

Wzmacniacz mocy na pasmo 80m

Opisany układ powstał po wprowadzeniu pewnych modyfikacji do układu zaproponowanego przez Andrzeja Janeczka SP5AHT. Prezentowany układ wyróżnia się dużym wzmocnieniem mocy i wysoką sprawnością (parametry te zależne są od zastosowanego napięcia zasilania), pracuje w układzie przeciwobnym, co daje mniejszą zawartość zniekształceń we wzmacnianym przebiegu niż we wzmacniaczu na pojedynczym tranzystorze pracującym w analogicznej klasie i wymaga nawinięcia tylko dwóch uzwojeń transformatora w.cz. Większość obecnie budowanych przez krótkofalowców układów wykorzystuje tanie i łatwo dostępne tranzystory MOSFET serii IRF. Zaletą tych tranzystorów jest duże wzmocnienie i szeroki wybór tranzystorów o różnych parametrach.

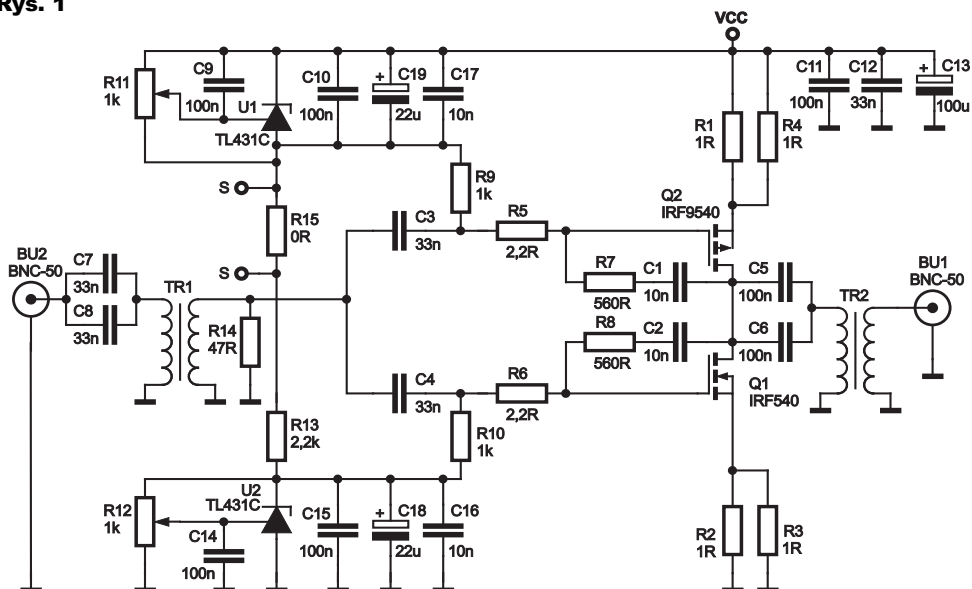
przy budowie wzmacniaczy przeciwobnych przez początkujących konstruktorów. Znaczne uproszczenie układu można uzyskać, stosując parę komplementarną tranzystorów (tranzystory z kanałem typu N i P). Bardzo ważne do prawidłowej pracy takiego układu jest dobranie tranzystorów o możliwie zbliżonych charakterystykach, co zapewni małe zniekształcenia wzmacniacza. Układ tego typu jest dobrze znany fanom techniki audio, jedynym istotnym odstępstwem jest tu zastosowanie pojedynczego napięcia zasilania. W czasie uruchamiania układu konieczne okazało się zastosowanie rezystorów w bramkach tranzystorów MOSFET, zapobiegają one wzbudzeniu się układu, tworząc z pojemnością bramki filtr

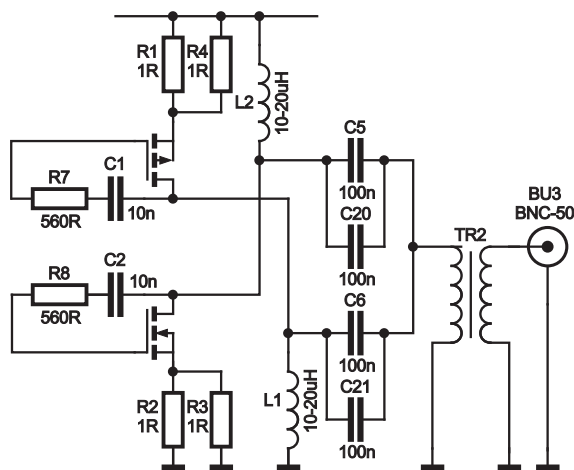
dolnoprzepustowy (bez ich obecności układ wzbudzał się przy 30V zasilania na około 50MHz). Moc i częstotliwość generowanego sygnału rosła ze wzrostem napięcia zasilania. Taki sposób zapobiegania wzbudzeniom też jest znany ze wzmacniaczy m.cz. Stosowane w układach m.cz. wartości oporników rzędu 100Ω nie mogą być jednak użyte, gdyż za bardzo ograniczą pasmo wzmacniacza (z pojemnością bramki stworzą filtr dolnoprzepustowy). W układzie zastosowano również rezystor 47Ω podłączony równolegle do uzwojenia wtórnego transformatora TR1, który również poprawia stabilność wzmacniacza. Dodatkową różnicą pomiędzy opisanim wzmacniaczem a konstrukcją klasyczną wzmacniacza m.cz. jest

Opis układu

Schemat ideowy wzmacniacza przedstawiony jest na rysunku 1. W typowych wzmacniaczach mocy konstruowanych przez krótkofalowców stosuje się obecnie najczęściej tranzystory z kanałem N. Pracę przeciwobną wzmacniacza uzyskuje się, wykorzystując do odwracania fazy transformatory w.cz. z odpowiednio połączonymi trzema uzwojeniami. Transformatory te służą do transformacji impedancji oraz do odwracania fazy wzmacnianego przebiegu tak, by jeden z tranzystorów wzmacniał ujemną połowę przebiegu, a drugi dodatnią. Analogiczną funkcję pełni transformator w drenach: na nim też zachodzi sumowanie mocy z obydwu tranzystorów. Właśnie transformatory dopasowująco-fazujące są źródłem największych problemów

Rys. 1





Rys. 2

wykorzystanie ujemnego napięciowego sprzężenia zwrotnego pomiędzy bramką a drenem tranzystora (rezystor 330...680Ω szeregowo z kondensatorem 10nF). Im mniejsza wartość zastosowanego rezystora, tym mniejsze wzmocnienie ma układ, ale większą stabilność i liniowość. We wzmacniaczu wykorzystano również ujemne prądowe sprzężenie zwrotne pomiędzy źródłem a masą dla tranzystora z kanałem N, a źródłem i plusem dla tranzystora z kanałem P. Zadaniem rezystorów w źródłach tranzystorów jest przede wszystkim poprawa stabilności termicznej wzmacniacza, a dodatkową korzyścią jest zmniejszenie zniekształceń we wzmacnianym przebiegu. Punkt pracy tranzystorów ustawia się, regulując napięcia bramek. Nawet niewielkie zmiany napięcia polaryzacji przekładają się na znaczne zmiany wartości prądu spoczynkowego (regulację napięcia bramek należy przeprowadzać bardzo ostrożnie). Do ustawienia prądów spoczynkowych służą potencjometry wieloobrotowe o wartości 1kΩ. Stabilne napięcie polaryzacji bramek wytwarzają wysokostabilne referencyjne źródła napięcia odniesienia typu TL431. Zaletą przedstawionego sposobu zasilania tranzystorów wzmacniacza jest brak przepływu prądu stałego przez rdzenie transformatorów dopasowujących, który powodowałby nasycanie się rdzenia (rdzenie toroidalne dość szybko się nasycają). Zjawisko nasycania rdzenia powoduje wzrost zniekształceń i spadek mocy oddawanej przez wzmacniacz. Drobną wadą opisywanego właśnie układu jest konieczność zasilania wzmacniacza z stosunkowo wysokiego napięcia rzędu 60–80V w przypadku, gdy zależy nam na maksymalnej sprawności (rzędu 70%). Poprawną pracę zasilacza uzyskuje się jednak już od 30V, jednak z mniejszą sprawnością i wzmocnieniem. Każdy z tranzystorów jest efektywnie zasilany z połowy napięcia zasilającego. Uruchamiając układ, należy zwrócić uwagę na fakt, że napięcia zasilania powyżej 50V uznaje się za niebezpieczne dla operatora układu. Rozwiązanie problemu wysokiego napięcia

zasilania pokazano na **rysunku 2**. Zmniejszenie wymaganego napięcia zasilającego układ uzyskano dzięki innemu sposobowi zasilania tranzystorów (tranzystor z kanałem N zasilany jest z dodatniego napięcia zasilającego, a ten z kanałem P, z masy układu). Indukcyjność zastosowanych dławików powinna mieścić się w zakresie 10...20μH. Dławiki należy nawinąć na rdzeniach prętowych z materiału o średnicy około 8mm o znacznej przenikalności (grubość drutu 1mm). Rdzenie prętowe można uzyskać z anteny ferrytowej pochodzącej z odbiornika na fale długie. Rdzenie prętowe nasycają się znacznie trudniej w porównaniu z rdzeniami toroidalnymi. Energię w.c.z. odbiera się w tym wypadku z kolektorów tranzystorów za pomocą kondensatorów. Energia odprowadzana przez kondensatory sumuje się na wspólnym obciążeniu, jakim jest transformator wyjściowy TR2. Zaletą tego układu jest możliwość stosowania znacznie niższego napięcia zasilania w porównaniu z układem pokazanym na rysunku 1 przy takiej samej sprawności. Transformator na wejściu wzmacniacza dopasowuje wysoką impedancję sterującą (50Ω) do niskiej impedancji tranzystorów (na poziomie pojedynczych omów). Dopasowanie układu można wykonać oscyloskopem. W tym celu mierzymy napięcie w.c.z. generowane przez stopień sterujący bez obciążenia, a następnie podłączamy nasz wzmacniacz. W stanie dopasowania napięcie na wejściu naszego wzmacniacza będzie równe połowie napięcia nieobciążonego wzmacniacza sterującego. Gdy napięcie jest za wysokie (powyżej 1/2 napięcia stopnia nieobciążonego), impedancja wejściowa naszego wzmacniacza jest za duża i należy zmniejszyć liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego. W przypadku gdy jest ona mniejsza od połowy napięcia generowanego przez nieobciążony stopień sterujący, liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego należy zwiększyć. Transformator obniża (podwyższa) impedancję w stosunku równym podniesionemu do kwadratu ilorazu liczby zwojów pierwotnego i wtórnego. Podobne postępowanie można przeprowadzić z wyjściem wzmacniacza, jednak na ograniczonym poziomie mocy sterującej. Układ z obciążeniem transformatorowym bez obciążenia strony wtórnej generuje znaczne przepięcia w punkcie zasilania transformatora – układ z rysunku 1 (przy zasilaniu układu napięciem 30V, bez obciążenia strony wtórnej na drenach występowały napięcia do 100V). Wynika to z istnienia zjawiska samoindukcji. W przypadku

układu z rysunku 2, napięcia te mogą być jeszcze wyższe. Zjawisko to stwarza możliwość uszkodzenia napięciowego tranzystorów wzmacniacza. Uzwojenia na rdzeniach nawijamy bez luzów, drutem o odpowiednim przekroju i zabezpieczamy przed rozsuwaniem się. Bardzo ważny jest więc wybór odpowiednich transformatorów na wejściu i wyjściu wzmacniacza mocy. Zwykle jednak dysponujemy dość przypadkowymi rdzeniami. Większych problemów nie stwarza transformator wejściowy T1. Można go nawinąć na rdzeniu symetryzatora anteny telewizyjnej na niskie kanały. Wysokość zastosowanego rdzenia musi wynieść około 1cm. Rdzenie można łączyć ze sobą, sklejając je za pomocą kleju cyjanoakrylowego (np. Kropelka). W przypadku transformatorów z nieznanego materiału ważne jest, by reakcja uzwojeń była przynajmniej parokrotnie większa niż podłączanego obciążenia, co możemy uzyskać, dobierając odpowiednią liczbę zwojów. Indukcyjność uzwojeń mierzymy za pomocą miernika indukcyjności, a reakcję uzwojenia wyliczamy ze wzoru:

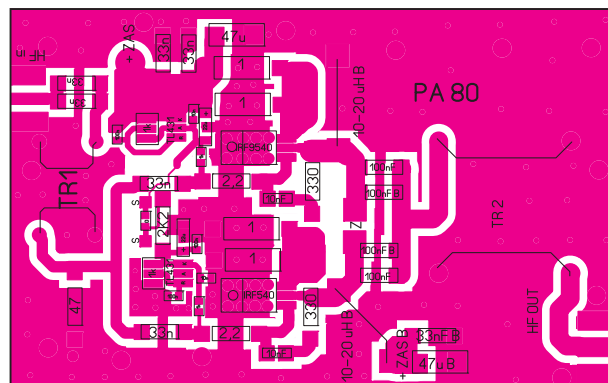
$$x_1 = 2\pi fL \text{ (częstotliwość w hercach, indukcyjność L w henrach).}$$

Transformator wyjściowy powinien mieć średnicę przynajmniej 4cm w przypadku rdzeni okrągłych (moc wyjściowa 80W). W przypadku większych mocy należy stosować większe rdzenie. Na transformator wyjściowy (TR2) dobre są rdzenie tłumiące zakłócenia pochodzące z kabli od monitorów komputerowych. W przypadku gdy rdzeń się nagrzewa zbyt silnie, powinien być zastąpiony innym rdzeniem (w rdzeniu występują zbyt duże straty powodujące zamianę energii w.c.z. na ciepło). W przypadku polskich rdzeni można polecić rdzenie typu F1001, F2001, a z zachodnich F43 lub BN-43-7051. Dość duży wybór rdzeni można znaleźć obecnie na Allegro.

Montaż i uruchomienie

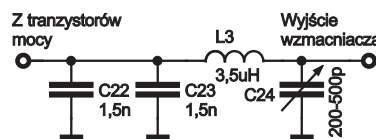
Schemat montażowy przedstawiony jest na **rysunku 3**. Pierwszą czynnością, jaką musimy wykonać, jest zrobienie otworów w płytce drukowanej pod obudowy tranzystorów mocy (TO220). Najprościej jest to wykonać,

Rys. 3. Skala 50%



wylamując szczypcami dziurkowane obszary w miejscach, gdzie mają być zamontowane tranzystory. Zadanie te jest bardzo ułatwione gdyż w płytce w tym miejscu znajduje się osiem otworów o średnicy około 3mm. Brzegi tak powstałych otworów należy obrobić pilnikiem tak, by obudowa tranzystora nie dotykała do płytki drukowanej. Płytkę wzmacniacza należy przykręcić do zebrowanego radiatora aluminiowego o rozmiarach równych co najmniej wielkości płytki wzmacniacza. Pod otworami pod tranzystory mocy należy umieścić podkładki izolujące posmarowane smarem przewodzącym ciepło. Posmarować należy również tranzystory mocy. Trzeba pamiętać również o dodaniu podkładek izolujących śruby mocujące tranzystory. Po przykręceniu transformatora sprawdzamy, czy nie ma zwarcia między obudową tranzystora a radiatorem, a w przypadku jego wystąpienia usuwamy jego przyczynę. Montujemy pozostałe elementy układu, nie wlotowujemy jednak zwory Z. W przypadku budowania wersji z rysunku 2 montujemy na płytce elementy oznaczone indeksem B. W układzie nie należy stosować rezystorów nawijanych drutem oporowym ze względu na ich dużą indukcyjność pasywnością (rezystory z widoczną spiralą). Elementy mocujące od strony druku, lutując odpowiednio wyprofilowane nóżki elementów przewlekanych. W układzie należy stosować elementy o mocy strat i napięciu pracy nie mniejszej niż podane w spisie elementów. Zastosowany zasilacz powinien mieć odpowiednie: wydajność prądową i pojemności filtrujące. Zwykle przyjmuje się, że na każdy mA pobieranego prądu powinien przypadać około 5 mikrofaradów. Napięcie te nie musi być stabilizowane. Podczas uruchamiania wzmacniacza najpierw zwieramy punkty S (układy TL431). Do punktów S można podłączyć później przekaźnik, który podczas nasłuchu będzie przerywał obwód, a tym samym prąd spoczynkowy tranzystorów będzie spadał do zera. Ustawiając prąd spoczynkowy tranzystorów, ustawiamy

na początku minimalne napięcie bramki tranzystora IRF540 za pomocą potencjometru wieloobrotowego 1kΩ. Podłączamy przez amperomierz napięcie zasilające do drenu



Rys. 4

tranzystora i regulujemy tak, by prąd spoczynkowy był na poziomie 80mA (około 3,3V). Regulując prąd spoczynkowy, należy zwrócić uwagę, że nawet niewielkie zmiany napięcia bramki powodują znaczne zmiany prądu spoczynkowego. Zastosowany na etapie ustawiania prądów spoczynkowych zasilacz powinien mieć zabezpieczenie nadprądowe na poziomie 1A. Tę samą czynność wykonujemy dla tranzystora z kanałem typu P z tą różnicą, że amperomierz podłączamy od strony drenu do masy (napięcie mierzone na bramce tranzystora z kanałem typu P względem plusa zasilania powinno wynieść również około 3,3V). W przypadku budowania wzmacniacza w wersji pokazanej na rysunku 1 wlotowujemy zworę Z i przeprowadzamy korekcję napięcia bramki jednego z tranzystorów (dowolnego) tak, by na drenach wzmacniacza uzyskać połowę napięcia zasilania. Korekcję należy powtórzyć po paru minutach. Podczas pracy napięcie na drenach może zmieniać się nawet o 5V przy napięciu zasilania 30V. Po kilku minutach prądy wzmacniacza się wyrównują, a tym samym napięcie oscyluje koło połowy wartości napięcia zasilającego. Największe zmiany występują w pierwszych minutach po włączeniu wzmacniacza. W trakcie pracy wzmacniacza obserwuje się znaczne zmiany prądu spoczynkowego wzmacniacza sięgające 100%. Jest to zjawisko normalne i nie powinno budzić obaw. Po połączeniu ze sobą drenów tranzystorów sprawdzamy wartość prądu spoczynkowego, mierząc spadek napięcia na rezystorze w źródłach tranzystorów; prąd spoczynkowy w amperach równy jest spadkowi napięcia w woltach pomnożonemu przez dwa. Metoda ta jest wygodna do pomiaru prądu pobieranego

przez wzmacniacz podczas sterowania wzmacniacza sygnałem w.cz. Do przełączenia wzmacniacza potrzebne są jednak jeszcze odpowiednie przekaźniki i filtr dolnoprzepustowy.

Praca bez odpowiedniego filtra jest niedopuszczalna. Do policzenia elementów filtra dolnoprzepustowego polecam darmowy program Filter Design, dużo opisów filtrów dolnoprzepustowych znajduje się również w Internecie. Wykorzystywane filtry powinny mieć impedancję wejścia i wyjścia równą 50Ω. W przypadku zasilania układu w konfiguracji pokazanej na rysunku 1 najwygodniej jest zastosować filtr dolnoprzepustowy pokazany na rysunku 4, który transformuje impedancję wzmacniacza w górę, a jednocześnie usuwa zbędne harmoniczne we wzmacnianym przebiegu (z podanymi wartościami filtra nie trzeba stosować Tr2). Kondensator 3nF zbudowany jest z dwóch równolegle połączonych kondensatorów 1,5nF. Z uwagi na moc, zastosowany trymer 200–500pF powinien mieć odpowiednio dużą odległość między płytkami. Wielką zaletą tego układu jest znacznie większa odporność na zmiany obciążenia po stronie wyjścia wzmacniacza niż w przypadku układu z transformatorem i możliwość dopasowania się do anten o różnych impedancjach. Podane wartości elementów filtra dotyczą pasma 80m. Pracę wzmacniacza na wyższych pasmach można uzyskać, zmieniając tranzystory IRF540, IRF9540 na tranzystory o mniejszych pojemnościach złączy np. IRF510 i IRF9510. Moc wyjściową w tego typu układach ogranicza przeważnie tranzystor z kanałem typu P. Pomimo zbliżonych pojemności tranzystory z kanałem P mają mniejszą wartość maksymalnego dopuszczalnego prądu drenu. Opisany wzmacniacz oddawał moc około 90W przy 3W mocy sterującej na paśmie 80 przy napięciu zasilania 70V – wersja z rysunku 1 i tyleż samo przy 35V zasilania w wersji 2. Nie należy doprowadzać zbyt dużej mocy sterującej do wejścia wzmacniacza, gdyż powoduje to wzrost zniekształceń we wzmacnianym przebiegu. Do kontroli nadawania można wykorzystać oscyloskop. Warto jest również w przypadku dłuższego nadawania zaopatrzyć radiator w odpowiedni wentylator.

Transformator 1 – strona pierwotna 8 zwojów, wtórna: 2 zwoje nawinięte na rdzeń dwuotworowy pochodzący ze starego symetryzatora antenowego.

Transformator 2 – strona pierwotna 3 zwoje, wtórna 16 zwojów ma materiale F2001, średnica rdzenia 40mm, średnica przewodu 1,5mm.

Chciałbym podziękować za krytyczne uwagi Andrzejowi SP2GOW

Wykaz elementów

Rezystory

R1-R4	1Ω 2W
R5,R6	2,2Ω 0,5W
R7,R8	330-680Ω 2W – patrz tekst
R9,R10	1kΩ 1206
R11,R12	1kΩ potencjometr wieloobrotowy
R13	2,2kΩ 2W
R14	47kΩ 1W

Kondensatory

C1,C2	10nF/100V
C3,C4,C7,C8,C12	33nF/100V
C5,C6,C11	100nF/250V
C9,C10,C14,C15	100nF/50V typ 1206
C13	100μF/63V – zależnie od maksymalnego napięcia zasilania wzmacniacza

C16,C17	10nF/50V 1206
C18,C19	22μF/16V
C20,C21	100nF/250V – opcja B
C22,C23	1,5nF/100V
C24	trymer 200-500pF

Półprzewodniki

Q1	IRF540
Q2	IRF9540
U1,U2	TL431C

Pozostałe

BU1,BU2	BNC-50
L1,L2	10-20μH – opis w tekście
L3	3,5μH powietrzna
Tr1,Tr2	* opis w tekście

Płytkę drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2902.

Rafał Orodziński SQ4AVS
sq4avs@gmail.com