

Lampowy, stereofoniczny tuner FM, część 2



Jeszcze w marcu 2003 roku uważałem, że wykonanie dobrego lampowego, superheterodynowego odbiornika UKF jest nierealne i przekonywałem w EP 5/2003, że jedynie budowa prostego układu superreakcyjnego, o nienadzwyczajnych parametrach ma sens. Jednakże listy od Czytelników z pytaniami o budowę lampowego odbiornika z dekoderem stereo zmobilizowały mnie do opracowania układu, znacznie lepszego niż opisany w EP 5/2003.

Rekomendacje: tuner polecamy nie tylko fanom urządzeń lampowych. Tę oryginalną konstrukcję pragniemy przybliżyć także wszystkim „uprawiającym“ współczesną, czyli ultraminiaturową i energooszczędną elektronikę.

Detektor elektronowy

Lampowy detektor iloczynowy wymaga zastosowania odpowiedniej lampy wielosiatkowej. Taką lampą może być pentoda, heksoda, ennoda lub specjalne lampy elektronowopromieniowe. Przykładem może być lampa typu 6BN6, którą skonstruowano specjalnie dla detektorów iloczynowych. Lampowe detektory iloczynowe nie były rozpowszechnione, gdyż taki układ - mimo niewątpliwie dobrej jakości odtwarzania - wymagał większej liczby lamp od układu z detektorem stosunku. Wynika stąd, że możemy mieć trudności z zaopatrzeniem się w lampy przeznaczone do detektorów iloczynowych. W **tab. 3** przedstawiono dobrze nadające się do tego celu typy lamp.

Najłatwiej jest zdobyć lampę ECH81, stosowaną w wielu odbiornikach lampowych rodzimej produkcji. Zawiera ona w bańce heksodę i triodę, która pozostanie niewykorzystana. Dość łatwo dostępny jest jej rosyjski odpowiednik 6И1П.

Popularna lampa ECH84, stosowana w dawnych odbiornikach telewizyjnych w obwodach synchronizacji, nie zapewnia jednak dobrych parametrów detektora.

Omówimy teraz działanie detektora iloczynowego.

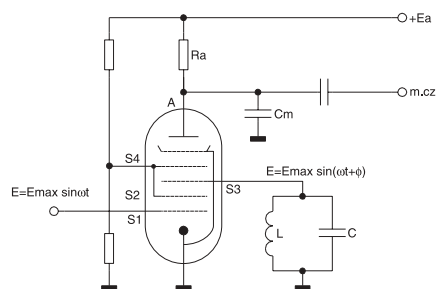
Sygnal ze wzmacniacza p.c.z. doprowadzono do siatki sterującej (S1) heksody lampy ECH81.

W obwodzie siatki trzeciej znajduje się obwód rezonansowy LC nastrojony na częstotliwość 10,7 MHz. Jest on pobudzany do drgań wskutek przepływu prądu p.c.z. przez lampę. Napięcia na elektrodach lampy są dobrane tak, aby przez anodę płynął prąd jedynie wtedy, gdy na siatkach czynnych (sterujących) S1 i S3 jest dodatnie napięcie (stąd nazwa detektora - iloczynowy).

Jeżeli sygnał nie jest modulowany, czyli ma częstotliwość rów-

Tab. 3. Typy lamp możliwych do zastosowania w detektorze iloczynowym

EQ40	Ennoda do det. iloczynowego
EQ80	Ennoda do det. iloczynowego
EH90	Lampa stosowana jako brama elektroniczna
EH81	Lampa przemiany lub det. iloczynowy
ECH81	Łatwo dostępna lampa przemiany
6BN6 6A3П	Lampa elektronoprom. do det. iloczynowego



Rys. 6. Pojemność wewnętrzna lampy i pojemność montażowa Cm wykorzystane jako element filtru użytecznego sygnału m.cz.

na 10,7 MHz, to obwód LC jest w rezonansie, a napięcie na siatce S3 jest przesunięte w fazie względem napięcia na siatce S1 o kąt $\phi=90^\circ$. Oznacza to, że przez anodę lampy płynie prąd w czasie 1/4 okresu napięcia p.cz., bo w takim czasie obie siatki (S1 i S3) mają potencjał dodatni.

Ponieważ oporność włączona w obwód anody jest duża, a napięcie siatek ekranujących lampy niskie (około 30V), to prąd anodowy osiąga wartość nasycenia przy stosunkowo niedużych wartościach napięcia sterującego na S1 (kilka V). Oznacza to, że detektor iloczynowy jest jednocześnie ogranicznikiem amplitudy.

Jeżeli napięcie p.cz. będzie zmodulowane częstotliwościowo, to obwód LC chwilami nie będzie w rezonansie i kąt przesunięcia fazowego między napięciami na S1 i S3 będzie się zmieniał. Prąd anodowy będzie płynął teraz dłużej lub krócej - uzyskamy więc impulsy o zmieniającej się szerokości, ale o takiej samej amplitudzie. Powstające napięcie na oporniku anodowym ma wartość średnią zmieniającą się w takt dewiacji, czyli w takt użytecznego sygnału m.cz. Filtrowanie tego napięcia następuje na pojemności lampy i pojemności montażu Cm (rys. 6).

Zaletami detektora iloczynowego są: mała wrażliwość na zmiany amplitudy napięcia p.cz., łatwość strojenia, dobra jakość odtwarzania i uzyskiwanie dużych wartości napięcia m.cz.

Zmiany prądu anodowego, płynącego przez lampę ECH81 detektora są nie mniejsze niż $\Delta I_a=40\mu A$. W anodzie lampy znajduje się opornik R_a o oporności 100 k Ω ,

zaś oporność obciążenia R_{ab} jest dużo większa od R_{ob} . W tych warunkach napięcie na wyjściu detektora wynosi co najmniej:

$$U_{wy} = R \cdot \Delta I_a = 100k\Omega \cdot 40\mu A = 4 V$$

Lampa V5 ze schematu z rys. 4 pracuje w układzie detektora elektronowego. Ponieważ okazało się, że przy bezpośrednim obciążeniu detektora zmieniają się nieco warunki jego pracy, zastosowano opornik R25, który eliminuje ten problem.

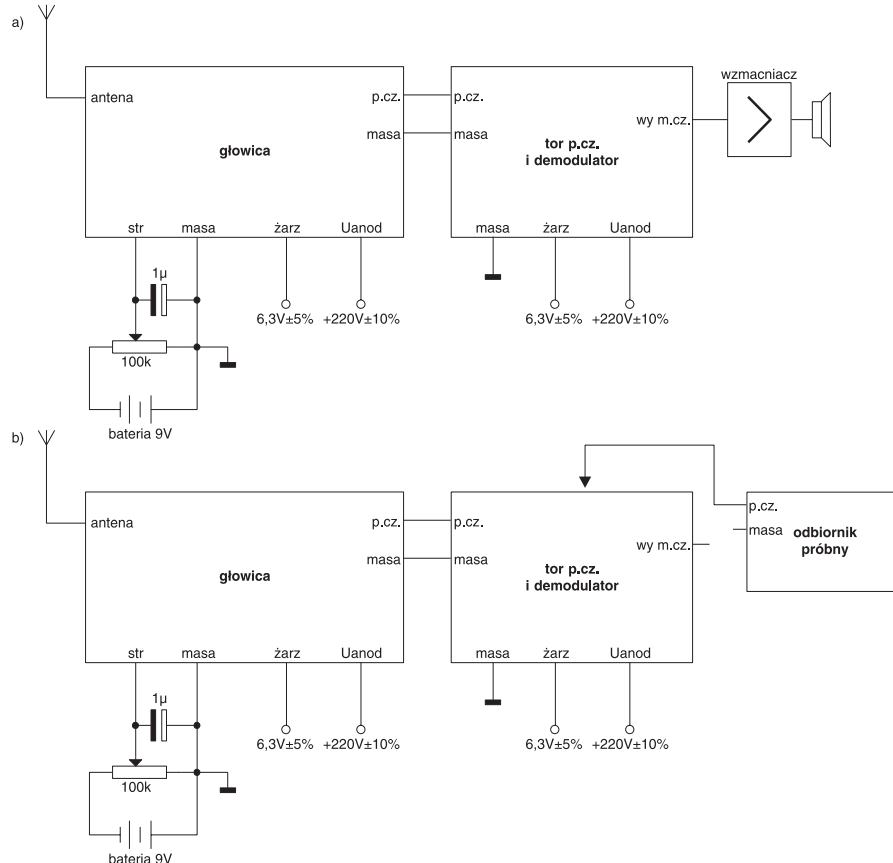
W celu zestrojenia toru p.cz. i detektora iloczynowego jest potrzebna zestrojona głowica, wspomniany odbiornik próbny i dowolny wzmacniacz sygnału akustycznego (rys. 7).

Strojenie wzmacniacza p.cz. zaczynamy od nałożenia na lampę pierwszego stopnia wzmacniacza p.cz. (V2) metalowego ekranu, do którego przylutowujemy przewód prowadzący do wejścia p.cz. odbiornika próbnego. Ekran ten nie powinien dotykać masy. W ten sposób osiągamy słabe sprzężenie odbiornika próbnego z pierwszym stopniem wzmacniacza p.cz. Dzięki słabemu sprzężeniu odbiornik próbny nie wywiera prawie żad-

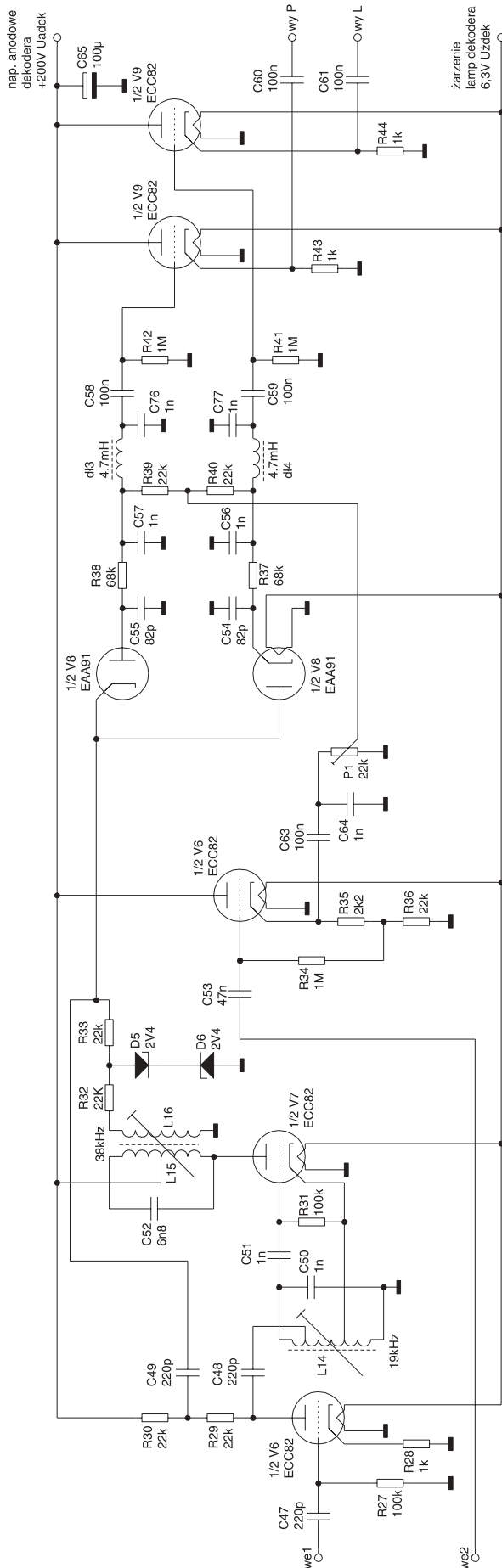
nego wpływu na pracę strojonego układu.

Poprzez regulację napięcia warikapów w głowicy (potencjometr) próbujemy uzyskać odbiór z odbiornika próbnego. Jeżeli nie jest to możliwe, to wskazuje to na błąd w połączeniach układu. Jeżeli natomiast udało się uzyskać czysty odbiór (ważne!), to zdejmujemy ekran z pierwszej lampy (nie zmieniać nastrojenia głowicy) i zakładamy go na kolejną lampę wzmacniacza p.cz. (V3). Kręcąc rdzeniem filtra L9/L10, należy uzyskać maksimum głośności i czystości odbioru w odbiorniku próbnym.

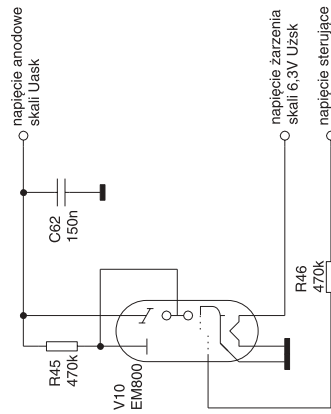
Po poprawnym zestrojeniu tego filtra przystępujemy do zestrojenia następnego stopnia. W tym celu zakładamy ekran na lampę V4 i stroimy filtr L11/L12 na maksimum głośności i czystości sygnału akustycznego. Czynności te wydają się bardzo proste i mało czasochłonne. W rzeczywistości zabiera to trochę czasu, gdyż nieraz konieczna jest niewielka korekta nastrojenia stopnia poprzedzającego. Po zestrojeniu wzmacniacza p.cz. stroimy demo-



Rys. 7. Schematy blokowe układów do zestrojenia toru p.cz. i detektora



Rys. 8. Schemat elektryczny dekodera stereo



duktor. W tym celu odłączamy odbiornik próbny i do wyjścia m.cz. (za demodulatorem) dołączamy wzmacniacz sygnałów akustycznych. Może to być wzmacniacz akustyczny odbiornika próbnego. Kręcąc rdzeniem cewki L13, uzyskujemy maksimum czystości odbioru. Tu także może okazać się niezbędna lekka korekta ustawień filtrów poprzedzających L9/L10, L11/L12. W odbiorniku modelowym filtry nakryto miedzianymi

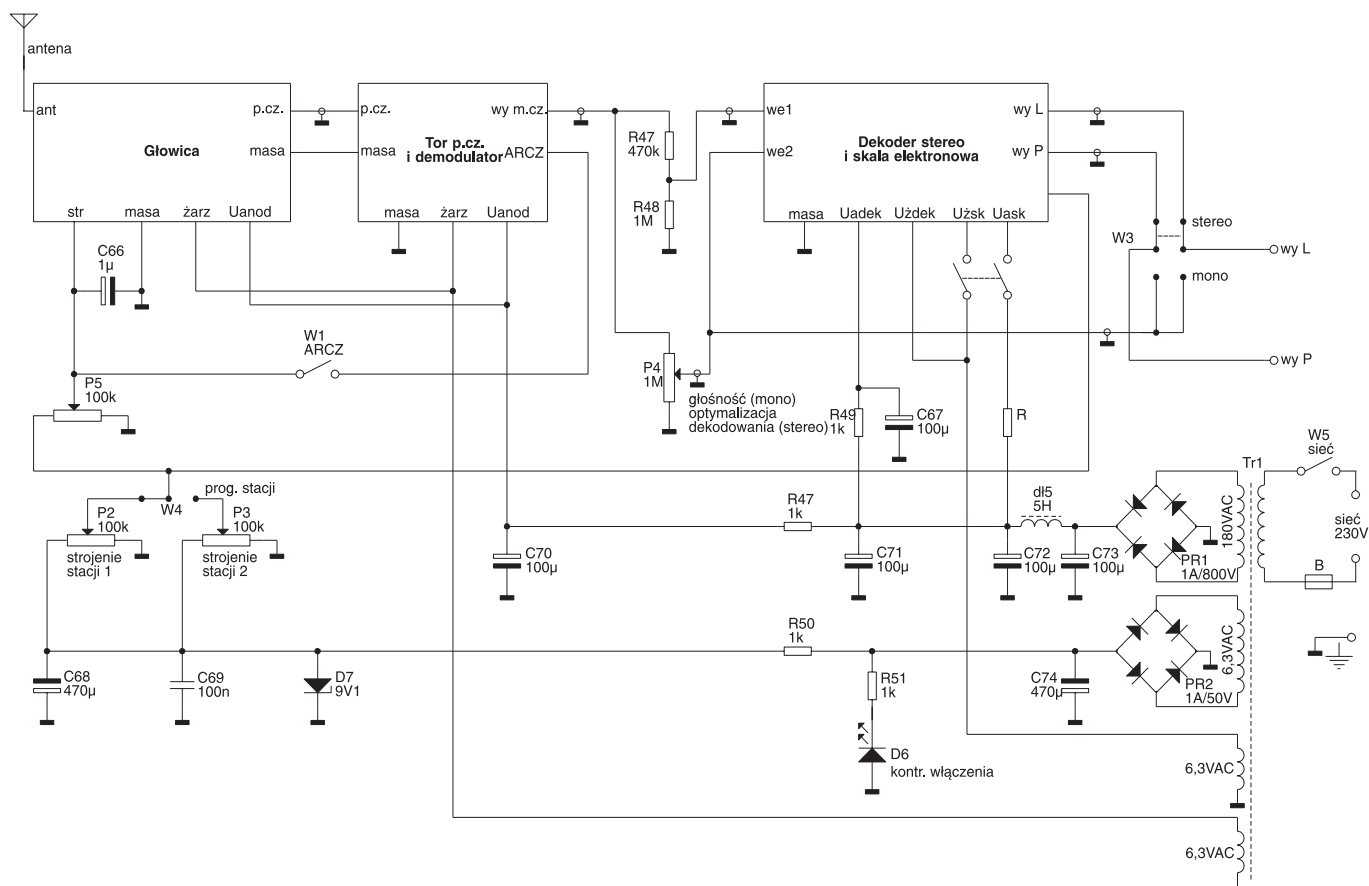
daszkami, które po zestrojeniu przylutowano do kubków filtrów. Chroni to filtry przed kurzem.

Moduł wzmacniacza p.cz. i demodulatora zmontowano w pudełku 240x70x40 mm z ocynkowanej blachy stalowej.

Dekoder stereo, wzmacniacz m.cz. i skala elektronowa

Skoro zadaliśmy sobie tyle trudu z wykonaniem przywoitego bloku w.cz., to warto wyposażyć odbiornik w dekodery stereo -oczywiście lampowy. W tym miejscu trzeba uprzedzić, że separacja kanałów nie będzie tak dobra jak w scalonych dekodkach stereo z pętłą PLL (należy liczyć na separację co najwyżej 15 dB). Lampowy dekodery wymagać więcej zabiegów użytkownika niż jego scalony odpowiednik.

Schemat elektryczny dekodera pokazano na rys. 8. Do wejścia We1 doprowadzono sygnał m.cz. z detektora elektronowego. Na wejście We2 podano ten sam sygnał, ale jego amplituda może być płynnie regulowana. Użytkownik może więc ustalać warunki optymalnej pracy dekodera według subiektywnych odczuć co do jakości dźwięku. Sygnał z wejścia We1 jest wzmacniany w pierwszej części lampy V6, przy czym pojemność kondensatora w siatce tej lampy jest mała. Dzięki temu wzmacniacz z lampą V6 wzmacnia jedynie sygnał o częstotliwości pilota (19 kHz) oraz sygnały o częstotliwości wstęg bocznych (do 38 kHz). Wstęgi boczne niosą sygnał różnicy kanałów lewego i prawego L-P. Kondensator C48



Rys. 9. Schemat blokowy tunera

doprowadza wzmocniony sygnał pilota do odczepu cewki L14 generatora przebiegu sinusoidalnego 19 kHz (połowa lampy V7), dzięki czemu jest synchronizowany bezpośrednio sygnałem o częstotliwości pilotującej. Generator pracuje w układzie Hartleya. Należy zaznaczyć, że układ generatora LC jest tu korzystny, gdyż częstotliwość generowanego sygnału nie zmienia się w miarę zużywania się lampy.

W obwodzie anodowym lampy generatora znajduje się obwód rezonansowy L15, C52 dostrojony do drugiej harmonicznej pilota, czyli do 38 kHz. Drgania z tego obwodu są pobierane za pośrednictwem cewki L16. Diody D5 i D6 formują z przebiegu sinusoidalnego 38 kHz przebieg zbliżony do prostokątnego. Jest on następnie zmodulowany amplitudowo sygnałami o częstotliwościach wstęg bocznych, doprowadzonych przez kondensator C49. W ten sposób uzyskuje się sygnał 38 kHz zmodulowany sygnałem różnicowym kanałów L-P. Z wejścia We2 sygnał m.cz., niosący sygnał sumy kanałów L+P, jest doprowa-

dzony do wtórnika katodowego z lampą V6. W układzie z lampą V8 i elementami C54...C57, R37...R40 następuje wydzielenie sygnałów kanału lewego i prawego. Zamiast diod lampowych V8 można zastosować diody germanowe. W układzie zachodzą działania:

$$(L+P)+(L-P)=2L$$

oraz

$$(L+P)-(L-P)=2P$$

Wydzielone i odfiltrowane sygnały kanałów L i P są podawane do wtórników katodowych z lampą V9.

Zastosowanie filtrów typu Π z elementami C57, C76, d13 oraz C56, C77, d14 jest spowodowane tym, że podczas próby zapisu audycji na taśmę był słyszalny gwizd interferencyjny podnośnej 38GHz i częstotliwości generatora prądu podkładu magnetofonu. Po zastosowaniu filtrów ta niedogodność została wyeliminowana.

Liczba zwojów cewek zależy od rozmiarów posiadanego karkasu. Autor dysponował rdzeniami cewek ze starego telewizora Helios. Orientacyjna liczba zwojów

cewki L14 wynosi 500 drutem DNE 0,18mm z odczepami co 125 zwojów. Cewka L15 liczy 400 zwojów nawiniętych drutem DNE 0,18 mm, odczep na 200 zwoju, zaś cewka L16 ma 250 zwojów tego samego drutu.

Teraz zajmijmy się skalą odbiornika. Wszelkie konstrukcje z mechanicznym napędem linki skali zostały odrzucone jako niepraktyczne. Pozostały dwie metody skalowania odbiornika:

- Przez cyfrowy pomiar częstotliwości heterodyny i odjęcie 10,7MHz. Częstotliwość mogłaby być wyświetlona np. na lampach Nixie. Ponieważ układ mieszacza jest układem samodrgającym, więc pobieranie drgań heterodyny jest utrudnione. Należałoby zbudować głowicę na dwóch podwójnych triodach. Pierwsza trioda stanowiłaby wzmacniacz w.cz., druga heterodynę, trzecia mieszacz, zaś czwarta byłaby separatorem. Z racji dużej komplikacji układowej rozwiązanie to zostało zarzucone.
- Przez pomiar napięcia dla warikapów. Ten sposób był zasto-

sowany z powodzeniem w odbiorniku Radmor 5100. Do zobrazowania skali zastosowano czuły mikroamperomierz.

W prezentowanym odbiorniku zdecydowano się na drugie rozwiązanie z tą różnicą, że do wyświetlania skali zastosowano oko magiczne z pojedynczym świecącym słupkiem - lampa V10 typu EM800. Pewną wadą tego rozwiązania jest nieliniowość skali i trudność w nabyciu tej lampy. Niekiedy może się okazać, że czułość oka magicznego jest nieco za mała. Pomoże wtedy włączenie opornika R z rys. 9 o rezystancji, którą należy dobrać doświadczalnie z przedziału 0...56kΩ.

Moduł dekodera wykonano w pudełku ze stalowej blachy ocynkowanej o wymiarach 240x80x40 mm. Uruchomienie dekodera przeprowadza się już po zmontowaniu całego odbiornika według rys. 9.

Uruchomienie

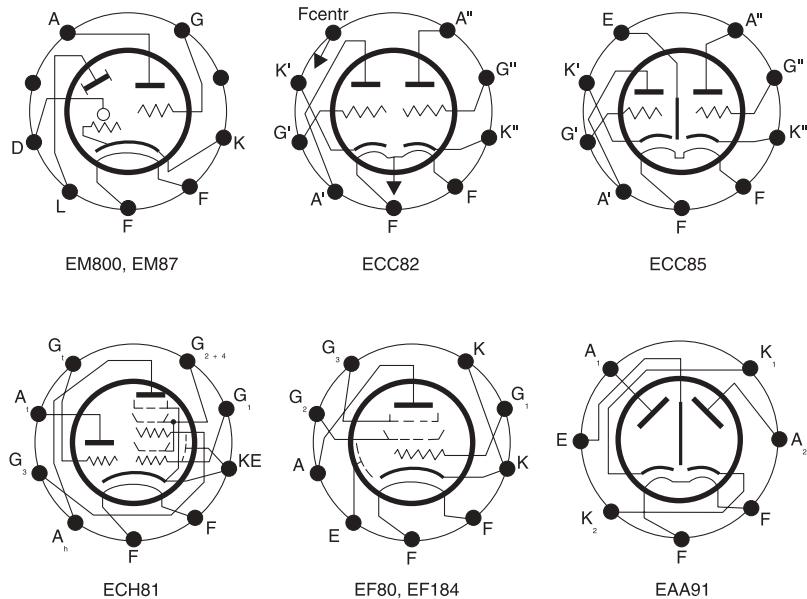
Przewidziano możliwość zaprogramowania dwóch stacji. Do tego celu służą: przełącznik W4 i potencjometry P2 i P3 (powinny być wieloobrotowe). Dobre wyniki daje użycie potencjometrów wieloobrotowych, stosowanych w uniwersalnych odbiornikach TV.

Napięcie strojenia jest podawane do głowicy za pośrednictwem potencjometru montażowego P5 i do siatki oka magicznego-skali.

Ponieważ cały ekran oka magicznego EM800 zaświeci się po podaniu napięcia -9...-10 V (co odpowiada lewemu skrajnemu położeniu potencjometru P2 lub P3), zaś do strojenia naszej głowicy w całym zakresie wystarczy napięcie 0...-8 V, to potencjometrem P5 można w pewnym stopniu regulować położenie danej stacji na skali.

Napięcie strojenia jest uzyskiwane poprzez prostowanie pełnokresowe w prostowniku PR2 napięcia 6,3 V, jego wygładzenie i stabilizację za pomocą elementów D7, C68, C69, C74 i R50.

Włącznik W1 służy do włączania automatycznej regulacji częstotliwości. Przy włączeniu ARCz napięcie poprawki z toru p.cz. jest doprowadzane do warikapów. Zastosowany w tunerze układ ARCz działa poprawnie tyl-



Rys. 10. Rozmieszczenie wyprowadzeń lamp zastosowanych w projekcie

ko w przypadku odstrajania odbiornika „w dół”.

Lepsze wyniki dałoby z pewnością zastosowanie pomocniczego układu detektora fazy (albo stosunku) specjalnie dla ARCz.

Przełącznik W3 umożliwia przełączanie rodzaju pracy mono-stereo.

Potencjometr P4 jest potencjometrem siły głosu przy odbiorze monofonicznym i potencjometrem do optymalizacji dekodowania przy odbiorze stereofonicznym.

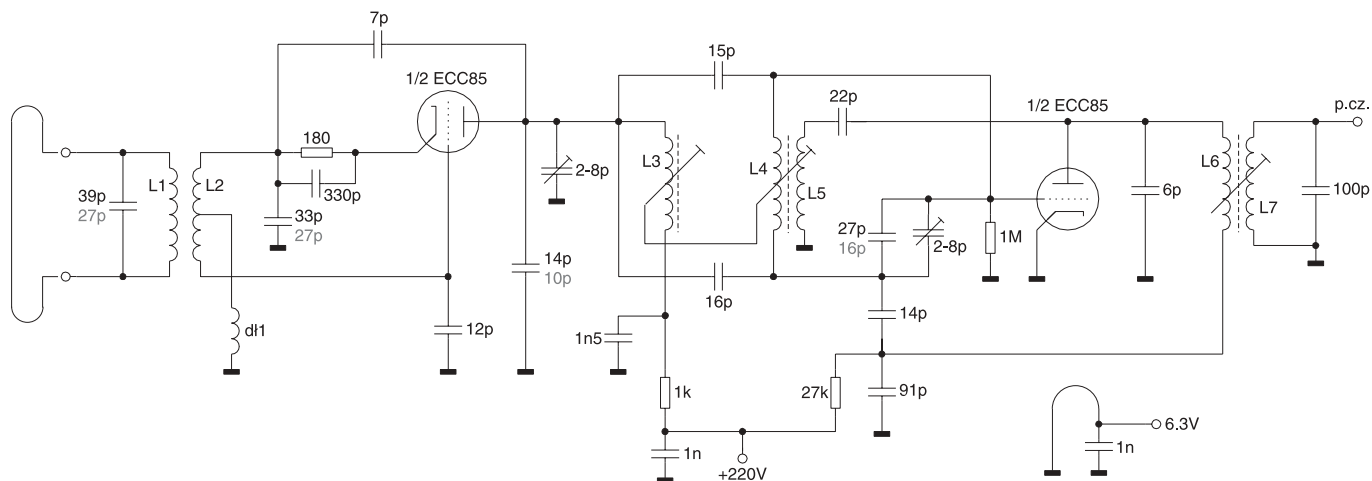
Przewidziano możliwość wyłączenia oka magicznego-skali za pomocą wyłącznika W2, który jednocześnie odcina napięcie anodowe i napięcie żarzenia lampy wskaźnikowej.

Napięcie anodowe jest prostowane w prostowniku PR1, a następnie filtrowane w filtrze z elementami D15, C67, C70...C73, R49. Dławik D15 powinien mieć indukcyjność 5...10 H.

Transformator sieciowy powinien dostarczać napięć: 2x6,3 VAC/1,8 A (żarzenie), 6,3 VAC/20 mA (strojenie) i 180 VAC/70 mA (anodowe).

Do strojenia dekodera przydatny byłby oscyloskop. Potencjometr P5 powinien być w skrajnym, lewym położeniu, zaś potencjometr montażowy P1 należy ustawić w skrajnym górnym położeniu. Po nagraniu układu należy ustawić przełącznik W3 w pozycji „mono”, potencjometr P4 w położeniu ok. 2/3 i dostroić

odbiornik do silnej, czysto odbieranej stacji. Następnie należy sprawdzić oscyloskopem, czy na górnym zacisku kondensatora C50 występują drgania sinusoidalne. Okres tych drgań powinien wynosić około 50 μs. Jeśli częstotliwość jest inna, należy ją skorygować, kręcąc rdzeniem cewki L14. Jeśli nie daje to efektu, należy zmienić pojemność C50. Następnie sprawdzamy oscyloskopem kształt przebiegu na górnym wyprowadzeniu cewki L16 i kręcimy jej rdzeniem, aż otrzymamy sinusoidę o okresie około 25 μs. Następnie przełącznik W3 należy przełączyć w pozycję „stereo”, a P4 skrócić do zera. W głośniku powinny być słyszalne ślady audycji, przechodzące wejściem We1 dekodera. Poza tym na jego tle powinno być słychać gwizd interferencyjny sygnału o częstotliwości pilota 19 kHz i częstotliwości generatora (większej od 19 kHz). Jeśli go nie słychać, to albo odbierana stacja pracuje w systemie monofonicznym, albo w układzie są błędy. Kręcąc rdzeniem cewki L14 należy doprowadzić do zaniku interferencji. Gdy będziemy dalej kręcili rdzeniem, to gwizd znowu się pojawi wskutek tego, że częstotliwość generatora będzie mniejsza od 19 kHz. Po tej czynności należy jeszcze raz dostroić obwód anodowy generatora z cewką L16 do drugiej harmonicznej (38 kHz).



Rys. 11. Schemat głowicy w.cz. stosowanej w odbiornikach "Sarabanda" i "Kankan 3"

Potencjometrem P4 ustalamy optymalne warunki odbioru stereofonicznego. Można jeszcze regulować potencjometrem P1 tak, aby przy przełączaniu W3 i nieruchomym P4 nie następowała zmiana głośności.

Na końcu można wyregulować skalę. W tym celu przy włączonym W2 ustawiamy potencjometr strojenia (P2 lub P3) w takim położeniu, aby zaświecił się cały ekran oka magicznego. Następnie potencjometr P5 skręcamy z lewa na prawo do momentu, gdy usłyszymy pierwszą napotkaną stację (o najwyższej częstotliwości).

W układzie starałem się zastosować lampy, które są powszechnie dostępne i tanie. Pewną trudność może sprawić nabycie oka magicznego EM800, któremu pod względem czułości odpowiada lampa EM87. Zresztą można zastosować inną skalę, jak choćby wspomniany mikroamperomierz, albo w ogóle z niej zrezygnować.

Na rys. 10 przedstawiono rozkład wyprowadzeń lamp zastosowanych w projekcie.

Na koniec parę słów o antenie. Dobre wyniki (Warszawa) dała zwykła antena prętowa, która umożliwiła bardzo dobry odbiór

pięciu stacji i sześciu z mniejszą głośnością. Najlepsze wyniki dała antena zewnętrzna.

Na wstępie wspomniano o możliwości przestrojenia starej głowicy lampowej na górny zakres. Dość powszechne są głowice wykonywane niegdyś przez Wrocławskie Zakłady Elwro w odlewanej obudowie. Poszczególne egzemplarze różnią się nieznacznie wartościami niektórych elementów. Głowice elwrowskie charakteryzują się tym, że nie ma możliwości przestrojenia cewki wejściowej, gdyż jest ona wytrawiona na płycie drukowanej. Przewijanie cewek wzmacniacza w.cz. i heterodyny (regulowanych współbieżnie) jest bardzo trudne. Należy odwinąć po dwa zwoje z tych cewek. W dość łatwy sposób można natomiast zmienić niektóre pojemności po ostrożnym rozebraniu głowicy. Dzięki temu można uzyskać dobry odbiór stacji z zakresu 88...96 MHz. Na rys. 11 przedstawiono schemat głowicy stosowanej w odbiornikach „Sarabanda” i „Kankan 3”, wraz z wartościami nowych pojemności.

Aleksander Zawada, EP
aleksander.zawada@ep.com.pl