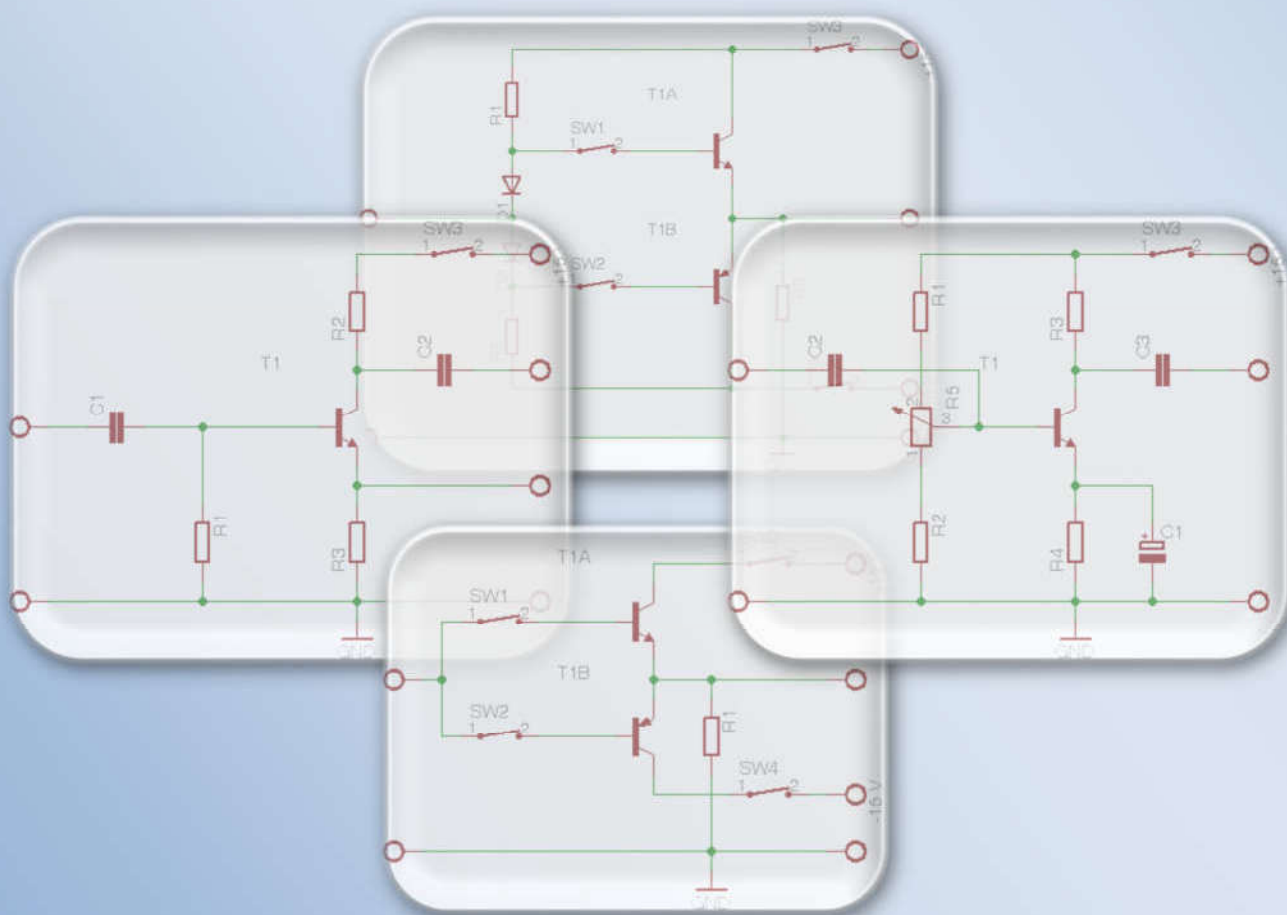


Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK

Pracownia Elektroniczna

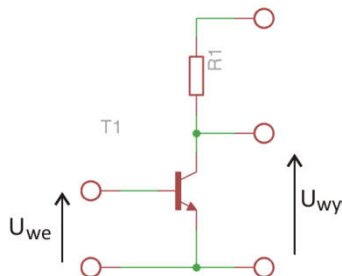
ZESTAW 3

BADANIE KLAS WZMACNIACZY



I. WSTĘP TEORETYCZNY

Zasadę pracy wzmacniacza tranzystorowego można przedstawić na przykładzie najprostszego układu przedstawionego na rysunku 1, składającego się z opornika kolektorowego R_1 oraz tranzystora T_1 , tworzących dzielnik napięcia.



Rys. 1. Wzmacniacz w układzie WE.

W najprostszym modelu możemy przedstawić tranzystor jako układ ustalający natężenie prądu płynącego w obwodzie jego kolektora I_C , w zależności od natężenia prądu płynącego w obwodzie jego bazy I_B . Badając pracę tranzystora wykonuje się wykresy jego charakterystyk. W tym celu dla ustalonego prądu bazy I_B mierzona jest wartość prądu kolektora I_C , w zależności od napięcia U_{CE} między kolektorem i emiterem. Przykład takich charakterystyk przedstawiony jest na rysunku 2. Jak widać z rysunku, dla ustalonego prądu bazy, ze wzrostem napięcia U_{CE} występuje początkowo wzrost wartości prądu kolektora I_C , a następnie dla wyższych wartości napięcia U_{CE} , wartość prądu kolektora słabo zależy od wartości tego napięcia.

Powtarzając powyższe pomiary dla większej wartości prądu bazy uzyskujemy krzywą charakterystyki przesuniętą w stronę większych wartości prądu kolektora. Dla większych wartości napięcia U_{CE} spełniona jest liniowa zależność prądu kolektora I_C od prądu bazy tranzystora I_B :

$$I_C = \beta I_B$$

gdzie β jest współczynnikiem wzmocnienia prądowego tranzystora.

Najniższa krzywa z rodziny charakterystyk (rysunek 2) pokazuje, że w przypadku zerowego prądu bazy ($I_B = 0$), przez tranzystor płynie niewielki prąd, nazywany prądem zerowym I_{C0} . Prąd ten jest wynikiem wzmocnienia przez tranzystor prądu wstecznego, spolaryzowanego w kierunku zaporowym złącza baza-kolektor. Ze względu na jego małą wartość, w wielu zastosowaniach tranzystora prąd zerowy można pominąć.

Analizując pracę układu wzmacniacza, jako dzielnika napięcia możemy napisać równanie

$$U_{CC} = I_C R_1 + U_{CE}$$

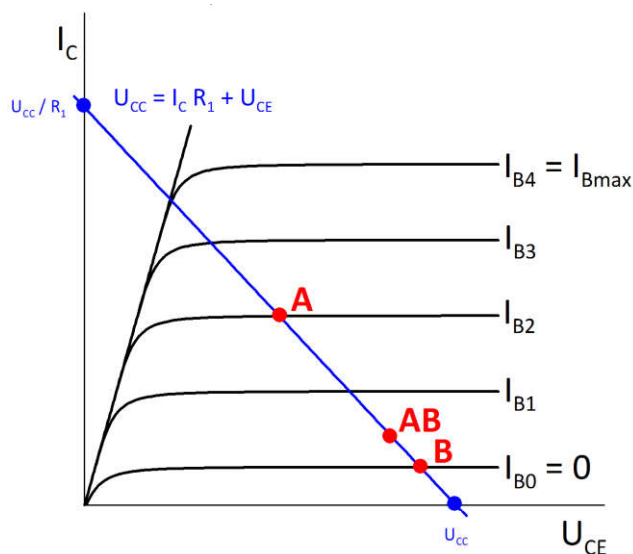
(gdzie U_{CC} jest napięciem zasilania wzmacniacza).

Jest to tak zwana prosta pracy tranzystora w danym układzie wzmacniacza, opisująca możliwe punkty pracy tranzystora na jego charakterystyce.

Punkty przecięcia prostej pracy z osiami układu współrzędnych określają wartości:

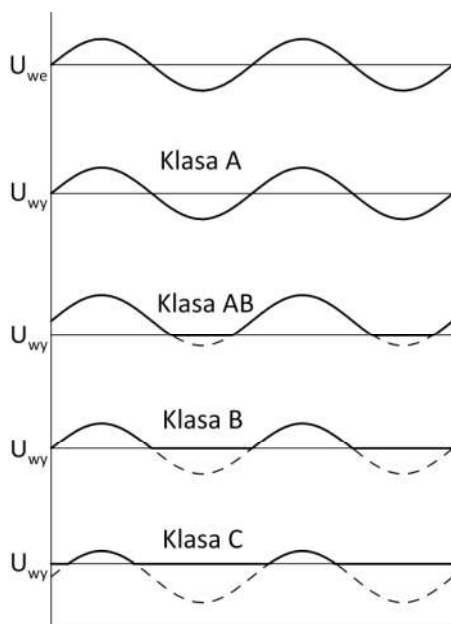
- maksymalnego napięcia między kolektorem i emiterem tranzystora $U_{CE_{max}} = U_{CC}$, występującego gdy prąd kolektora $I_C = 0$,
- maksymalnego prądu jaki może popłynąć przez tranzystor $I_{C_{max}} = \frac{U_{CC}}{R_1}$, gdy $U_{CE} = 0$.

Na rysunku 2 przedstawiona jest przykładowa prosta pracy tranzystora, wrysowana na tle jego charakterystyk.



Rys. 2. Rodzina charakterystyk, prosta pracy tranzystora oraz punkty pracy w określonych klasach.

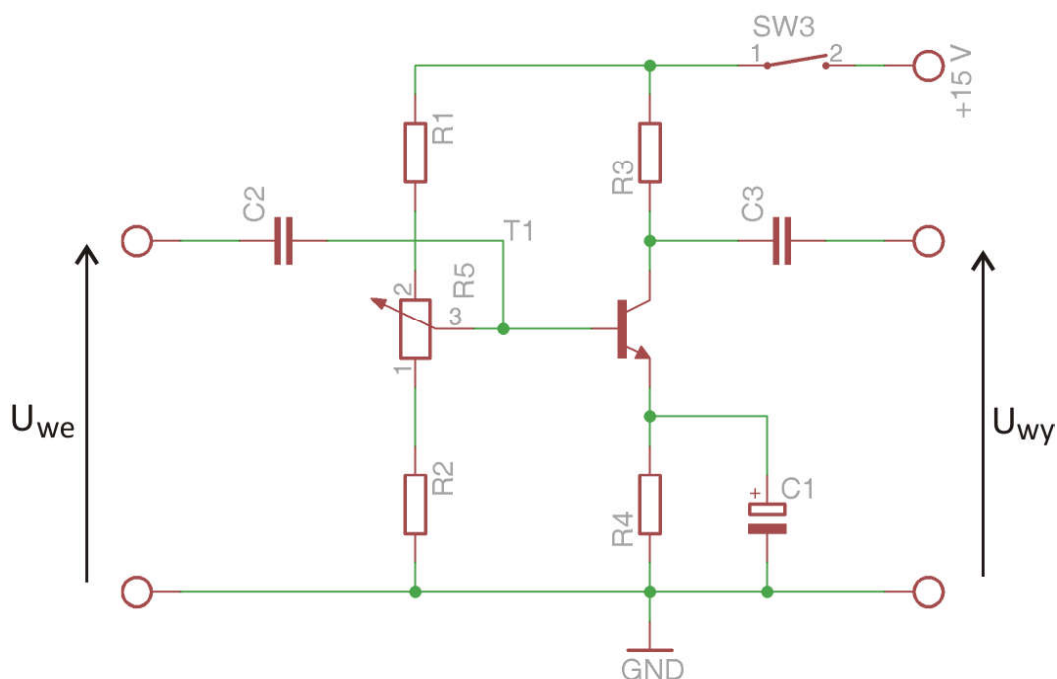
Charakteryzując typy wzmacniaczy ze względu na możliwe położenia punktu pracy, wprowadza się pojęcie klasy wzmacniacza. Pojęcie to jest bezpośrednio związane z tak zwanym *kątem przepływu sygnału* - ϕ . Na rysunku 3. przedstawiono kształty sygnałów wyjściowych uzyskanych dla wzmacniaczy pracujących w różnych klasach, dla przypadku sinusoidalnego sygnału wejściowego. Jak widać z rysunku 3. w przypadku wzmacniacza pracującego w klasie A na wyjściu wzmacniacza uzyskujemy niezmodyfikowany sygnał sinusoidalny w zakresie pełnego kąta fazowego - oznacza to, że kąt przepływu sygnału wynosi tutaj $\phi = 360^\circ$. Dla wzmacniacza pracującego w klasie AB kąt przepływu sygnału zawiera się w granicach $180^\circ < \phi < 360^\circ$, dla klasy B kąt $\phi = 180^\circ$, a dla klasy C jest mniejszy niż 180° .



Rys. 3 Kształty sygnałów wyjściowych uzyskanych dla wzmacniaczy pracujących w różnych klasach, dla przypadku sinusoidalnego sygnału wejściowego.

1. WZMACNIACZ KLASY A

Schemat wzmacniacza przedstawiony jest na rysunku 4.



Rys. 4. Wzmacniacz klasy A

Na początku rozpatrzmy sytuację gdy na wejściu wzmacniacza nie ma sygnału zmiennego. Zgodnie z charakterystyką tranzystora przedstawioną na rysunku 2 zmieniając prąd bazy w granicach od zera do I_{Bmax} za pomocą potencjometru R_5 można osiągnąć punkty należące do odcinka prostej pracy tranzystora.

Jeżeli wzmacniacz ma pracować w klasie A, to przy braku sygnału wejściowego, punkt pracy tranzystora powinien być w punkcie odpowiadającym wielkości napięcia między kolektorem i emiterem $U_{CE} = \frac{U_{CC}}{2}$.

Jak widać z charakterystyki tranzystora (rysunek 2), odpowiada to wartości prądu bazy I_{B2} . Tak wybrana wartość składowej stałej prądu bazy jest konieczna aby móc wzmacniać sygnały zmiennego. Złącze baza-emiter tranzystora wykazuje własności prostujące i bez obecności składowej stałej prądu bazy, wzmacnieniu uległa by tylko część sygnału wejściowego o dodatniej wartości napięcia.

Jeżeli do wejścia wzmacniacza doprowadzony jest sygnał sinusoidalny, to punkt pracy tranzystora przesuwa się po prostej pracy tam, i z powrotem, symetrycznie względem położenia początkowego. Zwiększając stopniowo amplitudę sygnału wejściowego można doprowadzić do tego, że punkt pracy oscyluje pomiędzy skrajnymi punktami odcinka prostej pracy. Sygnał wyjściowy osiąga wtedy maksymalną amplitudę. Dalsze zwiększanie amplitudy sygnału wejściowego nie powoduje wzrostu amplitudy sygnału wyjściowego. Wierzchołki sinusoidy są coraz bardziej obcinane - sygnał zostaje zniekształcony. Zniekształcenia, jakie obserwuje się w tym przypadku, noszą nazwę zniekształceń nieliniowych.

Wzmacniacze pracujące w klasie A, są stosowane głównie jako wzmacniacze napięcia sygnału, gdy moc wzmacnianego sygnału ma drugorzędne znaczenie. Wynika to z faktu małej sprawności

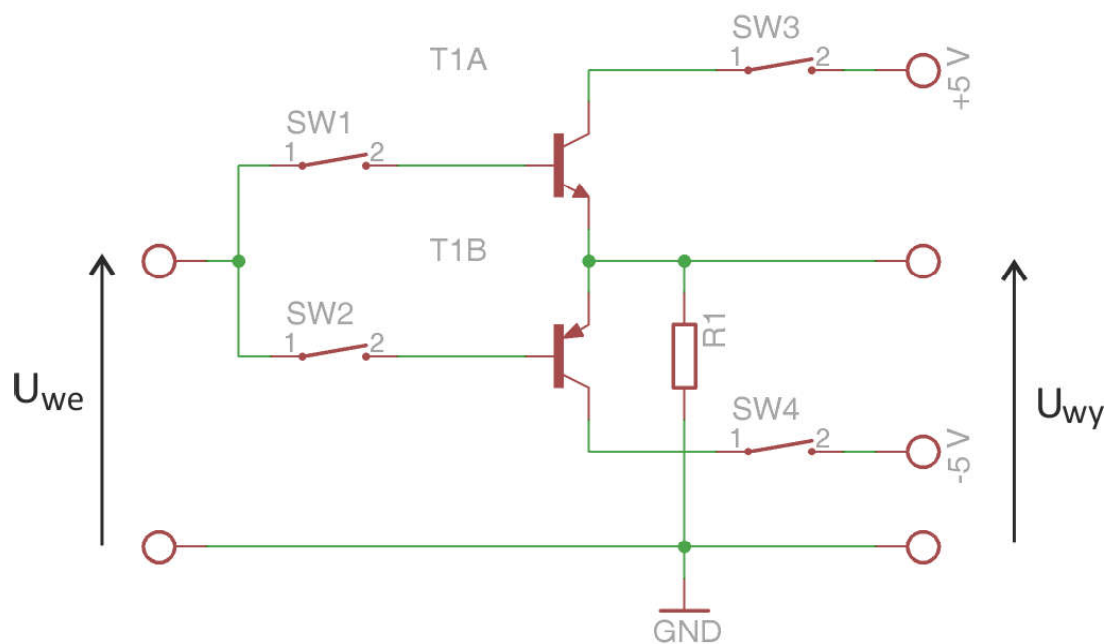
energetycznej takiego wzmacniacza, spowodowanej przepływem dużego stałego prądu kolektora, przy nieobecności sygnału wejściowego.

2. WZMACNIACZ KLASY B I AB.

W celu zwiększenia sprawności energetycznej wzmacniacza stosuje się rozwiązanie polegające na przesunięciu punktu pracy tranzystora, do punktu przecięcia się prostej pracy z krzywą charakterystyki tranzystora dla zerowego prądu bazy - punkt B na rysunku 2. Przy braku sygnału wejściowego, prąd kolektora będzie wtedy bliski zeru. Podanie na bazę tranzystora dodatniego napięcia wejściowego spowoduje wzrost prądu bazy i w konsekwencji wzrost prądu kolektora. Podanie na bazę tranzystora napięcia ujemnego spowoduje wprowadzenie go w stan odcięcia.

Tak więc, w przypadku podania na bazę tranzystora napięcia sinusoidalnego, przebieg wyjściowy zawierałby tylko połówkę sygnału wejściowego. Rozwiązaniem jest zastosowanie w układzie wzmacniacza pracującego w klasie B dwóch tranzystorów komplementarnych (NPN i PNP) T_{1A} oraz T_{1B} , pracujących w układzie przeciwsobnym.

Na rysunku 5 przedstawiono przykład takiej realizacji.



Rys. 5. Wzmacniacz klasy B.

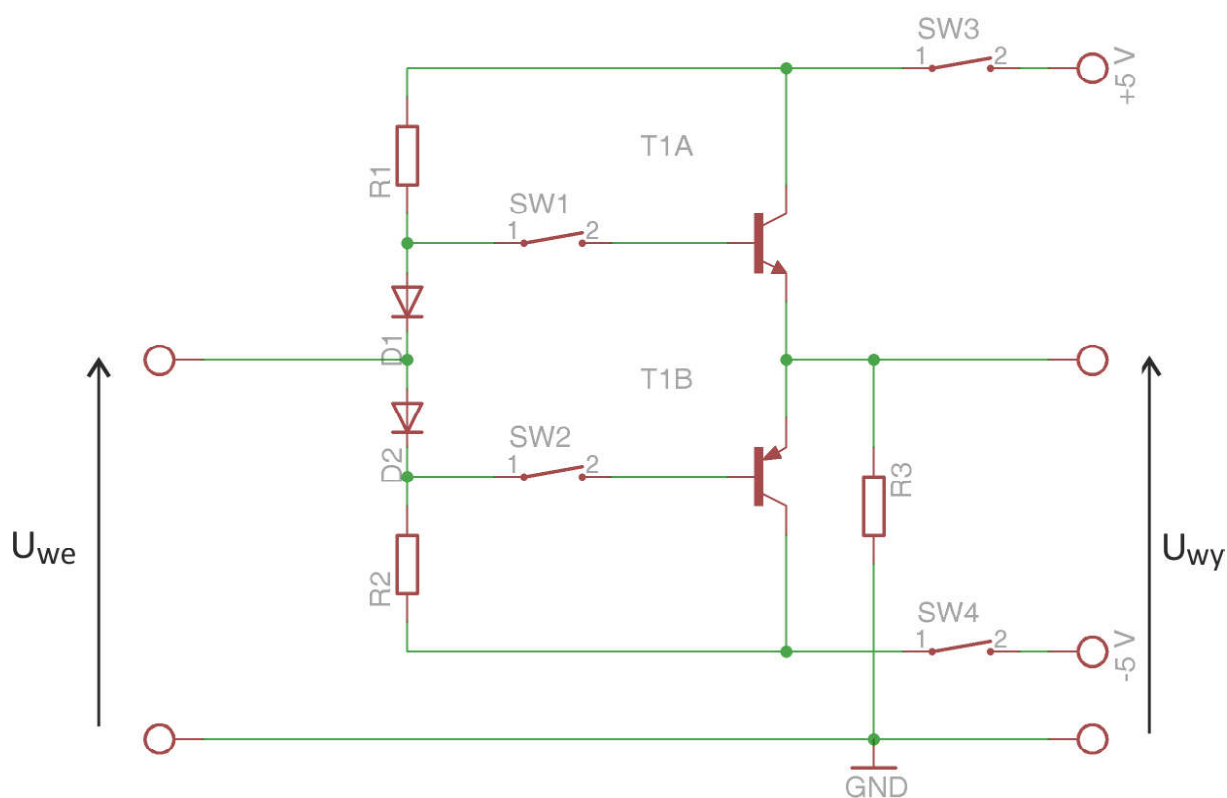
Obydwa tranzystory pracują w układach wtórników napięcia (układy ze wspólnym kolektorem), ze wspólnym oporem obciążenia R_1 . Przy braku sygnału wejściowego przez tranzystory prąd nie płynie, wzmacniacz nie pobiera prądu z zasilania. Nie ma więc strat energii w postaci ciepła.

Jeżeli napięcie wejściowe ma wartość dodatnią to tranzystor T_{1A} (o polaryzacji NPN) przewodzi, a tranzystor T_{1B} (o polaryzacji PNP) jest w stanie odcięcia. Prąd płynie od dodatniego bieguna zasilania, poprzez opór obciążenia R_1 do masy.

Dla ujemnego napięcia wejściowego przewodzi tranzystor T_{1B} a tranzystor T_{1A} jest w stanie odcięcia, Prąd płynie wtedy od ujemnego bieguna zasilania, poprzez opór obciążenia R_1 do masy.

Powyższy układ cechuje się dużą sprawnością (wartość teoretyczna - 78 %), lecz jego sygnał wyjściowy jest mocno zniekształcony, w miejscach przejścia wartości napięcia przez zero. Wynika to z faktu, nieliniowej charakterystyki tranzystora w początkowej fazie wzrostu prądu kolektora. Występujące zniekształcenia nazywamy zniekształceniami skrośnymi.

Zniekształcenia te można minimalizować przesuwając punkt pracy tranzystora, nieco powyżej punktu klasy B. Tranzystor pracuje wtedy w klasie AB (patrz rys. 2). Przez tranzystor płyną wtedy niewielkie prądy bazy i kolektora, a zależność prądu kolektora od prądu bazy jest już w liniowym zakresie charakterystyki tranzystora. Podanie na bazę tranzystora dodatniego napięcia wejściowego powoduje wzrost prądu kolektora tranzystora, proporcjonalny do wzrostu prądu bazy. Aby tranzystor pracował w klasie AB należy go wstępnie spolaryzować niewielkim napięciem stałym. Na rysunku 6 przedstawiono schemat wzmacniacza przeciwobnego pracującego w klasie AB.

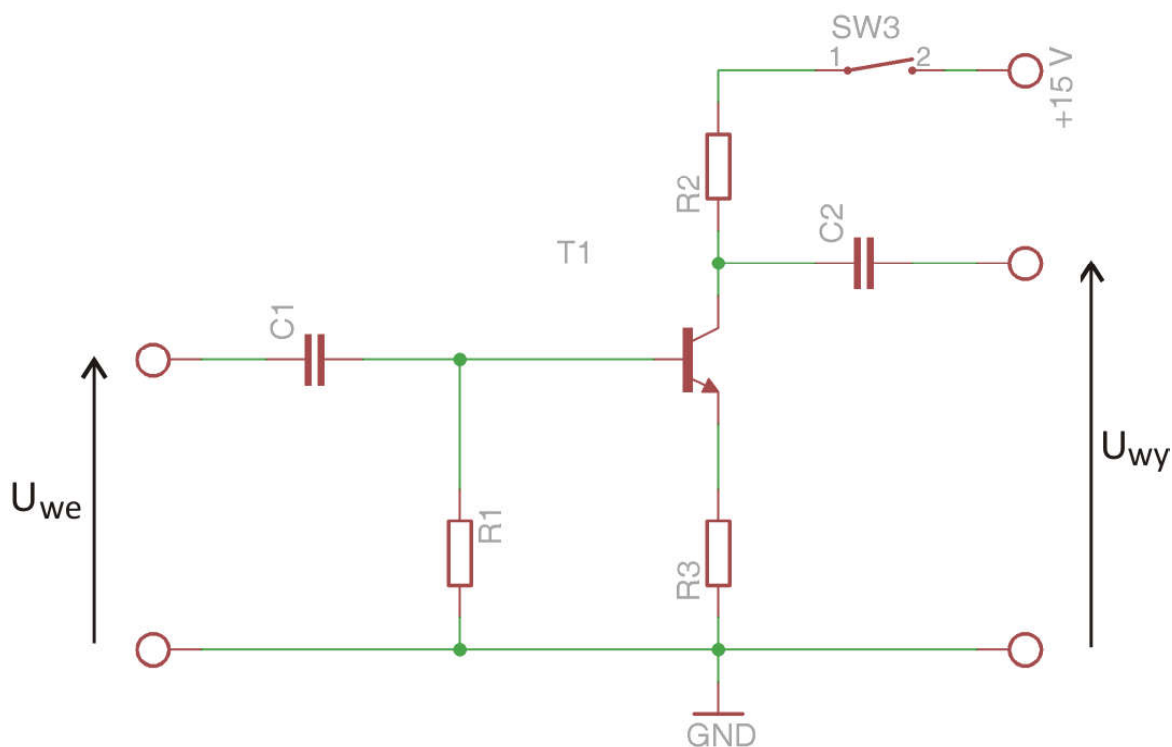


Rys. 6. Wzmacniacz klasy AB.

Polaryzacja wstępna tranzystorów T_{1A} i T_{1B} zrealizowana jest poprzez spadki napięcia na diodach D_1 i D_2 . Praca wzmacniacza jest podobna jak dla układu przedstawionego na rysunku 5. Obwód zbudowany z tranzystora T_{1A} (typu NPN) oraz dzielnika napięcia D_1 , R_1 , zasilany napięciem dodatnim, wzmacnia dodatnią część sygnału wejściowego. Obwód T_{1B} , D_2 , R_2 zasilany napięciem ujemnym wzmacnia ujemną część sygnału wejściowego.

3. WZMACNIACZ KLASY C.

We wzmacniaczu klasy C złącze baza-emiter nie jest spolaryzowane wstępnie napięciem stałym lub jest spolaryzowane w kierunku zaporowym, w wyniku czego w stanie spoczynku przez tranzystor nie płynie prąd. Prąd płynie dopiero po przyłożeniu na wejście wzmacniacza sygnału zmiennego o amplitudzie przekraczającej pewną wartość progową.



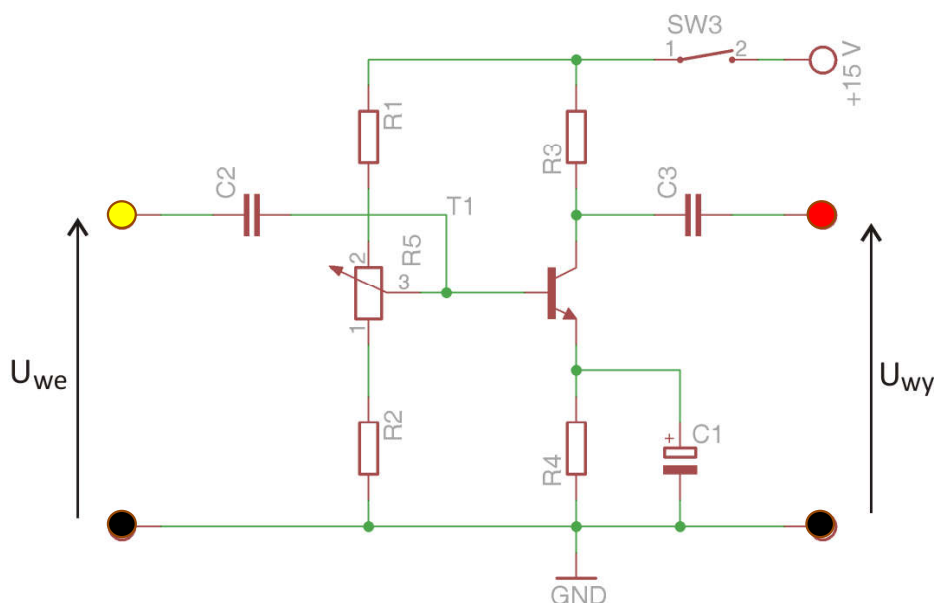
Rys. 7. Wzmacniacz klasy C

Rysunek 7 przedstawia schemat wzmacniacza klasy C użytego w zadaniu. We wzmacniaczu tym tranzystor przewodzi, gdy chwilowa wartość napięcia na bazie przekracza wartość napięcia przewodzenia. Jeżeli wzmacniacz jest wysterowany sygnałem sinusoidalnym o amplitudzie nieznacznie przekraczającej tę wartość, to tranzystor przewodzi tylko w czasie małego ułamka okresu, kiedy napięcie dodatniej półwłki sinusoidy jest bliskie wartości szczytowej. Tranzystor pracuje impulsowo, o czym można się przekonać obserwując odpowiednie przebiegi napięciowe.

II. POMIARY I ICH OPRACOWANIE

Przed przystąpieniem do pomiarów sprawdzić, czy wszystkie układy wzmacniaczy są wyłączone. Wyłączniki oznaczone SW₃ (zasilanie napięciem dodatnim) oraz SW₄ (zasilanie napięciem ujemnym) powinny być ustawione w pozycji "0".

1. WZMACNIACZ KLASY A.



Wykaz elementów:

$R_1 = 68 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 3 \text{ k}\Omega$

$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

$R_4 = 110 \Omega$

$R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ (potencjometr)

$C_1 = 22 \mu\text{F}$ (elektrolityczny)

$C_2 = 680 \text{ nF}$

$C_3 = 680 \text{ nF}$

$T_1 =$ tranzystor BC547

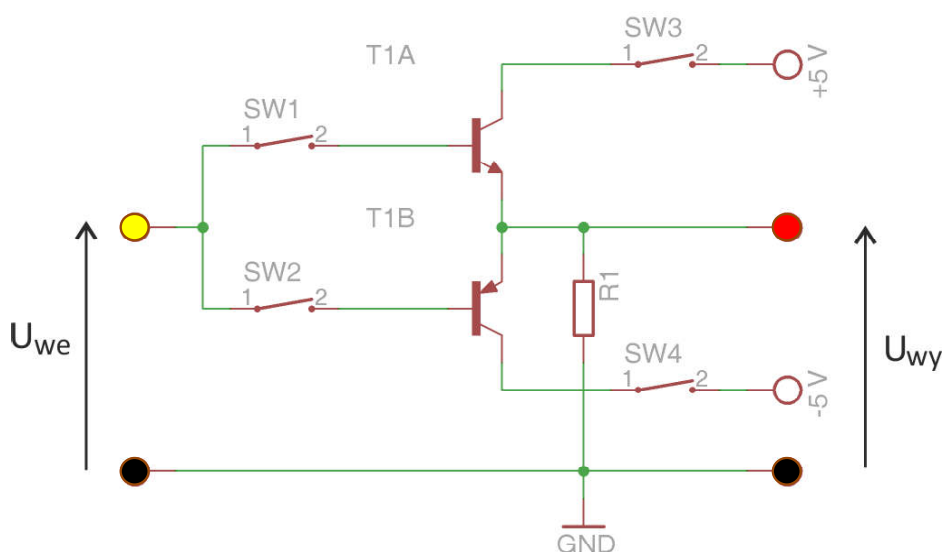
- 1) Potencjometr R_5 ustawić w położeniu środkowym. Do wejścia wzmacniacza doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 100 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 40 \text{ mV}$. Dla tak ustawionego sygnału wejściowego zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza.
- 2) Zwiększając wartość napięcia sygnału wejściowego, zaobserwować występujące od pewnej wartości napięcia sygnału wejściowego, zniekształcenia sygnału wyjściowego wzmacniacza. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i zniekształcony sygnał wyjściowy wzmacniacza.
- 3) Zbadać zależność wielkości sygnału wyjściowego od sygnału wejściowego wzmacniacza. Wyniki zebrać w Tabeli 1, oraz przedstawić w postaci wykresu.
- 4) Dla zmierzonych wartości napięcia oszacować ich błędy, przedstawić je w Tabeli 1 i zaznaczyć je na wykresie.

Tabela 1. Zależność wielkości sygnału wyjściowego od sygnału wejściowego wzmacniacza (klasa A).

Sygnal wejściowy (napięcie międzyszczytowe) [mV]	0	10	20	30	40	50	60
Sygnal wyjściowy (napięcie międzyszczytowe) [V]							

- 5) Dla sinusoidalnego sygnału wejściowego o częstotliwości 100 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 40$ mV
 - a. Zaobserwować stopniowe zniekształcanie sygnału wyjściowego, gdy punkt pracy tranzystora przesuwany jest z punktu A do skrajnych punktów odcinka prostej pracy.
 - b. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i zniekształcony sygnał wyjściowy wzmacniacza dla maksymalnej wartości składowej stałej prądu bazy (potencjometr R5 - obrócony do oporu w prawo).
 - c. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i zniekształcony sygnał wyjściowy wzmacniacza dla minimalnej wartości składowej stałej prądu bazy (potencjometr R5 - obrócony do oporu w lewo).
- 6) Znajdującym się na płytce wzmacniacza wyłącznikiem SW_3 wyłączyć zasilanie układu.

2. WZMACNIACZ KLASY B.



Wykaz elementów:

$R_1 = 1\text{ k}\Omega$

SW_1, SW_2, SW_3, SW_4 –
wyłącznik

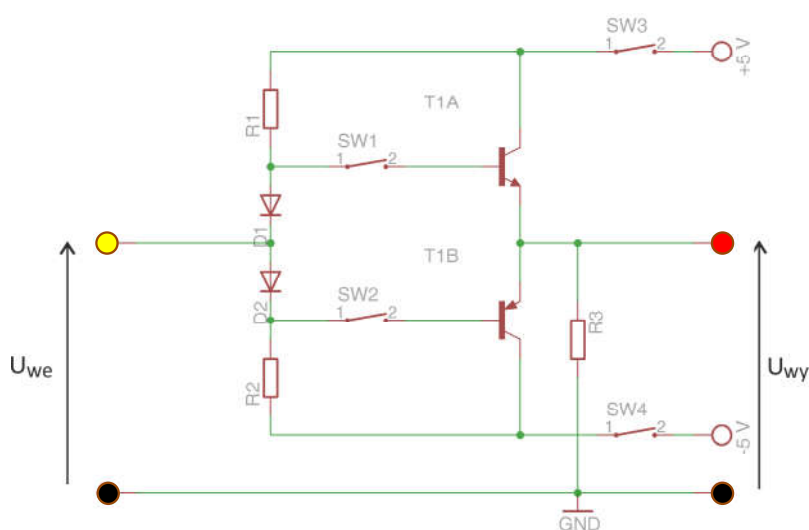
T_{1A} – tranzystor npn
BD243C

T_{1B} – tranzystor pnp
BD244C

- 1) Znajdującymi się na płytce wzmacniacza wyłącznikami SW_3 oraz SW_4 włączyć zasilanie układu.
- 2) Do wejścia wzmacniacza doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 3$ V
- 3) Wysterować tylko tranzystor T_1 (włączyć wyłącznik SW_1 a wyłączyć SW_2). Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza
- 4) Dla tak ustawionego sygnału wejściowego
 - a. wysterować tylko tranzystor T_2 (wyłączyć wyłącznik SW_1 a włączyć SW_2).
 - b. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza

- 5) Dla tak ustawionego sygnału wejściowego
 - a.ysterować oba tranzystory (włączyć wyłącznik SW_1 oraz włączyć SW_2).
 - b. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza
 - c. Zmierzyć wartości napięcia międzyszczytowego zarejestrowanych sygnałów: wejściowego i wyjściowego. Wyjaśnić obserwowaną różnicę zmierzonych napięć.
- 6) Znajdującymi się na płytce wzmacniacza wyłącznikami SW_3 oraz SW_4 wyłączyć zasilanie układu.

3. WZMACNIACZ KLASY AB.



Wykaz elementów:

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$

$R_3 = 2 \text{ k}\Omega$

D_1 – dioda przełączająca 1N4148

D_2 – dioda przełączająca 1N4148

SW_1, SW_2, SW_3, SW_4 – wyłącznik

T_{1A} – tranzystor npn BD243C

T_{1B} – tranzystor pnp BD244C

- 1) Znajdującymi się na płytce wzmacniacza wyłącznikami SW_3 oraz SW_4 włączyć zasilanie układu.
- 2) Do wejścia wzmacniacza doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 3 \text{ V}$
- 3) Wysterować tylko tranzystor T_1 (włączyć wyłącznik SW_1 a wyłączyć SW_2). Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza
- 4) Dla tak ustawionego sygnału wejściowego
 - a. wysterować tylko tranzystor T_2 (wyłączyć wyłącznik SW_1 a włączyć SW_2).
 - b. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza
- 5) Dla tak ustawionego sygnału wejściowego
 - a. wysterować oba tranzystory (włączyć wyłącznik SW_1 oraz włączyć SW_2).
 - b. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza

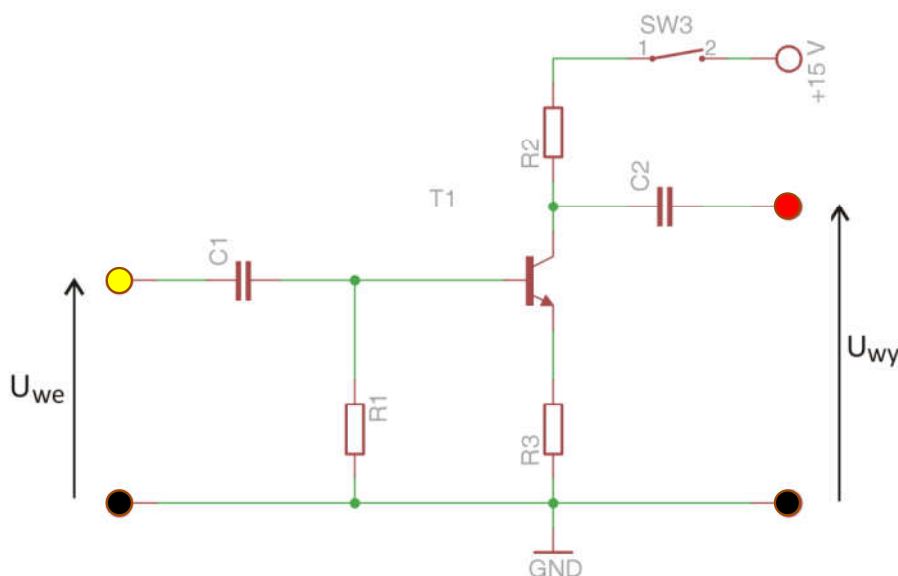
- 6) Zbadać zależność wielkości sygnału wyjściowego od sygnału wejściowego wzmacniacza. Wyniki zebrać w Tabeli 2, oraz przedstawić w postaci wykresu. Dla zmierzonych wartości napięcia, oszacować ich błędy, przedstawić je w Tabeli 2 i zaznaczyć je na wykresie.

Tabela 2. Zależność wielkości sygnału wyjściowego od sygnału wejściowego wzmacniacza (klasa AB)

Sygnal wejściowy (napięcie międzyszczytowe) [V]	0	1	2	3	4	5	6
Sygnal wyjściowy (napięcie międzyszczytowe) [V]							

- 7) Zwiększając wartość napięcia sygnału wejściowego, zaobserwować, występujące od pewnej wartości napięcia sygnału wejściowego, zniekształcenia sygnału wyjściowego wzmacniacza. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i zniekształcony sygnał wyjściowy wzmacniacza dla:
- sinusoidalnego sygnału wejściowego o częstotliwości 1 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 15\text{ V}$,
 - sinusoidalnego sygnału wejściowego o częstotliwości 1 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 20\text{ V}$.
- Podać przyczynę obserwowanych zniekształceń sygnałów wyjściowych.
- 8) Znajdującymi się na płytce wzmacniacza wyłącznikami SW_3 oraz SW_4 wyłączyć zasilanie układu.

4. WZMACNIACZ KLASY C.



Wykaz elementów:
 $R_1 = 910\ \Omega$
 $R_2 = 1\text{ k}\Omega$
 $R_3 = 110\ \Omega$
 $C_1 = 680\text{ nF}$
 $C_2 = 680\text{ nF}$
 SW_3 – wyłącznik
 T_1 – tranzystor npn BC547

- 1) Znajdującym się na płytce wzmacniacza wyłącznikiem SW_3 włączyć zasilanie układu.

- 2) Do wejścia wzmacniacza doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 100 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 2\text{ V}$
- 3) Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza. Zwrócić uwagę na symetrię kształtu sygnału wyjściowego.
- 4) Z zarejestrowanego przebiegu sygnału wyjściowego wyznaczyć wartość kąta przepływu sygnału.
- 5) Do wejścia wzmacniacza doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 MHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 2\text{ V}$.
- 6) Zaobserwować asymetrię sygnału wyjściowego.
- 7) Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy wzmacniacza.
- 8) Znajdującym się na płytce wzmacniacza wyłącznikiem SW_3 wyłączyć zasilanie układu.

LITERATURA

1. P. Horowitz, W. Hill "Sztuka elektroniki" Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2006
2. U. Tietze, C. Schenk " Układy półprzewodnikowe" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2009
3. R. Śledziwski "Elektronika dla fizyków" Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1984
4. T. Stacewicz, A. Kotlicki "Elektronika w laboratorium naukowym" Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1994
5. T. Szczurek "Ćwiczenia Pracowni Elektronicznej II" Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika 1994
6. A. Bielski, R. Ciuryło "Podstawy metod opracowania pomiarów" Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika 2001