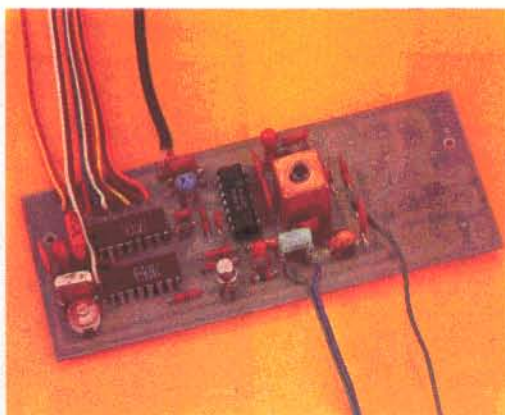


W związku z dużym zainteresowaniem syntezerami częstotliwości przedstawiamy opis wykonania urządzenia, które dzięki swej uniwersalności może spełnić oczekiwania zarówno użytkowników CB jak i krótkofalowców pragnących zwiększyć liczbę kanałów w posiadanych radiotelefonach. Zanim jednak przejdziemy do praktycznego układu, dla mniej wtajemniczonych przedstawimy nieco historii oraz zasadę działania syntezeru częstotliwości.

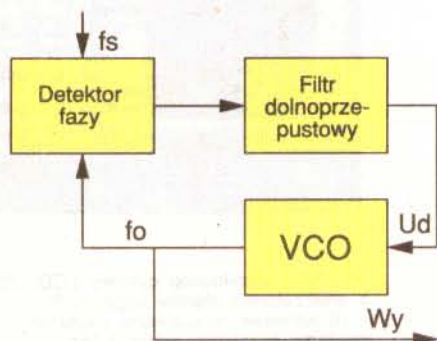
# Syntezer częstotliwości na pasmo CB i 2m (FM)

## kit AVT-130



### Opis układu

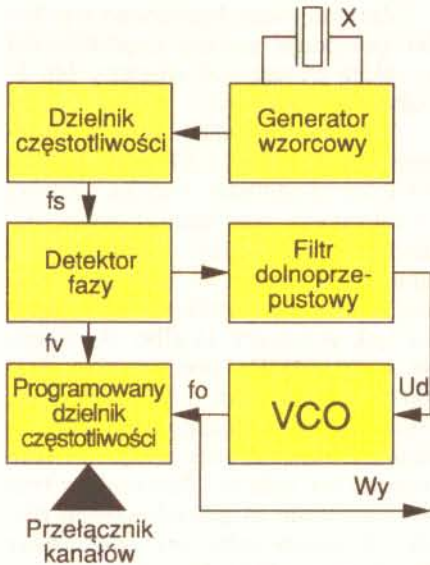
W początkowym okresie rozwoju radiokomunikacji w radiotelefonach stosowano stabilizację częstotliwości przy pomocy rezonatorów kwarcowych. Wykorzystywano oddzielne generatory kwarcowe dla nadajnika i odbiornika. W torze nadajnika z reguły pracowały rezonatory o wartościach częstotliwości równych częstotliwościom poszczególnych kanałów. W generatorze odbiornika częstotliwości rezonatorów były uzależnione od wartości częstotliwości pośredniej. Taki sposób stabilizacji był wykorzystywany w radiotelefonach o liczbie kanałów 1...4. Ponieważ rezonatory są elementami kosztownymi, a ponadto zajmują w urządzeniu sporo miejsca, późniejsze konstrukcje wykorzystywały syntezer częstotliwości oparte o mieszacz i dwa generatory. Spotkać można było również rozwiązania wykorzystujące trzy genera-



Szybki rozwój techniki cyfrowej i opanowanie technologii produkcji wysoce specjalizowanych układów scalonych spowodował, że współczesne syntezer częstotliwości CB mają tylko jeden lub dwa rezonatory kwarcowe, a pokrywają np. czterdzieści (lub wielokrotność czterdziestu) kanałów w radiotelefonie CB. Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu pętli fazowej PLL (Phase Locked Loop) oraz programowalnego dzielnika częstotliwości. Uproszczony schemat omawiający zasadę działania syntezeru z pętlą fazową przedstawia rysunek 1.

Ważną częścią układu jest oscylator strojony napięciem VCO wytworzonym za pomocą układu cyfrowego. Na temat syntezerów napisano wiele prac naukowych, ale my nie będziemy zajmować się wzorami i skomplikowanymi zjawiskami zachodzącymi w układzie. Skoncentrujemy się raczej na niezbędnych wiadomościach praktycznych, które u-





Rys. 2. Schemat blokowy synteza możliwą zbudowanie synteza, zwłaszcza że ostatnio scalone układy syntezy częstotliwości są coraz łatwiej dostępne.

Przejdźmy zatem do praktycznego schematu blokowego przedstawionego na **rysunku 2**. Sygnał VCO -  $f_0$  (decydujący o częstotliwości pracy radiotelefonu) jest skierowany do mieszacza oraz po przetworzeniu na sygnał  $f_v$  o mniejszej częstotliwości jest porównywany w detektorze fazy z sygnałem  $f_s$ . Sygnał  $f_s$  jest częstotliwością wzorcową (krokową, wynoszącą dla CB z reguły 10kHz a w pasmie 2m-FM 25kHz) decydującą o odstępie międzykanałowym. Jest ona uzyskiwana z częstotliwości wzorcowej 10,24MHz przez podzielenie w wewnętrznym dzielniku częstotliwości. Istnieją syntezy, w których częstotliwość ta jest inna i wynosi 5,12, 6,4 czy 12,8MHz.

Na wyjściu detektora (w wyniku porównania sygnałów  $f_s$  i  $f_v$ ) uzyskujemy sygnał błędny  $U_d$  zawierający informacje o różnicach częstotliwości  $D_f$  i różnicach faz  $D_\phi$ . Sygnał ten, po odfiltrowaniu i ukształtowaniu w następnym bloku, zawiera jedynie składową stałą napięcia. Napięciem tym steruje dioda pojemnościowa (wchodząca w skład obwodu LC oscylatora VCO) w taki sposób, aby układ znajdował się w stanie synchronizacji. Nastąpi to wtedy, gdy różnica częstotliwości  $f_s$  i  $f_v$  będzie równa 0, zaś różnica faz tych sygnałów będzie stała w czasie. Jeżeli nastąpi nagle zmiana częstotliwości VCO ( $f_v$  nie równe  $f_s$ ) czyli układ wypadnie ze stanu synchronizacji, napięcie korygujące spowoduje

duże zmianę częstotliwości. VCO w taki sposób, aby w konsekwencji uzyskać  $f_s = f_v$ .

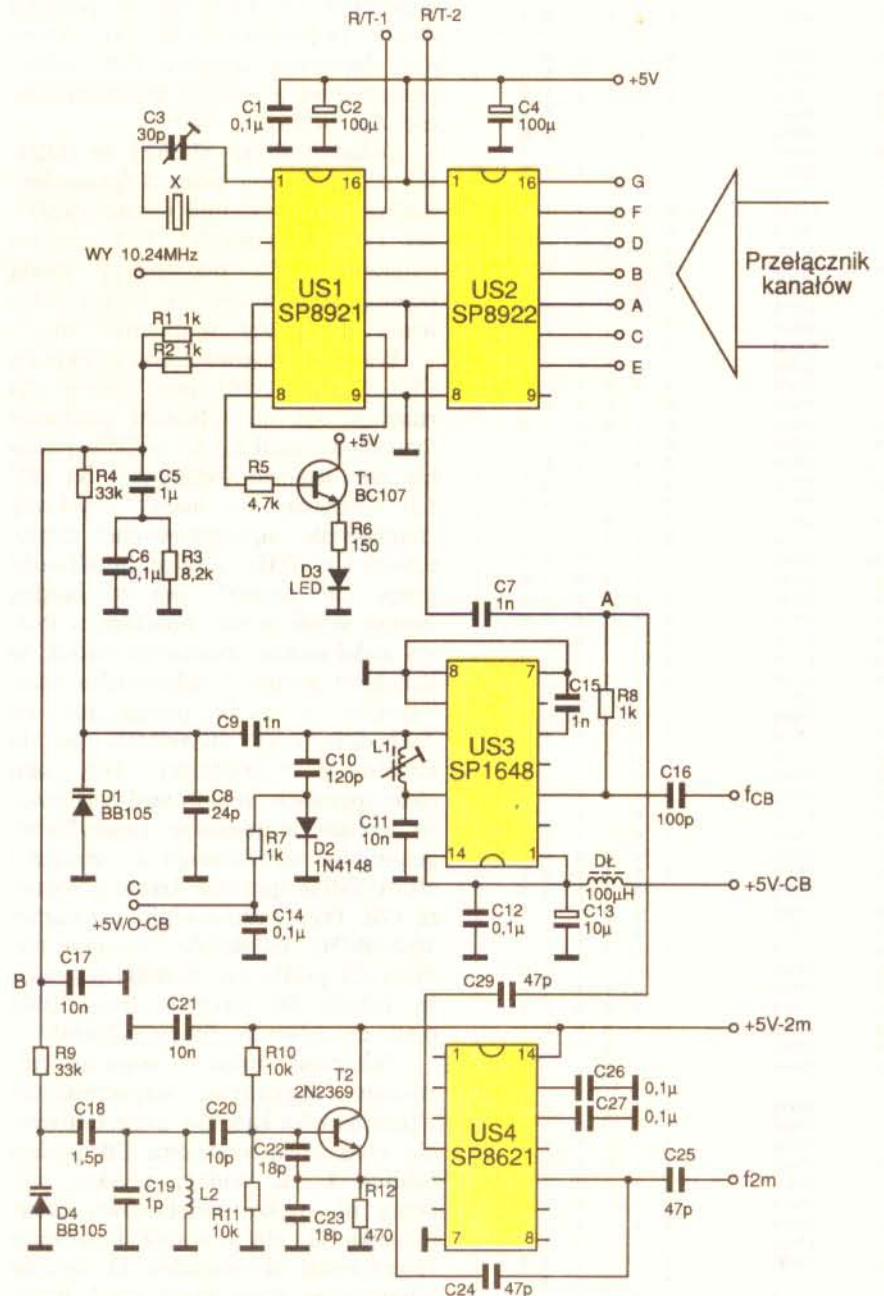
Schemat elektryczny syntezy przystosowanego zarówno do wykorzystania w radiotelefonach CB (26,965... 27,405MHz) jak i radiotelefonach 2m-FM (144...146MHz) pokazano na **rysunku 3**. Zastosowane tu zostały cztery układy scalone firmy Plessey (US1-SP8921, US2-SP8922, US3-SP1648 oraz US4-SP8621). Zasadę działania układów US1 i US2 ilustruje **rysunek 4**.

W strukturze układu SP8921 znajduje się lokalny generator o częstotliwości wymuszonej rezonatorem

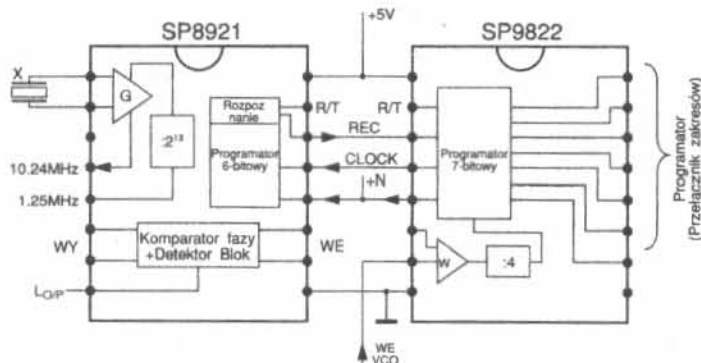
kwarcowym 10,24MHz, dzielnik częstotliwości  $2^{13}$  dający na wyjściu częstotliwość wzorcową 1,25kHz, detektor fazy z komparatorem i programowany dzielnik częstotliwości z możliwością skokowej zmiany podziału (przy przejściu z nadawania na odbiór).

Układ SP8922 zawiera programowalny sześciobitowy koder oraz wzmacniacz z dzielnikiem przez 4. Koder jest sterowany bezpośrednio z przełącznika kanałów kodującego odpowiednie stany logiczne.

Układ SP1648 to generator VCO-CB (generator przestrajany napięciem) z obwodem rezonansowym L1-



Rys. 3. Schemat elektryczny syntezy



Rys. 4. Schemat wyjaśniający zasadę działania układów SP8921, SP8922

Tab. 1. Częstotliwość kanałów CB

Kanał nr	Częstotl. [kHz]	Kod					
		F	E	D	C	B	A
34	26895	0	0	0	0	0	0
35	26905	0	0	0	0	0	1
36	26915	0	0	0	0	1	0
37	26925	0	0	0	0	1	1
38	26935	0	0	0	1	0	0
39	26945	0	0	0	1	0	1
40	26955	0	0	0	1	1	0
1	26965	0	0	0	1	1	1
2	26975	0	0	1	0	0	0
3	26985	0	0	1	0	0	1
3A	26995	0	0	1	0	1	0
4	27005	0	0	1	0	1	1
5	27015	0	0	1	1	0	0
6	27025	0	0	1	1	0	1
7	27035	0	0	1	1	1	0
7A	27045	0	0	1	1	1	1
8	27055	0	1	0	0	0	0
9	27065	0	1	0	0	0	1
10	27075	0	1	0	0	1	0
11	27085	0	1	0	0	1	1
11A	27095	0	1	0	1	0	0
12	27105	0	1	0	1	0	1
13	27115	0	1	0	1	1	0
14	27125	0	1	0	1	1	1
15	27135	0	1	1	0	0	0
15A	27145	0	1	1	0	0	1
16	27155	0	1	1	0	1	0
17	27165	0	1	1	0	1	1
18	27175	0	1	1	1	0	0
19	27185	0	1	1	1	0	1
19A	27195	0	1	1	1	1	0
20	27205	0	1	1	1	1	1
21	27215	1	0	0	0	0	0
22	27225	1	0	0	0	0	1
23	27255	1	0	0	1	0	0
24	27235	1	0	0	0	1	0
25	27245	1	0	0	0	1	1
26	27265	1	0	0	1	0	1
27	27275	1	0	0	1	1	0
28	27285	1	0	0	1	1	1
29	27295	1	0	1	0	0	0
30	27305	1	0	1	0	0	1
31	27315	1	0	1	0	1	0
32	27325	1	0	1	0	1	1
33	27335	1	0	1	1	0	0
34	27345	1	0	1	1	0	1
35	27355	1	0	1	1	1	0
36	27365	1	0	1	1	1	1
37	27375	1	1	0	0	0	0
38	27385	1	1	0	0	0	1
39	27395	1	1	0	0	1	0
40	27405	1	1	0	0	1	1
1	27415	1	1	0	1	0	0
2	27425	1	1	0	1	0	1
3	27435	1	1	0	1	1	0
3A	27445	1	1	0	1	1	1
4	27455	1	1	1	0	0	0
5	27465	1	1	1	0	0	1
6	27475	1	1	1	0	1	0
7	27485	1	1	1	0	1	1
7A	27495	1	1	1	1	0	0
8	27505	1	1	1	1	0	1
9	27515	1	1	1	1	1	0
10	27525	1	1	1	1	1	1

C8-C9. Zmianę częstotliwości tego generatora uzyskuje się za pomocą diody pojemnościowej D1, która jest sterowana poprzez filtr dolno-przepustowy z wyjścia detektora fazy układu SP8921.

Układ scalony SP8621 to dzielnik częstotliwości przez 5 (preskaler). Zarówno ten dzielnik częstotliwości, jak i drugi generator VCO-2m na tranzystorze T2 przestrajany diodą pojemnościową D4, są wykorzystywane do pracy w pasmie 2m.

Wejście programujące G układu US2 (nóżka 16) przy pracy CB znajduje się na wysokim poziomie logicznym. Jeśli na to wejście podamy zero logiczne (odłączymy od +5V lub zewrzymy do masy), uzyskamy zmniejszenie zaprogramowanej częstotliwości o 5kHz, a więc możliwość pracy „w zerach”. Jest to bardzo ważna właściwość, bowiem w Polsce nadal jeszcze obowiązuje zasada, że kanałowi numer 1 odpowiada częstotliwość o 5kHz niższa niż na Zachodzie, czyli 26,960MHz (aż do kanału 40-27,400MHz). Ten sam efekt (przejście w standard zer) można uzyskać zmniejszając częstotliwość generatora wzorcowego do wartości 10,2375MHz (poprzez korekcję trymera C3). Przy zastosowaniu rezonatora 10,240MHz należałoby zamiast trymera C3 podłączyć dodatkową cewkę (około 30 zwojów drutu DNE 0,15 na rdzeniu filtra 7x7mm).

Zależność między wejściowymi stanami logicznymi uzyskiwanymi z przełącznika kanałów a częstotliwością wyjściową syntezeru CB podaje **tablica 1**. Jak widać, uzyskać możemy nie tylko podstawową czterdziestkę C, ale również końcówkę czterdziestki B i początek D, łącznie z pokryciem dziur kanałowych (częstotliwości: 3A, 7A, 11A, 15A, 19A).

Zmiana stanu logicznego o jeden bit powoduje zmianę częstotliwości o 10kHz (A-najmniej znaczący bit, F-najbardziej znaczący).

**Tablica 2** podaje sposób programowania układu SP8921, (nóżka 15-R/T) i SP8922 (nóżka 2-R/T) w zależności od częstotliwości pośredniej odbiornika. Syntezer CB umożliwia uzyskanie zaprogramowanej wartości częstotliwości nadajnika (jak w tablicy 1) albo obniżenie jej o 10,695MHz przy zwarceniu R/T-zarówno US1 jak i US2 do +5V. Następuje to automatycznie poprzez napięcie zasilania przy przejściu z nadawania na odbiór. Również w tym samym czasie za pośrednictwem diody D2 zostaje załączony dodatkowy kondensator C10 obniżający częstotliwość generatora VCO przy odbiorze. Dla przykładu, na kanale 1 na pierwszy mieszacz odbiornika zostanie podany sygnał z VCO o częstotliwości 16,270MHz. Ten sposób programowania może być wykorzystany przy modernizacji jednokanałowego krajowego radiotelefonu RD 3109 (produkcji Zakładów Radmor). W przypadku radiotelefonów krajowych starszego typu takich jak Echo (1...4) czy Tukan-1 (produkcji Zakładów Warel), posiadających pojedynczą przemianę częstotliwości 465kHz, należy tylko na punkt R/T układu SP8922 podać +5V. Spowoduje to obniżenie częstotliwości VCO np. na kanale 1 do wartości 26,510MHz.

Jak zaznaczono w materiałach aplikacyjnych, wartości elementów filtru dolnoprzepustowego C5-C6-R3 mają wpływ na szybkość synchronizacji (zamknięcia pętli PLL). Jeżeli syntezer jest używany tylko w odbiorniku z automatycznym przeszukiwaniem kanałów (scanning), to korzystniej byłoby zastosować dwa filtry o różnych stałych czasowych, aby skrócić czas synchronizacji i lepiej odfiltrować sygnał w czasie normalnej pracy.

Tab. 2. Przesunięcie R/T

[kHz]	SP8921	SP8922
0	0	0
-455	0	1
-10240	1	0
-10695	1	1



Tab. 3. Częstotliwość kanałów pasma 2m

Częst. kanału [MHz]	Częst. VCO [MHz]	Kod					
		G	F	E	D	C	B A
144.000	133.300	0	0	1	0	1	1 0
144.025	133.325	1	0	1	0	1	1 0
144.050	133.350	0	0	1	0	1	1 1
144.075	133.375	1	0	1	0	1	1 1
144.100	133.400	0	0	1	1	0	0 0
144.125	133.425	1	0	1	1	0	0 0
144.150	133.450	0	0	1	1	0	0 1
144.175	133.475	1	0	1	1	0	0 1
144.200	133.500	0	0	1	1	0	1 0
144.225	133.525	1	0	1	1	0	1 0
144.250	133.550	0	0	1	1	0	1 1
144.275	133.575	1	0	1	1	0	1 1
144.300	133.600	0	0	1	1	1	0 0
144.325	133.625	1	0	1	1	1	0 0
144.350	133.650	0	0	1	1	1	0 1
144.375	133.675	1	0	1	1	1	0 1
144.400	133.700	0	0	1	1	1	1 0
144.425	133.725	1	0	1	1	1	1 0
144.450	133.750	0	0	1	1	1	1 1
144.475	133.775	1	0	1	1	1	1 1
144.500	133.800	0	1	0	0	0	0 0
144.525	133.825	1	1	0	0	0	0 0
144.550	133.850	0	1	0	0	0	0 1
144.575	133.875	1	1	0	0	0	0 1
144.600	133.900	0	1	0	0	1	0 0
144.625	133.925	1	1	0	0	1	0 0
144.650	133.950	0	1	0	0	0	1 0
144.675	133.975	1	1	0	0	0	1 0
144.700	134.000	0	1	0	0	0	1 1
144.725	134.025	1	1	0	0	0	1 1
144.750	134.050	0	1	0	0	1	0 1
144.775	134.075	1	1	0	0	1	0 1
144.800	134.100	0	1	0	0	1	1 0
144.825	134.125	1	1	0	0	1	1 0
144.850	134.150	0	1	0	0	1	1 1
144.875	134.175	1	1	0	0	1	1 1
144.900	134.200	0	1	0	1	0	0 0
144.925	134.225	1	1	0	1	0	0 0
144.950	134.250	0	1	0	1	0	0 1
144.975	134.275	1	1	0	1	0	0 1
145.000	134.300	0	1	0	1	0	1 0
145.025	134.325	1	1	0	1	0	1 0
145.050	134.350	0	1	0	1	0	1 1
145.075	134.375	1	1	0	1	0	1 1
145.100	134.400	0	1	0	1	1	0 0
145.125	134.425	1	1	0	1	1	0 0
145.150	134.450	0	1	0	1	1	0 1
145.175	134.475	1	1	0	1	1	0 1
145.200	134.500	0	1	0	1	1	1 0
145.225	134.525	1	1	0	1	1	1 0
145.250	134.550	0	1	0	1	1	1 1
145.275	134.575	1	1	0	1	1	1 1
145.300	134.600	0	1	1	0	0	0 0
145.325	134.625	1	1	1	0	0	0 0
145.350	134.650	0	1	1	0	0	0 1
145.375	134.675	1	1	1	0	0	0 1
145.400	134.700	0	1	1	0	0	1 0
145.425	134.725	1	1	1	0	0	1 0
145.450	134.750	0	1	1	0	0	1 1
145.475	134.775	1	1	1	0	0	1 1
145.500	134.800	0	1	1	0	1	0 0
145.525	134.825	1	1	1	0	1	0 0
145.550	134.850	0	1	1	0	1	0 1
145.575	134.875	1	1	1	0	1	0 1
145.600	134.900	0	1	1	0	1	1 0
145.625	134.925	1	1	1	0	1	1 0
145.650	134.950	0	1	1	0	1	1 1
145.675	134.975	1	1	1	0	1	1 1
145.700	135.000	0	1	1	1	0	0 0
145.725	135.025	1	1	1	1	0	0 0
145.750	135.050	0	1	1	1	0	0 1
145.775	135.075	1	1	1	1	0	0 1
145.800	135.100	0	1	1	1	0	1 0
145.825	135.125	1	1	1	1	0	1 0
145.850	135.150	0	1	1	1	0	1 1
145.875	135.175	1	1	1	1	0	1 1
145.900	135.200	0	1	1	1	1	0 0
145.925	135.225	1	1	1	1	1	0 0
145.950	135.250	0	1	1	1	1	0 1
145.975	135.275	1	1	1	1	1	0 1
146.000	135.300	0	1	1	1	1	1 0

Kiedy pętla jest zamknięta, na nóżce 8 układu SP8921 występuje „1” logiczna. Stan ten jest sygnalizowany świeceniem diody D3 sterowanej przez tranzystor T1. Przy braku synchronizacji dioda nie świeci (jest zablokowana). Inaczej mówiąc, świecenie diody potwierdza prawidłową pracę układu. Czas blokady przy przełączaniu kanałów z 1 na 40 wynosi około 40ms, przejście z nadawania na odbiór jest dłuższe (skok ponad 10MHz) i wynosi około 75ms.

W przypadku wykorzystania układu syntezy do modernizacji radiotelefonów FM starszego typu produkowanych przez Zakłady Radmor (takich jak FM 306, FM 3001, FM 315 i podobnych, pracujących przeważnie w zakresie częstotliwości 150...170MHz, a przestrajanych przez krótkofalowców na 145MHz) należy odłączyć zasilanie od układu US3, a podłączyć je do tranzystora T2 i układu scalonego US4. W tym przypadku generator VCO syntezy z tranzystorem T2 wytwarza częstotliwość 133,3...135,3MHz (i trochę poniżej) odpowiadająca częstotliwości odbioru 144,0...146,0MHz. Częstotliwość VCO jest dzielona przez 5 w układzie US4-SP8621, po czym kierowana do dalszego podziału w układzie US2. Dzięki pięciokrotnemu obniżeniu częstotliwości VCO wypadkowy krok syntezy wynosi 25kHz, a więc odstęp międzykanałowy ma również 25kHz. W tabelicy 3 przedstawiono zależność między wejściowymi stanami logicznymi a częstotliwością pracy radiotelefonu 2m-FM. Przedstawiony zakres pracy VCO osiągnięto po zaprogramowaniu przesunięcia -455kHz (R/T US1=0 i R/T US2=1 - zwarte do +5V). Łatwo zauważyć że przy braku przesunięcia nie uzyskalibyśmy najbardziej interesującego nas zakresu

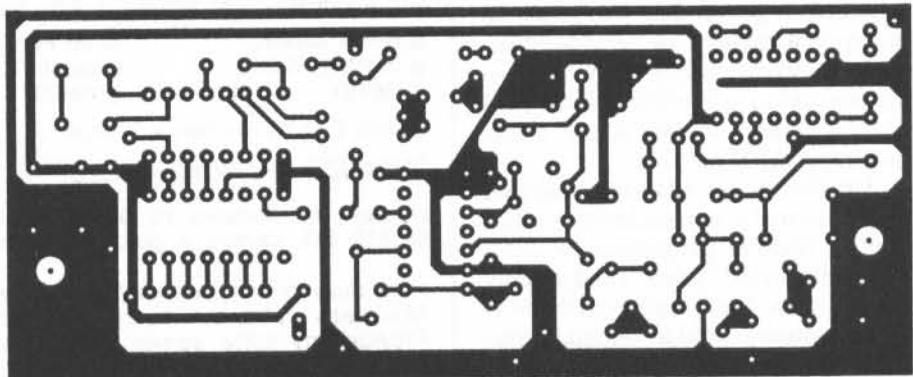
pasma 2m. Wymaganą częstotliwość nadajnika uzyskuje się już w samym radiotelefonie dzięki zmieszaniu częstotliwości VCO z częstotliwością dodatkowego generatora kwarcowego 10,7MHz (praca simpleks) lub 10,1MHz (praca poprzez amatorskie przemienniki FM). W obydwu przypadkach generatory te są jednocześnie modulatorami FM.

**Montaż i uruchomienie**

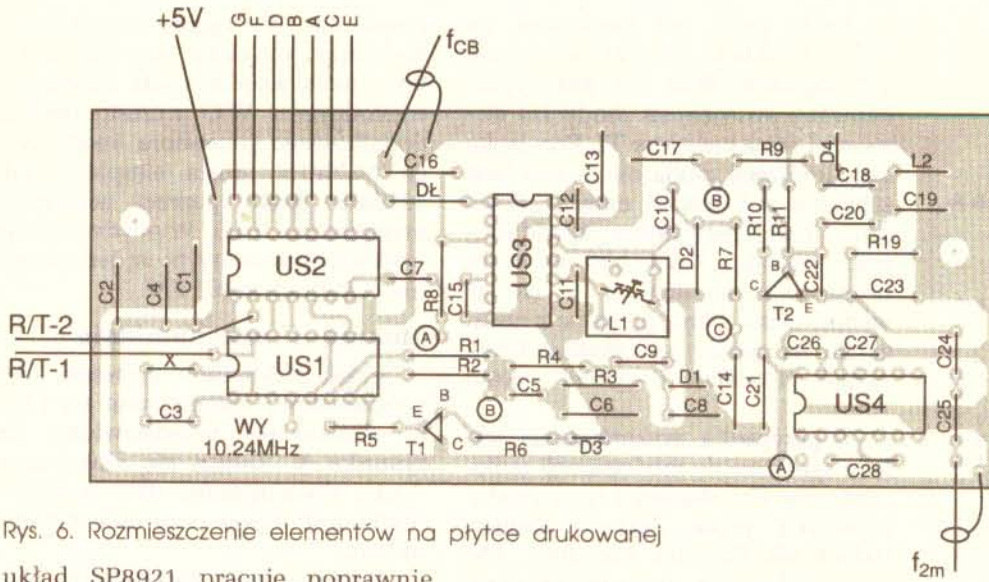
Układ elektryczny syntezy (bez programatora) zmontowano na płytce drukowanej przedstawionej na rysunku 5. Zaleca się stosowanie druku dwustronnego (jedna strona płytki jest masą) oraz ekranowanie układu.

Rozmieszczenie elementów na płytce pokazano na rysunku 6. Układ nie musi być montowany od razu w całości. Jeżeli chcemy wykorzystać tylko syntezer CB, to nie montujemy na płytce elementów z tranzystorem T2 i układem scalonym US4 (jak na zdjęciu). Jeżeli jednak zdecydujemy się na obydwa układy, to w takim przypadku należy przeciąć ścieżki doprowadzające zasilanie +5V i wstawić przełącznik CB/2m (załączający zasilanie +5V na US3 przy pracy CB oraz +5V na T2 i US4 przy pracy 2m). Układ może być zasilany z typowego zasilacza stabilizowanego 5V/60mA.

Przy uruchomieniu należy najpierw tak ustawić trymer C3, aby uzyskać na nóżce 4 układu SP8921 częstotliwość 10240,00kHz. Rdzeń w cewce L1 powinien być tak ustawiony, by uzyskać wymaganą częstotliwość wyjściową syntezy przy napięciu na diodzie D1 2,85V (na 30 kanale przy nadawaniu). Napięcie to, w zależności od numeru kanału, powinno zmieniać się w granicach 1,5...3V (liniowe zmiany napięcia). Warto wiedzieć, że



Rys. 5. Mozaika ścieżek płytki drukowanej



Rys. 6. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

układ SP8921 pracuje poprawnie przy napięciu wyjściowym z detektora 0,5...3,8V.

Generator VCO-2m stroimy poprzez ściskanie lub rozginanie zwojów cewki L2 w taki sposób, by na częstotliwości 134,8MHz (częstotliwość odbioru 145,5MHz) napięcie wyjściowe detektora było zbliżone do 2V.

Podczas uruchamiania układu można uzyskać odpowiednie stany logiczne (zgodnie z tablicą 1 i 3) dzięki łączeniu wyprowadzeń 10-16 układu SP8922 z masą („0”) i +5V („1”) bezpośrednio przewodem lub poprzez 7 przełączników niezależnych typu Isostat. Oczywiście, takie przełączanie, aczkolwiek umożliwia już zmianę kanałów, jest niewygodne podczas normalnej pracy. Dlatego lepiej jest zastosować podwójny programator BCD lub specjalny sterownik z zastosowaniem pamięci EPROM i cyfrowego wyświetlacza numeru kanału.

Na zakończenie istotna informacja. Zamiast układu SP8922 można zastosować układ SP8923 (o identycznych wyprowadzeniach), który na wejściu posiada koder dziesiętny. Również w przypadku trudności ze zdobyciem generatora SP1648 można wykorzystać każdy inny tranzystorowy układ generatora VCO, jako dzielnik przez 5 równie dobrze będzie pracował SP8620.

Uruchomiony syntezer powinien być zamknięty w metalowej obudowie. Wejścia programujące należy wyprowadzić przez kondensatory przepustowe 10nF, zaś sygnały f-CB i f-2m poprzez krótkie odcinki przewodu ekranowanego.

Andrzej Janeczek, SP5AHT

- C5: 1μF
- C7, C9, C15: 1nF
- C8: 24pF
- C10: 120pF
- C11, C17, C21: 10nF
- C13: 10μF
- C16: 100pF
- C18: 1,5pF
- C19: 1pF
- C20: 10pF
- C22, C23: 18pF
- C24, C25, C28: 47pF

**Cewki**

- L1: 10 zwojów drutu DNE 0,3 na rdzeniu filtru 12x12mm
- L2: 5 zwojów drutu DNE 0,7 na średnicy 6mm (powietrzna)

D1: 100μH (dławik)

**Elementy półprzewodnikowe i układy scalone**

- D1, D4: BB105 (zielona kropka)
- D2: 1N4148
- D3: LED (czerwona)
- T1: BC107
- T2: 2N2369
- US1: SP8921
- US2: SP8922 (SP8923)
- US3: SP1648 (MC1648)
- US4: SP8621 (SP8620)

**Inne**

- X: Rezonator kwarcowy 10.235 (10.240) MHz

**WYKAZ ELEMENTÓW**

**Rezystory**

- R1, R2, R7, R8: 1kΩ
- R3: 8,2kΩ
- R4, R9: 33kΩ
- R5: 4,7kΩ
- R6: 150Ω
- R10, R11: 10kΩ
- R12: 470Ω

**Kondensatory**

- C1, C6, C12, C14, C26, C27: 0,1μF
- C2, C4: 100μF
- C3: 30pF (trymer ceramiczny)