

Od tego się zaczęło....

Kiedy w 1907 roku, Amerykanin Lee de Forest opatentował lampę elektronową, triodę, a następnie rozpoczął regularne nadawanie programu radiowego, rozpoczęła się era burzliwego rozwoju elektroniki. Trioda, lampa o trzech elektrodach była pierwszym elementem wzmacniającym prąd elektryczny. Szybko znalazła zastosowanie w technice tak cywilnej jak i wojskowej. Nastąpiła era łączności radiowej. Lampy królowały do lat siedemdziesiątych, kiedy to wyparł je wynaleziony w latach 1948-49 tranzystor (tranzystor ostrzowy wynaleziony został przez Bardeena i W. H. Brattaina w 1948 r., a przez W. Shockley'a w 1949 r. tranzystor warstwowy). Przez wiele lat były zapomniane, bo wydawało się że tranzystory i układy scalone, a później technika cyfrowa wyprze je zupełnie. Ale okazało się że lampy mają też swoje zalety. Co bardziej osłuchani melomani z rozczarowaniem stwierdzali, że dźwięk z urządzeń tranzystorowych też jest daleki od ideału. Narzekali na suchość i metaliczność dźwięku, brak tej szczególnej atmosfery i wykończenia. Lampy mimo że wprowadzają więcej zakłóceń, mają z reguły słabszy bas, są mniej trwałe i kłopotliwe w użyciu - mają niezaprzeczalną zaletę: potrafią "wyczarować" wspaniałą atmosferę, a gorąca i sugestywna średnica zadowala najbardziej wybrednego konesera kobiecego wokalu. Oczywiście takie wspaniałe efekty uzyskamy ze wzmacniacza z najwyższej półki. Faktem też jest, że najdroższe wzmacniacze kosztują więcej niż luksusowy samochód. Ale i tańszy wzmacniacz ukaże nam swoje niezaprzeczalne zalety. Słuchając go możemy być pewni, że muzyka dostarczy nam wiele przyjemności. Renesans lamp znalazł swoje odzwierciedlenie w produkcji wzmacniaczy tak czysto lampowych, jak o hybryd lampowo-tranzystorowych, gdzie lampy pełnią rolę przedwzmacniacza. Ciekawostką jest, że niektóre firmy stosują lampy w przetwornikach cyfrowo-analogowych przetwarzających strumień bitów z odtwarzacza CD na sygnał analogowy.

Krótko o budowie.

Lampa elektronowa składa się ze szczelnego naczynia (najczęściej szklanego, czasem stalowego) z umieszczonymi w niej elektrodami. Z wnętrza wypompowano powietrze, dlatego nazywa się je lampami próżniowymi. W lampie elektronowej znajdują się przynajmniej dwie elektrody - anoda i katoda, pomiędzy nimi mogą przepływać swobodne elektrony. Źródłem swobodnych elektronów jest katoda. Jeżeli katoda jest podgrzewana (pośrednio lub bezpośrednio) to elektrony są emitowane na skutek zjawiska zwanego termoemisją. Natomiast lampy z zimną katodą emitują elektrony dzięki specjalnym materiałom (np. cez) wrażliwym na światło czy pole elektryczne.

W zależności od liczby elektrod lampy dzielimy na **diody** (2 elektrody), **triody** (3 elektrody), **tetrody** (4 elektrody), **pentody** (5 elektrod), heksody itd. W lampach o dużej mocy (powyżej 1 kW) lampy są chłodzone wodą lub powietrzem. W każdej lampie próżniowej oprócz elektrod znajduje się mała płytka z pochłaniaczem gazów (getterem). Zadaniem pochłaniacza jest poprawienie próżni przez chemiczne lub fizyczne wchłanianie resztek gazów. W lampach małej mocy pochłaniaczem jest bar, napylony na wewnętrzną ściankę bańki. Warstwa baru tworzy charakterystyczną lustrzaną plamę na ścianie. Dolna część bańki zakończona jest cokołem zawierającym wyprowadzenie elektrod lampy i grzejnika.

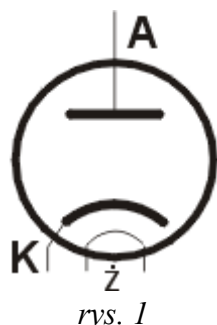
Dwa zdania na temat zastosowania.

Lampy są stosowane w układach prostowniczych (diody), w układach wzmacniających (triody, pentody), oraz w układach generacyjnych do wytwarzania drgań o różnych częstotliwościach. Lampy są również stosowane do przetwarzania sygnałów świetlnych na elektryczne (fotokomórki) i elektrycznych na świetlne (chyba wszyscy znamy - lampy kineskopowe w (starych) telewizorach, monitorach komputerowych CRT czy oscyloskopach

analogowych).

Diody, triody...

Dioda.



Została wynaleziona w Anglii w 1904 roku przez Johna A. Fleminga. On też pierwszy skonstruował prostownik z użyciem diody próżniowej. Jest lampą próżniową dwuelektrodową - ma katodę (K) i anodę (A) (*rys. 1*). Katoda jest podgrzewana dodatkowym grzejnikiem (lub sam grzejnik jest katodą). Gdy żarzenie katody jest wyłączone, to dioda jest izolatorem. Między katodą a anodą jest próżnia, przez którą nie przepływa prąd. Jeżeli przez grzejnik przepływa prąd, katoda także się rozgrzewa i następuje **termoemisja elektronów**.

Ciekawostką jest fakt, iż Thomas Alva Edison podczas prac nad swoją żarówką (koniec lat 70 XIX wieku) zauważył zjawisko termoemisji lecz nie potrafił tego praktycznie zastosować.

Katoda (K) jest otoczona chmurą elektronów wyrzuconych z katody w wyniku termoemisji, które, jeżeli do anody (A) przyłączymy napięcie, to w zależności od jego bieguna będą przyciągane do niej lub odpychane. Dodatnie napięcie na anodzie powoduje przyciąganie elektronów i w konsekwencji przepływ prądu pomiędzy katodą a anodą, a ujemne blokuje ich przepływ. Wartość prądu zależy od wartości napięcia na anodzie i od wydajności prądowej katody. Wydajność prądowa diody nie jest zbyt duża (w porównaniu do półprzewodników), rzędu dziesiątek, czy setek miliamper w zależności od typu lampy.

Z uwagi na jednokierunkowe przewodzenie prądu, diody są wykorzystywane w układach prostowniczych do zamiany prądu zmiennego na stały.

Istnieje wiele typów diod lampowych o różnych zastosowaniach, ale w układach audio stosuje się diody do prostowania napięcia anodowego, do zasilania lamp wzmacniacza (dioda prostownicza).

Konstrukcyjnie można podzielić lampowe diody prostownicze na dwa typy: z jedną anodą w bańce lampy lub dwiema anodami (duodioda).

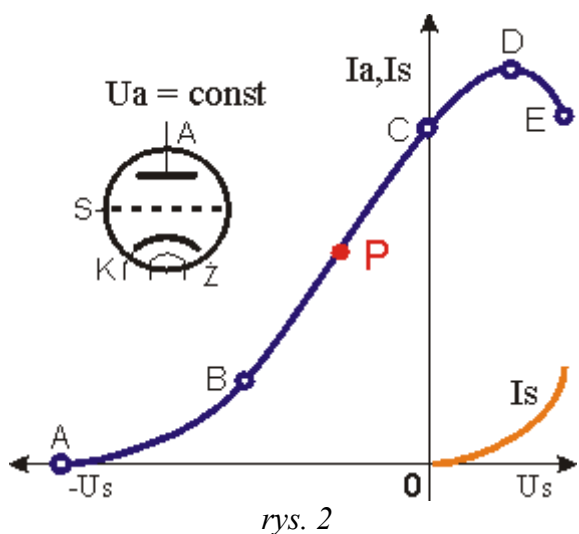
Dioda obecnie nie jest powszechnie stosowana, chociaż są producenci, którzy stosują ją nawet w wysokiej klasy wzmacniaczach lampowych.

Najczęściej zastępowana jest półprzewodnikowymi diodami prostowniczymi, które są o wiele sprawniejsze i mniej kłopotliwe w użyciu.



Na zdjęciu z prawej - duodiody prostownicze. Z tyłu, to rosyjska 5C3S z cokołem oktalowym, bliżej AZ1 z cokołem bocznostykowym. Stojąca to EZ81 z cokołem nowalowym.

Trioda.



Konstrukcja triod różni się od diody wprowadzeniem między anodę i katodę trzeciej elektrody, zwanej **siatką sterującą (S)** (rys 2). W większości triod siatka sterująca (S) ma postać spirali otaczającej katodę. Dzięki zastosowaniu siatki prąd anody zależy nie tylko od napięcia anody, ale i od napięcia siatki. Zazwyczaj siatka ma niewielki potencjał ujemny (kilkadzieciąt woltów) względem katody, natomiast anoda ma wysoki potencjał dodatni (kilkadzieciąt, kilkaset a nawet kilka tysięcy woltów) względem katody. Siatka działa odpychająco na chmurę elektronów, otaczających katodę. Jednakże przyciągające

pole elektryczne anody przenika przez zwoje siatki i wyciąga elektrony. Prąd anody zależy więc od gęstości nawinięcia siatki, od napięcia siatki i napięcia anody. Jest tym większy, im bliższe zeru jest ujemne napięcie siatki, im wyższe jest napięcie anody oraz im rzadsza jest siatka.

W triodzie małe zmiany napięcia siatki powodują duże zmiany prądu anodowego. I ta właściwość triody wykorzystywana jest do budowy wzmacniaczy.

Charakterystyka triody.

Podstawową charakterystyką opisującą działanie triody jest charakterystyka (statyczna, czyli bez obciążenia) **anodowo - siatkowa** (rysunek 2, powyżej). Pokazuje nam ona jak zmienia się prąd anody (I_a) przy zmianie napięcia siatki (U_s) przy **stałym napięciu anody**. Jak widzimy jest to krzywa która wznosi się bardziej lub mniej stromo (zależy to od lampy) by po przekroczeniu **napięcia siatki "zero"**, nieznacznie wzniesie się, a potem opadać. Co możemy odczytać z tej charakterystyki? Otóż widzimy, że przy pewnym, charakterystycznym dla danej lampy, ujemnym napięciu siatki prąd anody wynosi **0** (punkt A na krzywej). Związane jest to z hamującym działaniem siatki, która wtedy w pełni kompensuje oddziaływanie anody. Punkt ten nazywamy zatkaniem. Od punktu A do punktu B krzywa wznosi się łagodnie. Pomiędzy punktami B i C charakterystyka tworzy (prawie) prostą. Jest to tzw. liniowy odcinek charakterystyki, najczęściej wykorzystywany jako roboczy odcinek pracy wzmacniacza. Punkt D to obszar nasycenia, a opadający odcinek DE związany jest z szybkim wzrostem prądu siatki (I_s), która "podkrada" elektrony pędzące do anody. Dla każdej lampy ustala się kilka charakterystyk, dla różnych napięć siatki.

Jak wspomniałem roboczym odcinkiem triody jest prostoliniowy odcinek BC. Trioda

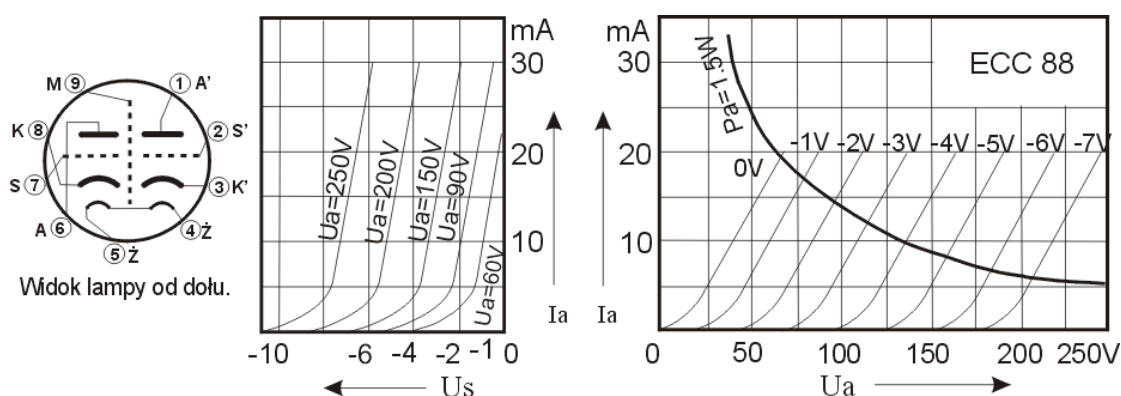


(wzmacniacz) pracuje wtedy w klasie **A**. Mamy wtedy najmniejsze zniekształcenia ale i małą sprawność wzmacniacza.

Zdjęcie z prawej - novalowe (9-nóżkowe), podwójne triody małej mocy, różnych typów i producentów.

Charakterystyki rodzinne.

Działanie triody opisują dwie charakterystyki: **siatkowa i anodowa**. **Charakterystyka siatkowa** została opisana wyżej. Natomiast **charakterystyka anodowa** opisuje wpływ zmian napięcia anody (**U_a**) na prąd anody (**I_a**) mierzony przy stałym napięciu siatki (**U_s**). Są to ważne charakterystyki, ponieważ pozwolą nam one ustalić punkt pracy wzmacniacza i dopuszczalną moc strat, której nie powinna przekroczyć lampka podczas pracy. Ponadto na podstawie charakterystyki lampy możemy ustalić wiele ważnych parametrów lampy. Dla lampy wyznacza się nie jedną charakterystykę, lecz całą rodzinę charakterystyk tak anodowych jak i siatkowych. Na rysunkach charakterystyki (tutaj przybliżone, dokładne w katalogach lamp) podwójnej triody ECC88).



Co nam mówią charakterystyki?

Pierwsza z lewej, **siatkowa** pokazuje jak zmienia się natężenie prądu anodowego (**I_a**) w zależności od zmian napięcia siatki (**U_s**) dla kilku wybranych napięć anody (w tym wypadku dla 5 napięć: 60 V, 90 V itd.) Prostoliniowa część charakterystyki jest najczęściej wykorzystywana w pracy triody jako wzmacniacza. Wstępna polaryzacja siatki (punkt **P**) dla napięcia anody 60V, została ustawiona na ok. -1V, tak że znajduje się mniej więcej w połowie prostego odcinka charakterystyki. Przez anodę płynie wtedy prąd o wartości ok. 10 mA (przykładowo). Jeżeli zastosujemy inne napięcia zasilania anody, wstępną polaryzację siatki możemy łatwo ustalić poprzez odczytanie wykresu (np. przykładając linijkę na wykres). Polaryzację siatki ustalamy za pomocą rezystora katodowego i upływowego siatki (patrz niżej).

Charakterystyka anodowa, odwrotnie, mówi nam jak będzie zmieniał się prąd anody gdy będziemy zmieniać napięcie na anodzie, przy stałej wartości napięcia siatki. Hiperbola (czerwona krzywa) mocy admissyjnej (**P_a**) wskazuje nam jaką bezpieczną moc możemy uzyskać przy danym napięciu anody. Wartości prądu leżące powyżej hiperboli są zabronione - prowadzą do szybkiego zużycia lampy. I tak np. dla napięcia 100V wartość prądu powyżej 15 mA powoduje przekroczenie dopuszczalnej mocy (1.5 W dla ECC88). Policzmy: $P = U \cdot I = 100V \cdot 0.015A = 1.5W$.

Są to charakterystyki statyczne, czyli dla lampy pracującej w typowym układzie, bez sygnału.

Do pracy z sygnałem zmiennym wykreśla się charakterystyki dynamiczne

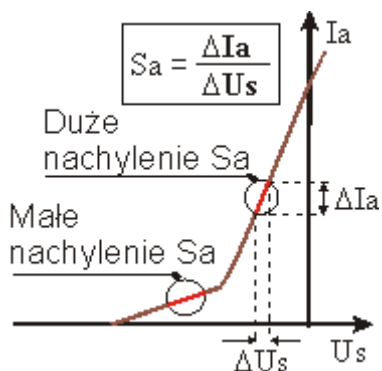
Pojemności triody.

W triodzie występują trzy pojemności międzyelektrodowe: pojemność siatka-katoda **C_{sk}**, pojemność anoda-katoda **C_{ak}** i pojemność anoda-siatka **C_{as}**. Pojemności międzyelektrodowe są jednym z czynników które decydują o granicznej górnej częstotliwości, na jakiej może pracować układ z triodą. Najbardziej szkodliwa jest pojemność **C_{as}**, ponieważ stanowi ona niepożądane pojemnościowe sprzężenie między obwodami siatkowym i anodowym, czasami prowadzące do sprzężeń (wzbudzeń). Wzmacniacz staje się wtedy generatorem. Pojemności te podane są w danych technicznych lamp.



Zdjęcie po prawej - rosyjska, podwójna trioda większej mocy 6N13S (6H13C), pierwotnie stosowana w stabilizatorach napięcia, obecnie chętnie stosowana we wzmacniaczach audio.

Podstawowe parametry triody.

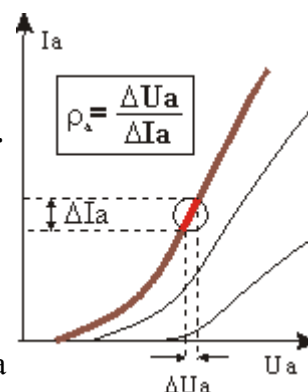


1. Nachylenie charakterystyki prądu anodowego S_a (transkonduktancja, w literaturze anglojęzycznej spotyka się oznaczenie "S") - rysunek z lewej - jest ważnym parametrem, wskazuje bowiem o ile miliamperów zmienia się prąd anodowy przy zmianie napięcia siatkowego o 1 volt, przy stałym napięciu na anodzie. Patrząc na charakterystykę siatkową na pierwszy rzut oka możemy zorientować się o jej wartości. Jeżeli krzywe wznoszą się "stromo" transkonduktancja jest wysoka. Jeżeli wznoszą się łagodniej - mała. Trioda o dużym nachyleniu charakterystyki jest bardziej "czuła", bowiem małe zmiany napięcia na siatce powodują duże zmiany prądu anodowego.

Nachylenie opisujemy wzorem: **$S_a = \Delta I_a / \Delta U_s$ (mA/V) dla $U_a = \text{const}$** (grecka litera D - delta - oznacza przyrost jakiejś wartości). Lampa ECC88 ma duże nachylenie, wynosi ono 12,5 mA/V.

Lampy (nie tylko triody) o dużym nachyleniu charakterystyki łatwo się wzbudzają, dlatego stosuje się je w układach generacyjnych.

2. Rezystancja wewnętrzna (dynamiczna) oznaczana grecką literą **r** (**r_o**), lub **R_i**. Pamiętamy prawo Ohma? Rezystancja (opór) jest to stosunek napięcia do prądu płynącego przez przewodnik. **$R = U/I$** . Podobnie jest z rezystancją lampy. Opór wewnętrzny lampy jest to stosunek przyrostu napięcia anody do przyrostu prądu anodowego, przy stałym napięciu siatki. **$r_a = \Delta U_a / \Delta I_a$** (kiloohmy). Jeżeli napięcie na siatce zmienia się, to i rezystancja lampy jest inna (stąd rezystancja



dynamiczna). Rezystancja wewnętrzna maleje ze wzrostem prądu anody. Dlatego producenci lamp podają ją dla jednej lub dwóch, najczęściej używanych napięć anody i siatki.

3. Współczynnik amplifikacji (wzmocnienia) K_a (m) wskazuje, ile razy silniej działa na prąd anodowy zmiana na napięcia na siatce, niż tak sama zmiana napięcia anodowego. $K_a = DU_a/DU_s$ przy $I_a = \text{const}$. Współczynnik wzmocnienia można także obliczyć znając rezystancję wewnętrzną i nachylenie charakterystyki bowiem $K_a = r_a \cdot S_a$. Jak widzimy K_a jest tym większy, im większe jest nachylenie charakterystyki, i im większa jest rezystancja wewnętrzna. Współczynnik K_a lampy ECC88 wynosi 33, przy rezystancji wewnętrznej 2,64 kiloomów. Pośród triod małej mocy największy współczynnik wzmocnienia ma lampa ECC83, wynosi on $K_a = 100$, przy rezystancji wewnętrznej 62.5 kiloomów. Osiągnięcie wyższych wartości jest niemożliwe, ponieważ w triodzie pole elektryczne anody oddziałuje na pole siatki, a prąd anody silnie zależy od napięcia anody (zerknij na charakterystykę anodową). Wady tej nie ma pentoda. Tutaj współczynnik $K_a = 6000$ przy rezystancji wewnętrznej 0.5 Megaomów, nie jest niczym szczególnym. Istnieje jeszcze parametr, który nazywa się **przechwytem (D_a)**, będący odwrotnością współczynnika amplifikacji. $D_a = 1/K_a = DU_a/DU_a$, dla $I_a = \text{const}$.

4. Moc admissyjna oznaczana przez P_a . Jest to moc dopuszczalna, jaka może być tracona w anodzie lampy. Po przekroczeniu wartości mocy admissyjnej anoda rozgrzewa się za bardzo i lampa ulega zniszczeniu. Dla każdej lampy producenci podają moc admissyjną, której nie możemy przekraczać. Oblicza się ją ze wzoru $P_a = U_a \cdot I_a$ (znamy to z lekcji fizyki). Zwróćmy uwagę na czerwona hiperbolę na charakterystyce anodowej powyżej. Dopuszczalne natężenie prądu anody I_a , dla danego napięcia anody obliczamy ze wzoru $I_a = P_a/U_a$, gdzie P_a to moc admissyjna podana przez producenta. Natężenie to powinno być takie, by moc obliczona przez nas znajdowała się połu poniżej hiperboli.

Równanie triody

Istnieje ścisła współzależność trzech parametrów lampy: wzmocnienia, nachylenia charakterystyki i oporu wewnętrznego. Zależność ta ujęta jest wzorem:

$K_a = r_a \cdot S_a$. Jest to tzw. równanie różniczkowe (wewnętrzne) lampy trójelektrodowej.

Równanie triody ma także zastosowanie do dwóch triod połączonych równolegle. Jakże ma to konsekwencje w praktyce?

Otóż, wzmocnienie stopnia K_a nie zmienia się, natomiast opór wewnętrzny r_a maleje o połowę. By równanie było prawdziwe, drugi parametr powinien wzrosnąć dwukrotnie. Jest nim w naszym równaniu **nachylenie charakterystyki S_a** , i tak w rzeczywistości jest. Ma to praktyczne zastosowanie - otrzymujemy korzystne obniżenie oporu wewnętrznego takiego zespołu dwóch triod i dwukrotne podniesienie nachylenia. Wraz ze zwiększeniem nachylenia może pojawić się problem, bowiem jeżeli użyjemy lampy o pierwotnym, dużym nachyleniu charakterystyki, połączone równolegle będą miały skłonność do wzbudzenia się. Można próbować z tym walczyć zwiększając wartość rezystora antyparazytowego (grid stopper), ale w skrajnych przypadkach musimy zrezygnować z tak czułych lamp i zastosować te, o mniejszym nachyleniu charakterystyki.

Z praktyki wiem, że takie problemy w niektórych układach sprawiają popularne ECC88 (i ich odpowiedniki), które mają nachylenie ok. 12,5 mA/V dla jednej triody, co po połączeniu równoległym da wynik 25 mA/V.

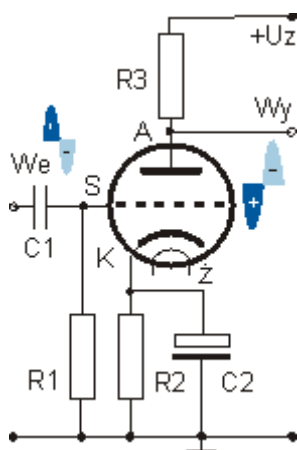
Triody we wzmacniaczach.

Wzmacniacze lampowe w istotny sposób różnią się do wzmacniaczy tranzystorowych. Mają dużą impedancję wejściową (jest to zaleta, bo nie obciążają źródła) i wyjściową (to już gorzej). Wzmacniacze lampowe są sterowane napięciem, natomiast we wzmacniaczach tranzystorowych potrzebna jest moc dla sygnału wejściowego (czyli, źródło powinno dawać napięcie i prąd). Wyjątek stanowią tranzystory unipolarne które są sterowane napięciem. We wzmacniaczu lampowym amplituda sygnałów jest duża a napięcie zasilania jest bardzo duże (czasem ponad 1000V!).

Wzmacniacz tak lampowy jak i tranzystorowy może pracować w trzech podstawowych układach: ze **wspólną katodą** (dla tranzystora - wspólnym emiterem), **wspólną siatką** (wspólną bazą) i **wspólną anodą** (wspólnym kolektorem).

Układy	Wspólna katoda (WK)	Wspólna siatka (WS)	Wspólna anoda (WA)
Schemat			
Wsp. wzmocnienia napięciowego $K_u = U_{wy}/U_{we}$ (m)	duży -m	duży m+1	~ 1 (m/1+m)
Wsp. wzmocnienia prądowego $K_i = I_{wy}/I_{we}$	duży	~ 1	duży
Impedancja wejściowa Z_{we}	duża	mała m razy mn. niż WK	bardzo duża (m razy niż WK)
Impedancja wyjściowa Z_{wy}	duża	b. duża	mała
Faza sygnału	odwrócona	zgodna	zgodna
Częstotliwość graniczna	średnia	bardzo duża	duża

Układ ze Wspólną Katodą.



Jest to najczęściej stosowany układ. Duże wzmocnienie napięciowe i duża impedancja wejściowa powodują że spotykamy go praktycznie w każdym stopniu wejściowym, w przedwzmacniaczach i wzmacniaczach małej mocy. Do niego odnoszą się charakterystyki - siatkowa i anodowa - w przypadku pracy bez sygnału (statyczne). Do pracy z sygnałem zmiennym wykreśla się charakterystyki dynamiczne.

Na rysunku przedstawiono układ wzmacniacza - stopnia wejścia. Sygnał zmienny podawany jest przez kondensator **C1** podawany jest na siatkę triody. Dla zapewnienia poprawnej pracy wzmacniacza siatka sterująca powinna być spolaryzowana ujemnym napięciem stałym. Polaryzacja powoduje że zawsze przez lampę (i tym samym

rezystory R2 i R3) płynie jakiś prąd. Przy stałym napięciu anody będzie on zależał od napięcia polaryzującego siatkę. Najczęściej polaryzacja siatki sterującej jest realizowana za pomocą rezystorów **R2** i **R1** - jest to tzw. minus automatyczny (cathode bias). Cechuje się on dobrą stabilizacją napięcia siatki, w znacznym stopniu niezależną od zmian warunków zasilania czy starzenia się lamp. W układach wzmacniacza mocy często stosuje się polaryzację siatki stałą, ze względu na większą, możliwą do uzyskania moc z triody.

(zobacz poniżej - "Polaryzacja siatki")

Kondensator elektrolityczny **C2** o pojemności 20-50 mikroF zwiera prąd zmienny do masy. Użycie tego kondensatora ma wpływ na pracę układu - kondensator **ZWIĘKSZA** współczynnik wzmocnienia, natomiast **ZMNIEJSZA** pasmo przenoszenia. Jeżeli usuniemy go, powstanie lokalne sprzężenie zwrotne, które poszerzy pasmo przenoszenia, zmniejszy ilość zniekształceń, lecz zmniejszy wzmocnienie. Wybór opcji zależy od konstruktora. Sygnał małej częstotliwości po dotarciu do siatki, moduluje napięcie siatki i tym samym zmienia się prąd anodowy. Na rezystorze obciążeniowym **R3** otrzymujemy wzmocniony, modulowany sygnał. Sygnał na wyjściu wzmacniacza (na anodzie) jest przesunięty w fazie o 180° w stosunku do sygnału wejściowego. Sterowanie siatkowe jest **sterowaniem napięciowym**, dlatego w obwodzie siatki sterującej nie płynie prąd sygnału małej częstotliwości (z pewnymi wyjątkami).

Jest to podstawowy układ pracy triody. Wzmacniacze, których obciążeniem jest rezystor, nazywa się **wzmacniaczami oporowymi**.

Podstawowe parametry układu WK dla 5 popularnych triod małej mocy, obliczone programem ECClab7. R1=470 kom, C2 = 50uF

ECC83 Ka lampy: 100 V/V, Rwew lampy: 62,5 kom Wzmocnienie układu: 57 V/V Oporność wyjściowa: 35 kom Pasma przen. (-3dB) 1,4Hz - 67 kHz Gdy: R2 - 1,5 k, R3 - 100 k	ECC81 Ka lampy: 60 V/V, Rwew lampy: 11 kom Wzmocnienie układu: 48 V/V Oporność wyjściowa: 9 kom Pasma przen.(-3dB) 1,5Hz - 220 kHz Gdy R2 = 1 k, R3 = 47 k	ECC82 Ka lampy: 17 V/V, Rwew lampy: 7,7 kom Wzmocnienie układu: 14 V/V Oporność wyjściowa: 6,5 kom Pasma przen. (-3dB) 1,5Hz - 900 kHz Gdy R2 = 1k, R3 = 47 k	6N8S (6SN7) Ka lampy: 20,5 V/V Rwew lampy: 7,7 kom Wzmocnienie układu: 17 V/V Oporność wyjściowa: 6,5 kom Pasma przen. (-3dB) 1,5Hz - 280 kHz Gdy: R2 = 1k, R3 = 47k	ECC88, E88CC Ka lampy: 33 V/V, Rwew lampy: 2,6 kom Wzmocnienie układu: 29 V/V Oporność wyjściowa: 2,3 kom Pasma przen. (-3dB) 1,5Hz - 1500 kHz Gdy: R2 = 0,5k, R3 = 20 k
---	---	--	---	---

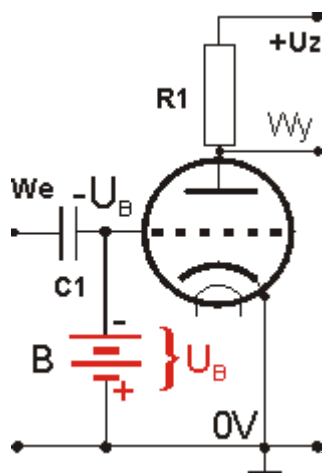
Polaryzacja siatki

By lampa zgodnie z założeniami przewodziła prąd o odpowiedniej wartości, jej siatka sterująca musi być spolaryzowana ujemnie (są wyjątki). Wartość tego napięcia zależęć będzie od rodzaju lampy i warunków w jakich lampa ma pracować (np. napięcia zasilania).

Praktycznie spotyka się dwa sposoby polaryzacji siatki:

- polaryzacja stała (fixed bias),
- polaryzacja automatyczna (cathode bias, self-bias)

Polaryzacja stała (fixed bias)



Najprostszym sposobem polaryzację stałą można uzyskać włączając pomiędzy siatkę a masę układu odpowiednią ilość ogniw stałych. Ze zrozumiałych względów nie praktykuje się tego. W praktyce właściwą, ujemną wartość polaryzacji uzyskuje się z oddzielnego uzwojenia transformatora zasilającego i prostownika.

Zalety takiej polaryzacji to:

- możliwość uzyskania dokładnej i odpowiednio niskiej wartości napięcia ujemnego bowiem niektóre lampy, szczególnie w stopniach mocy, wymagają napięcia siatki nawet do - 200 V,
- w układach z triodą w stopniu mocy, większa jest (czasem dwukrotnie) sprawność wzmacniacza w porównaniu do polaryzacji automatycznej, ze względu na brak strat mocy na rezystorze katodowym, którego w tym układzie po prostu nie ma.

Dodatkową zaletą jest brak kondensatora elektrolitycznego blokującego rezystor katodowy (jak w układzie auto bias), który zawsze wnosi jakieś przesunięcia fazowe sygnału, dlatego użycie go w torze audio traktuje się jak zło konieczne.

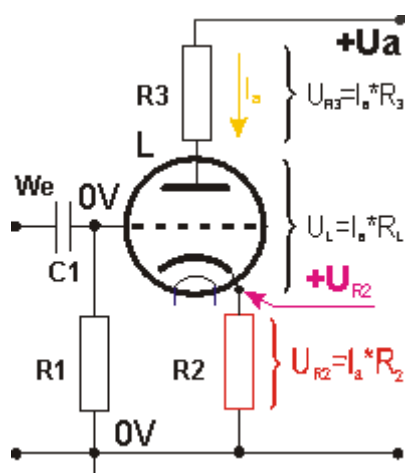
W trybie automatycznej polaryzacji siatki, by uzyskać wysokie ujemne napięcie siatki niezbędne do wysterowania triody w stopniu mocy, rezystor katodowy musi mieć dużą wartość, a tym samym tracona jest na nim duża moc (zob. temat poniżej **"Polaryzacja automatyczna"**). Stąd w takich konstrukcjach, bardziej ekonomicznym rozwiązaniem jest użycie polaryzacji stałej.

W stopniach małej mocy (np. przedwzmacniacze, inwertery itp.) stałą polaryzację siatki uzyskuje się nie z zewnętrznego źródła (zasilacza), ale pobierając napięcie z poprzedniego stopnia (jak w przykładzie nieco niżej - temat **"Bez polaryzacji?"**), lub uzyskując ją z dzielnika rezystorowego.

Producenci lamp, w kartach katalogowych lamp mocy, często podają moc wyjściową lampy (wzmacniacza) z podziałem na układ z polaryzacją stałą i automatyczną. I tak, w przypadku układu z triodą, moc wyjściowa (power output) jest przykładowo o 50% wyższa od mocy w układzie z polaryzacją automatyczną. W przypadku pentod i tetrod różnice są znacznie mniejsze. Zobaczcie na karty katalogowe lamp mocy, np. triody 2A3 czy tetrody, np 6L6, by się o tym przekonać.

Wadą polaryzacji stałej, oprócz nieco większych kosztów, jest skłonność do wystąpienia dryftu prądu anodowego lampy związanego ze starzeniem się lamp czy tp., co prowadzi do niestabilności punktu pracy. Tak więc, takie układy wymagają okresowej kontroli i regulacji napięcia.

Polaryzacja automatyczna (self-bias, cathode bias, autobias)



Częściej spotykanym rozwiązaniem jest polaryzacja automatyczna. Spotyka się ją tak w lampach przedwzmacniacza jak i w stopniach mocy, tak we wzmacniaczach single ended jak i push pull.

Jak to działa? Zobaczmy na rysunek obok:

Napięcie zasilające, $+U_a$, podawane jest na anodę lampy. Płynący prąd anodowy I_a , od plusa (umownie) zasilania wywołuje spadki napięcia na trzech elementach obwodu: na rezystorze R_3 , na rezystancji lampy (R_L) i na rezystorze katodowym R_2 . Spadki napięć te zależne będą wyłącznie od wartości rezystancji poszczególnych elementów obwodu anodowego, z tego względu, że prąd płynący przez te elementy jest jednakowy. Spadek napięcia na rezystorze katodowym R_2 powoduje, że katoda ma napięcie **dodatnie**

(+UR2) w stosunku do masy. Z tego wynika, że **masa** ma napięcie **niższe** niż katoda - czyli jeszcze inaczej, masa ma napięcie (bardziej) **ujemne w stosunku do katody**.

Jedno już ustaliliśmy - masa ma wprawdzie potencjał 0 (zero), ale liczony względem "samej siebie", natomiast liczony **względem katody** - ma potencjał niższy, czyli napięcie jest ujemne. Punkt odniesienia możemy sobie dowolnie ustalać i mierzyć względem niego potencjały - ***umownie przyjęto że masa ma potencjał zero.***

Pozostaje do wyjaśnienia rola rezystora R1. Jak wspomniałem kilkanaście wierszy powyżej ("Układ ze wspólną katodą"), w obwodzie siatki nie płynie prąd (no, prawie). Siatka jest sterowana tylko napięciem.

Jeżeli w jakimś obwodzie **nie płynie** prąd, to dowolne punkty połączone rezystorem (o dowolnie dużej wartości) mają **takie same potencjały** (nie płynie prąd, więc nie ma spadku napięcia na rezystorze). Z tego wynika, że jeżeli **siatkę** połączymy rezystorem o dużej nawet wartości z masą układu, to jej potencjał będzie wynosił zero. Jak wiemy, potencjał zero jest bardziej **ujemny** względem **katody** lampy o wartość UR_2 , więc jest tak, jakbyśmy siatkę zasilali napięciem ujemnym $-UR_2$. Proste?

Zalety:

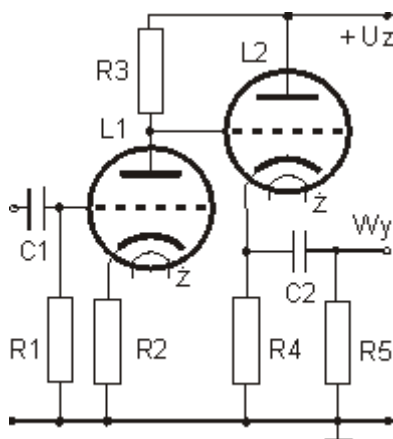
- prostota i taniość układu,
- dobra stabilizacja napięcia siatki. Gdy z jakiegoś powodu (np. zmiana napięcia anodowego, starzenie się lampy) prąd anodowy ulegnie zwiększeniu, to spadek napięcia na rezystorze katodowym zwiększy się, (i tym samym na siatce), co spowoduje ograniczenie prądu anodowego - i odwrotnie. Jak widzimy daje to efekt stabilizacji - sprawdź na charakterystyce siatkowej tę zależność (powyżej).

Wady:

- strata mocy na rezystorze katodowym. Nie jest to dokuczliwe w lampach małej mocy, natomiast lampy mocy mają duży prąd anodowy i z reguły wymagają dużych, ujemnych napięć siatki (szczególnie triody), co powoduje znaczne straty na tych rezystorach - czasem kilkadziesiąt wat.
- zmienne napięcie (wzmacniany sygnał użyteczny) jest osłabiane na rezystorze katodowym, co powoduje zmniejszenie wzmacnienia stopnia. Z tych powodów R2 musi być zablokowany kondensatorem o dość dużej pojemności, by przenosić bez strat niskie częstotliwości (zob. rysunek powyżej "Układ ze wspólną katodą"). Każdy kondensator, a elektrolityczny w szczególności, w torze sygnałowym jest złem koniecznym ze względu na przesunięcia fazowe i zniekształcenia sygnału.

Rezystor R1 ma zwykle wartość od 100 k do 1 M. Mniejsza wartość będzie obciążać źródło sygnału, zbyt duża powoduje, że będą słyszalne szумы termiczne rezystora. Rezystor katodowy R2 ma wartość od kilkudziesięciu omów do kilku kiloomów. W lampach małej mocy ma małą moc, natomiast w lampach mocy, gdzie prądy są duże, jego moc może wynosić od kilku do nawet kilkudziesięciu wat.

Bez polaryzacji?



Na rysunku obok widzimy układ w którym brak jest rezystorów polaryzujących siatki lamp L1 i L2. Czy aby na pewno? Polaryzacja lampy L1 jest zapewniona przez rezystor R2 i potencjometr P.

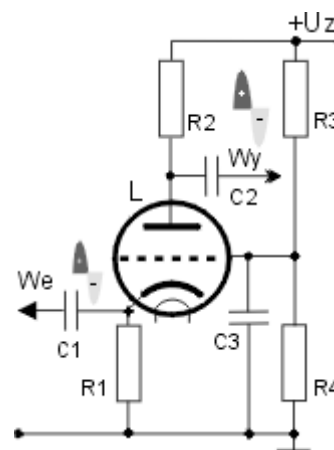
A jak jest spolaryzowana siatka lampy L2? Prosto - rezystor katodowy drugiej lampy (R4) ma dużo większą wartość (np. 40 k) niż rezystor katodowy (R2) lampy pierwszej (np. 1 k), na tyle dużą by powstały na nim spadek napięcia był większy od sumy spadków napięć powstałych na rezystorze R2 i oporze wewnętrznym lampy L1. Na rysunku widzimy, że rezystor katodowy R2 daje spadek napięcia +4 V, a lampa L1 + 50 V, co na wyjściu (anodzie) tej lampy daje napięcie +54 V względem masy. Rezystor R4 ma taką wartość, że powstały

na nim spadek napięcia jest większy niż na anodzie lampy L1 o 6 V (w tym wypadku jest to +60 V). Ponieważ siatka lampy L2 jest zasilana bezpośrednio z anody L1, różnica napięć pomiędzy katodą a siatką L2 wynosi -6 V ($60 - 54 = 6$ V), co właśnie spełnia wymagania zasilania ujemnym napięciem tego typu lamp.

Układ ze wspólną siatką.

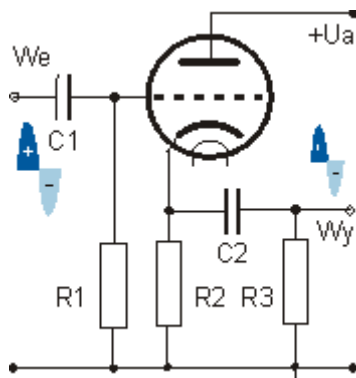
Układy ze wspólną siatką, charakteryzuje się niską impedancją wejściową i wysoką wyjściową. Kondensator C3 uziemia siatkę (dla prądów zmiennych). Uziemiona siatka izoluje anodę od katody, co uzasadnia do stosowania w układach wysokiej częstotliwości.

Mimo ograniczeń (niska impedancja wejścia, wysoka wyjścia) układ ze wspólną siatką można spotkać także we wzmacniaczach małej częstotliwości jako odwracacz fazy lub w układzie zwanym katodyną.



Rys. z prawej - układ z uziemioną siatką. Siatka spolaryzowana za pomocą rezystorów R3 i R4.

Układ ze wspólną anodą (wtórnik)

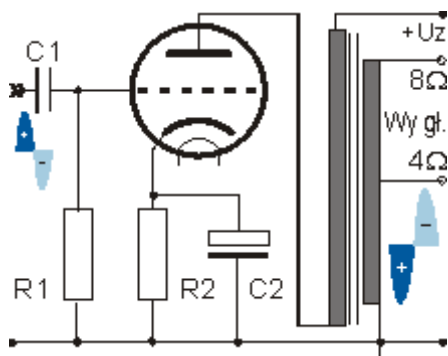


Układ ze wspólną anodą nazywany jest przekornie **wtórnikiem katodowym**. W układzie tym anoda jest dla składowych zmiennych zwarta poprzez źródło zasilania do masy. Współczynnik wzmocnienia wtórnika jest nieco mniejszy od jedności. Faza sygnału wyjściowego jest zgodna z fazą sygnału wejściowego. Impedancja wejściowa wtórnika jest duża, praktycznie równa **R1**. Rezystory **R1** i **R2**, podobnie jak w poprzednim układzie, służą do ustalania punktu pracy wtórnika (napięcia polaryzacji siatki). Aby poprawić pracę wtórnika przy ujemnych impulsach stosuje się czasami przesunięcie punktu pracy w kierunku dodatnich napięć, poprzez np. włączenie

rezystora pomiędzy siatkę a zasilanie anody. Natomiast impedancja wyjściowa jest bardzo mała i wynosi: $R_{wy} = 1/S_a$ (np. dla lampy ECC88, która ma $S_a = 12.5 \text{ mA/V}$, rezystancja wyjściowa wynosi 80 omów). W ten sposób wtórnik katodowy stanowi jak gdyby transformator impedancji z wysokiej na niską. Współczynnik wzmocnienia prądowego wtórnika jest bardzo duży. Ze względu na swoje właściwości wtórnik katodowy znalazł zastosowanie jako wzmacniacz wstępny, separator i wzmacniacz mocy.

Na rysunku brak kondensatora elektrolitycznego zwierającego R2, co świadczy o zastosowaniu lokalnego sprzężenia zwrotnego. Zastosowanie tego kondensatora da efekty jak w układzie ze wspólną katodą, ale wzmocnienie i tak nie będzie większe niż 1.

Trioda w stopniu mocy.



Triody mogą pracować tak w stopniach przedwzmacniaczy jak i w stopniach mocy. Wprawdzie w stopniach mocy popularniejsze są tetrody i pentody, ale triodowe wzmacniacze single ended czy przeciwobne, pracujące w czystej klasie A są chętnie nabywane nie tylko przez audiofilów.

Ze względu na pracę na liniowej części charakterystyki, mimo niskiej sprawności takich układów, wzmacniacze takie oferują czysty dźwięk o niskich zniekształceniach.

(Na rysunku - układ triody mocy, Single Ended, z obciążeniem transformatorowym. Siatka spolaryzowana automatycznie)

Wielka, mała czwórka czyli triody małej mocy.

Podwójne triody małej mocy serii ECC zdobyły dużą popularność w układach audio.

Najbardziej znane to **ECC 81, 82, 83**. Ich odpowiednikami amerykańskimi są 12AT7, 12AU7, i 12AX7. Posiadają wersje specjalne, militarne, o różnych wyprowadzeniach, napięciach żarzenia i oznaczeniach. Wspólne są charakterystyki siatkowe i anodowe.

ECC81.

Mała szklana bańka, wyprowadzenia typu noval (9 nóżek). Napięcie żarzenia 6.3V lub 12.6V przy połączeniu szeregowym. Posiada wysoki współczynnik wzmocnienia (ok. 60), może być zastosowana jako wtórnik katodowy. Ma dość niski poziom szumów i lepiej niż ECC83 przenosi wysokie częstotliwości. Jest dość łatwa doysterowania. Nie ma dobrej liniowości.

Zbliżonym odpowiednikiem jest ECC85, ma jednak inne wyprowadzenia. Odpowiedniki to: 12AT7, B152, 6201, E81CC i inne.

ECC82.

Różni się od poprzedniczki innymi odległościami pomiędzy elektrodami i skokiem siatki, w celu uzyskania innej charakterystyki. Może pracować jako stopień sterujący (driver) o małej impedancji. W pojedynczym stopniu osiąga wzmocnienie ok. 17 razy. Dostarcza stosunkowo duży prąd przy niskim napięciu anodowym. Chętnie wykorzystywana jako wtórnik katodowy w sytuacji, gdy potrzebna jest moc do wysterowania stopnia wyjściowego.

Lampa ta powstała jako zminiaturyzowany odpowiednik lampy 6SN7, o zmniejszonym mikrofonowaniu w porównaniu do pierwowzoru. Cokół 9-nóżkowy (noval).

Novalowe odpowiedniki to: 12 AU7, 6189, B329, CV491, E82CC i inne.

ECC83.

Najczęściej używana trioda małej mocy. Ma duży współczynnik wzmocnienia (70 - 100) Doskonale nadaje się do stopni, gdzie wymagane jest duże wzmocnienie. Dobrze nadaje się do rozdzielania fazy o sprzężeniu katodowym, zapewnia dobrą równowagę faz. Ma dobrą liniowość i dość dużą impedancję wewnętrzną (62,5 kiloomów). ECC83 są synonimem brzmienia lampowego.

Odpowiedniki: 12AX7, 6N2P (rosyjska), 7025, 6CC41, B339, E83CC i inne.

6SN7.

Obok ECC83 najbardziej popularna lampa stosowana w układach audio. Posiada szklaną bańkę oprawioną w cokole i 8 wyprowadzeń (oktal). Jest starszą konstrukcją. Ma umiarkowane wzmocnienie (20), lecz najbardziej liniową charakterystykę. Doskonale nadaje się do wzmacniaczy pracujących w klasie A. Ma małe szумы i stosunkowo niewielką skłonność do mikrofonowania.



*Zdjęcie z prawej - rosyjski odpowiednik słynnej 6SN7, czyli lampa **6N8S (6H8C)**. Posiada zbliżone parametry i wygląd. Cokół oktalowy.*

Poniżej podaję zestawienie najważniejszych parametrów **podwójnych triod małej mocy**. Te parametry mogą się nieco różnić, w zależności od producenta lampy.

Typ lampy	ECC81	ECC82	ECC83	ECC85	ECC88	ECC86	6SN7 (6N8S)	6N1P	6N6P
Napięcie żarzenia (V)	6,3/12,6	6,3/12,6	6,3/12,6	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Prąd żarzenia (A)	0,3/015	0,3/015	0,3/0,15	0,45	0,365	0,3	0,6	0,6	0,75
Napięcie anody (typowe) U_a	250V	250V	250V	250V	90V	6,3V	250V	250V	120V
Prąd anody I_a (mA)	10	10,5	1,2	10	15	0,9	9	ok.8	28
Napięcie siatki U_s (V)	-2	-8,5	-2,0	-2,7	-1,3	-0,4	-8	-5	-2
Wsp. wzmocnienia m	55	17	100	58	33	14	20	35	22
Nachylenie K_a (mA/V)	5,5	2,2	1,6	6,1	12,5	2,6	2,5	ok.5	11
Rezystancja	10	7,7	62,5	9,7	2,6	5	7,7	ok. 7	1,8

wewnętrzna R_a (kiloohmy)									
Moc anodowa (W)					1,8				4,8

Triody mocy

Triody w stopniu końcowym mimo gorszych osiągnięć niż pentody, często są stosowane. Wzmacniacze triodowe mają opinie lepiej grających. Wzmacniacze triodowe nie muszą być słabowite, chociaż okupione jest to z reguły większym skomplikowaniem konstrukcji, ponieważ dla zwiększenia mocy łączy się wiele lamp równolegle, znacznie podnosi napięcie zasilania, lub stosuje mocne (i drogie) lampy. Stosuje się też, mimo pewnych wad, polaryzację stałą triody, ponieważ daje ona większą moc wyjściową (mniejsze straty mocy na grzanie rezystorów katodowych) w porównaniu do polaryzacji automatycznej.

"Klasyczne" triody stosowane we wzmacniaczach audio mają żarzenie bezpośrednie i do ich wystawiania potrzeba sygnału sterującego siatkę rzędu setek V i wyższych napięć anodowych. Konstrukcja dobrego wzmacniacza na triodach wymaga pewnego doświadczenia, mimo pozornie, prostego schematu.

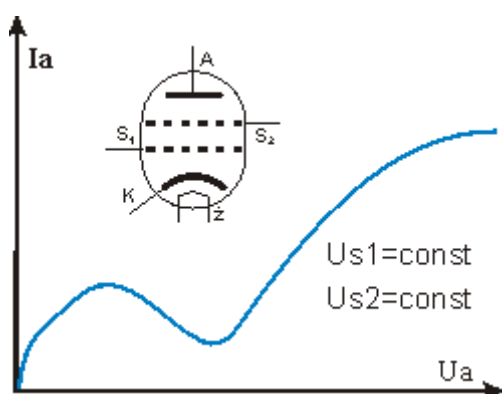
Znane triody to: **2A3, 211, 300B, 6B46, 6S4S, 845.**

Wśród hobbystów popularnością cieszą się konstrukcje wykonane na mniej wymagających, niskonapięciowych triodach, pierwotnie stosowanych w stabilizatorach napięcia, ale dobrze sprawdzających się we wzmacniaczach audio. Najbardziej chyba znane, to: podwójna trioda **6GAS7G, 6080**, czy rosyjska **6N5S** lub **6N13S** (zdjęcie powyżej).

Pojedyncza, rosyjska trioda **6S33S (6C33C)**, ze względu na swój wygląd zwana "diabełkiem", ma liczne grono zwolenników. Jest to wybitnie prądowa (do 500 mA) trudna do ustabilizowania, lampa, ale dobrze skonstruowany wzmacniacz na tych lampach cieszy ucho łagodnym i szczegółowym dźwiękiem.

Wadą jest wydzielanie dużych ilości ciepła, ale za to zimą nie musimy dogrzewać pokoju w którym słuchamy muzyki... :).

Tetroda



przykłada się duży potencjał dodatni. Wprowadzenie tej siatki daje zmniejszenie pojemności **Cas**, zwiększenie współczynnika amplifikacji **Ka** i rezystancji wewnętrznej **ra**.

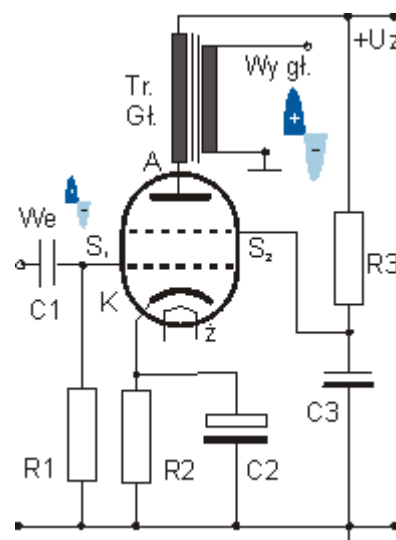
Niepożądanym efektem w tetrodzie, w przypadku napięcia anodowego niższego od potencjału siatki drugiej, jest efekt emisji wtórnej elektronów z anody, które na wskutek większego potencjału siatki ekranującej są przez nią wychwytywane. Powoduje to w pewnym obszarze malenie prądu anodowego ze wzrostem napięcia anodowego i dużą nierównomierność charakterystyki (tzw. *efekt dynatronowy - zobacz z lewej*). Efekt dynatronowy można usunąć projektując specjalną konstrukcję elektrod. Lampy o takiej, specjalnej konstrukcji elektrod nazywane są tetrodami wiązkowymi lub strumieniowymi. W lampie takiej tworzy się ładunek przestrzenny o dużej gęstości w obszarze anoda-siatka ekranująca, który przeciwdziała trafilaniu elektronów wtórnych, wybitych z anody, na siatkę ekranującą. W takiej lampie załamanie charakterystyki anodowej jest minimalne. Pojemność przejściowa tetrod strumieniowych jest stosunkowo duża (0,3 - 1 pF), współczynnik amplifikacji **Ka** jest niewielki (rzędu 100 V/V) a rezystancja wewnętrzna **ra** nie przekracza dziesiątków kiloomów.

Tetrody małej mocy znajdują zastosowanie dla pracy w wysokich częstotliwościach, do granicy 1000 MHz. Tetrody strumieniowe, o dużej mocy, najczęściej stosuje się we wzmacniaczach mocy, w stopniu wyjściowym, gdzie obciążeniem jest transformator głośnikowy. Rezystory R1 i R2 automatycznie ustalają punkt pracy (cathode bias), natomiast R3 i C3 polaryzują siatkę ekranującą S3. Oczywiście, zamiast polaryzacji automatycznej można zastosować polaryzację stałą (zob. strona "O lampach cz. III). Kondensator C2 zwiera do masy sygnał zmienny, zwiększając wzmocnienie stopnia.

(Na rysunku z prawej- podstawowy układ tetrody mocy z obciążeniem transformatorowym).

Stare ale jare.

Jak wspomniałem w poprzedniej części, triody mają pewne ograniczenia: współczynnik wzmocnienia nie wyższy niż 100, niezbyt dużą rezystancję wewnętrzną. Prąd anody silnie zależy od napięcia anody, dlatego że pole elektryczne oddziałuje na pole siatki. Chęć zwiększenia współczynnika amplifikacji i lepszej izolacji anody lampy od jej katody stała się powodem wprowadzenia przez Waltera Schottky'ego w 1915 roku (niektóre źródła podają że w 1919 r.) do triody drugiej siatki, ekranującej, na którą



Najbardziej znana tetroda to **6L6**, pierwotnie o mocy 19 W mocy, miała stalową bańkę. Późniejsza jej odmiana **6L6GC** o szklanej bańce miała już moc 30 W. Nadal jest używana, także w drogich wzmacniaczach McIntosha i Rogersa. Współczesny odpowiednik to rosyjska lampa **Sovtek 5881**.

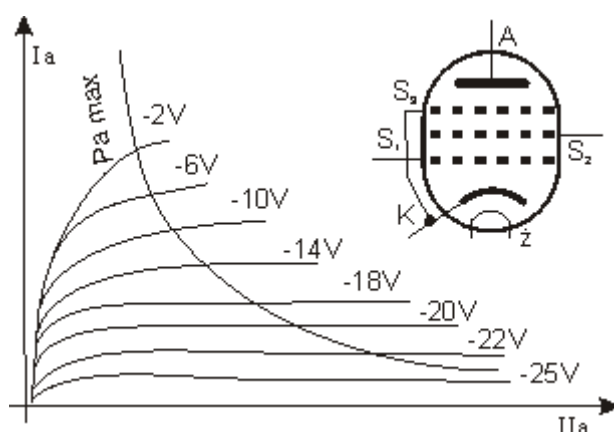
Inne tetrody to **7581**, **6550C**, **EL 37** a także **KT 66**. Charakter brzmienia tetrod jest różny, zależnie od typu. Ogólnie jest bardzo słodki, otwarty i czysty.

Niektóre lampy mają konstrukcję na pograniczu tetrody strumieniowej i pentody, tzn. mają pięć elektrod, lecz pracują jak tetroda (**KT 66**, **KT 77**, **KT 88**).

*Po prawej - rosyjska tetroda mocy **6P3S**. Uważa się, że jest to przybliżony odpowiednik lampy 6L6-GT. Tetroda ta była produkowana tak w Związku Radzieckim, jak i w Polsce (pod nazwą 6P3S przez Telam, Dolam i ZWLE).*

Pentody

Pentoda.



Zasadniczą jednak poprawę własności tetrody uzyskuje się przez wprowadzenie trzeciej siatki (hamującej) między anodę i drugą siatkę i połączenie jej z katodą, najczęściej wewnątrz lampy. Powstała w ten sposób pentoda (Jobst w 1926 roku) odznacza się doskonałymi właściwościami wzmacniającymi, bardzo małą pojemnością anoda - siatka pierwsza (**Cas** 0,002 - 0,05 pF) i wysoką opornością wewnętrzną **ra** (1 - 2 MW). Współczynnik amplifikacji **Ka** ma wartość dziesiątki razy większą niż trioda

(1000 i więcej).

W pentodzie siatka pierwsza leżąca najbliżej katody jest siatką sterującą. Siatka druga ma duży, stały potencjał dodatni. Dzięki temu, że potencjał siatki drugiej jest stały, pole elektryczne w pobliżu katody zależy tylko od napięcia siatki pierwszej. Oznacza to, że **siatka druga ekranuje** (osłania) katodę i siatkę pierwszą od wpływów anody. Elektron-y przepuszczone przez siatkę pierwszą są przyciągane przez siatkę drugą i nabierają coraz większej prędkości. Większość z nich przelatuje przez otwory siatki drugiej dostając się w pole przyciągania anody. Anoda ma zwykle potencjał wyższy od potencjału siatki drugiej. W związku z tym elektrony są dalej przyspieszane i uderzają w anodę z dużą prędkością, wywołując emisję wtórną elektronów z anody. Zmniejsza to prąd anody w lampie czteroelektrodowej (**tetrodzie**), ponieważ elektrony wtórne dobiegają do siatki drugiej. Dlatego w pentodzie jest siatka **trzecia**, połączona z katodą (a więc o potencjale zerowym). Dzięki temu pomiędzy siatką trzecią a anodą istnieje pole elektryczne hamujące elektrony wtórne wylatujące z anody. Elektrony te są zwracane do anody i prąd anody nie ulega zmniejszeniu.

Nachylenia charakterystyk siatkowych triody i pentody są podobne, natomiast rezystancja wewnętrzna pentody **ra** jest kilkanaście a nawet kilkadziesiąt razy większa od rezystancji triody (dzięki osłonięciu siatki sterującej od wpływu pola anodowego). Wynika stąd, że

współczynnik wzmocnienia pentody jest wyższy (pamiętamy? $K_a = S_a \cdot r_a$).

Charakterystyki anodowe pentody (rys. powyżej) różnią się od charakterystyk triody. W przeciwieństwie do triody, charakterystyki anodowe pentody mają charakterystyczne nasycenie - przy dużych zmianach napięcia anody U_a , prąd anody I_a , w zakresie nasycenia prawie się nie zmienia. Nasycenie to występuje dzięki ekranującemu działaniu siatki drugiej. Przy stosowaniu pentody jako wzmacniacza odcinkiem roboczym charakterystyki anodowej jest poziomy, płaski odcinek charakterystyki, bowiem dla tego zakresu wielkości r_a i K_a mają wartości największe. Charakterystyki anodowe są charakterystykami podstawowymi. Według nich określamy warunki pracy lampy. Charakterystyki siatkowe stosuje się rzadziej. Ponieważ w pentodzie zmiana napięcia anodowego nie wpływa na prąd anodowy, to charakterystyki siatkowe wykonane przy różnych napięciach U_a praktycznie się nie różnią. Różnią się natomiast charakterystyki siatkowe wykonane przy różnych napięciach na siatce ekranującej. We wzmacniaczach mocy pentody używane są najczęściej w stopniu końcowym. Mają one z reguły mniejszą rezystancję wewnętrzną (rzędu kilku kiloomów) od pentod napięciowych. Nachylenie charakterystyki pentod mocy jest rzędu kilku miliamperów na volt.

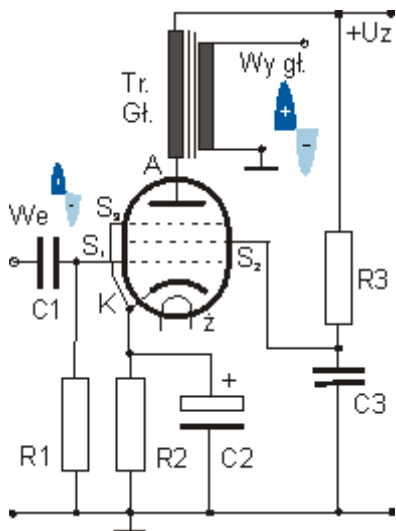
Jakie są zalety pentody?

1. Bardzo duża rezystancja anody,
2. Liniowość pentody jest dużo lepsza niż tetrody,
3. Napięcie U_a anody może bardziej zbliżyć się do zera niż w przypadku triody, więc napięcie wyjściowe może osiągnąć większe poziomy - sprawność pentody jest dużo wyższa.



Zdjęcie z prawej - rosyjska 6N14P i EL84 - popularne pentody średniej mocy, powszechnie używane jako lampy wyjściowe w telewizorach, radioodbiornikach, i innych lampowych urządzeniach, gdy lampy elektronowe powszechnie królowały.

Wady?



Wprowadza zniekształcenia - harmoniczne w niej powstające są głównie nieparzyste (w przeciwieństwie do triody) które ludzki słuch odbiera jako bardziej przykre niż harmoniczne parzyste. Dlatego też układy z pentodami muszą mieć dokładniej niż w przypadku układów triodowych zaprojektowane tory redukcji zniekształceń (pętle sprzężenia zwrotnego). Drugą wadą pentody są większe szумы własne - od 6 do 14 dB większe niż w triodzie. Wynika to z bardziej złożonego kierowania strumieniem elektronów między elektrodami, przez co ich ruch jest bardziej skomplikowany. W efekcie szum generowany przez pentodę jest szumem różowym, który jest szczególnie irytujący dla naszych uszu. (Na rysunku z lewej -podstawowy układ pracy pentody z obciążeniem transformatorowym. Polaryzacja siatek podobnie

jak w tetrodzie - zobacz powyżej)

Pentod, podobnie jak tetrod praktycznie nie używa się w stopniach wejściowych wzmacniaczy Hi-Fi (choć amerykańscy producenci nie odzégnują się od nich). Chętnie natomiast wykorzystane są pentody mocy w stopniach wyjściowych, jako elementy wzmacniające o dużej sprawności.

Tak pentody jak i tetrody mocy mogą pracować w układzie single ended (SE), jak i przeciwsobnym (PP, push-pull).

Mocne lampy.

Jedną z częściej używanych pentod mocy jest **EL34**, (odpowiednik **6CA7**) opracowana przez Philipsa i Mullarda. Początkowo były wykorzystywane w "piecach" gitarowych i one przeszły do historii jako "lampowy Rock" Przy napięciu 800 V i w czystej klasie B, pracując w układzie przeciwsobnym EL34 mogą dostarczyć moc do 100 W. W układach Hi-Fi są cenione jako lampy o ciepłym brzmieniu, z silnym basem i słodkimi sopranami. Dobrze wykonany wzmacniacz z EL 34 może być synonimem muzykalności wzmacniaczy lampowych.

Inne pentody które znajdują zastosowanie we wzmacniaczach to słynna 11-watowa **EL84 (6BQ7)**, mocniejsze **EL 156**, i **KT 88**.

KT88 może pracować jako tetroda strumieniowa, jej przybliżonym odpowiednikiem jest **6550**. Oryginalne KT88 pochodzą z Wielkiej Brytanii z firmy GEC, obecnie rzadko spotykane.

W ostatnich latach lampy i wzmacniacze lampowe przeżywają renesans. Wielu producentów lamp wznowiło produkcję, pojawiły się nowe marki - często rebrandowane (czyli sprzedawca zamawia lampy pod własną marką).



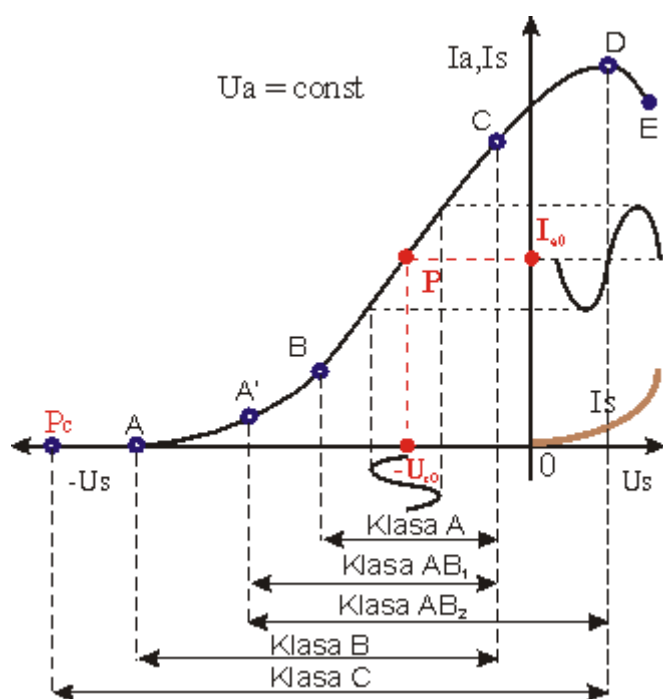
Z prawej - popularna **EL34**.

Moce wyjściowe lamp mocy

Podane wartości maksymalne w watach, mocy ciągłej czyli RMS.

Lampa	Single-ended klasa A	Push-pull klasa A	Push-pull klasa AB1 stała polaryzacja	Push-pull klasa AB1 polaryzacja katody	Moc wydzielana na anodzie
EL 34	11	20 (Ultralinear)	54		25
KT 88			100 (UI)	50 (UI)	35
6550	20				
6L6 GC	11	17,5	55		30

Od klasy do klasy, czyli klasy wzmacniacza (nie tylko lampowego).



Pamiętamy charakterystykę siatkową triody z części I? Otóż, jeżeli tak ustalimy napięcie na siatce sterującej (np. za pomocą automatycznego minusa), że punkt pracy wzmacniacza wypadnie w połowie prostoliniowego odcinka **BC** charakterystyki, to sygnał zmienny podany na wejście zostanie wzmocniony bez zniekształceń. Mówimy, że wzmacniacz pracuje w klasie **A**. Zauważmy: wstępna polaryzacja siatki U_{s0} (czy prądu bazy we wzmacniaczach tranzystorowych) ustala nam punkt pracy i jednocześnie powoduje, że przez wzmacniacz cały czas płynie prąd anodowy I_{a0} (czy kolektora w układach tranzystorowych). Sygnał zmienny moduluje ten prąd i otrzymujemy wzmocniony zmienny sygnał. To, że przez cały czas pracy wzmacniacza

płynie prąd spoczynkowy jest wadą; wzmacniacz grzeje się bez względu na to czy wzmacnia sygnał czy "ciszę" i moc jest niepotrzebnie tracona. Jest to przyczyną niskiej sprawności wzmacniaczy **klasy A**, tak lampowych jak i tranzystorowych.

Lepszą sprawnością charakteryzuje się taki wzmacniacz, któremu przesuniemy punkt pracy tak, aby sygnał wejściowy "zahaczał" o krzywoliniową część charakterystyki. Przy małych amplitudach sygnału wejściowego, wzmacniacz pracuje w klasie **A**, czyli bez zniekształceń, by przy większej oddawanej mocy przejść do klasy **B** (klasy **AB1** i **AB2**). Powstają pewne zniekształcenia sygnału, lecz wzmacniacz ma większą sprawność. Większość wzmacniaczy tak lampowych jak i tranzystorowych pracuje w tej klasie.

W czystej **klasie B** pracują wzmacniacze przeciwsołbne. Wzmacniana jest wtedy tylko jedna

połówka sygnału. Napięcie **Us0 (czyli punkt pracy)** ma wartość punktu odcięcia **A** (*patrz rys z lewej*). Drugą połówkę wzmacnia druga lampa (tranzystor) połączona przeciwsobnie. W ten sposób obie lampy, naprzemiennie wzmacniają cały sygnał. Jest to stosunkowo dobry sposób na uzyskanie w miarę wiernego sygnału przy oddawanej dużej mocy użytecznej. Sprawność takiego wzmacniacza wynosi 65 - 78%. W tej klasie teoretycznie powinna pracować większość współczesnych wzmacniaczy końcowych (mocy) tak tranzystorowych, jak i lampowych. Ale w praktyce stosuje klasę AB, o mniejszej lub większej polaryzacji wstępnej. Jest to rozwiązanie bardziej korzystne dla jakości dźwięku, ponieważ problemem jest uzyskanie jak najmniejszych zniekształceń przy przejściu sygnału przez 0, gdy wzmacniacz pracuje w klasie **B**. Powstają wtedy zniekształcenia "skrośne". W klasie B pracują zwykle wzmacniacze estradowe, gdzie ważna jest sprawność i moc, natomiast wartość zniekształceń nie ma tak decydującego znaczenia.

Istnieją jeszcze wzmacniacze pracujące w **klasie C**. Punkt pracy takiego wzmacniacza leży w lewo od punktu odcięcia A (zobacz punkt **Pc** na charakterystyce). Charakteryzują się one największą sprawnością lecz dużymi zniekształceniami. Nie używa się ich we wzmacniaczach audio, lecz np. generatorach, nadajnikach czy układach alarmowych gdzie potrzebna jest duża moc a nieważne są zniekształcenia.

Klasa pracy wzmacniacza	Klasa A	Klasa AB	Klasa B	Klasa C
Sprawność	mała	średnia	duża	największa
Zniekształcenia	małe	niezbyt duże	duże	największe
Zastosowanie	wzm. napięcia prądu stałego i zmiennego, wzmacniacze mocy.	wzmacniacze mocy - przeciwsobne	wzmacniacze mocy - przeciwsobne	wzm. mocy w generatorach i nadajnikach
Amplituda sygnałów wejściowych ze względu na zniekształcenia	mała	dość duża	duża	największa

Pchaj i ciągnij pojedynczo.

Pracę wzmacniacza mocy (konstrukcję) możemy podzielić jeszcze na pracę **sinle-ended, push-pull i ultralinear**.

Praca **single-ended** (pojedynczo na końcu - tak by to można przetłumaczyć) polega na tym, iż w stopniu wyjściowym pracuje jedna lampa wzmacniająca całość sygnału. Układ ten cechuje się małymi zniekształceniami, ale jest najmniej wydajny. Wymaga transformatorów wyjściowych ze szczeliną powietrzną, ze względu na to, iż przez transformator cały czas płynie prąd, magnesując jego rdzeń, co obniża jego sprawność. Dlatego też rdzeń transformatora musi być większy, dla uzyskania tej samej mocy

Push-pull (pchaj i ciągnij) - jest to układ polegający na umieszczeniu w stopniu końcowym wzmacniacza pary lamp pracujących na przemian (przeciwsobnie), wzmacniających osobno połówki przebiegu sygnału. Pozwala to na osiągnięcie wysokiej mocy, lecz charakteryzuje się większymi zniekształceniami związanymi z przejściem sygnału przez zero (tzw. zniekształcenia skrośne, *cross-over distortion*). Zsumowanie połówek sygnału wymaga

starannego dobrania lamp oraz symetrycznie nawiniętego transformatora głośnikowego i nie zawsze gwarantuje idealny jego przebieg.

Ultralinear - Jeżeli siatkę drugą pentody końcowej pracującej w push-pull, zasilimy napięciem pobranym z wyjścia wzmacniacza (dodatkowy odczep na uzwojeniu anodowym transformatora głośnikowego) otrzymamy silne, ujemne sprzężenie zwrotne a tryb pracy nazywany jest ultralinear. Punkt pracy lampy wyjściowej jest "w połowie drogi" pomiędzy pentodą a triodą. Charakteryzuje się dużą stabilnością, dość małymi zniekształceniami i jest często stosowany (zobacz schemat i opis [wzmacniacza push-pull](#)).

Ostatnio wiele słyszymy o wzmacniaczach innych klas, jak D, E, F itd., aż do T. Są to klasy wzmacniaczy, (nie wszystkie audio) pracujących na nieco innej zasadzie. W tych wzmacniaczach używane są elementy półprzewodnikowe.

Układy lampowe

Najprostszy wzmacniacz lampowy składa się z przedwzmacniacza, wzmacniacza mocy z (najczęściej) transformatorem głośnikowym i zasilacza. We wzmacniaczach push-pull dochodzi jeszcze odwracacz fazy i stopień sterujący (driver) lampami mocy. I tyle, lub **AŻ** tyle. Bowiem przed konstruktorem wzmacniacza lampowego stoi wiele problemów, które musi rozwiązać. Ta strona to nie będzie kompletny przewodnik budowy wzmacniacza lampowego, ale postaram się Ci przybliżyć niektóre problemy i rozwiązania stosowane we wzmacniaczach lampowych.

Konstrukcje wzmacniaczy lampowych generalnie możemy podzielić na dwie grupy: single ended i push pull. We wzmacniaczach single ended całość sygnału wzmacniana jest pojedynczym elementem wzmacniającym (w poszczególnych stopniach, oczywiście), natomiast we wzmacniaczu push pull sygnał rozdzielany jest na dwie, przeciwne fazy i wzmacniany przez dwie lampy końcowe, by po wzmocnieniu być zsumowanym w (najczęściej) transformatorze wyjściowym. Wzmacniacz single ended charakteryzuje się bardzo małymi zniekształceniami, ze względu na pracę w liniowej części charakterystyki lecz ma wady: mała moc wyjściowa (praca w nieefektywnej klasie A), potrzeba użycia transformatora ze szczeliną powietrzną. Wzmacniacze push pull posiadają większą sprawność, lecz wymagają z kolei dobrze dobranych i wyregulowanych lamp oraz dokładnego nawinięcia transformatora, tak, aby zsumowanie sygnału było idealne.

I. Wzmacniacze Push-pull

1. Przedwzmacniacz i odwracacz fazy

Obecnie we wzmacniaczach wstępnych w zasadzie nie spotyka się innych lamp, tylko triody. Triody bowiem są najbardziej liniowym elementem wzmacniającym, wnoszącym stosunkowo niewielkie zniekształcenia. Przeglądając wiele schematów tak starszych konstrukcji, jak i tych współczesnych, zauważycie, że praktycznie stosuje się kilka tylko rozwiązań. Nieco inaczej skonstruowany jest przedwzmacniacz wzmacniacza single ended, a nieco inaczej push-pull.

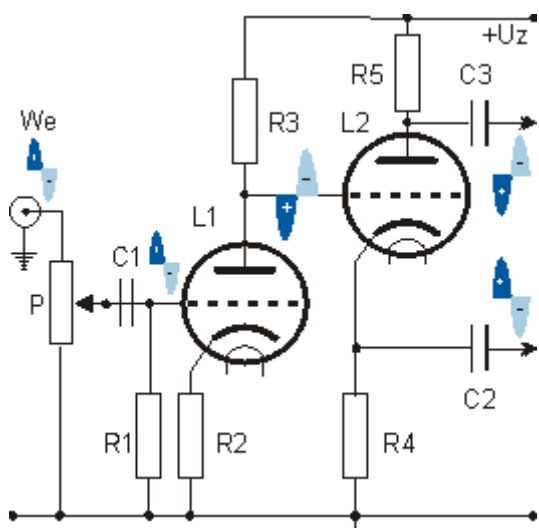
Odwracacz fazy (stopień symetryzujący, inwerter, split load)

W przedwzmacniaczu push-pull, oprócz wzmocnienia sygnału realizowane odwracanie (rozdział) fazy sygnału, na dwa przesunięte o 180° sygnały niezbędne do zasilania końcowych lamp mocy. W większości przypadków wystarczy do tego podwójna trioda, chociaż czasami, zamiast lamp stosuje się odpowiednio nawinięty transformator odwracający.

W wersji lampowej stosuje się najczęściej są dwa rozwiązania:

- inwerter z dzielonym obciążeniem
- inwerter różnicowy.

Układ WK-WA (stopień z dzielonym obciążeniem - cathodyne, distributed load, inverter)

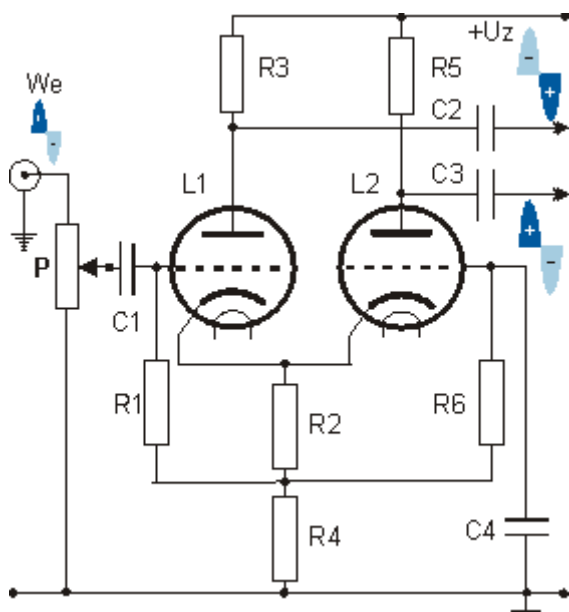


W układzie tym, sygnał poprzez potencjometr głośności P i kondensator C1 przedostaje się na siatkę lampy L1, sterując prądem anodowym lampy. Pierwsza lampa pracuje w układzie ze wspólną katodą, dając na anodzie sygnał wzmocniony i odwrócony w fazie. Sygnał ten steruje siatką lampy L2 która pracuje w układzie ze wspólną anodą i katodą jednocześnie co pozwala na jednoczesny pobór sygnału z anody i katody tej lampy. Rozdzielony i odwrócony w fazie o 180° sygnał poprzez kondensatory C2 i C3 podawany jest na dalszy stopień wzmacniacza (najczęściej driver). Rezystory R1 i R2 ustalają potencjał siatki (punkt pracy lampy L1). Rezystory R4 i R5 powinny mieć jednakową wartość, by wyjściowy

sygnał był symetryczny pod względem amplitudy. Stopień ten pracuje w klasie A, bowiem polaryzacja siatek jest tak dobrana, aby przez lampy cały czas przepływał prąd anodowy, a lampy pracowały na prostoliniowej części charakterystyki. Daje to czysty sygnał o małych zniekształceniach.

. Wadą tego układu jest to, że o ile sygnał pobrany z katody lampy L2 (bo to przecież wtórnik) ma niską impedancję i łatwoysteruje następny stopień, to sygnał pobrany z anody tej lampy impedancję ma wysoką (układ WK). Taka nierównomierność impedancji wyjściowych może, przy niewłaściwym dobraniu lamp następnego stopnia prowadzić do zniekształceń, szczególnie w wyższych częstotliwościach. Lecz mimo tego, ten prosty i efektywny układ jest bardzo często wykorzystywany nawet w wysokiej klasy wzmacniaczach push-pull.

Inwerter różnicowy (układ parafazowy o sprzężeniu katodowym, long tailed pair, cathode coupled splitter, Schmidt inverter)



W układzie tym, sygnał podawany jest na pierwszą lampę L1, która pracuje "tradycyjnie" w układzie ze wspólną katodą (dodany jest jedynie R4, co nie zmienia układu tej lampy). Ponieważ układ WK odwraca sygnał, możemy pobrać z anody lampy L1 sygnał, (część odwróconą), podczas gdy drugą, nieodwróconą część odbieramy z anody lampy L2, która pracuje - uwaga- w układzie ze wspólną siatką. Po czym to poznamy? Otóż zwróćmy uwagę na siatkę

lampy L2 - jest ona zwarta (dla sygnału zmiennego) do masy kondensatorem C4, co powoduje, że układ taki *dla sygnałów zmiennych* jest właśnie układem ze wspólną siatką. A skąd jest pobierany sygnał do tej lampy? Z katody lampy L1, do katody L2. Dla prądu stałego siatka jest spolaryzowana poprzez rezystor R6, a rezystory R2 i R4 ustalają wartość tej polaryzacji. Identycznie (poprzez R1) polaryzowana jest siatka lampy L1.

Zwróćmy uwagę że inaczej pracują lampy w układzie dla prądu stałego, a inaczej dla przemiennego: dla prądu stałego obie lampy pracują jako układ WK, natomiast dla sygnału przemiennego L1 to układ WK, natomiast L2 to układ ze wspólną siatką (WS).

Układ ten ma dużą zaletę w stosunku do opisywanego wcześniej - jego wyjścia mają jednakową impedancję. Wzmocnienie jest zwykle dwa razy mniejsze niż zwykłego stopnia wzmacniacza oporowego (WK). Napięcia doprowadzone mogą mieć dość dużą amplitudę. Układ ten wydaje się być najlepszy ze względu na swoje właściwości i ma zastosowanie szczególnie tam, gdzie przy dużych mocach stopnia końcowego zależy nam na równomiernymysterowaniu lamp wyjściowych, w szerokim zakresie częstotliwości, przy małych zniekształceniach. Innymi zaletami są - brak skłonności do samowzbudzenia i stosunkowo mały prąd siatkowy w przypadku przesterowania.

Spotyka się odmiany tego układu, które będą się różniły szczegółami zasilania siatek lamp- ze stałym napięciem polaryzacji (fixed bias) lub automatycznym (kathode bias - na rysunku), lecz zasada działania będzie taka sama.

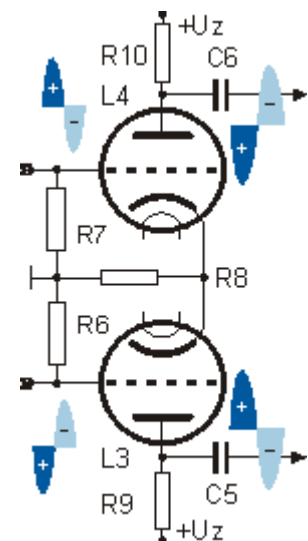
Jest jeszcze kilka sposobów odwracania i rozdzielania fazy, lecz te dwa są najpopularniejsze.

2. Stopień sterujący (driver)

We wzmacniaczu push-pull nie zawsze stosuje się sterowanie siatek lamp końcowym bezpośrednim sygnałem z odwracacza fazy. Czasami dodaje się dodatkowy stopień, zwany stopniem sterującym (driverem). W tym stopniu używa się lamp o większej mocy i większym prądzie anodowym, tak by można było bez problemuysterować lampy końcowe, które z reguły wymagają większych napięć sterujących siatki, a czasem nawet prądu siatkowego (triody, tetrody). Ponadto stopień ten dodatkowo wzmacnia sygnał. Stopień sterujący to nic innego jak dwie lampy pracujące w układzie Wspólna Katoda, wzmacniające odwrócony sygnał z poszczególnych wyjść odwracacza fazy.

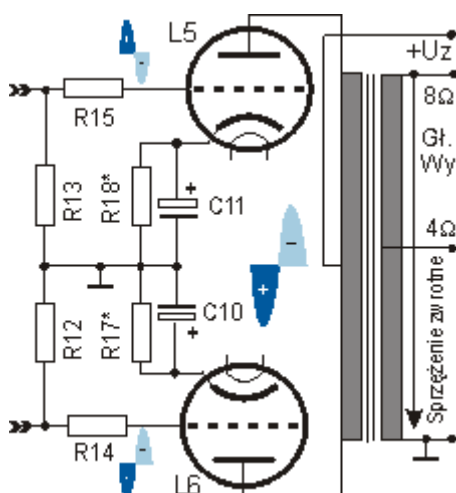
Rozdzielony i odwrócony w fazie sygnał z poprzedniego stopnia podawany jest na siatki lamp L3 i L4, spolaryzowane dzięki rezystorowi R8 a także R6, R7. Wzmocniony sygnał podawany jest przez kondensatory C5 i C6 na siatki lamp końcowych.

Jak widzimy układ jest prosty, a rodzaj zastosowanych lamp zależy od rodzaju lamp końcowych. Pentody, ogólnie rzecz biorąc, są mniej wymagające od triod czy tetrod, nie potrzebują dużych napięć sterujących, czy prądu siatki, dlatego mogą być sterowane lampami o dużej impedancji wewnętrznej, jak np. ECC83 (rezystancja wewnętrzna 65 komów). Triody i tetrody mocy wymagają użycia lamp, które będą miały niski opór wewnętrzny i będą mogły oddać większy prąd anodowy (np. ECC82, 6SN7)



3. Wzmacniacz mocy

Stopień triodowy



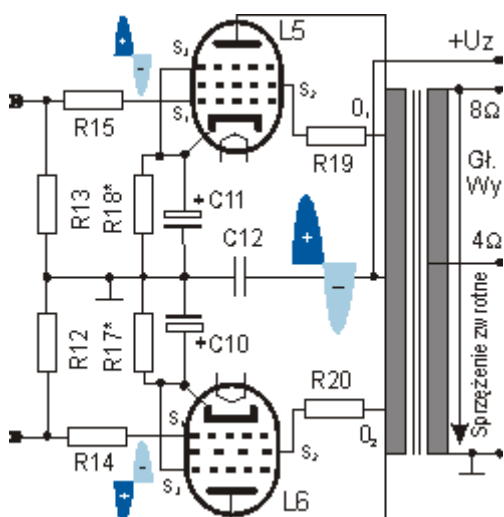
Stopień końcowy we wzmacniaczach push-pull realizowany jest na dwóch triodach, tetrodach lub pentodach mocy. Czasami, w celu zwiększenia mocy wyjściowej łączy się równolegle dodatkową parę lamp. Ponieważ lampy zasilane są wysokim napięciem, jednocześnie dając niewielki (stosunkowo) prąd, w celu dopasowania do niskoomowych głośników (4 i 8 Ohm) należy użyć transformatora. Jest to jeden z najważniejszych elementów (i najdroższych) wzmacniacza lampowego. Źle skonstruowany będzie wносił najwięcej zniekształceń ograniczając jednocześnie pasmo przenoszenia.

Triody mocy obciążają transformator podłączony w sposób "klasyczny", z dzielonym uzwojeniem pośrodku (przeciwsobnie), które w tym miejscu podłączone jest do napięcia anodowego. Przez lampy może płynąć duży prąd anodowy (klasa A - mała sprawność lecz małe zniekształcenia) lub mniejszy (klasa AB - większa sprawność, nieco większe zniekształcenia). Klasę B spotyka się we wzmacniaczach gitarowych czy estradowych.

Przeciwsobne połączenie uzwojeń transformatora ma poważną zaletę - przy idealnie dobranych prądach anodowych i symetrycznych uzwojeniach, prądy płynące przez te uzwojenia wzajemnie się znoszą, przez co unika się nasycenia rdzenia transformatora. Ponadto zniekształcenia nieliniowe (harmoniczne parzyste) znoszą się wzajemnie.

Triody mocy, mimo że oddają małą moc (sprawność rzędu 20%) są chętnie stosowane we wzmacniaczach dla zaawansowanych audiofilów i melomanów. Także tetrodę i pentodę łatwo przełączyć w triodowy tryb pracy, zwierając siatki ekranujące z anodami przez opornik niewielkiej wartości. Wzmacniacz, oczywiście będzie miał mniejszą moc, lecz zalety wzmacniacza triodowego pozostaną.

Stopień pentodowy



We wzmacniaczach mocy większą sprawnością charakteryzują się tetrody i pentody.

Tetrody i pentody można łączyć z transformatorem tak jak triody w sposób "klasyczny" (patrz rys. powyżej), lub w trybie "ultralinear" (UL). Tryb ultralinear (UL), to taka konstrukcja transformatora wyjściowego i sposobu połączenia siatek drugich (S2) tetrody lub pentody, w którym część napięcia (20 lub 40%, licząc od środka uzwojeń) jest pobierana (punkty O₁ i O₂) z uzwojenia anodowego i podawana poprzez rezystory R19 i R20 na siatkę ekranującą (S2) tetrody lub pentody (zob. rysunek z lewej). Powstające dzięki takiemu połączeniu z transformatorem głośnikowym **sprężenie zwrotne** znacznie poprawia liniowość i pasmo przenoszenia,

poprawia warunki pracy stopnia końcowego, chociaż zmniejsza nieco sprawność układu.

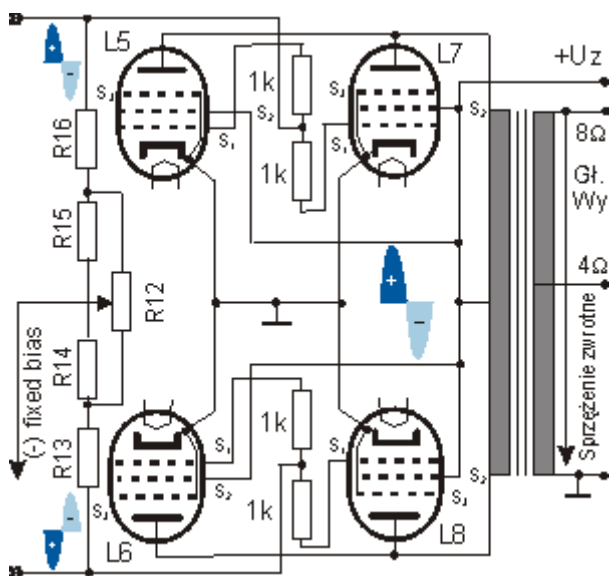
Tetrody i pentody pracują "w połowie" pomiędzy trybem triodowym a tetrodowym czy pentodowym, zachowując część zalet jednego i drugiego układu: dobrą liniowość triody i

wyższą sprawność lamp wielosiatkowych. Te zalety powodują, że układ jest powszechnie stosowany we wzmacniaczach ze stopniem wyjściowym na tetrodach i pentodach. Schemat stopnia na tetrodach będzie się różnił od podanego obok tym, że w lampach nie będzie siatek S3.

Siatki lamp (na obu schematach) są spolaryzowane automatycznie (cathode bias) poprzez rezystory katodowe (R17 i R18), które dobieramy odpowiednio dla uzyskania punktu pracy - muszą być większej mocy ze względu na to, że przez nie płynie znaczny prąd. Spadek napięcia uzyskany na tych rezystorach poprzez rezystory R12 i R13 a następnie R14 i R15 (grid stoppers) polaryzuje siatki lamp. Elektrolityczne kondensatory C10 i C11 likwidują lokalne sprzężenie zwrotne, zwierając do masy sygnał przemienny odkładający się na rezystorach katodowych. Daje to większe wzmocnienie stopnia.

Wadą automatycznej polaryzacji, w przypadku lamp mocy jest mniejsza sprawność lamp, ze względu na znaczną stratę mocy na rezystorach katodowych. Lepszym rozwiązaniem jest, gdy siatki lamp mocy spolaryzujemy napięciem stałym (fixed bias) uzyskanym z oddzielnego uzwojenia na transformatorze zasilającym, które po wyprostowaniu i odpowiednio dokładnym odfiltrowaniu tętnień sieci i dobraniu odpowiedniego napięcia, podawane jest na siatki. Układ ze stałą polaryzacją jest chętnie stosowany we wzmacniaczach z wyjściem triodowym. Dla przykładu podam, że para triod 300B w układzie z automatyczną polaryzacją może oddać 20 Wat mocy, gdy ze stałą - 40 W. Wadami stałej polaryzacji jest tendencja do pojawiania się prądu siatki i dryft (pływanie) prądu anodowego co skutkuje zmianą punktu pracy.

Ponieważ lampy pracują w przeciwfazie, sterowanie siatek lamp odbywa się, jak wiemy, poprzez odwracacz i (czasami) driver.



Dla zwiększenia mocy wzmacniacza można zastosować równoległe połączenie lamp (spotykane we wzmacniaczach z lampami EL 84), zwiększając ich liczbę do 4 (lub więcej, np. we wzmacniaczach gitarowych). Oczywiście wtedy należy dobrać odpowiedni transformator wyjściowy (mniejsza impedancja wyjścia anoda-anoda). Lampy drivera muszą mieć nieco większą moc doysterowania większej liczby lamp. Problemem jest także dobranie lamp końcowych, by miały jak najbardziej zbliżone parametry. Kłopotliwe jest także niejednakowe starzenie się lamp (zmiana parametrów, głównie prądu anodowego), czy dopasowanie nowej lampy w przypadku

uszkodzenia jednej z nich.

Na rysunku z lewej widzimy przykład równoległego łączenia lamp. Tym razem, układ zamiast automatycznej polaryzacji siatek ma stałą (fixed bias). Potencjometr R12 służy do dokładnego zrównoważenia prądów anodowych lamp poprzez korektę napięcia pomiędzy poszczególnymi siatkami lamp. Napięcie potrzebne do zasilania siatek S1 uzyskuje się z dodatkowego zasilacza napięcia ujemnego. Wartość tego napięcia, w przypadku lamp mocy jest dość duża, a jego wartość, w zależności od typu lamp może wynosić od kilkunastu do kilkuset volt napięcia ujemnego. W obwodzie siatek S1 lamp znajdują się rezystory o wartości 1k (grid stopper), które zapobiegają wzbudzeniu się układu.

Oczywiście układ taki można zrealizować w trybie "ultralinear", stosując odpowiednio

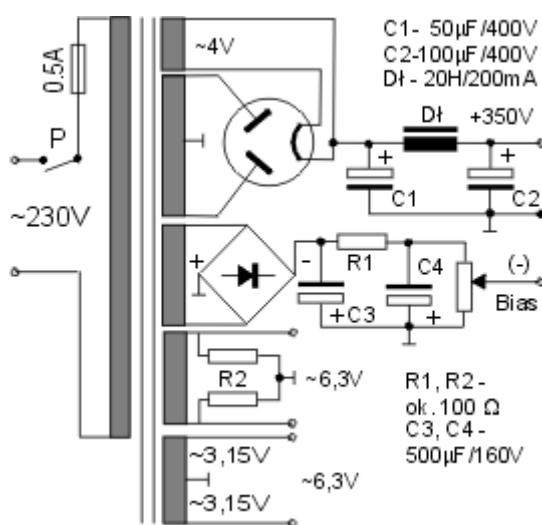
uzwojony transformator i łącząc jego odczepy z siatkami lamp S2 poprzez rezystory niewielkiej wartości.

Jest wiele różnych konstrukcji stopnia końcowego, różniących się szczegółami od tych które podałem na schematach, lecz zasada jest podobna. Ponadto sposób rysowania schematów może się nieco różnić, dlatego studiując jakiś schemat starajmy się wyodrębnić znane nam elementy i poszczególne stopnie wzmacniacza. Skomplikowany na pierwszy rzut oka schemat, po analizie okaże się prosty, składający się z dobrze znanych nam rozwiązań.

4. Zasilacz i zasilanie

Zasilanie lamp

Żarzenie lamp.



Różne lampy wymagają różnych napięć żarzenia.

Diody prostownicze zasilane są zwykle napięciem 4 lub 5 V, lampy małej mocy 6,3 lub 12,6 V, lampy mocy z reguły zasilane są napięciem 6,3 V, chociaż są zasilane dużo wyższym napięciem, szczególnie te, o bardzo dużej mocy.

Lampy stosowane w telewizorach mają różne napięcie żarzenia - od 4,5 V do nawet 30 V - lecz powinny być żarzone prądem o niezmienniej wartości, z reguły jest to 300 mA, ze względu na szeregowe zasilanie żarzenia. W systemie europejskim, lampy telewizyjne są oznaczane pierwszą literą "P", np. PCC, PCL, PL itp.

Większość lamp przystosowanych jest do zasilania prądem przemiennym, chociaż można je zasilac

prądem stałym. Ma to poważną zaletę - tętnienia sieci nie przenikają przez katodę do obwodu i nie powodują przydźwięku sieciowego. Żarzenie prądem stałym stosuje się w lampach małej mocy, W przypadku lamp mocy, gdzie prądy żarzenia są bardzo duże, żarzenie prądem stałym stosuje się w zasadzie tylko w przypadku lamp (triody) bezpośrednio żarzonych. Dobrze skonstruowany wzmacniacz, mimo zasilania prądem przemiennym posiada minimalny przydźwięk sieciowy, także ten pochodzący od żarzenia. By go zminimalizować stosuje się symetryzację żarzenia poprzez odpowiednie nawinięcie transformatora zasilającego, lub użycie dwóch rezystorów (R2) symetryzujących.

(patrz rysunek z lewej).

Napięcie żarzenia nie musi być idealnie takie, jak podano w katalogu lampy. Producent dopuszcza wahania napięcia zasilania w granicach +/-5%, w katalogach rosyjskich lamp spotyka się nawet dopuszczalne wahania +/-10% - daje to różnicę napięcia zasilania od 5,7 do 7 V. Wychodzenie jednak poza podane przez producenta warunki zasilania nie jest wskazane, ponieważ tak niedożarzona jak i przeżarzona lampka szybko traci swoje właściwości. Na schemacie powyżej "tradycyjny" zasilacz wzmacniacza lampowego i dwa sposoby symetryzacji napięcia żarzenia 6,3V - przez podzielenie uzwojenia na dwie dokładnie symetryczne części (2 x 3,15V) i środek uzwojenia dołączony do masy, lub za pomocą dwóch rezystorów o wartości 50-100 omów (oba rezystory o jednakowej wartości). Inną metodą wyciszenia brumu słyszalnego w głośnikach jest zastosowanie zamiast rezystorów potencjometru o rezystancji 100-200 omów i po podłączeniu ślizgacza do masy, takie u jego ustawienie, by przydźwięk był jak najmniejszy. Można też użyć oscyloskopu. Jeżeli mamy

solidny potencjometr, możemy go zostawić, unieruchamiając ślizgacz. Lepszym rozwiązaniem będzie jednak pomiar wartości rezystancji i wlutowanie oporników stałych o zmierzonej wartości (o ile to możliwe).

Napięcie anodowe prostowane jest za pomocą diody lampowej, o dwóch anodach w bańce lampy, co przy zasilaniu symetrycznym daje prostowanie pełnookresowe. Kondensator C1 ma pojemność tylko 50 mikroF (zalecane), ponieważ podczas włączania zbyt duża pojemność powoduje przeciążenie diody prostowniczej i tym samym skraca jej żywotność. Kolejne kondensatory mogą mieć większą pojemność, ponieważ uderzenie prądu zostaje złagodzone impedancją dławika. Dławik o dużej indukcyjności skutecznie tłumi tętnienia sieci, natomiast stanowi mały opór dla prądu stałego (np. mniej niż 50 omów).

Można prostować napięcie anodowe za pomocą diod półprzewodnikowych (mostka), i najczęściej tak się robi, wtedy kondensatory elektrolityczne mogą mieć o wiele większą pojemność, bowiem prostownik z półprzewodników jest odporny na uderzenie prądu. Prostowanie takie też ma inne zalety - jest energooszczędne (brak żarzenia diody) i tanie, bowiem koszt mostka prostowniczego to ok. 1 - 2 zł. Zwykle napięcie anodowe nie jest stabilizowane. Jeżeli wymagana jest stabilizacja napięcia, dokonuje się tego za pomocą specjalnych układów lampowych. W przypadku niskich napięć anodowych, napięcie można stabilizować za pomocą układów półprzewodnikowych, o czym poniżej.

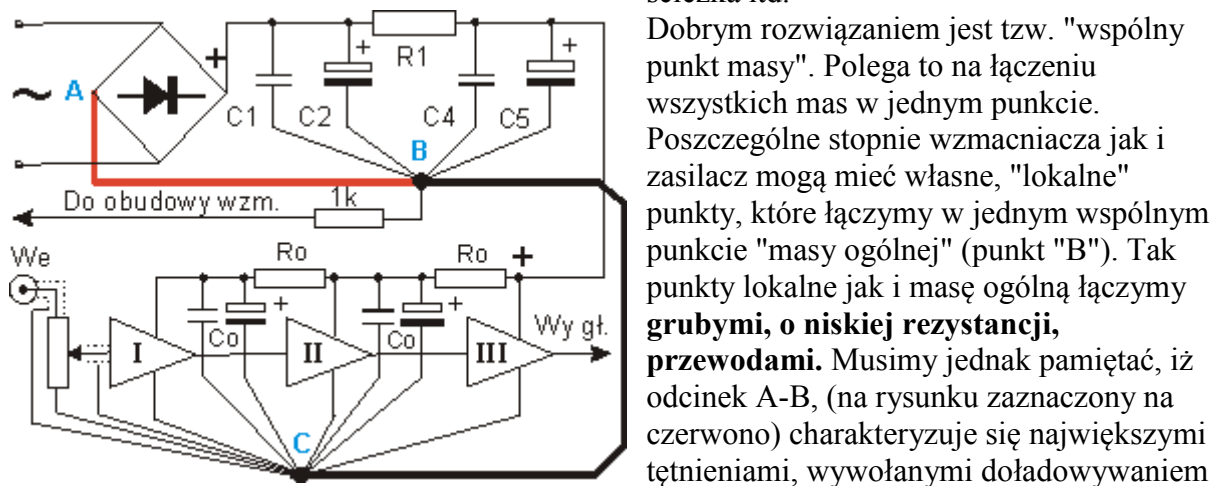
Czasem w zasilaczach spotyka się dodatkowe uzwojenie i prostownik dający ujemne napięcie o wartościach -30-70V do zasilania siatek lamp końcowych tzw. "stałą polaryzacją" ("fixed bias"). Zwróć uwagę, w jaki sposób jest dołączony mostek prostowniczy do masy, by otrzymać ujemne napięcie na wyjściu układu. Także kondensatory elektrolityczne podłączone są "odwrotnie", jest to ważne, ponieważ musimy pamiętać by obudowa kondensatora **nie** **dotykała do chassis** wzmacniacza.

Punkt wspólny masy

Właściwe prowadzenie masy decyduje o braku zakłóceń i sprzężeń w budowanym układzie wzmacniacza. Masę można prowadzić na dwa sposoby:

- ze wspólną szyną,
- ze wspólnym punktem.

W praktyce szyna jest to kawałek grubego przewodu czy szeroka ścieżka druku, do którego dołączone są kolejno masy każdego stopnia wzmacniacza, ekrany przewodów wejścia/wyjścia itp. Szyna powinna mieć najniższy potencjał i przewodzić prąd z minimalnymi spadkami napięcia. Stąd zalecenie by był to gruby kawałek przewodu, szeroka ścieżka itd.



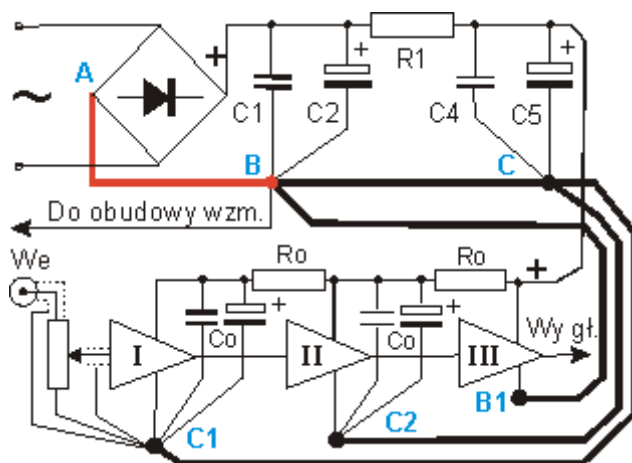
Dobrym rozwiązaniem jest tzw. "wspólny punkt masy". Polega to na łączeniu wszystkich mas w jednym punkcie. Poszczególne stopnie wzmacniacza jak i zasilacz mogą mieć własne, "lokalne" punkty, które łączymy w jednym wspólnym punkcie "masy ogólnej" (punkt "B"). Tak punkty lokalne jak i masę ogólną łączymy **grubymi, o niskiej rezystancji, przewodami**. Musimy jednak pamiętać, iż odcinek A-B, (na rysunku zaznaczony na czerwono) charakteryzuje się największymi tętnieniami, wywołanymi doładowywaniem

pierwszego kondensatora, dlatego do niego nie może być nic dołączone. Pamiętajmy o tym także podczas projektowania płytki drukowanej.

Unikajmy zamykania pętli masy. Także koniecznie trzeba unikać mieszania silnych (prądowo) i słabych sygnałów. Dlatego najpierw zasilany jest stopień mocy, potem kolejno stopnie wzmacniacza, aż do stopnia wejściowego.

Punkt wspólny masy w praktyce wygląda tak:

- układ na tzw. "pajęczku", czyli przestrzenny, na metalowym "chassis" - poszczególne elementy łączymy w jednym punkcie, dolutowując kolejno każdy element.
- na płycie drukowanej stosujemy szerokie ścieżki masy, odpowiednio prowadzone - masy lokalne łączone z punktem wspólnym.



Nie zawsze możliwe jest poprowadzenie mas do jednego punktu (np. obwody drukowane). Równie dobre wyniki, a czasami lepsze, daje układ z lokalnymi wspólnymi punktami mas. Zobaczmy na schemat - jest nieco podobny do powyższego, jedynie każdy stopień wzmacniacza ma własny punkt masy (C1, C2, B1) który jest połączony ze wspólnymi punktami w zasilaczu. Punkt B, znajdujący się na wyprowadzeniu pierwszego kondensatora filtra łączymy z punktem wspólnym masy stopnia mocy. Takie

rozwiązanie ma tę zaletę, że duże prądy płyną oddzielnym obwodem. Masy lokalne stopni wstępnych (C1, C2) łączymy w punkcie C, gdzie napięcie jest już dokładnie odfiltrowane.

Metalową obudowę łączymy z punktem poprzez opornik o wartości ok. 1 k, lub bezpośrednio, w zależności od wyniku praktycznej próby.

Oddzielnego omówienia wymaga uziemianie przewodów ekranowanych. Teoretycznie powinno być tak, że "masę" przewodu ekranowanego uziemia się tylko w jednym punkcie (z jednej strony), bliżej wzmacniacza, natomiast gniazda wejściowe/wyjściowe uziemia oddzielnie. Praktycznie nie stosuje się tego. Tak w rozwiązaniach fabrycznych, jak i z mojej praktyki wynika, że można ekran przewodu dołączyć do gniazda "cinch" z jednej strony i do masy we wzmacniaczu, z drugiej (jak na rysunku). Każdy przewód, który przesyła delikatne sygnały powinien być ekranowany i jak najkrótszy. W każdym wzmacniaczu (i nie tylko) obowiązuje zasada "krótkiej ścieżki". Kable sygnałowe powinny przebiegać daleko od kabli w których przesyłane są silne sygnały, by uniknąć modulacji. Także unikajmy prowadzenia ich w pobliżu transformatorów, dławika itp.

Unikamy mieszania silnych prądów ze słabymi, tak prowadząc zasilanie (żarzenie i anodowe) by prądy nie mieszały się z prądami wejściowymi. **Bardzo wrażliwy na zakłócenia jest obwód siatkowy lamp.**

Odsprężanie

Każdy stopień wzmacniacza powinien być odseparowany układem odsprężającym. Zasilanie wzmacniacza wielostopniowego zaczynamy od "końca" czyli od wzmacniacza mocy. Każdy stopień wcześniejszy powinien być oddzielony (jego zasilanie napięciem anodowym) filtrem RC (na rysunku powyżej R_o, C_o). Rezystor ma oporność kilka, kilkanaście kiloomów, natomiast pojemność kondensatora to 10-50 μF . Dodaje się także mały kondensator

odsprężający o pojemności ok. 100 nF. Właściwe odsprężanie stopni wzmacniacza pozwala na uniknięcie sprzężeń (i tym samym wzbudzenia się wzmacniacza) poprzez źródło zasilania. No i należy pamiętać, iż układ odsprężający stanowi także filtr RC z wszelkimi tego konsekwencjami, dlatego wartości RC powinny być odpowiednio dobrane.

To okropne buczenie...

Przydźwięk sieciowy i zakłócenia "przydźwiękopodobne" mogą brać się z trzech źródeł:

1. Źle odfiltrowane napięcie zasilające. Im wzmacniacz ma większe wzmocnienie, tym dokładniej powinno być napięcie odfiltrowane, bowiem jest ono wzmacniane wraz z sygnałem użytecznym. Typowa końcówka mocy ma wzmocnienie napięciowe ok. 30x, do tego dochodzi przedwzmacniacz, zwykle jest to 1-5x, czyli wzmocnienie może dochodzić do 150x.

Rada: należy zwiększyć pojemności kondensatorów filtrujących (ale bez przesady), zwiększyć ilość stopni filtrujących RC, zastosować kondensatory o mniejszym ESR (tzw. Low Impedance), które mając mniejszą impedancję lepiej zwierają do masy zakłócenia. Często włókna żarzenia zasilane prądem zmiennym, wprowadzają zakłócenia słyszalne w postaci brumu, szczególnie jest to dokuczliwe w czułych przedwzmacniaczach. Radą na to może być żarzenie prądem stałym (zob. poniżej).

Czy przyczyną buczenia są zbyt małe pojemności łatwo się przekonać, dodając jeszcze jeden stopień filtrujący - jeśli buczenie się zmniejsza to jest właśnie to!

2. Wpływ pola magnetycznego transformatora zasilającego - wzbudza przydźwięk o częstotliwości 50Hz. Łatwo to wykryć, odsuwając po prostu trafo zasilające od układu i słuchając w głośnikach brumu.

Rada chyba najprostsza - odsunąć trafo od układu. Jeśli nie ma miejsca to kłopot. Dodam - w zasadzie ŻADNE ekrany z blachy niewiele pomogą, bowiem blacha stalowa o grubości 5 mm zmniejsza natężenie pola magnetycznego (50Hz) zaledwie o połowę. Nieco zmniejsza pole odpowiedni kształt puszki ekranującej trafo i specjalny stop (tzw. mu-metal), ale w kraju jest on chyba niedostępny.

Lepszym rozwiązaniem jest stosowanie trafo toroidalnego, które ma mniejsze pole rozproszenia. Producenci dodatkowo zmniejszają to pole stosując odpowiednie nawijanie i stalową opaskę ekranującą, ale ZAWSZE jakieś pole jest.

3. Złe prowadzenie masy i ekranów. TO JEST najczęstszą przyczyną zakłóceń, które słychać w postaci brumu, który bierzemy za brum sieciowy. Temat rzeka, nie do opisanie w kilku zdaniach. Wiedza teoretyczna, a szczególnie doświadczenie praktyczne pomogą w eliminacji tego problemu.

Generalnie:

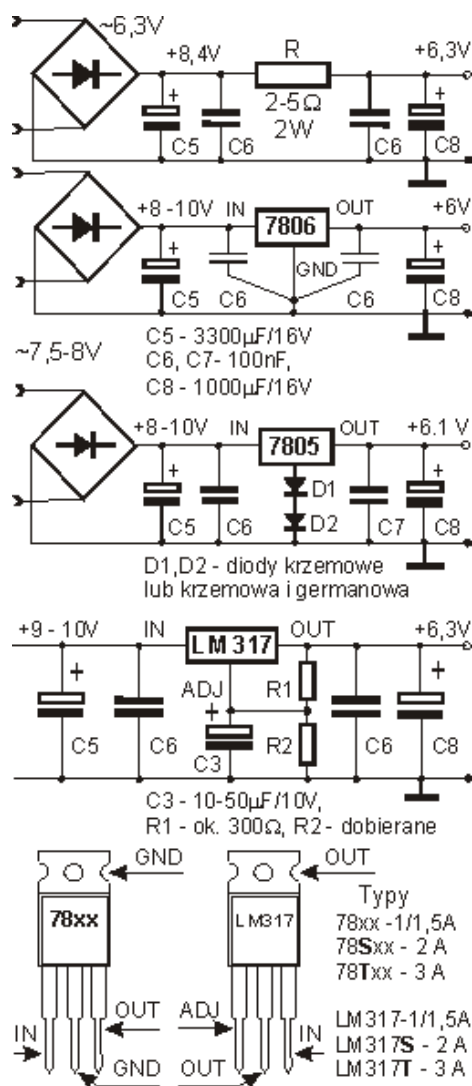
- należy prawidłowo prowadzić ścieżki masy (zobacz powyżej "Punkt wspólny masy"),
- układy wejścia są bardzo wrażliwe, należy je oddalić od pól zakłócających (np. od transformatora, od ścieżek i przewodów wysokoprądowych),
- wszelkie kable doprowadzające sygnał należy prowadzić kablami ekranowanymi, prawidłowo podłączonymi do masy, lub w postaci skrętki,
- należy odsprężać kolejne stopnie wzmacniacza. Ważną rolę odgrywają kondensatory odsprężające - powinny być możliwie blisko lampy, lepiej sprawują się niskoimpedancyjne (Low ESR).

Jeżeli zbliżenie ręki do lampy czy płytki z układem zwiększa brum, to NA PEWNO przyczyną jest złe prowadzenie masy czy ekranu. Jeżeli dodanie kolejnego kondensatora do zasilacza nie zmniejsza brumu, to przyczyna - jak wyżej.

Zdarza się, że na zakłócenia składa się wiele przyczyn. Jest to trudne do zdiagnozowania i eliminacji, pozostaje wtedy tylko cierpliwe szukanie błędu i eliminacja drogą doświadczeń i dedukcji. Czasem trzeba przeprojektować wzmacniacz od nowa.

Żarzymy stałym prądem

1. W przedwzmacniaczach czy buforach stosuje się lampy małej mocy, które pobierają stosunkowo mały prąd żarzenia. Daje nam to możliwość zbudowania taniego zasilacza prądu stałego, którego zaletą, oprócz zmniejszenia przenikania tętnień sieciowych do układu, będzie jeszcze stabilizacja napięcia (i prądu) żarzenia. Ułatwi nam to uruchomienie układu, ponieważ będziemy pewni, że z tej strony przydźwięk sieciowy nam nie grozi, a stabilizacja napięcia poprawi warunki pracy lampy, uniezależniając zasilanie (i tym samym emisję elektronów) od wahań napięcia sieci.



Zasilanie żarzenia prądem stałym było stosowane oczywiście od dawna - wszystkie przenośne i samochodowe radiowe odbiorniki lampowe były zasilane z baterii lub akumulatora. Nie miały zbyt dużej mocy, ponieważ baterie lub akumulator mają określoną, z reguły niedużą pojemność, co zmusza konstruktorów do stosowania specjalnych "oszczędnościowych" lamp. **Kilka sposobów zasilania żarzenia:**

a) Jeżeli napięcie zmienne 6,3V wyprostujemy, otrzymamy napięcie stałe, ok. 1,4 razy wyższe (bez obciążenia, po obciążeniu jego wartość będzie zależała od spadków napięcia na uzwojeniach transformatora i na mostku prostowniczym). By zasilac lampy, musimy je zredukować. Najprostszym sposobem jest użycie rezystora o mocy 2-3W i rezystancji tak dobranej, by otrzymać napięcie 6,3V z tolerancją +/-5%. Wartość rezystora zależy będzie od zasilacza a także od rodzaju i ilości lamp. Praktycznie to 0,1 - 1,5 oma, w przypadku "mocnych" lamp może go nie być. Warto kupić kilka rezystorów o różnych wartościach, by precyzyjnie dobrać napięcie żarzenia. W przypadku trudności z zakupem rezystorów o wymaganej (i niskiej) wartości możemy go łatwo zrobić z kawałka drutu oporowego uzyskanego ze starego rezystora drutowego lub spirali grzejnej, np. od suszarki do włosów. Jedynym problemem jest przylutowanie takiego drutu, ponieważ materiał z którego jest zrobiony lutuje się z trudnością. Pojemności kondensatorów C5 i C8 w takim układzie zasilania powinny być bardzo duże (4700 mikroF), spotkałem

(na schematach) po 10 000 mikroF a nawet 20 000 mikroF.

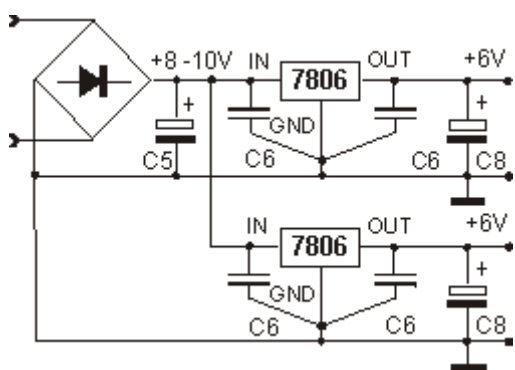
Jeżeli potrafimy tak dobrać ilość uzwojeń w transformatorze, by po wyprostowaniu otrzymać

żądane napięcie, będzie to lepszym rozwiązaniem (czyni tak np. firma Audio Note).

b) Użycie stabilizatorów też jest dobrym rozwiązaniem. W tym przypadku jednak, napięcie zmienne musi być wyższe niż 6,3 V i wynosić przynajmniej 7,5 V (dla transformatorów o większej mocy), zwykle 8-9V. Można użyć stabilizatora serii 78XX. Stabilizator 7806 da napięcie 6V lecz należy sprawdzić czy prąd żarzenia będzie mieścił się w tolerancji. Jeżeli nie, należy włączyć diodę Schottky'ego pomiędzy nóżkę GND a masę, podniesie to napięcie do wartości ok. 6,2V. Dlatego dioda Schottky'ego (ok. 1 zł), ponieważ spadek napięcia na złączu wynosi ok. 0,2V. Jeżeli zastosujemy stabilizator serii 7805 (5 V) to dwie diody krzemowe włączone szeregowo pomiędzy końcówkę 2 stabilizatora a masę podniosą nam napięcie do ok. 6,2V. Jeżeli da nam to zbyt wysoki prąd żarzenia, zastosujemy diodę krzemową i germanową, co da napięcie na wyjściu stabilizatora do ok. 6,10-6,2 V (*patrz rysunek*). Użycie stabilizatora regulowanego (np. serii 317) pozwoli nam na dokładne wyregulowanie napięcia (prądu) żarzenia. W każdym przypadku musimy stabilizator izolować od masy za pomocą podkładek, lub przykręcić do oddzielnego radiatora. Stosujemy stabilizatory na odpowiedni prąd (min 1A a lepiej - 2 A) w zależności od poboru prądu przez lampy i odpowiednio duże radiatory, pamiętajmy też, by były wentylowane. Lampy serii ECC 81...83 mogą być zasilane napięciem 12,6 V, lub po odpowiednim połączeniu (żarniki połączone równolegle) - 6,3 V. Dla otrzymania napięcia żarzenia 12.6 V, stosujemy stabilizator 7812 (12V) i diodę krzemową.

Dokładne napięcie uzyskamy stosując stabilizator LM 317 i dzielnik rezystorowy (*ostatni schemat na rys. obok*). Żądane napięcie obliczamy: $U_{wy} = 1,25 + (1 + R_2/R_1) \cdot U_{ref}$. R₁ powinien mieć wartość niższą niż 1kom (200-300omów). Zamiast obliczać można w miejsce R₂ zamontować potencjometr np. 5k i dokładnie ustawić napięcie wyjściowe, a potem wlutować rezystor o odpowiedniej wartości.

Uwaga. Z moich doświadczeń wynika, iż czasami stabilizator w obwodzie żarzenia powoduje wzbudzenie się wzmacniacza. Jeżeli słyszymy w głośniku buczenie, podczas poszukiwania przyczyny sprawdzimy czy nie jest nią stabilizacja żarzenia.



c) Gdy nie mamy stabilizatora na odpowiednio duży prąd, możemy zastosować łączenie równoległe dwóch lub więcej stabilizatorów i zasilать każdą lampę **oddzielnie**. Oczywiście, można stosować inne stabilizatory niż podane na schemacie. **Uwaga** - nie wolno łączyć WYJŚĆ ze sobą, tylko WEJŚCIA (IN) stabilizatorów, jak na schemacie. Układ sprawdzony, nie sprawia problemów.

d) Współczesne lampy przystosowane są do zasilania żarzenia prądem przemiennym, dlatego długotrwałe zasilanie prądem stałym może powodować

niekorzystne zmiany w układzie żarzenia lamp. Zaleca się więc co kilka miesięcy zmianę biegunów zasilania żarzenia, np. poprzez odwrotne przelutowanie przewodów na podstawkach lamp. Można też zastosować przełącznik. Niektórzy konstruktorzy pomijają ten problem, tym bardziej że wiele lamp dostosowanych jest do zasilania tak napięciem zmiennym jak i stałym (AC i DC) - podane jest to zwykle w katalogu lamp.

2. Czasami, przy dużym obciążeniu a słabym transformatorze, spadki napięć na jego uzwojeniach i mostku prostowniczym są tak duże że "braknie" nam napięcia stałego do zasilania żarzenia. Jedyna rada to dwinąć nieco zwojów na transformatorze lub próbować zastąpić zwykły mostek prostowniczy, mostkiem zrobionym z diod Schottky'ego, co pozwoli

nam "zaoszczędzić" ok. 0,8V. Diody te nie są drogie (za 1 A/40V zapłacisz ok. złotówkę/szt.) i mają 2 zalety: są szybkie, tzn. wprowadzają mniej zakłóceń i cecha dla nas ważniejsza - mają niskie napięcie przewodzenia - ok. 0,2 V, w porównaniu do zwykłych które mają 0,6 V - daje nam to znacznie mniejszą moc strat na mostku, po prostu mniej się grzeją. Dzięki niższemu napięciu przewodzenia "oszczędzają" ok. 0,8V co czasem jest jedynym ratunkiem przy zbyt niskim napięciu wyjściowym transformatora.

Oczywiście można użyć też zwykły mostek lub diody prostownicze, pamiętając by miały odpowiedni prąd przewodzenia (min. 1A).

Zwróćmy także uwagę na to, iż w przypadku poboru dużych prądów żarzenia mostek mocno się grzeje i jeśli jest zainstalowany na płytce drukowanej, to ciepło przenosi się poprzez ścieżki na kondensatory elektrolityczne - dlatego powinny być zamontowane w pewnym oddaleniu od mostka (a także stabilizatora).

Jedna lampa serii ECC pobiera podczas pracy ok. 300 mA (dwie to 0,6A) przy napięciu 6,3 V, natomiast 150 mA przy 12,6 V. Podczas rozgrzewania się żarników prąd jest dwukrotnie wyższy, dlatego musimy pamiętać o odpowiednim chłodzeniu, tak mostka jak i stabilizatora. Użycie innych lamp wymaga większego prądu zasilania. Np. rosyjska 6N1P wymaga zasilania prądem 600 mA (jedna!) a 6N6P aż 750 mA. Lampa 6SN7 (6N8S) pobiera 600 mA. Jeżeli chcemy eksperymentować z różnymi lampami, musimy zbudować zasilacz z odpowiednim zapasem mocy, tym bardziej że w przedwzmacniaczu pracują przynajmniej 2 lampy. Przy dużych prądach żarzenia dają o sobie znać spadki napięć na przewodach zasilających, dlatego trzeba stosować przewody o odpowiednim przekroju, a ścieżki drukowane (o ile stosujesz płytkę) powinny być odpowiednio szerokie, lub "wzmocnione" poprzez dolutowanie gołego przewodu na ścieżce.

3. Transformator zasilający powinien posiadać odpowiednią moc a uzwojenie żarzenia powinno być nawinięte przewodem o odpowiednim przekroju. Jeżeli chcemy stosować napięcie stabilizowane, musimy użyć transformatora o napięciu wyjściowym 7,5-9V, lub go przewinać. Stabilizator wymaga by po wyprostowaniu napięcie stałe było o 2-3 V wyższe na wejściu (IN) stabilizatora niż na jego wyjściu (OUT), co wymaga zasilania mostka prostowniczego napięciem zmiennym przynajmniej 7,5-9V.

Napięcie zmienne po wyprostowaniu zwiększa się ok. 1.4 razy, czyli gdy mamy napięcie zmienne na transformatorze np. 7V, po wyprostowaniu otrzymamy $7 \times 1.4 = 9,8V$. Wystarczy to do zasilania stabilizatora, pamiętać jednak musimy, że użycie transformatora zbyt małej mocy powoduje duży spadek napięcia na jego uzwojeniach. Spadki napięcia występują także na mostku prostowniczym (1-1,2V), co może spowodować że "braknie" nam napięcia potrzebnego do stabilizacji. Praktycznym napięciem wyjściowym na transformatorze jest 7,5-9V, to niższe przy zastosowaniu transformatora większej mocy (np. 60W) i użyciu przewodów o średnicy przynajmniej 1-1,2 mm, natomiast przy użyciu transformatora o mocy 15-25 W, zmienne napięcie wyjściowe powinno wynosić ok. 9V, ze względu na spadki napięć na uzwojeniach. Pamiętajmy o właściwym obliczeniu mocy transformatora, w zależności od ilości i rodzaju lamp (moc prądu żarzenia + moc zasilania anodowego).

4. Pierwszy kondensator po mostku prostowniczym (C5 na rysunku powyżej) powinien mieć dużą pojemność, tym większą im większy prąd będzie pobierany. Zwykle stosuję 2200 - 4700 mF. Po stabilizatorze (C8) powinno wystarczyć 500-1000 mF. Tak przed, jak i po stabilizatorze stosuje się małe kondensatorki ceramiczne o pojemności 100 nanoF, by uniknąć wzbudzenia się stabilizatora. Powinno się je zamontować w pobliżu nóżek stabilizatora. Ogólnie zaleca się częste stosowanie kondensatorów o pojemności 50-100 nF do odsprężania poszczególnych stopni tak wzmacniacza jak i zasilacza. Lepiej jest dać o jeden czy dwa kondensatory za dużo, niż za mało.

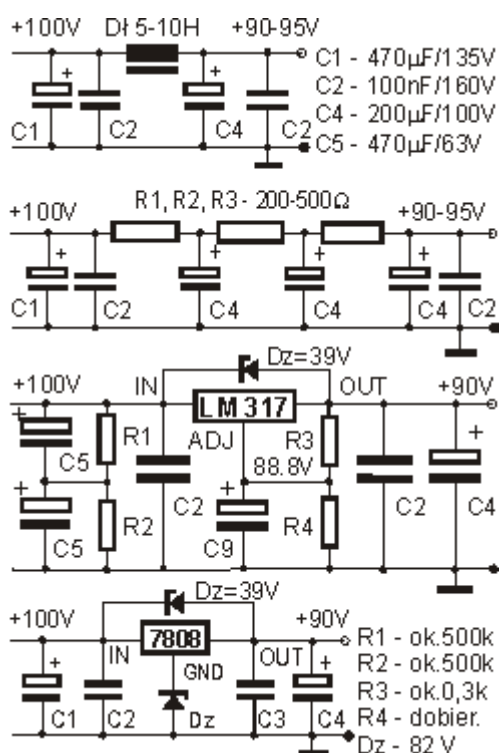
Zasilanie anodowe

Dobrej jakości prąd anodowy jest niezbędny do zasilania lamp. Tętnienia sieci nie dają się tak we znaki w przypadku żarzenia, jak w przypadku niedokładnego odfiltrowania napięcia anodowego. Oprócz odpowiedniego prowadzenia masy, co ma znaczny wpływ na sprzężenia i poziom zakłóceń, umiejętne skonstruowanie zasilacza może stanowić o sukcesie w naszej pracy.

Najstarszym, najczęściej stosowanym sposobem otrzymania napięcia anodowego jest jego prostowanie za pomocą lampowej diody prostowniczej i filtrowanie za pomocą kondensatorów elektrolitycznych i dławika o dużej indukcyjności, rzędu 10-20 Henrów (*rys. u góry strony*). Ma to zalety (i wady) i stosuje się we wzmacniaczach mocy, gdzie występują wysokie napięcia i dość duże (jak na lampy) prądy anodowe. W przypadku przedwzmacniaczy i buforów małej mocy, przy zasilaniu stosunkowo niskim napięciem możemy stosować prostowanie a nawet stabilizację napięcia anodowego za pomocą układów półprzewodnikowych.

1. Prostownik półprzewodnikowy (mostek) powinien być dostosowany do wysokiego napięcia. Dzisiaj nie jest to problemem, mostek prostowniczy 1A/400V kosztuje mniej niż 1 zł. Nie stosujemy mostków (diod) o zbyt małym prądzie przewodzenia, bowiem w filtrach stosuje się duże pojemności kondensatorów, co w momencie włączania zasilacza powoduje przepływ dużego prądu przez prostownik! Można też zastosować w mostku diody tzw. "szybkie" na odpowiednie napięcie, co powinno zmniejszać zakłócenia i dawać "gładszy" prąd, lecz z mojej praktyki wynika, że nie zawsze jest to dobre rozwiązanie.

2. Kondensatory wysokonapięciowe dużej pojemności są droższe, mają większe wymiary i mniejsze pojemności, niż "zwykłe". Powinny mieć pewien zapas napięcia, tak by nie uległy przebiciu podczas jakichś zakłóceń spowodowanych naszymi eksperymentami. Dla uzyskania odpowiedniego napięcia pracy, można połączyć dwa jednakowe kondensatory szeregowo, lecz musimy pamiętać, że pojemność wtedy będzie o połowę mniejsza. Powinno się je



zblokować rezystorami w dużej wartości (400-800 komów) dla wyrównania napięć i rozładowania po zakończeniu pracy (*przykład na rys. poniżej z LM317*).

Nowe kondensatory elektrolityczne, lub długo nieużywane, powinny być uformowane. Polega to na kilkudniowym podłączeniu do zasilacza i stopniowym podnoszeniu napięcia, aż do zbliżonego do nominalnego. Spowoduje to powstanie (regeneracja) dobrej warstwy izolującej tlenku aluminium, likwidację mikroprzebiegów i zmniejszenie prądu upływu.

By przekonać się w jakim stanie są nasze elektrolity możemy włączyć w szereg z zasilaniem miliamperomierz i dokonać pomiaru prądu upływu. Stwierdzimy, iż początkowo dość duży, po kilku dniach formowania zmniejszy się znacznie. Podobnie jak w zasilaczu żarzenia stosujemy kondensatory odsprężające 50-150 nanoF, o odpowiednim napięciu pracy.

3. By zmniejszyć tętnienia wyprostowanego prądu stosujemy filtrowanie.

a) dobre efekty daje użycie dławika bardzo dużej indukcyjności i kondensatorów elektrolitycznych, wg rysunku. Opis dławika podaję na stronie "Transformatory". Zakup odpowiedniego dławika jest trudny, bowiem najczęściej spotykane

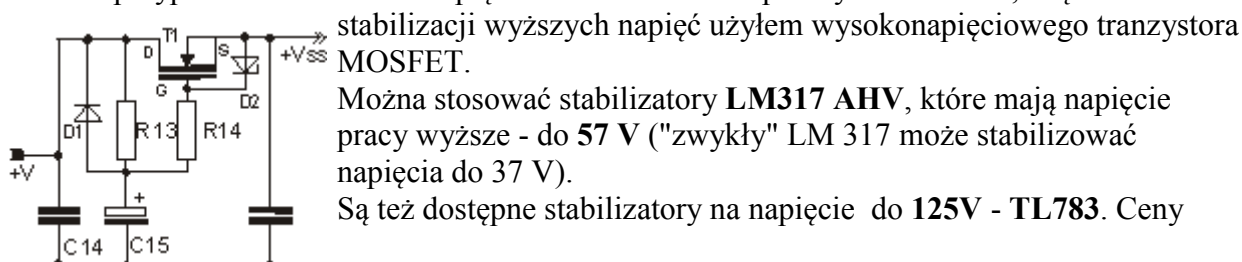
w sklepach mają "mizerną" indukcyjność rzędu mikro, czasem miliHenrów. Dobry dławik przypomina transformator sieciowy pokaźnych rozmiarów. Można go nawinąć samemu, lub użyć od starego telewizora lampowego.

b) częstszym sposobem filtrowania jest użycie filtru RC, składającego się z szeregu kondensatorów i rezystorów odpowiednio połączonych (*zob. rysunek*). Zasada jest taka: większe wartości rezystorów i kondensatorów dają lepszą filtrację, lecz rezystory powinny mieć taką wartość, by nie powodowały zbyt dużych spadków napięcia anodowego, a tym samym nie ograniczały potrzebnej mocy zasilacza. Gdy zasilacz wymaga większych prądów, muszą mieć mniejszą wartość i większą moc (grzeją się). Dla polepszenia filtracji używa się "drabinki" rezystorowo-kondensatorowej, chociaż zwiększanie jej w nieskończoność nie daje dobrych efektów. Zwykle stosuję filtr składający się z 3 rezystorów i 4 kondensatorów elektrolitycznych. Jakość kondensatora odgrywa dość dużą rolę. Te o dużym prądzie upływu powodują zwiększenie tętnienia, dlatego pamiętajmy o właściwym ich uformowaniu. Rezystory R1-R3 mogą mieć większą wartość niż na schemacie, dają to czasem lepsze efekty. Jednak zbyt duża wartość da duży spadek napięcia i ograniczy wydajność prądową zasilacza. Trzeba wybrać "złoty środek"

c) aby zmniejszyć tętnienia sieci i jednocześnie stabilizować napięcie zasilania możemy użyć stabilizatora (dowolnego) serii **78xx** lub **LM 317**. W przypadku stabilizatora serii 78 napięcie wyjściowe będzie sumą napięcia tego stabilizatora i użytej diody Zenera. Np. stabilizator 7808 (czyli na napięcie 8V) i dioda Zenera 82 V da nam napięcie wyjścia 88-92 V (diody Zenera mają pewien rozrzut parametrów). **Możemy łączyć szeregowo wiele diod Zenera tak, aby uzyskać żądane napięcie - będzie ono sumą napięć poszczególnych diod Zenera.** Diody Zenera o napięciu 39 V bocznikują stabilizatory tak, by podczas gdy lampy nie są jeszcze rozgrzane i nie pobierają prądu, różnica napięć pomiędzy napięciem na wejściu i na wyjściu stabilizatora nie przekroczyła 40V, co zwykle powoduje jego przebicie.

Jeżeli zamierzamy użyć stabilizatora **LM317** musimy obliczyć dzielnik rezystorowy tak, aby napięcie na rezystorze było niższe od stabilizowanego o około 1.2 V. Rezystory R3, a szczególnie R4 powinny mieć większą moc. Osobiście polecam użycie stabilizatorów serii 78, jako mniej kłopotliwe i bardziej niezawodne, chociaż dokładność stabilizacji będzie mniejsza. Podczas prób z LM 317 zniszczeniu uległo kilka tych stabilizatorów. Natomiast stabilizatory serii 78 jak dotąd pracują bezawaryjnie. Stabilizatory powinny być większej mocy, chociaż prąd płynący przez nie podczas pracy jest niewielki, to podczas włączania, kiedy kondensatory elektrolityczne nie są naładowane, uder prądu jest znaczny. Pamiętać trzeba o użyciu kondensatorów odsprężających, umieszczonych w pobliżu nóżek stabilizatora. Największą zaletą użycia stabilizatora jest znaczne ograniczenie przydźwięku sieciowego, lepsze niż przy użyciu nawet rozbudowanego filtru RC. Ponadto prąd anodowy znacznie mniej "pływa" wraz ze zmianami napięcia czy obciążenia.

Bezawaryjnie udawało mi się stabilizować za pomocą stabilizatorów scalonych napięcia do ok. 100 V. Być może wyższe napięcia dają się stabilizować za pomocą stabilizatorów, lecz w moim przypadku ze wzrostem napięcia wzrastała ilość "spalonych" układów, więc do

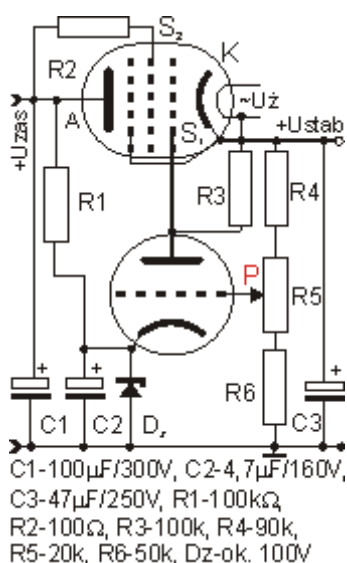


wyższe - zaczynają się od około 6 zł.

d) Najprostszy filtr zbudowany na wysokonapięciowym tranzystorze MOSFET przedstawia schemat obok.

Jak widzimy składa się z jednego tranzystora mocy typu BUZ, IRF czy tp. o napięciu pracy dostosowanym do napięcia wyprostowanego (wyższym o 30-50%), diody Zenera D2 (15V), która zabezpiecza bramkę tranzystora przed przebicciem, kilku rezystorów i kondensatorów. Ten układ NIE stabilizuje napięcia, lecz znacznie zmniejsza tętnienia napięcia na wyjściu zasilacza.

Obszerniej temat omówiłem przy konstrukcji [uniwersalnego zasilacza](#) przedwzmacniaczy lampowych.



e) Lampy "od zawsze" były stosowane jako stabilizator, więc poniższy układ nie jest jakąś nowością.

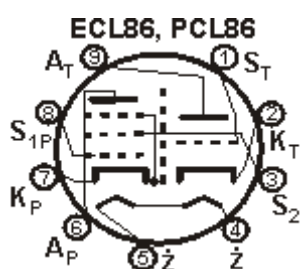
W stosunkowo prosty sposób, za pomocą triody i pentody mocy lub triody-pentody w jednej obudowie można zbudować stabilizator do zasilania wzmacniaczy nie wymagających dużych prądów anodowych (np. przedwzmacniaczy).

Jaka jest zasada działania?

Pentoda jest "zaworem" włączonym szeregowo w obwód prądu zasilania. Wyprostowane i wstępnie odfiltrowane napięcie podawane jest na anodę, natomiast napięcie stabilizowane "opuszcza" lampę katodą. Sterowanie tym zaworem odbywa się za pomocą triody (dwóch triod) o dużym wzmacnieniu. Napięcie wzorcowe uzyskuje się z diody Zenera włączonej w obwód katody triody sterującej. Do porównania napięcia z wzorcowym używa się dzielnika złożonego z rezystorów R4, R5 i R6 do których w punkcie P dołączona jest siatka. Jeżeli użyjesz

potencjometru (R5), będziesz mógł w pewnych granicach regulować napięcie. Najwyższe napięcie na wyjściu uzyskamy, gdy w punkcie P, napięcie będzie niższe o ok. 2 woltów od napięcia na diodzie Zenera. Spadek napięcia (strata) na pentodzie będzie zależał od pentody, zwykle wynosi 50-70V i tyle napięcie stabilizowane jest niższe od wejściowego. Dokładność stabilizacji zależy **od wzmacnienia układu sterującego**, dlatego często stosuje się dwie triody w układzie kaskadowym który to układ daje bardzo duże wzmacnienie. Tym samym więc dokładność stabilizacji jest o wiele większa. Ale jeżeli głównie zależy nam na tłumieniu tętnień sieciowych, powyższe rozwiązanie w zupełności wystarczy.

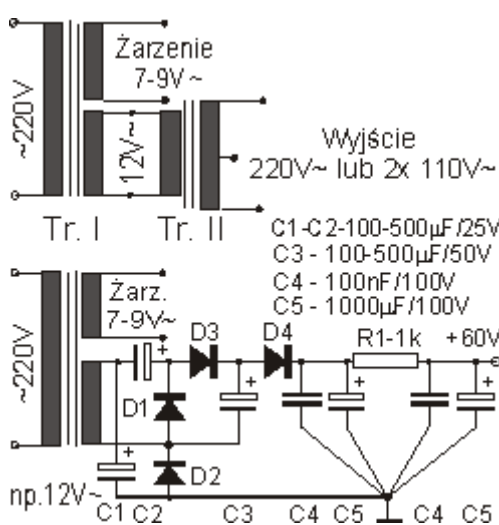
Problemem jest duża różnica napięć pomiędzy katodą a żarnikiem pentody. Zauważ, że z katody "wychodzi" napięcie stabilizowane, natomiast żarnik ma jedną "nóżkę" uziemioną. Do takich zastosowań konstruuje się specjalne lampy o wysokim napięciu przebicia żarnik-katoda, lub łączy jedną nóżkę żarnika z katodą, a żarnik zasilają **napięciem zmiennym** (jak na rys.).



Napięcia do 250 V i prąd do kilkunastu miliamper możemy stabilizować za pomocą popularnej "telewizyjnej" lampy, triody-pentody, PCL 86 (ECL86). Lampa ta zawiera triodę, o parametrach takich samych jak ECC83 i pentodę o mocy 9 W, dającą prąd anodowy do 36 mA. Trioda ma duży współczynnik wzmacnienia -

100, więc nadaje się doskonale do sterowania pentodą, która z kolei, jak na tak małą lampkę daje spory prąd, wystarczający do wystawiania małego przedwzmacniacza czy bufora. Lampa serii ECL ma żarzenie 6.3V/0,7 A, natomiast PCL musi być żarzona **prądem 0,3A** przy napięciu ok. 13-14V. Ponieważ lampy w odbiorniku telewizyjnym zasilane są szeregowo, lampy serii "P" charakteryzują się tym, że ważniejszy jest prąd żarzenia (0,3A), natomiast różną moc lamp otrzymuje się zasilając żarzenie różnym napięciem (7 - 30 V). Nie wiem jakie jest napięcie przebicia katoda-żarnik, niestety, nie znalazłem w katalogu lamp. Do stabilizacji większych prądów produkowane są specjalne lampy dające duży prąd anodowy. O dziwo, częściej spotyka się je we wzmacniaczach lampowych, jako doskonałe lampy mocy. Są to rosyjskie: 6N13S, 6S33S, 6S40S, 6S19P, czy inne, jak 6080.

e) Jeżeli nie mamy transformatora o odpowiednio wysokim napięciu wyjściowym do



zasilania anodowego lamp, lub nie jesteśmy w stanie go przewinąć proponuję dwa wyjścia:

- zastosować drugi transformator sieciowy niewielkiej mocy, lecz zasilany w "odwrotnym kierunku", jak na rysunku z lewej. Wartość napięcia wyjściowego transformatora głównego (Tr I) i wejściowego transformatora pomocniczego (Tr II) powinna być zbliżona (przykładowo, na rysunku 12 V). Na wyjściu tego transformatora uzyskamy wtedy napięcie ok. 220 V lub 2x 110 V, jeżeli ma uzwojenie dzielone. Oczywiście prostowanie i filtrowanie napięć według schematów omówionych powyżej.

"Jeśli mam otrzymać 220 V na wyjściu to po co transformator?" - zapytasz. "Wystarczy przecież wyprostować napięcie sieciowe". Owszem, takie

rozwiązania stosuje się, np. w starszych odbiornikach

radiowych czy telewizorach. Ale ma jedną wadę: na chassis (masie) może wystąpić niebezpieczne, zmienne napięcie sieciowe, które, przy niekorzystnym zbiegu okoliczności może Cię nawet **śmiertelnie** porazić! Natomiast nawet wysokie napięcia, lecz odseparowane transformatorem nie są tak niebezpieczne dla życia. No i ponadto, nieco mniej zakłóceń dostaje się z sieci do układu.

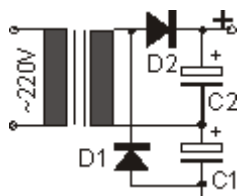
- niskie napięcie wyjściowe z transformatora zasilającego można podwyższyć za pomocą prostego powielacza napięcia. Układ składający się z 3 diod (D1-D3) i 3 kondensatorów elektrolitycznych (C1-C3) podwyższy nam napięcie 4-5 razy, przy okazji je prostując. Do tego wystarczy prosty filtr RC i mamy gotowy zasilacz wysokiego napięcia. Diody D1-D4, np. prostownicze 1A/200-400V. Kondensatory C1-C3 50-470 mikroF. Im większa pojemność, tym większy prąd możliwy do uzyskania, chociaż wystarczającą wydajność prądową zapewni już 100 mikroF. Jednak większa pojemność

kondensatorów, oprócz większej wydajności prądowej, zapewnia także lepsze filtrowanie, dlatego stosuje się kondensatory 470 a nawet 1000 mikroF.

Jakie napięcie pracy kondensatorów? C1 i C2 powinny mieć ok. 2 razy większe napięcie pracy od napięcia na wyjściu transformatora, natomiast C4 - 4 razy. Dioda D4 pełni ważną rolę - separuje powielacz od filtra RC zbudowanego na R1 i C4-C5. Podłączenie filtra bezpośrednio do wyjścia powielacza powoduje, że płynie przez niego duży prąd zwarcia (nawet kilkadziesiąt mA).

Oczywiście napięcie wyjściowe transformatora może być inne, powielone napięcie wyjściowe będzie wtedy, jak już wspomniałem, ok. 4-5x wyższe (na biegu jałowym, bez obciążenia).

Niestety, w powielaczach napięcie wyjściowe silnie zależy od obciążenia, przy zbyt dużym



spada nawet do (prawie) zera. Trzeba pamiętać o dobraniu odpowiednich napięć pracy kondensatorów tak w powielaczu jak i w filtrze RC. Jeżeli powielacz zbyttnio podnosi napięcie, możesz zbudować prosty podwajacz napięcia. Są powielacze, składające się z większej ilości diod i kondensatorów, powielające napięcie nawet do kilku tysięcy voltów (np. w telewizorze).

Kilka rad

Jeżeli, mimo dołożenia kolejnego kondensatora elektrolitycznego przydźwięk sieciowy nie zmniejsza się, winne jest tutaj nie słabe filtrowanie napięcia, lecz niewłaściwe prowadzenie masy! Musisz zmienić konstrukcję zasilacza, wzmacniacza, lub poprawić prowadzenie masy (wspólny punkt, bardzo grube przewody masy, nie można mieszać dużych prądów, z małymi prądami np. wejścia, odpowiednie ekranowanie przewodów wejściowych i wyjściowych, itp.). Nie zdajemy sobie sprawy, że pętlę masy często tworzą interkonekty prawego i lewego kanału, gdy podłączymy je do wzmacniacza czy odtwarzacza CD. Wtedy masa jest "zwierana" w gniazdach wejścia lub wyjścia tworząc pętlę. W pętli masy, w różnych jej punktach, występują niewielkie (rzędu miliwolt) różnice potencjałów, co powoduje powstawanie zakłóceń o charakterze przydźwięku sieciowego.

W prawidłowym planowaniu płytki drukowanej lub łączeniu przestrzennym (tzw. montaż "na pajęczku") dużą rolę odgrywa praktyka i doświadczenie.

Nie musimy starać się uzyskać idealnie "okrągłych" napięć anodowych. ***Lampy są odporne na znaczny rozrzut parametrów zasilania.*** Ważniejszy jest prąd anodowy (punkt pracy lampy), a ten ustalamy przecież za pomocą rezystora katodowego i anodowego (jeśli jest). Rada praktyczna - na początku, podczas prób, zamiast stabilizatora (w zasilaczu napięcia anodowego) wlutuj tymczasowo rezystor, np. 500 - 1000 omów, natomiast, gdy już przystąpisz do ostatecznych testów (np. odsłuchowych, czy nie "brumi") możesz wlutować stabilizator. Chodzi o to, że budując i uruchamiając układ często dochodzi do przypadkowych zwarc i wyładowań wysokiego napięcia - zniszczyłem w ten sposób niejednen stabilizator. Ponadto stabilizatory ulegają przebiciu wtedy, gdy różnica napięć na wejściu (IN) a na wyjściu (OUT) przekracza 40 V. Zapobiega temu bocznikowanie stabilizatora diodą Zenera o wartości 39V, ale tylko do pewnego momentu. Gdy różnica napięcia jest zbyt duża, dioda mocno się grzeje i może ulec "przepaleniu". Dlatego nie włączajmy zasilacza bez obciążenia go lampami, lampy bowiem pobierając prąd, powodują spadki napięć na rezystorach redukcyjnych filtra, tak że różnica napięć między wejściem a wyjściem stabilizatora nie przekracza dopuszczalnej.

Kondensatory wysokonapięciowe podczas prób i przeróbek powinny być rozładowywane. Moja rada - wlutuj do + zasilania rezystor ok. 1 - 2 k, a do masy kawałek przewodu (lub zastosuj przycisk, przełącznik jest gorszym rozwiązaniem, bo często zapomina się go rozłączyć, co powoduje zwarcie zasilacza przy ponownym uruchomieniu), tak że będziesz mógł je łatwo zewrzeć i rozładować kondensatory. Uchroni Cię to przed nieprzyjemnym wstrząsem. Ponadto przypadkowe zwarcia kondensatorów dużej pojemności powodują błysk, huk, czasem uszkodzenie kondensatora.

Wysokie napięcie jest niebezpieczne!

Prąd elektryczny przepływając przez ciało człowieka może być przyczyną porażenia.

Wartość prądu, która jeszcze nie wywołuje migotania komór serca wynosi ok. 30 mA przy prądzie przemiennym i ok. 70 mA przy prądzie stałym. Odpowiada to napięciu dotykowemu (dopuszczalnemu długotrwale) o wartości 50 V przy prądzie przemiennym i 120 V przy prądzie stałym.

W warunkach szczególnych zagrożeń (nietypowa wrażliwość danej osoby, mokre ciało, dotknięcie niektórymi, wrażliwymi częściami ciała) napięcia te są niższe i wynoszą 25 V, lub nawet 12 V dla prądu przemiennego i 60 V lub 30 V dla prądu stałego.

Zachowaj ostrożność!

Dotknięcie urządzenia pod wysokim nawet napięciem nie jest groźne pod jednym warunkiem - nie będzie przepływu prądu. Stąd doświadczeni elektronicy tak pracują z urządzeniami pod napięciem, by ciało nie tworzyło obwodu zamkniętego. Jednym słowem pracują "z jedną ręką w kieszeni".

5. Transformator głośnikowy

Jak wspomniałem poprzednio, transformator głośnikowy jest jednym z najważniejszych elementów wzmacniacza lampowego. Próbuje się wprowadzić budować wzmacniacze bez transformatora (tzw. wzmacniacz OTL), stosując różne "sztuczki", jak równoległe łączenie wielu lamp, stosowanie lamp o niskim napięciu pracy, dużym prądzie anodowym i małym oporze wewnętrznym, czy układy mostkowe, lecz jak dotąd nie osiągnięto zadowalających rezultatów. Współczesne głośniki charakteryzują się niską impedancją, trudno więc zamienić napięcie kilkuset volt i kilkadziesiąt zaledwie miliamper prądu anodowego lampy na kilkanaście volt i kilkanaście amper do zasilania głośnika cztero czy ośmioomowego - bez transformatora. Natomiast dobre rezultaty uzyskuje się budując wzmacniacze słuchawkowe bez transformatora, ponieważ słuchawki mają małą moc i impedancję 200-600 omów, która jest łatwiejszym obciążeniem dla lampy mocy. Nawet popularne słuchawki 32 omowe dają się (przy odpowiedniej konstrukcji) podłączyć do lampy końcowej.

Zbudowanie transformatora o dobrych parametrach, szerokim paśmie przenoszenia, małych zniekształceniach jest trudne. Oprócz dobrej jakości rdzenia ze specjalnych blach stalowych, o odpowiedniej przenikalności magnetycznej, wymagane jest prawidłowe obliczenie uzwojeń dopasowanych do konkretnej aplikacji (i lamp) i największa trudność - staranne uzwojenie. Dla zmniejszenia pojemności uzwojeń i rezonansu w zakresie wysokich częstotliwości stosuje się dzielenie uzwojeń na wiele sekcji, odpowiednio potem połączonych.

Transformator, by przenosił niskie częstotliwości musi mieć odpowiednio duże rozmiary rdzenia, czyli będzie duży i ciężki. Uważa się że niezły jest transformator, którego moc odpowiada 200 Watom mocy transformatora zasilającego. W dużych wzmacniaczach transformator może mieć nawet 600 W.

Jednak, większość konstruktorów nie nawija samodzielnie transformatorów. Lepiej kupić gotowe, nawinięte przez fachowców. Zwykle, mając transformatory, "wokół nich" budujemy schemat wzmacniacza. Transformatory nie są tanie. W zależności od lamp, z którymi mają współpracować, cena ich kształtuje się od kilkuset złotych do nawet kilku tysięcy zł za sztukę. Za transformatory znanych marek (Lundhall, Audio Note) musimy zapłacić znacznie więcej.

6. Schemat wzmacniacza push-pull

Po dawce teorii chciałbym przedstawić Wam schemat wzmacniacza, klasycznego "Wiliamsona", zbudowanego na lampach mocy EL34. Możliwe jest użycie innych, mocniejszych lamp, po dokonaniu pewnych korekt prądu anodowego i oczywiście uwzględnieniu zasilania mocniejszych lamp i transformatorów wyjściowych.

Układy Single Ended

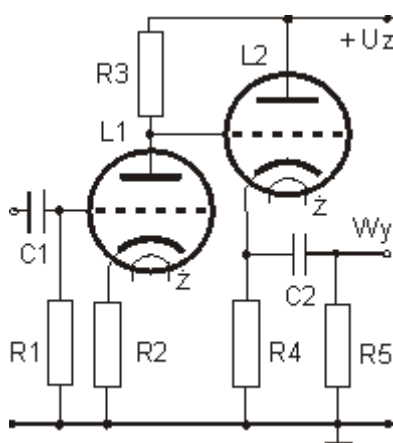
Układy **single ended (SE)** to takie układy, w których cały sygnał przechodzi przez element (elementy) wzmacniający, w przeciwieństwie do układów przeciwsobnych (push pull). W układach przeciwsobnych sygnał rozdzielany jest na "dwie połówki" odwrócone w fazie, z których każda wzmacniana jest oddzielnie i następnie sumowana w jeden, wzmacniony sygnał (tak w skrócie).

Układy single ended odznaczają się mniejszą sprawnością, a zniekształcenia nieliniowe nie są kompensowane tak jak w układach push pull. Ponadto, transformator głośnikowy musi posiadać szczelinę powietrzną by wyeliminować nasycanie się rdzenia, wywołane przepływem składowej stałej prądu anodowego. Ale zalety układów pojedynczych są nie do przecenienia - prostota układu, brak zniekształceń skrośnych (związanych ze złym sumowaniem połówek sygnału), a przy zastosowaniu triod także w stopniu końcowym małe zniekształcenia nieliniowe z przewagą parzystych harmonicznych dobrze tolerowanych przez nasz słuch.

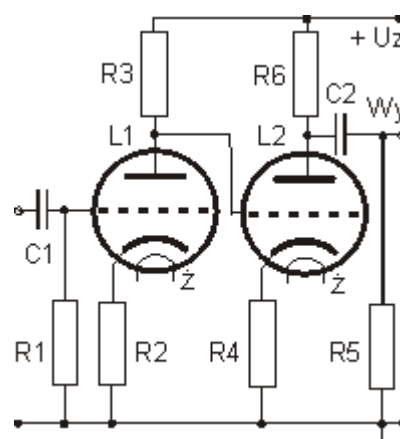
Zobaczmy jak realizowane są takie układy.

I. Przedwzmacniacz

1. WK-WA oraz WK-WK



Na wejściu, najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest lampa L1 pracująca w układzie ze wspólną katodą (WK). Układ na triodzie małej mocy, znany jest nam z poprzedniego rozdziału o wzmacniaczach push pull. Jako kolejna lampa pracuje trioda L2 połączona z pierwszą albo przez kondensator separujący, lub bezpośrednio (jak na rysunkach) i pracująca w układzie jako wtórnik



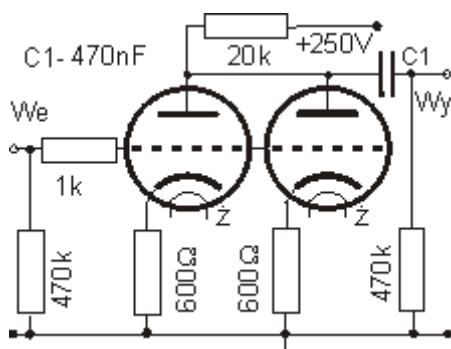
katodowy (WA) (rys. 1 z lewej).

Gdy zależy nam na dużym wzmocnieniu, drugą lampę łączymy tak, aby pracowała także w układzie ze Wspólną Katodą (rys 2 z prawej). W pierwszym przypadku wzmocnienie całego układu zależy od wzmocnienia lampy pierwszej, pracującej jako WK, ponieważ, jak pamiętamy druga lampa pracująca w układzie wtórника (WA) ma wzmocnienie nieco mniejsze niż jeden. W drugim natomiast przypadku

wzmocnienie jest iloczynem wzmocnienia poszczególnych stopni - czyli jeśli każdy stopień wzmacnia 20 razy, to łączne wzmocnienie będzie $20 \times 20 = 400$ razy.

W obu układach rezystory R1, R2 i R4 ustalają punkt pracy lampy (polaryzacja automatyczna, cathode bias). Sprzężenie pomiędzy lampami odbywa się bez kondensatora, co poprawia charakterystykę przenoszenia. Brak kondensatora elektrolitycznego bocznikującego R2 i R4 powoduje, że każdy stopień objęty jest lokalnym sprzężeniem zwrotnym.

Oczywiście, jeżeli zależy nam na dużym wzmocnieniu, rezystory te można zbocznikować kondensatorami elektrolitycznymi (np. 50 uF) co wprowadzi zwiększy wzmocnienie stopnia, lecz zmniejszy pasmo przenoszenia i zwiększy zniekształcenia.



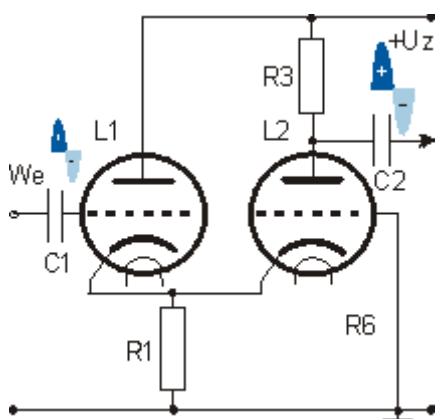
Układ WK-WK, czyli dwie lampy połączone równolegle

Czasami pomiędzy lampami (wyjściem L1 a siatką L2) stosuje się rezystory (R2 na rys. obok) o wartości ok. 1 k, tzw. grid stoppery, które zapobiegają wzbudzaniu się układu.

Na rysunku z lewej schemat przedwzmacniacza stosowanego przez brytyjską firmę Audio Note słynącą z konstrukcji dobrych, ale bardzo drogich wzmacniaczy

lampowych (a także innych elementów audio). Układ ten to dwie połączone równolegle triody ECC82, 6SN7 lub 5687, dzięki czemu impedancja wyjścia układu jest dwukrotnie mniejsza, co pozwalaysterować kolejny stopień lub końcówkę mocy. Stopień ten bez zmian jest stosowany w wielu produktach firmy - w przedwzmacniaczu M1 Line, w przedwzmacniaczu gramofonowym M2 Phono. Takie same układy stosowane są we wzmacniaczach - Oto Line SE, P4 Mono i Meishu Line. Wartości rezystorów są identyczne, mimo stosowania różnych lamp. Układ praktyczny na stronie "Przedwzmacniacze i bufory".

2. Katodyna



Jest to układ nieco przypominający rozwiązanie przedwzmacniacza-inwertera parafazowego. Często stosowany w technice wielkiej częstotliwości. Pierwsza lampka L1 pracuje w układzie ze wspólną anodą (czyli wtórnik katodowy), natomiast druga - ze wspólną siatką (siatka zwarta do masy). Jakie są zalety takiego układu?

Jest ich sporo:

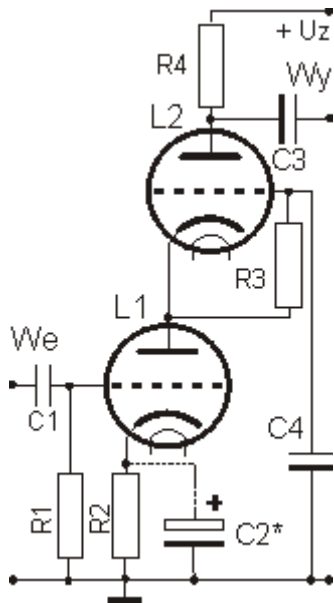
- duży opór wejściowy (bo WA),
- duży współczynnik wzmocnienia (bo WS)
- niska pojemność wejściowa,
- bardzo dobra separacja obwodów wejścia-wyjścia związana z pracą L2 jako układu ze wspólną siatką -

uziemia siatka działa jak ekran,

- sygnał wejściowy i wyjściowy jest w tej samej fazie.

Wadą jest wysoka impedancja wyjścia, co ogranicza zastosowanie katodyny do układów, w których następny stopień ma wysoką impedancję wejścia.

2. Kaskoda



Układy **kaskody** najczęściej stosowane są w technice telewizyjnej i wielkiej częstotliwości. Dla napięcia zasilającego lampy są połączone szeregowo, natomiast dla sygnału zmiennego, już nie. Jeśli przyjrzymy się dokładniej schematowi, to zobaczymy, że pierwsza lampka pracuje w układzie WK, natomiast druga ma **uziemioną siatkę** (dla sygnałów zmiennych) kondensatorem C4. Tradycyjnie rezystory R1 i R2 polaryzują siatkę lampy L1. Dla zwiększenia wzmocnienia lampy R2 można zbocznikować kondensatorem elektrolitycznym o wartości 50-100 mF. Rezystor R3 polaryzuje siatkę lampy L2 (prądem siatki), co poprawia warunki pracy tej lampy, jej stabilność, zmniejsza wpływ wahań napięcia zasilającego itp.

Zalety:

- duże wzmocnienie, będące iloczynem wzmocnienia poszczególnych (K_a) lamp,
- duża oporność wewnętrzna,
- małe szумы,

- mała wrażliwość na mikrofonowanie.

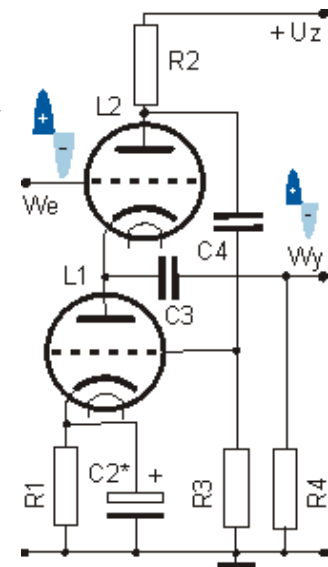
W układach kaskody powinny pracować lampy o niskim napięciu anodowym i wysokim napięciu przebicia włókno żarzenia-katoda. Są to między innymi: ECC88, ECC85, ECC84. Układy kaskodowe ze względu na wysokie wzmocnienie i małe szумы doskonale nadają się jako wzmacniacze mikrofonowe, czy gramofonowe.

3. Kaskada (wtórnik White'a)

Lampy w układzie **kaskady** (zwany wtórnik White'a) są podobnie jak *układ kaskody* połączone szeregowo dla napięcia zasilającego. Wzmocnienie jest nieco mniejsze niż jeden. Lecz układ ma wiele zalet:

- duży opór wejściowy,
- małą pojemność wejściową równą C_{as} plus pojemności montażowe,
- doskonałą liniowość charakterystyki w funkcji częstotliwości zarówno dla dodatnich, jak i dla ujemnych impulsów,
- bardzo mały opór wyjściowy, równy $R_{wy} = 1/K_a * S_a$, (K_a , to wzmocnienie, S_a to nachylenie charakterystyki lampy) zwykle wynoszący kilka, kilkanaście omów.

Te cechy układu powodują, że znajduje on zastosowanie jako liniowy przedwzmacniacz (mimo braku wzmocnienia), separator dopasowujący różne impedancje, a także jako wzmacniacz końcowy (niska impedancja wyjścia).



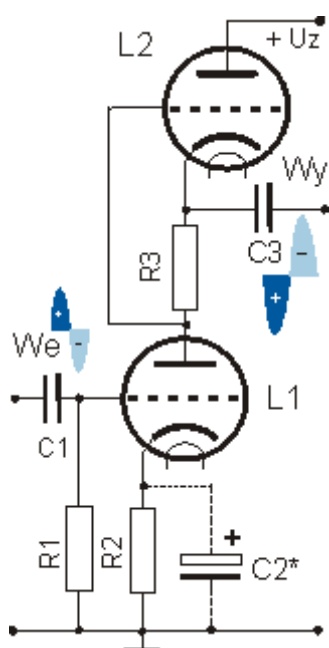
Należy pamiętać, iż dla zasilania lampy połączone są szeregowo, dlatego w układach powinny pracować lampy o niskim napięciu anodowym i wysokim napięciu przebicia włókno żarzenia-katoda.

Układy kaskady są także stosowane w technice tranzystorowej, posiadają analogiczne właściwości jak układy lampowe.

Parametry wtórnika White'a dla 4 triod małej mocy, obliczone za pomocą programu ECCLab7.
 $R1=0,47\text{ kom}$, $R2=1,0\text{ kom}$

ECC81 Ka lampy: 60 V/V, Rwew lampy: 11 kom	ECC82 Ka lampy: 17 V/V, Rwew lampy: 7,7 kom	ECC88, E88CC Ka lampy: 33 V/V, Rwew lampy: 2,6 kom	6N6P Ka lampy: 20 V/V, Rwew lampy: 1,8 kom
Wzmocnienie układu: 0,92 V/V Oporność wyjściowa: 30 omów	Wzmocnienie układu: 0,7 V/V Oporność wyjściowa: 147 omów	Wzmocnienie układu: 0,95 V/V Oporność wyjściowa: 7,7 omów	Wzmocnienie układu: 0,92 V/V Oporność wyjściowa: 11 omów

4. Wspólna Katoda z aktywnym obciążeniem (SRPP, Shunt Regulated Push Pull)



Układ wywodzi się z techniki wielkich częstotliwości. Podobnie jak w poprzednich układach, dla napięcia zasilającego lampy połączone są szeregowo. Lampa L1 pracuje w układzie WK, lecz jej obciążeniem jest lampa L2, której oporność jest regulowana napięciem wyjściowym lampy L1.

Stopień jako całość, możemy potraktować jako pracujący w układzie push-pull, mimo, że poszczególne lampy (L1 oraz L2) pracują w układzie SE..

Zalety układu:

- wysoka oporność wejściowa (jak to w układzie WK),
- dość duże wzmocnienie,
- szerokie pasmo przenoszenia.
- stosunkowo niska wartość impedancji wyjściowej (niższa niż "klasyczny" WK).

Niestety, układ ma pewne ograniczenia, bowiem owa "stosunkowo niska" impedancja wyjściowa jest wrażliwa na zbyt niską impedancję następnego stopnia, wzmacniacz najlepiej pracuje gdy

kolejny stopień jest dopasowany do impedancji układu SRPP (nie jest niższy).

Ten układ najlepiej działa na lampach o niskiej impedancji wewnętrznej lampy, widzianej od strony anody (o niskim R_a), jak ECC88 (i jej odpowiedniki), 6N6P, 6N30P itp.

Wartość $R2$ i $R3$ nie jest wysoka, zwykle 470-2500 omów, wzmocnienie układu nieco rośnie wraz ze wzrostem wartości tych rezystorów, natomiast maleje wtedy impedancja wyjścia.

Należy pamiętać, iż dla zasilania lampy połączone są szeregowo, dlatego w układach powinny pracować lampy o niskim napięciu anodowym i wysokim napięciu przebicia włókna żarzenia-katoda.

Układ ten spotyka się we wzmacniaczach SE jako wzmacniacz wstępny (chętnie stosowany przez Audio Note), a także jako samodzielny, uniwersalny przedwzmacniacz lampowy.

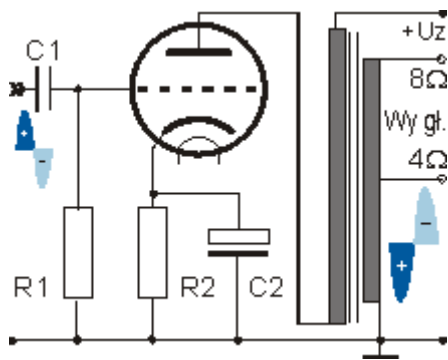
Parametry układu SRPP dla 4 triod małej mocy, obliczone za pomocą programu "ECCLab7". Przyjąłem że $R2=R3=0,47\text{kom}$.

ECC83	ECC82	ECC88, E88CC	6N6P
--------------	--------------	---------------------	-------------

K_a lampy: 100 V/V, R_{wew} lampy: 62,5 kom	K_a lampy: 17 V/V, R_{wew} lampy: 7,7 kom	K_a lampy: 33 V/V, R_{wew} lampy: 2,6 kom	K_a lampy: 20 V/V, R_{wew} lampy: 1,8 kom
Wzmocnienie układu: 60,5 V/V	Wzmocnienie układu: 11,1 V/V	Wzmocnienie układu: 28,2 V/V	Wzmocnienie układu: 16,6 V/V
Oporność wyjściowa: 81,3 kom	Oporność wyjściowa: 6,7 kom	Oporność wyjściowa: 0,47 kom	Oporność wyjściowa: 0,38 kom

II. Stopień mocy (wyjściowy)

1. Układ pojedynczy (z transformatorem)



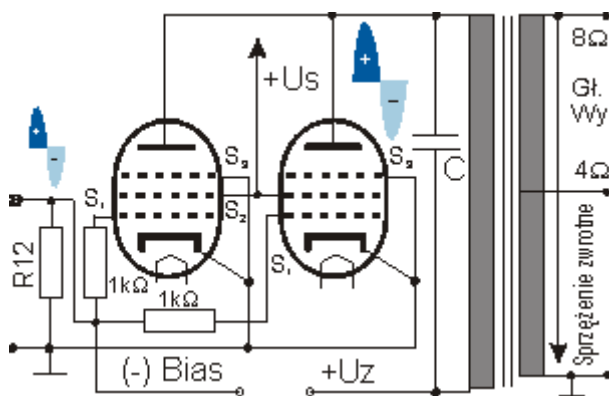
Jak widać na schemacie, jest to układ WK, gdzie zamiast rezystora anodowego znajduje się pierwotne uzwojenie transformatora głośnikowego.

Wzmacniacz triodowy single ended pracujący w klasie A ma bardzo małą sprawność, rzędu 20-25%. Wynika z tego, że gdy w stopniu końcowym pracuje lampa o mocy 15 W, możliwe jest uzyskanie jedynie jednej piątej jej mocy, czyli ok. 3 W. Dzisiaj, w dobie konstrukcji głośnikowych o mocy rzędu setek wat jest to śmiesznie mało. Dlatego stosuje się równoległe łączenie lamp, czy

triodowe układy przeciwsołbne pracujące w klasie A, dzięki czemu, (wprawdzie sprawność nie jest większa) uzyskuje się podwojenie mocy wyjściowej. Ale i tak moc 6-10 Wat nadal jest zbyt mała. Ponieważ wielu audiofilów uważa, iż tylko triody pracujące w czystej klasie A, w układzie SE, dają "prawdziwie naturalny" dźwięk dlatego do odtwarzania używa się głośników dynamicznych o sprawności przynajmniej 94 dB lub tubowych, które mają o wiele większą sprawność (nawet do 20%) niż "zwykłe" głośniki dynamiczne.

O wiele lepszą sprawność mają tetrody i pentody, dlatego obecnie one zdominowały konstrukcje wzmacniaczy tak pracujące w klasie A, SE, jak i w układach przeciwsołbnych.

2. Układ podwójny, równoległy



Na rysunku obok widzimy schemat układu wzmacniacza mocy SE, gdzie lampami wyjściowymi są połączone równoległe dwie pentody (tetrody) mocy. Ponieważ pentody (tetrody) mają większą sprawność niż triody i do tego połączone są równoległe, wzmacniacz taki ma całkiem przyzwoitą moc kilkunastu - kilkudziesięciu wat (w zależności od zastosowanych lamp).

Siatki sterujące lamp polaryzowane są ujemnym napięciem pobranym z oddzielnego

prostownika (fixed bias) a jego wartość jest odpowiednio dobrana do rodzaju lamp. Siatki ekranujące S2 powinny także być spolaryzowane, tylko napięciem dodatnim, dlatego podawane jest napięcie dodatnie uzyskane z dzielnika napięcia (na rysunku dzielnika nie pokazano). Rezystory przy siatkach lamp o wartości 1-5 k, to tzw. grid stopper, zapobiegają wzbudzaniu się lamp.

Układ z tetrodą nie różni się od układu z pentodą, jedynie może nie być siatki zerowej S3. Tetrody strumieniowe (np. KT 88) posiadają siatkę zerową, podobnie jak pentody.

Inne właściwości lamp i wzmacniaczy lampowych

Szumy lamp

Lampy szumią. Szumią bardziej niż elementy półprzewodnikowe. Szumią bo taka jest ich natura. Triody szumią mniej niż pentody. Są specjalne lampy o niskich szumach, przystosowane do układów o wysokim wzmocnieniu (jak np. wzmacniacze mikrofonowe). Szum lampy składa się z trzech składowych:

- **efekt śrutowy**. Nazwa pochodzi stąd, że w głośniku występuje on w postaci odgłosów przypominających uderzanie kuleczek śrutu sypanych na twardą powierzchnię. Powstaje on w wyniku fluktuacji termicznej elektronów w czasie. Im większy prąd anodowy, tym większy efekt szumu. Ma charakter szumu białego, czyli jego częstotliwość zawiera się od zera, do - teoretycznie - nieskończoności.

- **efekt migotania**. Polega na wahanii emisji elektronowej w różnych miejscach powierzchni katody. Słyszalny jest w niższych częstotliwościach.

- **fluktuacja prądu siatkowego**. Teoretycznie w obwodzie siatki prąd nie płynie, praktycznie pewna niewielka wartość tego prądu występuje. Jego wahania dają szum, który ma charakter szumu białego (szerokopasmowego).

Ponieważ najsilniej wzmacniane są sygnały (więc także i szumy) w przedwzmacniaczu, dlatego ważne jest by tutaj pracowały lampy "niskoszumne" i o dużym nachyleniu charakterystyki siatkowej (S_a). Lampy powinny pracować przy możliwie małym prądzie anodowym i małym prądzie siatki ekranującej (w przypadku tetrad i pentod). Niektórzy producenci lamp podają w charakterystykach lamp "Równoważną oporność szumów dla efektu śrutowego".

Szumy rezystorów

Nie tylko lampy szumią. Szumią półprzewodniki (tam także występuje efekt śrutowy) ale szumią także rezystory. Związane jest to z bezładnym ruchem elektronów w rezystorze. W elektronice przyjmuje się, że szum można przedstawić jako równoważne źródło napięciowe lub prądowe szumu. Po prostu wartość szumu (który trudno przedstawić jako jakąś wartość fizyczną) przedstawia się w postaci np. napięcia, jakie jest generowane przez szumiący opornik.

Wartość szumu opornika zależy od jego konstrukcji (warstwowy szumi mocniej niż wykonany w materiale o jednorodnej strukturze), od wartości oporu (rezystancji) i temperatury. Duża wartość rezystancji i wysoka temperatura powodują, że szum jest większy. Szum termiczny rezystora ma charakter szumu białego.

Najbardziej słyszalne są szumy rezystora w obwodzie siatkowym lampy. Duża wartość tego rezystora i "wrażliwość" siatki na wszelkie, nawet niewielkie sygnały, powodują że jest najbardziej krytycznym (oprócz lamp) elementem układu wzmacniacza, generującym najwięcej szumów. Dlatego konstruując przedwzmacniacz zwróćmy uwagę na jakość tego rezystora - zalecane są niskoszumne, a przynajmniej tzw. pięciopaskowe, czyli o tolerancji 1%, ze względu na wyższą jakość materiału z jakiego są wykonane. Ponadto wartość rezystancji rezystora siatkowego powinna być wyśrodkowana - na tyle wysoka, by nie obciążać zbytnio poprzedniego stopnia (co może prowadzić do tłumienia wysokich częstotliwości) i na tyle niska, by nie występowały nadmierne szumy. Zwykle ma on wartość ok. 500k. Ponieważ, jak pamiętamy, wartość szumu rośnie wraz z temperaturą, nie podgrzewajmy dodatkowo tego rezystora (jak i innych), umieszczając go w pobliżu gorącej lampy.

Lampowe rekordy.

Lampa o najniższym napięciu anodowym.

Na początku lat 60. przemysł zaczął produkować wzmacniacze tranzystorowe. Ale ponieważ miały one małą częstotliwość graniczną (tranzystory germanowe) nie można było ich zastosować np. w mieszaczach w głowicach UKF. W ten sposób w układzie tranzystorowym musiała zostać zastosowana lampa. Była nią podwójna trioda, **ECC86** produkowana przez Philipsa jeszcze w 1999 roku, którą można zasiląć **napięciem anodowym 6.3 V lub 12.6 V**. Dzięki tak niskiemu napięciu anodowemu można było produkować samochodowe odbiorniki radiowe zasilane wprost z akumulatora samochodu. Napięcie żarzenia to 6.3 V, prąd żarzenia 0.33 A. Prąd anodowy to 0,9 mA dla napięcia anodowego 6,3 V, 2,5 mA dla 12,6 V.

Maksymalne napięcie anodowe - 30 V.

Najbardziej długowieczna lampa

Najbardziej długowieczną lampę małej mocy (i rozmiarów) wyprodukował także Philips (jeżeli się mylę, napiszcie) 6111WA, której czas pracy to 100 000 godzin ("lepsze" lampy małej mocy to ok. 10 000 godzin i to jest dobry rezultat!). Używa ich firma Audio Note w swoim odtwarzaczu kompaktowym AN-CD3 jako bufor wyjściowy (pracuje w układzie wtórnika katodowego).

Strefa niższych napięć

Nie wszystkie lampy muszą być zasilane napięciem anodowym rzędu setek volt. Oprócz wspomnianej ECC86, obecnie dość rzadko spotykanej, popularną jest lampa ECC88. Jej nominalne napięcie anodowe to 90 V, przy sporym prądzie anodowym 15 mA i wzmocnieniu 33. Jej odpowiednikami są: "lepsz" wersja E88CC, 6922, amerykańska 6DJ8 czy rosyjska 6N23P.

Także rosyjska lampa małej mocy, podwójna trioda **6N1P (6H1P)** może pracować z niskim napięciem anodowym, nawet 50 V, mimo że zalecane napięcie pracy wynosi 250 V. Przy tak niskim napięciu anodowym, napięcie siatki jest już dodatnie. Ma moc 2,2 W i wymaga większego prądu żarzenia - 600 mA przy 6,3 V. Układ elektrod jak w ECC88, w niektórych aplikacjach może ją zastąpić.

Inną interesującą lampą niskonapięciową, jest także rosyjska trioda małej (a może już średniej?) mocy **6N6P (6H6P)**, o napięciu anodowym 120V, dużym prądzie anodowym 28 mA. Napięcie siatki -2V. Moc tej lampy to prawie 5 W, wymagany jest duży prąd żarzenia - 0,75 A przy napięciu 6,3V.

Jak Mohikanie?

Co jest lepsze tranzystor czy lampa - te dyskusje trwają od lat. Ale entuzjaści słuchania dobrej muzyki wiedzą, że lampy mają się dobrze i nic nie wskazuje na to by miały wymrzeć jak dinozaury. W 1983 Horyzonty Techniki (nr 2'83) wieściły że lampy znikną z powierzchni ziemi. Jak Mohikanie. Lub dinozaury.