

Dział "Projekty Czytelników" zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji.

Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane **oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany.** Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

# Tuner FM z cyfrową syntezą częstotliwości

Wśród naszych Czytelników zaobserwowaliśmy wyraźny wzrost zainteresowania techniką radiową. Postanowiliśmy więc zwiększyć liczbę publikacji poświęconych temu tematowi, prezentując także najbardziej interesujące Wasze opracowania. Oto jedno z nich - stereofoniczny tuner FM z cyfrową syntezą częstotliwości.



Po zaprzestaniu nadawania przez rozgłośnie radiowe audycji w „dolnym” zakresie UKF, pojawił się problem, który można było rozwiązać na trzy sposoby:

- nabyć odbiornik przystosowany do odbioru w „górnym” zakresie UKF,
- przestroić posiadany odbiornik,
- trzeci sposób - najtrudniejszy, ale za to najbardziej ambitny dla elektronika hobbysty - wykonać nowy odbiornik od podstaw we własnym zakresie.

W artykule przedstawiam propozycję budowy stereofo-

nicznego tunera UKF-FM, skonstruowanego w oparciu o tanie elementy, a przy tym w miarę nowoczesnego.

## Opis układu

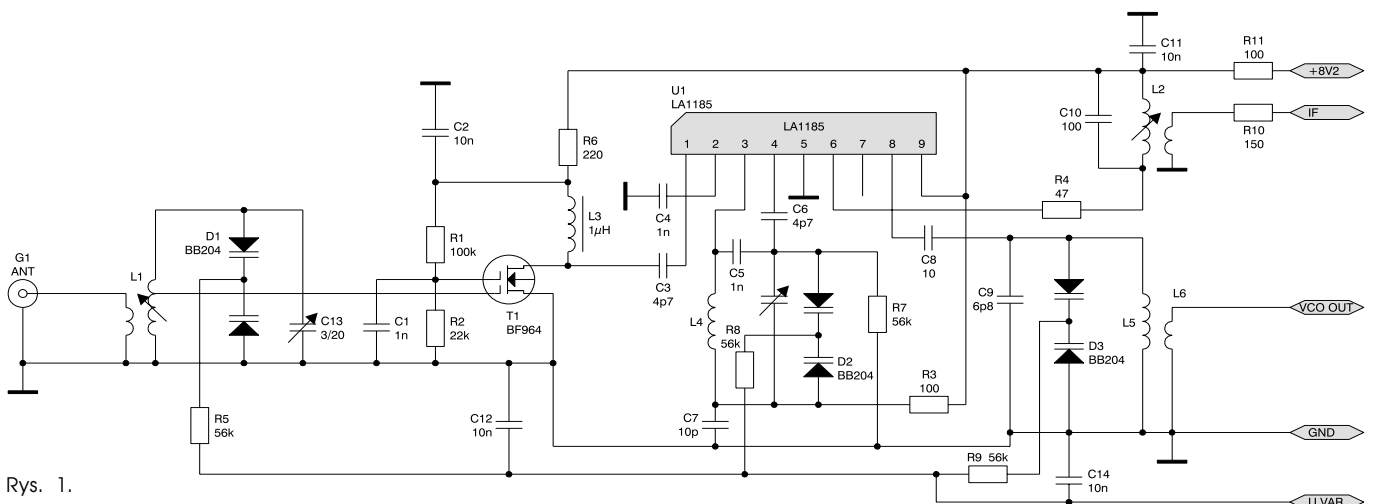
W układzie elektrycznym tunera wyodrębnić można następujące zespoły: głowica UKF, wzmacniacz pośredniej częstotliwości z dekodery stereo i filtrem wyjściowym, sterownik mikroprocesorowy z wyświetlaczem oraz układ PLL.

Głowicę UKF (schemat na rys. 1) zbudowano w oparciu o układ scalony LA1185, który zapewnia jej dobre parametry i znakomicie ją uprościł. Tranzystor MOSFET zastosowano nie

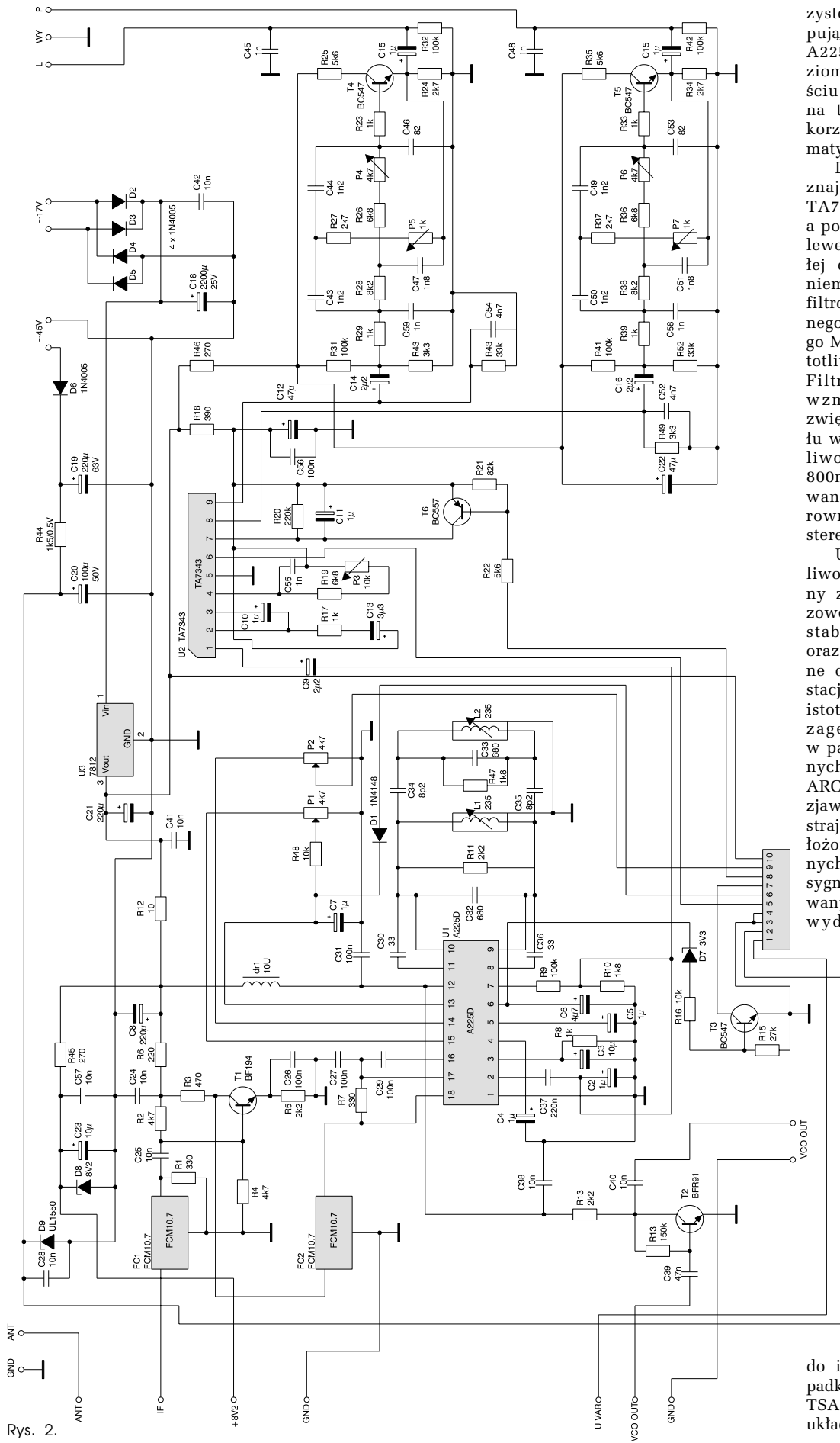
w celu poprawienia czułości, ale aby dopasować obwód wejściowy tunera do wejścia U1.

Rolę wzmacniacza pośredniej częstotliwości pełni układ A225, będący odpowiednikiem TDA1047 (schemat z rys. 2). Jest to już niezbyt nowy układ scalony, jednak o bardzo dobrych parametrach i posiadający wiele ciekawych funkcji, między innymi wyciszanie szumów przy strojeniu i sterowanie miernikiem poziomu.

Wymaganą selektywność na częstotliwości 10,7MHz zapewniają dwa filtry ceramiczne (FC1, FC2), przedzielone dodatkowym stopniem wzmacniającego na tranzystorze T1. W obwodzie z tran-



Rys. 1.



Rys. 2.

zystorem T3 napięcie występujące na wyprowadzeniu 6 A225 zwiększane jest do poziomu wymaganego na wejściu mikrosterownika. Sygnał na tym wyprowadzeniu wykorzystywany jest przy automatycznym strojeniu.

Dalej na drodze sygnału znajduje się układ scalony TA7343 - dekodery stereo PLL, a po nim filtry aktywne dla lewego i prawego kanału małej częstotliwości. Ich zadaniem jest preemfaza oraz odfiltrowanie składowych złożonego sygnału stereofonicznego MPX, czyli sygnału o częstotliwości podnośnej i pilota. Filtry te posiadają pewne wzmocnienie powodując zwiększenie amplitudy sygnału wyjściowego małej częstotliwości do poziomu około 800mV. Tranzystor T6, sterowany sygnałem z mikrosterownika, przełącza dekodery stereo w tryb mono.

Układ stabilizacji częstotliwości generatora heterodyny z pętlą synchronizacji fazowej gwarantuje „kwarcową” stabilność tego generatora oraz precyzyjne i jednoznaczne dostrojenie do odbieranej stacji. Stało się to szczególnie istotne w warunkach dużego zagęszczenia nadajników w paśmie UKF. W tradycyjnych odbiornikach z układem ARCZ daje się zaobserwować zjawisko przypadkowego dostrojenia do stacji blisko położonych w paśmie odbieranych z podobnym poziomem sygnału. Dlatego w prezentowanym tunerze nieodzownym wydało się zastosowanie wspomnianego układu. Ułatwił on także wprowadzenie dodatkowych funkcji podnoszących komfort obsługi tunera, takich jak wyświetlanie częstotliwości cyfrowym, zapamiętywanie częstotliwości stacji oraz automatyczne przeszukiwanie pasma.

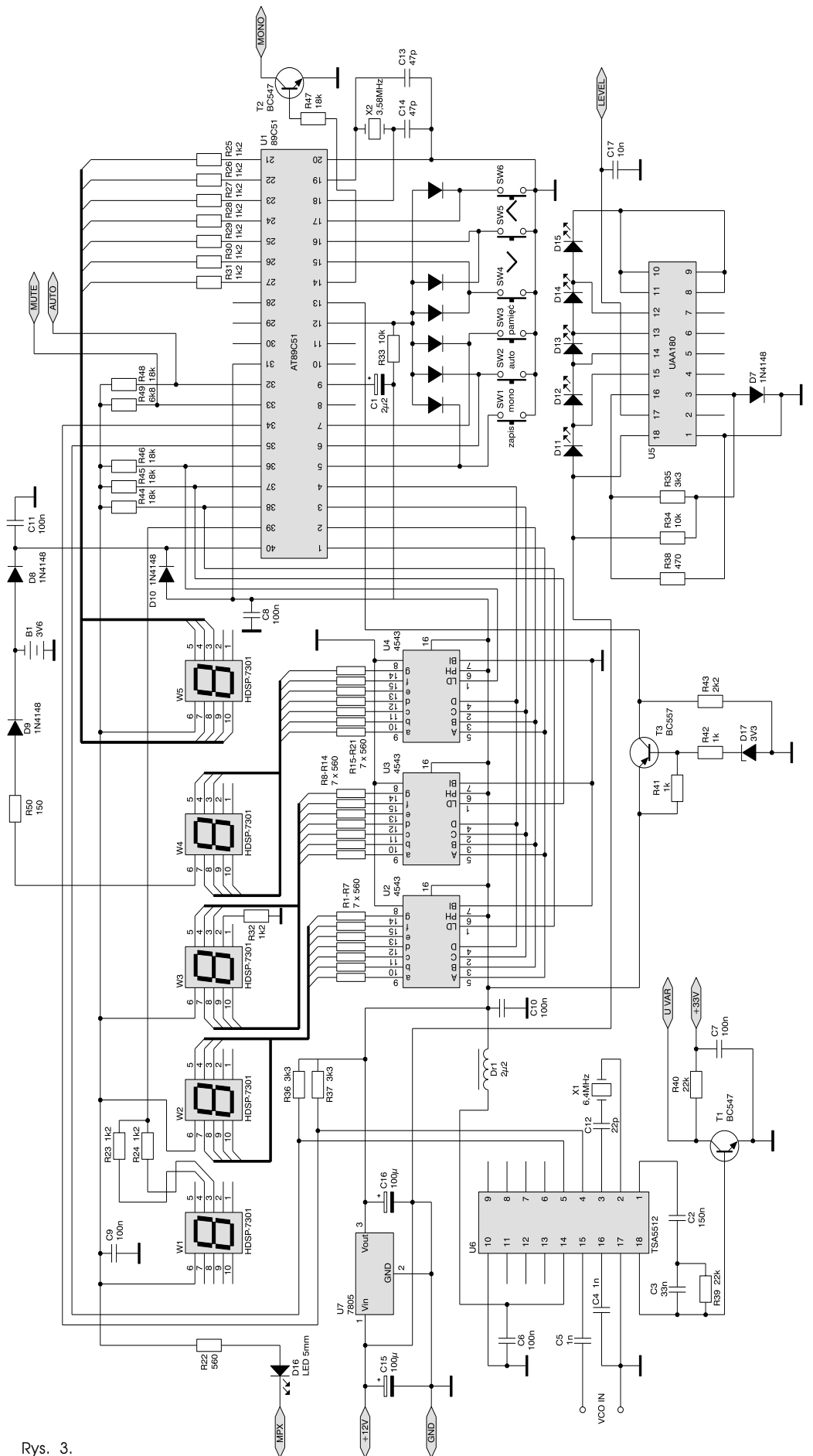
Układy PLL, z zasady dość skomplikowane, są obecnie stosunkowo proste w realizacji, ponieważ dostępnych jest wiele układów scalonych zawierających w swojej strukturze wszystkie niezbędne bloki potrzebne do ich budowy. W tym przypadku posłużono się układem TSA5512 firmy Philips. Jest to układ stosowany często w tech-

nice telewizyjnej, przez to łatwo dostępny, niedrogi i w sytuacji kiedy odbierane są tylko sygnały FM w paśmie UKF w zupełności spełnia wymagania mu zadania. W większości fabrycznych tunerów stosowany jest raster 50kHz. Wydaje się to jednak niecelowe, ponieważ częstotliwości wszystkich stacji w przyjętym standardzie są zaokrąglone do 100kHz. Dlatego zastosowanie takiego rastra jest w zupełności wystarczające.

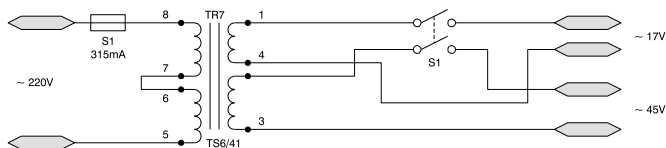
Rolę generatora VCO w układzie PLL pełni generator heterodyny w układzie scalonym LA1185 (schemat na rys. 1). Odseparowany jest on przez tranzystor BFR91 (rys. 2) z kolektora którego sygnał kierowany jest do wejścia TSA5512 (rys. 3). Napięcie wyjściowe układu PLL, którego wartość zależy od wyniku porównania częstotliwości VCO z częstotliwością generatora wzorcowego (generator kwarcowy 6,4MHz w układzie TSA5512), przesłaja zarówno VCO, jak i obwody wejściowe w głowicy UKF.

Układ scalony TSA5512 sterowany jest za pomocą magistrali I<sup>2</sup>C, w związku z czym konieczne było zastosowanie mikrosterownika, który jednocześnie „zaprzęgnięto” do wyświetlania wartości częstotliwości i zapamiętywania częstotliwości stacji. Jako mikrosterownik zastosowany został układ firmy Atmel AT89C51.

Na wyświetlacz częstotliwości tunera składają się cztery wskaźniki LED. Dołączone są do dekodery kodu BCD na kod wskaźnika siedmiosegmentowego (z przerzutnikami zatraskowymi) typu 4543. Nie zdecydowano się na dynamiczne sterowanie wyświetlaczem ze względu na poziom generowanych zakłóceń. Źródłem zakłóceń byłby także procesor, którego nie można by było wprowadzić w stan uśpienia przy takim wyświetlaniu. Wskaźnik numeru pamięci sterowany jest w sposób statyczny bezpośrednio z mikrosterownika. Akumulator 3,6V służy do podtrzymania zawartości pamięci RAM mikrosterownika, do której wpisana jest częstotliwość zapamiętanych stacji. Obwód z tranzystorem T3 na płycie sterownika generuje przerwanie w momencie zaniku napięcia zasilania, wprowadzające AT89C51 w stan zamrożenia. Pobór prądu z akumulatora w tym stanie wynosi około 40µA.



Rys. 3.



Rys. 4.

Pozostałe układy to: wskaźnik poziomu odbieranego sygnału na UAA180 (sterujący pięć diod LED) i stabilizatory napięć 5V oraz 12V, na trzykońcówkowych układach monolitycznych. Do stabilizacji napięcia 33V wykorzystano układ UL1550.

**Elementy indukcyjne**

Najwięcej uwagi należy poświęcić cewce L1 w głowicy. Nawinięto ją na korpusie cewki typu 7x7, a rdzeń dostrojeniowy powinien koniecznie pochodzić z cewki serii 500 (chodzi o wartość przenikalności magnetycznej rdzenia). Cewki L4 i L5 zosta-

ły nawinięte jako powietrzne przewodem w emalii o średnicy 0,4mm na średnicy 4,5mm. Cewką L6 jest pół zwoju drutu DNE0,25 wlutowanego w płytkę i tworzące pętelkę obok cewki L5 w sposób zapewniający sprzężenie między nimi.

Pozostałe cewki tj. L2 w głowicy oraz L1 i L2 we wzmacniaczu p.c.z. są cewkami fabrycznymi. Można je też wykonać samemu na korpusach typu 7x7 serii 200. Cewka L2 głowicy zawiera 16 zwojów przewodu DNE0,15 uzwojenia pierwotnego i 3 zwoje tego przewodu w uzwojeniu wtórnym. Natomiast dla cewek

L1 i L2 w p.c.z. nawinięto tylko po 6 zwojów przewodu DNE0,2. Podane średnice przewodów nie są krytyczne.

**Konstrukcja mechaniczna i montaż**

Układ tunera zmontowano na trzech płytkach z jednostronnym rysunkiem ścieżek. Płyta główna, płytka głowicy UKF (która jest wlutowana w płytę główną) oraz płytka sterownika z klawiaturą i wyświetlaczem. W pierwszej kolejności należy umieścić w płytkach wszystkie mostki, następnie pozostałe elementy, kończąc na tych o największych gabarytach. Do trzech krawędzi płytki głowicy przylutować należy pasek cienkiej białej blachy o szerokości 15mm wygiętej w kształcie litery U. Do końców blaszki i do wyprowadzeń z płytki dolutować krótkie odcinki przewodu, odpowiednio je

wygiąć (mogą to być odcięte końcówki od elementów) i umieścić w otworach płyty głównej.

Na płytce sterownika niezbędne jest umieszczenie podstawki pod mikrosterownik, w wyświetlaczach należy wykorzystać całą długość ich wyprowadzeń i zamontować jak najwyżej. Na tej samej wysokości umieścić diody LED. Kondensatory elektrolityczne w tej płytce oraz kwarc 6,4MHz muszą być ułożone poziomo.

Do podtrzymania zawartości rejestrów mikroprocesora można użyć różnych źródeł. Doświadczenia pokazały że może to być nawet pojedyncze ogniwo 1,5V w miejsce drogiego akumulatora czy baterii litowej, a zaprogramowanie tunera raz na rok nie wydaje się być zbyt dużym wysiłkiem. Lepiej jest jednak zastosować te droższe elementy. Jedynie

**WYKAZ ELEMENTÓW**

Płytki główne		Płytki sterownika	Głowica UKF
<b>Rezystory</b>	C12, C22: 47µF C13: 3,3µF C18: 2200µF/25V C19: 220µF/63V C20: 100µF/50V C24, C25, C28, C38, C41, C42, C57: 10nF C26, C27, C29, C31, C56: 100nF C30, C36: 33pF C32, C33: 680pF C34, C35: 8,2pF C37: 220nF C39: 47pF C43, C44, C49, C50: 1,2nF styrofleksowe C45, C48, C55, C58, C59: 1nF styrofleksowe C46, C53: 82pF C47, C51: 1,8nF styrofleksowe C52, C54: 4,7nF	<b>Rezystory</b> R1..R22: 560Ω R23..R32: 1,2kΩ R33, R34: 10kΩ R35..R37: 3,3kΩ R38: 470Ω R39, R40: 22kΩ R41, R42: 1kΩ R43: 2,2kΩ R44..R48: 18kΩ R49: 6,8kΩ R50: 150Ω	<b>Rezystory</b> R1: 100kΩ R2: 22kΩ R3, R11: 100Ω R4: 47Ω R5, R7..R9: 56kΩ R6: 220Ω R10: 150Ω
	<b>Półprzewodniki</b> D1: 1N4148 D2..D6: 1N4005 D7: 3V3 D8: 8V2 D9: UL1550 T1: BF194 T2: BFR91 T3..T5: BC547 T6: BC557 U1: A225D U2: TA7343 U3: 7812	<b>Kondensatory</b> C1: 2,2µF C2: 150nF C3: 33nF C4, C5: 1nF C6..C11: 100nF C12: 22pF C13, C14: 47pF C15, C16: 100µF C17: 10nF	<b>Kondensatory</b> C1, C4, C5: 1n C2, C7, C11, C12: 10nF C3, C6: 4,7pF C8: 10pF C9: 6,8pF C10: 100pF C13, C14: 3/20
	<b>Różne</b> dr1: 10µH FC1, FC2: filtr ceramiczny FCM10.7 L1, L2: 7x7 235	<b>Półprzewodniki</b> D1..D10: 1N4148 D11..D16: LED5mm D17: 3V3 T1, T2: BC547 T3: BC557 U1: 89C51 U2..U4: 4543 U5: UAA180 U6: TSA5512 U7: 7805 W1..W5: HDSP-7301	<b>Półprzewodniki</b> D1..D3: BB204 T1: BF964 U1: LA1185
		<b>Pozostałe</b> Gniazdo wyjściowe m.cz. stereo Gniazdo antenowe 75Ω Gniazdo bezpiecznika Bezpiecznik zwłoczny 315mA Wyłącznik dwusekcyjny Transformator sieciowy TS6/41 Akumulator 3,6V/60mAh Radiador dla obudowy TO220	<b>Różne</b> L2: 7x7 221 L3: 1µH

w przypadku użycia akumulatora należy montować diodę D9, przez którą jest on doładowywany. W pozostałych przypadkach trzeba ją bezwzględnie usunąć. Źródło podtrzymujące można umieścić na oddzielnej płytce lub w pojemniku i dołączyć przewodami do układu. Płyta główna i płytka sterownika są połączone taśmą wieloprzewodową, z jednej strony przylutowaną do płytki sterownika, a z drugiej zakończoną wtykiem włączanym do gniazda na płycie głównej. Sygnał VCO należy dołączyć osobno, odcinkiem cienkiego przewodu koncentrycznego 50Ω. Wyłącznik zasilania włączono po stronie wtórnej transformatora sieciowego. Jest on dwusekcyjny, wyłączający jednocześnie obydwie napięcia zmienne. Całość zamontowana została (wraz z transformatorem sieciowym) w obudowie o wymiarach 280x150x50mm, jakkolwiek może to być dowolna inna obudowa dostosowana do zestawu.

### Uruchomienie i strojenie

Do idealnego zestrojenia tunera potrzebne byłyby przyrządy takie jak: wobuloskop, generator sygnałowy FM, koder stereo, miernik częstotliwości oraz miernik zniekształceń nieliniowych. Takie przyrządy są jednak trudno dostępne.

Cała operacja strojenia nie jest bardzo skomplikowana, dlatego licząc się z uzyskaniem nieco gorszych efektów można tego dokonać jedynie za pomocą miernika uniwersalnego. Rozpocząć należy oczywiście od skontrolowania napięć na stabilizatorach, jeszcze przed włożeniem

w podstawkę układu AT89C51. Następnie należy wyłączyć zasilanie, zamontować wspomniany układ i trzymając naciśnięty przycisk ZAPIS ponownie włączyć zasilanie. Takie włączenie powoduje wyzerowanie procesora i kasowanie pamięci programów. Teraz na wyświetlaczu należy ustawić wartość 87,5 i kontrolując napięcie  $U_{VAR}$  ścisnąć i rozciągnąć zwoje cewki L5 w głowicy tak, by w tym punkcie ustawić napięcie 2,5V. Podobnie dla wartości 108,5 należy uzyskać napięcie 25V. Napięcie  $U_{VAR}$  będzie zmieniać się oczywiście tylko w prawidłowo działającym układzie, tym niemniej przy starannym i bezbłędnym montażu nie powinno być żadnych trudności.

Uruchomienie układu PLL sprowadza się właściwie tylko do tej operacji. Można jeszcze skontrolować przyrządem częstotliwość na kolektorze tranzystora BFR91 - miernik powinien wskazywać częstotliwość z wyświetlacza tunera powiększoną o 10,7MHz  $\pm 5$ kHz. W razie większych rozbieżności należy skorygować wartość kondensatora włączanego szeregowo z kwarcem 6,4MHz.

Kolejną operacją jest zestrojenie toru odbiorczego. Należy ją rozpocząć od ustawienia na wyświetlaczu częstotliwości znanej silnej stacji, następnie suwak potencjometru P1 (poziom wyciszania szumów) obrócić w kierunku końcówki połączonej z masą, dołączyć antenę, wzmacniacz m.cz. i obracając rdzeniem cewki L1 w torze p.cz. doprowadzić do pojawienia się sygnału w głośnikach. Układ A225 blokuje tor m.cz. nie tyl-

ko przy braku sygnału, ale także przy odstrojeniu stacji od częstotliwości środkowej. Dlatego sygnał w głośnikach pojawi się tylko przy właściwym ustawieniu L1. Dalszy krok to ustawienie za pomocą P2 jakichś wskazań na mierniku poziomu, będzie to pomocne przy dalszym strojeniu. Teraz cewkami L1, L4 i L2 w głowicy doprowadzamy do maksymalnych wskazań poziomu na mierniku (L4 stroimy podobnie jak wcześniej L5 rozciągając zwoje). Następnie przestawiamy tuner na stację w dolnej części zakresu i powtarzamy strojenie cewkami L1 i L4. Ponownie przestawiamy tuner na odbiór w górnej części zakresu i stroimy na maksimum wskazań poziomu trymerami C13, C14. Strojenie w dolnej i górnej części zakresu należy powtórzyć wielokrotnie.

To tyle, co możemy zrobić w sprawie zestrojenia części odbiorczej tą metodą, gdyż do ustawienia cewki L2 w p.cz. niezbędny jest miernik zniekształceń nieliniowych. Przy strojeniu „na słuch“ nie daje się zauważyć reakcji na jej regulację. Jedynie po dołączeniu do wejścia antenowego sygnału FM zmodulowanego przebiegiem sinusoidalnym i miernika zawartości harmonicznnych do wyjścia układu A225 można ją zestroić optymalnie, to znaczy na minimum zniekształceń. Do ustawienia potencjometrów w filtrze wyjściowym potrzebny jest z kolei wobulator małej częstotliwości. Jeśli nim nie dysponujemy, to poprzestaniemy na ustawieniu suwaków w położeniu środkowym.

Ostatnie czynności to ustawienie suwaka potencjo-

metru P3 w dekoderze stereo pomiędzy dwoma punktami, w których gaśnie dioda wskaźnika stereo, a P2 tak, by przy odbiorze najsilniejszej stacji zaświeciły się wszystkie diody wskaźnika poziomu, oraz P1, by słabe stacje mocno zaszumione zostały wyciszone.

### Obsługa klawiatury

Klawiatura tunera składa się z sześciu przycisków, co widać na rys. 3.

Funkcje przycisków są następujące:

- **PAMIĘĆ** - przełącza sekwencyjnie kolejne numery zapamiętanych stacji.
  - **AUTO** - uruchamia funkcję automatycznego wyszukiwania stacji.
  - **MONO** - przełącznik mono/stereo.
  - **ZAPIS** - zapisywanie do pamięci odbieranej stacji.
- Procedura zapamiętywania stacji jest następująca:
- wybrać przyciskami (<góra>), (<dół>) lub **AUTO** żadaną stację,
  - nacisnąć i przytrzymać przez około 1,5 s przycisk (**ZAPIS**),
  - gdy zacnie migać wyświetlacz numeru pamięci, ponownie nacisnąć (zapis).

Zapamiętać można maksymalnie 9 programów. Każdej operacji zapisywania przypisywany jest automatycznie kolejny numer pamięci. Jeżeli wykorzystane są wszystkie numery, dalsze zapisy dokonywane będą zawsze pod numerem 9. Chcąc przeprogramować stację należy, jak to już wcześniej wspomniano, włączyć zasilanie tunera przytrzymując przycisk (zapis) i dokonać powtórnie programowania.

**Wiktor Wojcenko, SP9UPN**