

U N I W E R S A L N E Z E S T A W Y  
L A B O R A T O R Y J N E

**Dokumentacja**

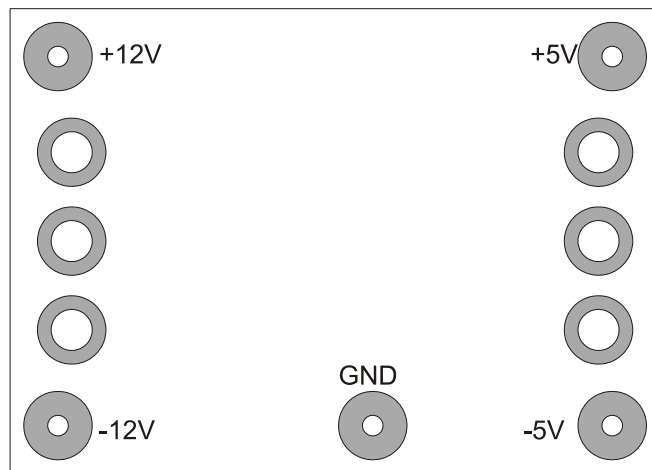
Katedra Systemów Telekomunikacyjnych i Optoelektroniki  
Politechnika Poznańska

## SPIS TREŚCI

1. Uniwersalne zestawy laboratoryjne.
2. Modulator zrównoważony dwuówiartkowy.
3. Modulator-demodulator podwójnie zrównoważony MC 1496 (mieszacz czteroówiartkowy).
4. Modulator z kluczowaniem wzmacnienia wzmacniacza operacyjnego.
5. Generator przestrajany napięciem (VCO).
6. Detektor szczytowy (obwiedni).
7. Tranzystorowy demodulator AM.
8. Detektor FM zliczający impulsy.
9. Filtr dolnoprzepustowy pierwszego rzędu.
10. Wzmacniacz składowej zmiennej (wzmacniacz AC).
11. Wzmacniacz/sumator dwóch przebiegów.
12. Wzmacniacz różnicowy.
13. Przesuwnik fazy.
14. Detektor fazy o charakterystyce trójkątnej.
15. Detektor fazy o charakterystyce piłokształtnej.
16. Wzmacniacz mikrofonowy.

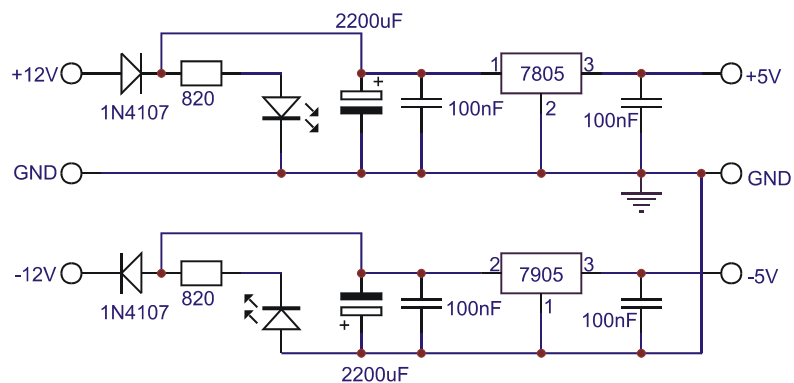
## UNIWERSALNE ZESTAWY LABORATORYJNE

Uniwersalne zestawy laboratoryjne zostały zaprojektowane i wykonane na potrzeby laboratorium dydaktycznego dla kierunku Telekomunikacja. W ramach laboratorium studenci zapoznających się z podstawowymi rodzajami i urządzeniami modulacji oraz demodulacji sygnałów. W skład każdego zestawu laboratoryjnego wchodzi płyta montażowa oraz różnego typu układy elektroniczne – moduły, realizujące różne funkcje. Każdy z modułów został zmontowany na uniwersalnej płycie montażowej UM-1, do której doprowadzono, poprzez szyny zasilające znajdujące się na płycie montażowej cztery napięcia +12V (max 15V), -12V (min -15V), +5V, -5V oraz masę (rys. 1).



Rys.1. Moduł montażowy UM-1

Napięcia +5V i -5V są otrzymywane w układzie elektronicznym znajdującym się na płycie montażowej. Schemat elektryczny konwertyorów napięć +12V→+5V i -12V→-5V pokazano na rysunku 2.

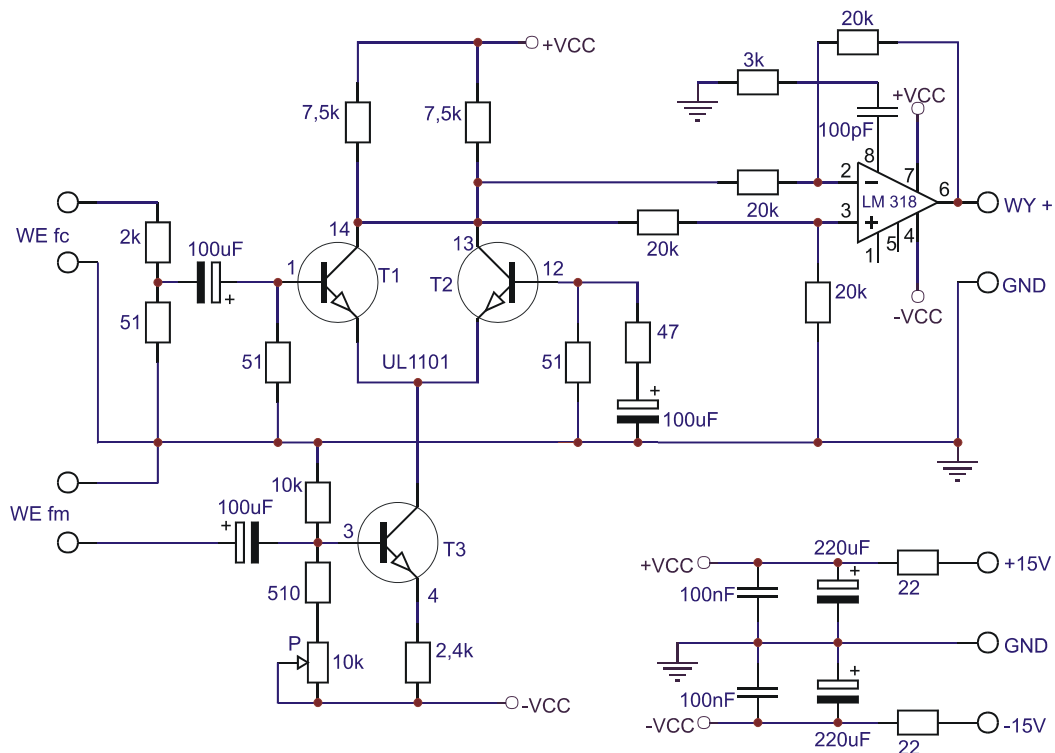


Rys.2. Konwertyory napięć +12V→+5V, -12V→-5V

Napięcia +12V i -12V oraz masę doprowadza się przewodami z zasilacza o wydajności prądowej większej od 0,5A. Każdy z modułów można umieścić w dowolnym z 12-tu lub 16-tu miejsc znajdujących się na danej płycie montażowej. Ćwiczący otrzymują od prowadzącego zajęcia, przynajmniej na kilka dni przed rozpoczęciem zajęć, temat ćwiczenia - polecenie zbudowania określonych urządzeń np. generatorów sygnałów z modulacją częstotliwości, demodulatorów, itp. oraz dokumentację niezbędnych modułów (schematy ideowe z opisem). W czasie zajęć każda grupa łączy wybrane moduły w oparciu o wcześniej przygotowane schematy blokowe urządzeń oraz dokonuje ich regulacji. Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest zrealizowanie wszystkich zadań postawionych przez prowadzącego, w tym i wskazanych pomiarów, udokumentowanych sprawozdaniem.

## MODULATOR ZRÓWNOWAŻONY DWUĆWIARTKOWY

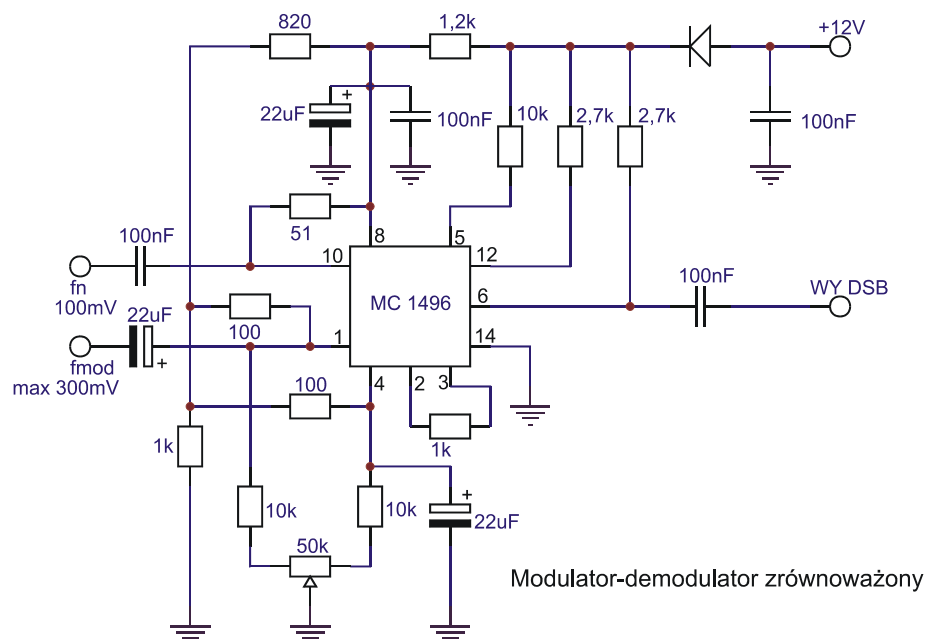
Modulator dwuźwiartkowy realizuje operację mieszania sygnałów w pierwszych dwóch ćwiartkach harmonicznego przebiegu modulującego. Schemat ideowy modulatora dwuźwiartkowego pokazano na rysunku 1. Tranzystory T1 i T2 pracują w układzie wzmacniacza różnicowego zasilanego ze źródła prądowego z tranzystorem T3. Potencjometr P określa wartość składowej stałej na kolektorze tranzystora T3. Jeśli potencjał kolektora tranzystora T3 jest ujemny (decyduje o tym położenie potencjometru P i wartość amplitudy sygnału modulującego), to tranzystory T1 i T2 pracują w układzie wzmacniacza różnicowego przenosząc na wyjście sygnał nośny o wartości chwilowej proporcjonalnej do potencjału kolektora tranzystora T3, zmienianego w takt sygnału modulującego z odwróceniem fazy o 180 stopni. Dla ujemnych połówek sygnału modulującego na kolektorze jest potencjał dodatni (zależny od położenia suwaka potencjometru P) i tranzystory T1 i T2 są zatkane (brak sygnału na wyjściu wzmacniacza operacyjnego dla ujemnych połówek sygnału modulującego). Jeśli suwak potencjometru P ustawimy w ten sposób, aby na kolektorze tranzystora T3 był zawsze potencjał ujemny niezależnie od wartości amplitudy sygnału modulującego, to na wyjściu wzmacniacza operacyjnego otrzymujemy przebieg nośny o wartości chwilowej zmienianej w takt przebiegu modulującego (**sygnał AM**). Zatem, zależnie od położenia suwaka potencjometru P możemy otrzymać albo sygnał AM albo iloczyn dwuźwiartkowy sygnałów nośnego i modulującego.



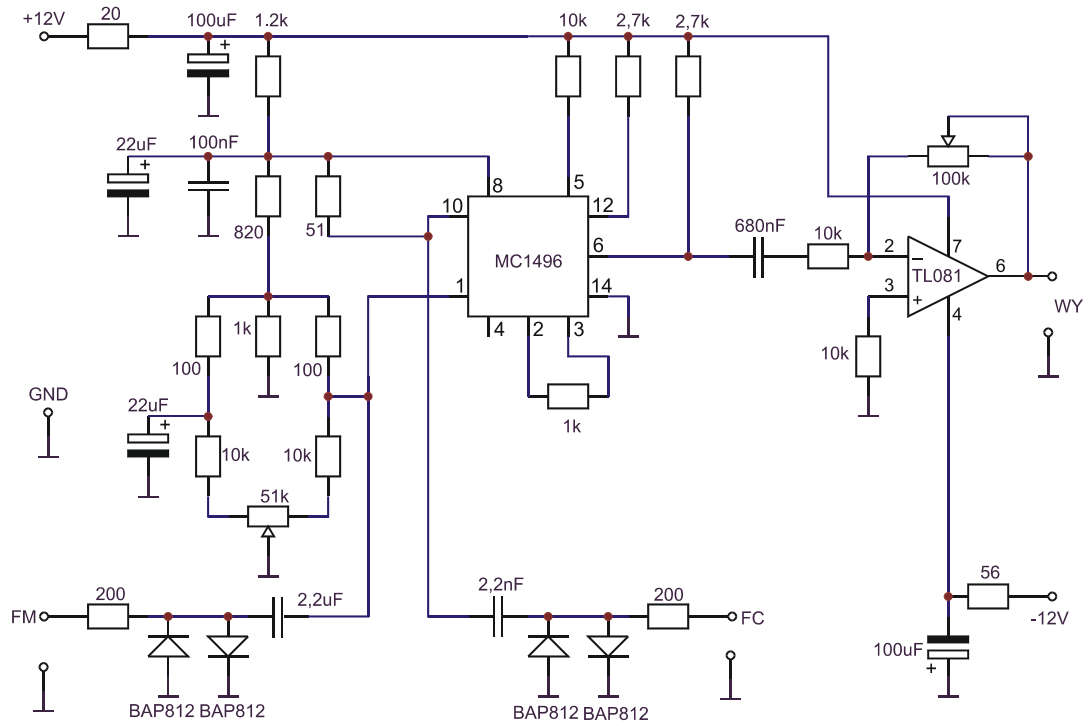
Rys.1. Schemat ideowy modulatora zrównoważonego dwuźwiartkowego

## MODULATOR - DEMODULATOR PODWÓJNIE ZRÓWNOWAŻONY (MIESZACZ CZTEROĆWIARTKOWY)

Istnieje wiele rozwiązań modulatorów podwójnie zrównoważonych. Największe znaczenie praktyczne posiadają scalone modulatory podwójnie zrównoważone. Charakteryzują się one dobrym tłumieniem częstotliwości nośnej, małymi zniekształceniami nieliniowymi, małym poborem prądu i wysoką niezawodnością. Jednym z najczęściej stosowanych układów mogących pracować jako modulator (demodulator) jest układ MC 1496. Górna częstotliwość pracy tego układu wynosi 60MHz, tłumienie nośnej przy starannym zrównoważeniu modulatora przekracza 40dB. Modulator pracuje poprawnie dla małych sygnałów wejściowych, rzędu 200mV<sub>pp</sub>. Praktyczne rozwiązanie modulatora/demodulatora wykorzystujące układ MC 1496 pokazano na rysunku 1. Potencjometr P1 służy do równoważenia wzmacniacza. Kondensator dołączony do wyjścia nr 6 (obudowa dwurzędowa DIL) układu MC 1496 odcina składową stałą, przepuszcza natomiast składową użyteczną. Składowa użyteczna może być następnie wzmacniana w układzie wzmacniacza operacyjnego pracujący w konfiguracji standardowej, np. odwracającej fazę (rys. 2). Wzmocnienie wzmacniacza wyjściowego można regulować, zmieniając położenie suwaka potencjometru. Układ z rysunku 2 zawiera obwody zabezpieczające układ MC1496 przed uszkodzeniem, np. na skutek podania sygnałów wejściowych o dużych amplitudach. W efekcie, prawidłową pracę mieszacza uzyskujemy także dla wartości napięć międzyszczytowych sygnałów wejściowych większych od 0,2V<sub>pp</sub>. Typowe napięcie zasilania układu z rysunku 1 i 2 wynosi +12V. Układ MC 1496 można zastąpić bez zmiany połączeń układem MC 1596 o większym tłumieniu nośnej, rzędu 60dB.



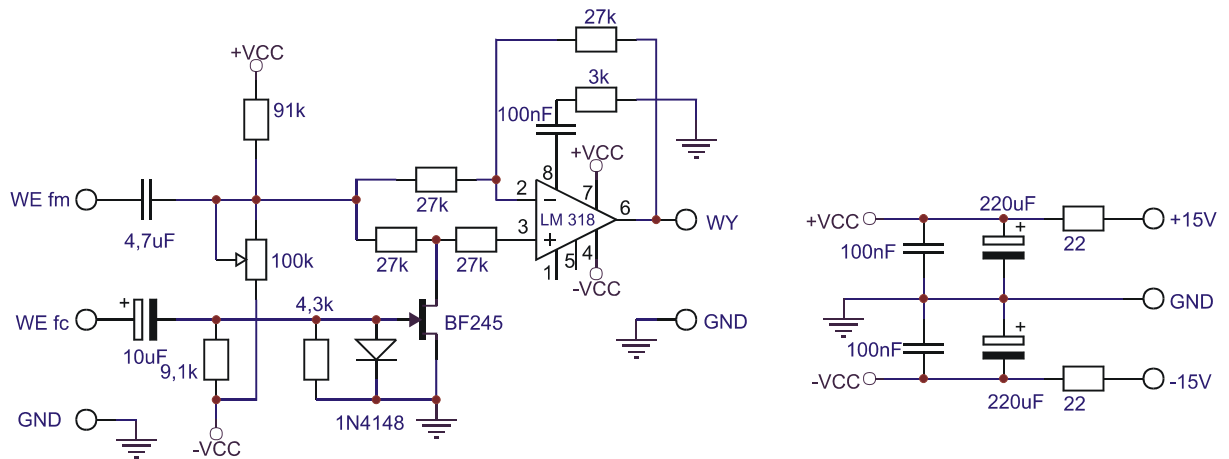
Rys.1. Mieszacz z układem scalonym MC 1496 – podstawowa konfiguracja pracy



Rys.2. Mieszacz z układem scalonym MC 1496 – konfiguracja pracy ze stopniem wzmacniającym o regulowanym wzmacnieniu.

## MODULATOR Z KLUCZOWANIEM WZMOCNIENIA WZMACNIACZA OPERACYJNEGO

Zasada pracy modulatora polega na kluczowaniu wzmocnienia sygnału modulującego wzmocnianego przez wzmacniacz w takt zmian znaku przebiegu nośnego. Po to, aby zachować symetrię przebiegów na wyjściu, wzmocnienie wzmacniacza jest kluczowane pomiędzy wartościami różniącymi się tylko znakiem. W układzie z rysunku 1 są to wartości +1 i -1. Tranzystor polowy o odpowiednio dobranym punkcie pracy (rezystor R23 na rysunku 1) zapewnia zmianę konfiguracji wzmacniacza operacyjnego widzianą przez sygnał modulujący z odwracającej na nieodwracającą zmieniającą w takt zmian znaku sygnału nośnego. Potencjometr R24 służy do takiego ustawienia składowej stałej, aby przy braku sygnału modulującego sygnał o częstotliwości nośnej nie przedostawał się na wyjście (równoważenie modulatora).



Rys.1. Modulator z kluczowaniem wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego

## GENERATOR PRZESTRAJANY NAPIĘCIEM /VCO/

Generatory przestrajane napięciem (ang. Voltage Controlled Oscillator) stosowane są w wielu układach elektronicznych, w tym w modulatorach FM, FSK, PSK, itp. oraz w pętłach synchronizacji fazy. W zestawie jako generator VCO wykorzystano układ precyzyjnego generatora przebiegów ICL8038 firmy Intersil. Układ 8038 jest uniwersalnym generatorem funkcyjnym umożliwiającym jednocześnie otrzymanie przebiegu sinusoidalnego, trójkątnego i prostokątnego. Istnieje możliwość regulacji współczynnika wypełnienia przebiegu prostokątnego i nachylenia zboczy przebiegu piłokształtnego w zakresie 2...98%. Częstotliwość pracy może być zmieniana w zakresie 0,001 Hz do 300MHz. Możliwa jest modulacja częstotliwościowa przebiegu wyjściowego napięciem zewnętrznym.

W zaprojektowanym module, układ 8038 jest wykorzystany jako uniwersalny generator oraz jako modulator FM (rys. 1). Amplitudy sygnałów wyjściowych wynoszą:

- Sygnał prostokątny: poziomy TTL.
- Sygnał trójkątny:  $0,33V_{cc}$ .
- Sygnał sinusoidalny:  $0,22C_{cc}$ .

Wzmacniacz W1 pracuje w układzie sumatora. Do przebiegu modulującego dodawana jest składowa stała o wartości:

$$U_s = -\frac{R_2}{R_3}(-V_{CC}) = \frac{2}{3}V_{CC} \quad (1)$$

Znak „-” przed  $R_2/R_3$  wynika z pracy wzmacniacza W1 w układzie odwracającym. Napięcie modulujące podawane na wejście 8 układu 8038 (obudowa DIL) zmienia się w zakresie od  $2/3$  do  $3/3$  całkowitego napięcia zasilania, zatem od  $1/3V_{CC}$  do  $V_{CC}$  (zakres zmian napięcia zasilania wynosi  $2V_{CC}$ ). Wartość  $2/3V_{CC}$  jest środkiem zakresu napięć w jakim może zmieniać się napięcie modulujące podawane na wejście 8 układu ICL8038. Rezystory  $R_2$  i  $R_1$  ustalają wstępne (podkładowe) wzmocnienie częstotliwościowe generatora VCO. Potencjometr P1 służy do skompensowania wejściowego napięcia niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego W1. Częstotliwość generatora dla zerowego napięcia modulującego doprowadzonego do wejścia wzmacniacza W1 można obliczyć z zależności

$$f = \frac{0,15}{(1,5k + P6 + P7) \cdot C} \quad (2)$$

Potencjometrem P3 można regulować zniekształcenia sygnału sinusoidalnego (wstępnie ustawiony na około  $80k\Omega$ ). Potencjometrem P5 regulujemy w wąskim zakresie (około 40%) współczynnik wypełnienia przebiegu prostokątnego. Wraz ze zmianą współczynnika wypełnienia zmieniają się nachylenia przebiegu trójkątnego w części narastającej i opadającej oraz kształt "sinusoidy" otrzymywanej w kształtowniku diodowym układu 8038 z sygnału trójkątnego. Stąd, minimum zniekształceń przebiegu sinusoidalnego można uzyskać tylko dla wypełnienia przebiegu

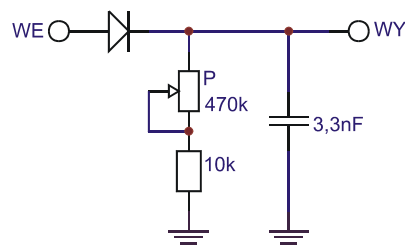


## DETEKTOR SZCZYTOWY (OBWIEDNI)

Detektor szczytowy jest najczęściej stosowanym w praktycznych rozwiązaniach detektorem obwiedni w układach z modulacją amplitudy. Schemat ideowy prostego detektora szczytowego pokazano na rysunku 1. Gdy stała czasowa RC spełnia nierówność

$$\frac{1}{\omega_c} \ll RC \ll \frac{1}{\omega_m} \quad (1)$$

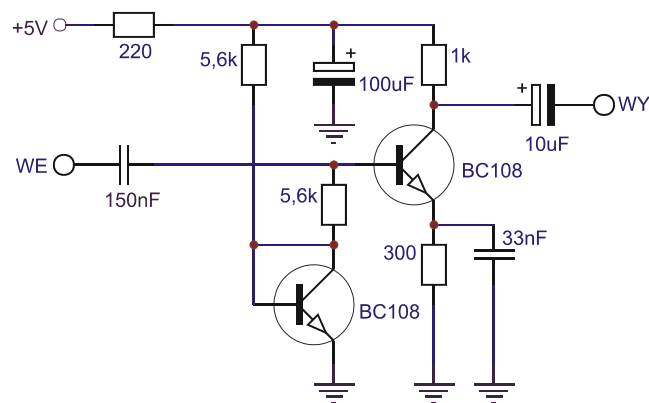
$\omega_m$ - maksymalna pulsacja przebiegu modulującego,  $\omega_c$ - pulsacja nośnej, kondensator C naładowuje się do wartości bliskiej amplitudzie napięcia wielkiej częstotliwości podczas dodatniego półokresu sygnału, utrzymuje zaś tę wartość podczas półokresu ujemnego. Jednocześnie napięcie na kondensatorze zmienia się w takt zmian amplitudy sygnału o pulsacji  $\omega_m$ . Gdy stała czasowa RC jest za mała, napięcie na kondensatorze opada poniżej wartości szczytowej, a gdy RC jest za duże, napięcie na kondensatorze: nie nadąża za zmianami obwiedni i powstają zniekształcenia. Dla uzyskania liniowej detekcji załamanie charakterystyki statycznej diody powinno nastąpić w początku układu współrzędnych. Diody krzemowe mają jednak to załamanie dla napięcia w kierunku przewodzenia wynoszącego ok. 0,7V, co uniemożliwia pracę detektora w opisany powyżej sposób dla sygnałów na poziomie niższym niż 1V. Potencjometr P pokazany na rysunku 1 służy do ustawienia pożądanej stałej czasowej detektora. Rezystor 10k $\Omega$  ogranicza prąd płynący przez diodę zapobiegając jej uszkodzeniu dla zerowej wartości rezystancji ustawionej potencjometrem P.



Rys.1. Detektor szczytowy

## TRANZYSTOROWY DEMODULATOR AM

Istotną wadą demodulatorów amplitudy zbudowanych na układach diodowych jest konieczność zapewnienia wysokiego napięcia wejściowego do prawidłowej pracy demodulatora (napięcie progowe diod). Układy tranzystorowe nie mają tej wady. Ponadto, zwykle wnoszą wzmocnienie, zatem mogą pracować przy niskich amplitudach sygnału wejściowego. Zasada działania detektora z rysunku 1 jest następująca. Do bazy tranzystora jest doprowadzony modulowany sygnał AM. Wyjściem detektora jest kolektor tranzystora T2. Wykorzystywana jest nieliniowa zależność prądu kolektora od napięcia pomiędzy bazą i emiterem. Dla zapewnienia detekcji małych sygnałów zastosowaną wstępną polaryzacją tranzystora–detektora przy pomocy tranzystora T1 w połączeniu diodowym, który powoduje, że prąd wstępnej polaryzacji pozostaje stały przy zmianach temperatury.



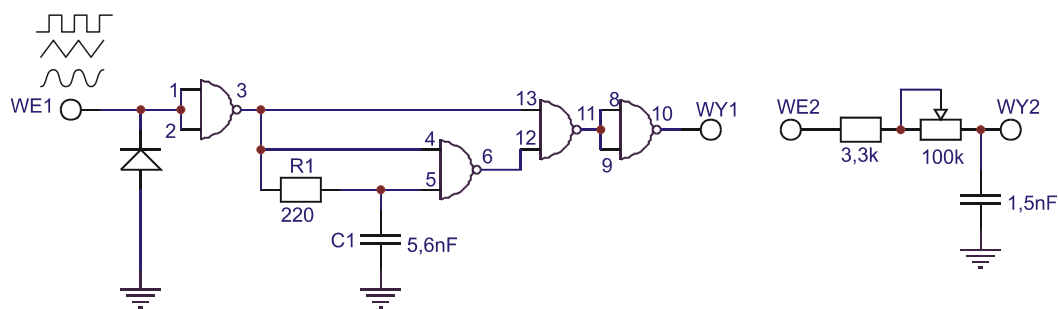
Rys.1. Schemat tranzystorowego demodulatora AM.

## DETEKTOR FM ZLICZAJĄCY IMPULSY

Zalety układów scalonych zdecydowały o poszukiwaniu nowych rozwiązań układowych detekcji sygnałów z modulacją częstotliwości nadających się do scalenia. Muszą one spełniać szereg warunków. Między innymi są to: brak indukcyjności, niewielkie wartości pojemności, duży stosunek liczby elementów aktywnych do pasywnych i mała wrażliwość na rozrzuty parametrów. Takim układem jest detektor FM działający na zasadzie zliczania impulsów. Jeżeli w czasie każdego okresu sygnału modulowanego w częstotliwości wytworzy się impuls o standardowych amplitudzie i szerokości, to liczba tych impulsów w jednostce czasu jest proporcjonalna do częstotliwości. Układ dający napięcie wyjściowe proporcjonalne do liczby impulsów na jego wejściu realizuje detektor FM. Układ praktyczny pokazano na rysunku 1. Przychodzący sygnał zostaje zamieniony na ciąg impulsów prostokątnych a standardowej szerokości i wypełnieniu. Impulsy są zliczane w układzie R2C2. Sygnał wyjściowy układu zliczającego może być następnie wzmocniony w filtrze o paśmie akustycznym. Warunkiem właściwego całkowania układu zliczającego jest spełnienie nierówności

$$\frac{1}{\omega_{\max}} \gg R_2 C_2 \gg \frac{1}{\omega_c} \quad (1)$$

Detektory FM działające na zasadzie zliczania impulsów są tanie i podlegają standaryzacji. Ponadto, umieszczając zamiast układu całkującego cyfrowy licznik impulsów, można uzyskać sygnał zdemodulowany w postaci cyfrowej, wygodnej do dalszego przetwarzania w nowoczesnych systemach telekomunikacyjnych.



Rys.1. Detektor zliczający impulsy,  $f_0 \approx 200\text{kHz}$

## FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY PIERWSZEGO RZĘDU

Filtr dolnoprzepustowy FDP jest zawsze ostatnim stopniem toru modulator-demodulator. Zadaniem filtra dolnoprzepustowego jest wytłumienie niepożądanych składowych wielkoczęstotliwościowych zawartych w sygnale zdemodulowanym. Jeśli do budowy filtra dolnoprzepustowego zastosujemy wzmacniacz operacyjny o względnie dużej wydajności prądowej, np. 50mA, to filtr FDP służy także jako wzmacniacz mocy dla słuchawek dołączanych do wyjścia.

W wielu zastosowaniach odfiltrowanie składowej wysokoczęstotliwościowej można zrealizować w układzie filtra dolnoprzepustowego pierwszego rzędu. Na rysunku 1 pokazano aktywny filtr dolnoprzepustowy złożony z dwóch części: właściwego filtra i wzmacniacza odwracającego fazę o wzmocnieniu 5. Transmitancja struktury z rysunku 1 jest równa

$$H(s) = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{R_1 C_2} \cdot \frac{1}{s + \frac{1}{R_2 C_2}} \quad (1)$$

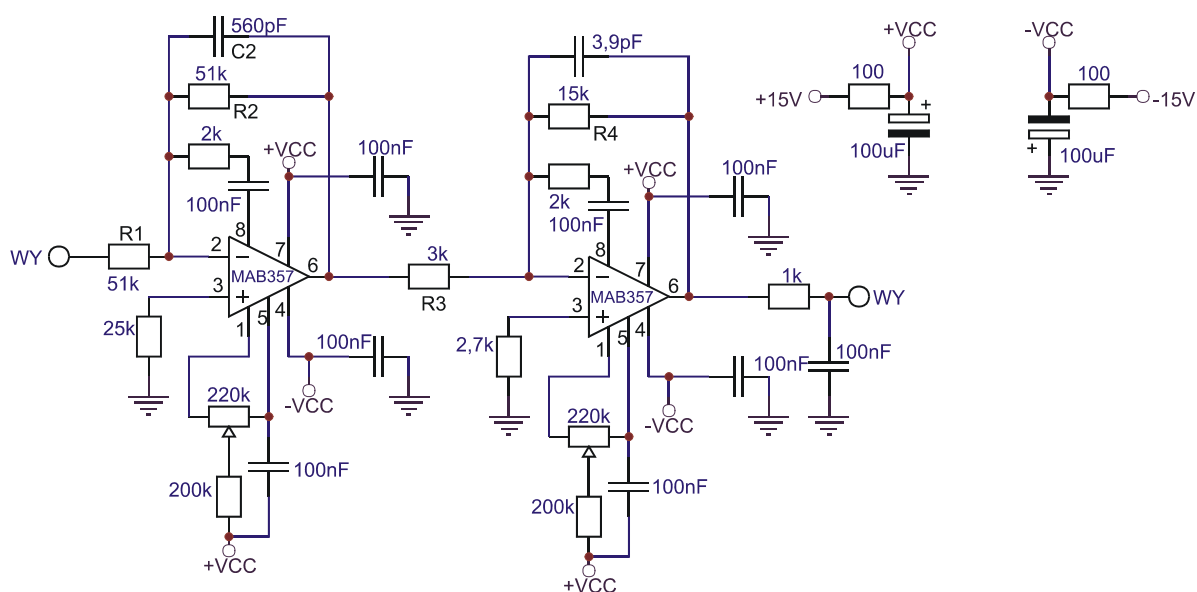
Na rysunku 2 przedstawiono charakterystykę filtra. Wzmocnienie w paśmie przepustowym wynosi

$$K_u = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

Dla pulsacji

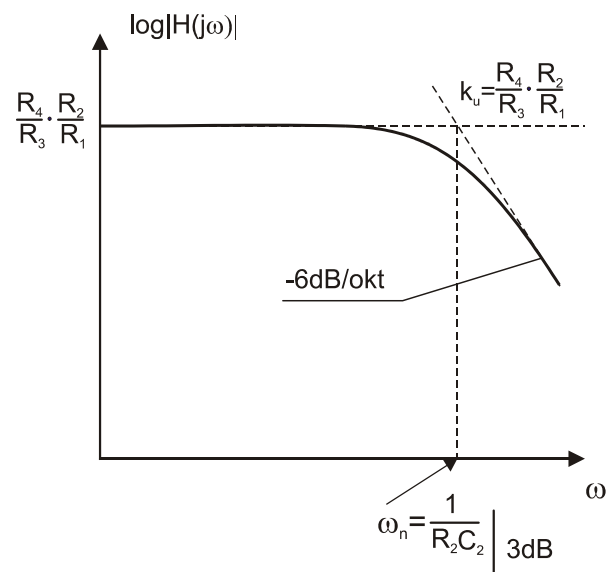
$$\omega_n = \frac{1}{R_2 C_2} \quad (3)$$

wzmocnienie maleje do  $0,707K_u$  i spada z szybkością  $-6\text{dB}$  na oktawę.



$$f_{3dB} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \approx 5,5\text{kHz}, \quad K_u = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3} \approx 5$$

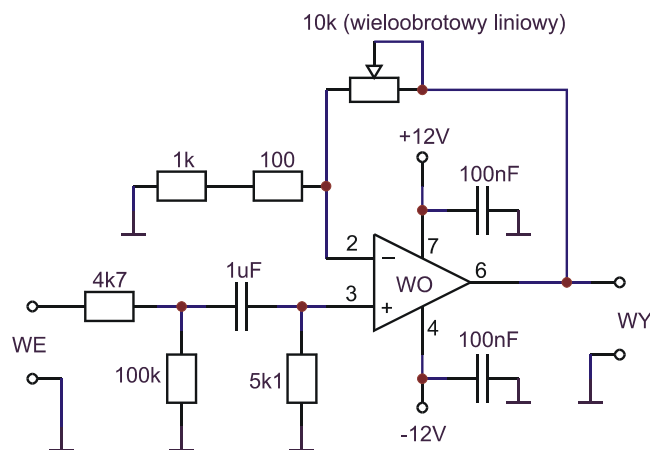
Rys.1. Filtr dolnoprzepustowy pierwszego rzędu



Rys.2. Charakterystyka filtru dolnoprzepustowego z rys.1.

## WZMACNIACZ SKŁADOWEJ ZMIENNEJ (WZMACNIACZ AC)

Bardzo często przy konstrukcji układów ćwiczeniowych konieczne jest użycie wzmacniacza o regulowanym wzmacnieniu i szerokim paśmie przenoszenia, zdolnego usunąć z sygnału składową stałą. Układ przedstawiony na rysunku 1 cechuje się pasmem od około 300Hz do ponad 300kHz i wzmacnieniem  $k$  od 0,5 do 5. Układy takie jak na rysunku 1 można łączyć kaskadowo, otrzymując wzmacnienia mniejsze od 0,5 lub większe od 5. Kluczowym zagadnieniem w konstrukcjach wzmacniaczy tego typu jest właściwy dobór wzmacniacza operacyjnego. Powinien on pracować stabilnie ze wzmacnieniem równym jedności. Pasma jednostkowe powinny być większe od 1,5MHz a szybkość narastania napięcia wyjściowego, determinująca możliwość otrzymania na wyjściu sygnału o dużej wartości międzyszczytowej, powinna być możliwie duża. Żeby moduł nie obciążał wyjść układów z którymi współpracuje, jego rezystancja wejściowa powinna być relatywnie duża, np. 10k $\Omega$ . Wzmacniacz AC zapewnia także standaryzowaną (do wartości bliskiej zero) impedancję wyjściową układu.



Rys. 1. Wzmacniacz AC

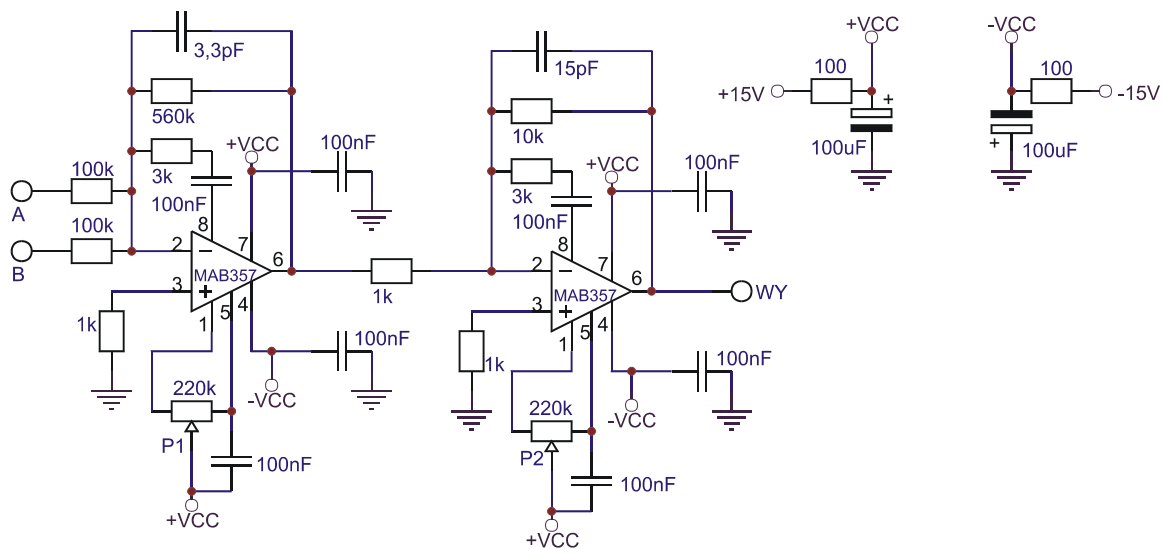
## WZMACNIACZ / SUMATOR DWÓCH PRZEBIEGÓW

Wzmacniacz/sumator zapewnia zarówno wzmocnienie jak i dodanie (odjęcie gdy są w przeciwfazie) dwóch sygnałów składowych. Napięcie wyjściowe określone jest wzorem:

$$U_{WY} = k(U_A + U_B) \quad (1)$$

Wzmacniacz składa się z dwóch stopni pracujących w oparciu o szybkie wzmacniacze operacyjne np. TL071, LF357 (MAB357). Kompensacja częstotliwościowa jest zewnętrzna (we wzmacniaczach nowszego typu – zbędna), i jest zrealizowana przy pomocy dwójnika RC (wyprowadzenie 8 US). Potencjometry P1 i P3 służą do kompensacji wejściowego napięcia niezrównoważenia. Zastosowano kondensatory blokujące zasilanie indywidualnie dla każdego wzmacniacza w celu niedopuszczenia do pasożytniczych sprzężeń poprzez obwody zasilania. Pierwszy stopień wzmacnia 5,6 raza i jest układem sumującym o dużej rezystancji wejściowej, natomiast drugi jest wzmacniaczem odwracającym o stałym wzmocnieniu. Rozdzielenie wzmocnienia jest konieczne ze względu na dużą rezystancję wejściową.

Podczas montażu zestawów należy pamiętać o krótkich połączeniach między modułami ze względu na możliwość wystąpienia sprzężeń powodujących wzbudzenie układu.



Rys.1. Schemat szybkiego wzmacniacza-sumatora

## WZMACNIACZ RÓŻNICOWY

Na rysunku 1 pokazano schemat wzmacniacza różnicowego, który jest układem o symetrycznym wejściu i niesymetrycznym wyjściu. Dla bardzo dużego wzmocnienia napięciowego wzmacniacza  $/A_u \rightarrow \infty/$  oraz wartości rezystorów  $R_1, R_2, R_3, R_4$  spełniających warunek

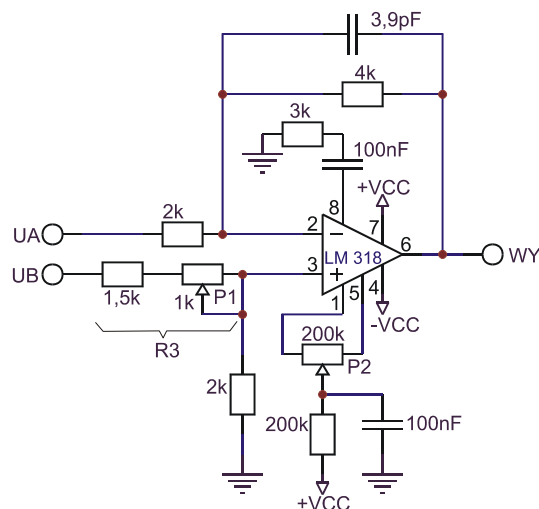
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad (1)$$

wzór na napięcie wyjściowe wzmacniacza ma postać

$$U_O = \frac{R_2}{R_1}(U_B - U_A) \quad (2)$$

Wzór powyższy jest słuszny tylko dla idealnego wzmacniacza operacyjnego. W układach rzeczywistych należy uwzględnić wpływ nieidealnego tłumienia sygnału współbieżnego, odstępstwa od równości wzmocnienia w torach odwracającym i nieodwracającym wzmacniacza spowodowane tolerancjami rezystorów itp. W układzie z rysunku 1 zamiast rezystora  $R_3 = 2k\Omega$  zastosowano szeregowe połączenie rezystora i potencjometru  $1k\Omega$ . Doprowadzając do obu wejść wzmacniacza ten sam sygnał poprzez regulację  $R_3$  kompensujemy wpływ tolerancji wartości rezystorów na wartość napięcia. Dla prawidłowo dobranych wzmocnień obu torów wzmacniacza musi być  $U_0 = 0$  dla  $U_A = U_B$ .

Potencjometr  $P_2$  służy do kompensowania napięcia niezrównoważenia wzmacniacza. Graniczna częstotliwość pracy układu z rysunku 1 zależy od zastosowanego wzmacniacza operacyjnego i dla LM318 (wzmocnienie = 2) wynosi około 3MHz.



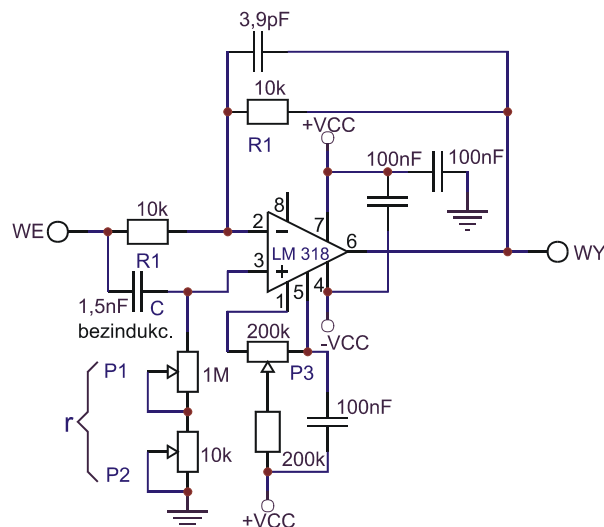
Rys.1. Wzmacniacz różnicowy

## PRZESUWNIK FAZY

Układ przesuwnika fazy pokazano na rysunku 1. Transmitancja układu jest równa

$$H(s) = \frac{1 - s \cdot C \cdot r}{1 + s \cdot C \cdot r} \quad (1)$$

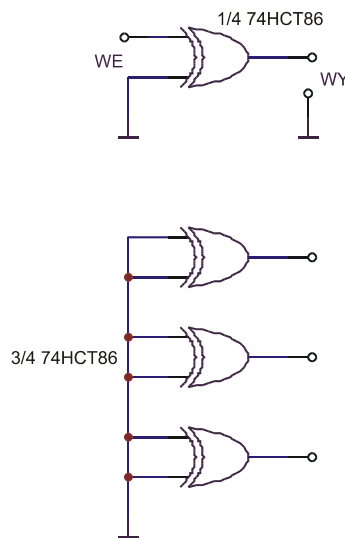
Z analizy zer i biegunów powyższej funkcji wynika, że przy zmianach częstotliwości napięcia wejściowego z zachowaniem jego stałej amplitudy, amplituda napięcia wyjściowego również pozostaje stała, a zmianie ulega przesunięcie fazy sygnału wyjściowego w stosunku do fazy sygnału wejściowego. Zwróćmy uwagę, że funkcja przenoszenia układu jest niezależna nie tylko od właściwości wzmacniacza operacyjnego lecz także od wartości rezystora R1. Regulując wartość rezystora r (potencjometrami P1 i P2) od  $0\Omega$  do  $\infty\Omega$  (wartość  $1\text{ M}\Omega$  z dobrym przybliżeniem modeluje opór nieskończony), przy ustalonej częstotliwości napięcia wejściowego, otrzymuje się zmianę przesunięcia fazowego w układzie od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ , przy czym amplituda pozostaje stała. Gdy  $r = 0$  układ przesuwnika staje się wzmacniaczem odwracającym o wzmacnieniu równym 1, którego przesunięcie fazy wynosi  $180^\circ$ . W drugim skrajnym przypadku  $r = \infty$  sygnał wejściowy w pełnym zakresie częstotliwości /oprócz  $f = 0$ / jest doprowadzony do wejścia nieodwracającego (przy założeniu nieskończenie dużej rezystancji wejściowej samego wzmacniacza). Rezystor R1 między wejściem układu i wejściem odwracającym wzmacniacza jest zwarty, gdyż potencjały obu wejść wzmacniacza są równe. Ponieważ na tym rezystorze nie ma żadnego spadku napięcia, więc w rezystorze R1 w pętli sprzężenia nie płynie prąd i całe napięcie wejściowe jest zwrotnie podawane na wejście odwracające. Jest to więc, w tym przypadku, wzmacniacz nieodwracający o wzmacnieniu 1, którego przesunięcie fazy jest równe  $0^\circ$ . Potencjometr P3 służy do kompensacji napięcia niezrównoważenia wzmacniacza (dla nowych konstrukcji wzmacniaczy operacyjnych – zbędny).



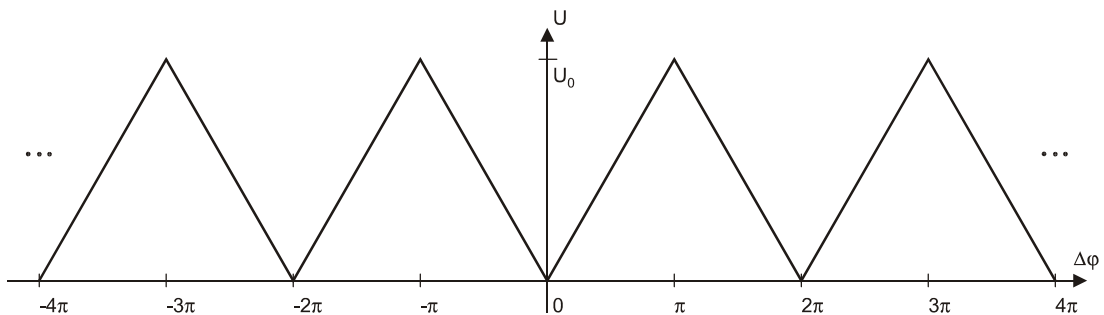
Rys.1. Przesuwnik fazy ( $0^\circ \div 180^\circ$ )

## DETEKTOR FAZY O CHARAKTERYSTYCE TRÓJKĄTNEJ

Detektor fazy jest składnikiem każdej pętli fazowej. Najprostszym detektorem jest detektor pokazany na rysunku 1 (suma modulo 2). Jego charakterystyka jest funkcją trójkątną pokazaną na rysunku 2. Sygnałami wejściowymi są przebiegi TTL o wypełnieniu 0,5. Zwróćmy uwagę, że zakres liniowych zmian wypełnienia przebiegu wyjściowego detektora w funkcji różnicy faz sygnałów wejściowych wynosi od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ .



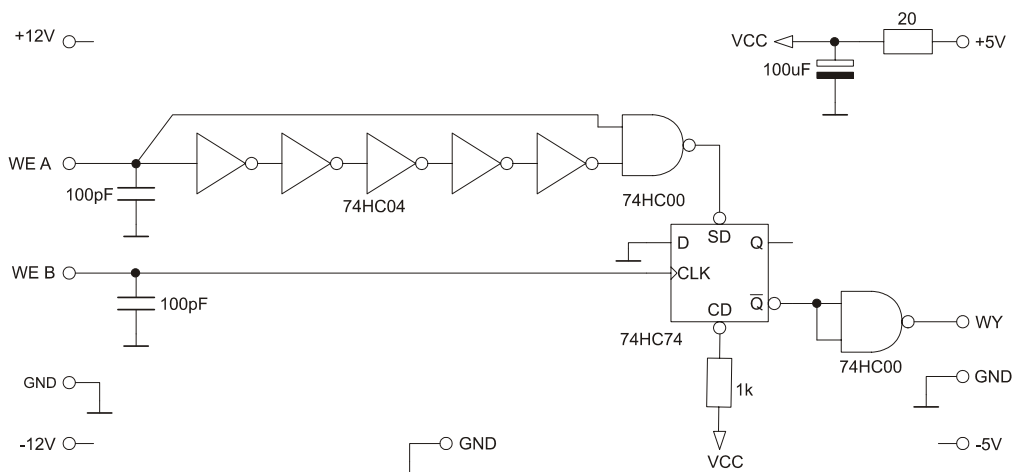
Rys. 1. Detektor fazy o charakterystyce trójkątnej



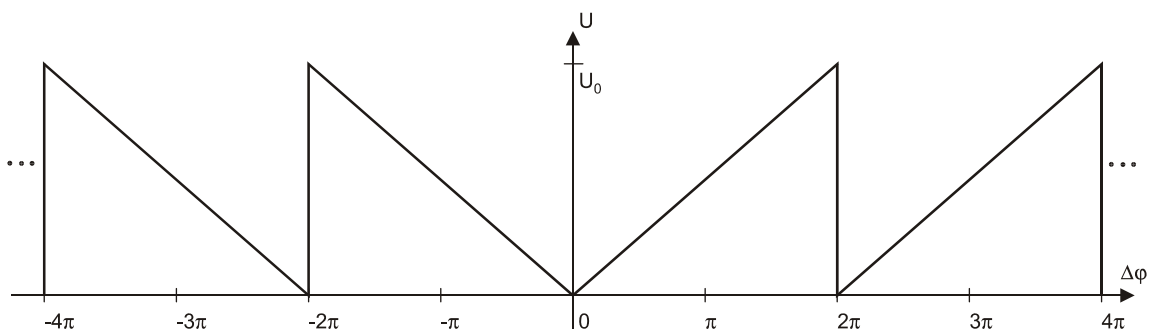
Rys. 2. Charakterystyka detektora fazy z rysunku 1

## DETEKTOR FAZY O CHARAKTERYSTYCE PIŁOKSZTAŁTNEJ

Zakres liniowych zmian wypełnienia sygnału wyjściowego detektora w funkcji różnicy faz sygnałów wejściowych wynosi od  $0^0$  do  $360^0$ . Jest więc on dwukrotnie większy od zakresu liniowego detektora fazy o charakterystyce trójkątnej. W efekcie, pętle fazowe z detektorem o charakterystyce piłokształtnej mają większe zakresy trzymania i chwytania. Układ detektora pokazano na rysunku 1. Jest to detektor typu START/STOP. Zbocze narastające przebiegu wejściowego TTL podanego na WE1 ustawia górny przerzutnik typu D w stan „1”, natomiast zbocze narastające sygnału TTL podanego na WE2 zeruje ten przerzutnik. W efekcie, przebiegi wejściowe nie muszą mieć wypełnienia równego 0,5, a częstotliwość przebiegu z WE2 (STOP detektora) może być wielokrotnością częstotliwości z WE1 (START detektora). Charakterystykę detektora przedstawia rysunek 2. Ponieważ bezpośrednie zasilanie urządzeń analogowych (np. filtrów pętlowych) z wyjścia Q przerzutnika nie jest wskazane, dlatego na schemacie z rysunku 1 zastosowano bufor w postaci bramki NOT.



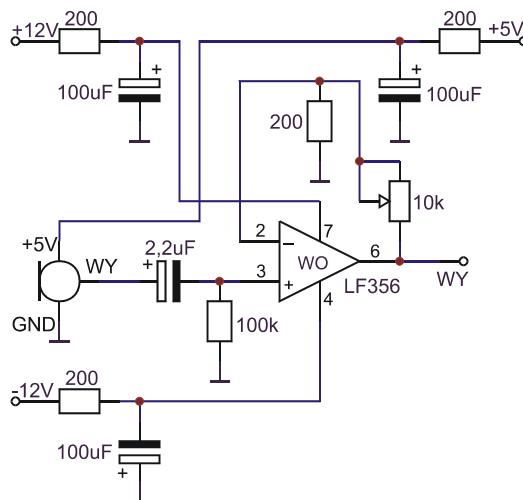
Rys. 1. Detektor fazy o charakterystyce piłokształtnej



Rys. 2. Charakterystyka detektora fazy z rysunku 1

## WZMACNIACZ MIKROFONOWY

Wzmacniacz mikrofonowy jest pierwszym spośród bloków wchodzących w skład urządzeń nadawczych różnych systemów przekazywania sygnału mowy. Powinien cechować się dużym wzmocnieniem, które jest niezbędne do otrzymania odpowiednio wysokiego napięcia na wyjściu przy napięciu z mikrofonu rzędu kilkunastu mV (mikrofony z wbudowanym przedwzmacniaczem), dużą dynamiką, małym poziomem szumów oraz małą impedancją wyjściową. W rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 1 uwzględniono wszystkie podane wymagania. Tor wzmacniacza został zaprojektowany w oparciu o mikrofon elektretowy i dwa wzmacniacze operacyjne, jeden o wzmocnieniu stałym, drugi o wzmocnieniu regulowanym. Oba wzmacniacze pracują w konfiguracji nieodwracającej. Wzmacniacze są połączone przez kondensatory elektrolityczne odcinające składową stałą. Napięcie +5V jest podane jako napięcie wstępnej polaryzacji dla mikrofonu elektretowego. Pasma mikrofonu mieści się w zakresie od 20Hz do 20kHz.



Rys. 1. Wzmacniacz mikrofonu elektretowego