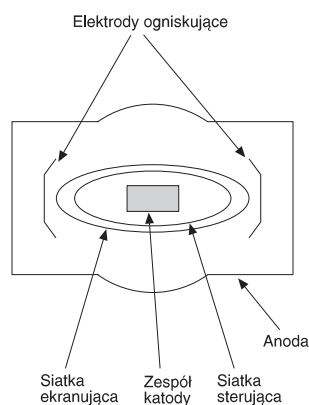


Lampy elektronowe, część 2

Druga część artykułu prezentującego konstrukcje lamp elektronowych jest poświęcona dwóm najdoskonalszym lampom: tetrodzie strumieniowej i pentodzie. Omówiono parametry charakteryzujące lampy, ich podstawowe układy pracy, sposoby oznaczeń i rodzaje obudów. W ten sposób stworzyliśmy kompendium zawierające najważniejsze informacje o lampach i układach lampowych.



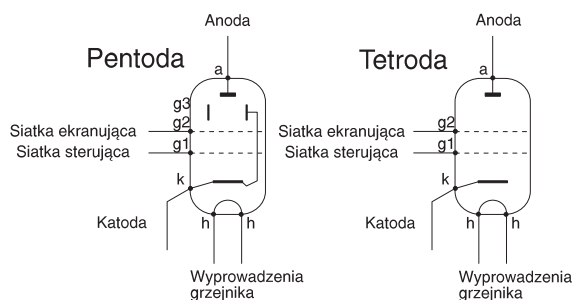
Rys. 10. Konstrukcja tetrody strumieniowej.

Tetroda strumieniowa

Wysiłki czynione w celu wyeliminowania załamań charakterystyki tetrody doprowadziły do skonstruowania tetrody strumieniowej. Skoki zwojów siatek zostały zrównane, a ich rozmieszczenie tak zmodyfikowane, że siatka ekranująca znalazła się całkowicie „w cieniu” siatki sterującej. Dzięki temu elektrony podążają od katody do anody oddzielnymi strumieniami. Ponadto, po obu stronach wewnętrznej struktury lampy, tam gdzie znajdują się wsporniki montażowe siatek, pomiędzy siatką ekranową a anodą, umieszczono odpowiednio uformowane elektrody skupiające. Są one połączone z katodą i ograniczają strumienie elektronów do dwóch wiązek po dwóch stronach anody. Pole elektryczne wewnątrz lampy, ukształtowane za pomocą takiej konstrukcji, niemal całkowicie eliminuje niekorzystny wpływ zjawiska emisji wtórnej z anody. Przekrój tetrody strumieniowej jest pokazany schematycznie na rys. 10. Pierwsze tetrody strumieniowe były przeznaczone głównie dla układów audio, ale gdy ich konstrukcja została udoskonalona, rozpozyszczyły się także w wersji do wielkich częstotliwości.

Pentoda

Innym sposobem eliminacji skutków emisji wtórnej jest wprowadzenie do lampy trzeciej siatki,



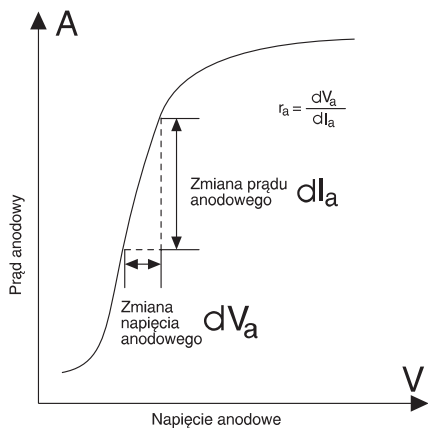
zwanej siatką hamującą, umieszczonej pomiędzy siatką ekranującą a anodą. Niemal zawsze jest ona połączona z katodą. W dawnych, lampowych czasach pentody były najbardziej chyba rozpozyszcznym rodzajem lamp. Charakteryzowały się dużym wzmocnieniem, liniowością i stabilnością. Tetrody strumieniowe używano głównie we wzmacniaczach mocy, a triody do różnych specjalnych układów.

Parametry techniczne lamp

Do scharakteryzowania lampy potrzeba wielu danych technicznych. Niektóre z nich są tak oczywiste jak na przykład napięcie żarzenia.

Istnieje wiele standardowych rodzajów żarzenia, ale najpowszechniejszym jest napięcie 6,3V. Napięcie to jest dostosowane do napięcia trójogniowego akumulatora ołowiowego. Jednakowe napięcie umożliwia żarzenie wszystkich lamp urządzenia, połączonych równolegle, z jednego źródła. Wyjątkiem jest rozpozyszczone na rynku amerykańskim napięcie żarzenia lamp prostowniczych 5V. Dlatego typowe transformatory zasilające miały po dwa uzwojenia żarzenia o różnym napięciu, dla lampy prostowniczej i dla pozostałych lamp. Trzeba pamiętać, że katoda lampy prostowniczej - w odróżnieniu od katod innych lamp - pozostaje pod wysokim napięciem względem masy. Było oprócz tego jeszcze wiele innych standardów żarzenia.

Ważne jest także maksymalne napięcie anodowe. Typowe urządzenia domowe przeważnie były zasilane napięciem (tzw. anodowym) około 250V. Ale maksymalne napięcie anodowe popularnej lampy 6L6 do końcowych stopni mocy, chętnie używanej we wzmacniaczach gitarowych, wynosi 360V. Do ważniejszych danych zalicza się także maksymalne napięcie siatki ekranowej oraz



Rys. 11. Wyznaczenie oporności wewnętrznej lampy.

maksymalną moc tracona w anodzie i w ekranie, przekroczenie których grozi uszkodzeniem lub zniszczeniem lampy.

Jednym z najważniejszych parametrów lampy jest jej dynamiczna oporność wewnętrzna (dla małych sygnałów zmiennych), oznaczana symbolem r_a . Parametr ten stosuje się do wszystkich lamp łącznie z diodą. Na statycznej charakterystyce lampy na **rys.11** przedstawiono graficznie, jak niewielka zmiana napięcia anodowego wywołuje zmianę prądu anodowego (przy stałym napięciu siatki). Dzieląc przyrost napięcia przez przyrost prądu otrzymuje się oporność wewnętrzną lampy.

Równie ważne jest tzw. nachylenie charakterystyki anodowej, oznaczane S_a (w literaturze angielskojęzycznej mutual conductance, g_m), będące stosunkiem zmiany prądu anodowego do wywołującej go zmiany napięcia siatki sterującej, przy stałym napięciu anodowym. Wielkość tę wyraża się w mA/V ($\mu\Omega$, $1000\mu\Omega = 1\text{mA/V}$).

Trzeba jeszcze na koniec wspomnieć o współczynniku wzmocnienia K (lub μ), definiowanym stosunkiem zmiany napięcia anodowego do zmiany napięcia siatki, przy stałym prądzie anodo-

wym. Jest to teoretyczna granica współczynnika wzmocnienia, osiągalnego przez stopień wzmacniający z daną lampą. Praktyczne wzmocnienie jest zawsze niższe.

Powyższe trzy parametry łączy oczywista zależność:

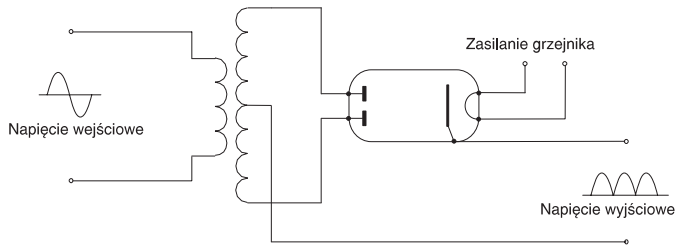
$$K = S_a r_a \text{ (lub } \mu = g_m r_a \text{)}$$

Układy lampowe

Tak jak istnieje wielka różnorodność tranzystorów, tak i rodzajów lamp jest bardzo dużo. Układy lampowe projektuje się więc składając logicznie ze sobą poszczególne stopnie jak z klocków.

Najprostszym układem lampowym jest prostownik diodowy. Dioda była przede wszystkim używana jako prostownik w zasilaczach. Najprostsza dioda może działać tylko jako prostownik jednopołówkowy, pokazany na **rys. 12**. Do filtracji tętnień wymaga on kondensatora o dużej pojemności. W dwupołówkowym można użyć dwóch pojedynczych diod, ale przeważnie używano tzw. podwójnych lamp prostowniczych, tj. dwóch diod o wspólnej katodzie. Schemat takiego prostownika jest pokazany na **rys.13**. Wykorzystuje się w nim obie połówki sinusoidy i filtracja jest łatwiejsza.

Schemat prostownika diodowego jest bardzo prosty. Trioda posiada więcej elektrod, więc układy triodowe są bardziej złożone. Jak już wspomniano, siatka musi być utrzymywana pod napięciem ujemnym względem katody. W przeciwnym wypadku popłynie prąd siatkowy i znacznie wzrośnie prąd anodowy. Mogą one osiągnąć tak duże natężenia, że lampa i inne elementy układu ulegną uszkodzeniu. Sposób otrzy-



Rys. 13. Dioda jako prostownik dwupołówkowy.

mywania ujemnego napięcia siatkowego pokazuje **rys. 14**.

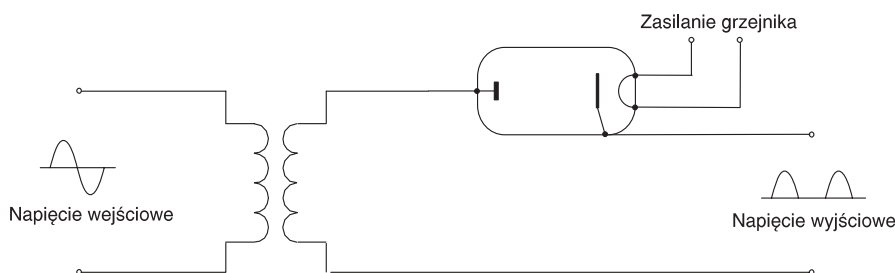
Siatka łączy się z masą za pośrednictwem rezystora o dużej oporności, $100\text{k}\Omega$ lub większej, ponieważ impedancja wejściowa lampy jest duża. Katodę łączy się z masą rezystorem katodowym o tak dobranej oporności, aby prąd anodowy wytwarzał na nim spadek napięcia równy pożądanemu napięciu siatki. W takim układzie dodatnie napięcie katody względem masy oznacza bowiem ujemne napięcie siatki względem katody. Jest to napięcie stałe, na które nakłada się napięcie zmienne wzmacnianego sygnału.

Napięcia elektrod lampy różnią się czasem znacznie, pomiędzy poszczególnymi stopniami układu muszą więc być stosowane kondensatory sprzęgające.

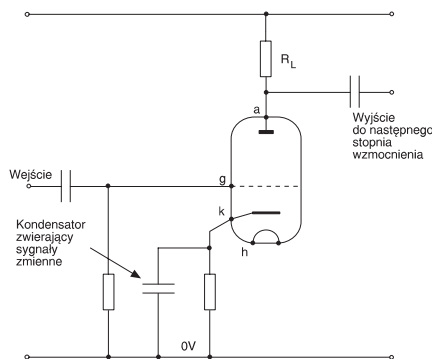
Zmieniające się napięcie siatki sterującej wywołuje zmiany prądu anodowego, jak to ilustruje **rys.15**. Ten zmienny prąd płynie przez oporności obwodu anodowego, na których wywołuje zmienne napięcie anodowe. Na **rys.14** widać rezystor w obwodzie anodowym lampy. Całkowita oporność obwodu składa się z oporności wewnętrznej lampy r_a i oporności obciążenia w postaci rezystora R_L . W obwodzie istnieje więc dzielnik napięcia i wzmocnienie wzmacniacza nie może osiągnąć teoretycznego wzmocnienia lampy K . Wzmocnienie stopnia oblicza się ze wzoru:

$$A_v = KR/(r_a + R)$$

Oporność R przedstawia w tym wzorze całkowitą oporność obciążenia. Oznacza to, że jeżeli wzmacniacz jest obciążony niską impedancją, musi ona zostać uwzględniona jako równoległe połączenie z rezystorem R_L . Często zdarza się, że impedancja następnego stopnia jest dużo większa od oporności R_L i wtedy może zostać pominięta. Czasem jednak musi być uwzględniana w rachunku.



Rys. 12. Dioda jako prostownik jednopołówkowy.

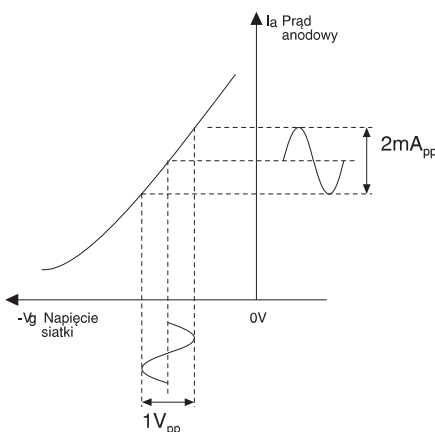


Rys. 14. Schemat wzmacniacza triodowego.

Układy z tetrodą i pentodą

Zwykły wzmacniacz triodowy różni się oczywiście od wzmacniacza tetrodowego lub pentodowego, ale podstawowe obliczenia są takie same. Schemat wzmacniacza wymaga kilku uzupełnień. Napięcie siatki ekranującej musi być niższe od anodowego. Zazwyczaj używa się w tym celu rezystora redukującego napięcie, pokazuje to rys. 16. Prąd pobierany przez ekran wytwarza na tym rezystorze odpowiedni spadek napięcia. Znajomość tego prądu umożliwia obliczenie oporności rezystora. Typową opornością jest 100kΩ. Rezystor ten musi zostać zablokowany kondensatorem do masy, aby wyeliminować wszelkie napięcia zmienne, jakie mogłyby pojawić się na ekranie. W razie braku tego kondensatora ekranujące działanie siatki nie byłoby w pełni skuteczne. Jego pojemność musi być na tyle duża, aby mógł eliminować najniższą z wchodzących w grę częstotliwości.

We wzmacniaczach wielkiej częstotliwości, o mocy kilkuset



Rys. 15. Zmiany prądu anodowego wywołane zmianami napięcia siatkowego.

lub więcej watów, siatka ekranująca bywa zasilana z osobnego zasilacza stabilizowanego w celu uniemożliwienia wzrostu jej napięcia powyżej dopuszczalnego. W przeciwnym wypadku lampa mogłaby zostać zniszczona.

Układ wzmacniacza pentodowego niewiele różni się od tetrodowego. Siatkę hamującą łączy się z katodą, a czasem z masą, jeżeli nie jest zwarta z katodą wewnątrz bańki.

Cokoły lamp

W ciągu wielu lat rozwoju technologii lamp elektronowych zostały kolejno opracowane różne standardy cokołów i podstawek lampowych, służących do łączenia lamp z układem. Początkowo były to cokoły „wtyczkowe” o trzech, czterech lub pięciu „nóżkach”. Później w Europie powstała seria bocznokontaktowa i niemiecka seria „stalowa” do lamp z metalową bańką, a w USA cokoły systemów octal, loctal i tzw. miniaturowych heptal i noval, które stały się następnie standardami międzynarodowymi.

Znane lampy 6L6 i 6V6 były serii octal, a słynna EF50 serii octal B9G o bardzo dużym na owe czasy nachyleniu charakterystyki, była stosowana w urządzeniach radarowych w czasie drugiej wojny światowej. Z tzw. całoszklanymi lampami początkowo serii B8G, a później B8A, heptal (B7G) i noval (B9A) wprowadzono nową technologię produkcji. Szpilkowe „nóżki” tych lamp przechodzą bezpośrednio przez szkło bańki, dzięki czemu dodatkowe zewnętrzne cokoły lamp nie są potrzebne, a liczba operacji w procesie produkcyjnym została zredukowana.

Systemy symboli nazewniczych

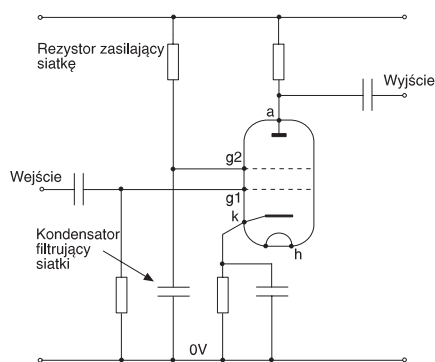
Podobnie jak wszelkie podzespoły również i lampy elektronowe były oznaczane symbolami liczbowo literowymi. W ciągu wielu lat producenci w różnych krajach stosowali rozmaite sposoby oznaczania swoich produktów, w wyniku czego identyczne nierzadko lampy występowały pod różnymi nazwami. Dlatego starano się uzgodnić wspólne systemy nazewnicze. Powstały dwa takie systemy, europejski i amerykański

Tabela 1. Europejski system nazewniczy lamp elektronowych.

pierwsza litera żarzenie	
A	4V
C	200mA /= (szeregowo)
D	1,2V - 1,4V =, bateryjne
E	6,3V /=
G	5V
K	2V =, bateryjne
P	300mA /= (szeregowo)
U	200mA /= (szeregowo)
V	50mA /= (szeregowo)
druga litera	rodzaj lampy
A	pojedyncza dioda
B	podwójna dioda
C	trioda
D	trioda mocy
E	tetroda
F	pentoda
H	heksoda lub heptoda
K	oktoda
L	pentoda mocy
M	wskaźnik dostrojenia (magiczne oko)
N	tyratron
Q	nonoda
X	gazowana prostownicza dwupołówkowa
Y	prostownicza jednapołówkowa
Z	prostownicza dwupołówkowa
liczba	rodzaj cokołu
1 - 9	bocznokontaktowy
11 - 15	do niemieckich lamp metalowych
21 - 29	loctal B8G
30 - 39	octal
40 - 49	całoszklane B8A
50 - 59	różne
60 - 79	subminiaturowe
80 - 89	całoszklane B9A
90 - 99	całoszklane B7G

liczby trójcyfrowe - różne odmienne wersje

ki. Niektóre lampy produkowane w obu tych obszarach ekonomicznych mają wobec tego po dwa oznaczenia. Europejski system nazewniczy jest zestawiony w tabeli 1. Pierwszą literą jest oznaczony sposób żarzenia lampy. Druga litera oznacza rodzaj lampy. Ponieważ niektóre lampy zawierają w bańce więcej niż jedną strukturę lampową, liter tych może być



Rys. 16. Schemat wzmacniacza tetrodowego.

Tabela 2. Amerykański system nazewnicy lamp elektronowych.

pierwsza liczba	napięcie żarzenia
0	z zimną katodą
1	0,6V - 1,6V
5	4,6V - 5,6V
6	5,6V - 6,6V
7	6,3V loctal
12	12,6V
35	około 35V

jedna lub dwie litery na kolejnej pozycji oznaczają nazwę lampy

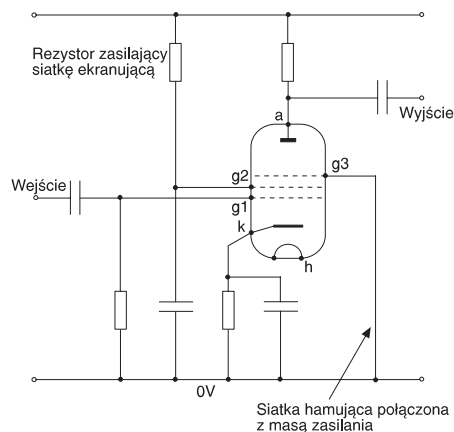
trzecią pozycją jest liczba elektrod (wliczając żarnik)	
litery końcowe	typ bańki
G	duża szklana
GT	mała szklana
M	metalowa
X	niskostratny cokół
W	wykonanie wojskowe

także więcej niż jedna. Na trzecim miejscu jest liczba oznaczająca serię, a zatem cokół lampy.

Amerykański system nazewnicy jest opisany w tabeli 2. Nie dostarcza on tak szczegółowych informacji jak system europejski. Pierwsza cyfra oznacza napięcie żarzenia, jedna lub dwie litery to nazwa lampy, po czym następuje cyfra oznaczająca liczbę elektrod w lampie z uwzględnieniem żarnika, a na końcu litery, określające rodzaj bańki.

Ian Poole, EwPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika „Everyday with Practical Electronics“.



Rys. 17. Schemat wzmacniacza pentodowego.