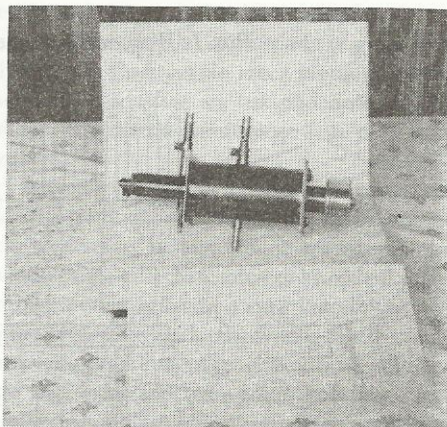


Roman Wesołowski SO3EP (DJ6EP)
**LINIOWY WZMACNIACZ
 LAMPOWY
 NA PASMO 1296 MHz**

Zadaniem tego artykułu jest dalsze rozwinięcie aktywności zainteresowanych krótkofalowców na pasmach mikrofalowych. Realizacja wzmacniaczy nadawczych o większych mocach za pomocą półprzewodników jest nadal związana ze stosunkowo wysokim nakładem finansowym. Dobrym kompromisem jest zastosowanie lampy elektronowej o odpowiednich parametrach. Dobre rezultaty na paśmie 432 MHz z lampą GI 150 zachęciły mnie do prób na 23 centymetrach. Wynikiem pracy jest stosunkowo prosty wzmacniacz mocy o zadowalających parametrach. Nieco zbyt szczegółowy opis pewnych fragmentów powstał z myślą o początkujących konstruktorach, myślę jednak, że coś z tego przyda się i zaawansowanym profesjonalistom. Cytowanie znanych formuł matematycznych i koniecznych zwrotów umożliwiających wstępne obliczenie wzmacniacza traktuję tutaj jako zbyt techniczne, dlatego ograniczono ten opis do omówienia niektórych zagadnień ważniejszych w praktyce.

Opis układu

Dużą wadą lampowych wzmacniaczy mikrofalowych jest ich termicznie uwarunkowana niestabilność obwodów rezonansowych. Powodem tego jest duży wpływ zmiany wewnętrznych pojemności lampy C_{sa}/C_{sk} na długość elektryczną rezonatorów. W miarę możliwości dobre odprowadzenie "produkowanego" ciepła i wybór korzystnych obwodów rezonansowych ułatwia praktyczną pracę wzmacniacza. Z tych powodów zapadła decyzja o realizacji wzmacniacza w technice koncentrycznej. Fakt, że na anodzie nie ma (prawie) napięcia w.c.z., pozwala na montaż dużych radiatorów odprowadzających ciepło. To samo zadanie spełniają również rury - siatkowa i katodowa - wchodzące w skład



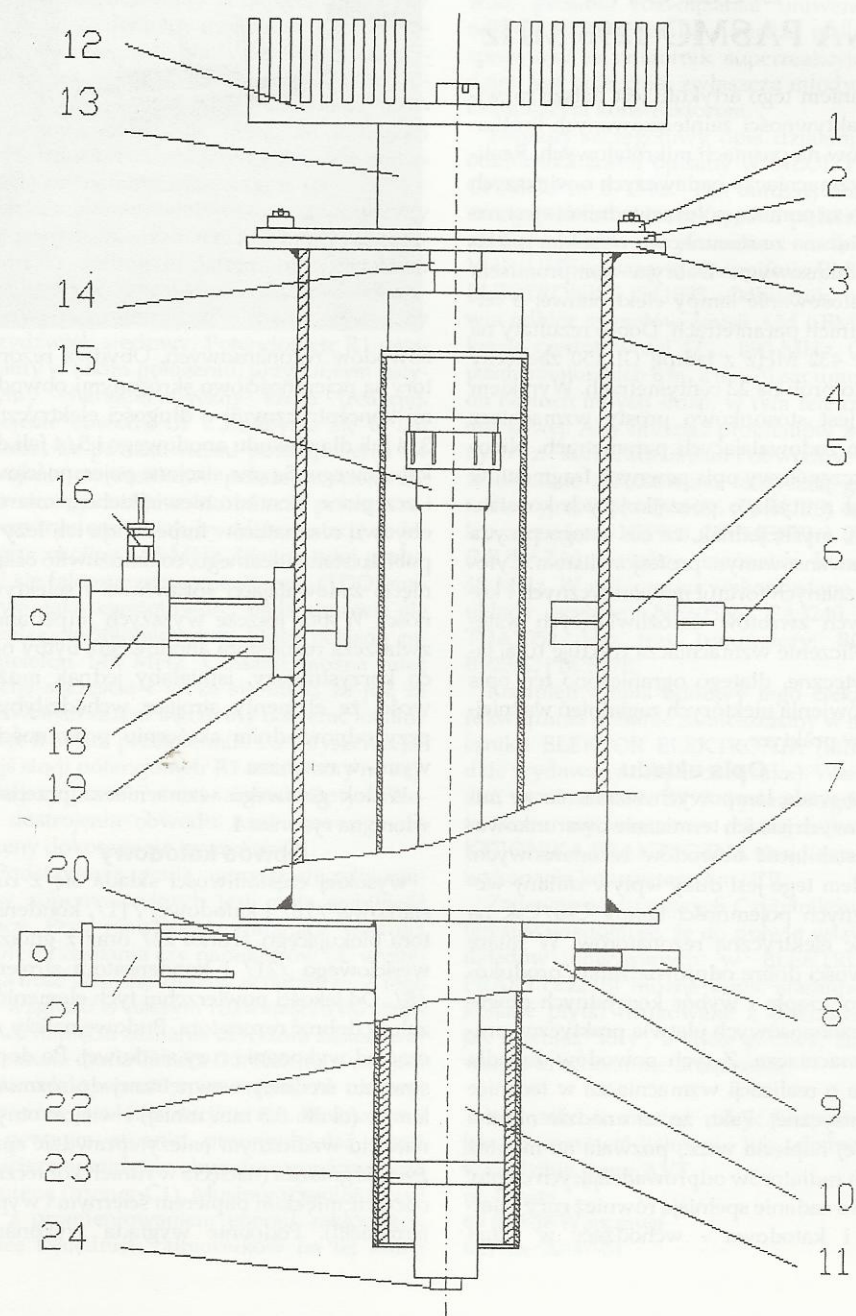
obwodów rezonansowych. Obydwa rezonatory są pojemnościowo skróconymi obwodami koncentrycznymi o długości elektrycznej $3/4$ fali dla obwodu anodowego i $5/4$ fali dla katodowego. Są one strojone pojemnościowo i zczepione. Pomimo niewielkich rozmiarów obydwu rezonatorów impedancja ich leży w pobliżu stanu idealnego, co umożliwiło osiągnięcie zadowalającej sprawności i selektywności. Wybór jeszcze wyższych impedancji, zwłaszcza rezonatora anodowego, byłby nieco korzystniejszy, istniałaby jednak możliwość, że elementy strojące wchodziłyby - przy odpowiednim skróceniu pojemnościowym - w rezonans.

Widok gotowego wzmacniacza przedstawiono na rysunku 1.

Obwód katodowy

wysokiej częstotliwości składa się z rury siatkowej /10/ i katodowej /11/, kondensatora blokującego /rurka 22/ oraz z gniazda wejściowego /21/ i kondensatora strojenia /8/. Od jakości powierzchni tych elementów zależy dobroć rezonatora. Budowę należy zacząć od wykonania rury siatkowej. Po dopasowaniu średnicy wewnętrznej do rozmiaru lampy (około 0.3 mm mniej) i wielokrotnym nacięciu wzdłużnym należy sprawdzić sprężystość gniazda (nacięcia w rurach konieczne oczyścić miękkim papierem ściernym i wypolerować!!!). Podobnie wygląda wykonanie

Rys.1 Wzmacniacz mocy GI 150/1296 MHz



rury katodowej. Głównym zadaniem kondensatora blokującego jest rozdzielenie potencjałów katody i siatki. W rurę siatkową wsunięta jest (około) ćwierćfalowa rura owinięta folią teflonową, stanowiąca kondensator. Zewnętrzna średnica tej części powinna być o około 0.5 mm mniejsza od wewnętrznej średnicy rury siatkowej. Na końcu obwodu (od zimnej strony) jest ona połączona z rurą katodową za pomocą tulejki /23/. Rura katodowa wykonana z miedzi poprawia znacznie stabilność tego obwodu poprzez lepsze odprowadzenie ciepła. Samo gniazdo katodowe powinno być jednak wykonane z mosiądzu (lepszą sprężystość materiału). Następną poprawę pracy wzmacniacza daje przedłużenie tej rury (katodowej) o parę centymetrów i nawet zastosowanie na niej radiatora o dowolnym kształcie. Przez rurę katodową wsunięta jest (prowadzona w tulejkach lub rurce izolacyjnej) rurka zasilania żarzenia lampy /24/. Między zaciskami żarzenia i między katodą a siatką (na końcu rur) należy zastosować krótko przylutowane kondensatory ceramiczne 1 nF, które eliminują wzbudzenie się wzmacniacza w zakresie UKF. Przez oklejenie rury katodowej folią teflonową na wysokości śruby (kondensatora strojonego /8/) eliminuje się możliwość spowodowania zwarcia między siatką a katodą wzmacniacza.

Obwód katodowy zasilany jest koncentrycznym gniazdem wejściowym umieszczonym na 1/4 długości od zimnego końca rezonatora. Ze względu na duże skrócenia obwodu przez pojemność wewnętrzną lampy Ck/s punkt ten znajduje się wewnątrz obwodu anodowego. Prowadzenie tulejki gniazda wejściowego /9/ przez obwód anodowy jest teoretycznie możliwe, zakłócenie pola w obwodzie wprowadziłoby jednak poważne straty. Problem ten można ominąć przedłużając cały obwód katodowy (w tym wypadku rura siatkowa i katodowa) o dokładnie $1/2 \lambda$, ale praktycznie przedłużyłoby to całą konstrukcję o prawie 12 cm. W egzemplarzach budowanych przez autora zrezygnowano z tego na

rzecz mniejszych gabarytów, naturalnie kosztem wzmocnienia, które spada w granicach 1 do 2 dB. Praktycznie rzecz biorąc gniazdo wejściowe znajduje się tuż pod dolnym denkiem rezonatora anodowego (i to o 15 mm za nisko).

W tych rozważaniach pominięto jednak celowo pojemność wprowadzaną przez gniazdo wejściowe. W miarę silne sprzężenie obwodu (mała odległość między krążkiem pojemnościowym gniazda a rurą katodową) poprawia nieco to niedopasowanie, tak że zastosowanie przedłużonego obwodu wejściowego jest wskazane tam, gdzie konieczne jest dalsze podniesienie wzmocnienia całego wzmacniacza.

Obwód anodowy

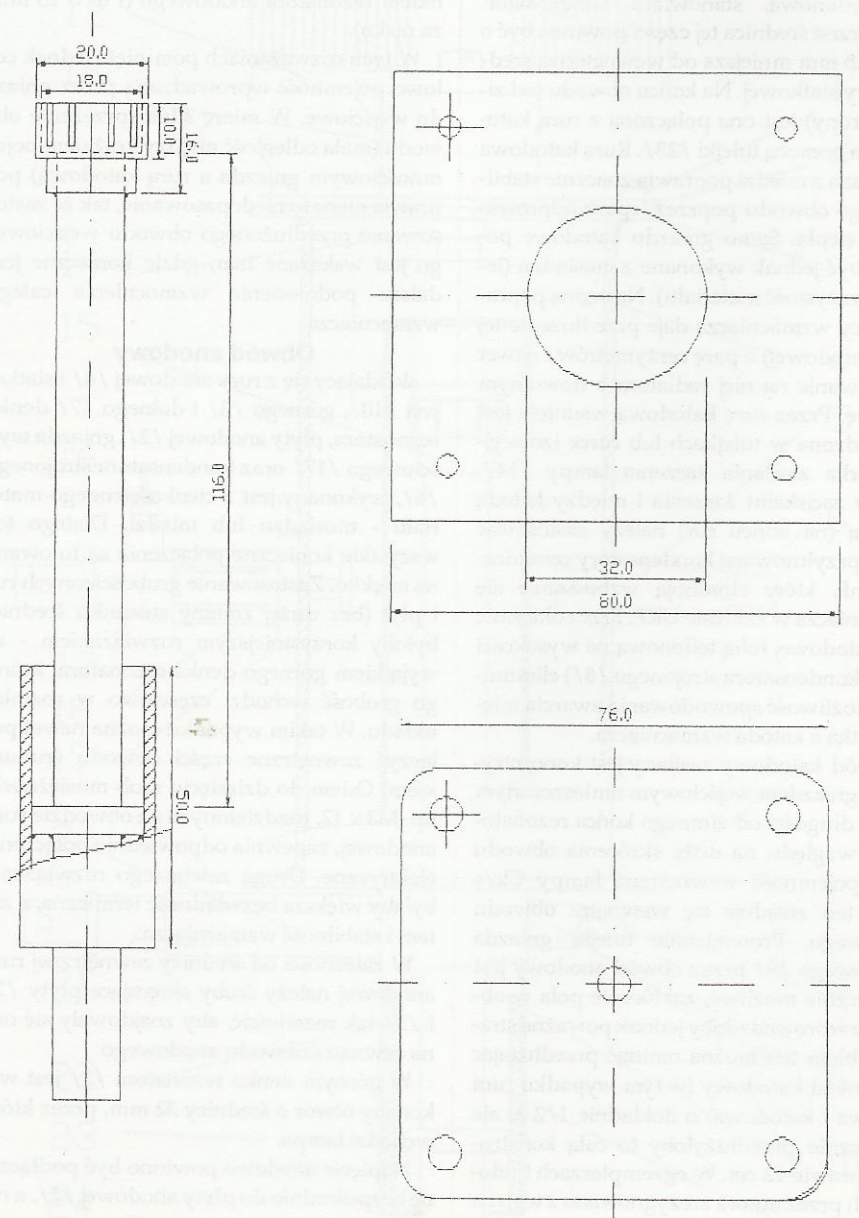
składający się z rury anodowej /4/ i siatkowej /10/, górnego /3/ i dolnego /7/ denka rezonatora, płyty anodowej /2/, gniazda wyjściowego /17/ oraz kondensatora strojonego /6/, wykonany jest z cienkościennego materiału - mosiądzu lub miedzi. Dlatego też wszystkie konieczne połączenia są lutowane na miękko. Zastosowanie grubościennych rur i płyt (bez dużej zmiany stosunku średnic) byłoby korzystniejszym rozwiązaniem - za wyjątkiem górnego denka rezonatora, którego grubość wchodzi częściowo w rozmiar układu. W takim wypadku można nawet połączyć zewnętrzne części obwodu śrubunkiem. Osiem do dziesięciu śrub mosiężnych, np. M3 x 12, rozdzielonych na obwodzie rury anodowej, zapewnia odpowiednie połączenie elektryczne. Drugą zaletą tego rozwiązania byłaby większa bezwładność termiczna, a zatem i stabilność wzmacniacza.

W zależności od średnicy zewnętrznej rury anodowej należy śruby skręcające płyty /2/ i /3/ tak rozmieścić, aby znajdowały się one na zewnątrz obwodu anodowego.

W górnym denku rezonatora /3/ jest wykonany otwór o średnicy 32 mm, przez który wchodzi lampa.

Napięcie anodowe powinno być podłączone bezpośrednio do płyty anodowej /2/, a nie

Rys.2 Obwód katodowy, górne denko, płyta anodowa



przez radiator lampy. Teraz już można przygotować odpowiedni zacisk U_a - ewentualnie przylutować do płyty.

Montaż obwodu należy zacząć od wlutowania tulejek prowadzących gniazdo wyjściowe /18, 19/ oraz trzpień strojenia /5/ w rurę anodową /4/. Po umocowaniu górnego denka obwodu /3/ oraz po przykręceniu anodowej płyty blokującej /2/ należy od otwartego końca rezonatora wsunąć rurę siatkową z nałożonym denkiem dolnym /7/ i wciśniętą lampą.

Po luźnym przykręceniu anody (pięścione dystansyjny /14) i - na czas lutowania - nałożeniu dodatkowo jednej podkładki M6 na anodzie (celem podkładki jest uzyskanie małego luzu lampy między rurą siatkową i płytą anodową; po wyjęciu podkładki lampa nie leży pierścieniem siatki na rurze siatkowej) można wlutować dolne denko w rury anodową i siatkową. Dopiero teraz należy wiercić, tuż pod denkiem dolnym, otwory do gniazda wejściowego i śruby strojenia obwodu katodowego. Po umocowaniu odpowiednich tulejek /9, 20/ ta część wzmacniacza jest gotowa.

W przypadku zastosowania normalnej śruby z gwintem metrycznym /8/, można tulejkę /9/ zastąpić nakrętką M6.

Gniazda wejściowe i wyjściowe

są przewodami koncentrycznymi, których podstawą są dostosowane gniazda o odpowiedniej jakości. W rachubę wchodzi styki typu BNC, C50, mniej znane złącza typu N lub podobne, o ściśle ustalonej impedancji. Zastosowanie łączy typu UC1 trzeba bezwzględnie odradzić. Ponieważ obwody te zachowują impedancję 50 Ω , długość ich nie ma znaczenia. Wykonanie ich zależy zatem od późniejszego zastosowania, np. od budowy, przekaźnika antenowego itp.

W linii koncentrycznej, jakimi są obydwie gniazda, uzyskuje się żadaną impedancję 50 Ω , zachowując stosunek wewnętrznej średnicy rurki gniazda do zewnętrznej średnicy głównej żyły równy 2.3 (pod warunkiem, że izolatorem jest powietrze). Na przykład

średnica wewn. rurki 8 mm do średnicy zewn. rurki tworzącej środek przewodu koncentrycznego 3.5 mm.

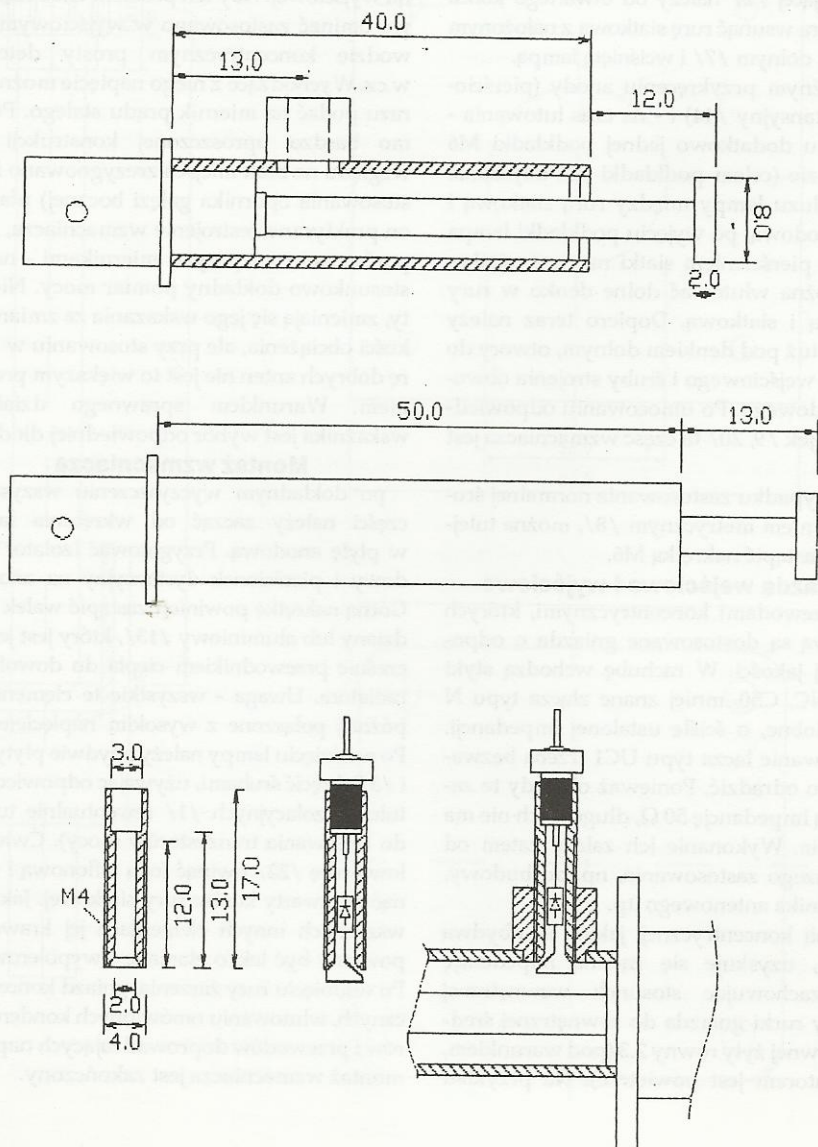
Pomiary lub kontrola osiągniętej mocy na tych częstotliwościach mogą początkującemu konstruktorowi sprawić nieco kłopotu. Praktycznie konieczny jest odpowiedni sprzęgacz kierunkowy, na stałe umieszczony w linii wyjściowej. Aby ten problem choć częściowo ominąć zastosowano w wyjściowym obwodzie koncentrycznym prosty detektor w.c.z. Wychodzące z niego napięcie można od razu podać na miernik prądu stałego. Pomiary bardzo uproszczonej konstrukcji (ze względu na brak miejsca zrezygnowano z zastosowania opornika gałęzi bocznej) ułatwiają praktyczne zestrojenie wzmacniacza, a po porównaniu z lepszymi miernikami - nawet stosunkowo dokładny pomiar mocy. Niestety, zmieniają się jego wskazania ze zmianą jakości obciążenia, ale przy stosowaniu w miarę dobrych anten nie jest to większym problemem. Warunkiem sprawnego działania wskaźnika jest wybór odpowiedniej diody.

Montaż wzmacniacza

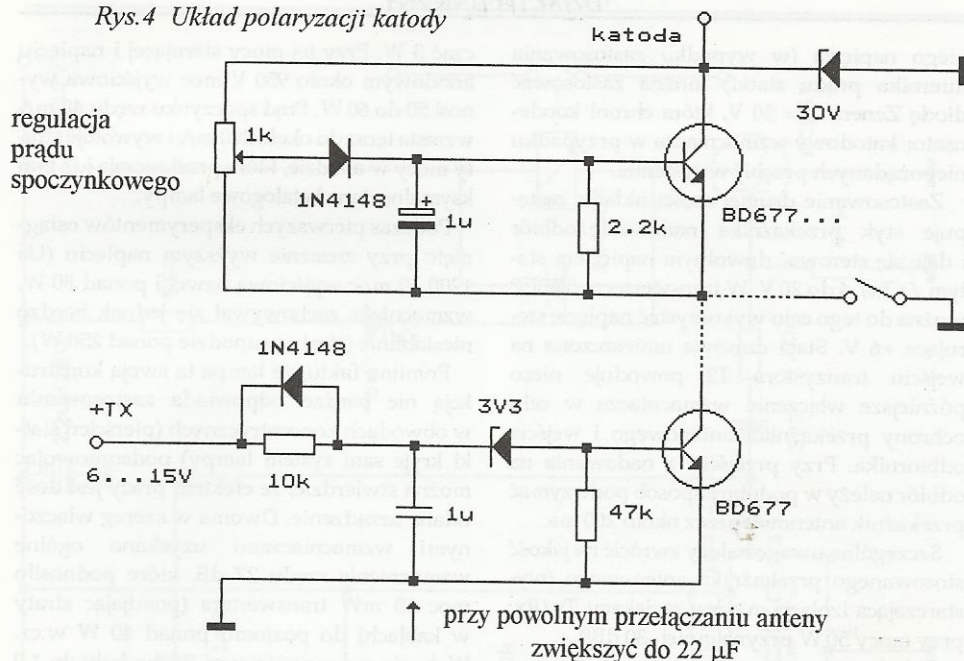
po dokładnym wyczyszczeniu wszystkich części należy zacząć od wkręcenia lampy w płytę anodową. Przygotować izolator anodowy i pierścione dystansyjny na anodzie. Górną nakrętkę powinien zastąpić walek między innymi przewodnikiem ciepła do dowolnego radiatora. Uwaga - wszystkie te elementy są później połączone z wysokim napięciem U_a ! Po wciśnięciu lampy należy obydwie płyty /2/ i /3/ skrócić śrubami, używając odpowiednich tulejek izolacyjnych /1/ (ewentualnie tulejek do izolowania tranzystorów mocy). Ćwierćfalową rurę /22/ owinać folią teflonową i wsunąć w otwarty koniec rury siatkowej. Jak i we wszystkich innych elementach jej krawędzie powinny być lekko złamane i wypolerowane. Po wsunięciu rury żarzenia, gniazd koncentrycznych, wlutowaniu omówionych kondensatorów i przewodów doprowadzających napięcia montaż wzmacniacza jest zakończony.

Rys.3

Gniazdo wyjściowe z tulejką do detektora w.cz., gniazdo wejściowe.
Przykład rozwiązania detektora, kondensator przepustowy 1 nF, dioda
HP 2800, BA 481, AA 116 (otwór w detektorze dopasować do średnicy
diody, np. 2.6 mm dla AA 116).



Rys.4 Układ polaryzacji katody



Uruchomienie wzmacniacza

nie przedstawia nawet mniej zaawansowanemu konstruktorowi większego problemu. Poprawnie zmontowany układ należy zacząć uruchamiać od sprawdzenia kondensatora katodowego (lampa bez żarzenia i bez układu prądu spoczynku). Między katodę i siatkę należy podać - najlepiej przez opornik rzędu 1 k Ω - napięcie stałe lub zmienne około 50 V. Niesprawny kondensator objawi się pełnym spadkiem napięcia na oporniku.

Wstępne ustawienie gniazd i śrub strojących (nie bardzo krytyczne):

- gniazdo wyjściowe około 10 mm w rezonatorze
- gniazdo wejściowe 0,5 mm przed rurą katodową
- śruba anodowa 4 mm przed rurą siatkową
- śruba katodowa wykręcona

Przed podaniem napięcia anodowego należy koniecznie włączyć sztuczne obciążenie lub wypróbowaną antenę. W przewodzie doprowadzającym napięcie anodowe znajduje

się opornik 10 Ω / 1 W. Opornik ten spełnia rolę dodatkowego bezpiecznika. Przy parokrotnym przekroczeniu nominalnego prądu spala się on, chroniąc zasilacz i lampę przed większymi szkodami. Napięcie anodowe powinno się włączać tylko na podgrzaną lampę. Zwłaszcza triody wysokiej częstotliwości mają stosunkowo mały odstęp pomiędzy poszczególnymi elektrodami (w samym systemie lampy). Nie tylko z tego powodu nie należy przerywać obwodu zasilania anody tylko wyłączać cały zasilacz wysokiego napięcia (powolny wzrost i spadek napięcia). Duże skoki U_a mogą być powodem przebieg w lampie i jej szybkiego uszkodzenia. Pierwsze próby należy przeprowadzić niższym napięciem U_a (około 600 V). Prąd spoczynku - około 30 mA - można ustawić prostym układem przedstawionym na rysunku 4.

Podczas odbioru należy przerwać masę (-) tego układu. W tym wypadku wzrasta napięcie $+U_k$ i "zatyka" lampę. Między katodą a masą lub katodą a minusem zasilacza wyso-

kiego napięcia (w wypadku zastosowania miernika prądu siatki) można zastosować diodę Zenera $Z = 30 \text{ V}$, która chroni kondensator katodowy wzmacniacza w przypadku niepożądanych przebiegów w systemie.

Zastosowanie drugiej części układu zastępuje styk przekaźnika nadawanie/odbioru i daje się sterować dowolnym napięciem stałym $+T_x/4$ do 20 V . W transwerterze SO3EP można do tego celu wykorzystać napięcie sterujące $+6 \text{ V}$. Stała czasowa umieszczona na wejściu tranzystora T2 powoduje nieco późniejsze włączenie wzmacniacza w celu ochrony przekaźnika antenowego i wejścia odbiornika. Przy przejściu z nadawania na odbiór należy w podobny sposób podtrzymać przekaźnik antenowy przez około 200 ms .

Szczególną uwagę należy zwrócić na jakość stosowanego przekaźnika antenowego (wystarzająca izolacja między zaciskami T_x/R_x ; przy mocy 50 W przynajmniej -30 dB!).

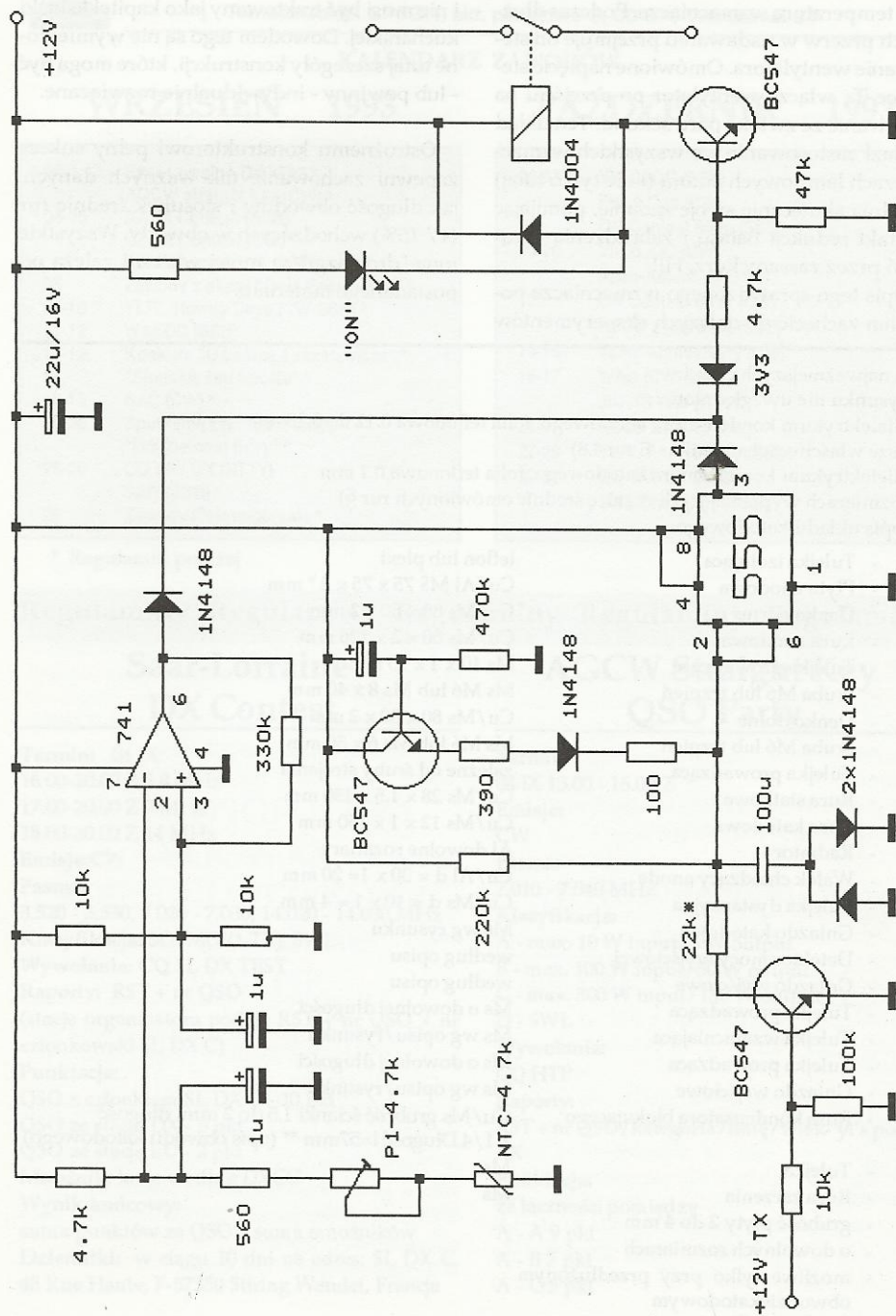
Chłodzenie wzmacniacza wentylatorem staje się już teraz niezbędne. Podanie mocy sterującej nie większej niż 300 mW powinno spowodować wyraźny przyrost prądu anodowego. Teraz można śrubą rezonatora anodowego i głębokością gniazda wyjściowego stroić na maksimum mocy wyjściowej. Jeżeli został wbudowany - można powoli wkręcać detektor w.c.z. w linię wyjściową. Zbliżenie pętli sprzęgającej diody do środkowego przewodu na odległość mniejszą niż 1 mm może spowodować przeciążenie i uszkodzenie diody! Uwaga - mimo prostej konstrukcji detektor posiada wyraźne właściwości sprzęgacza kierunkowego. Odpowiednie ustawienie pętli diody powoduje poważny przyrost lub spadek mierzonego napięcia. Po zestrojeniu wejścia wzmacniacz daje moc rzędu 5 W . Po podniesieniu napięcia anodowego do około 1000 V i ponownym ustawieniu napięcia spoczynku należy skorygować ustawienie elementów strojących. Przede wszystkim głębokość gniazda wyjściowego jest mocno zależna od mocy sterującej i napięcia anodowego. Maksymalna moc sterująca nie powinna przekra-

czać 3 W . Przy tej mocy sterującej i napięciu anodowym około 950 V moc wyjściowa wynosi 50 do 60 W . Prąd spoczynku rzędu 40 mA wzrasta teraz do około 200 mA i wywołuje straty mocy w anodzie, które przekraczają już maksymalne dane katalogowe lampy.

Podczas pierwszych eksperymentów osiągnięto przy znacznie wyższym napięciu ($U_a 1200 \text{ V}$) moc wyjściową nawet i ponad 80 W , wzmacniacz zachowywał się jednak bardzo niestabilnie (straty w anodzie ponad 250 W).

Pomimo faktu, że lampa ta swoją konstrukcją nie bardzo odpowiada zastosowaniu w obwodach koncentrycznych (pierścieni siatki kryje sam system lampy) podsumowując można stwierdzić, że efektem pracy jest dość udane urządzenie. Dwoma w szereg włączonymi wzmacniaczami uzyskano ogólne wzmocnienie rzędu 27 dB , które podnosiło moc 15 mW transwertera (pomijając straty w kablach) do poziomu ponad 40 W w.c.z. Wahania mocy wyjściowej dochodziły do 1.0 dB i były z pewnością powodowane przez stopień końcowy. Przy mocy wyjściowej rzędu 30 W wzmacniacz pracuje zupełnie stabilnie i pozwala - przy odpowiednim chłodzeniu - na pracę emisją FM.

Jak już wspomniano na wstępie wzmacniacze lampowe w zakresie mikrofalowym reagują na zmianę temperatury systemu. Aby osiągnąć wymienione rezultaty konieczne było znaczne powiększenie radiatora anodowego. Nie należy jednak ukrywać, że taka konstrukcja ma pewne wady. Niezależnie od zastosowania wzmacniacza (jako stopień końcowy lub przedwzmacniacz) można przez parę sekund po włączeniu toru nadawczego zaobserwować znaczny ubytek mocy (około -2 dB). Powodem tego jest wychłodzenie lampy przez pracujący wentylator. Osiągnięcie pełnej stabilizacji termicznej używanej lampy jest naturalnie niemożliwe. Można jednak częściowo tej wadzie zapobiec, używając przedstawionego układu sterującego wentylator. Na rurze anodowej w pobliżu górnego denka umieszczony jest opornik NTC czuwający



Rys. 5 Układ sterowania wentylatora

nad temperaturą wzmacniacza. Podczas dłuższych przerw w nadawaniu przejmuje on sterowanie wentylatora. Omówione napięcie sterujące Tx włącza wentylator po przejściu na nadawanie ze zwłoką paru sekund. Ten układ znalazł zastosowanie we wszystkich wzmacniaczach lampowych autora (i nie tylko tutaj) i spełnia skutecznie swoje zadanie, pomijając już fakt redukcji hałasu i zabrudzenia urządzeń przez zassany kurz, HI!

Opis tego sprawdzonego wzmacniacza powinien zachęcić do dalszych eksperymentów

i nie musi być traktowany jako kapitel książki kucharskiej. Dowodem tego są nie wymienione tutaj szczegóły konstrukcji, które mogą być - lub powinny - indywidualnie rozwiązane.

Ostrożnemu konstruktorowi pełny sukces zapewni zachowanie tak ważnych danych, jak długość obwodów i stosunek średnic rur (+/- 15%) wchodzących w obwody. Wszystkie inne "drobiazgi" są mniej ważne i zależą od posiadanego materiału.

Spis najważniejszych części:

W rysunku nie uwzględniono:

1 - dielektrykum kondensatora anodowego: folia teflonowa 0.12 do 0.18 mm (lepsze właściwości ma mika - $\epsilon_r = 4,8$)

2 - dielektrykum kondensatora katodowego: folia teflonowa 0.1 mm (o rozmiarach wypełniających różnicę średnic omówionych rur §)

§ - opis układu katodowego

- | | |
|---|--|
| 1 - Tulejka izolująca | teflon lub plexi |
| 2 - Płyta anodowa | Cu/Al MS 75 x 75 x 2 * mm |
| 3 - Denko górne | Cu/Ms 80 x 80 x 2 mm |
| 4 - Rura anodowa | Cu/Ms 60 x 2 x 126 mm |
| 5 - Tulejka prowadząca | Ms 10 x 1 x 15 mm |
| 6 - Śruba M6 lub trzpień | Ms M6 lub Ms 8 x 40 mm |
| 7 - Denko dolne | Cu/Ms 80 x 80 x 2 mm |
| 8 - Śruba M6 lub trzpień | Ms M6 lub Ms 6 x 50 mm |
| 9 - Tulejka prowadząca | zależne od śruby strojenia |
| 10 - Rura siatkowa | Cu/Ms 28 x 1.5 x 150 mm |
| 11 - Rura katodowa | Cu/Ms 12 x 1 x 150 mm |
| 12 - Radiator | Al dowolne rozmiary |
| 13 - Walek chłodzący anodę | Cu/Al d = 30 x l = 20 mm |
| 14 - Tulejka dystansyjna | Cu/Ms d = 10 x 1 = 4 mm |
| 15 - Gniazdo katodowe | Ms wg rysunku |
| 16 - Detektor mocy wyjściowej | według opisu |
| 17 - Gniazdo wyjściowe | według opisu |
| 18 - Tulejka prowadząca | Ms o dowolnej długości |
| 19 - Tulejka wzmacniająca | Ms wg opisu/rysunku |
| 20 - Tulejka prowadząca | Ms o dowolnej długości |
| 21 - Gniazdo wejściowe | Ms wg opisu/rysunku |
| 22 - Rura kondensatora blokującego | Cu/Ms grubość ścianki 1.5 do 2 mm, długość $\lambda 1/4$. Długość l = 57 mm ** (opis obwodu katodowego) |
| 23 - Tulejka | Ms |
| 24 - Rura żarzenia | Ms |
| * - grubość płyty 2 do 4 mm | |
| # - o dowolnych rozmiarach | |
| ** - możliwe tylko przy przedłużonym obwodzie katodowym | |