

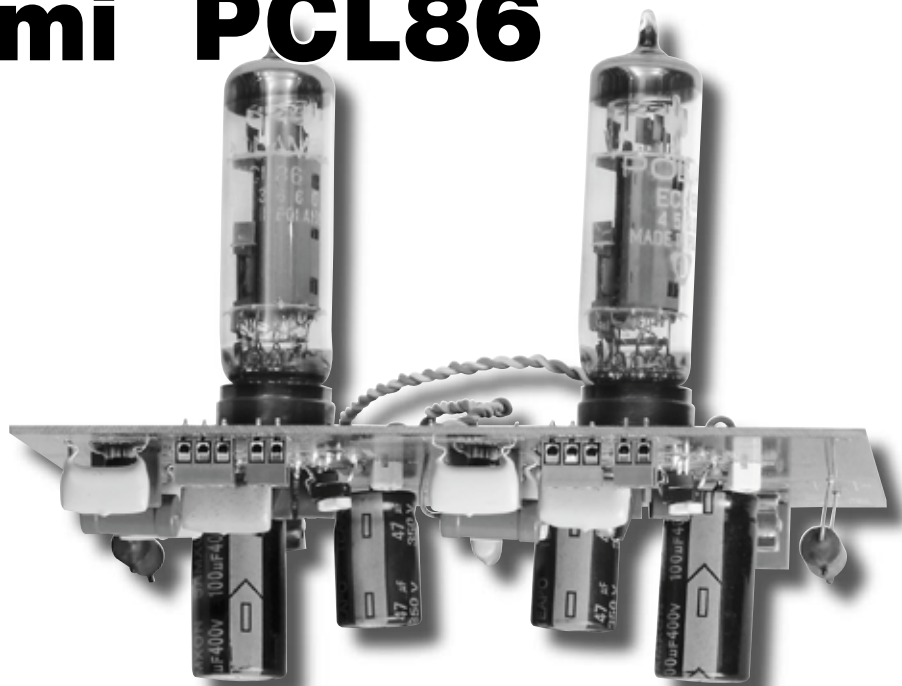
Prosty wzmacniacz z lampami PCL86

AVT-455

Niejednokrotnie młody elektronik zainteresowany „wejściem” w technikę lampową zapytuje: „Mam lampy PCL86, PCL82, które wyjąłem ze starego telewizora. Czy mogę na tych lampach zrobić jakiś prosty wzmacniacz?” Padają odpowiedzi twierdzące, ale na ogół zniechęcające do prób.

Rekomendacje:

układ polecamy zwłaszcza miłośnikom lamp elektronowych. Ze względu jednak na to, że jest stosunkowo prosty do wykonania, może zainteresować również „obserwatorów” tej techniki.



Przyjęło się, że lampy serii P są mało przydatne do zastosowań audio. A szkoda, bowiem wykorzystanie właśnie tych lamp umożliwia obniżenie kosztów budowy tego pierwszego w życiu wzmacniacza lampowego, zaś lampy PCL86 i PCL82 były zaprojektowane do układów wzmacniaczy m.cz odbiorników telewizyjnych.

Nie będziemy więc tym razem nic wymyślać - lampy te będą pracować w typowej dla siebie aplikacji. Moc wyjściowa takiego wzmacniacza nie jest duża - będzie wynosić około 2 W na kanał przy zniekształceniach nieliniowych 10%.

Parę słów o lampach serii P

Popularne lampy serii E żarzy się prądem zmiennym 6,3 V, łącząc je równolegle.

Litera E w oznaczeniu mówi, że lampa jest żarzona napięciem 6,3 V, natomiast pobierany przez lampę prąd można znaleźć w katalogu.

Inaczej jest z lampami serii P, które są zasadniczo przeznaczone do żarzenia szeregowego.

Ten sposób żarzenia był stosowany w niektórych odbiornikach radiowych (najczęściej z lampami serii U - prąd żarzenia 100 mA) i w większości telewizorów epoki lampowej.

Zaletą było wyeliminowanie transformatora sieciowego, a co za tym idzie - lampowy odbiornik radiowy

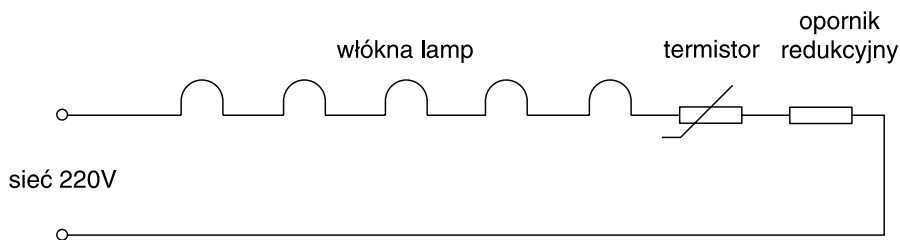
lub telewizyjny mógł być zasilany z sieci prądu stałego jak i zmiennego.

Napięcie anodowe uzyskiwano bezpośrednio z sieci.

Dzisiaj jedynym obowiązującym standardem jest sieć prądu zmiennego 230 V, ale jeszcze 40 lat temu w Polsce można było spotkać różnego rodzaju sieci, w tym także prądu stałego.

Litera P w oznaczeniu mówi, że lampy są żarzone prądem o natężeniu 300 mA, nie mówi natomiast jakie napięcie ma występować na zaciskach włókna żarzenia. Taką informację można jednak łatwo odszukać w katalogu. Na przykład dla lampy PCL86 katalogowa wartość napięcia żarzenia wynosi 14,5 V. Okazuje się jednak, że rozrzut napięcia tych lamp jest znaczny i wymagane natężenie prądu 300 mA osiąga się dla niektórych egzemplarzy przy napięciu 12,5 V a dla innych dopiero przy 16 V. W odbiornikach telewizyjnych epoki lampowej nie miało to większego znaczenia - lampy były włączone szeregowo, a potrzebny prąd żarzenia ustalał opornik redukcyjny, jak na rys. 1.

W odbiorniku pracowało zazwyczaj kilkanaście lamp, toteż łączny spadek napięcia na włóknach lamp wynosił sto kilkadziesiąt woltów, dzięki czemu po dołączeniu opornika redukcyjnego cały układ żarzenia mógł być zasilany bezpośrednio z sieci. Niekiedy, aby ograniczyć straty



Rys. 1. Zasada zasilania włókien lamp bezpośrednio z sieci

mocy na oporniku redukcyjnym włączano szeregowo diodę. Dzięki temu prąd żarzenia płynął tylko przez pół okresu sinusoidy 50 Hz.

Należy wspomnieć jeszcze o roli termistora. Otóż zaraz po włączeniu odbiornika lampy są jeszcze zimne, zaś ich włókna żarzenia mają mniejszą oporność niż w stanie gorącym. Tym samym mógłby nastąpić udar prądu, powodując przepalenie włókna którejś z lamp.

Zapobiega temu termistor. Zaraz po włączeniu odbiornika termistor jest zimny i jego oporność jest duża. Prąd żarzenia jest więc niewielki. Prąd ten jednak zaczyna nagrzewać termistor, dzięki czemu jego oporność maleje. Prąd żarzenia powoli rośnie do nominalnej wartości 300 mA. Dlatego trzeba było czekać nieraz ponad 3 minuty aż odbiornik się nagrzeje.

Ten tani układ, sprzyjający zmniejszeniu masy odbiornika (brak transformatora sieciowego) ma jednak tę wadę, że odbiornik nie jest galwanicznie odizolowany od sieci i może wystąpić pełne napięcie sieci na chassis (metalowej podstawie) odbiornika. Dla użytkownika nie było to jednak groźne, bowiem obudowa odbiornika była najczęściej drewniana, zaś wszystkie pokręta były wykonane z tworzyw sztucznych.

Wzmacniacz

Miło wspominać historię, wróćmy jednak do czasów współczesnych. Zasilanie wzmacniacza lampowego bezpośrednio z sieci należy wyrzucić do lamusa. To po prostu zbyt niebezpieczne zważywszy, że obudowy wzmacniaczy są najczęściej metalowe.

Z tego względu transformator sieciowy jest nieodzowny. Można go jednak zamówić w cenie kilkudziesięciu złotych lub użyć dwóch oddzielnych, o czym będzie jeszcze mowa.

Pierwszy wzmacniacz początkującego elektronika - lampowca powinien być możliwie prosty.

Nie będzie się on zasadniczo różnił od typowych, prostych układów z dawnych lat.

Schemat elektryczny wzmacniacza jest pokazany na **rys. 2**.

Jest to wzmacniacz w klasie A, zaś lampy pracują w zasadzie w typowej dla siebie aplikacji. Układ zawiera tylko dwie lampy, bowiem w bańce lampy PCL86 znajduje się trioda napięciowa oraz pentoda mocy. Ze względu na to, że oba kanały są identyczne omówimy tylko elementy kanału lewego. Doprowadzony do połowy podwójnego potencjometru siły głosu P1 sygnał kanału lewego jest podany do siatki triody lampy V1. Potrzebne wstępne ujemne napięcie siatki jest uzyskiwane wskutek spadku napięcia na oporniku R2.

Po wzmocnieniu w triodzie sygnał zostaje podany do siatki pentody końcowej lampy V1.

Wzmocniony w końcówce mocy sygnał za pośrednictwem transformatora głośnikowego Tr1 steruje głośnik. Kondensator C8 wprowadza niewielką korekcję dla wyższych częstotliwości. Aby wzmacniacz pracował bardziej „międko” zastosowano mieszane ujemne sprzężenie zwrotne: globalne obejmujące oba stopnie wzmocnienia i transformator z elementami C9, R7, P2. Potencjometrem montażowym P2 można ustalić głębokość sprzężenia zwrotnego (a tym samym czułość i poziom zniekształceń). Poprzez dobór pojemności C9 reguluje się głębokość sprzężenia zwrotnego dla wyższych częstotliwości.

Jak wiadomo, reaktancja pojemnościowa maleje ze wzrostem częstotliwości, a więc wraz z częstotliwością współczynnik sprzężenia zwrotnego rośnie, co osłabia tony wysokie.

Dodatkowo tworzy się lokalne ujemne sprzężenie zwrotne prądowe na rezystorze R2.

Napięcie anodowe dla obu kanałów jest uzyskiwane z transformatora sieciowego Tr3 wskutek prostowania pełnookresowego w mostku scalonym Pr1. Napięcie to zostaje następnie w filtrze oporowo - pojemnościowym z elementami C10, C11, R8. Zastosowano oddzielny, identyczny

filtr zasilacza z elementami dla kanału prawego C23, C24, R17. Takie rozwiązanie redukuje wzajemne oddziaływanie wzmacniaczy obu kanałów na siebie - zmniejszają się przesłuchy. Napięcie żarzenia jest uzyskiwane z odpowiedniego uzwojenia transformatora sieciowego, prostowane w mostku Pr2, wygładzane za pomocą kondensatora C14, a następnie stabilizowane za pomocą prostego, parametrycznego stabilizatora napięcia z tranzystorem T1 i diodą stabilizacyjną D1. Kondensator C13 zabezpiecza przed udarem prądu żarzenia zaraz po włączeniu.

Obliczenia

W zasadzie powyższy opis wzmacniacza mógłby wystarczyć do jego poprawnego i świadomego złożenia. Ale dlaczego elementy mają takie, a nie inne wartości? Zaraz to wyjaśnimy, wykonując orientacyjne obliczenia. W **tab. 1** zebrano najważniejsze parametry lampy PCL86, zaczerpnięte z katalogu.

Obliczenie stopnia końcowego

Zasadniczy schemat stopnia końcowego przedstawiono na **rys. 3**. Z łatwością można dostrzec analogię do układu stopnia końcowego z pełnego schematu elektrycznego (rys. 2).

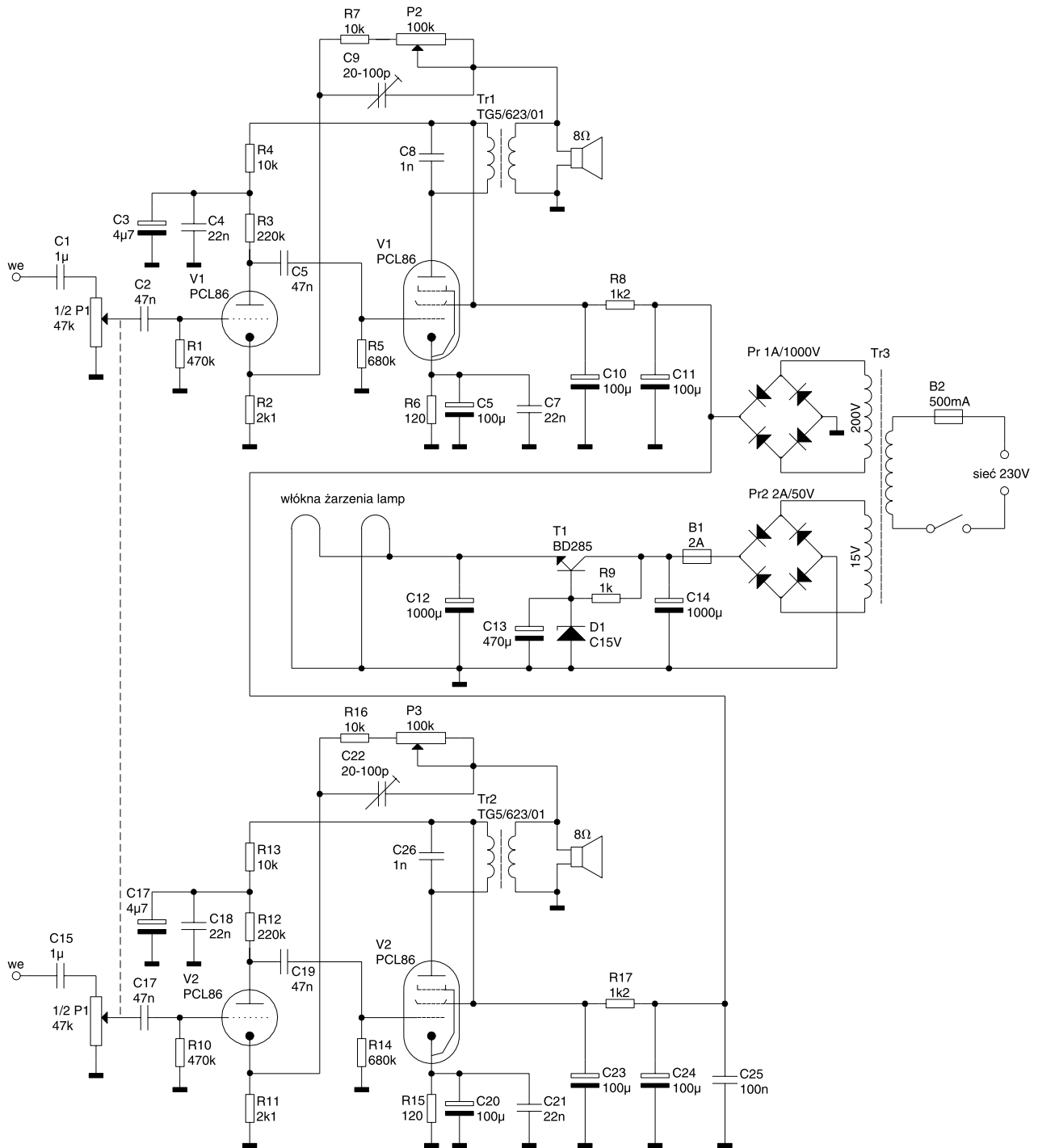
Przyjmijmy napięcie zasilania $U_a = 230\text{ V}$, zgodnie z wartością z **tab. 1**.

Optymalną oporność obciążenia znajdziemy ze wzoru:

$$R_{opt} = \frac{U_a}{I_a} = \frac{230\text{ V}}{39\text{ mA}} \approx 5,9\text{ k}\Omega$$

W tych warunkach katalog podaje jako optymalną oporność obciążenia 5,1 kΩ, gdyż uwzględnia spadek napięcia na rezystancji czynnej pierwotnego uzwojenia transformatora.

Tab. 1. Parametry lampy PCL86	
Parametr	
prąd żarzenia I_z	300 mA
napięcie żarzenia U_z	14,5 V
napięcie siatki U_{s0}	-1,7 V
napięcie anody triody U_a	230 V
nachylenie charakterystyki triody S_a	1,6 mA/V
współczynnik amplifikacji K_a	100 V/V
napięcie anody pentody U_a	230 V
napięcie siatki pierwszej U_{s0}	-5,7 V
napięcie siatki drugiej U_{s2}	230 V
prąd siatki drugiej I_{s2}	6,5 mA
prąd anodowy I_a	39 mA
nachylenie charakterystyki pentody S_a	10,5 mA/V
rezystancja wewnętrzna ρ	45 kΩ



Rys. 2. Schemat wzmacniacza z lampami PCL86

Dołączony głośnik, stanowiący obciążenie wzmacniacza ma najczęściej impedancję 4 lub 8 Ω. Dlatego w przypadku podłączenia głośnika 8 Ω jest potrzebny transformator o przekładni:

$$n = \sqrt{\frac{R_{opt}}{Z_{gl}}} = \sqrt{\frac{5900\Omega}{8\Omega}} \approx 27,16:1$$

zaś w przypadku głośnika 4 Ω:

$$n = \sqrt{\frac{R_{opt}}{Z_{gl}}} = \sqrt{\frac{5900\Omega}{4\Omega}} \approx 38,4:1$$

aby lampa „widziała” głośnik jako

optymalną oporność obciążenia. W powyższych wzorach na przekładnię pominięto sprawność transformatora.

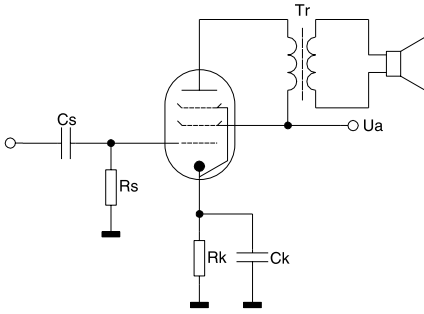
Należy teraz poszukać odpowiedniego transformatora.

Niepisana zasada głosi, że najlepiej używać podzespołów łatwo dostępnych w handlu. Okazuje się, że firma Zatra S.A produkuje transformatory TG5/623/01 i TG5/623/02.

Są one zaprojektowane do współpracy z lampą EL84, która ma spoczynkowy prąd anodowy 48 mA i

oporność obciążenia 5,2 kΩ. Jest to więc wartość zbliżona do wymaganej przez lampę PCL86, zaś prąd anodowy lampy PCL86 jest mniejszy niż lampy EL84. Oznacza to, że transformatorowi nie grozi przeciążenie i bez obaw może współpracować z lampą PCL86.

TG5/623/01 jest przystosowany do współpracy z głośnikiem 8 Ω, zaś TG5/623/02 nadaje się do współpracy z głośnikiem 4 Ω. Deklarowane przez producenta pasmo prze-



Rys. 3. Podstawowy schemat stopnia końcowego

noszenia tych transformatorów to 40-20000 Hz. W modelu zastosowano pierwszy z tych transformatorów.

Należy wspomnieć, że transformator w znacznej mierze decyduje o jakości wzmacniacza: od wartości indukcyjności głównej zależy w dużej mierze jak wzmacniacz będzie przenosić tony niskie. Z kolei indukcyjność rozproszenia ma decydujący wpływ na przenoszenie tonów wysokich, zaś przekładnia transformatora wpływa na zniekształcenia nieliniowe i sprawność.

Spodziewaną moc wyjściową odadaną przez wzmacniacz z rys. 3 przy dopuszczalnych zniekształceniach możemy oszacować ze wzoru:

$$P_{uz} \approx 0,4 \cdot U_{a0} \cdot I_{a0} \approx 0,4 \cdot 230 \text{ V} \cdot 6 \text{ mA} \approx 3,3 \text{ W}$$

Potrzebne napięcie siatki U_{s0} uzyskuje się wskutek spadku napięcia na oporniku katodowym R_k . Przepływający przez ten opornik prąd jest równy sumie prądu anodowego I_a i prądu siatki osłonowej I_{s2} . Stąd wartość opornika R_k :

$$R_k = \frac{U_{s0}}{I_a + I_{s2}} = \frac{5,7 \text{ V}}{39 \text{ mA} + 6,5 \text{ mA}} = 125 \Omega$$

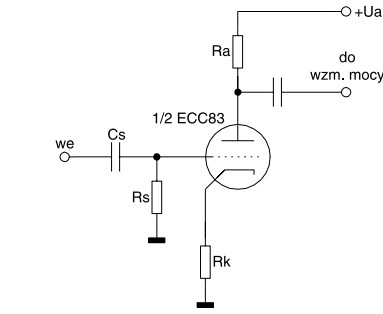
Tracona na tym oporniku moc wyniesie:

$$P = U_{s0} \cdot (I_a + I_{s2}) \approx 5,7 \text{ V} \cdot (39 \text{ mA} + 6,5 \text{ mA}) \approx 0,6 \text{ W}$$

Dlatego moc tego opornika powinna wynosić 0,4 W lub więcej.

Najbliższą obliczonej wartością z szeregu jest 120 Ω i taką wartość mają oporniki R6 i R15 na rys. 2. Włączenie opornika katodowego powoduje jednak powstanie prądowego ujemnego sprzężenia zwrotnego i w efekcie spadek wzmocnienia. Aby temu zaradzić opornik katodowy kondensatorem o pojemności:

$$C_k = \frac{\sqrt{(1 + S_k R_k)^2 - 2}}{R_k \cdot 2\pi f_{dolna}} \approx \frac{\sqrt{(1 + 10,5 \text{ mA/V} \cdot 120 \Omega)^2 - 2}}{120 \Omega \cdot 6,28 \cdot 30 \text{ Hz}} \approx 100 \mu\text{F}$$

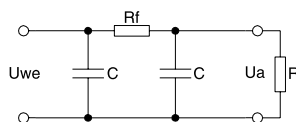


Rys. 4. Uproszczony schemat wzmacniacza napięciowego

Co prawda nie znamy nachylenia katodowego S_k , ale musi być ono porównywalne z nachyleniem charakterystyki anodowej, gdyż prąd siatki drugiej jest niewielki w porównaniu z prądem anodowym. Tym samym błąd obliczenia nie będzie duży. Z kolei za dolną częstotliwość graniczną podstawiamy 30 Hz a nie 40 Hz (dolna częstotliwość przenoszenia transformatora) by niepotrzebnie nie zawężać pasma.

Wynika to z faktu, że pasmo przenoszenia transformatora jest podawane dla nierównomierności charakterystyki równej 3 dB - oznacza to, że transformator powoduje spadek wzmocnienia 3 dB dla częstotliwości 40 Hz.

Powyższy wzór pozwala na obliczenie kondensatora katodowego przy spadku 3 dB dla najniższej częstotliwości. Gdyby do wzoru podstawiamy częstotliwość 40 Hz otrzymamy pojemność kondensatora C_k , przy której spadek wzmocnienia wzmacniacza końcowego wyniesie 6 dB (3 dB transformatora i 3 dB związane z obwodem C_k, R_k). 6 dB to już duży spadek wzmocnienia (2 razy). Podstawiając do wzoru mniejszą częstotliwość zapewnimy spadek wzmocnienia mniejszy od 6 dB dla 40 Hz. Wydawałoby się, że powyższe obliczenie C_k jest zbędne, bo można by było zastosować kondensator o możliwie dużej pojemności. Pojemność kondensatora nie może być jednak zbyt duża, bo wzmacniacz końcowy będzie chwilami się „zatykał” - źle działał przy zmianach sygnału wejściowego. Wynika to z faktu, że im większa pojemność kondensatora tym dłużej trwa jego ładowanie i rozładowywanie.



Rys. 5. Schemat filtra RC

Ponieważ na kondensatorze C_k odkłada się napięcie 5,7 V jego napięcie pracy powinno wynosić przynajmniej 10 V. Na rys. 2 oprócz kondensatorów elektrolitycznych C6 i C20 są jeszcze kondensatory C7 i C21. Likwidują one ujemne sprzężenie zwrotne dla wyższych częstotliwości. Są one potrzebne, gdyż kondensatory elektrolityczne mają dość dużą indukcyjność własną i nie likwidują skutecznie sprzężenia zwrotnego dla wyższych częstotliwości.

Od wartości opornika i kondensatora siatkowego zależy pasmo przenoszenia. Im większe są ich wartości, tym lepsze jest przenoszenie tonów niskich. Z drugiej jednak strony opornik siatkowy nie może mieć zbyt dużej wartości. Przyjmijmy wartość opornika $R_s = 680 \text{ k}\Omega$.

Potrzebną wartość pojemności obliczymy ze wzoru:

$$C_s = \frac{1}{2\pi f_{dolna} \cdot R_s} = \frac{1}{6,28 \cdot 30 \text{ Hz} \cdot 680 \text{ k}\Omega} \approx 8 \text{ nF}$$

Powyższy wzór pozwala obliczyć pojemność dla spadku wzmocnienia, równo 3 dB, związanego z obwodem C_s, R_s . Pojemność kondensatora C_s ma małą wartość i nic nie szkodzi, aby zastosować kondensatory o większej pojemności - np. 47 nF. Dzięki temu eliminujemy praktycznie wpływ obwodu siatkowego na przenoszenie najniższych częstotliwości.

Dlatego dobrano takie wartości pojemności C1, C2, C5, C15, C16, C19 na rys. 2.

Obliczmy jeszcze potrzebną dla pełnegoysterowania amplitudę sygnału na siatce lampy mocy:

$$U_{ster} = \frac{I_{a0}}{S_u} = \frac{39 \text{ mA}}{10,5 \text{ mA/V}} \approx 3,7 \text{ V}$$

Obliczenie wzmacniacza napięciowego

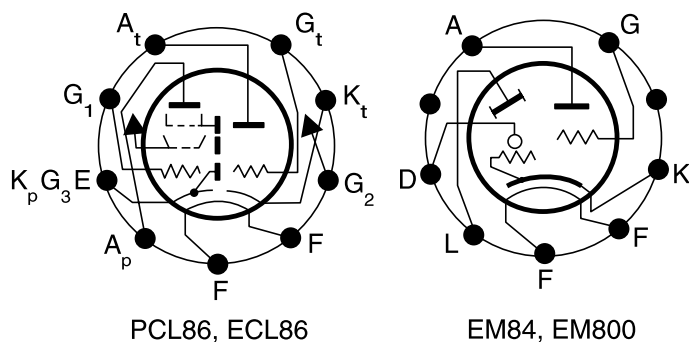
Zasadniczy schemat stopnia wzmocnienia napięciowego przedstawiono na rys. 4.

Obliczmy oporność wewnętrzną triody:

$$\rho = \frac{K_u}{S_u} = \frac{100 \text{ V/V}}{1,6 \text{ mA/V}} = 62,5 \text{ k}\Omega$$

Jak wiadomo, rezystancja opornika R_a powinna być 2...8 razy większa od rezystancji wewnętrznej lampy. Przyjmijmy więc $R_a = 220 \text{ k}\Omega$, co jest zresztą wartością sugerowaną przez katalog.

W tych warunkach wzmocnienie napięciowe, bez uwzględnienia spadku wzmocnienia związanego z ujemnym prądowym sprzężeniem zwrotnym



Rys. 6. Rozkład wyprowadzeń lamp PCL86, ECL86, EM84 i EM800

nym w obwodzie katody wyniesie:

$$K_a = \frac{K_a}{1 + \frac{\rho}{R_a}} = \frac{100V/V}{1 + \frac{62,5k\Omega}{220k\Omega}} \approx 78V/V$$

Ujemne napięcie siatki pierwszej U_{s0} ma być równe $-1,7V$ i jest uzyskiwane na oporniku R_k . Jego wartość powinna wynieść w przybliżeniu:

$$R_k = \frac{U_{s0} \cdot (R_a + \rho)}{U_a} = \frac{1,7V \cdot (220k\Omega + 62,5k\Omega)}{230V} \approx 2,1k\Omega$$

Współczynnik ujemnego prądowego sprzężenia zwrotnego:

$$h = \frac{R_k}{R_a} = \frac{2,1k\Omega}{220k\Omega} \approx 0,01$$

Wzmocnienie napięciowe stopnia zmaleje więc:

$1 + bK_u = 1 + 0,01 \cdot 78 V/V = 1,78$ razy czyli wyniesie około $43 V/V$. Jest to wzmocnienie napięciowe stopnia przy rozwartej pętli globalnego sprzężenia zwrotnego, obejmującego transformator.

Ponieważ lampa mocy wymaga dla pełnegoysterowania sygnału $3,7V$, zaś wzmacniacz napięciowy ma wzmocnienie $43 V/V$, więc na wejście wzmacniacza wystarczy podać sygnał $3,7V / 43 V/V = 86mV$. Po włączeniu pętli sprzężenia wzmocnienie jednak spadnie.

Pojemność sprzęgająca w anodzie jest pojemnością siatkową lampy mocy i została już obliczana.

Filtr zasilacza

Zastosujemy tani filtr odporowo-pojemnościowy, rezygnując z drogich dławików.

Autor dysponował transformatorem sieciowym, który na uzwojeniu anodowym ma napięcie $U_{tr} = 200V$. Po wyprostowaniu w prostowniku (mostku) napięcie U_{we} (rys. 5) wyniesie w przybliżeniu:

$$U_{we} = \sqrt{2} \cdot U_{tr} \approx 200V \cdot 1,41 \approx 280V$$

Napięcie anodowe U_a ma mieć wartość $230V$. Znaczy to, że na rezystorze (lub rezystorach w przypadku filtru wieloogniwowego) filtru ma nastąpić spadek napięcia $U_{we} - U_a = 50V$.

Obciążeniem filtru (rezystancja R z rys. 5) są oba stopnie wzmacniacza: napięciowy i mocy.

Natężenie prądu pobieranego z filtru jest równe sumie natężenia prądu anodowego triody wzmacniacza napięciowego (poniżej $1mA$), natężenia prądu drugiej pentody mocy ($6,5mA$) i prądu anodowego pentody mocy ($39mA$):

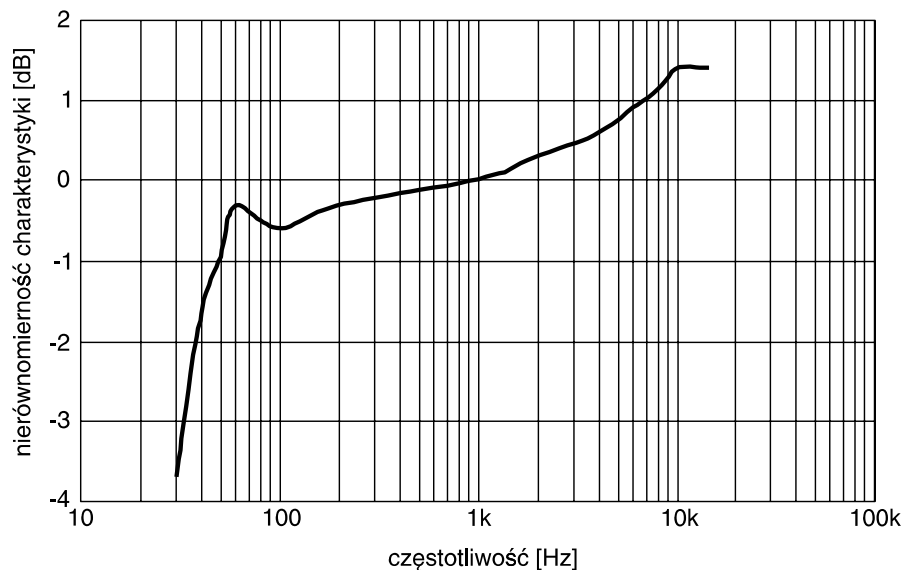
$$I_o = I_{a1} + I_{a2} + I_{s2} \approx 1mA + 39mA + 6,5mA \approx 46,5mA$$

Oporność obciążenia filtru wynosi:

$$R = \frac{U_a}{I_o} = \frac{230V}{46,5mA} \approx 5k\Omega$$

Prąd I_o płynie przez rezystor filtru R_f , który powinien mieć wartość:

$$R_f = \frac{U_{we} - U_a}{I_o} = \frac{50V}{46,5mA} \approx 1100\Omega$$



Rys. 7. Charakterystyka amplitudowo - częstotliwościowa wzmacniacza z lampami ECL86

Przyjmijmy typową wartość z szeregu - $1,2k\Omega$.

Tracona na tej oporności moc wynosi:

$$P = (U_{we} - U_a) \cdot I_o = 50V \cdot 46,5mA \approx 2,3W$$

Dlatego zastosujemy opornik o mocy $5W$ lub (lepiej) $8W$.

Ponieważ filtr zasila wzmacniacz małej mocy, więc dopuszczalny współczynnik tętnień za filtrem wynosi $0,05\%$.

Założmy, że oba kondensatory filtru mają pojemność $100\mu F$. Jest to duża wartość pojemności, jednak łatwa do nabycia. W związku z tym możemy w niewielkim błędem przyjąć, że tętnienia na tym kondensatorze filtru wynoszą około 5% . Dokładniejsze obliczenie tętnień na tym kondensatorze jest oczywiście możliwe, jednak je tu pominiemy.

Wymagany współczynnik filtracji filtru wynosi więc:

$$F = \frac{5\%}{0,05\%} = 100$$

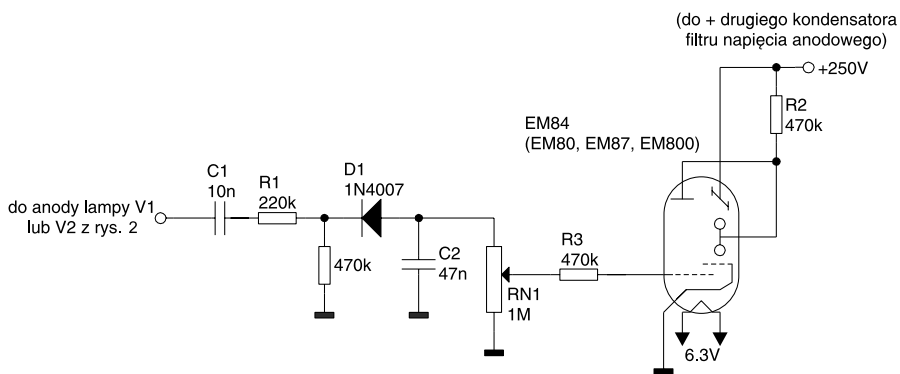
Sprawdzimy teraz, czy uda się uzyskać taki współczynnik filtracji w układzie z rys. 5.

Filtracja F tego układu wynosi:

$$F \approx \sqrt{1 + \left(4\pi f C \frac{R_f \cdot R}{R_f + R}\right)^2} \approx \sqrt{1 + \left(12,56 \cdot 50Hz \cdot 100\mu F \frac{1,2k\Omega \cdot 5k\Omega}{1,2k\Omega + 5k\Omega}\right)^2} \approx 60$$

Za f wstawiamy $100Hz$, gdyż taka jest częstotliwość tętnień przy dwupółkowym prostowaniu.

Pierwszy kondensator filtru (rys. 2) ma w istocie pojemność $200\mu F$ (dwa kondensatory $C11$ i $C24$).



Rys. 8. Schemat połączeń oka magicznego

W związku z tym wzór na filtrację jest obciążony pewnym błędem, gdyż zakłada, że oba kondensatory filtra (rys. 5) mają te same wartości pojemności (filtracja jest większa od 120).

Dodatkowy kondensator C25 z rys. 2 o niewielkiej pojemności zwiera do masy zakłócenia o wyższych częstotliwościach. Ponieważ w zasilaczu występują napięcia do 280 V więc kondensatory filtra muszą mieć napięcie przebicia przynajmniej 350 V.

Na rys. 2 są jeszcze dwa dodatkowe filtry z elementami C3, C4, R4 w kanale lewym oraz C17, C18, R13 w kanale prawym. Wygładzają one dodatkowo napięcie zasilania dla stopni wzmocnienia napięciowego, dla których dopuszczalne tętnienia są mniejsze od 0,05%.

Układ żarzenia

Ograniczymy się tu tylko do paru słów komentarza. Napięcie żarzenia lamp ma wynosić 14,5 V. Jest ono stabilizowane za pomocą układu z diodą i tranzystorem. Ponieważ na tranzystorze występuje spadek napięcia około 0,7 V dioda musi mieć napięcie stabilizacji nieco wyższe niż 14,5 V. Dobieramy więc diodę o napięciu stabilizacji 15 V.

Montaż i uruchomienie

Układ można zrealizować metodą montażu przestrzennego („na pająka”) mając odpowiednie chassis metalowe (tak był zbudowany prototyp, współpracujący z tunerem opisywanym w EP7/2004 przez Tomasza Jabłońskiego) lub zastosować obwód drukowany.

Uruchomienie, w przypadku poprawnego montażu nie powinno nastręczać trudności.

Przy montażu na płytce należy pamiętać o tym, że podstawki pod lampy lutuje się od strony druku. Takie rozwiązanie umożliwia wyeksponowanie lamp na zewnątrz obudowy,

choć z pewnością nie każdemu przypadnie to do gustu.

Na płytce nie przewidziano ścieżek doprowadzających napięcie żarzenia do lamp. Połączenie między stabilizatorem a lampami trzeba więc wykonać przewodem - skrętką. Na płytce przewidziano odpowiednie punkty lutownicze dla tych przewodów.

Złącza śrubowe ARK umożliwiają wygodne dołączenie transformatorów, potencjometrów oraz gniazd wejściowych. Tranzystor T1 należy zaopatrzyć w radiator, pamiętając o posmarowaniu styku tranzystor - radiator pastą silikonową celem zapewnienia dobrego oddawania ciepła. Jeśli współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora jest zbyt mały (będzie wówczas zbyt małe napięcie żarzenia) należy zmniejszyć wartość oporności R9.

Parę słów na temat transformatora sieciowego. Oczywiście byłoby najlepiej zamówić transformator, który dostarczałby napięcia 16 VAC przy prądzie 2 A (z zapasem) dla żarzenia lamp, 200 VAC/100 mA (napięcie anodowe) i ewentualnie napięcia 6,3 VAC/0,6 A dla wskaźnikówysterowania oraz 6...9 V/1 A dla układów sterowania, jeśli takie chcielibyśmy w przyszłości dobudowywać. Z drugiej jednak strony mam świadomość, że każdy chce ponieść jak najmniejsze koszty. Najtańszym rozwiązaniem może być użycie dwóch transformatorów: około 16 V/2 A dla żarzenia lamp i drugiego 200 V/80...100 mA dostarczającego napięcia anodowego. Tym drugim może być transformator ze starego odbiornika radiowego, o czym jest mowa dalej.

Doprowadzenia do potencjometru i do gniazdek wejściowych (typu chinch) trzeba wykonać przewodem ekranowanym.

Jeśli po nagraniu się lamp z głośnika wydobywa się pisk (występuje dodatnie sprzężenie zwrotne) należy wzmacniacz wyłączyć i zamienić

miejscami przewody pętli sprzężenia zwrotnego. Po tej czynności układ przestanie się wzbudzać.

Następnie do wejść wzmacniacza należy podać sygnał z dowolnego źródła i dobrać wartości elementów w pętli sprzężenia zwrotnego według własnych upodobań (kręćąc potencjometrami P2, P3 i trymerami C9, C22). Ważne jest tylko, aby ustawienia w obu kanałach były takie same (symetria).

Na rys. 6 przedstawiono schemat wyprowadzeń lampy PCL86, ECL86, EM84 i EM800.

O tych dodatkowych lampach piszemy dalej. Przypominam, że wyprowadzenia lamp rysowane są od strony cokołu - nóżek lampy.

Uwagi końcowe

Należy wspomnieć, że istnieje możliwość zastosowania innych transformatorów głośnikowych. Ich koszt sta-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1, R10: 470 kΩ/0,6 W
- R2, R11: 2,1 kΩ/0,6 W
- R3, R12: 220 kΩ/0,6 W
- R4, R7, R13, R16: 10 kΩ/0,6 W
- R5, R14: 680 kΩ/0,6 W
- R6, R15: 120 Ω/2 W
- R8, R17: 1,2 kΩ/5 W
- P1: 2x47 kΩ logarytmiczny
- P2, P3: 100 kΩ montażowy

Kondensatory

- C1, C15: 1 μF/250 V
- C2, C5, C16, C19: 47 nF/400 V
- C3, C17: 4,7 μF/350 V
- C4, C18: 22 nF/400 V
- C6, C20: 100 μF/25 V elektrolityczny
- C7, C21: 22 nF/100 V
- C8, C26: 1 nF/630 V
- C10, C11, C23, C24: 100 μF/400 V elektrolityczny
- C25: 100 nF/400 V

Półprzewodniki

- D1: dioda stabilizacyjna C15V
- T1: BD285 lub podobny
- Pr1: mostek prostowniczy 1 A/1000 V
- Pr2: mostek prostowniczy 2 A/50 V

Lampy

- V1, V2: PCL86

Różne

- 2 podstawki „noval”
- 1 włącznik dwustabilny
- B1: bezpiecznik 2 A
- B2: bezpiecznik 500 mA
- 2 gniazda „chinch”
- 2 gniazda głośnikowe
- transformatory wg opisu

nowi znaczącą część ceny wzmacniacza - jego koszt wynosi około 400 zł (licząc obudowę), jeśli zastosujemy nowe transformatory. Dlatego niektórzy Czytelnicy będą woleli rozebrać stary telewizor i użyć transformatorów typu TG 2,5-1-666 (zamiast 666 mogą wystąpić inne cyfry, jak 665 lub 667 - oznaczają one kategorię klimatyczną) czy TG5/46 albo TG5/53. Te transformatory, mimo że nie najlepszej jakości (węższe pasmo przenoszenia) umożliwią zaoszczędzenie niebagatelnej kwoty około 200 zł.

Taka oszczędność się opłaca, jeśli ktoś ma zamiar tylko pobawić się lampami, nie zajmując się nimi na dłużej.

Szkoda byłoby jednak niszczyć dobrze zachowany lampowy telewizor, magnetofon czy radio tylko po to by „wygrzebać” transformator. Te dawne urządzenia stanowią przecież sobą zabytki, jest to swoisty signum temporaris epoki Polski Ludowej.

Istnieje możliwość zastosowania innych lamp, jak ECL86, ECL82, PCL82. Schemat układu zostaje właściwie ten sam. Natomiast trzeba zmienić transformatory i niektóre wartości rezystorów. W przypadku zastosowania lampy ECL86 trzeba zmienić napięcie żarzenia na 6,3 V, transformatory głośnikowe mogą być typu TG 2-20-666 (stosowane w magnetofonach szpulowych typu ZK140) lub TG 2-10-666 (w wielu odbiornikach radiowych, np. Kankan), rezystory R2 i R11 trzeba zmienić na 1,75 k Ω , zaś R6 i R15 na 180 Ω .

Płytką drukowaną pozostaje ta sama, gdyż układ wyprowadzeń ECL86 i PCL86 jest taki sam.

Transformator sieciowy można wziąć z dowolnego starego odbiornika radiowego. Dość często spotykane są transformatory typu TS 30/1/676 i TS 40/29/676. Można także użyć silnika z ma-

gnetofonu ZK120, 125, 140, 145 (silnik jest jednocześnie transformatorem).

W takim przypadku jest zbędne wlutowywanie elementów stabilizatora i prostownika napięcia żarzenia PR2, T1, D1, C13, C14. Przewody doprowadzające napięcie żarzenia lutujemy do punktów lutowniczych mostka PR2.

Na rys. 7 zamieszczam charakterystykę amplitudowo - częstotliwościową wzmacniacza w wersji z lampą ECL86, współpracującą z transformatorem TG 2-20-666 przy obciążeniu 4 Ω .

Trzeba jeszcze dodać, że pojemność w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego wynosiła przy zdejmowaniu charakterystyki 20 pF, zaś ustawiona oporność potencjometru w pętli wynosiła 70 k Ω . Nawet z niezbyt dobrej jakości transformatorem dało się uzyskać pasmo 50 Hz - 15 kHz przy nierównomierności charakterystyki mniejszej od 3 dB.

Parę słów o mocy wyjściowej. Moc ta jest nieduża i - jak dla typowej aplikacji lampy ECL86 wynosi około 2 W na kanał. Przy obciążeniu 8 Ω i zniekształceniach nieliniowych $h=1\%$ moc wynosi 0,4 W. Przy $h=10\%$ moc osiąga 2,5 W.

Przy obciążeniu 4 Ω i zniekształceniach $h=1\%$ moc wynosi około 0,5 W, zaś przy $h=10\%$ moc wynosi około 2,7 W. Zniekształcenia były wyznaczane przy częstotliwości $f=1000$ Hz.

Napięcie wejściowe, potrzebne do pełnegoysterowania ($h=10\%$) (przy potencjometrze głośności ustawionym na maksimum) wynosi około 250 mV.

Do wzmacniacza można łatwo dołączyć magiczne oko, jako wskaźnikysterowania.

Przewidziano dwie różne płytki dla wskaźnikówysterowania: dla lampy EM80 (odpowiednikiem rosyjskim jest 6E1P) oraz dla lampy EM84 (i typów EM87, EM800). Schemat połączeń jest

w obu tych przypadkach taki sam, lampy różnią się jedynie rozkładem wyprowadzeń. Na rys. 6 przedstawiono rozkład wyprowadzeń lamp EM84, gdyż ta lampa jest najłatwiej dostępna. O elektronowych wskaźnikach pisaliśmy już nieraz, więc nie ma sensu na ten temat się rozpisywać.

Na rys. 8 przedstawiono układ połączeń wskaźnikaysterowania.

Napięcie żarzenia dla wskaźnikówysterowania pobiera się z tego samego uzwojenia transformatora sieciowego, co i dla lamp wzmacniacza (jeśli we wzmacniaczu pracują lampy ECL86 transformator ma uzwojenie 6,3 V; w przeciwnym przypadku trzeba przewidzieć uzyskiwanie napięcia 6,3 V z dodatkowego uzwojenia transformatora sieciowego lub z oddzielnego transformatora). Jeśli włókna lamp są włączane za bezpiecznikiem B1 to trzeba zastosować bezpiecznik 2,5 A. Napięcie anodowe +220...250 V można pobierać z drugiego kondensatora filtru zasilacza. Na płytce drukowanej wzmacniacza nie przewidziano jednak miejsca dla zacisków śrubowych dla tego napięcia. Trzeba więc dolutować odpowiedni przewód bezpośrednio do punktu lutowniczego „plusa” kondensatora filtru (C10 lub C23).

Napięcie sterujące wskaźnikaysterowania pobiera się z uzwojenia pierwotnego transformatora głośnikowego (z anody pentody głośnikowej). Można dołączyć dwa wskaźnikiysterowania - dla każdego kanału wzmacniacza. Trzeba mieć jednak na uwadze, że dla wymienionych wcześniej transformatorów sieciowych: TS 40/29/6760 i TS 30/1/676 będzie to bardzo duże obciążenie. W takim przypadku należy się raczej zaopatrzyć w transformator o większej obciążalności.

Aleksander Zawada, EP

aleksander.zawada@ep.com.pl

ALFINE **ANALOG DEVICES**
PRZEDSTAWICIELSTWO W POLSCE

DSP Technology from Analog Devices
DSP Solutions from ALFINE

Ponad 10 lat z Analog Devices

ALFINE P.E.P. • ul. Gronowa 22 • 61-680 Poznań
tel.: (61) 8205811, 8213375 • fax: (61) 8213199
e-mail: analog@alfine.pl • http://www.alfine.pl