

# UKŁADY MNOŻENIA BEZPOŚREDNIEGO

## 1. WSTĘP

Tematem ćwiczenia są zagadnienia związane z zastosowaniem układów mnożenia w szczególności do przesyłania informacji na odległość. Badane są - pod kątem zasad pracy i właściwości tory transmisji z modulacją amplitudy i fazy. Pokazano również przykładowe zastosowanie analogowego układu programowalnego ispPAC20 firmy Lattice Semiconductors, który zawiera programowalne sekcje filtru oraz 8-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy.

## WYKAZ WKŁADEK i APARATURY POMIAROWEJ

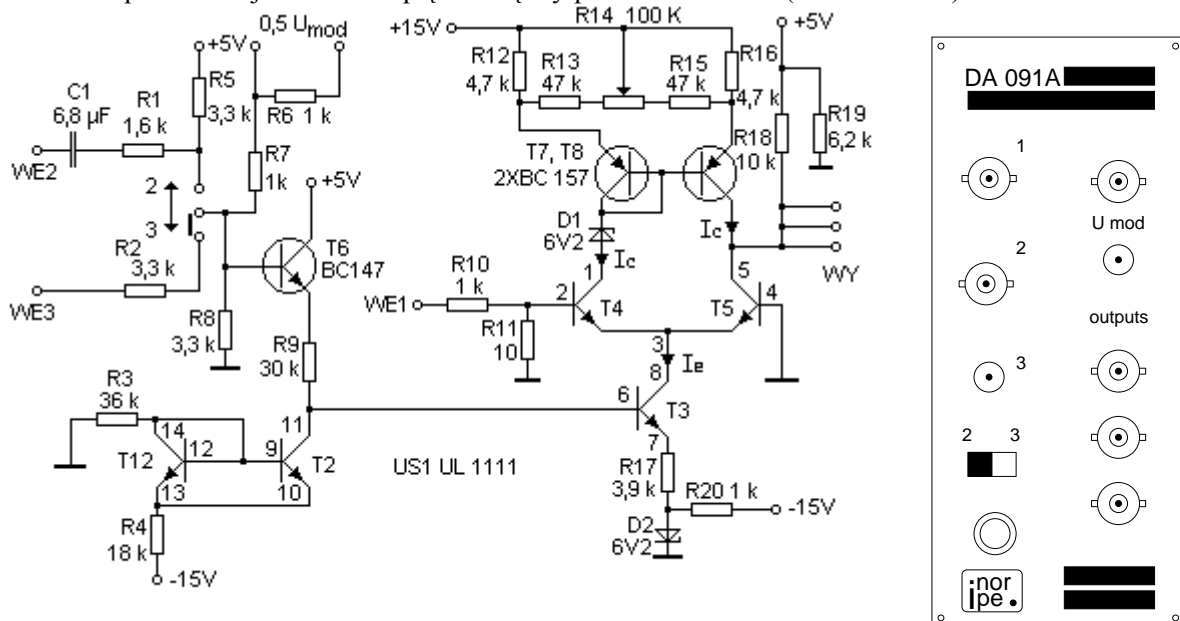
Wkładki DA 091A, DA091B, DA 171A  
generator sygnałów synfazowych SN3112  
regulowane źródło napięcia stałego SA1321  
generator HP 203A  
generatory METEX, oraz 5621

oscyloskop cyfrowy  
oscyloskop analogowy  
rozdzielacz sygnału BNC: 3 szt  
kable: dc/BNC, jack/BNC, jack/ds

## 2. OPIS TECHNICZNY UKŁADÓW BADANYCH

### 2.1 Modulator amplitudy (DA091A)

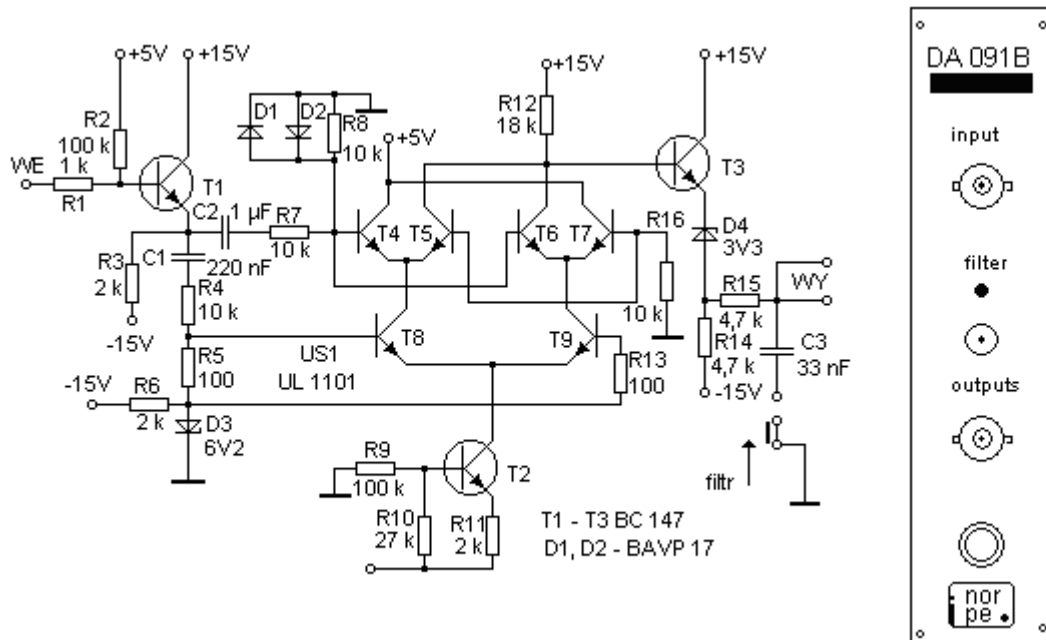
Modulator amplitudy pracuje w układzie różnicowym obciążonym lustrem prądowym (tranzystory  $T_7$ ,  $T_8$  na rys. 1). Falę nośną doprowadza się do gniazda wejściowego umieszczonego na płycie czołowej wkładki oznaczonego cyfrą "1". Sygnał modulujący doprowadza się do gniazd "WE3" lub "WE2" - zależnie od charakteru sygnału (stały lub zmienny). Wyboru gniazda łączonego z wejściem modulatora dokonuje się za pomocą przełącznika suwakowego "2-3". Napięcie modulujące (zmniejszone dwukrotnie) można mierzyć i obserwować na wyjściach oznaczonych " $U_{mod}$ ". Wtórnik  $T_6$ , zasilany stałym prądem emitera przez źródło prądowe  $T_2$ , przesuwają poziomo napięcia modulującego, w kierunku napięć ujemnych, o około 6,7 V. Dioda Zenera  $D_1$  zabezpiecza układ scalony UL 1111 przed przekroczeniem dopuszczalnej wartości napięcia między podłożem układu (końcówka 13) a kolektorem  $T_4$ .



Rys. 1. Schemat ideowy i płyta czołowa wkładki DA091A

## 2.2 Demodulator amplitudy (DA091B)

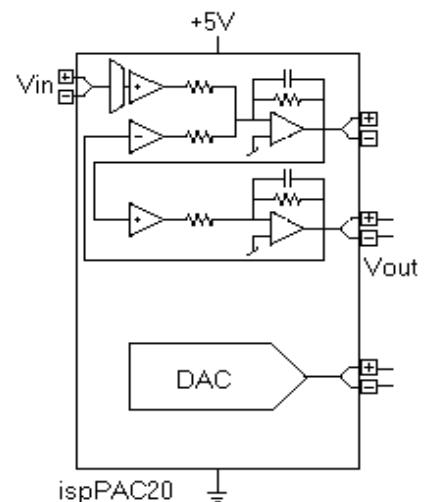
Sygnal zmodulowany doprowadzany do gniazda "input" – WE (rys. 2), steruje rozplywem prądu kolektorowego tranzystora  $T_2$  pomiędzy tranzystory  $T_8$  i  $T_9$  oraz przełącza od zatkania do stanu aktywnego tranzystory  $T_4 - T_7$ . Na wyjściach układu można oglądać i mierzyć napięcie zdemodulowane z dołączonym lub odłączonym filtrem dolnoprzepustowym  $R_{15}C_3$ .



Rys. 2. Schemat ideowy i płyta czołowa wkładki DA091B

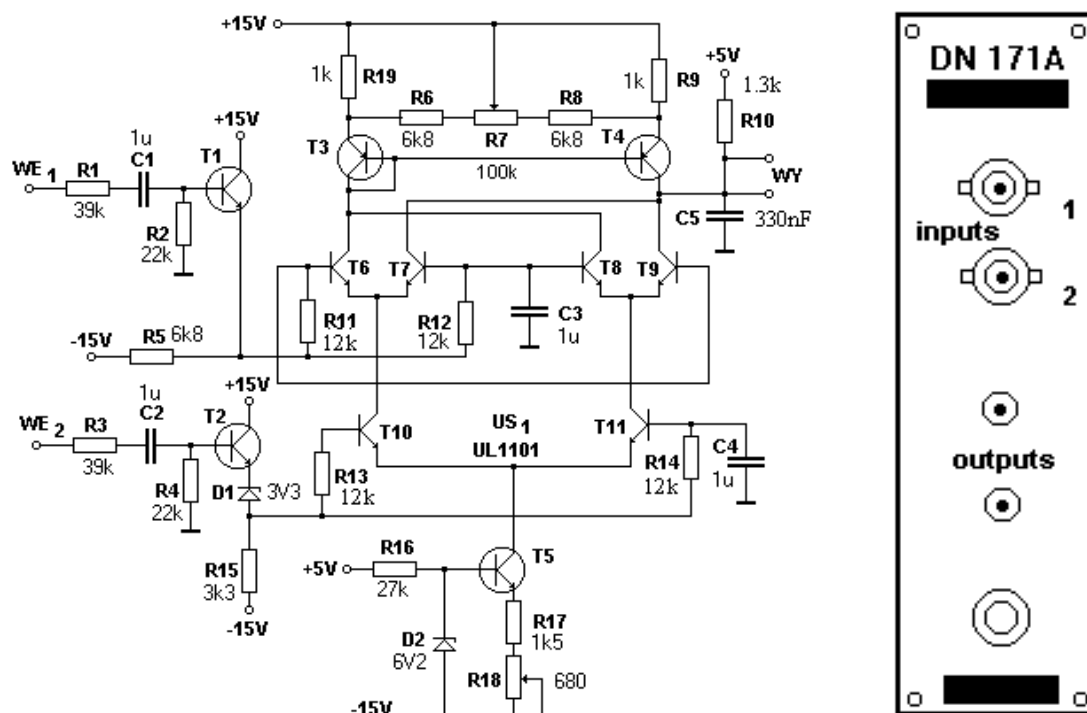
## 2.3 Układ ispPAC20 firmy Lattice Semiconductor

W swojej strukturze układ zawiera dwie sekcje programowalnych filtrów dolnoprzepustowych, podwójny szybki komparator, oraz przetwornik cyfrowo-analogowy. Typowy schemat aplikacyjny przedstawiony jest na rysunku obok. Sekcja filtrów pozwala uzyskać częstotliwości graniczne od 10kHz do 100kHz, a wzmacnienie w zakresie od 1 do 10. Bardzo szybki przetwornik C/A pozwala generować sygnały akustyczne, jednak jego prędkość ograniczona jest szybkością transmisji danych do układu. Można go programować interfejsem szeregowym (JTAG, ISP), lub równoległym, który został tu wykorzystany (ze względu na szybkość).



## 2.3 Układ 4/4 z filtrem dolnoprzepustowym (DA171A)

Wkładka DA171A zawiera (rys. 3.) czteroćwiartkowy układu mnożący (tranzystory  $T_3 - T_{11}$ ). Tranzystory  $T_6 - T_{11}$  pracują jako klucze prądowe nienasycone. Mogą one być sterowane przebiegami o różnych kształtach; ważne jest jednak, aby napięcia na bazach tranzystorów można było - w okolicy poziomu przełączania - aproksymować przebiegiem o współczynniku wypełnienia 0,5. Ze względu na nienasycanie się tranzystorów przełączanych, maksymalna wartość międzyszczytowa napięć wejściowych nie powinna przekraczać 5 V.

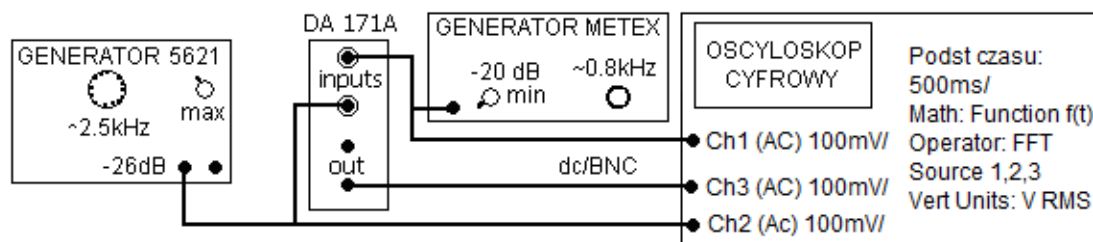


Rys.3. Schemat ideowy i płyta czołowa układu 4-ćwiartkowego (wkładka DA171A)

## 3. OBSERWACJE I POMIARY

### 3.1 Obserwacja działania układu mnożącego w dziedzinie częstotliwości

1. Na wejścia wkładki DA 171A podać sygnały sinusoidalne o różnych częstotliwościach  $f_1 \cong 800$  Hz i  $f_2 \cong 2500$  Hz (zanotować dokładne wartości). Amplitudy sygnałów dobrać jak na rysunku. Za pomocą oscyloskopu cyfrowego obserwować widma sygnałów wejściowych i wyjściowego (przycisk Math, Function:  $f(t)$ , Operator: FFT). Używając funkcji kursora odczytać częstotliwości poszczególnych prążków widma. Obrazy widm z odpowiednimi wartościami kursorów zapisać do pliku.



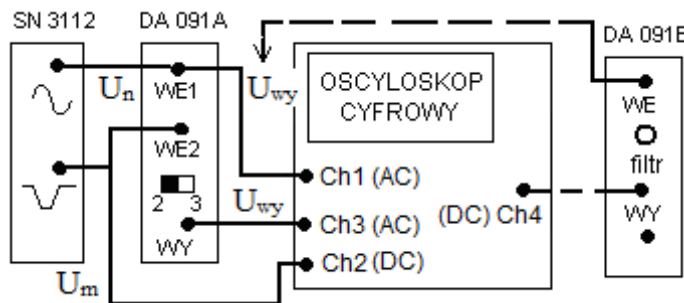
W sprawozdaniu załączyć widma wszystkich sygnałów i wyjaśnić kształt widm sygnału wyjściowego, w szczególności podać relacje określające częstotliwości poszczególnych prążków tego widma.

### 3.2 Pomiary modulatora amplitudowego (DA091A)

1. Wybrać z tablicy odpowiednią parę wartości ( $U_n$ ,  $m$ ). Do wejść modulatora DA091 doprowadzić sygnały z generatora sygnałów synfazowych SN3112. Dobrać tak nastawy tego generatora aby na wyjściu modulatora uzyskać sygnał o zadanej głębokości modulacji wybranych z tablicy wartościach ( $U_n$ ,  $m$ ) [Wskazówka: Amplitudę sygnału trapezoidalnego dobrać tak aby uzyskać odpowiednią głębokość modulacji  $m = (U_{wy\_max} - U_{wy\_min}) / (U_{wy\_max} + U_{wy\_min})$ . Maksymalną ( $U_{wy\_max}$ ) i minimalną ( $U_{wy\_min}$ ) wartość amplitudy przebiegu zmodulowanego mierzyć za pomocą funkcji kursora oscyloskopu cyfrowego.] Następnie zmierzyć i zapisać do pliku (format .csv) wszystkie sygnały w dziedzinie czasu (podstawa czasu  $\sim 10$  ms) oraz ich widma częstotliwościowe (podstawa czasu  $\sim 500$  ms).

Tablica 1.

$U_n$ - amplituda napięcia na wejściu modulatora [V]				$m$ - współczynnik głębokości modulacji			
4,0	1,0	3,0	2,0	0,2	0,3	0,5	0,7
Zespół							
1	2,3	4	5	1	2	3,4	5



Generator sygnałów synfazowych służy do wytworzenia dwóch przebiegów okresowych: trapezoidalnego i sinusoidalnego w taki sposób, aby częstotliwość przebiegu sinusoidalnego była 16-krotnie większa niż trapezoidalnego, a jednocześnie aby sygnały te były synchroniczne - tzn. aby charakteryzowały się stałym przesunięciem fazowym. Amplituda obu przebiegów może być regulowana od 0 do  $U_{max}=10V$ .

**W sprawozdaniu:**

1) Wykreślić wszystkie zmierzone przebiegi. Na tym samym wykresie umieścić także przebieg napięcia wyjściowego obliczony teoretycznie na podstawie analizy schematu ideowego układu DA091A. [Wskazówka: Wzmocnienie różnicowe układu wynosi  $k_{ur} = R_{11} / (R_{10} + R_{11}) g_m R_C$ , przy czym transkonduktancja  $g_m = 40I_C = 40 \cdot \frac{1}{2} I_E = 20U_{17} / R_{17}$ ,  $U_{17} = U_{17dc} + U_{17ac}$ ,  $U_{17ac} = f(U_{WE2})$ .]

2) Obliczyć i podać teoretyczną wartość współczynnika modulacji [współczynnik głębokości modulacji jest równy stosunkowi amplitud napięcia modulującego pojawiającego się na  $R_{17}$  do napięcia stałego na tym rezystorze  $m = U_{17ac} / U_{17dc}$ .].

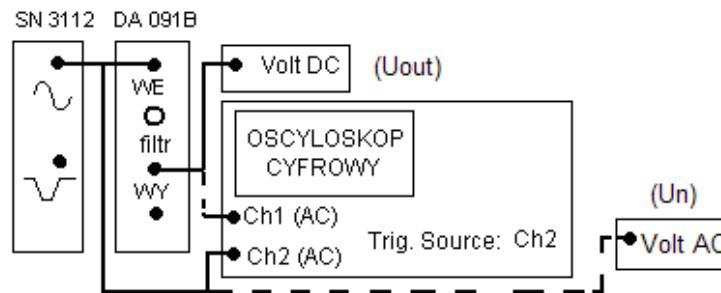
3) W tabeli porównać zmierzone amplitudy harmonicznych (1. 2. 3.) widma fali trapezoidalnej z obliczonymi współczynnikami szeregu Fouriera.

### 3.3 Badanie toru z modulacją amplitudy (DA091A i DA091B)

1. Do wyjścia modulatora (DA091A), w którym ustalono przebieg napięcia zmodulowanego jak w p.3.2.1 dołączyć demodulator (DA091B). Przebieg na wyjściu demodulatora dla przypadków z odłączonym i dołączonym filtrem zaobserwować i zarejestrować w 4. kanale oscyloskopu i zapisać do pliku (format .csv). **W sprawozdaniu umieścić zarejestrowane przebiegi.**

2. Połączyć układ do pomiaru *charakterystyki statycznej* demodulatora tzn. zależności wartości średniej napięcia  $U_{out}$  na wyjściu demodulatora od amplitudy napięcia  $U_n$  sterującego demodulatorem. Napięcie zmienne o amplitudzie  $U_n$  pobrać z wyjścia „sinus” wkładki SN3112. Pomiaru napięć doko-

nać oscyloskopem cyfrowym (funkcja Measure) lub za pomocą woltomierzy DC/AC. Zmierzyć charakterystyką statyczną w całym zakresie napięcia  $U_n = [0, U_{nmax}]$ .

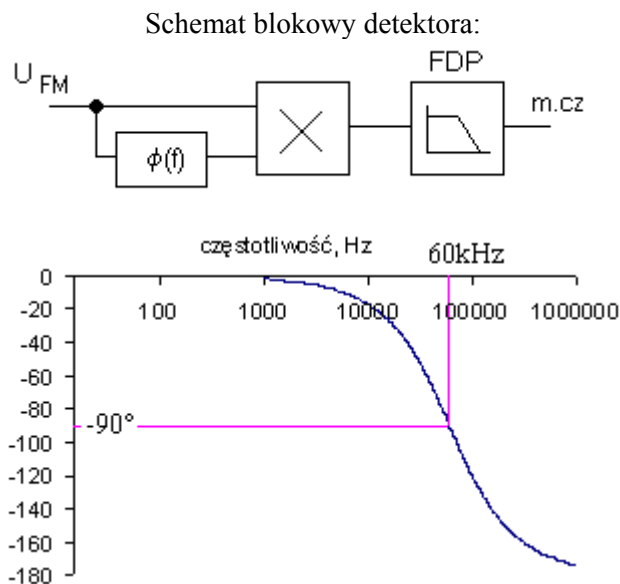


W sprawozdaniu narysować zmierzoną charakterystyką i aproksymować ją gładką funkcją. Zróżniczkować graficznie funkcję aproksymującą i narysować zależność *współczynnika skuteczności modulacji*

$$\gamma = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta U_n}$$

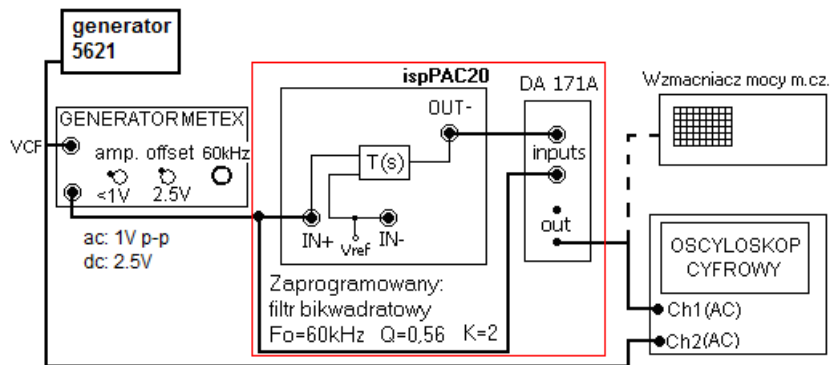
w funkcji napięcia  $U_n$ . Obliczyć i porównać z wartością zmierzoną wartość napięcia na wyjściu demodulatora amplitudowego (wkładka DA091B) przy braku napięcia sterującego.

### 3.4 Kwadraturowy (iloczynowy) detektor FM



Rys. 4. Charakterystyka fazowa filtra  
 Detektor pracuje przy ściśle określonej częstotliwości (pośredniej)  $F_0$ . Dla tej częstotliwości układ przesuwający fazę powinien wprowadzać przesunięcie o kąt  $\phi=90^\circ$ . Rolę tę spełnia sekcja filtrów w układzie ispPAC20. Zaprogramowany filtr analogowy ma parametry:  $F_0 = 60\text{kHz}$ ,  $Q = 0,56$  i wzmacnienie  $K = 2$ .  
**Uwaga:** Sygnał doprowadzony do wejścia układu ispPAC20 musi posiadać składową stałą 2,5V. Należy ustawić odpowiedni "offset" w generatorze sterującym filtr. Amplituda nie może być duża, aby filtr nie uległ przesterowaniu ( $U_{we_{max}} \cong 1V$ ). Napięcie wyjściowe pobierane jest z wyjścia asymetrycznego ( $=\frac{1}{2}U_{wy}$ ), więc wzmacnienie układu (dla małych częstotliwości) wynosi 1.

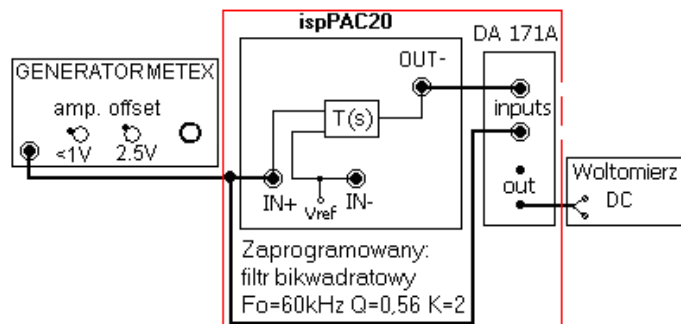
1. Połączyć układ pomiarowy demodulatora FM. Jako źródło sygnału zmodulowanego częstotliwościowo zastosować generator METEX wytwarzający sygnał o częstotliwości  $F_0 = 60\text{ kHz}$  modulowanej sygnałem m.cz. doprowadzonym do wejścia VCF z innego generatora m.cz. np. 5621. Zaobserwować i zarejestrować kształty przebiegów (sin./trój./prost.) na wejściu i wyjściu demodulatora..



2. Zmierzyć transmitancję widmową demodulatora tj. zależność stosunku napięcia zdemodulowanego (Ch1) do modulującego (Ch2) od częstotliwości sygnału modulującego. W pomiarach wykorzystać funkcje pomiarowe oscyloskopu.

3. Sprawdzić działanie demodulatora w przypadku modulacji sygnałem akustycznym. Sygnał pobrać z wyjścia karty dźwiękowej komputera PC. Do wyjścia demodulatora podłączyć wzmacniacz m.cz. (zainstalowany w monitorze komputera) i odsłuchać transmitowany sygnał.

4. Ustalić częstotliwość sygnału modulującego  $f_{\text{mod}} = 100 \text{ Hz}$  i zaobserwować działanie układu przy zmianie wartości częstotliwości pośredniej  $F_0$ . Następnie odłączyć sygnał modulujący i zmierzyć *charakterystykę widmową* demodulatora, tzn. zależność wartości średniego napięcia na wyjściu od częstotliwości  $F_0$ , w zakresie od 4 kHz do 500kHz.

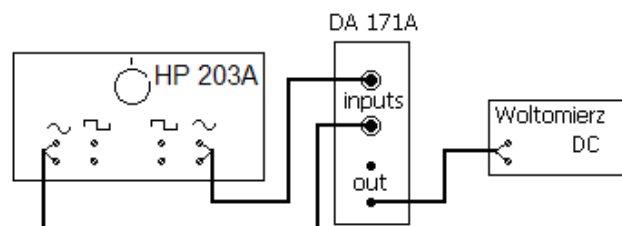


W sprawozdaniu wykreślić zmierzone charakterystyki, określić i zaznaczyć na rysunku maksymalną dewiację, z jaką może pracować demodulator nie wprowadzając zniekształceń sygnału. Wyjaśnić zasadę działania tego typu demodulatora.

## 5. ZAGADNIENIA DODATKOWE

### 5.1 Praca układu mnożącego (DA 171A) jako detektora fazy

Z generatora HP 203A doprowadzić do wejść wkładki DA171A sygnały synchroniczne przesunięte w fazie o kąt  $\phi$ . Zmierzyć zależność  $U_{\text{wy}}(\phi)$  dla dwóch stanów pracy układu mnożącego - gdy tranzystory pracują w zakresie liniowym (tzn.  $U_{\text{we}} < 1\text{V}$ ) oraz gdy pracują jako klucze ( $U_{\text{we}} = 5\text{V}$ ).



W sprawozdaniu narysować obie charakterystyki (na jednym rysunku) i wytłumaczyć różnice – podać równania charakterystyk.