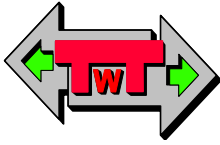
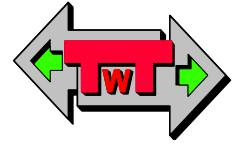


ZESPÓŁ LABORATORIÓW TELEMATYKI TRANSPORTU  
ZAKŁAD TELEKOMUNIKACJI W TRANSPORCIE



WYDZIAŁ TRANSPORTU  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ



LABORATORIUM ELEKTRONIKI

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 9

## WZMACNIACZ MOCY

DO UŻYTKU WEWNĘTRZNEGO

WARSZAWA 2021

## A. Cel ćwiczenia

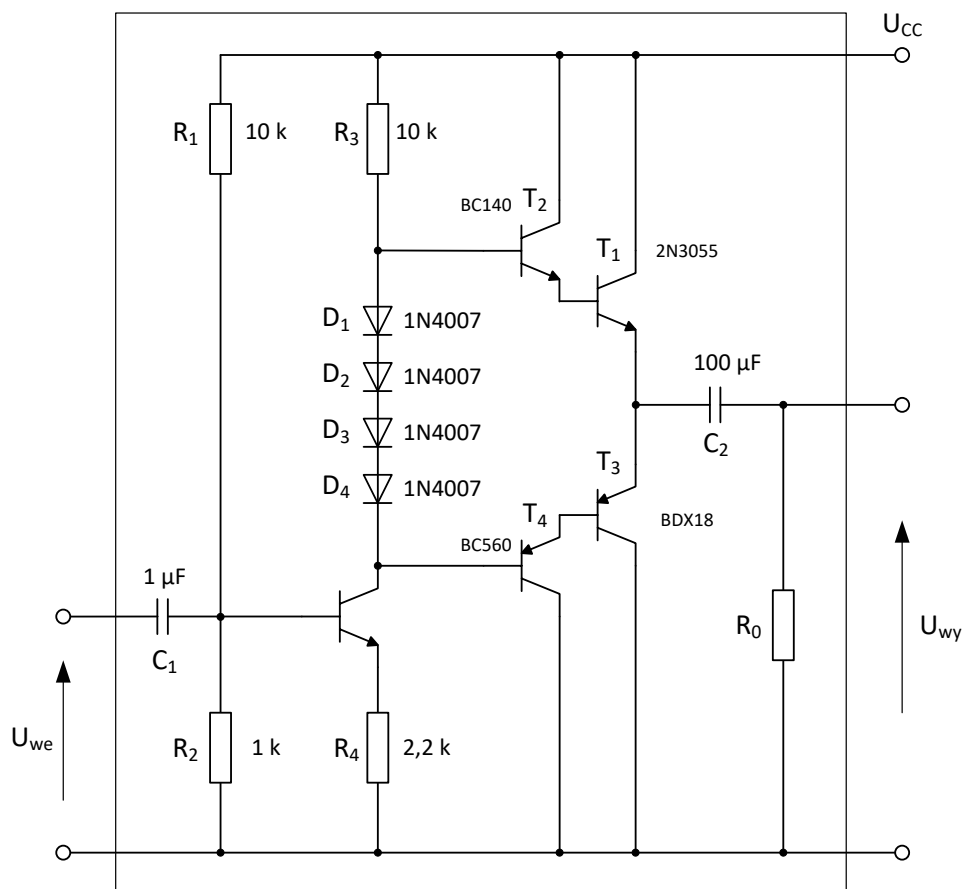
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową, właściwościami podstawowego wzmacniacza mocy klasy AB, jego charakterystykami i parametrami.

## B. Program ćwiczenia

1. Wykreślenie charakterystyki dynamicznej wzmacniacza:  $U_{wy} = f(U_{we})$  przy  $f = 1$  kHz,
2. Określenie wzmocnienia napięciowego  $k_u$ ,
3. Wykreślenie charakterystyki częstotliwościowej (pasmo przenoszenia) wzmacniacza:  $U_{wy} = f(f)$  przy  $U_{we} = \text{const.}$ ,
4. Pomiar zniekształceń nieliniowych w funkcji mocy wydzielanej na obciążeniu:  $h [\%] = f(P_0)$ ,
5. Określenie sprawności wzmacniacza w funkcji mocy wydzielanej na obciążeniu  $\eta = f(P_0)$  dla  $f = 1$  kHz.

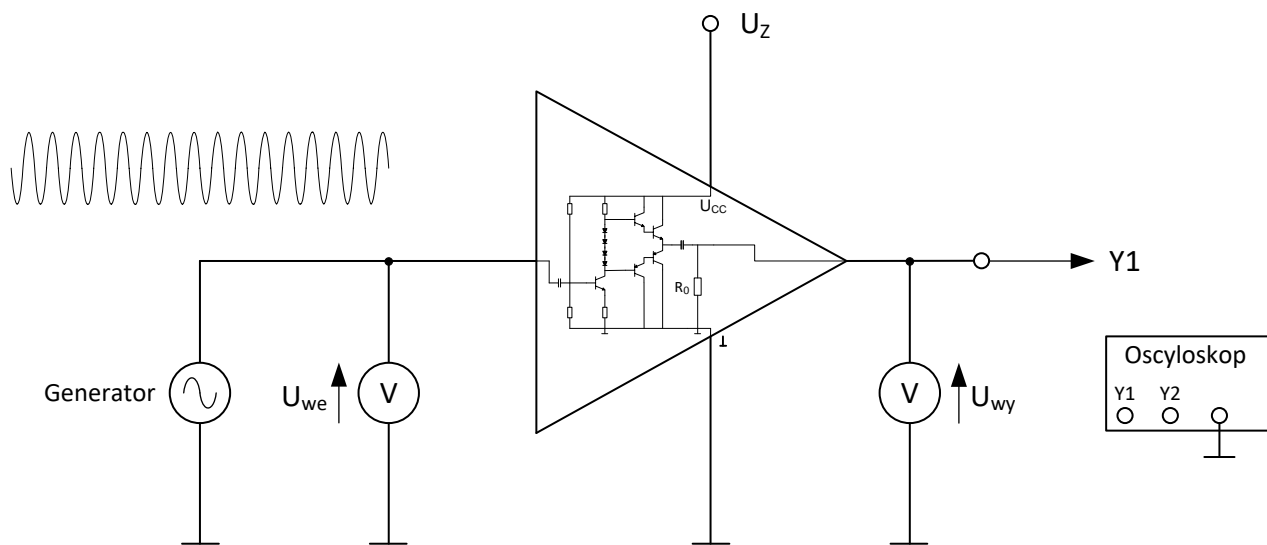
## C. Część pomiarowa rzeczywista

Przedmiotem badań jest układ wzmacniacza mocy klasy AB (rysunek 1).



Rys.1. Schemat ideowy badanego wzmacniacza

# 1. Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$ przy $f = 1 \text{ kHz}$



Rys. 2. Schemat układu do zdejmowania charakterystyki dynamicznej  $U_{wy} = f(U_{we})$  oraz częstotliwościowej  $U_{wy} = f(f)$

Ustaw częstotliwość generatora na  $f = 1000 \text{ Hz}$ , zmieniając wartość napięcia wyjściowego generatora  $U_{wy}$  od zera do takiej wartości, gdy na obciążeniu  $R_0 = 10\Omega$  lub  $4,7\Omega$  przebieg napięcia wyjściowego, obserwowany na oscyloskopie, zaczyna być zniekształcony. Zmieniając napięcie wejściowe  $U_{we}$  pamiętaj, że częstotliwość generatora ma być stała  $f=1\text{kHz}=\text{const}$ . Uzyskane wyniki zanotuj w tabelach 1 oraz 2.

Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$ przy $f = 1000 \text{ Hz} = \text{const.} / R_0 = 10\Omega$															
$U_{we}$	[V]	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
$U_{wy}$	[V]														
$k_U$															

Tab. 1. Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza przy  $R_0 = 10\Omega$

Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$ przy $f = 1000 \text{ Hz} = \text{const.} / R_0 = 4,7\Omega$															
$U_{we}$	[V]	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
$U_{wy}$	[V]														
$k_U$															

Tab. 2. Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza przy  $R_0 = 4,7\Omega$

Przeanalizuj uzyskane wyniki i na ich podstawie wykreśl charakterystykę dynamiczną wzmacniacza:  $U_{wy} = f(U_{we})$  na wspólnym wykresie dla dwóch wartości  $R_0$ .

## 2. Określenie wzmocnienia napięciowego $k_u = f(U_{we})$

Na podstawie pomiarów zapisanych w tabelach 1 oraz 2 (punkt 1), wyznacz wzmocnienie napięciowe wzmacniacza  $k_u$  badanego wzmacniacza przy  $f = 1 \text{ kHz} = \text{const.}$ , zgodnie ze wzorem:

$$k_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$$

Przeanalizuj uzyskane wyniki i na ich podstawie wykreśl charakterystykę:  $k_u = f(U_{we})$  na wspólnym wykresie dla dwóch wartości  $R_0$ .

## 3. Charakterystyka częstotliwościowa (pasma przenoszenia) $U_{wy} = f(f)$ przy $U_{we} = \text{const.}$

Układ do zdjęcia tej charakterystyki przedstawiono na rysunku 2. Napięcie wejściowe generatora ustaw na wartość  $U_{we} = 500 \text{ mV}$ , przy częstotliwości  $f = 1 \text{ kHz}$ . Przy pomocy oscyloskopu sprawdź przebieg sygnału na wyjściu wzmacniacza, a jeśli jest on niezniekształcony przystąp do pomiarów. Zmieniając częstotliwość generatora w granicach podanych w tabelach 3 oraz 4, przy  $U_{we} = 500 \text{ mV} = \text{const.}$ , odczytuj wskazania woltomierza włączonego na wyjście wzmacniacza jednocześnie obserwując przebieg oscyloskopowy na wyjściu wzmacniacza. Uzyskane wyniki pomiarowe zanotuj w tabelach 3 i 4.

Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza $U_{wy} = f(f)$ przy $U_{we} = 500 \text{ mV} = \text{const.}/ R_0 = 10\Omega$															
f	[Hz]	20	30	60	100	200	300	600	1000	2000	3000	6000	10000	20000	30000
$U_{wy}$	[V]														
f	[kHz]	60	100	200	300	400									
$U_{wy}$	[V]														

Tab. 3. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza przy  $R_0 = 10\Omega$

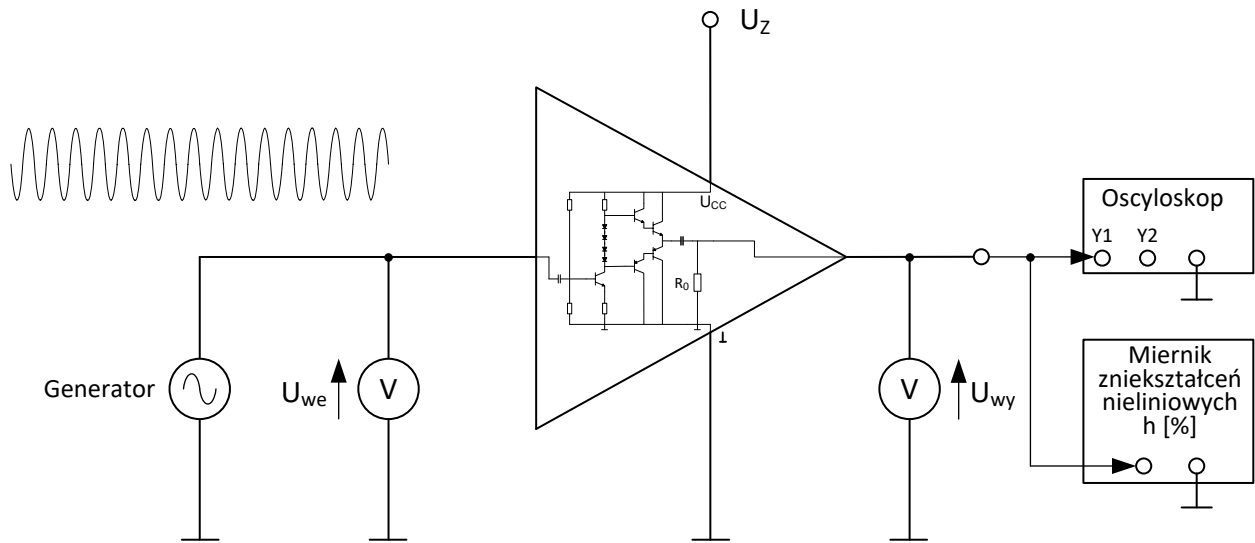
Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza $U_{wy} = f(f)$ przy $U_{we} = 500 \text{ mV} = \text{const.}/ R_0 = 4,7\Omega$															
f	[Hz]	20	30	60	100	200	300	600	1000	2000	3000	6000	10000	20000	30000
$U_{wy}$	[V]														
f	[kHz]	60	100	200	300										
$U_{wy}$	[V]														

Tab. 4. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza przy  $R_0 = 4,7\Omega$

**UWAGA:** Kontroluj przebieg oscyloskopowy napięcia wyjściowego. Przebieg powinien być niezniekształcony.

Przeanalizuj uzyskane wyniki i na ich podstawie wykreśl charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza:  $U_{wy} = f(f)$  przy  $U_{we} = \text{const.}$  na wspólnym wykresie dla dwóch wartości  $R_0$  (skala logarytmiczna). Określ pasmo przenoszenia  $\Delta f = f_g - f_d$ ,  
gdzie:  $f_d$  - dolna częstotliwość graniczna  
 $f_g$  - górna częstotliwość graniczna.

#### 4. Pomiar zniekształceń nieliniowych w funkcji mocy $h[\%] = f(P_0)$



Rys. 3. Schemat układu do zdejmowania charakterystyk  $h = f(P)$  przy  $R_0 = 10\Omega$  oraz  $4,7\Omega$  i częstotliwości  $f = 1 \text{ kHz} = \text{const.}$

Częstotliwość generatora ustaw na  $f = 1 \text{ kHz}$ . Regulując napięcie wejściowe  $U_{we}$  zgodnie z wartościami podanymi w tabelach 5 i 6, odczytaj zniekształcenia wskazywane przez miernik zniekształceń przy każdym  $U_{we}$  oraz oblicz moce  $P_0$  i  $P_z$ . Przy każdym pomiarze kontroluj wskazania oscyloskopu. Pomiarzy wykonaj dla dwóch różnych wartości  $R_0$ ,  $R_0 = 10 \Omega$  oraz  $4,7 \Omega$ . Uzyskane wyniki pomiarowe zanotuj w tabelach 5 i 6.

Charakterystyka zniekształceń nieliniowych $h = f(P)$ przy $f = 1 \text{ kHz} = \text{const.}$ / $R_0 = 10\Omega$										
$U_{we}$	[V]		0,1	0,15	0,3	0,5	0,6	0,7	1	1,3
$U_{wy}$	[V]									
$h$	[%]									
$U_z$	[V]									
$I_z$	[A]									
$P_z$	[W]	$I_z \cdot U_z$								
$P_0$	[W]	$\frac{U_{wy}^2}{R_0}$								

Tab. 5. Charakterystyka zniekształceń nieliniowych przy  $R_0 = 10\Omega$

Charakterystyka zniekształceń nieliniowych $h = f(P)$ przy $f = 1\text{kHz} = \text{const.}/ R_0 = 4,7\Omega$									
$U_{we}$	[V]		0,1	0,15	0,3	0,5	0,6	0,7	1
$U_{wy}$	[V]								
$h$	[%]								
$U_Z$	[V]								
$I_Z$	[A]								
$P_Z$	[W]	$I_Z \cdot U_Z$							
$P_0$	[W]	$\frac{U_{wy}^2}{R_0}$							

Tab. 6. Charakterystyka zniekształceń nieliniowych przy  $R_0 = 4,7\Omega$

Gdzie:  $U_Z$  = napięcie zasilania,  $I_Z$  = prąd zasilania,  $P_Z$  = moc dostarczona z zasilacza,  $P_0$  = moc na obciążeniu,  $R_0$  = rezystancja obciążenia.

Moc wydzieloną na obciążeniu  $R_0 = 10\Omega$  i  $4,7\Omega$  oblicz z zależności  $P_0 = \frac{U_{wy}^2}{R_0}$ .

Moc dostarczaną z zasilacza oblicz odczytując prąd i napięcie z miernika umieszczonego w zasilaczu.

UWAGA: Poproś prowadzącego o zademonstrowanie obsługi miernika zniekształceń.

Przeanalizuj uzyskane wyniki i na ich podstawie wykreśl charakterystykę zniekształceń nieliniowych wzmacniacza:  $h = f(P_0)$  [%] na wspólnym wykresie dla dwóch wartości  $R_0$ .

### 5. Sprawność wzmacniacza w funkcji mocy wydzielanej na obciążeniu $\eta = f(P_0)$ dla $f = 1\text{ kHz}$

$$\eta = \frac{P_0}{P_Z}$$

$\eta = f(P_0)$ przy $f = 1000\text{ Hz} = \text{const.}$ dla $R_0 = 10\Omega$													
$P_Z$	[W]												
$P_0$	[W]												
<input type="checkbox"/>													

Tab. 7. Sprawność wzmacniacza w funkcji mocy przy  $R_0 = 10\Omega$

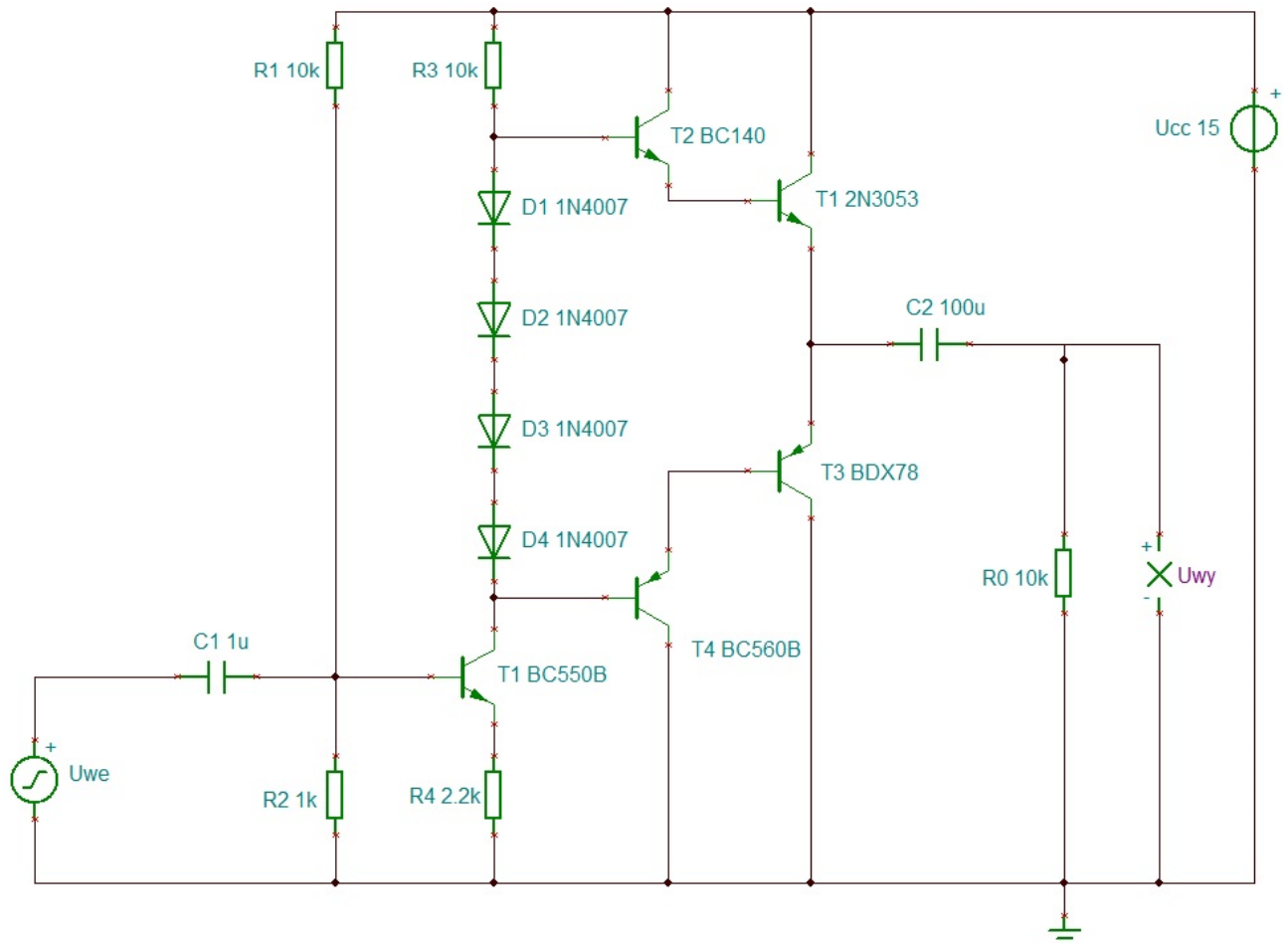
$\eta = f(P_0)$ przy $f = 1000\text{ Hz} = \text{const.}$ dla $R_0 = 4,7\Omega$													
$P_Z$	[W]												
$P_0$	[W]												
<input type="checkbox"/>													

Tab. 8. Sprawność wzmacniacza w funkcji mocy przy  $R_0 = 4,7\Omega$

Przeanalizuj uzyskane wyniki i na ich podstawie wykreśl charakterystykę  $\eta = f(P_0)$  dla  $f = 1\text{ kHz}$  na wspólnym wykresie dla dwóch wartości obciążenia  $R_0$

## D. Część pomiarowa wirtualna

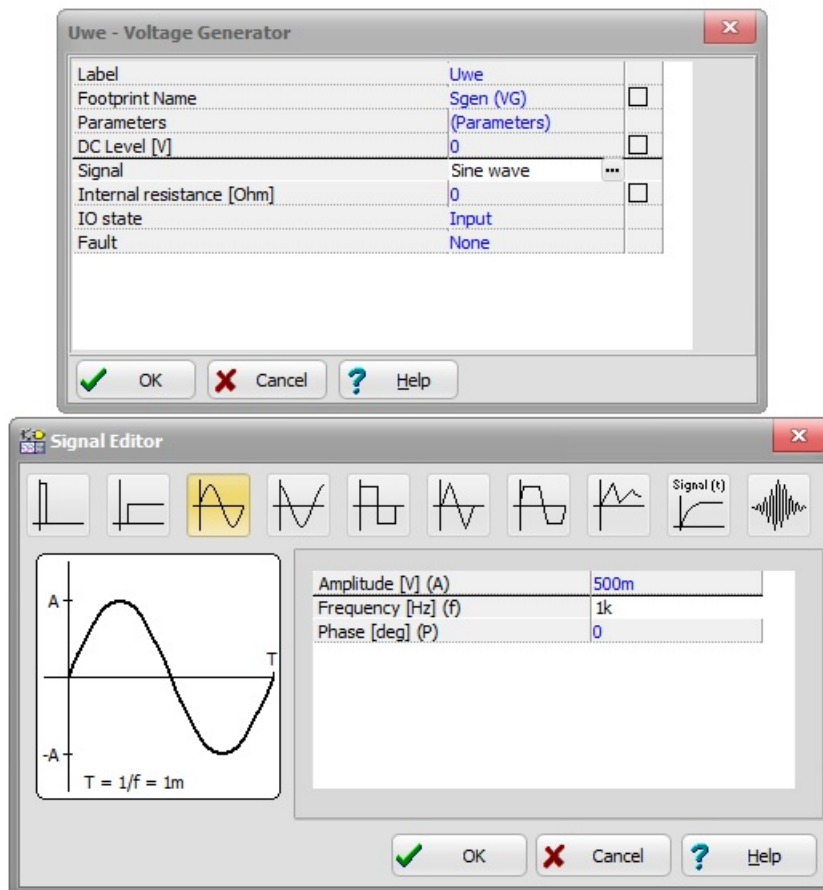
W celu zdjęcia wymaganych charakterystyk badanego wzmacniacza mocy w programie Tina narysuj schemat układu zgodnie z rysunkiem 4.



Rys. 4. Schemat układu do zdejmowania charakterystyk wzmacniacza mocy w programie Tina

### 1. Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$ przy $f = 1 \text{ kHz}$

W celu zdjęcia charakterystyki dynamicznej wzmacniacza skonfiguruj sygnał wejściowy zgodnie z ustawieniami przedstawionymi na rysunku 5, wybierając przebieg sinusoidalny, częstotliwość  $f = 1 \text{ kHz}$  oraz amplitudę  $U = 500 \text{ mV}$ . Zwróć uwagę, iż wartość rezystora  $R_0$  ustawiono na  $10 \Omega$ .



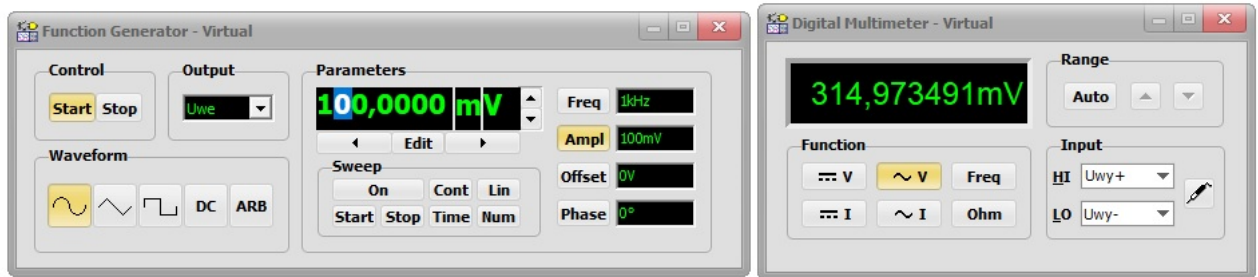
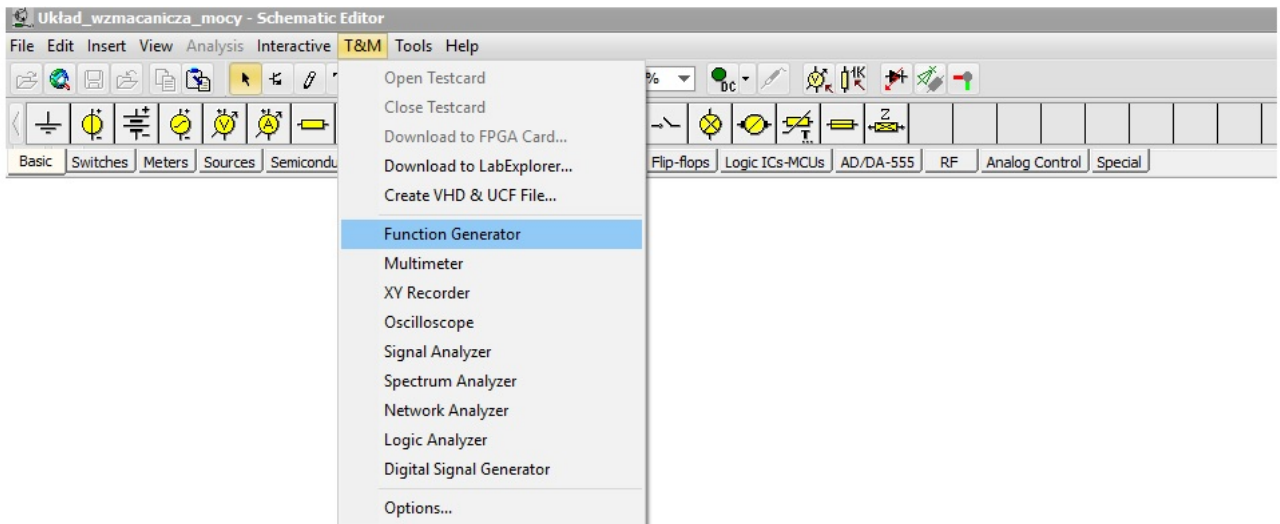
Rys. 5. Parametry napięcia wejściowego  $U_{we}$

Następnie z zakładki T&M wywołaj generator funkcyjny oraz multimetr ('Function Generator' oraz 'Multimeter') tak, jak pokazano na rysunku 6. Zmieniając napięcie wejściowe  $U_{we}$ , zgodnie z wartościami podanymi w tabeli 9, zanotuj wartości napięcia wyjściowego  $U_{wy}$ .

Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$ przy $f = 1000 \text{ Hz} = \text{const.}$ / $R_0 = 10\Omega$															
$U_{we}$	[V]	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
$U_{wy}$	[V]														
$k_U$															

Tab. 9. Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza przy  $R_0 = 10\Omega$  - symulacja





Rys. 6. Wywołanie funkcji 'Function Generator' oraz 'Multimeter' z zakładki T&M w celu pomiaru charakterystyki dynamicznej wzmacniacza

Zmień wartość rezystora  $R_0$  z  $10\Omega$  na  $4,7\Omega$  ( $R_0 = 4,7\Omega$ ). Powtórz opisaną procedurę w celu ponownego zdjęcia charakterystyki dynamicznej badanego wzmacniacza. Uzyskane wyniki pomiarowe zanotuj w tabeli 10.

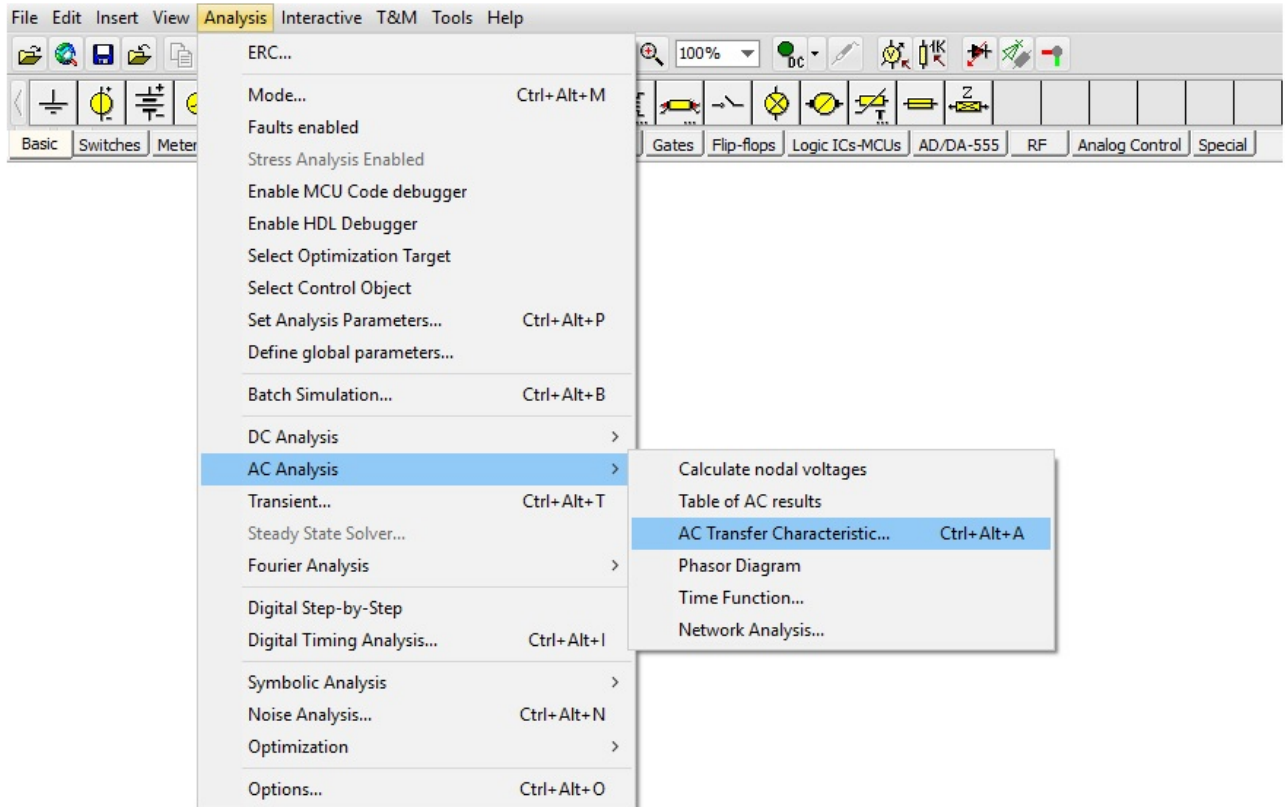
Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza $U_{wy} = f(U_{we})$ przy $f = 1000 \text{ Hz} = \text{const.}$ / $R_0 = 4,7\Omega$															
$U_{we}$	[V]	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
$U_{wy}$	[V]														
$k_U$															

Tab. 10. Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza przy  $R_0 = 4,7\Omega$  - symulacja

Przeanalizuj uzyskane wyniki i na ich podstawie wykreśl charakterystykę dynamiczną wzmacniacza:  $U_{wy} = f(U_{we})$  na wspólnym wykresie dla dwóch wartości  $R_0$ . Porównaj uzyskane przebiegi z przebiegami z pomiarów rzeczywistych.

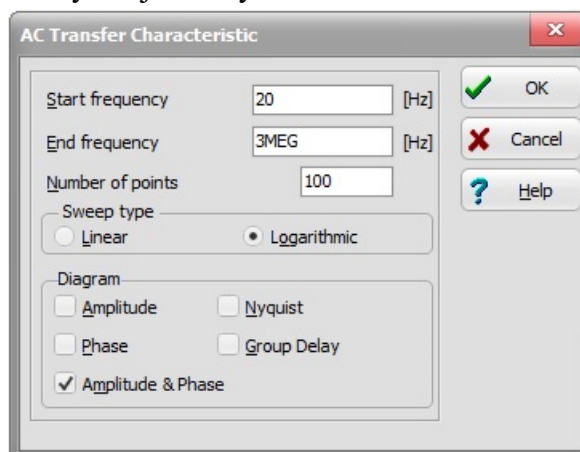
## 2. Charakterystyka częstotliwościowa $G = f(f)$ przy $U_{we} = \text{const}$ .

W celu zdjęcia charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza ustaw wartość napięcia wejściowego  $U_{we} = 500\text{mV} = \text{const}$ . Przeprowadź analizę typu AC Transfer Characteristic, wybierając wspomniany typ analizy z zakładki Analysis (patrz rysunek 7).



Rys. 7. Wybór rodzaju analizy – AC Transfer Characteristic

zaś wymagane dla niej parametry tak jak na rysunku 8.



Rys. 8. Przykładowe parametry analizy DC Transfer Characteristic

Uzyskane wyniki pomiarowe zanotuj w tabelach 11 oraz 12. Z otrzymanych przebiegów odczytaj i zanotuj także wartości górnej i dolnej częstotliwości granicznej ( $f_g$  oraz  $f_d$ ).

Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza $U_{wy} = f(f)$ przy $U_{we} = 500 \text{ mV} = \text{const.}$ / $R_0 = 10\Omega$																
f	[Hz]	20	30	60	100	200	300	600	1000	2000	3000	6000	10000	20000	30000	
G	[dB]															
f	[kHz]	60	100	200	300	400										
G	[dB]															
$f_d$	[Hz]							$f_g$	[kHz]							

Tab. 11. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza przy  $R_0 = 10\Omega$  - symulacja

Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza $U_{wy} = f(f)$ przy $U_{we} = 500 \text{ mV} = \text{const.}$ / $R_0 = 4,7\Omega$																
f	[Hz]	20	30	60	100	200	300	600	1000	2000	3000	6000	10000	20000	30000	
G	[dB]															
f	[kHz]	60	100	200	300											
G	[dB]															
$f_d$	[Hz]							$f_g$	[kHz]							

Tab. 12. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza przy  $R_0 = 4,7\Omega$  - symulacja

Przeanalizuj uzyskane wyniki i na ich podstawie wykreśl charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza:  $G = f(f)$  przy  $U_{we} = \text{const.}$  na wspólnym wykresie dla dwóch wartości  $R_0$  (skala logarytmiczna). Określ pasmo przenoszenia  $\Delta f = f_g - f_d$ ,

gdzie:  $f_d$  - dolna częstotliwość graniczna

$f_g$  - górna częstotliwość graniczna.

Porównaj wyznaczone pasma przenoszenia z pasmami określonymi podczas pomiarów rzeczywistych.

## E. Wyposażenie

Elementy układu:

Tranzystor 2N3055	1szt.
Tranzystor BC140	1szt.
Tranzystor BC560	1szt.
Tranzystor BC550	1szt.
Dioda 1N4007	4szt.
Rezystor 10 k $\Omega$	2szt.
Rezystor 1 k $\Omega$	1szt.
Rezystor 2,2 k $\Omega$	1szt.
Rezystor 10 $\Omega$	1szt.
Rezystor 4,7 $\Omega$	1szt.

Sprzęt pomiarowy:

Cyfrowy miernik uniwersalny	2szt.
Miernik zniekształceń	1szt.
Oscyloskop dwukanałowy	1szt.

Źródła zasilania:	
Zasilacz pojedynczy	1 szt.
Generator funkcyjny	1 szt.
Akcesoria:	
Płyta montażowa	1 szt.
Komplet przewodów	1 szt.
Komputer z oprogramowaniem do symulacji TINA	1 szt.

## F. Zagadnienia do przygotowania

- 1) Klasy wzmacniaczy mocy z interpretacją graficzną.
- 2) Określenie pasma przenoszenia i częstotliwości granicznych.
- 3) Schematy i zasada pracy wzmacniaczy mocy:
  - oporowy klasy A
  - transformatorowy klasy A
  - przeciwobny klasy B
  - z tranzystorami komplementarnymi klasy AB
- 4) Parametry wzmacniaczy mocy.
- 5) Zniekształcenia we wzmacniaczach mocy.
- 6) Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza mocy.

## G. Literatura

1. Dobrowolski A., Jachna Z., Majda E., Wierzbowski M.: Elektronika - ależ to bardzo proste!". Wydawnictwo BTC, 2013
2. Horowitz P., Hill W.: „Sztuka elektroniki. Tom I i II”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2013.
3. Kaźmierkowski M., Matysik J.: „Wprowadzenie do elektroniki i energoelektroniki”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
4. Rosiński A., Dudek E., Krzykowska K., Kasprzyk Z., Stawowy M., Szmigiel A.: Podstawy elektroniki. Laboratorium, 2019, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-7814-991-0, 155 s.
5. Rosiński A., Dudek E., Krzykowska K., Kasprzyk Z., Stawowy M., Szmigiel A.: Elektronika. Laboratorium, 2019, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-7814-992-7, 181 s.
6. Tietze U., Schenk C: „Układy półprzewodnikowe”, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, 2009.
7. Wawrzyński W.: „Podstawy współczesnej elektroniki”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.