



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Laboratorium Inżynierii akustycznej

Wzmacniacze akustyczne

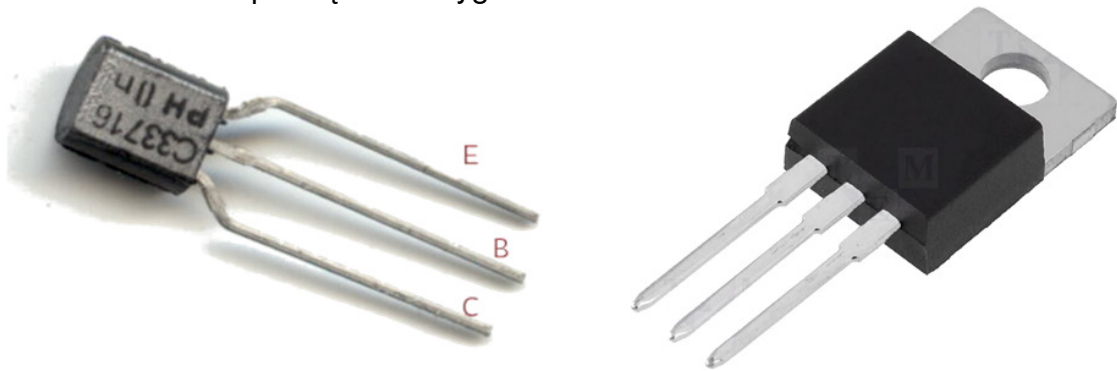
1. Cel laboratorium:

Zapoznanie się z podstawowymi klasami pracy tranzystora, typowymi układami przedwzmacniaczy oraz końcówkami mocy.

2. Wstęp teoretyczny:

Co to jest tranzystor?

Tranzystor (rys 1) jest elementem o trzech końcówkach (elektrodach) i służy do wzmacniania lub przełączania sygnałów.

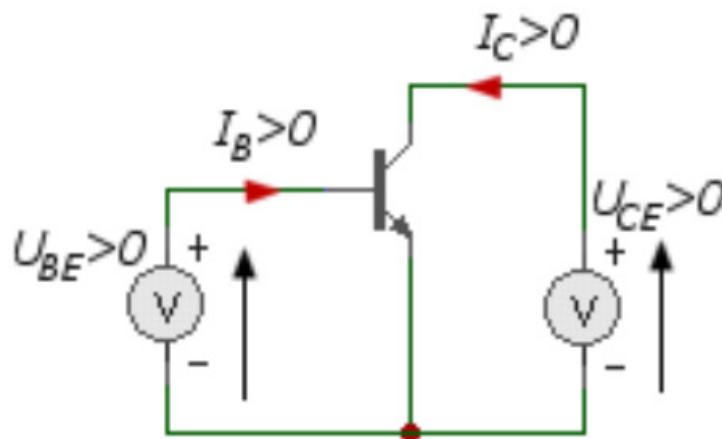


Rys 1. Przykładowy wygląd tranzystora

Polaryzacja tranzystora

Aby tranzystor mógł pracować jako wzmacniacz musi zostać odpowiednio spolaryzowany (Rys 2). Prześledzimy poprawną polaryzację dla tranzystora npn:

- potencjał kolektora musi być wyższy od potencjału emitera (trzeba zasilić tranzystor)
- złącze baza-emiter musi być spolaryzowana w kierunku przewodzenia, a złącze kolektor-baza w kierunku zaporowym (musimy przyłożyć napięcie na bazę tranzystora wyższe od napięcia progowego oraz niższe od napięcia zasilania)

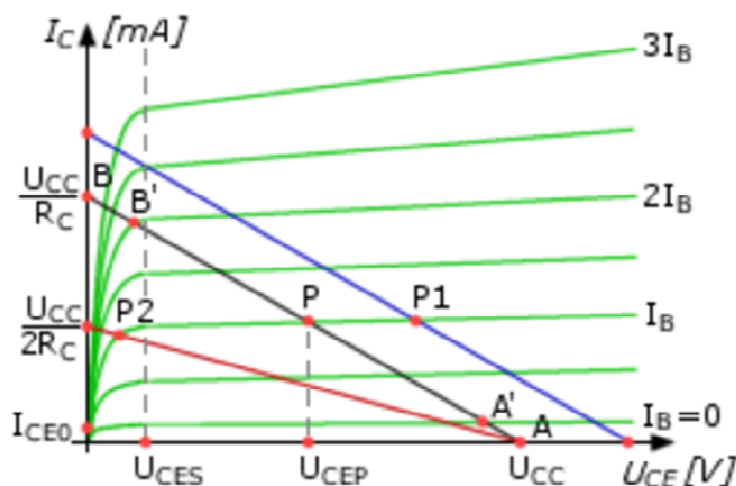


Rys 2. Idea polaryzacji tranzystora npn

Punkt pracy i prosta pracy

Punkt pracy tranzystora jest to punkt na charakterystyce wyjściowej tranzystora, w którym zachodzi jego działanie i w którym mogą zostać określone chwilowe parametry pracy. Parametry te to między innymi U_{ce} (napięcie kolekto-emiter) oraz I_c (prąd kolektora).

Prostą pracy tranzystora nazywamy prostą po której będzie poruszał się punkt pracy tranzystora kiedy na jego wejście zostanie podany sygnał.



<http://www.edk.com.pl/ea/tranzystory/probc.gif>

Rys 3. Charakterystyka wyjściowa tranzystora

Jak ustawić punkt pracy? Przykład obliczeniowy.

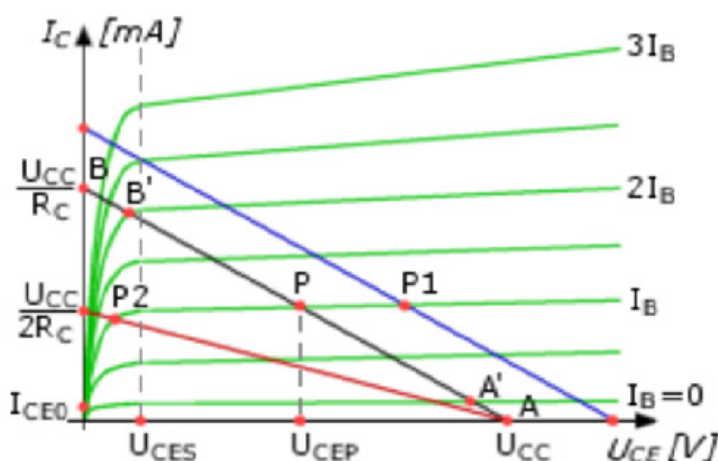
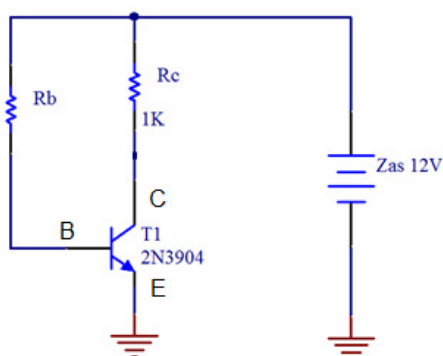
Załóżmy wzmacnienie tranzystora $\beta=100$

Obliczamy $U_{ce} = U_z - U_{ce_sat} = 12V - 0,9V = 11,1V$

Obliczamy maksymalny prąd $U_{ce}/R_C = 11,1V/1k\Omega = 11,1mA$

Ustalmy punkt pracy po środku prostej pracy ($U_{wy} = 5,5V$ oraz $I_c = 5,5mA$)

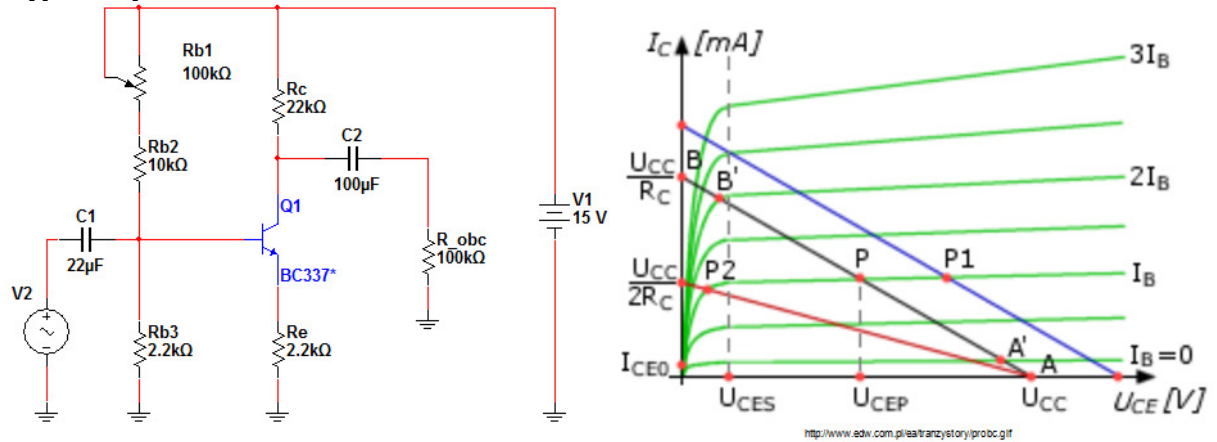
Obliczamy prąd bazy $I_b = I_c / \beta = 55\mu A$ oraz wartość opornika $R_b = (U_z - U_{be}) / I_b = 205,45k\Omega$



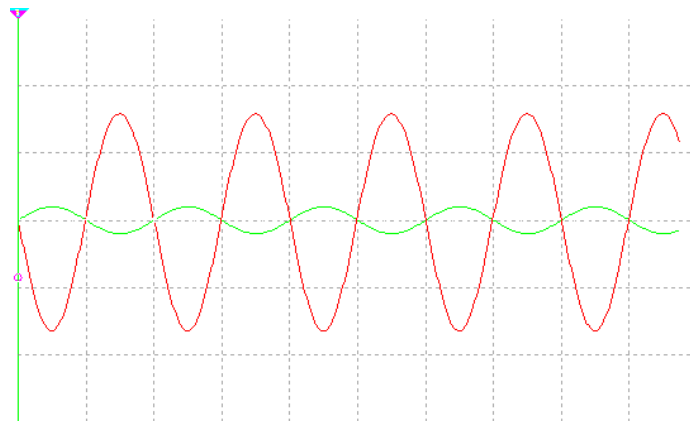
Rys 4. Przykład ustawienia punktu pracy

Punkt pracy a klasa wzmacniacza.

Ustawiając punkt pracy po środku prostej pracy otrzymamy wzmacniacz pracujący w klasie A. Punkt P na rysunku z charakterystykami. Na rysunku szóstym przedstawiono przykładowe przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych wzmacniacza.



Rys 5. Przykładowy schemat wzmacniacza klasy A.



Rys 6. Przebiegi sygnału wejściowego (zielony) i wyjściowego (czerwony) wzmacniacza

Wady i zalety:

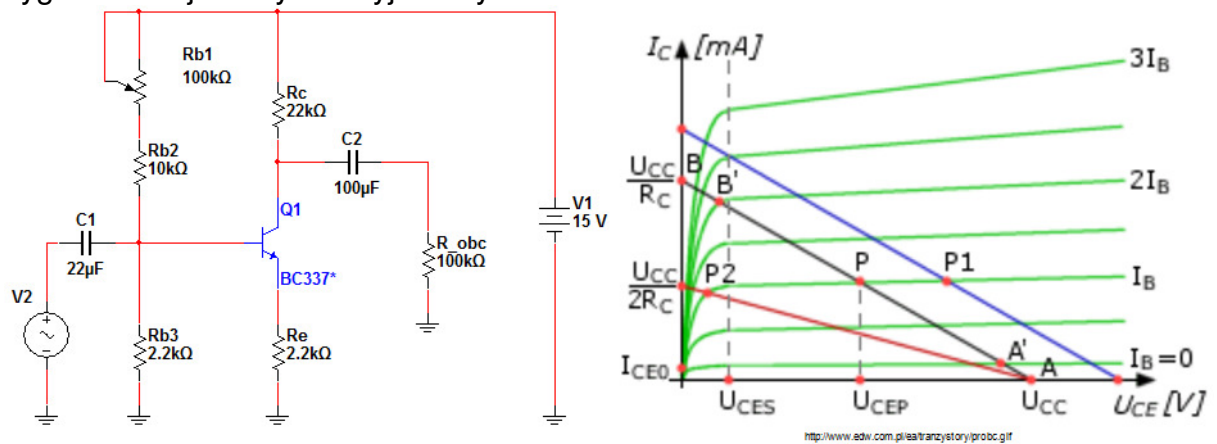
Zalety:

- Brak zniekształceń skrośnych
- Bardzo małe zniekształcenia sygnału
- Niski koszt budowy (dla małych mocy)

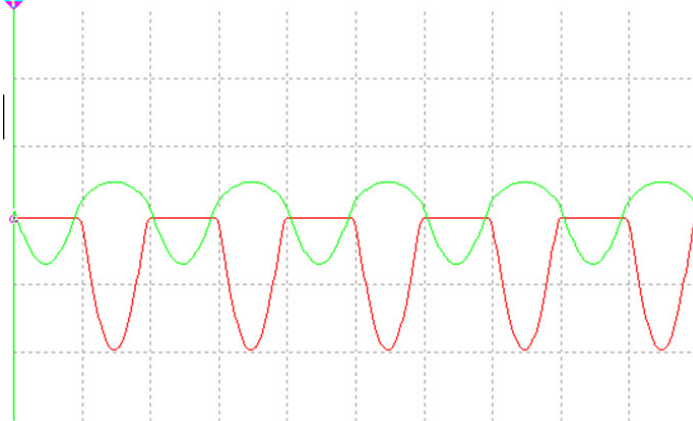
Wady:

- Niska sprawność poniżej 50% (praktycznie około 20%)
- Przy wyższych mocach problem z odprowadzaniem ciepła z tranzystorów
- Konieczność precyzyjnego ustawienia punktu pracy
- Konieczność kompensacji zmian parametrów tranzystora względem temperatury
- Waga, rozmiar i cena wzmacniacza rośnie wykładniczo razem z mocą wyjściową

Ustawiając punkt pracy tranzystora tak aby prądu w stanie spoczynku był minimalny (I_{CE0}) otrzymamy wzmacniacz pracujący w klasie B. Punkt A' na rysunku z charakterystykami. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych wzmacniacza.



Rys. 7 Przykładowy schemat wzmacniacza klasy B.



Rys 8. Przebiegi sygnału wejściowego (zielony) i wyjściowego (czerwony) wzmacniacza

Wady i zalety:

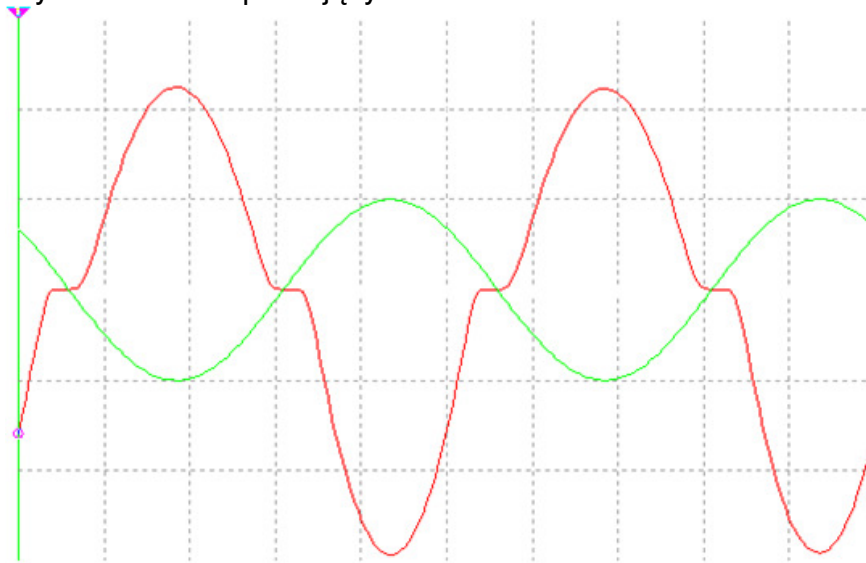
Zalety:

- Wysoka sprawność (teoretycznie 78,5%)
- Bardzo niski prąd spoczynkowy, w stanie jałowym wzmacniacz praktycznie nie pobiera prądu.

Wady:

- Olbrzymie zniekształcenia sygnału
- Wzmacniana jest tylko jedna połówka sygnału, druga jest obcinana

Dodając drugi tranzystor pracujący z przeciwną połówką sygnału do układu klasy B otrzymamy wzmacniacz pracujący w klasie 2B.



Rys 9. Przebiegi sygnału wejściowego (zielony) i wyjściowego (czerwony) wzmacniacza

Wady i zalety:

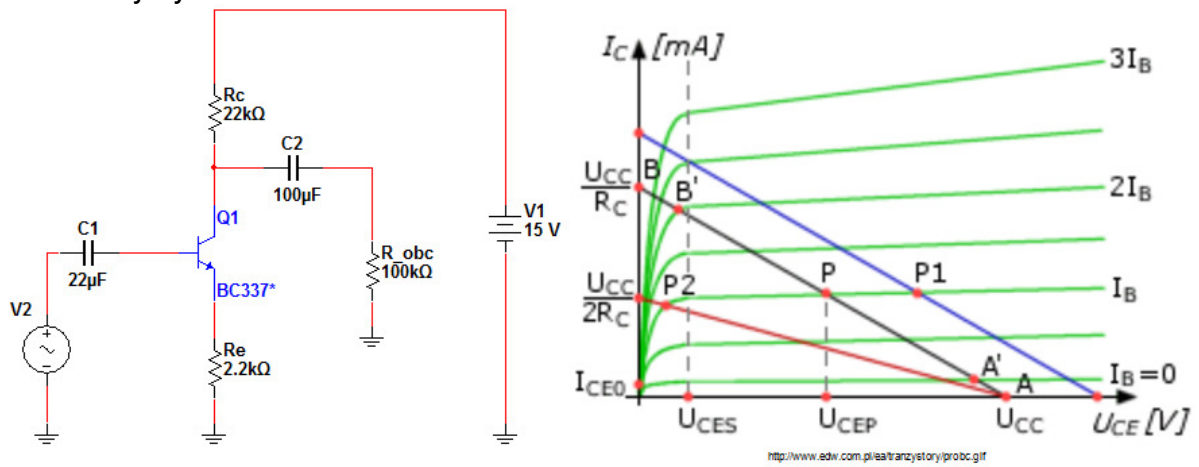
Zalety:

- Wysoka sprawność (teoretycznie 78,5%)
- Bardzo niski prąd spoczynkowy, w stanie jałowym wzmacniacz praktycznie nie pobiera prądu.

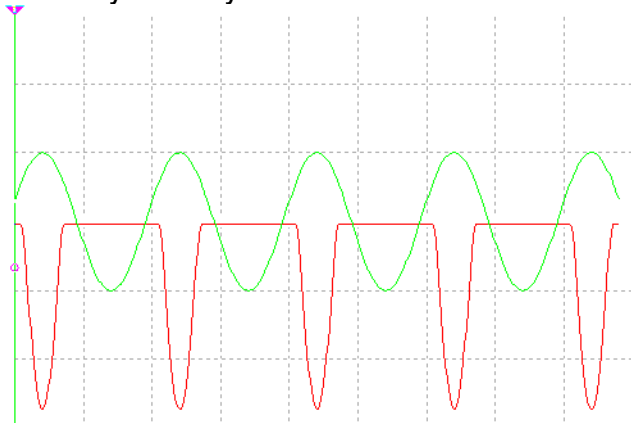
Wady:

- Zniekształcenia skrośne
- „Metaliczne” brzmienie takiego wzmacniacza

Ustawiając punkt pracy tranzystora tak aby nie przewodził prądu w stanie spoczynku otrzymamy wzmacniacz pracujący w klasie C. Punkt A na rysunku z charakterystykami.



Rys. 10 Przykładowy schemat wzmacniacza klasy C.



Rys 11. Przebiegi sygnału wejściowego (zielony) i wyjściowego (czerwony) wzmacniacza

Wady i zalety:

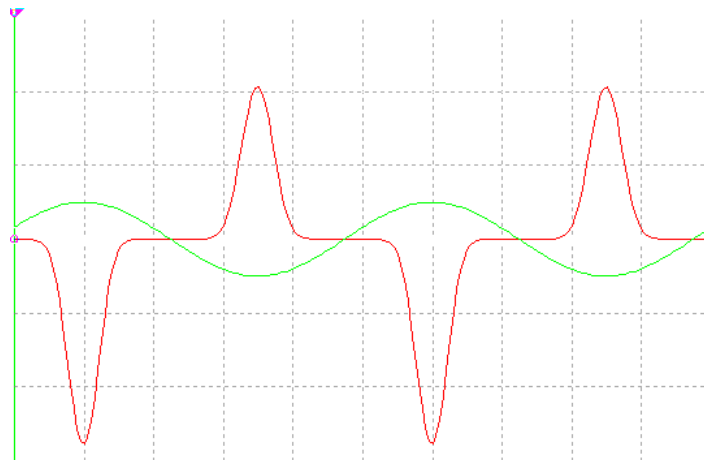
Zalety:

- Wysoka sprawność
- Brak prądu spoczynkowego, w stanie jałowym wzmacniacz nie pobiera prądu.

Wady:

- Olbrzymie zniekształcenia sygnału, większe niż w klasie B

Dodając drugi tranzystor pracujący z przeciwną połówką sygnału do układu klasy C otrzymamy wzmacniacz pracujący w klasie 2C.



Rys 12. Przebiegi sygnału wejściowego (zielony) i wyjściowego (czerwony) wzmacniacza

Wady i zalety:

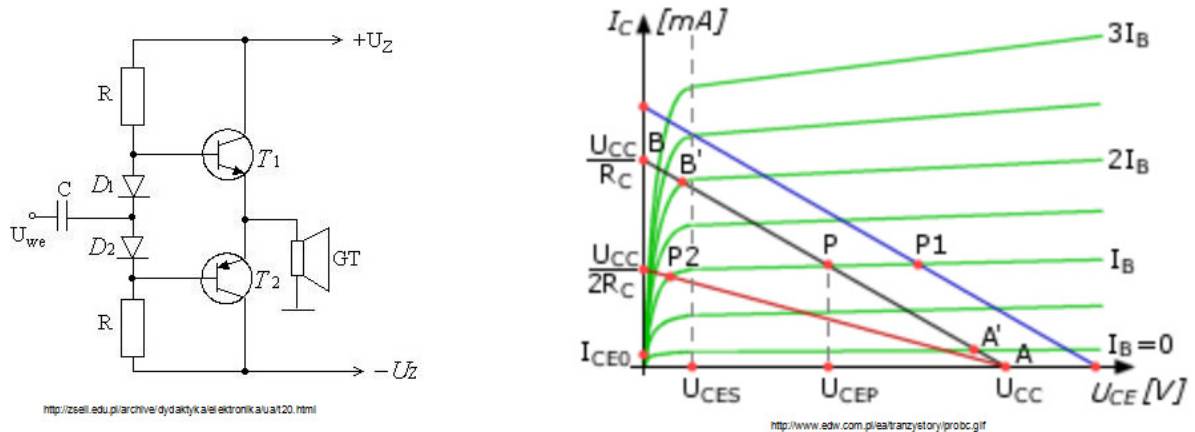
Zalety:

- Wysoka sprawność
- Brak prądu spoczynkowego, w stanie jałowym wzmacniacz nie pobiera prądu.

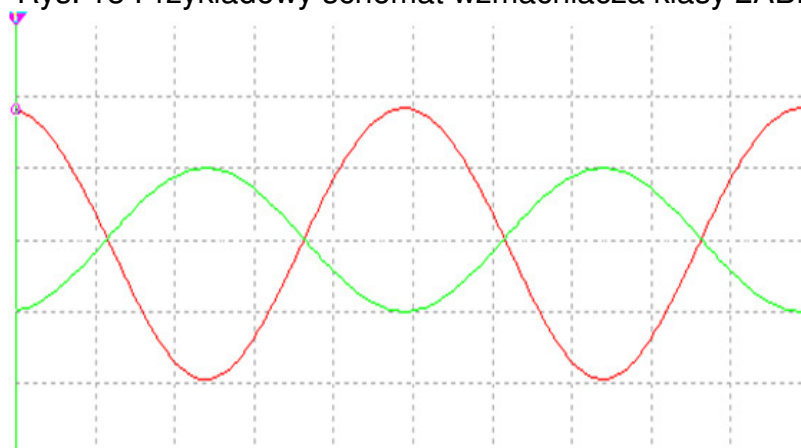
Wady:

- Zniekształcenia skrośne większe niż w klasie 2B

Ustawiając polaryzację tranzystorów w układzie 2B tak aby w stanie spoczynku płynął przez nie niewielki prąd otrzymamy klasę 2AB. Punkt powyżej A' ale poniżej punktu P na rysunku.



Rys. 13 Przykładowy schemat wzmacniacza klasy 2AB.



Rys 14. Przebiegi sygnału wejściowego (zielony) i wyjściowego (czerwony) wzmacniacza

Wady i zalety:

Zalety:

- Duża sprawność (teoretycznie około 78,5%)
- Niski prąd spoczynkowy
- Bardzo niskie zniekształcenia sygnału

Wady:

- Wymaga precyzyjnego ustawienia punktów pracy tak aby prąd spoczynkowy tranzystorów był możliwie identyczny

Przydatne pojęcia:

Przedwzmacniacz (*preamp*)

Przedwzmacniacz jest jednym z pierwszych elementów toru audio. Jest to elektroniczny wzmacniacz który przygotowuje najczęściej sygnał o niskiej amplitudzie do przyszłego procesu wzmacniania lub przetwarzania. Służy również dopasowaniu impedancji do źródła sygnału wejściowego. W zastosowaniach audio, przedwzmacniacz często występuje w jednej obudowie z układami miksującymi, korektorem oraz wzmacniaczem mocy.

Mikser

Urządzenie którego głównym zadaniem jest łączenie kilku źródeł sygnału audio do jednego wyjścia, oraz dopasowanie głośności każdego z wejść.

Korektor (*equalizer*)

Jest to zespół filtrów które służą do podbijania lub tłumienia określonego zakresu częstotliwości, zmieniając tym samym barwę dźwięku. W prostych zestawach jest to najczęściej regulacja niskich i wysokich częstotliwości.

Wzmacniacz mocy

Jest to wzmacniacz który doprowadza do obciążenia (głośnika) dużą moc wyjściową. Potocznie wzmacniaczem mocy określa się cały tor audio, przedwzmacniacz, korektor i stopień końcowy.

3. Ćwiczenie „Klasy C, B, A”

W tym punkcie zapoznasz się z klasami pracy tranzystora oraz z prostym układem przedwzmacniacza.

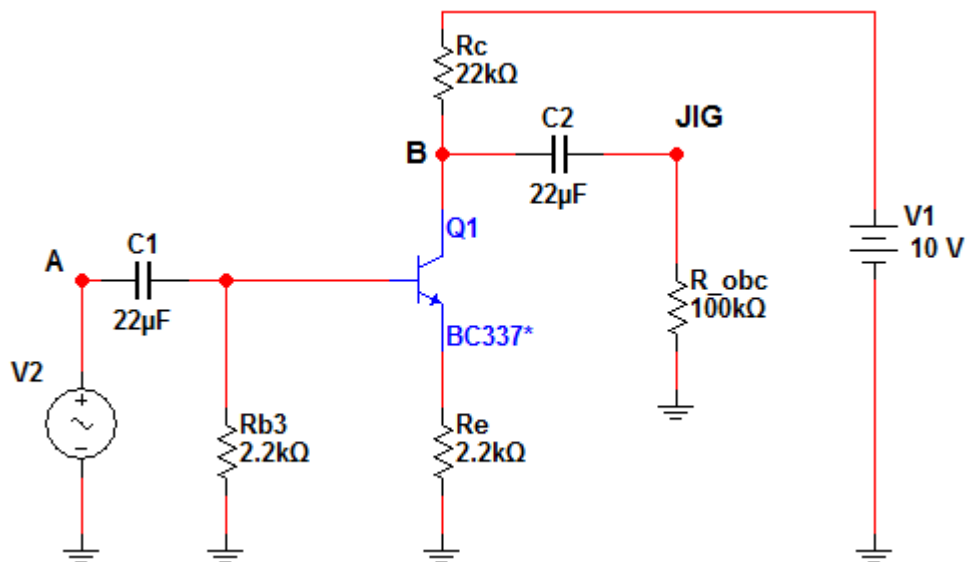
Dla prawidłowego wykonania ćwiczenia wymagana jest podstawowa wiedza obwodów elektrycznych oraz przyrządów półprzewodnikowych.

Do wykonania ćwiczenia będą potrzebne:

- komputer PC
- oscyloskop
- zasilacz laboratoryjny
- zestaw multimetr i sondy oscyloskopowe
- tranzystor NPN BC547 lub BC639
- Rezystory $20\text{k}\Omega$, $2 \times 2.2\text{k}\Omega$, $22\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$
- kondensator $2 \times 22\mu\text{F}$
- potencjometr $100\text{ k}\Omega$
- zestaw płytka stykowa
- JIG (wzmacniacz pomiarowy)
- głośnik lub słuchawki

- Pobrać elementy niezbędne do wykonania ćwiczenia.
- Wykorzystując płytkę stykową połączyć układ zgodnie ze schematem.

Jako generator sygnału będzie używany komputer PC. Do gniazda wyjściowego komputera (zielone gniazdo Jack na przednim panelu obudowy) należy podpiąć przewód Jack-jack a do płytki stykowej jako wejście gniazdo Jack. Oznaczenia wyprowadzeń tranzystora należy odczytać z dokumentacji dostępnej w internecie.



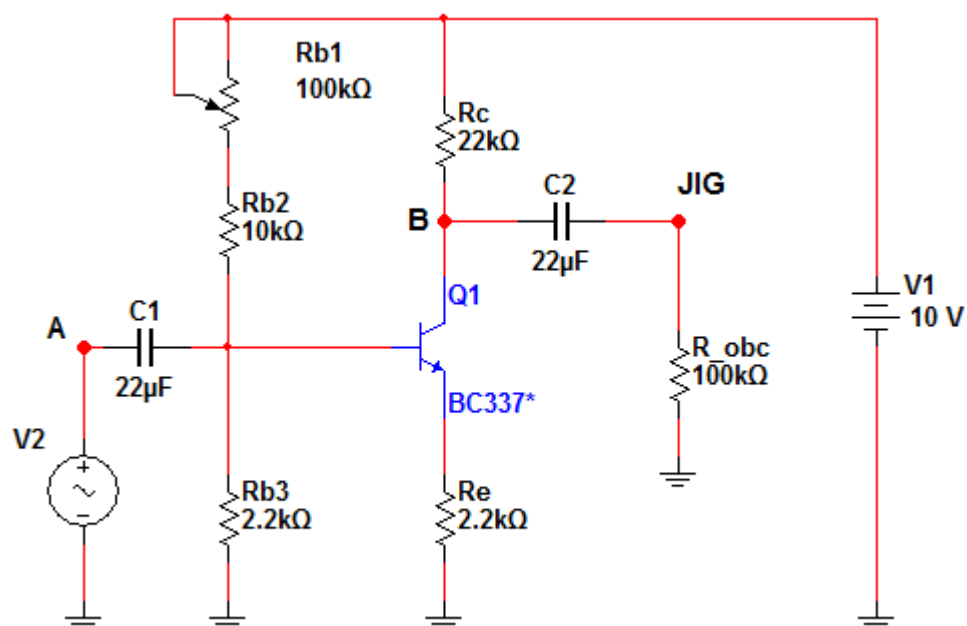
- Na wejście układu podłączyć wyjście audio z komputera PC. W programie audacity (skrót znajduje się na pulpicie) wygenerować przebieg sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. (menu „Generuj” a następnie „Ton...”).
Wyjście audio ściszyć maksymalnie (kliknąć lewym klawiszem myszy na ikonę głośnika obok zegarka w pasku start, a następnie przesunąć suwak do końca w dół).
- Podłączyć pierwszy kanał oscyloskopu do wejścia układu (pomiar napięcia wejściowego, punkt A) oraz drugi kanał oscyloskopu do wyjścia wzmacniacza (napięcie na rezystorze obciążenia, punkt oznaczony jako JIG).
- Włączyć program do obsługi oscyloskopu (skrót znajduje się na pulpicie). Ustawić podziałkę czasową w oscyloskopie na 400 us oraz podziałkę napięciową na 500 mV/dz (kanał wejściowy) i 500 mV/dz (kanał wyjściowy).

- f. Zasilić układ z zasilacza laboratoryjnego napięciem 10V, łącząc szeregowo napięcia 2x5V. Należy do tego wykorzystać górne wyjście zasilania 5V oraz regulowane ustawione na 5V. Sposób podłączenia przedstawiono na poniższym rysunku:



- g. Włączyć odtwarzanie wygenerowanego tonu wciskając przycisk odtwarzaj wraz z przytrzymaniem klawisza Shift na klawiaturze. Zapętli to odtwarzanie wygenerowanego tonu. Regulując wartość napięcia wyjściowego za pomocą suwaka głośności zaobserwować przy jakiej wartości napięcia wejściowego (pkt. A) na wyjściu wzmacniacza pojawi się sygnał. Dlaczego wzmacniacz nie wzmacnia sygnałów poniżej tego napięcia? Zapisać oscylogramy. W jakiej klasie pracuje stopień końcowy?
- h. Do punktu oznaczonego JIG podłączyć gniazdo Jack (równoległe z rezystorem obciążenia). Następnie przewodem Jack-jack podłączyć JIG-a do wyjścia układu a do JIG-a podłączyć słuchawki. Wejście i wyjście znajdują się na tylnej ścianie urządzenia. Dokonać odsłuchu ulubionej piosenki. Spostrzeżenia zawrzeć we wnioskach.

- i. Odłączyć od układu generator oraz JIG-a, zmodyfikować układ zgodnie ze schematem:



- j. Regulując potencjometrem ustawić wartość napięcia w punkcie B około 8 V (użyć multimetru podłączonego pomiędzy punkt B i masę układu). Ustawić amplitudę napięcia wejściowego 0V (ściszyć wyjście audio z komputera), a następnie podłączyć generator do wejścia. Włączyć odtwarzanie tonu 1kHz w pętli.
- k. Regulując amplitudę napięcia wejściowego (głośność) zaobserwować przy jakim napięciu wejściowym na wyjściu wzmacniacza pojawi się sygnał. Dlaczego to napięcie różni się od napięcia zmierzonego wcześniej? Zapisać oscylogramy.
- l. Zwiększając napięcie wejściowe, obserwować przebieg wyjściowy. Zanotować maksymalną amplitudę napięcia przy której sinusoida jest nie obcięta oraz oscylogram. W jakiej klasie pracuje stopień końcowy?
- m. Dokonać odsłuchu tak jak w podpunkcie „h”. Zanotować spostrzeżenia.
- n. Ponownie odłączyć generator oraz JIG-a, regulując potencjometrem ustawić napięcie w punkcie B około 5V.
- o. Zmniejszyć amplitudę napięcia wyjściowego do 0V. Podłączyć ponownie generator.
- p. Regulując wartość napięcia wejściowego (głośność) zaobserwować przy jakim napięciu wejściowym na wyjściu wzmacniacza pojawi się sygnał. Dlaczego to napięcie jest takie samo jak we wcześniejszym układzie z potencjometrem? Zapisać oscylogramy.

- q. Zwiększając napięcie wejściowe, obserwować przebieg wyjściowy. Zanotować maksymalną amplitudę napięcia wyjściowego przy której sinusoida jest nie obcięta oraz oscylogram. Dlaczego to napięcie różni się od napięcia zmierzonego dla poprzedniego ustawienia potencjometru? W jakiej klasie pracuje stopień końcowy?
- r. Odpowiedzi na pytania, wnioski oraz odpowiednie oscylogramy należy zamieścić w sprawozdaniu.

4. Klasy 2C, 2B, 2AB

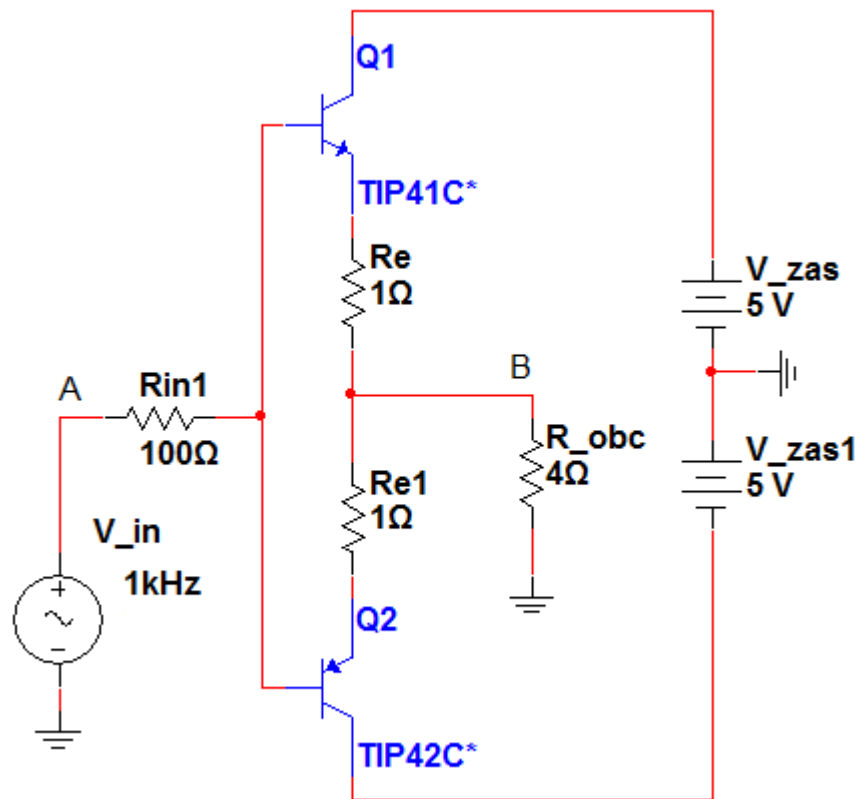
W tym punkcie zapoznasz się z końcówkami mocy zbudowanymi w oparciu o parę tranzystorów wyjściowych.

Dla prawidłowego wykonania ćwiczenia wymagana jest podstawowa wiedza obwodów elektrycznych oraz przyrządów półprzewodnikowych.

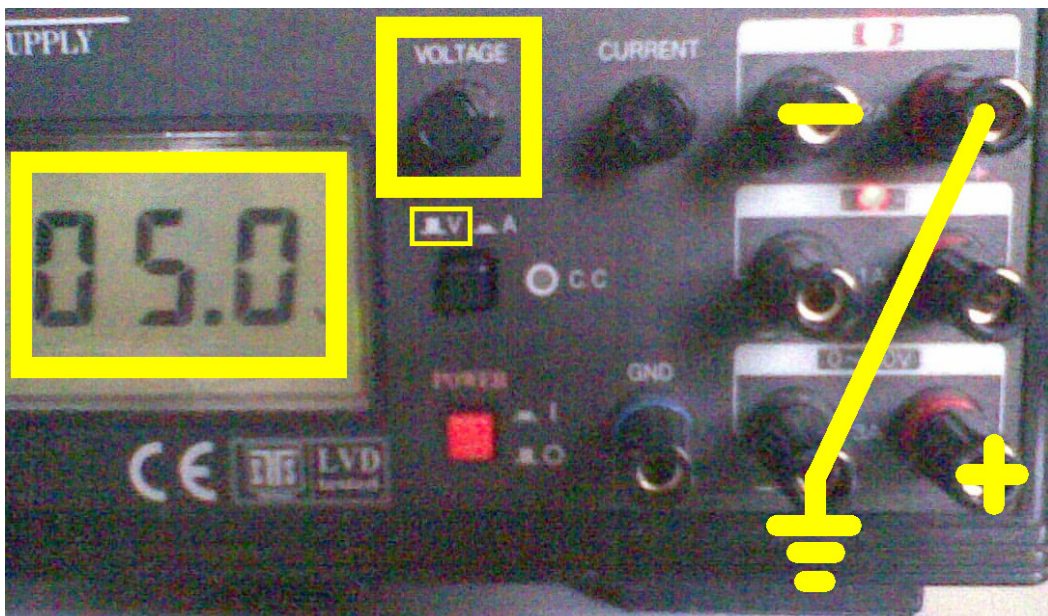
Do wykonania ćwiczenia będą potrzebne:

- komputer PC
- oscyloskop
- zasilacz laboratoryjny
- zestaw multimetr i sondy oscyloskopowe
- zestaw płytka stykowa
- tranzystor NPN BD651 oraz tranzystor PNP BD652
- 2x rezystor 1Ω 5W, 1x 4Ω 5W lub 1x 5Ω 5W
- 4x rezystor $1k\Omega$, 1x 100Ω , 1x 500Ω , 1x $22k\Omega$, 1x $10k\Omega$, 2x $2.2k\Omega$
- 2x rezystor $2k\Omega$, 2x 5Ω
- potencjometr 1x $100k\Omega$
- kondensator 1x $22\mu F$, 1x $220\mu F$
- 2x dioda prostownicza 1n4007

a. Połącz układ jak na schemacie:

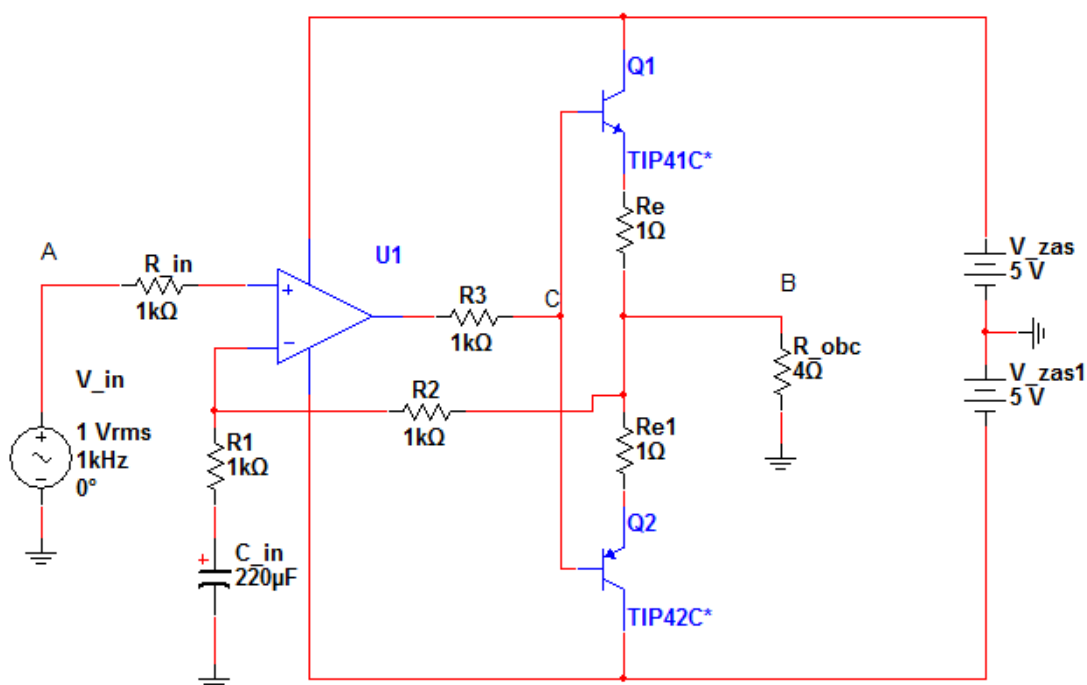


b. Układ należy zasilić napięciem symetrycznym $\pm 5V$. Należy pamiętać o podłączeniu masy. Sposób podłączenia przedstawia poniższy rysunek:



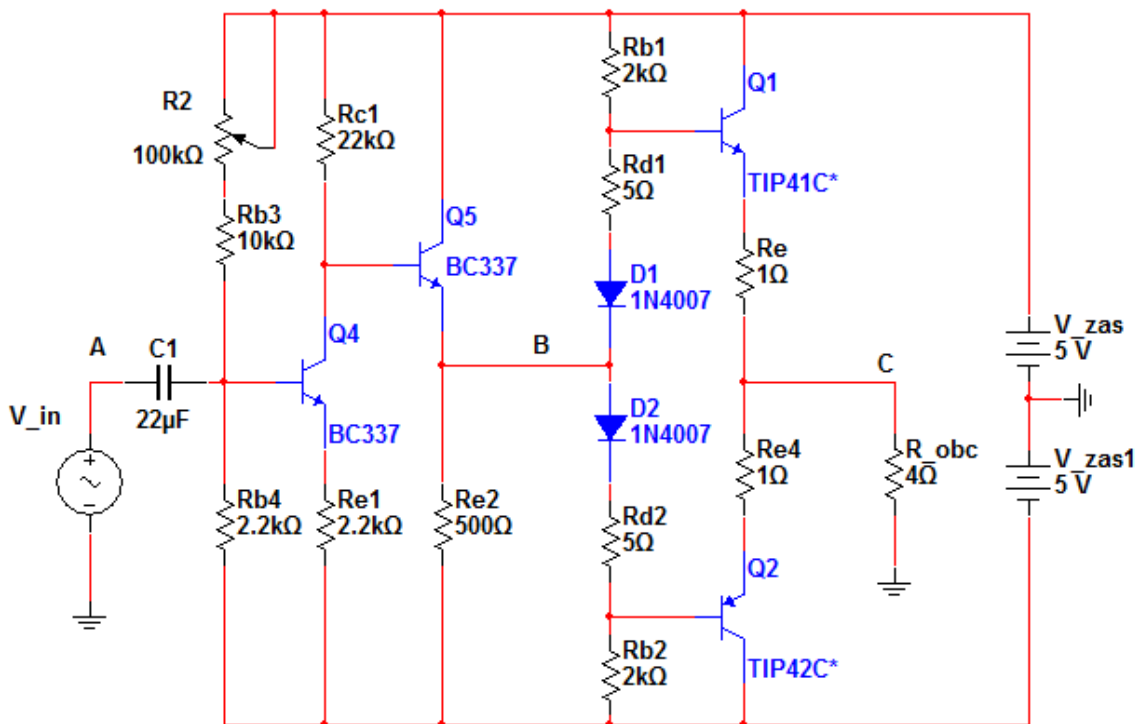
c. Na wejście układu należy podłączyć wyjście z komputera PC, ustawienia tonu jak w poprzednich ćwiczeniach, oraz oscyloskop kanał pierwszy do punktu A, kanał drugi do punktu B.

- d. Regulując amplitudę napięcia wejściowego (głośność) zaobserwować przy jakim napięciu wejściowym na wyjściu wzmacniacza pojawi się sygnał. Dlaczego wzmacniacz nie wzmacnia sygnałów poniżej tego napięcia? Dlaczego na przebiegach pojawiają się uskoki? Jak one się nazywają? Zapisać oscylogramy. W jakiej klasie pracuje stopień końcowy?
- e. Zwiększając napięcie wejściowe, obserwować przebieg wyjściowy. Zapisać oscylogram. Zastanowić się dlaczego połówki sinusoidy wyjściowej są niesymetryczne.
- f. Ściszyć maksymalnie wyjście audio z komputera. Podłączyć na wyjście układu słuchawki, równolegle do R_{obc} . (używając gniazda Jack) Dokonać odsłuchu ulubionej piosenki. Zanotować spostrzeżenia. Odłączyć słuchawki.
- g. Podłączyć układ zgodnie ze schematem:



- h. Układ należy zasilić napięciem symetrycznym $\pm 5V$. Należy pamiętać o podłączeniu masy. Na wejście układu należy podłączyć generator ustawiony jak w poprzednim ćwiczeniu, oraz oscyloskop.
- i. Regulując amplitudę napięcia wejściowego zaobserwować przy jakim napięciu wejściowym na wyjściu wzmacniacza pojawi się sygnał. Dlaczego to napięcie różni się od napięcia zmierzonego wcześniej? Zapisać oscylogramy. W jakiej klasie pracuje stopień końcowy?
- j. Podłączyć drugi kanał oscyloskopu w punkcie „C” za opornikiem R_3 . W razie potrzeby zmienić ustawienia podstawy czasu oraz ustawienia podziałki napięcia. Zweryfikować wnioski odnośnie klasy pracy. Zapisać oscylogram.

- k. Ściszyć maksymalnie wyjście audio z komputera. Podłączyć na wyjście układu słuchawki, równolegle do R_{obc} . (używając gniazda Jack) Dokonać odsłuchu ulubionej piosenki. Zanotować spostrzeżenia. Odłączyć słuchawki.
- l. Połączyć układ zgodnie ze schematem:



- m. Nie podłączać sygnału z generatora. Podłączyć zasilanie układu. Multimetrem lub oscyloskopem zmierzyć napięcie na rezystorze obciążenia.
- n. Regulować potencjometrem R2 tak aby uzyskać wartość napięcia jak najbliższą napięciu 0V na rezystorze obciążenia.
- o. Zmniejszyć do zera wartość napięcia wyjściowego z komputera PC. Podłączyć wyjście komputera ustawione jak w poprzednich ćwiczeniach oraz oscyloskop.
- p. Regulując amplitudę napięcia wejściowego zaobserwować przy jakim napięciu wejściowym na wyjściu wzmacniacza pojawi się sygnał. Dlaczego to napięcie jest zbliżone do tego napięcia co w poprzednim punkcie mimo braku wzmacniacza operacyjnego? Zapisać oscylogramy. W jakiej klasie pracuje stopień końcowy?
- q. Ściszyć maksymalnie wyjście audio z komputera. Podłączyć na wyjście układu słuchawki, równolegle do R_{obc} . (używając gniazda Jack) Dokonać odsłuchu ulubionej piosenki. Zanotować spostrzeżenia. Odłączyć słuchawki.

Do zamieszczenia w sprawozdaniu:
Odpowiedzi na pytania zawarte w ćwiczeniu wraz z oscylogramami, własnymi przemyśleniami i spostrzeżeniami.

Bibliografia i przydatne linki:

http://estradowiec.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=145

http://sklep.avt.pl/photo/_pdf/AVT2464.pdf

<http://www.firstwatt.com/articles.html>

<http://www.edw.com.pl/ea/bipolarne.html>

http://pl.wikipedia.org/wiki/Punkt_pracy

http://wazniak.mimuw.edu.pl/index.php?title=Laboratorium_wirtualne_2/Modu%C5%82_2_-_%C4%87wiczenie_2

„Elektronika dla wszystkich” 11/96

„Praktyczny elektronik” 1/2001