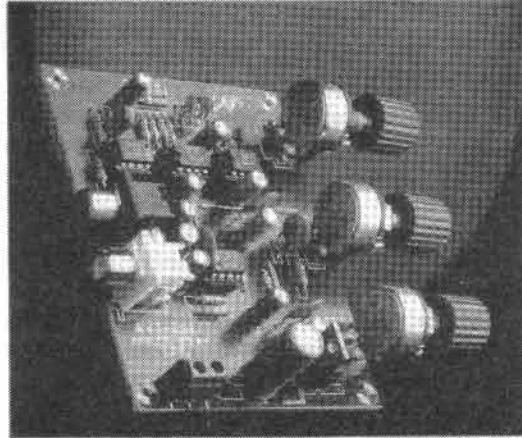


Analogowa linia opóźniająca z układami BBD

kit AVT-291

Układy pozwalające wytworzyć efekt echa cieszą się niezmiernie dużym powodzeniem wśród fanów techniki audio, a wielu z nich to nasi Czytelnicy. Powód tego zainteresowania jest jasny - echo jest jednym z najbardziej efektownych sposobów modyfikowania dowolnego sygnału audio, począwszy od prostych przystawek mikrofonowych (ulubiona „zabawka” amatorów CB), poprzez różnego typu przystawki gitarowe (flanger, chorus), a skończywszy na układach Surround, które znajdują coraz szersze zastosowania w profesjonalnym sprzęcie audio.

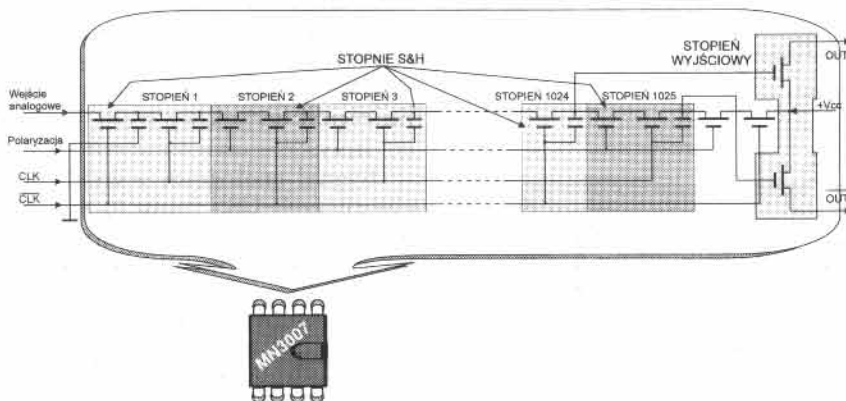


Przedstawiony przez nas układ charakteryzuje się przede wszystkim niezwykłą prostotą konstrukcji, co udało się osiągnąć dzięki zastosowaniu specjalizowanych układów firmy Panasonic. Są to analogowe linie opóźniające wykonane w technice BBD (ang. *Brigade Bucket Delay*), która pozwala na osiąganie stosunkowo długich opóźnień sygnału przy zachowaniu prostej struktury wnętrza układu, co z kolei pozwala dość istotnie obniżyć cenę takiego układu.

W artykule opiszemy podstawową konfigurację linii opóźniającej oraz najprostsze sposoby innego skonfigurowania układu, dzięki czemu można będzie osiągnąć szereg interesujących efektów (np. standardowe, wielokrotne echo). Praca kamery w trybie podstawowym pozwala na symulowanie pracy magnetofonu z płynną regulacją obrotów szpul.

W przedstawionym przez nas urządzeniu rolę analogowej linii opóźniającej spełnia układ MN3007. Praca tego układu polega na przekazywaniu ładunku, który jest proporcjonalny do napięcia wejściowego, kolejno przez szereg kondensatorów (o pojemnościach rzędu pF, są one wbudowane w strukturę układu). Próbkę napięcia pobierane są z częstotliwością zegarową, dostarczaną przez zewnętrzny generator. Pomiędzy kondensatorami włączone zostały w szereg klucze tranzystorowe MOS, których bramki sterowane są na przemian (w przeciwfazie) z generatora. W zależności od częstotliwości taktowania czas „przejścia” próbki napięcia z wejścia na wyjście zmienia się. Tak więc dzięki zmianie częstotliwości taktowania możemy wpłynąć na czas opóźnienia pojawienia się sygnału na wyjściu. Zalecany przez producenta zakres czasów wnoszonego opóźnienia wynosi 2,56.. ..51,2ms, co zapewnia pokrycie całego zakresu czasów stosowanych w typowych układach pogłosowych.

Na **rysunku 1** przedstawiony został w nieco uproszczony sposób budowy układu MN3007. Jak widać na tym rysunku, pomiędzy kolejnymi stopniami S&H (ang. *Sample & Hold*, stopnie próbkująco-pamiętające) włączony jest zawsze jeden tranzystor z bramką polaryzowaną napięciem stałym, którego zadaniem jest odseparowanie sąsiadujących ze sobą bloków S&H. Bramki tych tranzystorów powinny być polaryzowane napięciem ok.



Rys. 1. Budowa układu BBD MN3007.



Rys. 2. Przebiegi sterujące wejściami zegarowymi.

14/15xV_{zasil}. Wyjście układu jest przeciwsobne, tak więc do zapewnienia poprawnej pracy układu konieczne jest zastosowanie na jego wyjściu prostego sumatora.

Taktowanie układów S&H odbywa się na drodze przemiennej sterowania bramek tranzystorów, które są połączone szeregowo. Do poprawnej pracy układu niezbędne jest odpowiednie napięciowo sterowanie tych bramek. Zalecany przez producenta kształt przebiegu sterującego wejścia zegarowe przedstawiono na **rysunku 2**. Jak widać przebiegi znajdujące się w przeciwfazie powinny mieć punkt wspólny na poziomie napięcia ok. $0,3xV_{CLK}$, co zapobiega jednoczesnemu otwarciu się tranzystorów sąsiednich stopni, co mogłoby spowodować „rozmywanie” przenoszonych przez układ próbek napięcia.

Jak się okazało w praktyce jakość sygnału przenieszonego przez układ MN3007 taktowany przy pomocy wyjść przerzutnika CMOS 4013 ulegał znacznym zniekształceniom, silnie zależnym od częstotliwości taktowania. Lepiej jest więc jako układ taktujący stosować opracowany przez Panasonic układ MN3101, który ma wbudowany dodatkowo stabilizator przeznaczony do polaryzacji bramek tranzystorów w linii opóźniającej.

W tytule artykułu zasugerowaliśmy Czytelnikom, że układ realizu-

je opóźnienie sygnału w sposób analogowy. Jest to oczywiście prawda, ale niestety przyjęty przez konstruktorów układu sposób obrabiania sygnału wymaga jego kwantyzacji, co jest realizowane przez sygnał taktujący. Tak więc pomimo zastosowania układu potrafiącego opóźnić sygnał analogowy bez kwantyzacji wartości próbki, nie istnieje możliwość uniknięcia jej w funkcji czasu.

Idea obrazująca działanie układu przedstawiona została na **rysunku 3** (jest to analogia do rozwiązań w pełni cyfrowych). Głębsza analiza tego rysunku nasuwa skojarzenie z typowym rozwiązaniem, stosowanym w standardowych cyfrowych kamerach pogłosowych (np. AVT-211). Rola kluczy S&H spełniają szeregowo tranzystory przełączające, a napięcie jest pamiętane w kondensatorach wbudowanych w strukturę układu MN3007. Przetwarzanie A/C, opóźnienie sygnału i konwersja C/A nie istnieje faktycznie we wnętrzu układu MN3007 - rolę tych trzech modułów spełnia szereg kluczy tranzystorowych połączonych szeregowo. Przedstawione przez nas porównanie ma za zadanie ułatwić zrozumienie sposobu działania układu. Nie należy więc doszukiwać się analogii „wprost” pomiędzy rysunkiem 3 i schematem elektrycznym z **rysunku 4**.

Opis układu

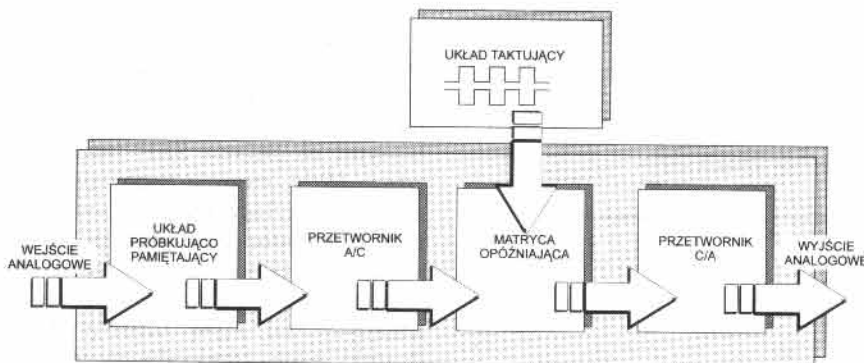
Po krótkim wstępie przechodzimy do opisu działania urządzenia. Schemat elektryczny przedstawiony został na **rysunku 4**.

Sygnał z wejścia Z11 podawany

jest na wzmacniacz napięciowy, wykonany z układem US1. Kondensator C2 separuje składową stałą sygnału wejściowego. Wzmocnienie tego stopnia reguluje się przy pomocy potencjometru P1. Układ w takiej konfiguracji wymaga sterowania ze stopnia o stosunkowo małej impedancji. Zalecane jest, aby impedancja ta nie przekraczała 10kΩ, co nie jest znaczącym wymaganiem, ponieważ w chwili obecnej większość sprzętu audio ma wbudowane na wyjściach wtórnik napięciowe gwarantujące niewielką wartość impedancji wyjściowej. W przypadku zmian impedancji źródła wykorzystywanego do „zasilania” sygnałem wejście układu pogłosowego może okazać się konieczna modyfikacja wzmocnienia wzmacniacza wstępnego, ustalona przy pomocy potencjometru P1.

Rezystory R1 i R2 spełniają rolę dzielnika napięciowego, który polaryzuje wejście nieodwracające wzmacniacza US1. Sygnał z wyjścia wzmacniacza podawany jest na wejście analogowe linii BBD US3. Wejścia taktujące tego układu są sterowane z wyjść generatora zegarowego US4. Wyjście Vref US4 zasilają napięciem o stabilizowanej wartości wejście polaryzacji bramek tranzystorów separujących układ US3 (pin 4 - Vgg). Kondensator C12 filtruje to napięcie. Częstotliwość przebiegu generowanego na wyjściu US4 ustala się przy pomocy wartości elementów R8, R9, P2 i C11. Dzięki zastosowaniu potencjometru P2 możliwa jest regulacja czasu opóźnienia w przesyłaniu sygnału wprowadzonego przez układ. W praktyce regulacja tym potencjometrem umożliwia realizację efektu będącego odpowiednikiem zwalniania lub przyspieszania obrotów w gramofonie lub magnetofonie. W przypadku innego skonfigurowania układu (możliwości przedstawimy w kolejnym numerze EP) wpływ potencjometru P2 na sygnał wyjściowy może być nieco inny.

Sygnał analogowy z wyjść przeciwsobnych US3 (piny 7, 8) sumowane są przy pomocy rezystorów R6 i R7. Rezystory R4, R5 spełniają rolę obciążenia tranzystorów wyjściowych układu US3. Kondensator C3 separuje składową stałą sygnału z wyjścia US3 (jest ona wnoszona przez rezystory R4 i R5). Elementy R12...16, C4...6, C8 i US2



Rys. 3. Zasada działania układu BBD.

spełniają funkcję dolnoprzepustowego filtra aktywnego, którego zadaniem jest zminimalizowanie słyszalności szumów powstających podczas kwantyzacji czasowej sygnału wejściowego. Na schemacie nie podane zostały wartości elementów C4...6, ponieważ dobór ich wartości zależy od indywidualnych upodobań konstruktora. Prowadzone przez autora próby wskazały, jako najbardziej optymalne, następujące wartości: C4 - 2,2nF, C5 - 2,7 nF, C6 - 3nF. Elementy o takich wartościach będą dostarczane w ramach zestawu AVT-291. Możliwe jest oczywiście dowolne dobranie wartości tych kondensatorów, przy czym należy pamiętać, że wzrost ich pojemności powoduje zmniejszenie częstotliwości przepuszczania filtra, co powoduje zmniejszenie poziomu zakłóceń w sygnale wyjściowym i jednocześnie zawęża pasmo sygnału użytecznego. Zmniejszenie pojemności C4...6 zwiększa górną częstotliwość przenoszonego sygnału, ale jednocześnie zwiększa się poziom szumów kwantyzacji.

Rezystory R10 i R11 spełniają rolę identyczną jak R1 i R2. Kondensator C7 filtruje napięcie na wejściu nieodwracającym US2. Polaryzacja wejścia US2 została dobrana w taki sposób, aby maksymalnie obniżyć poziom zniekształceń sygnału wyjściowego i umożliwić wykorzystanie całego obszaru występowania stopnia wyjściowego.

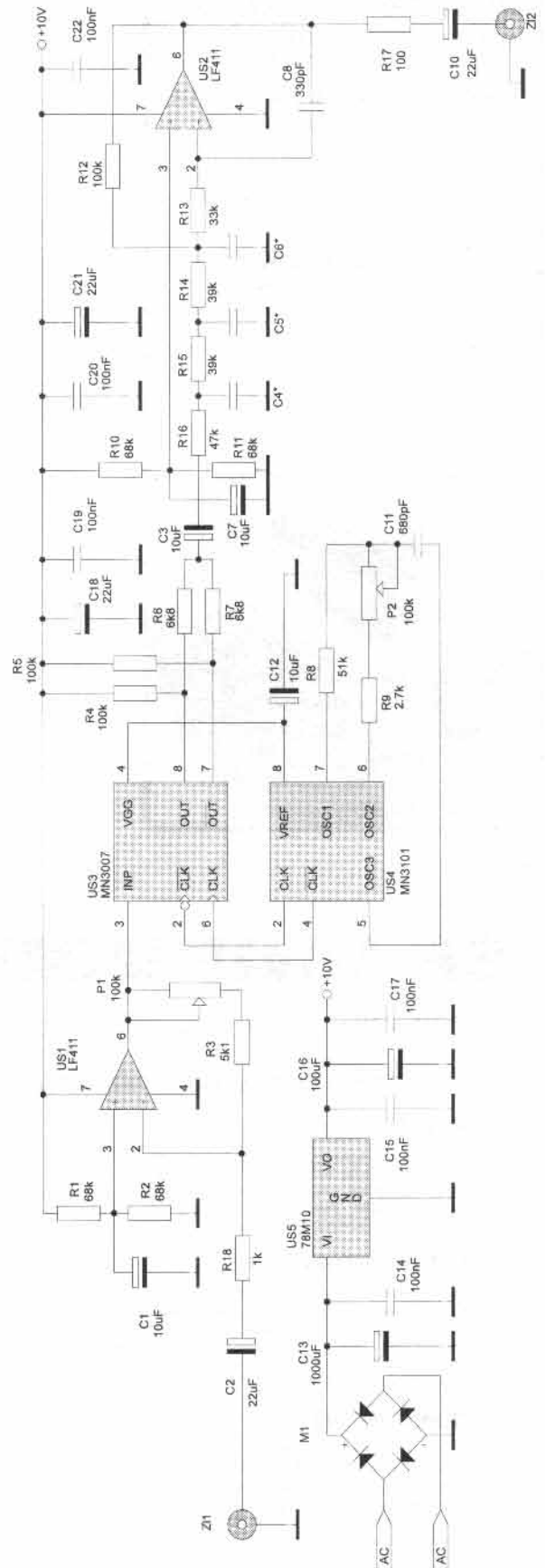
Jako US1 i US2 zastosowano dość nietypowe jak na polskie warunki wzmacniacze operacyjne firmy National Semiconductor LF411. Wybór na te układy padł ze względu na stosunkowo niską ich cenę i bardzo dobre parametry elektryczne. największe znaczenie miał fakt, że zakres zmian napięcia wyjściowego tych układów dla napięcia zasilania 10V jest bardzo szeroki, bo wynosi ok. 8,7V_{pp}. Dla poprawnej pracy z szybkimi sygnałami o dużej amplitudzie wymagana jest także duża szybkość narastania sygnału na wyjściu wzmacniacza. Dla układu LF411 gwarantowana wartość SVR wynosi 10V/μs, co jest bardzo dużą wartością jak na prosty wzmacniacz operacyjny (dla porównania SVR dla układu μA741 nie przekracza 0,5V/μs). Całkowite zniekształcenia nieliniowe na wyjściu LF411 nie przekraczają 0,2%, w całym wykorzystywanym przez nas obszarze pracy.

Wyprowadzenia układu LF411 są standardowe, tak jak dla większości wzmacniaczy operacyjnych. Układ zerowania (kompensacji błędów stopnia wejściowego) układów US1 i US2 nie został wykorzystany.

Ponieważ jednym z założeń przyjętych podczas projektowania układu była jego maksymalna uniwersalność, w układ został wbudowany prosty zasilacz stabilizowany z prostownikiem. Prostownik jest typowym układem Graetza, zintegrowanym w jedną strukturę półprzewodnikową M1. Kondensatory C13, C14 (po stronie wejściowej) i C15...17 (po stronie wyjściowej) spełniają rolę filtrów zakłóceń i pulsacji. Układ US5 jest scalonym stabilizatorem napięcia, na jego wyjściu otrzymujemy wyfiltrowane i stabilne napięcie o wartości 10V. Ponieważ cały układ pobiera niewiele prądu można zastosować w miejscu US5 układ w wersji „M”, o wydajności prądowej do 500mA. Dzięki zastosowaniu mostka prostowniczego układ można zasilać napięciem zmiennym o wartości 10...15V lub stałym 12...18V. W przypadku korzystania z napięcia stałego polaryzacja zasilacza nie jest istotna - układ prostowniczy gwarantuje w każdej sytuacji poprawne zasilenie stabilizatora.

Dokończenie artykułu w EP2/96.

Piotr Zbysiński, AVT



Rys. 4. Schemat elektryczny układu.