MHz jest przetwarzany na częstotliwość pośrednią 600kHz w mieszaczu z dwubramkowym tranzystorem polowym MOSFET BF966 (T1). Sygnał pośredniej częstotliwości jest następnie kierowany na wzmacniacz p.cz. z układem scalonym US1 - UL1242 (TBA120S). Pomiędzy tymi blokami filtru ceramicznego lub kwarcowego zapewniającego wymaganą selektywność toru FM (około 10kHz) spowodowane jest faktem, że filtry o częstotliwości 600kHz nie są produkowane, a budowanie ich w warunkach amatorskich jest dość trudne. Okazuje się jednak, że w rejonach, gdzie pracuje tylko jeden przemiennik, brak takiego filtru jest praktycznie niezauważalny.

Charakterystyka zastosowanego tu detektora koincydencyjnego (jak i każdego innego detektora FM) jest zbliżona kształtem do litery S. Dla prawidłowo zestrojonego filtru LC, przy częstotliwości wejściowej 600kHz na wyjściu układu scalonego (nóżka 8) powinno występować napięcie takie jak w stanie spoczynkowym (przy braku sygnału wejściowego) - przeciętnie 5,6V. Jest to tak zwany „punkt zerowy” detektora. Przy zmniejszeniu częstotliwości w stosunku do częstotliwości środkowej (czyli 600kHz) o kilka kHz napięcie na nóżce 8 zmaleje o kilkaset mV, zaś przy podwyższeniu częstotliwości - odpowiednio wzrośnie o kilkaset mV. Odfiltrowany sygnał o częstotliwości akustycznej (0,3...3kHz) z wyjścia (nóżka 8) podany jest następnie na wzmacniacz m.cz. UL1490 - US2. Przy braku sygnału wejściowego na wyjściu detektora występuje niepożądany sygnał o nieokreślonej częstotliwości, czyli szum. W celu wyeliminowania tego nieprzyjemnego dla ucha zjawiska można zastosować specjalny układ blokady szumu.

Generator odbiornika jest jednocześnie torem nadajnika z modulacją częstotliwości. Na tranzystorze T2 zrealizowany jest generator kwarcowy z jednoczesnym powielaniem i modulacją częstotliwości. Obwód rezonansowy w emiterze jest zestrojony na częstotliwość 48MHz, zaś w kolektorze na 145MHz.

Głównym elementem modulatora

FM są diody pojemnościowe D1...D4 włączone w szereg z rezonatorem kwarcowym, decydującym o częstotliwości pracy. W celu zmniejszenia zniekształceń, diody spolaryzowane są napięciem stałym około 6V poprzez dzielnik rezystorowy. Przychodzący sygnał m.cz., poprzez kondensator 10nF, jest podawany na katody diod pojemnościowych; dodaje się on lub odejmuje od ustalonej wartości napięcia, powodując zmianę pojemności diod, a w konsekwencji zmianę częstotliwości generatora kwarcowego. Inaczej mówiąc, w takt zmian amplitudy sygnału m.cz. następuje modulowanie częstotliwości sygnału nadajnika. Im większa wartość sygnału m.cz., tym większa dewiacja, z tego też powodu amplituda sygnału m.cz. powinna być w miarę stała i o takiej wartości, aby spowodować dewiację rzędu 3kHz. Dewiacja na wejściu generatora powinna wynosić ok. 0,33kHz, bowiem wtedy przy powieleniu x9 na wyjściu uzyskamy właśnie 3kHz. Taką wartość zapewnią pojedynczy stopień wzmacniacza mikrofonowego z tranzystorem BC107 - T4 sterowany z mikrofonu elektretowego. W urządzeniu zrezygnowano z kompresora dynamiki czy ogranicznika modulacji, dlatego podczas nadawania mikrofon należy trzymać w stałej odległości od ust (ok. 10cm).

Częstotliwość zastosowanego rezonatora kwarcowego zależy od tego, przez który przemiennik chcemy pra-

cować (patrz zestawienie na końcu artykułu). Jeżeli np. mieszkamy w Warszawie lub okolicy, to możemy zastosować rezonator kwarcowy o częstotliwości 48,366MHz (16,122 MHz), bo wtedy przy powieleniu x3 (x9) uzyskamy na wyjściu radiotelefonu częstotliwość 145,1MHz, czyli dokładnie taką, na jakiej pracuje warszawski przemiennik SR5A. Z takim rezonatorem nasz odbiornik będzie odbierał sygnały o częstotliwości 145,700MHz. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że może nastąpić odbiór oprócz sygnału pożądanego (145,700MHz) także sygnału o częstotliwości 144,500MHz (sygnał „lustrzany“). Prawdopodobieństwo zaistnienia takiej sytuacji jest jednak niewielkie, jeżeli mieszkamy w pobliżu przemiennika lub w miejscowości o mniejszej liczbie krótkofalowców aktywnie pracujących w tym akurat zakresie pasma 2m.

Aby włączyć przemiennik należy na modulator podać sygnał 1750Hz. Można w tym celu spróbować zagwizdać do mikrofonu (bywa skuteczne, ale jest mało eleganckie), ale oczywiście lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie specjalnego generatora tonu m.cz. o takiej właśnie częstotliwości (1750 Hz). W naszym przypadku wystarczy nacisnąć przycisk S2 (zainstalowany np. obok przełącznika napięcia umieszczonego w obudowie mikrofonu).

Po naciśnięciu przycisku S2 następuje odłączenie mikrofonu od wejścia wzmacniacza mikrofonowego i dołączenie elementów łańcucha RC - przesuwника fazowego. Ponieważ drugi koniec tego przesuwника jest podłączony na stałe do wyjścia wzmacniacza, następuje zamknięcie pętli dodatniego sprzężenia zwrotnego i powstanie oscylacji m.cz. Na czas zamknięcia pętli układ staje się generatorem sygnału m.cz. Częstotliwość tego generatora zależy od wartości elementów RC i należy ją ustalić za pomocą rezystora oznaczonego gwiazdką na 1750Hz.

Zadaniem wzmacniacza z tranzystorem T3 jest wzmocnienie sygnału FM 145MHz i przekazanie go do anteny.

Montaż i uruchomienie

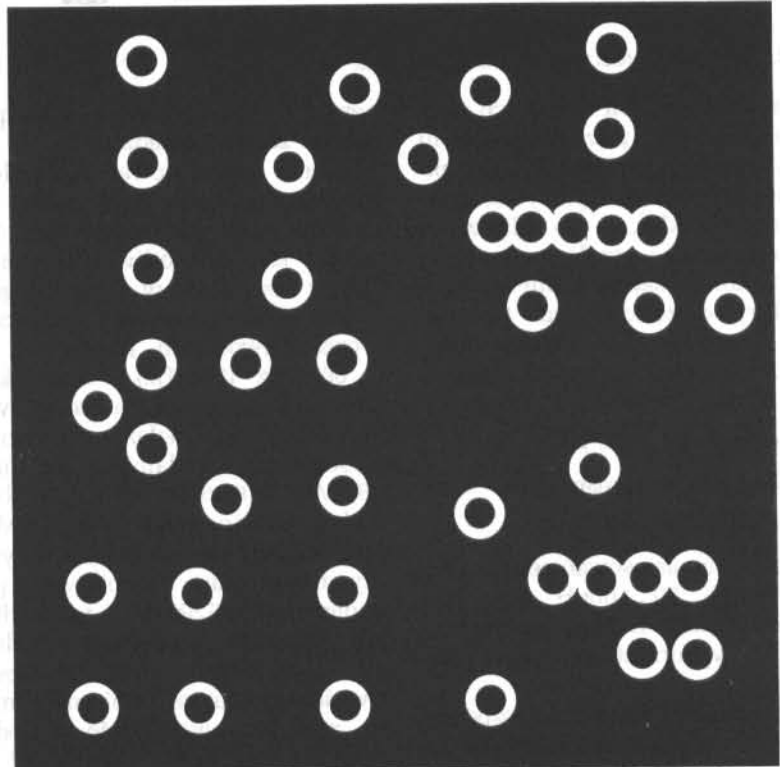
Eksperymentalny układ mini-transceiwera zmontowano na płytce laminowanej z wyfrezowanymi polami lutowniczymi, przedstawionej na rys. 2. Rozmieszczenie elementów na

płytkę przedstawia rysunek 3.

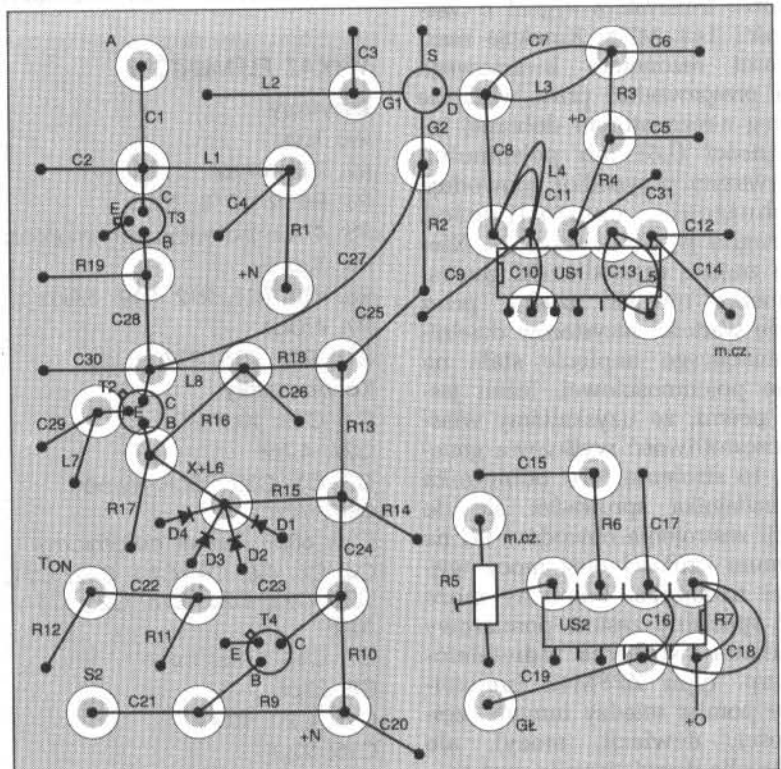
Obwody LC o częstotliwości 600kHz można uzyskać w prosty sposób przez korekcję pojemności popularnych obwodów p.cz. 465kHz. Znając pojemność kondensatora C1, przy której obwody pracują na

częstotliwości 465kHz, można wyznaczyć nową pojemność C2, przy której uzyskamy rezonans na częstotliwości 600kHz, korzystając ze wzoru:

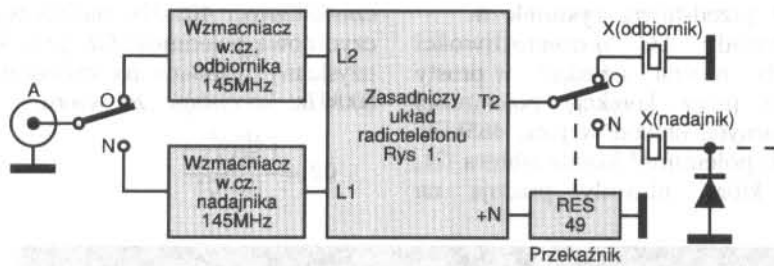
$$C2 = \frac{\left(\frac{465}{600}\right)^2 C1}{0,6 C1}$$



Rys. 2.



Rys. 3.



Rys. 4. Możliwości rozbudowy radiotelefonu

Przykładowo, jeśli w naszych zbiorach mamy filtry p.cz. o oznaczeniu 3-23A1, które z pojemnością 1600pF przystosowane są do pracy na częstotliwości 465kHz, to po odłączeniu tej pojemności i przyłączeniu w jej miejsce kondensatora 960pF uzyskamy filtry o częstotliwości 600kHz. Jeżeli znamy tylko indukcyjności cewek, to potrzebną wartość pojemności możemy wyznaczyć ze wzoru:

$$C = \frac{25,33}{f^2 L} \text{ [pF, kHz, } \mu\text{H]}$$

Dla $f=600\text{kHz}$ otrzymamy

$$C = \frac{70,36}{L} \text{ [pF, } \mu\text{H]}$$

Można tu zastosować cewki o indukcyjności 20...100μH (dla $L=70,3\mu\text{H}$ $C=1\text{nF}$). W rozwiązaniu modelowym wykorzystano typowe dławiki 68μH.

Uruchomienie urządzenia rozpoczynamy od generatora kwarcowego z tranzystorem T2. Poprzez ustawienie trymerów powinniśmy uzyskać na kolektorze tranzystora sygnał o częstotliwości 145...MHz. Korekcję częstotliwości rezonatora kwarcowego można przeprowadzić przez włączenie w szereg z rezonatorem dobranej indukcyjności (L6) lub pojemności. W pierwszym przypadku spowoduje to obniżenie częstotliwości, a w drugim jej podwyższenie. Wielką zmianę częstotliwości generatora można również uzyskać przez korekcję wartości rezystorów dzielnika ustalającego napięcie stałe na diodzie pojemnościowej. Jeżeli jesteśmy pewni, że uzyskaliśmy właściwą częstotliwość wyjściową generatora, to strojenie toru odbiornika oraz nadajnika sprowadza się do korekcji zestrojenia obwodów LC na maksimum czułości oraz mocy wyjściowej nadajnika. Pomocny może tu być specjalny zestaw pomiarowy do badania i strojenia radiotelefonów, np. typu ZPFM4E (umożliwiający pomiar między innymi częstotliwości, dewiacji, mocy), ale mając trochę doświadczenia oraz sondę w.cz., miernik częstotliwości i ge-

nerator FM również można poprowadzić zestroić urządzenie.

Chcąc przystosować radiotelefon do pracy simplex czyli takiej, gdy częstotliwość nadawania jest taka sama, jak częstotliwość odbioru, należy zastosować w obwodzie generatora dwa rezonatory kwarcowe o częstotliwościach różniących się o 66,6kHz (200kHz) - rysunek 4. Chcąc pracować np. na częstotliwości 145,5MHz, należy zastosować w obwodzie nadajnika rezonator 48,5MHz (16,166MHz), zaś w obwodzie odbiornika 48,566MHz (16,366MHz). Po powieleniu uzyskamy na wyjściu częstotliwość przy nadawaniu 145,5MHz, a przy odbiorze 146,1MHz. W przypadku trudności z uzyskaniem wymaganej częstotliwości rezonatora odbiornika można zmienić częstotliwość pośrednią w zależności od potrzeby w dół lub w górę, lecz tak, aby znajdowała się ona w zakresie 465kHz...1500kHz.

WYKAZ KRAJOWYCH PRZEMIENNIKÓW UKF FM-2m

(obok numeru, w nawiasach, podano częstotliwości pracy wejściowe/wyjściowe w MHz):

SR1S - Szczecin	R7 (145,175/145,775)
SR2B - Bydgoszcz	R6 (145,150/145,750)
SR2T - Toruń	R7 (145,175/145,775)
SR0GD - Gdańsk	R4 (145,100/145,700)
SR3P - Poznań	R2 (145,050/145,650)
SR3Z - Zielona Góra	R4X (145,1125/145,7125)
SR3C - Chodzież	R5 (145,125/145,725)
SR0LE - Leszno	R7 (145,175/145,775)
SR0GO - Gorzów	R6 (145,150/145,750)
SR4U - Białystok	R5 (145,125/145,725)
SR4Q - Krzemieniucha	R7 (145,175/145,775)
SR4Y - Dylewska Góra	R1 (145,025/145,625)
SR0OL - Olsztyn	R2 (145,050/145,650)
SR5A - Warszawa	R4 (145,100/145,700)
SR6J - Jelenia Góra	R3 (145,075/145,675)
SR6F - Wysoka	R6 (145,150/145,750)
SR6G - Ślęza	R1 (145,025/145,625)
SR7L - Zgierz	R3 (145,075/145,675)
SR7V - Święty Krzyż	R1 (145,025/145,625)
SR8D - Łosice	R2 (145,050/145,650)
SR8O - Jarosław	R7 (145,175/145,775)
SR8T - Sucha Góra	R5 (145,125/145,725)
SR0ZA - Zamość	R6 (145,150/145,750)
SR9E - Podzamcze	R0 (145,000/145,600)
SR9X - Luboń Wielki	R4 (145,100/145,700)
SR0GL - Gliwice	R3 (145,075/145,675)

Eksperymentalne urządzenie charakteryzowało się czułością odbiornika ok. 5μV i mocą wyjściową nadajnika ok. 50mW. Z pionową anteną ćwierćfalową umożliwiło to przeprowadzenie dwustronnej łączności za pomocą przemiennika oddalonego ponad 1km.

Andrzej Janeczek, SP5AHT

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1: 10Ω
- R2, R16: 47kΩ
- R3, R4, R7, R18: 100Ω
- R5: 47kΩ, potencjometr montażowy
- R6: 33Ω
- R8, R10, R11, R12, R19: 3,9kΩ
- R9: 470kΩ
- R13, R14, R15, R17: 15kΩ

Kondensatory

- C1, C28: 10pF
- C27: 4,7pF
- C2, C3, C30: 10pF, trymer ceramiczny
- C29: 60pF, trymer ceramiczny
- C4, C5, C6, C9, C10, C12, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C31: 10nF
- C7, C11, C13: 1nF
- C8: 27pF
- C14, C20: 100nF
- C15: 22μF
- C16: 330pF

- C17: 1,5nF
- C18, C19: 100μF
- C27: 4,7pF

Półprzewodniki

- T1: BF966
- T2, T3: 2N2369
- T4: BC107
- D1, D2, D3, D4: BB105
- US1: UL1242
- US2: UL1490

Cewki

- L1, L2, L8: 4 zwoje drutu DNE1 na średnicy 6mm - powietrzne
- L3, L4, L5: 68μH - dławiki
- L6: dobierana - patrz tekst
- L7: 15 zwojów drutu DNE0.4 na rdzeniu ferrytowym o średnicy 3mm

Różne

- X: rezonator kwarcowy 48,366MHz - patrz wykaz przemienników
- A: gniazdo antenowe BNC
- S1, S2: mikroprzetaczniki
- ME: mikrofon elektretowy
- GL: głośnik dynamiczny 10Ω/0,5W