

Echo i pogłos elektroniczny

Proponowane do wykonania urządzenie należy do grupy urządzeń elektroakustycznych mających za zadanie poprawienie i uatrakcyjnienie brzmienia dźwięku. Dzięki zastosowaniu układów scalonych realizujących funkcję analogowych linii opóźniających, efekty echa i pogłosu uzyskano na drodze czysto elektronicznej obróbki sygnału. Analogowe przetwarzanie sygnału nie wymaga stosowania przetworników A/C i C/A niezbędnych w technice cyfrowej.

Właściwości i schemat blokowy

Na jakość odtwarzanego dźwięku, pomimo bardzo dobrych parametrów sprzętu wpływają także właściwości akustyczne pomieszczenia odsłuchowego. Dotyczy to zarówno transmisji bezpośredniej podczas koncertu jak i muzyki odtwarzanej z radia czy innych źródeł. Dobre wytlumienie sali czy pokoju odsłuchowego (jak i jego małe wymiary) mogą spowodować "głuche, bezbarwne" brzmienie audycji.

Tutaj wspomnę o właściwościach fizjologicznych słuchu, które większość czytelników pamięta z lekcji fizyki. Przy omawianiu prędkości rozchodzenia się fal akustycznych (dźwięku) opisywane jest zjawisko echa. Ucho ludzkie rozróżnia dwa dźwięki jako oddzielne jeśli wystąpi między nimi różnica czasowa wynosząca 0,1 s. Prędkość fali akustycznej w powietrzu wynosi 340 m/s. Łatwo można policzyć minimalną odległość od płaszczyzny odbijającej dźwięk, przy której powstaje odróżnienie dźwięku odbitego tzw. echa. Nałożenie się w miejscu odsłuchu dźwięku bezpośredniego i odbitego daje przy ich przesunięciu czasowym większym od 0,1 s wrażenie echa.

Pod pojęciem pogłosu rozumie się z kolei występowanie w miejscu odsłuchu dźwięku bezpośredniego i wielokrotnych odbić o różnych natężeniach i przesunięciach czasowych dających wrażenie przedłużenia

brzmienia dźwięku. Oba te efekty występują w salach koncertowych, nawach kościołów ale trudno je uzyskać przy odsłuchu w małym pokoju. Wywołanie dodatkowych sygnałów imitujących echo czy pogłos poprawi "plastyczność" reprodukowanego dźwięku. Zastosowanie ich w trakcie koncertu także przysporzy słuchaczom dodatkowych wrażeń akustycznych.

Do sztucznego wytwarzania echa i pogłosu stosowano najczęściej urządzenia elektromechaniczne, oraz korzystano z magnetofonów wielogłowicowych pracujących z zamkniętym obiegiem taśmy. Znacznym postępem w tej dziedzinie było wprowadzenie scalonych analogowych linii opóźniających umożliwiających realizację opóźnienia czasowego niezbędnego przy symulowaniu sygnałów odbitych. W proponowanym rozwiązaniu zastosowano analogową linię opóźniającą typu MN 3207. Linia ta była dokładnie opisana w numerze 3/94 *Praktycznego Elektronika*. Do jej poprawnej pracy oprócz napięć zasilających należy doprowadzić dwa sygnały zegarowe o kształcie prostokątnym i przeciwnych fazach. Zmiana częstotliwości sygnału zegarowego wpływa na opóźnienie wprowadzane przez linię. Przy częstotliwości zegara 10 kHz uzyskuje się opóźnienie rzędu 50 ms, a przy częstotliwości 200 kHz opóźnienie to wynosi 2,5 ms. Zastosowanie łańcuchowo połączonych kilku linii umożliwia zwiększenie opóźnienia sygnału na zasadzie sumowania opóźnień kolejnych linii.

Schemat blokowy proponowanego do wykonania urządzenia pogłosowego przedstawiony jest na rys. 1.

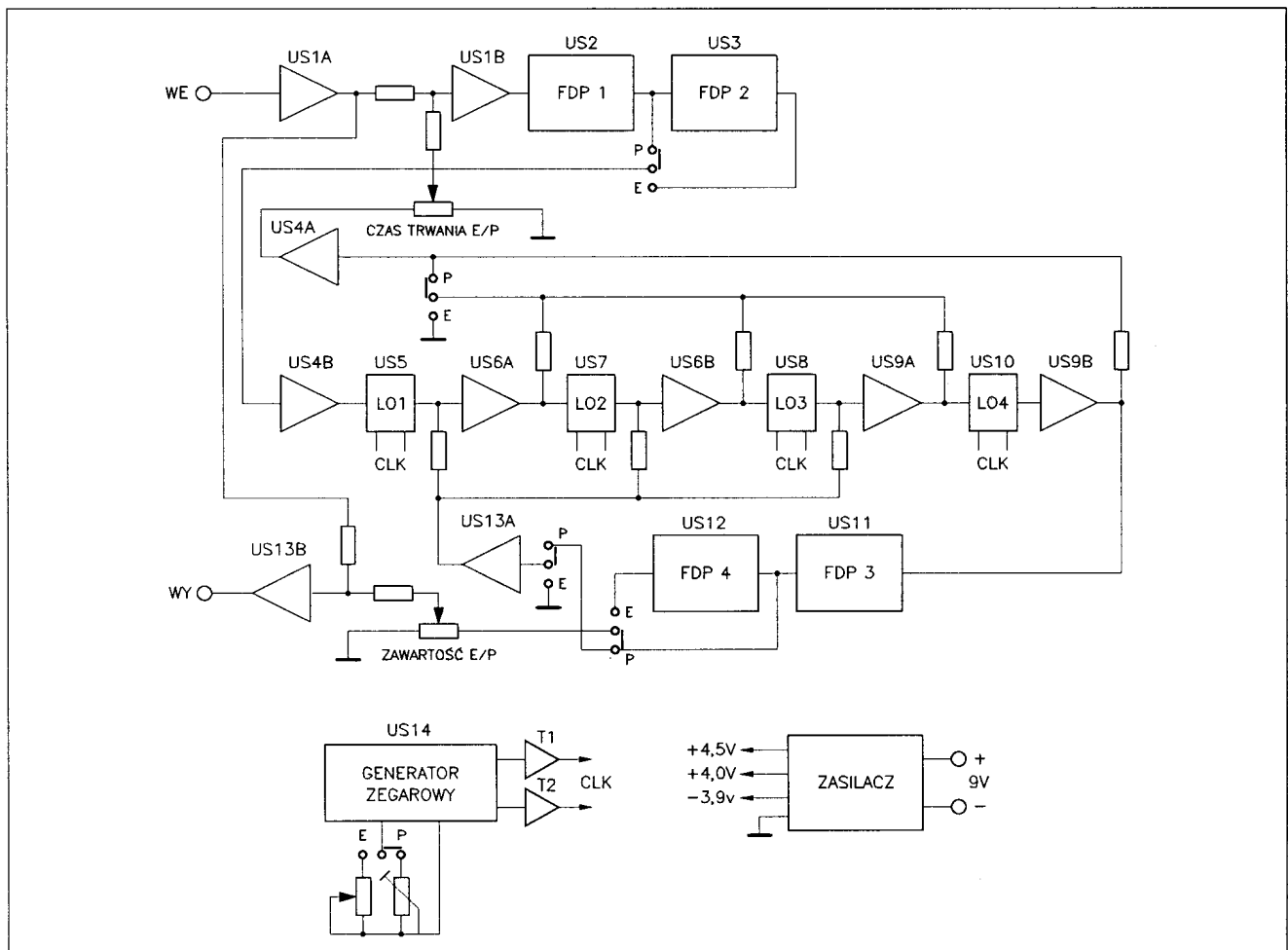
Urządzenie pogłosowe przewidziane jest do włączenia w tor wzmacniającego sygnału małej częstotliwości. Znamionowy sygnał wejściowy nie powinien przekraczać poziomu 0 dB (0,775 V). Układ nie wprowadza tłumienia sygnału bezpośredniego podawanego z wejścia na wyjście. Do sygnału bezpośredniego dodawany jest sygnał opóźniony dając zależnie od pozycji przełącznika efekt echa lub pogłosu.

Sygnal małej częstotliwości z wejścia po przejściu przez wtórnik wejściowy (US1A) jest rozdzielany na sygnał bezpośredni kierowany do wzmacniacza sumującego wyjściowego (US13B) i sygnał kierowany do wzmacniacza sumującego toru opóźniającego (US1B) i sygnał kierowany do toru opóźniającego. Na wejściu wzmacniacza sumującego toru opóźniającego (US1B) sumowane są sygnały: wejściowy i opóźniony. Regulacja poziomu sygnału opóźnionego umożliwia uzyskanie efektu zmiany czasu trwania echa lub pogłosu. Zsumowany sygnał jest kierowany do zespołu filtrów dolnoprzepustowych. Zadaniem filtrów jest ograniczenie amplitud składowych o wyższych częstotliwościach w sygnale opóźnionym dla zmniejszenia przykrych efektów odsłuchowych powstających przy opóźnieniu sygnałów i ich sumowaniu z sygnałem bezpośrednim. Filtr FDP1 posiada częstotliwość graniczną 10 kHz, a filtr FDP2 3 kHz. Przy efekcie pogłosu sygnał jest pobierany z wyjścia filtra FDP1, a przy efekcie echa z wyjścia filtra FDP2.

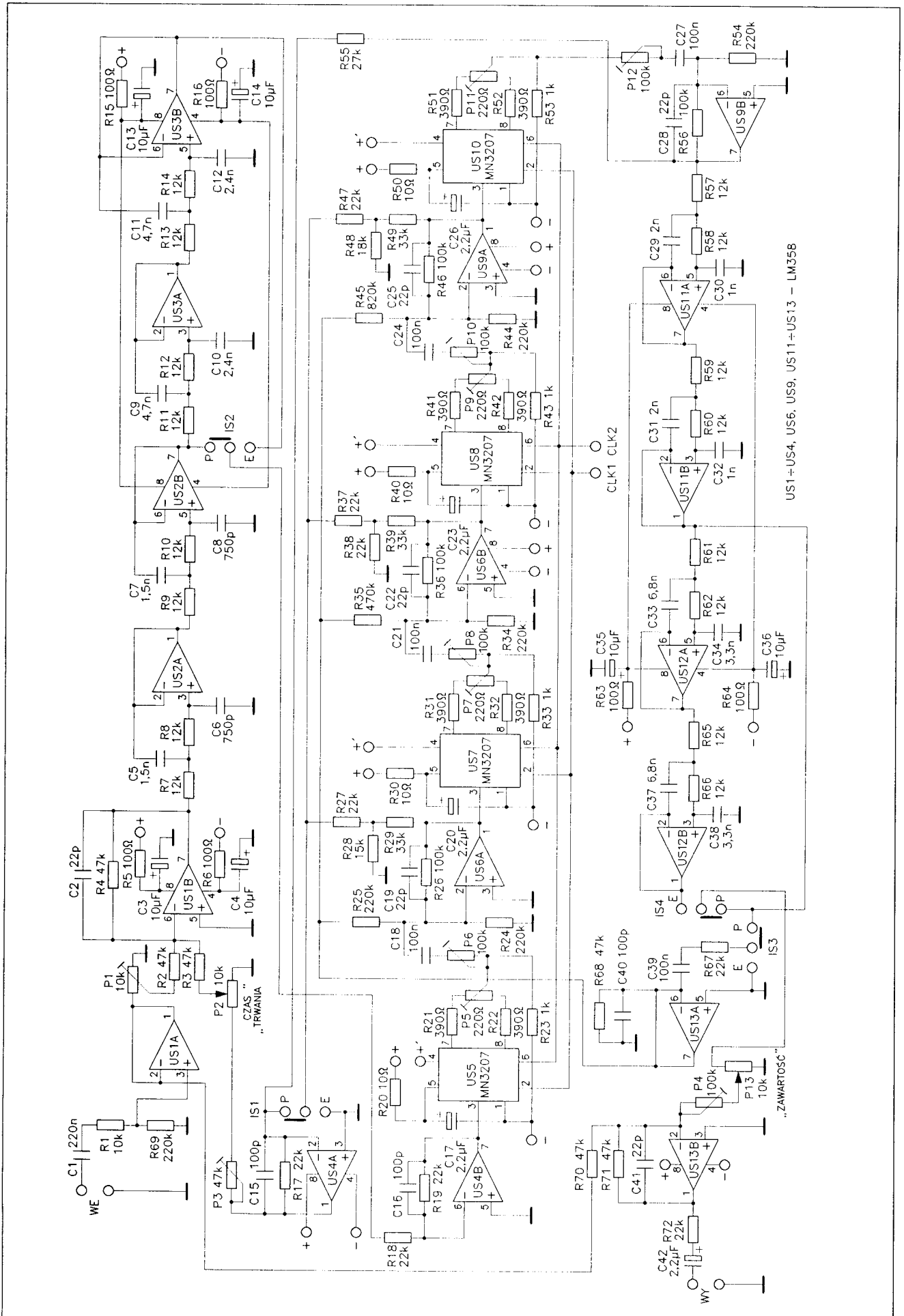
Sygnal ten jest kierowany do właściwego toru opóźniającego składającego się z łańcuchowo połączonych wzmacniaczy i linii opóźniających. Zadaniem wzmacniaczy jest skompensowanie tłumienia sygnału wprowadzanego przez linie opóźniające. Z wyjść wzmacniaczy są pobierane sygnały o różnych opóźnieniach prze-

znaczone do tworzenia sygnału pogłosu. Przy włączonym efekcie pogłosu do wejść wzmacniaczy podawany jest sygnał opóźniony z wyjścia toru opóźniającego. Zabiegi te mają na celu uzyskanie większej złożoności sygnału przy efekcie pogłosu. Przy włączonym efekcie echa sygnał z wyjścia układu opóźniającego (US9B) podawany jest za pośrednictwem wzmacniacza US4A do układu sumującego wejściowego. Jednocześnie sygnał ten kierowany jest do zespołu filtrów dolnoprzepustowych FDP3 i FDP4. Częstotliwość graniczna filtra FDP3 wynosi 6 kHz a filtra FDP4 2 kHz. Zadaniem tych filtrów jest wytłumienie niepożądanych składowych na wyjściu linii opóźniających (łącznie z sygnałem o częstotliwości zegara).

Przy efekcie echa sygnał pobierany jest z wyjścia filtra FDP4 i kierowany do wzmacniacza sumującego wyjściowego. Przy efekcie pogłosu sygnał pobierany z wyjścia filtra FDP3 kierowany jest także do wyjściowego wzmacniacza sumującego, a dodatkowo do wtórnika US13A sterującego wejścia wzmacniaczy w torze opóźniającym. Regulacja wielkości sygnału echa lub pogłosu podawanego do wyjściowego wzmacniacza sumującego umożliwia zwiększanie lub zmniejszanie efektu.



Rys. 1 Schemat blokowy urządzenia pogłosowego



Rys. 2 Schemat ideowy urządzenia pogłosowego

Ważnym członem całego układu jest generator zegarowy pracujący w zakresie częstotliwości od 10 kHz do 200 kHz. Generator wytwarza dwa przebiegi o tej samej częstotliwości lecz przeciwnych fazach. Z uwagi na duże pojemności wejść zegarowych układów opóźniających zastosowano wtórnik emiterowe (T1 i T2). Z wyjść wtórników, sygnały zegarowe podawane są do wejść zegarowych układów opóźniających. Zmiana częstotliwości sygnału zegarowego zmienia opóźnienie wprowadzane przez układy opóźniające. Objawia się to zmianą częstotliwości powtarzania sygnałów echa lub pogłosu.

Dość skomplikowany układ zasilania zostanie opisany w części dotyczącej schematu ideowego.

Dane techniczne

Maksymalny sygnał wejściowy	1,5 V
Rezystancja wejściowa	220 k Ω
Tłumienie sygnału bezpośredniego	0 dB
Rezystancja wyjściowa	22 k Ω
Pasma częstotliwości	
– sygnał bezpośredni	20 ÷ 20 000 Hz
– sygnał echa	50 ÷ 2 000 Hz
– sygnał pogłosu	50 ÷ 6 000 Hz
Czas opóźnienia sygnału	10 ÷ 200 ms
Napięcie zasilające	9 V
Pobierany prąd	25 mA

Schemat ideowy i działanie

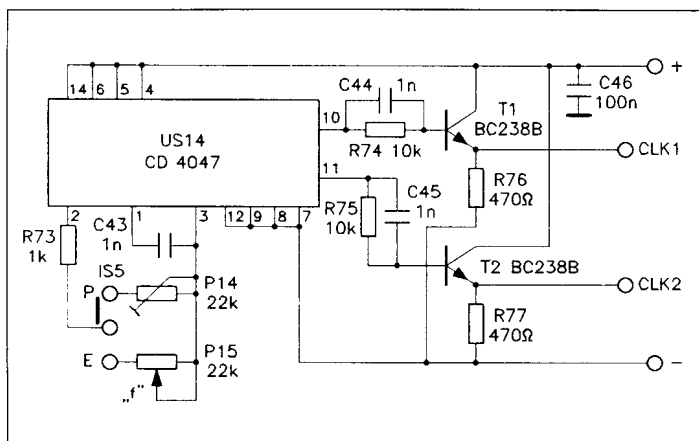
Schemat ideowy urządzenia bez generatora zegarowego i układu zasilającego przedstawiono na rys. 2.

Sygnał wejściowy podawany jest do wtórnik (US1A). Z jego wyjścia tzw. sygnał bezpośredni kierowany jest do wzmacniacza sumującego (US13B) i dalej na wyjście układu. Sygnał z wyjścia wtórnik o regulowanym za pomocą potencjometru nastawnego P1 poziomie podawany jest na wejście wzmacniacza sumującego US1B. Do wejścia tego wzmacniacza podawany jest także, regulowany sygnał opóźniony. Z wyjścia wzmacniacza US1B sygnał podawany jest na wejście dwóch dwuczłonowych filtrów dolnoprzepustowych. Pierwsze dwa człony (US2) stosowane są do fil-

tracji sygnału wejściowego pogłosu. Dwa kolejne człony (US3) filtrują sygnał wejściowy echa. Przełącznik IS2 w zależności od rodzaju efektu wybiera sygnał z wyjścia układu US2B lub US3B. Sygnał ten podawany jest dalej do wzmacniacza wejściowego US4B toru opóźniającego. Z jego wyjścia sygnał podawany jest do pierwszego układu opóźniającego US5.

Napięcie zasilające wszystkich układów opóźniających jest dodatkowo filtrowane rezystorami 10 Ω i kondensatorami 2,2 μ F w celu zmniejszenia przenikania sygnału zegarowego do obwodów zasilania. Do nóżki 4 układów opóźniających podawane jest napięcie obniżone (14/15 napięcia zasilającego nóżki 5) wymagane do poprawnej pracy układów. Do nóżek 2 i 6 doprowadzane są sygnały zegarowe CLK1 i CLK2. Sygnał wyjściowy (opóźniony) uzyskuje się na wyprowadzeniach 7 i 8. Jedną z składowych sygnału wyjściowego jest sygnał zegarowy występujący na tych wyprowadzeniach w przeciwnych fazach. Połączenie ich umożliwia kompensację sygnału zegarowego. Do dokładnej kompensacji używane są potencjometry nastawne P5, P7, P9 i P11.

Z suwaka P5 sygnał podawany jest za pośrednictwem rezystora nastawnego P6 do wzmacniacza sumującego – rozdzielającego US6A. Wzmacniacz ten jak i kolejne (US6B, US9A i US9B) służą do wzmocnienia sygnału stłumionego przez układ opóźniający. Potencjometry nastawne P6, P8, P10 i P12 przewidziane są do dokładnej regulacji sygnałów wyjściowych opóźnionych z każdej dwójki (układ opóźniający – wzmacniacz). Do wejść wzmacniaczy podawany jest sygnał opóźniony pogłosu z wyjścia toru opóźniającego po filtracji. Z wyjść wzmacniaczy pobierane są sygnały pogłosu doprowadzane do wzmacniacza sumującego US4A i podawane dalej do wejściowego wzmacniacza sumującego. Odpowiedni dobór rezystorów na wejściu wzmacniaczy jak i dzielników wyjściowych umożliwia uzyskanie korzystnych efektów pogłosu. Podawanie sygnałów jak i ich pobieranie ze wzmacniaczy w torze opóźniającym nie jest realizowane przy efekcie echa. Przy tym efekcie sygnał opóźniony z wyjścia US9B podawany jest do US4A i do wejścia, wyjściowego filtru dolnoprzepustowego US11A.



Rys. 3 Generator zegarowy

Dwuczłonowy filtr zrealizowany na US11 przewidziany jest do filtracji wyjściowego sygnału pogłosu. Filtr na US12 filtruje wyjściowy sygnał echa. Wyjścia filtrów przełączane są przełącznikami IS4. Sygnał z przełącznika podawany jest za pośrednictwem potencjometru P13 do wyjściowego wzmacniacza sumującego. Potencjometr nastawny P4 przewidziany jest do skompensowania tłumienia sygnału opóźnionego wprowadzanego potencjometrem nastawnym P1.

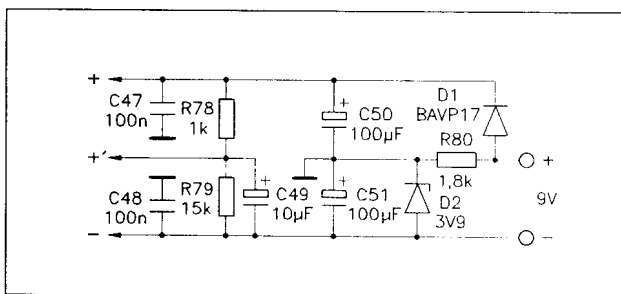
Za pomocą przełącznika IS3 przy efekcie pogłosu sygnał z wyjścia filtru (US11B) podawany jest do wtórnik US13A i dalej na wejście wzmacniaczy w torze opóźniającym.

Przełącznik IS1 przeznaczony jest do przełączania wejścia wzmacniacza US4A do wyjść wszystkich wzmacniaczy w torze opóźniającym (pogłos) lub tylko do wyjścia toru opóźniającego US9B (echo).

Na rys. 3 przedstawiony jest schemat ideowy generatora zegarowego.

Zrealizowano go na układzie czasowym CMOS – CD 4047 (US14). Częstotliwość generatora określona jest pojemnością kondensatora C43 i wypadkowymi rezystancjami R73 i P14 dla pogłosu lub R73 i P15 dla echa. Sygnały wyjściowe na wyprowadzeniach 10 i 11 to sygnały wyjściowe wewnętrznego dzielnika częstotliwości. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano symetrię przebiegu (jednakowy czas trwania połówek o wysokim poziomie i niskim). Przy częstotliwościach wyjściowych od 10 kHz do 200 kHz częstotliwości generowane zawierają się w przedziale 20 do 400 kHz. Właściwe sygnały zegarowe CLK1 i CLK2 uzyskuje się na wyjściach wtórników emiterowych na tranzystorach T1 i T2.

Dość skomplikowany układ zasilania przedstawiony jest na rys. 4. Skomplikowanie układu wynika z możliwości zasilania baterijnego jak i konieczności zapewnienia właściwej współpracy układów zasilanych symetrycznie (wzmacniacze operacyjne) i niesymetrycznie (generator zegarowy i układy opóźniające).



Rys. 4 Układ zasilający

Napięcie zasilające z zasilacza stabilizowanego lub baterijki podawane jest przez diodę D1 zabezpieczającą przed podłączeniem zasilania w kierunku odwrotnym. Przy zasilaniu baterijnym wskazane jest zastąpienie tej diody zwrorą. Dioda Zenera D2 służy do uzyskania napięcia odniesienia do zasilania wzmacniaczy operacyjnych. Dzielnik rezystancyjny R78 i R79 przewidziany jest do uzyskania napięcia zasilającego wyprowadzenia 4 układów opóźniających.

Montaż i uruchomienie

Zasady montażu i kolejność montażu są typowe. Należy zaznaczyć, że wszystkie potencjometry jak i przełącznik rodzaju efektu montowane są poza płytką drukowaną. Widok płytki drukowanej przedstawiono na rys. 5.

Po zamontowaniu wszystkich elementów na płytce należy przemyśleć sposób jej zamocowania w obudowie oraz rozmieszczenie potencjometrów i przełącznika. Jako przełącznik rodzaju efektu proponuję segment potrójny niezależny Isostat. Ze sposobu montażu będą

wynikały długości przewodów do podłączenia potencjometrów i przełącznika. Przewody powinny być jak najkrótsze i ekranowane.

Do zasilania urządzenia proponuję wykorzystanie zewnętrznego zasilacza stabilizowanego 9 V lub baterijkę 9 V. Przekroczenie napięcia 9 V może spowodować uszkodzenie układów opóźniających. Przed podłączeniem zasilania sprawdzić wielkość napięcia i kierunek.

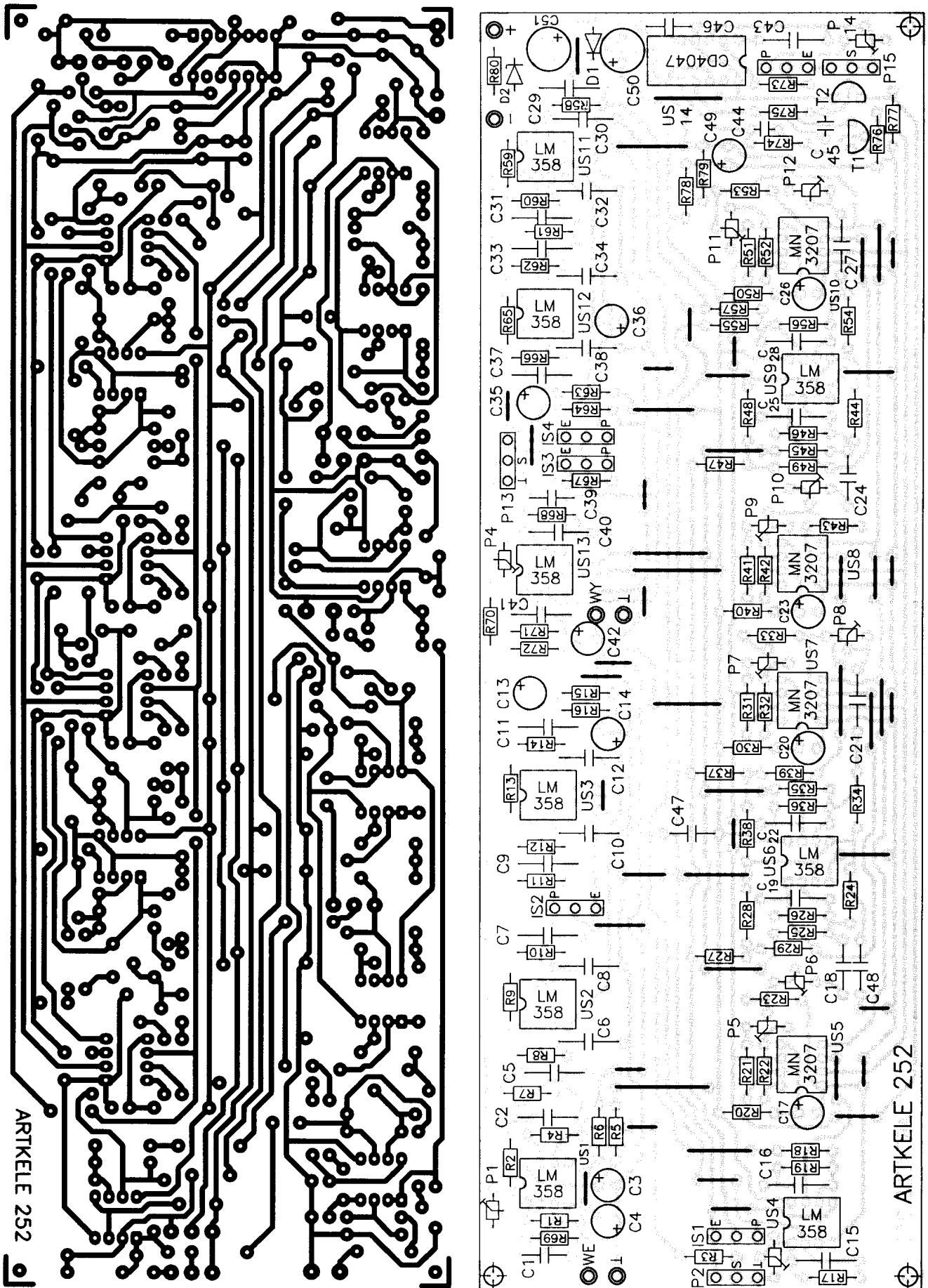
Po sprawdzeniu poprawności montażu i podłączeniu zasilania można przystąpić do uruchamiania układu. Do tego celu niezbędny będzie generator sygnałów małej częstotliwości i oscyloskop. Brak tych przyrządów znacznie utrudnia poprawne uruchomienie. Zakładam, że każdy radioamator, który podejmie się budowy i uruchomienia tego urządzenia posiada miernik uniwersalny.

Uruchamianie rozpocząć należy od sprawdzenia poprawności napięć zasilających wszystkich układów scalonych. Powinny one wynosić odpowiednio $-3,9$ V, $+4$ V i $+4,5$ V względem punktu odniesienia (masy). Wszystkie potencjometry i rezystory nastawne ustawić w środkowe położenia. Potencjometry P2 i P13 skrócić na minimum sygnału. Przełącznik rodzaju efektu przełączyć na echo (E).

Sprawdzić oscyloskopem występowanie sygnałów zegarowych na wyprowadzeniach 10 i 11 US14. Sprawdzić zakres regulacji częstotliwości sygnału zegarowego, który powinien zawierać się w przedziale 10 do 200 kHz. Ustawić częstotliwość zegara potencjometrem P15 na 10 kHz. Sprawdzić obecność sygnałów zegarowych na wyprowadzeniach 2 i 6 wszystkich układów opóźniających.

Podłączyć oscyloskop do suwaka potencjometru nastawnego P5 i regulując tym potencjometrem uzyskać wyrównanie poziomów napięcia przy kolejnych połowkach okresu przebiegu zegarowego. Operację tą powtórzyć kolejno po podłączeniu oscyloskopu do suwaków P7, P9 i P11.

Na wejście układu podać sygnał z generatora o częstotliwości 1 kHz i wartości skutecznej 0,775 V (ewentualnie o wartości zbliżonej do przewidywanej w miejscu, gdzie będzie montowany układ). Oscyloskop podłączyć do wejścia pierwszego układu opóźniającego (3 – US5). Regulując potencjometrem nastawnym P1 ustalić sygnał o wartości skutecznej 200 mV (wartość międzyszczytowa około 0,6 V). Oscyloskop przełączyć na wejście US7 i regulując rezystorem nastawnym P6 ustalić ten sam poziom. Oscyloskop przełączyć na wejście US8, regulować rezystorem nastawnym P8 na ten sam poziom napięcia. Na wejściu US10 ustalić ten sam poziom rezystorem nastawnym P10, a na wyjściu US9B rezystorem nastawnym P12. Sygnał wyjściowy powinien być pozbawiony wyraźnych zniekształceń. Po przełączeniu oscyloskopu na wyjście układu US12B powinien być także pozbawiony zawartości sygnału zegarowego. W przypadku zniekształcenia sygnału zlokalizować miejsce jego powstawania i usunąć usterkę, ewentualnie zmniejszyć wielkość sygnału.



Rys. 5 Płytką drukowaną i rozmieszczenie elementów

Ostatecznie poziom sygnału na wyjściu US9B można podnieść za pomocą rezystora nastawnego P12.

Oscyloskop podłączyć do wyjścia układu i sprawdzić występowanie sygnału o poziomie takim samym jak sygnał wejściowy. Potencjometry P2 i P13 ustawić na maksimum sygnału. Zmniejszać rezystancję rezystora nastawnego P3 aż do uzyskania niestabilności napięcia wyjściowego. Zwiększyć rezystancję P3 do wartości nieco większej od wartości wymaganej do zaniku niestabilności.

Regulacje ostateczne potencjometrem nastawnym P1 i rezystorem nastawnym P4 należy przeprowadzić po podłączeniu urządzenia pogłosowego do toru wzmacniającego. Potencjometrem P1 należy tak regulować aby największa wartość chwilowa napięcia na wejściu US5 nie powodowała zniekształceń opóźnionego sygnału wyjściowego. Rezystorem nastawnym P4 ustalić maksymalną zawartość sygnału opóźnionego w odniesieniu do sygnału bezpośredniego tak aby uzyskać jak najkorzystniejszy efekt. Dla ewentualnego zwiększenia efektu dopuszczalne jest zwiększenie napięcia wyjściowego z układu US9B za pomocą rezystora nastawnego P12.

Sprawdzić działanie układu po przełączeniu przełącznika w położenie pogłos (P). Rezystorem nastawnym P14 ustalić według własnego uznania najkorzystniejszą częstotliwość sygnału zegarowego (zalecamy 26 kHz).

Dla zwiększenia opóźnienia sygnału można eksperymentować z obniżeniem częstotliwości zegara przez zwiększenie pojemności kondensatora C43 (maksymalnie do 2 nF). Może to jednak powodować słyszalność sygnału zegarowego oraz zniekształcenia nieliniowe sygnału wyjściowego. Układ jest na tyle skomplikowany, że możliwości do indywidualnej optymalizacji jest dużo. Życzymy dobrej frajdy przy jego "dopieszczaniu" i eksploatacji.

Wykaz elementów:

US1÷US4, US6,	
US9, US11, US12, US13	– LM 358 (TL 082)
US5, US7, US8, US10	– MN 3207
US14	– CD 4047 (MCY 74047)
T1, T2	– BC 238B (BC 547B)
D1	– BAVP 17÷21 (1N4148)
D2	– BZP 683 C3V9, BZX 79 na napięcie 3,9 V
R20, R30; R40, R50	– 10 Ω/0,125 W
R5, R6, R15,	
R16, R63, R64	– 100 Ω/0,125 W
R21, R22, R31, R32,	
R41, R42, R51, R52	– 390 Ω/0,125 W
R77, R76	– 470 Ω/0,125 W
R23, R33, R43,	
R53, R73, R78	– 1 kΩ/0,125 W
R80	– 1,8 kΩ/0,125 W
R1, R74, R75	– 10 kΩ/0,125 W

R7, R8, R9, R10,	
R11, R12, R13, R14,	
R57, R58, R59, R60,	
R61, R62, R65, R66	– 12 kΩ/0,125 W
R28, R79	– 15 kΩ/0,125 W
R48	– 18 kΩ/0,125 W
R17, R18, R19,	
R27, R37, R38,	
R47, R67, R72	– 22 kΩ/0,125 W
R55	– 27 kΩ/0,125 W
R29, R39, R49	– 33 kΩ/0,125 W
R2, R3, R4,	
R68, R70, R71	– 47 kΩ/0,125 W
R24, R25, R34,	
R44, R54, R69	– 220 kΩ/0,125 W
R35	– 470 kΩ/0,125 W
R45	– 820 kΩ/0,125 W
P5, P7, P9, P11	– 220 Ω TVP 1232
P1	– 10 kΩ TVP 1232
P14	– 22 kΩ TVP 1252
P3	– 47 kΩ TVP 1232
P4, P6, P8, P10, P12	– 100 kΩ TVP 1232
P2, P13	– 10 kΩ A PR 185
P15	– 22 kΩ A PR 185
C2, C19, C22,	
C25, C28, C41	– 22 pF/50 V ceramiczny
C15, C16, C40	– 100 pF/50 V ceramiczny
C6, C8	– 750 pF/63 V KSF-020
C44, C45	– 1 nF/50 V ceramiczny
C30, C32, C43	– 1 nF/63 V KSF-020
C5, C7	– 1,5 nF/63 V KSF-020
C29, C31	– 2 nF/63 V KSF-020
C10, C12	– 2,4 nF/63 V KSF-020
C34, C38	– 3,3 nF/63 V KSF-020
C9, C11	– 4,7 nF/63 V KSF-020
C33, C37	– 6,8 nF/63 V KSF-020
C18, C21, C24,	
C27, C39, C46,	
C47, C48	– 100 nF/63 V MKSE 20
C1	– 220 nF/63 V MKSE 20
C17, C20, C23,	
C26, C42	– 2,2 μF/50 V 04/U
C3, C4, C13,	
C14, C35, C36,	
C49	– 10 μF/25 V 04/U
C50, C51	– 100 μF/10 V 04/U
IS1 – IS5	– segment potrójny Isostat – (niezależny)

płytką drukowaną 252

Płytki drukowane wysyłane są za zaliczeniem pocztowym.

Cena: 5,87 zł (58.700 zł) + koszty wysyłki.

Podzespoły elektroniczne można zamawiać w firmie LARO – patrz IV strona okładki.

◇ R. K.