

6BN6, niesamowity mały mikser

Autor: Grayson Evans, KJ7UM, Copyright 2020

Tłumaczenie tekstu za zgodą autora, Piotr SP9LVZ

Styczeń 2022

Wprowadzenie

Lampa elektronowa 6BN6 z emisją wiązki elektronowej sterowaną bramkowo jest wyjątkowa. Jest skonstruowana jak żadna inna lampa, z jakimi spotkałem się w radioelektronice. Jest to jedyna lampa tego typu, jaką kiedykolwiek zbudowano ¹. Na szczęście nadal jest łatwo dostępna po niskich kosztach. Od jakiegoś czasu chciałem zbadać jego potencjał aplikacyjny jako mikser/detektor produktu. Ten artykuł jest wynikiem moich badań tuby głównie jako miksera detektora produktu. Polubisz tą lampę elektronową.

Tło

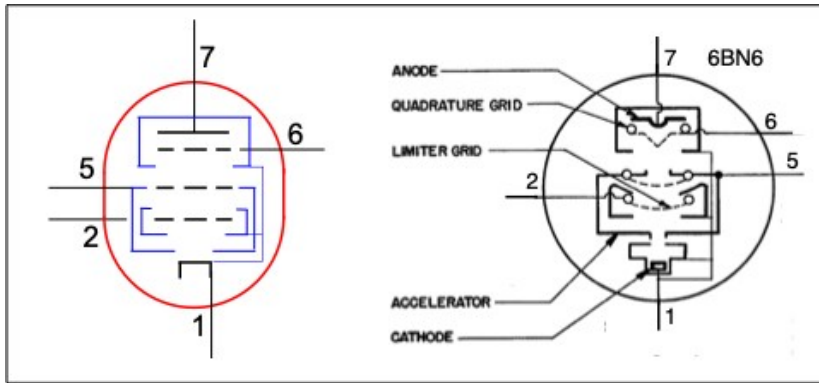
6BN6 został opracowany w Zenith Radio Corporation w Chicago, około 1949 roku przez dr. Roberta Adlera i skomercjalizowany przez Allena Haase w General Electric. Został zaprojektowany z myślą o łączeniu funkcji ogranicznika, dyskryminatora i wzmacniacza napięcia audio w odbiornikach telewizji FM i międzynaśnej. Konstrukcja i działanie lampy zostały wstępnie opisane w dwóch pracach Adlera ² i Haase ³, o których szerzej opowiem.

Pierwotnym celem opracowania 6BN6 było wytworzenie lampy elektronowej, która miałaby nieodłączną charakterystykę ograniczania amplitudy i pasowałaby do obwodu detektora FM wymagającego minimalnej liczby komponentów. Ale zdobyła inne zastosowanie.

Struktura lampy

6BN6 jest wyjątkowa z kilku punktów widzenia. Wiązka elektronów w tej lampie przybiera postać wiązki elektronów o różnych przekrojach i gęstościach prądu, gdy przemieszcza się od katody do anody. Nie ma regulacji ogniskowania ani intensywności, jakie można znaleźć w większości obwodów, w których używane są lampy elektronowe. Jest ona podzielony na trzy sekcje (patrz schemat poniżej): przedział katodowy, z którego pochodzi wiązka katodowa, przedział siatki ogranicznika i siatki akceleratora oraz przedział siatki kwadraturowej i anody. Akcelerator wytwarzający wiązkę osłania katodę przed polami elektrostatycznymi siatek sterujących i służy do uniezależnienia prądu katodowego od potencjałów elektrody sterującej. Posiada dwie siatki kontrolne: siatkę ogranicznika, która działa podobnie do konwencjonalnej siatki kontrolnej oraz siatkę kwadraturową, który działa jak druga niezależna siatka kontrolna. Jednym z powodów rozdzielenia przedziałów było zminimalizowanie ładunku przestrzeni i sprzężenia pojemnościowego między elementami siatki.

Pin-out na arkuszu danych GE jest narysowany jak konwencjonalny pentod, ale to jest mylące. To na pewno nie jest pentoda. Poniższe diagramy są bardziej reprezentatywne dla rzeczywistej struktury wewnętrznej. Ten po prawej pochodzi z noty aplikacyjnej GE i pokazuje strukturę podzieloną na przedziały, a ten po lewej to moja interpretacja, którą wykorzystuję na schematach.



Po lewej mój schematyczny symbol, po prawej konstrukcja wewnętrzna z katalogu GE.

Jak działa lampa 6BN6

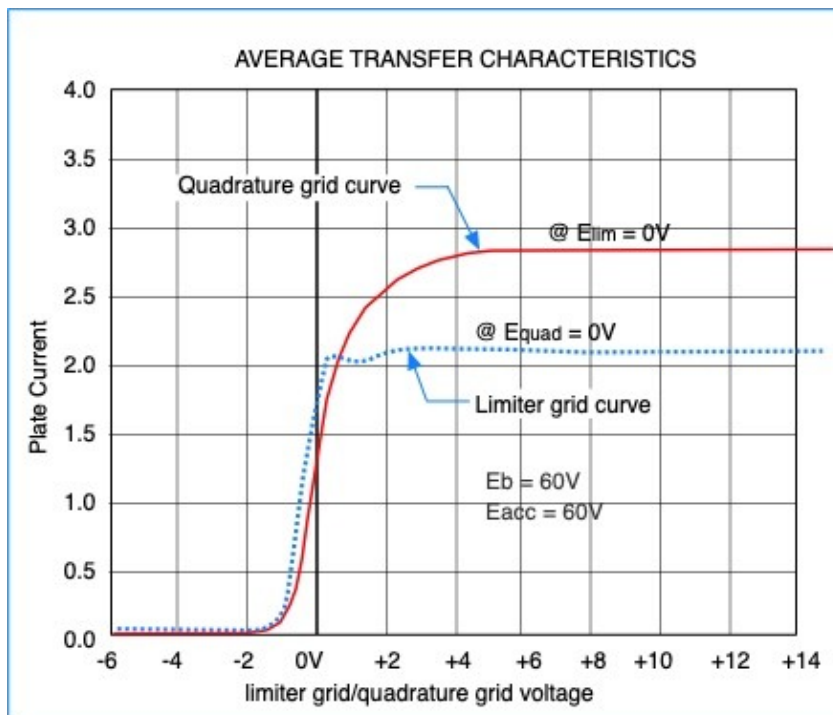
Cytując Adlera i Haase'a: „... naszym celem było zaprojektowanie lampy, która miałaby dwa elementy sterujące, z których każdy miałby zasadniczo charakterystykę przenoszenia funkcji skokowej, aby zrealizować wydajną iterację obwodu przy niskich poziomach wejściowych. Łącznie cechy te umożliwiają przełączanie prądu anody pomiędzy wartością odcięcia a jej wartością graniczną przy niskich sygnałach wejściowych do odbiornika. W odpowiedzi na potencjał siatki, który zmienia się z ujemnego na dodatni, prąd płytki gwałtownie wzrasta od zera do ostro zdefiniowanego poziomu maksymalnego. Nie ma dalszych zmian w prądzie anody, bez względu na to, jak silnie dodatnia może być siatka sterująca.”

Krzywe przenoszenia siatki nie przypominają konwencjonalnej triody lub pentody (patrz rysunek poniżej). Przypominają krzywą przenoszenia diody, ale nie do końca. Siatka limitera ma bardzo liniowy, bardzo ostry obszar odcięcia, co, jak sądzę, daje lampie wysoki współczynnik konwersji.

Gdy siatka ogranicznika jest spolaryzowana w pobliżu punktu środkowego swojej charakterystyki sterującej, przepuszcza wiązkę podczas dodatnich półokresów przyłożonego sygnału i odcina ją podczas ujemnych półokresów. W podobny sposób działa siatka kwadraturowa; jeśli waha się ujemnie, prąd płytki zostaje odcięty. Podczas dodatniego półokresu prąd anody gwałtownie wzrasta do maksymalnego poziomu.

Dwie siatki działają jak bramki, które otwierają się i zamykają okresowo, w zależności od zależności fazowej dwóch sygnałów siatki. Wiązka elektronów może dotrzeć do anody tylko wtedy, gdy obie bramy są otwarte; prąd anodowy rozpoczyna się wraz z otwarciem drugiej bramy (siatka kwadraturowa) i kończy się wraz z zamknięciem pierwszej (siatka ogranicznika „limitera”). Zasada mikswania jest podobna do tej w mikserze diodowym zbalansowanym tylko ze wzmocnieniem.

W przypadku pracy miksera sygnał IF powinien być doprowadzony do siatki ogranicznika w konwencjonalny sposób. Optymalne odchylenie (około -1 do -2 woltów) odpowiada początkowi stromej części krzywej charakterystyki siatki i podczas pracy to odchylenie powinno pozostać stałe. Sygnał BFO jest podawany na siatkę kwadraturową, a jej amplituda powinna być wystarczająco duża, aby kontrolować prąd anody od odcięcia do granicy prądu anodowego. Siatka kwadraturowa powinna być podłączona (stałoprądowo) do ziemi przez niską rezystancję prądu stałego, najlepiej cewkę indukcyjną.



Najwcześniejsze zastosowania.

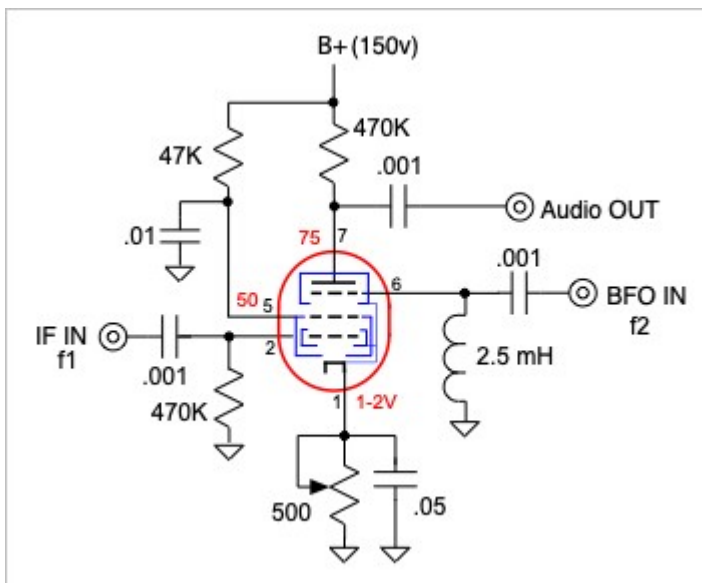
Najwcześniejsze odniesienie do krótkofalarstwa 6BN6 to artykuł QST autorstwa W9BIY i W9IHT z maja 1960 r. QST, *Some New Ideas in a Ham-Band Receiver*. Użyli oni 6BN6 jako detektora produktów (detektor SSB/CW) i byli bardzo zadowoleni z wyników. „Wierzmy, że detektor produktu [tego odbiornika] jest znaczącym ulepszeniem w stosunku do wielu opublikowanych obwodów... Spojrzenie na krzywe 6BN6 pokazuje, że siatka 1 [siatka ogranicznika] jest prawie idealnie liniowa w zakresie 2 Vpp (0,7 V rms), podczas gdy poza tym zakresem lampa ostro ogranicza... Przy 3-4 V sterowania BFO na siatce 3, 6BN6 ma wzmacnienie konwersji 50.”
Tu należy dodać, że wzmacnienie 50 jest stosunkowo wysokim wzmacnieniem jak na stopień przemiany rzadko spotykany w innych sposobach demodulacji [przyp. Tłum].

O ile wiem, kolejne użycie tej lampy w krótkofalarstwie nastąpiło dopiero wiosną 2005 roku, kiedy to dr Andrew Smith z G4OEP zaprojektował odbiornik „Retro 40” w SPRAT. Wspomniałem o tym odbiorniku w innym artykule o mikserze na lampie 6JH8. Przeczytał także on także o lampie 6BN6 jako detektorze produktu w artykule QST z 1960 r. i chciał ją wypróbować. Cytat z korespondencji mailowej ze mną kilka lat temu. „Byłem zachwycony do granic możliwości, kiedy zdałem sobie sprawę, do czego może służyć ta lampa. Także byłem zadowolony, że takie jej zastosowanie jest na wskroś teoretycznym zastosowaniem techniki, dla której ta lampa jest zaprojektowana. Chodzi o to, że pierwotne zastosowanie jako detektor FM jest wyraźnym zastosowaniem zasady detektora kwadraturowego. W tej koncepcji przychodzący sygnał IF jest podawany do strojonego obwodu, który naturalnie, w pobliżu rezonansu, przenosi prąd, którego faza wynosi nominalnie 90 stopni względem wzbudzenia, ale którego faza zmienia się wraz z częstotliwością, tak że po pomnożeniu przez częstotliwość IF, wynik zawiera składową stałą (lub wartość średnią), której wielkość zmienia się wraz z częstotliwością [patrz karta danych] .

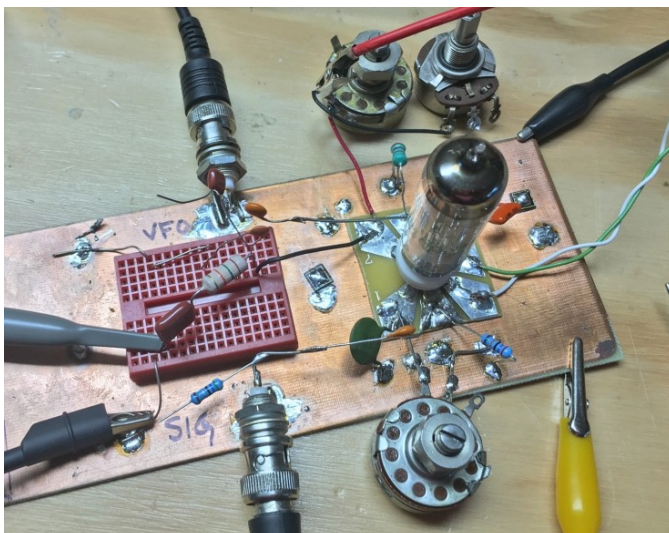
Zatem wszystko, co może być użyte jako detektor kwadratury FM, musi działać jako (musi być) detektorem produktu! Ten teoretyczny pomysł bardzo mnie ucieszył. Oczywiście w Retro sygnał kwadraturowy jest zastąpiony przez BFO, więc mikser powielający działa jak detektor SSB i naprawdę bardzo dobrze wykonuje swoją pracę.”

Testowanie

W kilku artykułach, w których mogłem znaleźć 6BN6 używany jako detektor produktu, nie było spójności w projektowaniu obwodów. Zalecenia dotyczące arkuszy danych firmy GE dotyczą stosowania jako kwadraturowy detektor FM w telewizorach. Jest jednak kilka wartości i uwag, które dają pewne wskazówki, więc zdecydowałem, że najlepszą opcją będzie zbudowanie obwodu testowego, aby móc zmieniać wszystkie parametry pracy podczas pomiaru wyników. Mój obwód testowy pokazano poniżej. Zmieniałem napięcie anody i akceleratora, polaryzację katody i poziomy sygnału wejściowego, aby uzyskać najlepsze wzmocnienie, najniższe zniekształcenia i najmniej niepożądane produkty miksera. Lampa pełni funkcję mieszania w szerokim zakresie napięć roboczych i faktycznie działa lepiej przy niskim napięciu. Będzie działała zadziwiająco dobrze przy napięciu anody/akceleratora już od 25/20V.



Obwód testowy 6BN6



Płytką prototypową obwodu tekstowego

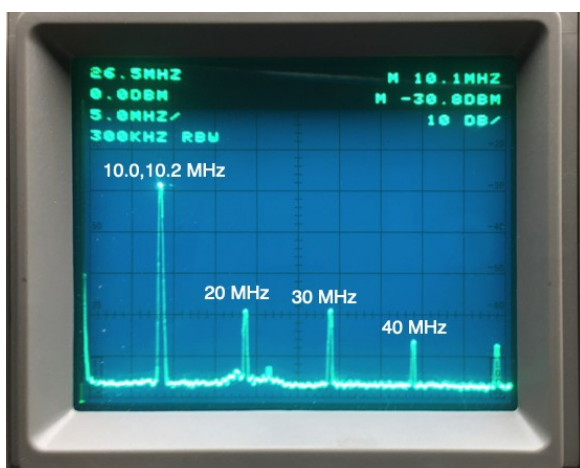
Arkusz danych zaleca polaryzację katody na poziomie 1-2 V, aby umieścić siatkę ogranicznika w środkowym punkcie krzywej przenoszenia. Moje najlepsze wyniki były przy 1,5V. Ponieważ prąd płytki pozostaje prawie stały niezależnie od poziomów sygnału wejściowego (ze względu na strukturę lampy), nie wymaga to regulacji po ustawieniu.

Schemat pokazuje wartości, które uzyskałem, dając najczystsze wyjście audio z bardzo wysokim wzmacnieniem konwersji. Należy wyregulować wartości rezystorów obniżających anodę i akcelerator, aby uzyskać od 50 do 75 woltów na anodzie i od 40 do 60 woltów na akceleratorze. Wykonałem serię testów symulujących lampę w typowym detektorze produktów. Sygnał doprowadzony do siatki ogranicznika (pin 2) był falą sinusoidalną RF z generatora sygnału. Amplituda była zróżnicowana wokół typowego ostatniego poziomu IF od 0,01 V do niemodulowanego 0,5 Vpp.

Sygnał zastosowany do siatki kwadraturowej (pin 6) był sygnałem RF symulującą BFO na poziomie od 1 do 5 Vpp. Częstotliwość tych dwóch sygnałów była zmieniana od 450 kHz do 10 MHz oddzielone od siebie o 1-2 kHz, tak aby różnica częstotliwości wyprowadzała sygnał audio w zakresie 1-2 kHz. Wyjście obwodu mieszacza zostało wprowadzone do analizatora oscyloskopu i widma w celu monitorowania kombinacji sygnałów wyjściowych. Wyniki znajdują się w dwóch poniższych tabelach. Druga tabela pokazuje poziomy niepożądanych wyjść produktu mieszalnika. Poniższe zdjęcie pokazuje poziomy na analizatorze widma.

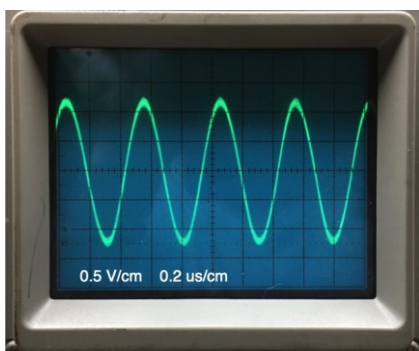
Signal	Freq.	Amplitude
BFO f1	457 kHz	5.0Vpp
IF f2	455 kHz	0.1Vpp
Audio Out	2 kHz	7.0Vpp

Signal	Freq.	Amplitude
BFO f1	10.002 MHz	5.0Vpp
IF f2	10.000 MHz	0.1Vpp
Audio Out f1-f2	2 kHz	7.0Vpp
f1 + f2	20.002 MHz	-30 dBm
nf1 +/- nf2	mult of 10 MHz	-56 dBm



Wyjście miksera na analizator widma z częstotliwościami wejściowymi 10,0 MHz i 10,2 MHz
Zwróć uwagę, że wyjście audio od 0,1 V IF do 7,0 V to wzmacnienie konwersji o 37 dB!
To całkiem niesamowite.
Wyjście audio spadło do 0,5 Vpp, gdy poziom IF spadł poniżej około 0,05 Vpp. Przeprowadziłem test przy częstotliwości pośredniej 1 MHz, 5 MHz i 10 MHz, z odstępem 2 kHz i wyniki były dokładnie takie same. Nie ma spadku wydajności do około 50 MHz.

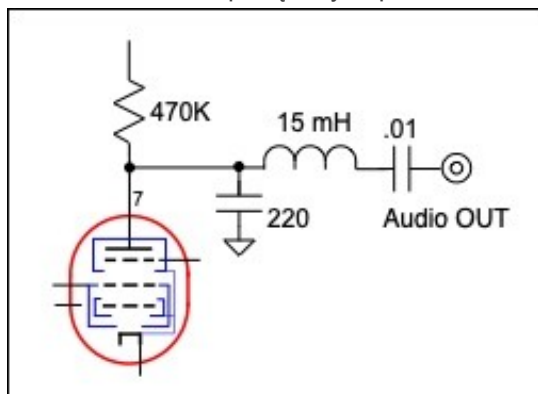
Poniższe zdjęcie przedstawia wyjście audio pokazane na płytce 6BN6 bez filtrowania. To jest „surowe” wyjście miksera. Wizualnie trudno jest wykryć jakiegokolwiek zniekształcenia. Sygnały BFO i IF są wyświetlane jako „rozmyte” na sygnale 2 kHz.



Wyjście audio 6BN6 pobrane bezpośrednio z płytki. RF jest prawie niezauważalny.
Zauważyłem irytujące sprzężenie napięcia żarnika AC 0,2 V 60 Hz (60 Hz USA) z sygnałem wyjściowym. prawdopodobnie sprzężony z żarnika z katodą.

Musiałem zasilić żarnik źródłem prądu stałego, aby się go pozbyć. Jest to prawdopodobnie spowodowane utratą izolacji na przewodach żarnikowych z biegiem czasu.

Ponieważ ilość niepożądanych produktów miksowania jest niska, wymagana jest bardzo niewielka filtracja na wyjściu audio. W oryginalnym artykule QST i w artykule Andy's Retro jedynym filtrowaniem był



kondensator o małej wartości do masy. Eksperymentowałem z różnymi kombinacjami filtrów dolnoprzepustowych, ale stwierdziłem, że nie było dużej różnicy. Zdecydowałem się na układ pokazany poniżej, który odfiltrowuje wszystko powyżej około 5 KHz. Założyłem, że dźwięk trafi bezpośrednio na jeden koniec regulatora głośności 500K. Prawdopodobnie nie potrzebujesz cewki indukcyjnej.

Aplikacje układu.

Podstawowym zastosowaniem 6BN6 w radiotechnice jest oczywiście wykrywanie produktów mieszania (demodulacja sygnałów SSB i CW). Testowałem z pośrednią IF 455 kHz, układem który mam na biurku, żeby sprawdzić, jak radzi sobie z SSB. Wysokie wyjście audio tego miksera oznacza, że potrzebuję tylko jednego stopnia wzmacnienia dźwięku do wysterowania głośnika. Może nie ma wystarczającej czułości, aby działać jako front-endowy mikser (mieszacz wejściowy odbiornika bez wzmacniacza antenowego), ale planuję prototypowanie odbiornika z bezpośrednią konwersją ze wzmacniaczem (lampą) 7788 RF i front-endem pasmowoprzepustowym. Normalnie lampa 7788 ma zbyt duże wzmacnienie, aby użyć ją jako front-endowego wzmacniacza RF, ale ponieważ 6BN6 jest zasadniczo odporna na przeciążenia, może działać.

UWAGI i ODNIESIENIA

1. GE stworzyło inną wersję, 6SK6, w 1965, która ma nieco inne krzywe i jest przeznaczona do pracy przy wyższych napięciach. Nigdy nie widziałem, żeby była używana.
2. Rura z wiązką bramkową 6BN6, część 1. Prototyp laboratoryjny i jego zastosowania w obwodzie, dr Robert Adler, Proceedings of the National Electronics Conference, wrzesień 1949
3. Rura z wiązką bramkową 6BN6, część 2. Komercyjna realizacja 6BN6, Allen Haase, Ibid.