

# Autonomiczny interfon dupleksowy

*Łączność odgrywa obecnie coraz większą rolę, dlatego też od pewnego czasu zamiarem naszym było przedstawienie autonomicznego interfonu dupleksowego, umożliwiającego dialog - tak jak telefon. Prezentowany interfon składa się z dwóch zestawów pracujących na częstotliwościach 26 i 49 MHz. Jakkolwiek niewielka moc ogranicza zasięg urządzenia w warunkach miejskich, może ono zainteresować osoby wykonujące zawody wymagające komunikowania się na odległość, a także entuzjastów niektórych sportów.*



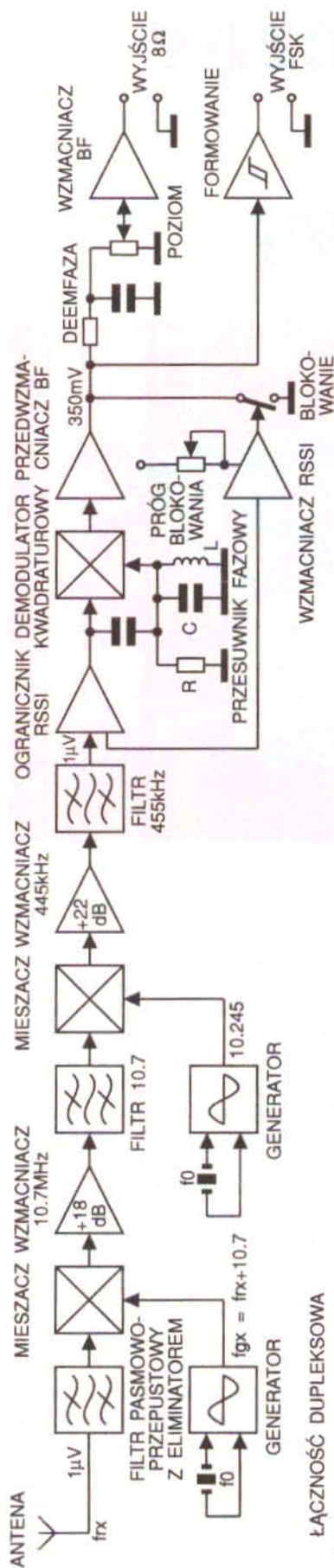
## Rozwiązania układowe odbiorników

Schemat blokowy odbiorników jest przedstawiony na **rys. 1**. Ponieważ odbiornik z pojedynczą przemianą częstotliwości wymagałby zastosowania obwodów wejściowych o bardzo wysokiej selektywności, trudnych w realizacji i zestrzajaniu, przyjęto rozwiązanie z podwójną przemianą częstotliwości, pozwalające na łatwiejszą eliminację sygnałów niepożądanych. Zastosowanie pierwszej częstotliwości pośredniej 10,7MHz pozwala na wyeliminowanie częstotliwości lustrzanej, położonej 21,4MHz poniżej lub powyżej częstotliwości pośredniej (**rys. 4**), a więc poza pasmem obwodów wejściowych. Ze względu na wąskie pasmo przesyłanych sygnałów dokonywana jest kolejna przemiana. Druga częstotliwość pośrednia wynosi 455kHz, zaś pasmo przenoszenia o szerokości 10kHz jest stosunkowo łatwo uzyskać stosując standardowe filtry ceramiczne. W ten sposób pasmo odpowiada normie F3 (modulacja wąkopasmowa FM). Oczywiście, możliwe byłoby - przy zastosowaniu

filtrów kwarcowych - rozwiązanie z pojedynczą przemianą częstotliwości.

Sygnal z anteny jest podawany na filtr pasmowo-przepustowy, zawierający eliminator częstotliwości nadajnika znajdującego się na płycie (w przypadku części A jest to 26MHz, części B - 49MHz). Dzięki zastosowaniu sprzężenia pojemnościowego jest zachowana wysoka dobroć indukcyjności, co zapewnia odpowiednią selektywność obydwu odbiorników. **Rysunek 2** przedstawia m.in. charakterystykę amplitudową takiego filtra. Niezbędne jest wytłumienie harmonicznych nadajnika przed mieszaczem odbiornika, w przeciwnym bowiem razie produkty modulacji skrośnej mogą powodować przesterowanie mieszacza, a w dalszej konsekwencji - zniekształcenia w zdemodulowanym sygnale. Górna część **rys. 3** przedstawia skutki nieliniowych własności mieszacza układu MC3362, na który podano sygnały o częstotliwościach  $f_1$  (użyteczny) i  $f_2$  (pasożytniczy); pojawienie się produktów modulacji skrośnej, spadek stosunku sygnał/szum, a więc





Rys. 1. Schemat blokowy odbiornika

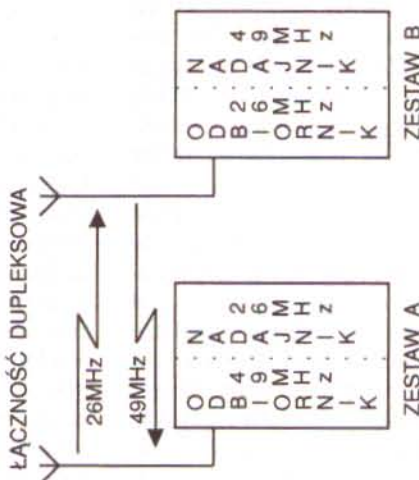
obniżenie czułości odbiornika. Produkty modulacji skrośnej 3-go rzędu na wyjściu mieszacza (dolna część rys. 3) pojawiają się, gdy na wejściu układu są dwa sygnały o poziomie przekraczającym -48dBm.

Sygnal z wyjścia mieszacza jest podawany na wzmacniacz, za którym znajduje się filtr ceramiczny 10.7MHz. Jakkolwiek użycie w tym miejscu kosztownego filtra kwarcowego zapewniłoby lepsze własności układu, zastosowany filtr XF303 KVG, o pasmie przenoszenia 28kHz/-40dB (rys. 5, 6) stanowi w przypadku prezentowanego układu zadowalający kompromis.

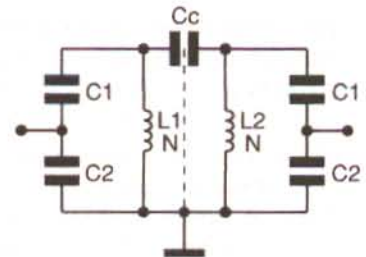
Dru-ga częstotliwość pośrednia 455kHz jest wynikiem zmieszania sygnału pierwszej pośredniej z sygnałem z generatora kwarcowego o częstotliwości 10,245MHz. Sygnal drugiej pośredniej jest wzmacniany, filtrowany, a następnie podawany na ogranicznik, eliminujący pozostałości pasożytniczej modulacji amplitudy. Demodulator kwadraturowy daje na wyjściu sygnały akustyczne, poddawane następnie deemfazie (od 900Hz) i wzmocnieniu. Wzmacniacz jest blokowany w przypadku niedostatecznego poziomu sygnału. Napięcie zasilania układu MC3362 jest stabilizowane przy pomocy diody Zenera 6,2V.

**Odbiornik 49MHz**

Odbiornik, którego schemat przedstawiono na rys. 7, posiada jako obwód wejściowy filtr pasmo-



woprzepustowy zbudowany z elementów C1 do C7 i L1 do L4. Elementy L1 i C1 tworzą szeregowy układ rezonansowy nastrojony na częstotliwość 49MHz, natomiast L3 i C4 - na częstotliwość 26MHz, a więc tłumiący częstotliwość nadajnika. Pojemności C2 i C3 oraz C5 stanowią elementy sprzęgające. Elementy L4, C6 i C7 zapewniają dopasowanie do wejścia mieszacza układu CI1. Częstotliwość lokalnego generatora kwarcowego (X2), dostrojonego przy pomocy indukcyjno-



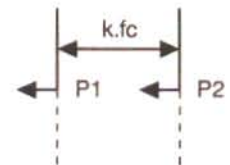
współczynnik transformacji impedancji:

$$n = \frac{C1 + C2}{C1}$$

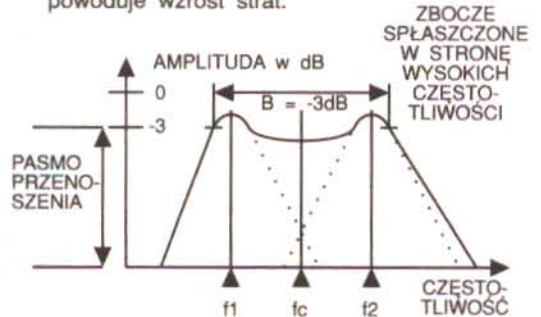
współczynnik sprzężenia:

$$k = \frac{Cc}{Ct + Cc}$$

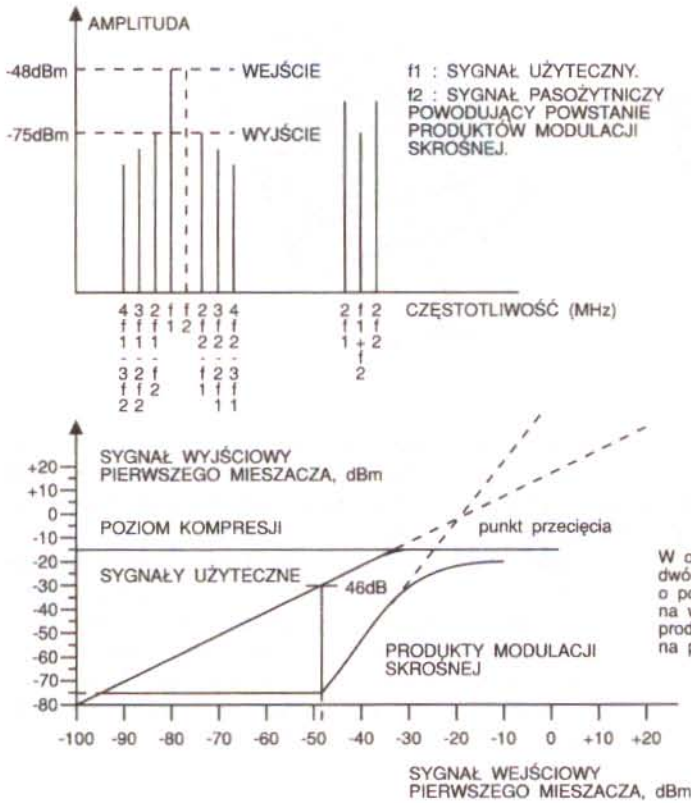
gdzie:  $Ct = \frac{C1 * C2}{C1 + C2}$



Zbyt wysoka wartość współczynnika k obniża położenie punktów P1 i P2, zbyt niska natomiast powoduje wzrost strat.



Rys. 2. Charakterystyka filtra o sprzężeniu pojemnościowym



Rys. 3. Produkty modułacji skrośnej 3-go rzędu na wejściu mieszacza i charakterystyki modulacji skrośnej układu MC3362

ci L6, wynosi 39.175MHz. Demodulator kwadraturowy jest dostrajany przy pomocy indukcyjności L5 (obciążonej rezystorem R4), której wartość określa pasmo demodulatora, a więc i zakres liniowej demodulacji. Iloczyn  $f_0 \cdot Q_0$  jest związany z R4 w następujący sposób:

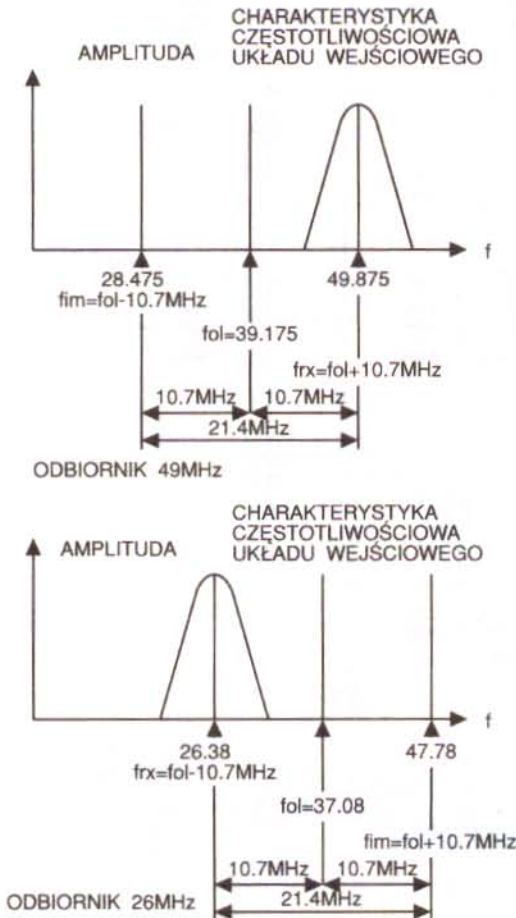
$$R4 = 6,28 \cdot f_0 \cdot L5 \cdot Q_0$$

Rysunek 8 przedstawia charakterystyki statyczne demodulatora z Q0 i R4 jako parametrami. Spadek R4 poprawia liniowość demodulacji, ale za cenę niższej amplitudy sygnału wyjściowego (niższej czułości demodulatora).

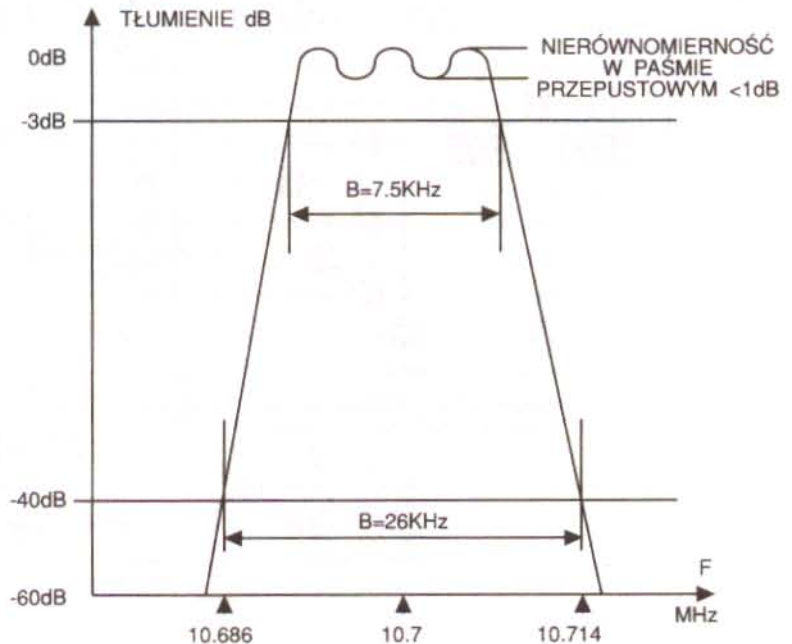
Przy braku sygnału nośnej na wejściu odbiornika, tranzystor T1 zwiera rezystor R10 i dzięki temu na wyjściu nie dostaje się sygnał szumów wewnętrznych odbiornika. Regulacji progu odłączania dokonuje się przy pomocy potencjometru R2.

**Odbiornik 26MHz**

Rozwiązanie układowe jest identyczne jak w przypadku odbiornika 49MHz, różnicę stanowi to, że w obwodach wejściowych znajduje się układ szeregowego rezonansu nastrojony na 26MHz i eliminator częstotliwości 49MHz. Pośrednia 10,7MHz jest otrzymywana w wyniku zmieszania sygnału odebranego z sygnałem lokalnego generatora kwarcowego o częstotliwości 37.08MHz, przy czym

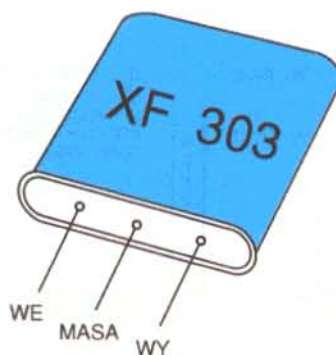
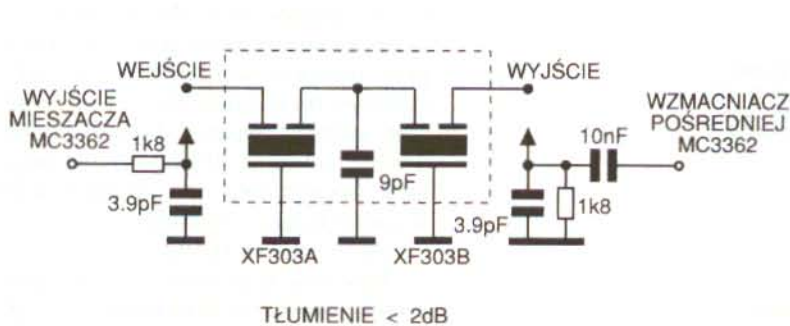


Rys. 4. Ilustracja graficzna częstotliwości lustrzanych



Rys. 5. Charakterystyka czterobiegunowego filtra KVG





Rys. 6. Połączenie filtra XF303 z układem MC3362

wykorzystywany jest różnicowy produkt mieszania.

### Rozwiązania układowe nadajników

Nadajniki pracują w systemie wąskopasmowej modulacji częstotliwości. Ze względu na ograniczenia liniowości modulacji możliwe jest przesyłanie częstotliwości akustycznych do 3kHz, wskaźnik modulacji

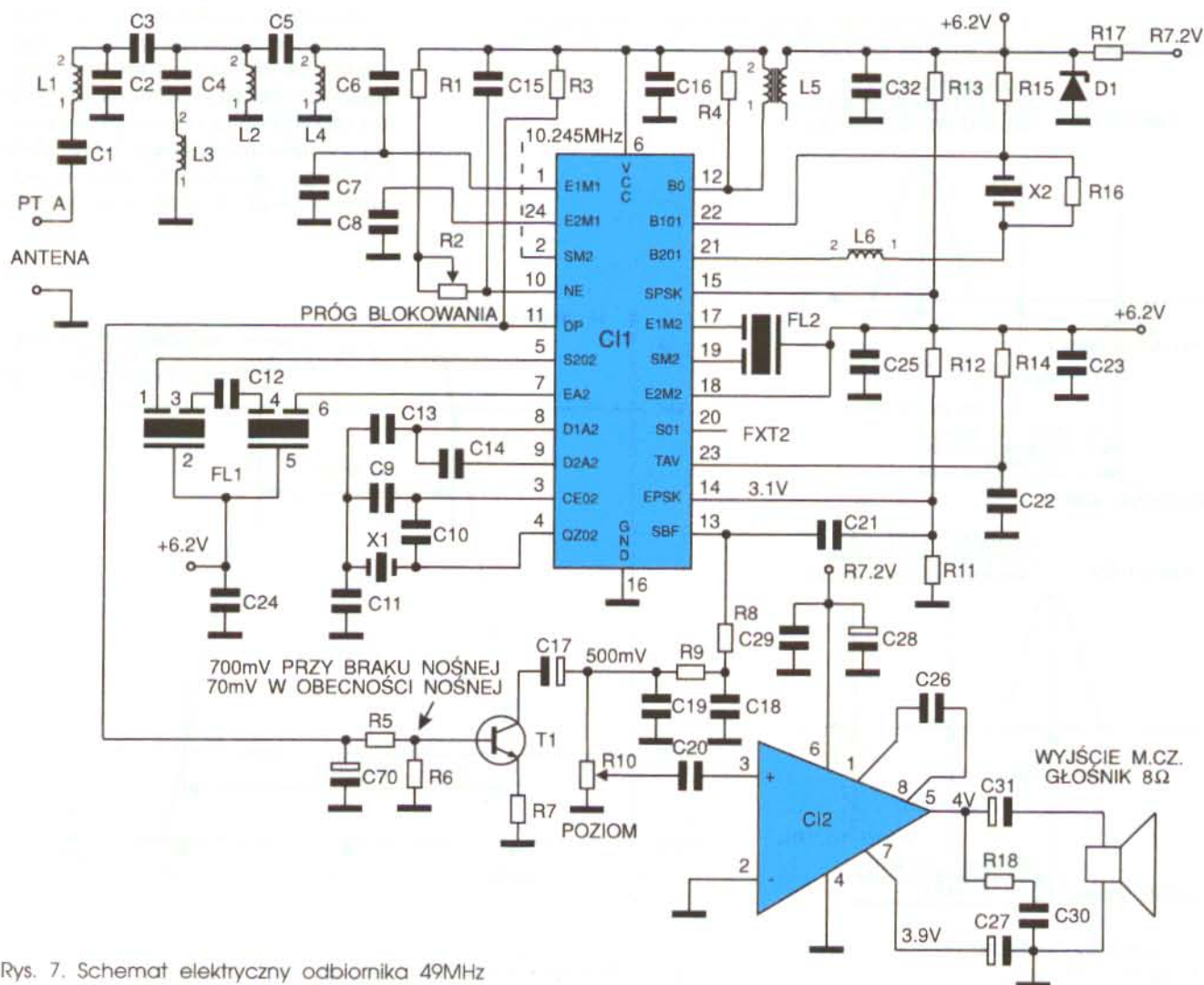
(stosunek dziewięci do maksymalnej częstotliwości modulującej) wynosi 1.

Rysunek 9 przedstawia schemat blokowy nadajników. Układ preemfazy sygnału akustycznego działa od 800Hz, zaś pasmo wzmacniacza mikrofonowego jest ograniczone do 4kHz.

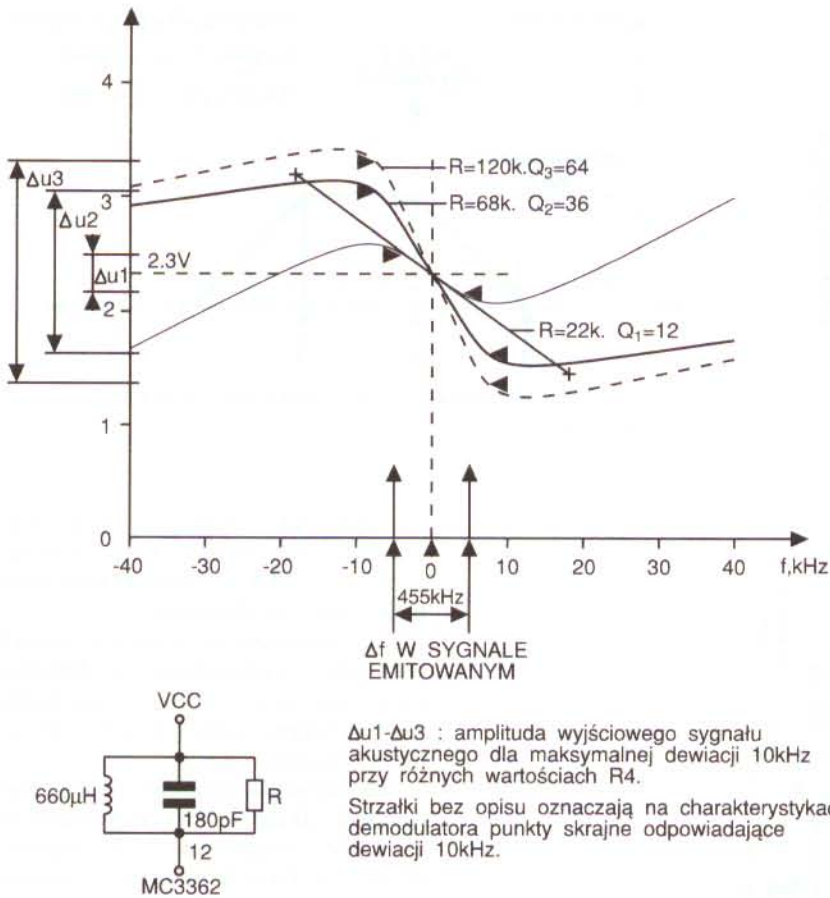
Rysunek 10 przedstawia charakterystykę częstotliwościową tego wzmacniacza. Przy wzroście częstotliwości następuje spadek reaktancji

kondensatora C58 i wzrost wzmocnienia (rys. 11). Kondensator C57 wprowadza ograniczenie pasma od góry.

Sygnał akustyczny jest podawany przez rezystor R23 na diodę pojemnościową stanowiącą jeden z elementów generatora kwarcowego. Generator - w układzie Colpittsa - jest zbudowany na tranzystorze polowym T2, z dodatkową stabilizacją



Rys. 7. Schemat elektryczny odbiornika 49MHz



Rys. 8. Liniowość demodulacji w funkcji wartości R4 dla dewiacji 10kHz

napięcia drenu przy pomocy diody Zenera 6.2V, co w sumie zapewni wysoką stabilność generatora. Zastosowany na wyjściu generatora dzielnik pojemnościowy stanowi dodatkowe zabezpieczenie przed destabilizującym generator wpływem obciążenia. Generator daje sygnał o niewielkim poziomie, co ułatwia utrzymanie jego stabilności. Stopień z tranzystorem T3 ogranicza sygnał

celem wyeliminowania pasożytniczych modulacji amplitudy i odfiltruje trzecią harmoniczną sygnału. Obwód strojony w drenie T3 pozwala na uzyskanie dopasowania do wejścia następnego stopnia. Dopasowanie to jest niezbędne dla uzyskania maksymalnej mocy wyjściowej przy minimalnym poziomie zniekształceń. 3kHz dewiacja częstotliwości emitowanej wymaga tylko 1kHz de-

wiacji częstotliwości generatora, co jest realizowalne przy utrzymaniu dobrych parametrów modulacji. Wzmacniacze zbudowane na tranzystorach T4 i T5 pracują w klasie A, co w porównaniu z klasą C, jakkolwiek bardziej korzystną ze względów energetycznych, zapewnia niskie zniekształcenia i ułatwia uruchomienie nadajników. Moc sygnału wyjściowego wynosi około 20mW.

Dopasowanie do anteny zapewnia układ rezonansowy dostrojony do częstotliwości emitowanej, zawierający także eliminator częstotliwości odbiornika.

**Nadajnik 49MHz**

Schemat elektryczny nadajnika przedstawiono na rys. 11. Częstotliwość rezonansowa zastosowanego w modulatorze rezonatora kwarcowego wynosi 16,625MHz.

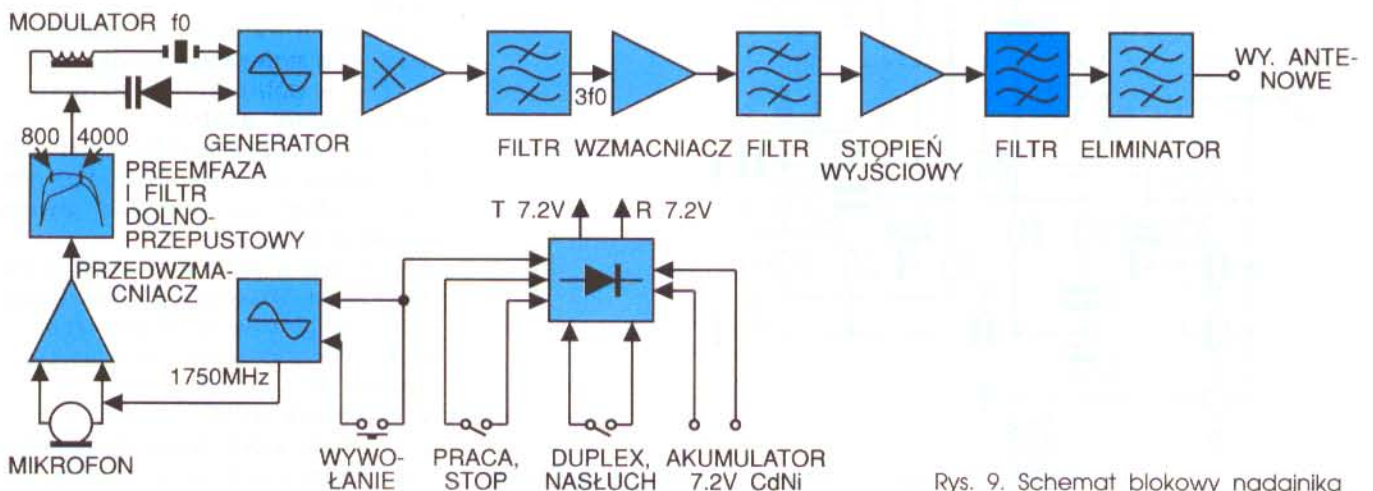
Elementy L11 i C48 stanowią układ dopasowujący do anteny, natomiast L11 i C47 tworzą układ blokujący częstotliwość odbiornika i tłumiący drugą harmoniczną generatora (32,5MHz).

**Nadajnik 26MHz**

Struktura nadajnika jest identyczna z omówioną w poprzednim punkcie. Podstawowa różnica leży w częstotliwości generatora modulatora, wynoszącej tu 8,7933MHz. Doboru wartości indukcyjności i pojemności obwodów rezonansowych należy dokonać pamiętając o konieczności dokonania kompromisu między wzmocnieniem a selektywnością obwodu.

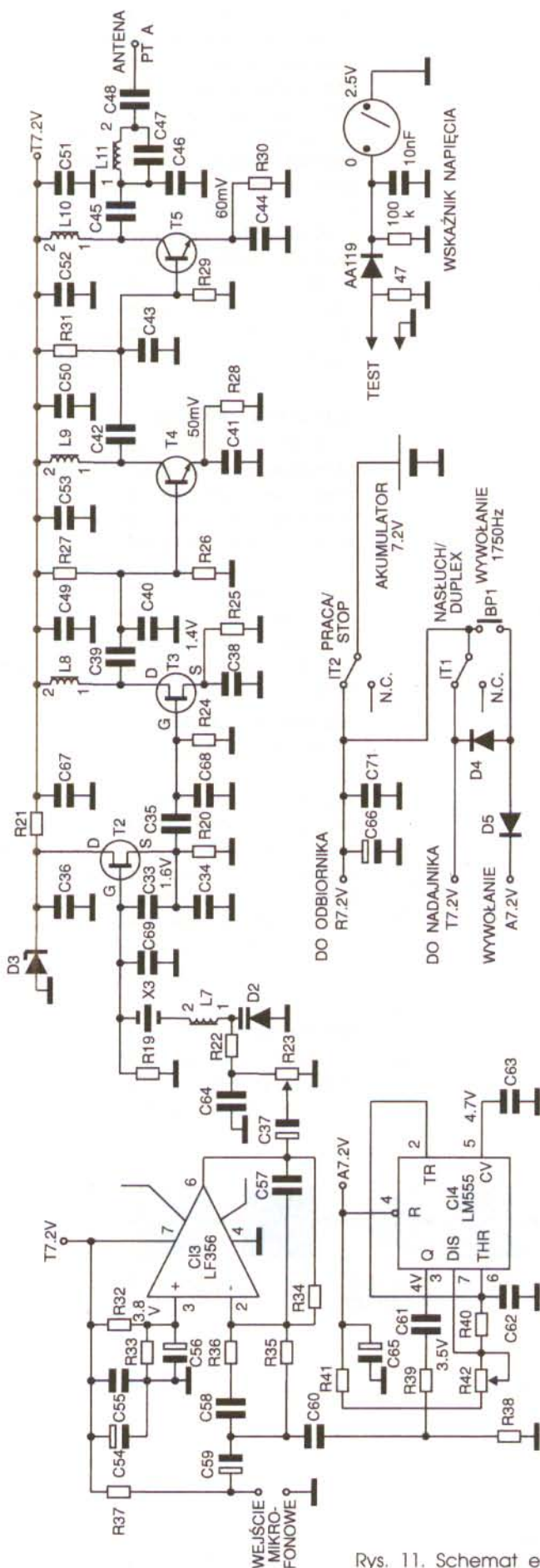
**Wykonanie**

Mozaika ścieżek płytki drukowanej jest przedstawiona na wkładce, natomiast rozmieszczenie elementów

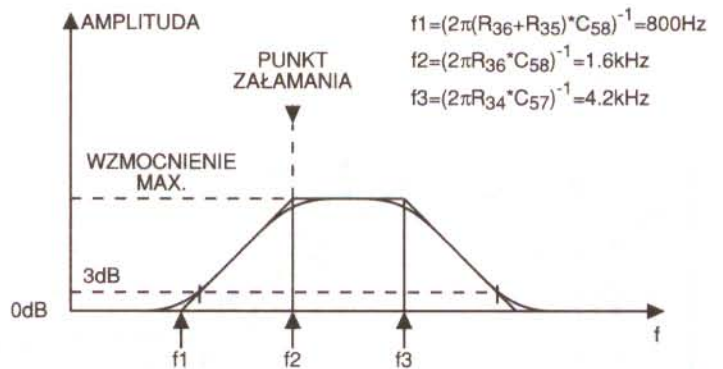


Rys. 9. Schemat blokowy nadajnika





Rys. 11. Schemat elektryczny nadajnika



Rys. 10. Charakterystyka przenoszenia wzmacniacza antenowego

na rys. 12. Dane te oczywiście dotyczą obu części A i B, różniących się jedynie częstotliwościami nadajnika i odbiornika.

Po zakończeniu montażu należy pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem umieścić ekran o wysokości 15mm. Należy także przylutować do masy ekrany cewek.

Do zasilania urządzeń należy zastosować akumulatory o pojemności 1,2Ah i napięciu 7,2V, zapewniające kilkugodzinną pracę nadajników.

W sytuacji gdy występują trudności we wzbudzeniu drgań rezonatorów, należy zastosować rezystor R14 o wartości rezystancji 2,2MΩ - 4,7MΩ.

### Uruchomienie

Przed włączeniem zasilania należy dokonać następujących regulacji:

#### zestaw A

##### a) nadajnik 26MHz

L7 - rdzeń w położeniu środkowym  
L8 - rdzeń wkręcony do maksimum  
L9 - rdzeń na poziomie otworu w ekranie

L10 - rdzeń w położeniu środkowym

L11 - rdzeń wkręcony do maksimum  
R23 - w położeniu środkowym  
R42 - w położeniu środkowym

##### b) odbiornik 49MHz

L1 - rdzeń wkręcony do maksimum  
L2 - rdzeń w położeniu środkowym  
L4 - rdzeń na poziomie otworu w ekranie

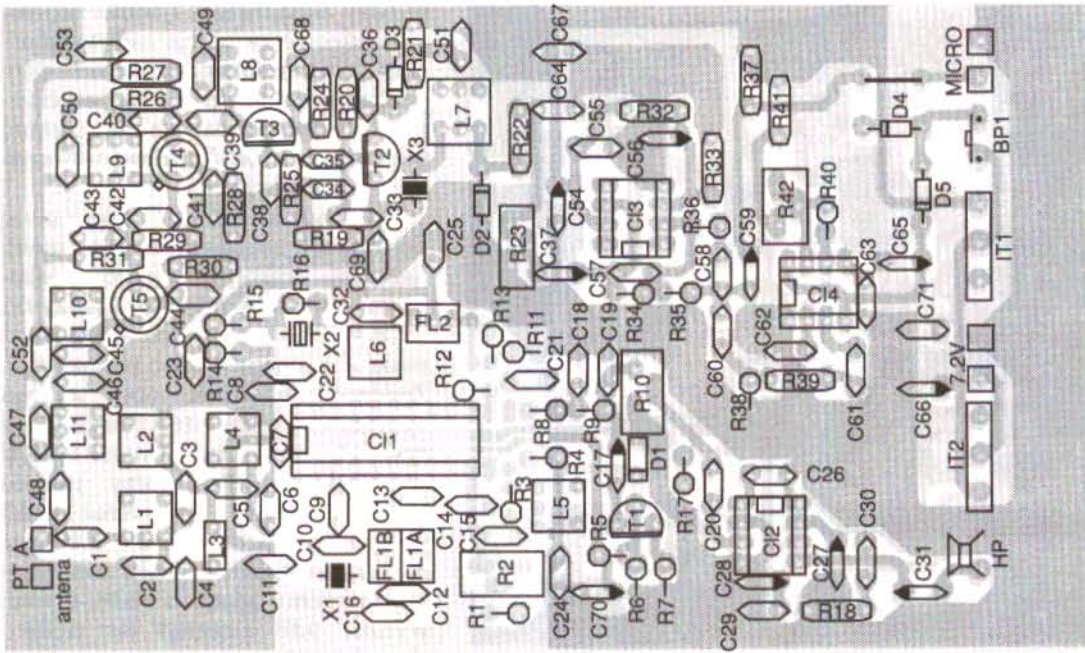
L5 - rdzeń w położeniu środkowym  
L6 - rdzeń wkręcony do maksimum  
R2 - w położeniu środkowym  
R10 - w położeniu środkowym

#### zestaw B

##### c) nadajnik 49MHz

L7 - rdzeń w położeniu środkowym  
L8 - rdzeń w położeniu środkowym





Rys. 12. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

- L9 - rdzeń na poziomie otworu w ekranie
- L10 - rdzeń na poziomie otworu w ekranie
- L11 - rdzeń wkręcony do maksimum
- R23 - w położeniu środkowym
- R42 - w położeniu środkowym
- d) odbiornik 26MHz
- L1 - rdzeń wkręcony do maksimum
- L2 - rdzeń na poziomie otworu w ekranie
- L2 - rdzeń w położeniu środkowym
- L5 - rdzeń w położeniu środkowym
- L6 - rdzeń wkręcony do maksimum
- R2 - w położeniu środkowym
- R10 - w położeniu środkowym

**Strojenie układów**

**Nadajniki**

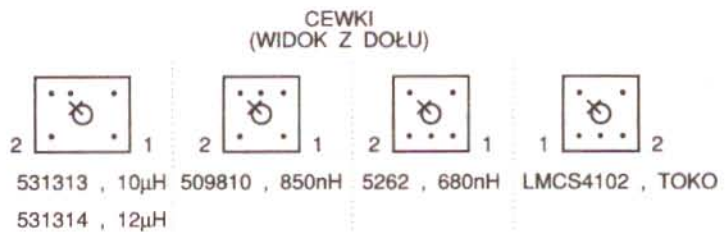
1. Dołączyć do wyjść nadajników watomierz z obciążeniem rezystywnym 50Ω.
2. Dostroić przy pomocy indukcyjności L7 częstotliwości nadajników na 26,38MHz i 49,875MHz.
3. Przy pomocy indukcyjności L8 - L11 uzyskać maksymalny poziom mocy w obciążeniu.
4. Ocenic poziom zniekształceń przy pomocy analizatora widma.
5. Potencjometrem R23 ustawić maksymalną dziewięć częstotliwości równą 6kHz.
6. Potencjometrem R42 ustawić odpowiednią barwę tonu.

**Odbiorniki**

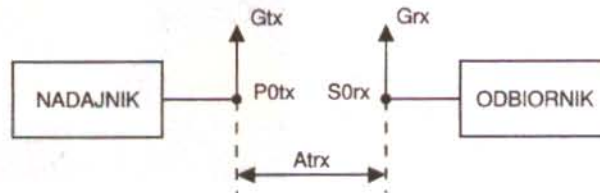
1. Uruchomić zestawy A i B systemu w trybie duplex.
2. Dostroić odbiornik przy pomocy

- indukcyjności L6.
3. Wyłączyć i włączyć zasilanie, o ile istnieje potrzeba - powtórzyć punkt 2.
4. Strojąc indukcyjność L5 uzyskać odpowiednią liniowość demodulatora (przy braku modulacji napięcie na zaciskach R10 powinno wynosić

- 500mV).
5. Dostroić indukcyjności L1, L2 i L4 na minimum szumów. W przypadku wystąpienia gwizdów interferencyjnych nieco przestroić L8 - L11 nadajnika.
6. Dokonać ostatecznego dostrojenia L1, L2 i L4 zwiększając dystans



Rys. 13. Wyprowadzenia cewek

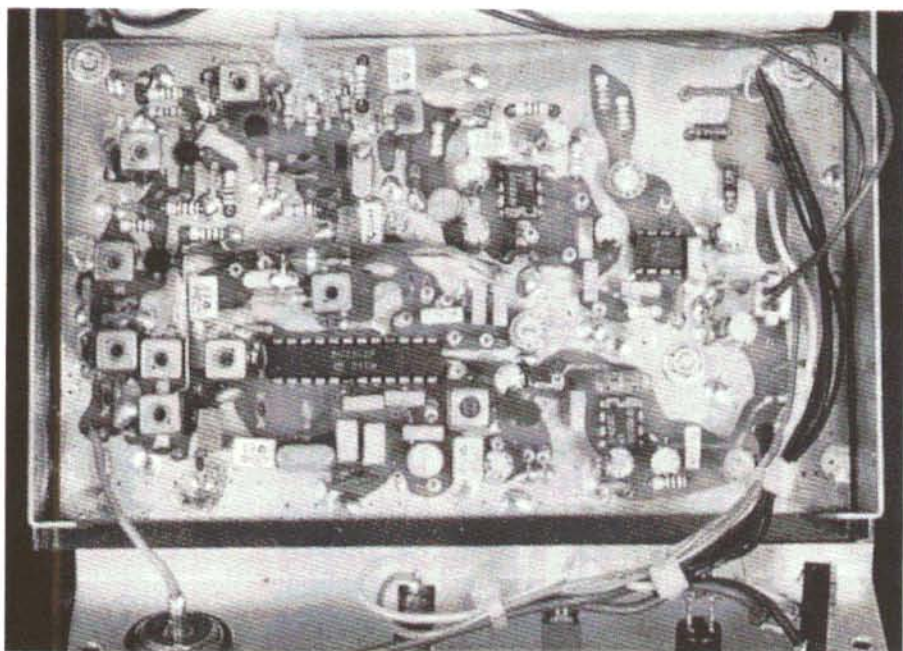


częstotliwość=50MHz  
 $P_{0TX}$ =moc emitowana=13dBm  
 $G_{TX}$ =zysk anteny nadajnika=-15dB  
 $G_{RX}$ =zysk anteny odbiornika=15dB  
 $S_{0RX}$ =czułość odbiornika przy S/N=10dB =-100dBm  
 poziom szumów=-110dBm  
 $A_{TRX}$ = tłumienie sygnału przy odległości d=100m = $10\log(4\pi d \cdot \lambda^{-1})^2$  =-46dB

**BILANS SYSTEMU**

- 1 : straty:  $G_{TX}+G_{RX}+A_{TRX}=-76$ dB
- 2 : poziom na wejściu odbiornika:  $P_{TX}-76$ dB=-63dBm
- 3 : stosunek S/N przy odległości 100 m, bez przeszkód =47dB

Rys. 14. Bilans energetyczny systemu



między nadajnikiem i odbiornikiem.

Końcowe regulacje indukcyjności (L1 i L11) dokonane zostaną przy podłączonych antenach. Po zakończeniu strojeń należy unieruchomić przy pomocy wosku rdzenie wszystkich indukcyjności.

Na zakończenie - kilka uwag dotyczących zasięgu systemu łączności radiowej wykorzystującego wąskopasmową modulację FM. Zależy on od zysku zastosowanych anten i warunków propagacji (np. przeszkody). Zgodnie z bilansem mocy takiego systemu, przedstawionym na rys. 14, przy częstotliwości 50MHz w odległości 100m, przy paśmie 1kHz, otrzymuje się sygnał 47dB powyżej poziomu szumów. Dla pasma 6kHz poziom sygnału w stosunku do szumu spada o 72dB, a więc wynosi 9dB i sygnał jest ledwo słyszalny. Aby poprawić ten stosunek, należałoby zwiększyć zysk anten. Ponadto, w praktyce należy uwzględnić w takim bilansie straty rzędu 20dB, wynikające z pochłaniania i odbić fali wyemitowanej.

**ERP**



## WYKAZ ELEMENTÓW

## NADAJNIKI

## Rezystory

R19, R24: 100k $\Omega$   
 R20: 560 $\Omega$   
 R21: 68 $\Omega$   
 R22: 47k $\Omega$   
 R23: 47k $\Omega$  (potencjometr)  
 R25: 220 $\Omega$   
 R26, R29: 1k $\Omega$   
 R27, R31: 8.2k $\Omega$   
 R28, R30: 10 $\Omega$   
 R32, R33: 4.7k $\Omega$   
 R34: 680k $\Omega$   
 R35, R36, R40: 10k $\Omega$   
 R37: 2.2k $\Omega$   
 R38: 470 $\Omega$   
 R39: 33k $\Omega$   
 R41: 6.8k $\Omega$   
 R42: 10k $\Omega$  (potencjometr)

## Kondensatory

C36, C38, C41, C44, C50, C51,  
 C52, C58, C60 - C64, C67, C71:  
 10nF  
 C53: 470pF  
 C57: 56pF  
 C37, C56, C59: 4.7 $\mu$ F/10V, do  
 montażu pionowego  
 C49, C55: 470nF  
 C54, C65, C66: 100 $\mu$ F/10V, do  
 montażu pionowego  
 Nadajnik 26,38MHz, zestaw A  
 C33, C39: 56pF  
 C34: 100pF  
 C35, C69: 12pF  
 C40, C43, C46: 180pF  
 C42: 47pF  
 C45: 68pF  
 C47: 10pF  
 C48, C68: 39pF  
 Nadajnik 49,875MHz, zestaw B  
 C33, C34, C48: 33pF  
 C39: 6.8pF  
 C40, C68: 27pF  
 C42: 120pF  
 C43: 39pF  
 C45: 82pF  
 C46: 15pF  
 C47: 56pF  
 C69: 22pF

## Indukcyjności

Nadajnik 26,38MHz, zestaw A  
 L7: 12 $\mu$ H (531314)  
 L8-L11: 850nH (509810)  
 Nadajnik 49,875MHz, zestaw A  
 L7: 10 $\mu$ H (531313)  
 L8-L11: 680nH (5262)

## Rezonatory kwarcowe (częstotliwość rezonansu równoległego)

Nadajnik 26,38MHz  
 X3: 8,7933MHz  
 Nadajnik 49,875MHz  
 X3: 16,625MHz

## Elementy półprzewodnikowe

T2, T3: J310  
 T4, T5: BFR91  
 D2: BB105  
 D3: BZX 6.2V  
 D4, D5: 1N4001 lub 1N4006

## Układy scalone

CI3: LF356  
 CI4: LM555

## ODBIORNIKI

## Rezystory

R1, R8, R11, R15: 22k $\Omega$   
 R2: 220k $\Omega$ , regulowany  
 R3, R6, R13: 10k $\Omega$   
 R4: 100k $\Omega$  (patrz tekst)  
 R5: 1k $\Omega$   
 R7, R18: 10 $\Omega$   
 R9: 12k $\Omega$   
 R10: 22k $\Omega$ , regulowany  
 R12: 120k $\Omega$   
 R14: patrz tekst  
 R16: 330 $\Omega$   
 R17: 120 $\Omega$

## Kondensatory

C8, C18, C19, C29: 10nF  
 C9: 120pF  
 C10: 47pF  
 C11, C23, C24, C32: 470nF  
 C12, C22: 47nF  
 C13-C16, C20, C26, C30: 100nF  
 C17: 4.7 $\mu$ F/10V  
 C21: 1nF  
 C25: 220nF  
 C27, C28: 10 $\mu$ F/10V  
 C31: 100 $\mu$ F/10V  
 C70: 1 $\mu$ F/10V  
 Odbiornik 49,875MHz, zestaw A  
 C1: 12pF  
 C2, C7: 82pF  
 C3: 22pF  
 C4: 27pF  
 C5: 1pF  
 C6: 15pF  
 Odbiornik 26,38MHz, zestaw B  
 C1, C6: 56pF  
 C2, C7: 180pF  
 C3: 47pF  
 C4: 15pF  
 C5: 1pF

## Indukcyjności

L5: Toko LMCS 4102 (czarna)  
 L6: 680nH (5262)  
 Odbiornik 49,875MHz, zestaw A  
 L1, L2: 680nH (5262)  
 L3: SD75 1.2 $\mu$ H  
 L4: SD75 5262  
 Odbiornik 26,38MHz, zestaw B  
 L1, L2: 850nH (509810)  
 L3: SD75 820nH  
 L4: SD75 509810

## Filtry ceramiczne

FL1: SFZ 455  
 FL2: XF 303

## Rezonatory kwarcowe

X1: 10,245MHz  
 Odbiornik 49,875MHz - zestaw A  
 X2: 39,175MHz  
 Odbiornik 26,38MHz - zestaw B  
 X2: 37,08MHz  
 (X2 pracują w rezonansie szeregowym, na drugiej częstotliwości ponadpodstawowej)

## Elementy półprzewodnikowe

T1: BC550C  
 CI1: MC3362  
 CI2: LM386  
 D1: BZX 6.2V

## Różne

mikrofon elektretowy  
 akumulatory kadmowo-nikielowe  
 7.2V/1.2A  
 przetaczniki dwupozycyjne  
 przetaczniki chwilowe  
 anteny teleskopowe  
 słuchawki 8 $\Omega$  lub głośnik  
 gniazdo antenowe PL259