

Ćwiczenie 3

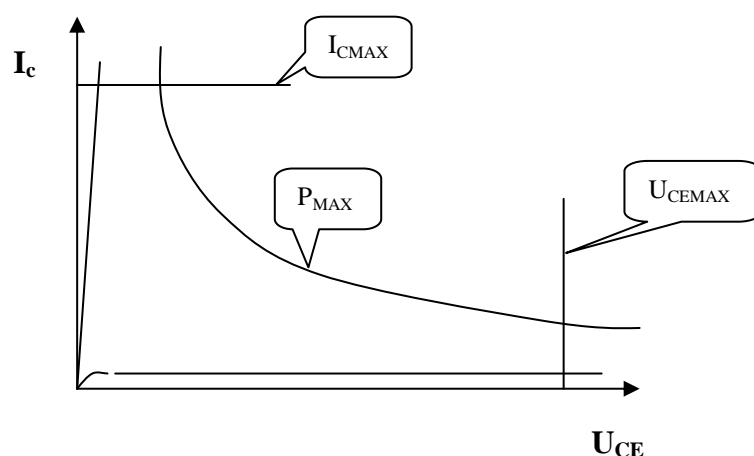
Wybór i stabilizacja punktu pracy tranzystora bipolarnego

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie wpływu ustawienia punktu pracy tranzystora na pracę wzmacniacza oraz zapoznanie się z układami stabilizacji punktu pracy i ocena ich skuteczności.

Wiadomości podstawowe

Punkt pracy tranzystora powinien znajdować się w obszarze bezpiecznej pracy (rys. 1).



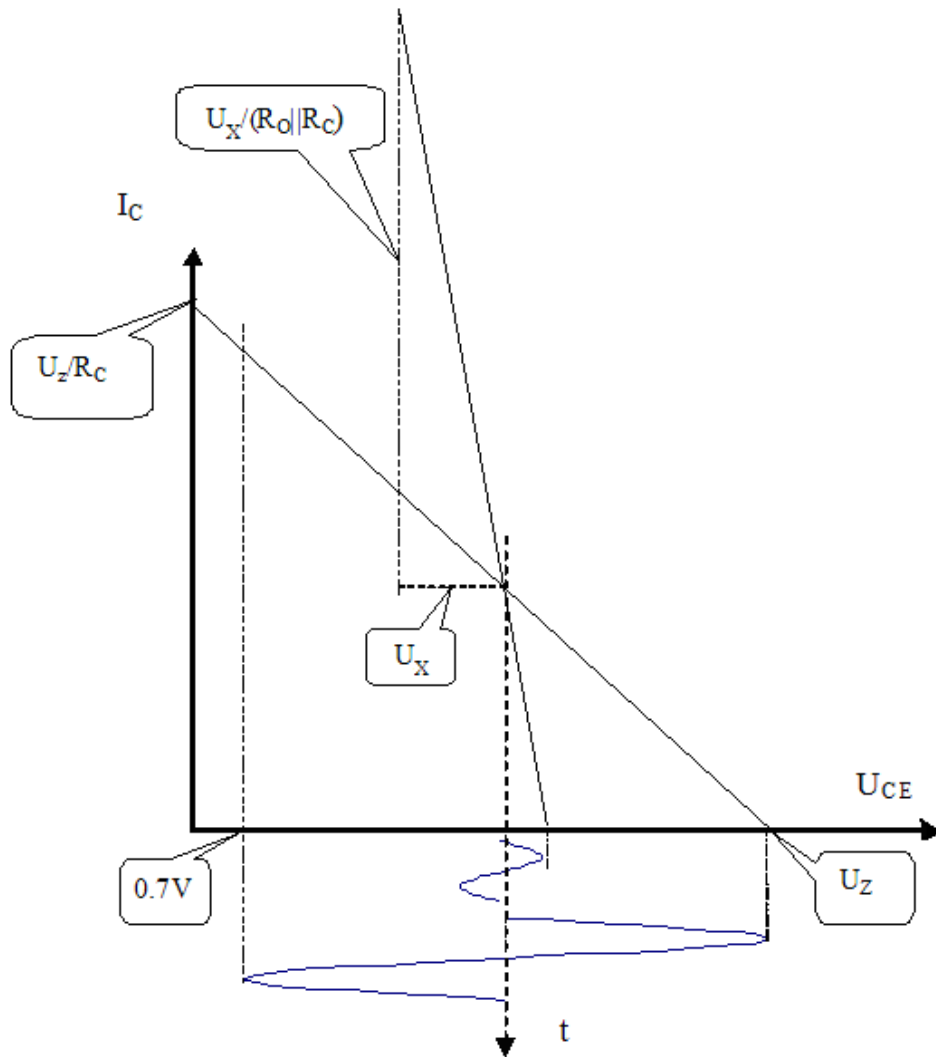
Rys. 1. Obszar bezpiecznej pracy tranzystora.

Obszar ten jest ograniczony następującymi liniami:

- charakterystyką nasycenia dla $I_B = I_{BMAX}$,
- charakterystyką odcięcia dla $I_B = 0$,
- maksymalnym dopuszczalnym prądem kolektora - przekroczenie powoduje przepalenie drucika łączącego nóżkę obudowy ze strukturą półprzewodnika,
- maksymalnym dopuszczalnym napięciem - przebicie lub utrata stabilności termicznej,
- mocą admisyjną - uwarunkowaną maksymalną temperaturą struktury w danych warunkach chłodzenia.

Podstawowym kryterium wyboru punktu pracy jest dobro wzmacniacza. Rozumienie tego dobra jest różne w zależności od jego przeznaczenia. Może to być potrzeba osiągnięcia maksymalnej niezniekształconej amplitudy, minimalnych szumów, minimalnej mocy pobieranej przez wzmacniacz, maksymalnego wzmocnienia itp. W związku z tym odpowiedzi na pytanie gdzie powinien się on znajdować można udzielić posługując się analizą graficzną lub odpowiednimi charakterystykami tranzystora np. charakterystyką szumów, $h_{21} = f(I_C)$ i in.

W ćwiczeniu kryterium wyboru punktu pracy jest uzyskanie możliwie największej amplitudy niezniekształconego napięcia wyjściowego. Sposób graficznego znalezienia tak określonego optymalnego punktu pracy pokazany jest na rys.1 dla pracy bez dołączonego obciążenia i na rys.2 dla pracy z załączonym obciążeniem (rezystor $R_o = 200 \Omega$).



Rys. 1. Sposób wyznaczenia optymalnego z uwagi na maksymalną amplitudę położenia punktu pracy oraz wyznaczenia amplitudy maksymalnej dla pracy z obciążeniem.

U_Z – wartość napięcia zasilającego,

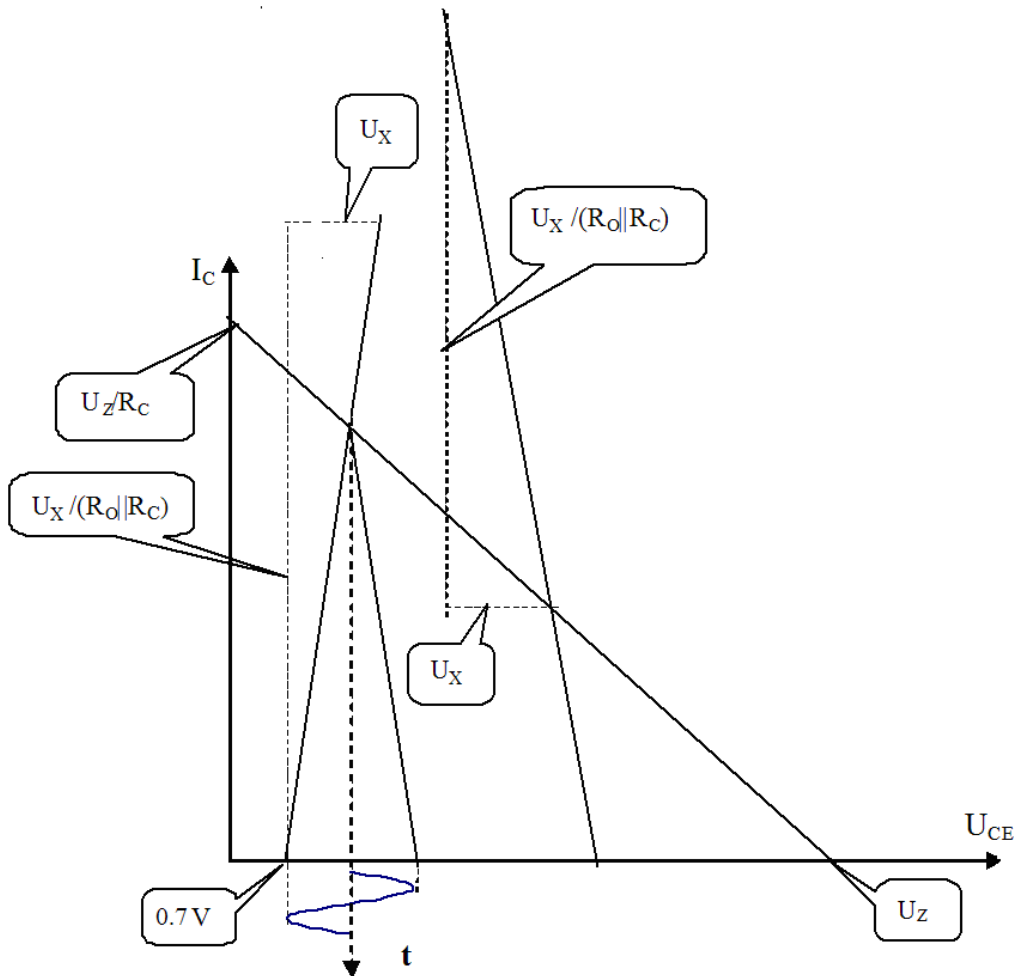
U_X – dowolna wartość napięcia (np. 2V lub 3V) potrzebna tylko do narysowania prostej obciążenia,

R_C - rezystancja w obwodzie kolektora,

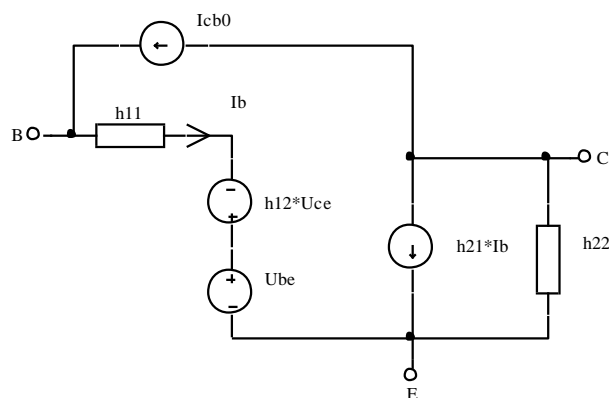
R_O - rezystancja obciążenia.

W warunkach eksploatacji wzmacniacza położenie punktu pracy zależy zwykle od temperatury i od parametrów tranzystora wywołanych jego wymianą podczas naprawy (także przy budowie serii wzmacniaczy nie można zapewnić identycznych tranzystorów). Przeciwdziałanie temu zapewniają układy stabilizacji punktu pracy. Zasada działania tych układów oparta jest zwykle o własności ujemnego sprzężenia zwrotnego dla składowej stałej lub o własności specjalnego elementu zależnego od temperatury (metoda kompensacyjna). Takim elementem może być termistor, dioda, drugi tranzystor (wzmacniacz różnicowy). W tej ostatniej metodzie dobór charakterystyk termicznych elementu kompensującego zwykle udaje się tylko w niewielkim zakresie zmian temperatury i z uwagi na małą ich powtarzalność jest utrudniony.

Do analizy układów przy zmianie temperatury można stosować np. schemat zastępczy tranzystora dla składowej stałej przedstawiony na rys.3.



Rys. 2. Sposób wyznaczenia punktu pracy i maksymalnej amplitudy przy pracy z obciążeniem.



Rys. 3. Schemat zastępczy tranzystora dla składowej stałej.

W konkretnych zastosowaniach biorąc pod uwagę cel analizy oraz wartości wszystkich elementów schematu zastępczego układu można dokonać jego uproszczeń np. przyjmując h_{12} i h_{22}

równe zero. Dla konkretnego układu po dokonaniu niezbędnych obliczeń punkt pracy można przedstawić w postaci:

$$I_C = f(U_{BE}, I_{CB0}, h_{21}).$$

Różniczka zupełna takiej funkcji wyniesie:

$$dI_C = \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} dU_{BE} + \frac{\partial I_C}{\partial I_{CB0}} dI_{CB0} + \frac{\partial I_C}{\partial h_{21}} dh_{21}$$

Przechodząc do przyrostów skończonych i zmieniając oznaczenia otrzymamy w przybliżeniu:

$$\Delta I_C = S_U \Delta U_{BE} + S_I \Delta I_{CB0} + S_\beta \Delta h_{21}$$

Wprowadzone w powyższych wyrażeniach współczynniki S_U , S_I , S_β nazywamy współczynnikami stabilizacji punktu pracy i służą one jako wskaźniki jakości układów stabilizujących punkt pracy. W literaturze można spotkać inne definicje współczynników stabilizacji punktu pracy różniące się od podanych tym, że zamiast wartości bezwzględnych stosowane są ich wartości względne.

Wykonanie ćwiczenia

Widok stanowiska pomiarowego oraz schematy układów pomiarowych pokazane są na rys. 4. Rodzaj pomiarów ustalamy przełącznikiem wybierając odpowiednią pozycję:

1. Wybór optymalnego punktu pracy,
2. Stabilizacja od zmian temperatury,
3. Stabilizacja od zmian współczynnika β .

Uwaga ! Przed przystąpieniem do pomiarów sprawdzić „zachowanie się” badanego układu. Tzn. dokonać wszystkich możliwych regulacji i zaobserwować, w jakim zakresie zmieniają się poszczególne wielkości, jak się zmieniają (gwałtownie, wolno). W oparciu o te obserwacje ustalić zakres pomiarów, krok pomiarowy (niekoniecznie stały w całym zakresie pomiarowym). Dopiero wtedy przystąpić do właściwych pomiarów.

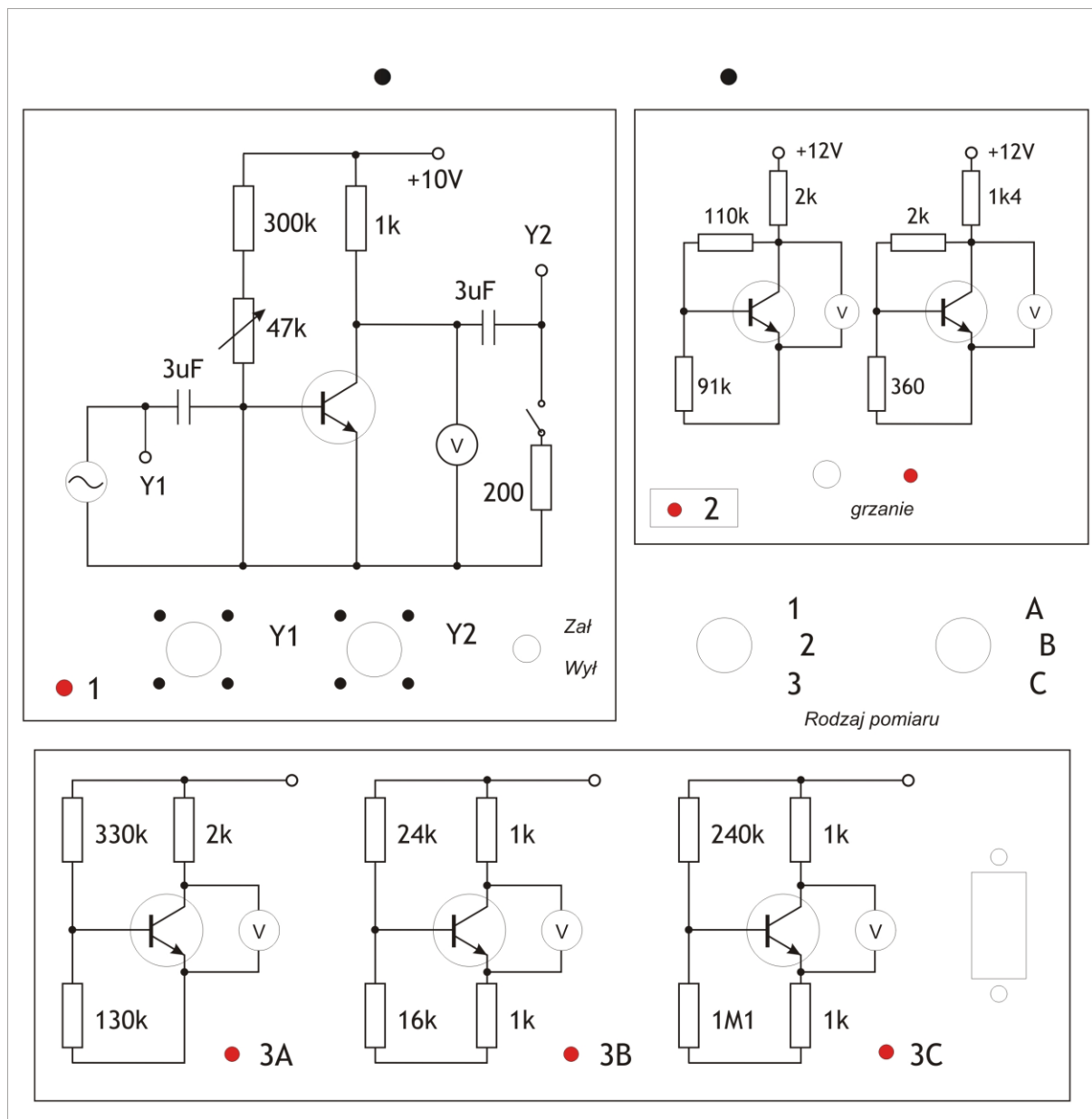
1a. Wybór punktu pracy tranzystora zezwalający na pracę z maksymalną amplitudą

Przed przystąpieniem do pomiarów należy metodą graficzną określić optymalne położenie punktu pracy dla sytuacji bez obciążenia i z obciążeniem. Należy również określić, jaką największą amplitudę napięcia wyjściowego można uzyskać w obu przypadkach. Wyznaczyć także jaką co najwyżej amplitudę można uzyskać po dołączeniu obciążenia ale w punkcie pracy optymalnym dla pracy bez obciążenia. Przyjąć następujące założenia upraszczające: $U_{CEsat} = 0,7V$ oraz $I_{CB0} = 0$.

Sygnal wejściowy sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz podajemy z generatora o regulowanej amplitudzie. Na ekranie oscyloskopu obserwujemy przebieg napięcia na wejściu i wyjściu wzmacniacza. Zmianę położenia punktu pracy tranzystora dokonujemy regulując prąd bazy potencjometrem R_b (47k Ω). Położenie punktu pracy określamy podając wartości I_C oraz U_{CE} . Wartość napięcia U_{CE} odczytujemy z miernika M2, prąd I_C należy obliczyć.

Punkt pracy należy tak wybrać aby uzyskać na wyjściu wzmacniacza możliwie największą amplitudę niezniekształconego (sinusoidalnego) napięcia. Wyboru dokonać dla pracy bez obciążenia i z dołączonym obciążeniem (przełącznik „zał-wył.”). Sprawdzić, jaką co najwyżej amplitudę niezniekształconego sygnału można otrzymać przy dołączonym obciążeniu w punkcie pracy optymalnym dla pracy bez obciążenia.

Pomiary (wybór punktu pracy i uzyskane wartości amplitudy) należy porównać z wynikami otrzymanymi metodą graficzną.

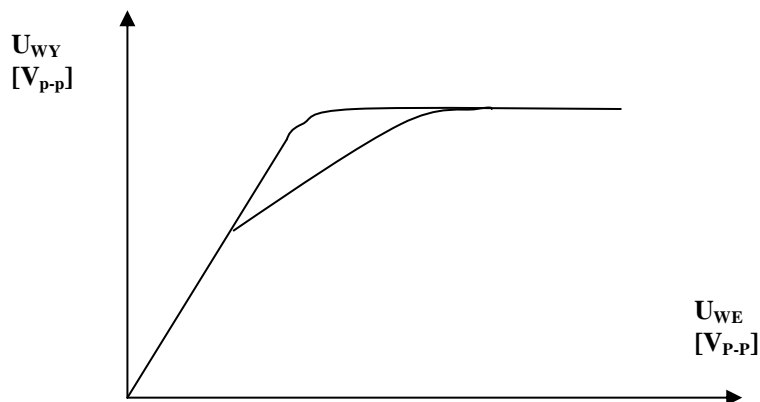


Rys. 4. Widok stanowiska pomiarowego wraz ze schematami układów pomiarowych.

1b. Badanie wpływu punktu pracy na charakterystykę przejściową wzmacniacza

Mierząc napięcie wyjściowe wzmacniacza przy pomocy oscyloskopu (wartość międzyszczytowa V_{p-p}) zdjąć charakterystykę przejściową $U_{WY} = f(U_{WE})$ dla trzech różnych punktów pracy (optymalnego, przy mniejszej i przy większej niż w punkcie optymalnym wartości prądu I_C). Typowy kształt tej charakterystyki przedstawiono na rys.5. Otrzymane charakterystyki przedstawić na wspólnym wykresie. Wyjaśnić ich przebieg.

Uwaga: Zniekształcenia niesymetryczne napięcia wyjściowego powodują zmianę średniej wartości napięcia na tranzystorze - nie należy uważać tego za zmianę punktu pracy.



Rys. 5. Typowe kształty charakterystyki przejściowej wzmacniacza dla różnych punktów pracy.

2. Badanie wpływu temperatury na punkt pracy tranzystora dla różnych układów polaryzacji

Sprawdzić w dwóch różnych układach polaryzacji wpływ temperatury na położenie punktu pracy. Najpierw dokonać pomiarów w temperaturze pokojowej, następnie włączyć ogrzewanie (przełącznik „grzanie”) i powtórzyć pomiary w temperaturze podwyższonej. Należy przyjąć, że temperatura ustaliła się, gdy ustalą się wskazania mierników (ok. 1 min.). Przyjąć, że po nagraniu tranzystory mają temperaturę 330°K. Napięcia U_{CE} odczytać z mierników M2 i M4, prądy I_C należy obliczyć.

Porównać wrażliwość badanych układów na zmiany temperatury. Otrzymane wyniki uzasadnić.

3. Badanie w różnych układach polaryzacji wpływu zamiany tranzystora (zmiana współczynnika wzmocnienia prądowego β) na położenie punktu pracy

Sprawdzić w trzech różnych układach polaryzacji (wybór układu przełącznikiem „A-B-C”), jak zmiana współczynnika wzmocnienia prądowego β tranzystora wpływa na zmianę punktu pracy. Pomiar przeprowadzić włączając do każdego z układów kolejno 2 tranzystory o różnych współczynnikach β . Napięcie U_{CE} odczytać z miernika M2, prąd I_C należy obliczyć. Współczynniki wzmocnienia prądowego tranzystorów są następujące: $\beta_{T1} = 95$, $\beta_{T2} = 180$. Tranzystory wydaje prowadzący zajęcia.

Porównać wrażliwość poszczególnych układów na zmiany współczynnika β . Otrzymane wyniki uzasadnić.

Literatura

E.N. Lurch – Podstawy techniki elektronicznej

Z. Lisik - Podstawy fizyki półprzewodników, skrypt PŁ, 1994,

A. Świt, J. Pułtorak – Przyrządy półprzewodnikowe,

W. Marciniak – Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone.