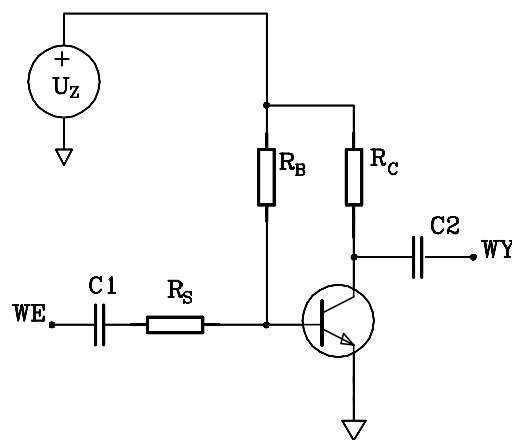


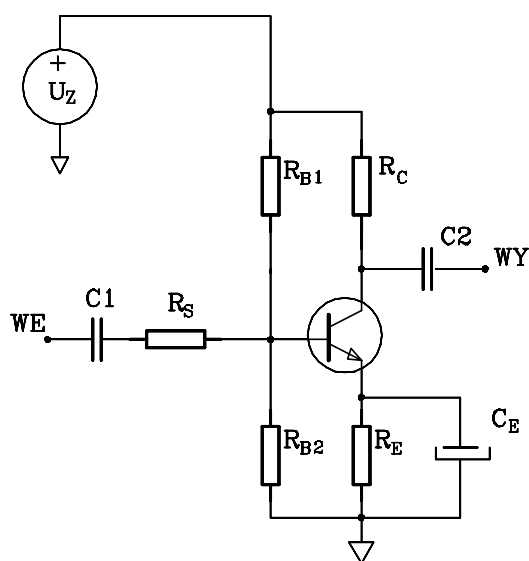
Wzmacniacz napięciowy RC

Przedmiotem ćwiczenia jest jednostopniowy wzmacniacz tranzystorowy z rezystywnym obciążeniem w obwodzie kolektora. Jest to najprostsza wersja wzmacniacza, łatwa do samodzielnej realizacji. I chociaż, z powodu powszechnego stosowania układów scalonych w nowoczesnych urządzeniach elektronicznych, jest coraz rzadziej stosowana, znajomość tego układu może okazać się pomocną dla zrozumienia podstaw układów elektronicznych. Natomiast znajomość wad tego układu pozwoli lepiej zrozumieć i docenić korzystne cechy innych, nowych rozwiązań wzmacniaczy.

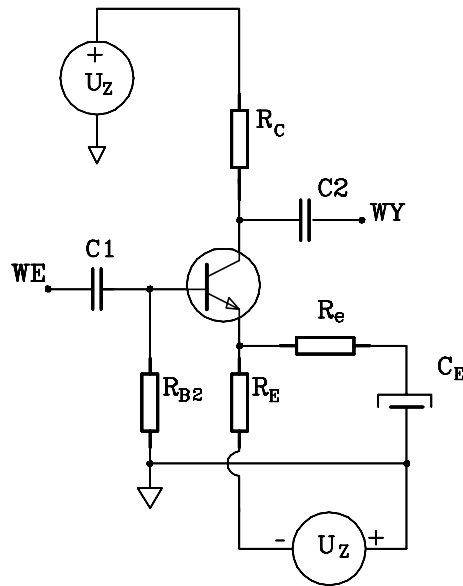
Podstawowy układ wzmacniacza RC zawiera jeden tranzystor, co najmniej dwa rezystory, dwa kondensatory oraz źródło napięcia zasilania. Schemat takiego wzmacniacza przedstawiono na rys. 1a. Kolejne rysunki 1b, 1c przedstawiają modyfikacje układu podstawowego mające na celu poprawę wybranych parametrów układu podstawowego.



Rys. 1a



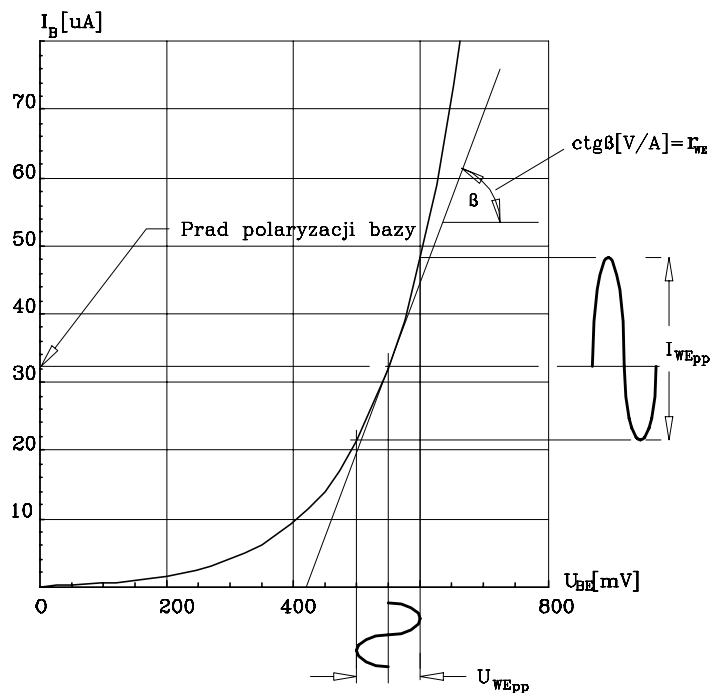
Rys. 1b



Rys. 1c

Podstawowe właściwości wzmacniacza RC zdeterminowane są głównie przez właściwości tranzystora bipolarnego, które z kolei najłatwiej przedstawić za pomocą głównych charakterystyk tego elementu.

Rys.2 przedstawia charakterystykę wejściową tranzystora, natomiast rys.3 przedstawia charakterystyki wyjściowe tranzystora bipolarnego na którym nakreślono tzw. prostą pracy wzmacniacza. Jest to odwrócona charakterystyka napięciowo prądowa rezystora R_C dołączonego do kolektora. Charakterystyka rezystora została przesunięta wzdłuż osi napięciowej w taki sposób, że dla zerowej wartości prądu wartość napięcia dla węzła łączącego rezystor z kolektorem tranzystora jest równa U_Z . Na podstawie wykresu możliwe jest odczytanie spadku napięcia na tranzystorze oraz spadku napięcia na rezystorze R_C . Suma tych napięć jest równa $U_Z - U_E$, w przypadku układu wg 1a jest równa U_Z . Znajcąc ustaloną wartość prądu kolektora możemy określić napięcie na tranzystorze U_{CE} i spadek napięcia na R_C .



Rys. 2

Proces budowy wzmacniacza RC zazwyczaj rozpoczyna się od doboru wartości rezystancji R_c która w zależności od aplikacji może być dobrana ze względu na dopasowanie rezystancji wyjściowej wzmacniacza z rezystancją obwodu obciążenia, w innym przypadku z uwagi na uzyskanie pożądanej charakterystyki częstotliwościowej lub wymaganej amplitudy napięcia.

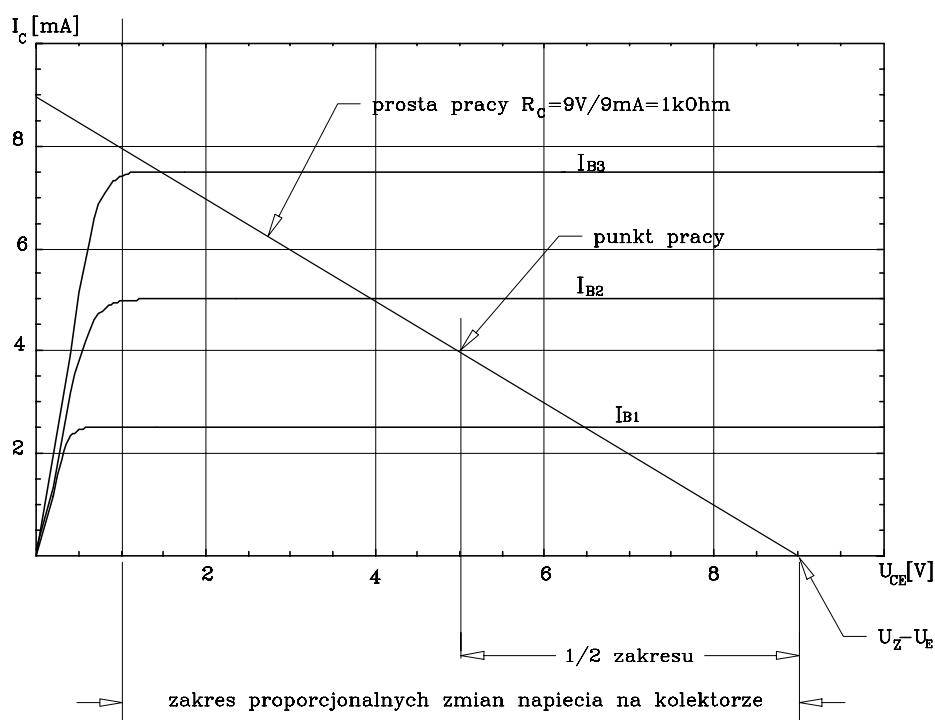
Spoczynkowy punkt pracy - jest to wartość napięcia na kolektorze tranzystora przy braku sygnału wejściowego.

Jeżeli wzmacniacz RC ma dostarczyć na wyjściu maksymalny sygnał o maksymalnej amplitudzie wyjściowej spoczynkowy punkt pracy powinien być wybrany w punkcie centralnym dopuszczalnego zakresu zmian napięcia na kolektorze.

Po wyłączeniu zakresu nasycenia¹ tranzystora ($U_{CE} < U_{BE}$) spoczynkowy punkt pracy dla układu 1a można określić jako:

$$U_C = \frac{U_Z - U_{BE}}{2} + U_{BE}$$

Prąd polaryzacji bazy - jest to wartość prądu stałego wpływającego do bazy przy braku sygnału wejściowego. Ustalając wartość prądu polaryzacji ustalamy wartość napięcia na kolektorze tranzystora dla spoczynkowego punktu pracy. Wartość prądu polaryzacji odczytujemy z charakterystyk wyjściowych tranzystora, na których nakreślona została prosta pracy. Dla zadanej wartości prądu kolektora prąd polaryzacji bazy możemy także obliczyć w oparciu o współczynnik wzmocnienia prądowego β .



Rys. 3

¹ Tranzystor znajduje się w stanie nasycenia jeżeli $U_{CE} < U_{BE}$, wówczas jego własności ulegają degradacji: nie jest spełniony warunek, że $I_c = \beta \cdot I_B$, praktycznie I_c jest znacznie mniejszy, większe są czasy opóźnień, mniejsza jest maksymalna częstotliwość pracy tranzystora.

Wejściowa charakterystyka napięciowo prądowa tranzystora przedstawiona na rysunku 2 jest określona zależnością:

$$I_B = I_S \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U_{BE}}{N \cdot KT}} - 1 \right) \quad [1]$$

gdzie:

I_S - prąd nasycenia,

U_{BE} - napięcie polaryzacji bazy,

KT/q - potencjał elektrokinetyczny $\approx 26\text{mV}$,

N - współczynnik nieidealności (emisji) złącza, jego wartość $1 \div 2$

Jest to charakterystyka napięciowo prądowa diody (złącze baza - emiter).

Znając wartość prądu polaryzacji bazy z charakterystyki wejściowej tranzystora możemy odczytać wartość napięcia polaryzującego bazę tranzystora.

Jeżeli dodatkowo na bazę wprowadzimy sygnał zmienny o niewielkiej amplitudzie, to znając charakterystykę wejściową tranzystora możemy określić: amplitudę składowej zmiennej prądu bazy na podstawie której z kolei możemy wyznaczyć rezystancję wejściową tranzystora. Przybliżoną wartość rezystancji wejściowej dla małych sygnałów możemy również obliczyć analitycznie jako:

$$r_{WE} = \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_{BE}} \quad [2]$$

Różniczkując wzór [1] otrzymamy:

$$r_{WE} \cong \frac{N \cdot KT}{q \cdot I_B} = \frac{N \cdot 26 \text{ mV}}{I_B} \approx \frac{N \cdot 26 \text{ mV}}{I_B} \quad [3]$$

Pierwsze spostrzeżenia

- dla zapewnienia właściwych warunków pracy wzmacniacza RC konieczne jest wprowadzenie do bazy tranzystora dodatkowego prądu wstępnego (prądu polaryzacji bazy),
- poziomy napięć na wejściu i wyjściu tranzystora przy braku sygnału są różne od zera,
- rezystancja wejściowa tranzystora wykazuje znaczną nieliniowość, ponieważ wraz ze zmianą prądu bazy zmienia się wartość rezystancji wejściowej.

Każdy z wymienionych punktów stanowi niedogodność wzmacniacza, i każda z tych niedogodności powinna zostać skompensowana lub przynajmniej zminimalizowana.

To właśnie dlatego niemal każdy wzmacniacz RC zawiera takie dodatkowe elementy jak:

1. R_b - rezystor ustalający prąd polaryzacji bazy,
2. C_1, C_2 - pojemności separujące służące odizolowaniu obwodu wejściowego i wyjściowego wzmacniacza od dodatnich potencjałów stałych występujących na bazie i kolektorze tranzystora,
3. R_s - rezystor linearyzujący charakterystykę tranzystora.

Zadaniem tego rezystora jest linearyzacja charakterystyki przejściowej wzmacniacza. Jeżeli dokładniej przyjrzymy się charakterystyce przedstawionej na rys 2, to łatwo można zauważyć, że jednakowe co do modułu odchyłki napięcia wejściowego w prawo i w lewo w stosunku do ustalonego punktu pracy powodują różne odchyłki prądu. Inaczej mówiąc, większa będzie zmiana prądu bazy jeżeli napięcie zwiększymy o 1mV aniżeli przy zmniejszeniu napięcia bazy o

1mV. Z tego też względu wzmacniacz RC zazwyczaj steruje się prądowo. Umożliwia to stosunkowo duża wartość rezystancji R_S , która zazwyczaj jest wielokrotnie większa od rezystancji wejściowej tranzystora. Takie rozwiązanie zapewnia odpowiednie zmniejszenie nieliniowości, opłacone jest ono proporcjonalnym zmniejszeniem wzmocnienia.

Wersja wzmacniacza wg rys. 1a pomimo dokonanych usprawnień nie jest korzystna dla seryjnego procesu wytwarzania, ponieważ współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystorów w niewielkim stopniu jest powtarzalny. Staranne wykonanie wzmacniacza wg rys.1a będzie każdorazowo wymagało precyzyjnego doboru rezystancji R_B , tak aby uzyskać zaplanowany punkt pracy tranzystora. W seryjnym procesie produkcji taka operacja jest stwarza dodatkowe koszty produkcji.

Wersja wzmacniacza wg 1b pozwala na stosowanie tranzystorów o różnych współczynnikach wzmocnienia prądowego bez konieczności doboru rezystorów.

To korzystniejsze rozwiązanie opłacone zostało wprowadzeniem dodatkowych elementów do układu wzmacniacza. W tym układzie spoczynkowy punkt pracy jest określony za pomocą dzielnika napięcia złożonego z rezystorów R_1 i R_2 oraz rezystora R_E . Relatywnie duża wartość rezystancji R_E w stosunku do r_e zapewnia utrzymanie niemal stałego prądu polaryzacji emitera, co zapewnia utrzymanie stabilnego punktu pracy, w niewielkim stopniu zależnego od temperatury i współczynnika wzmocnienia prądowego. Zwarcie rezystancji R_E kondensatorem o dużej pojemności ma na celu utrzymanie wzmocnienia dla sygnałów zmiennych. Dokładniejsze wyjaśnienie w załączniku IV

Wzmacniacz wg 1c jest kolejną odmianą nie wymagającą doboru elementów w zależności od współczynnika wzmocnienia prądowego. W przeciwieństwie do wykonania 1a i 1b w tym wzmacniaczu tranzystor jest sterowany napięciowo. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie większej impedancji wejściowej wzmacniacza. Dodatkowy rezystor R_e pełni dwie funkcje; stanowi element w obwodzie ujemnego szeregowego sprzężenia prądowego stabilizującego wzmocnienie układu oraz stanowi element linearyzujący. Jeżeli wartość rezystancji R_e jest znacznie większa od nieliniowej rezystancji emitera tranzystora bipolarnego (r_e) możliwa jest znaczna poprawa liniowości wzmacniacza. Dokładniejsze wyjaśnienie w załączniku IV.

Uwaga

W procesie napięciowego wzmocnienia sygnału uczestniczą aktywnie jedynie dwa elementy tranzystor i rezystor w obwodzie kolektora. Pozostałe elementy pełnią funkcje wspomagające lub kompensują niekorzystne własności układu podstawowego.

Należy zwrócić uwagę, że we wzmacniaczu RC ilość elementów wspomagających przekracza ilość elementów biorących bezpośredni udział w procesie wzmocnienia.

Proporcja ta jest inna we wzmacniaczach monolitycznych.

Pomiary

Wykaz aparatury:

- Wkładka uniwersalna DWT1
- generator sinusoidalny przestrajany SGS1, (SN2013)
- oscyloskop dwukanałowy Tektronix 225,
- zasilacz
- sondy x 2

Badane układy należy zestawić przez zamontowanie właściwych elementów dyskretnych na zaciskach wkładki.

Umieszczenie zacisków na płytce drukowanej wkładki przedstawia rysunek 4

Badanie wzmacniacza wersja 1a

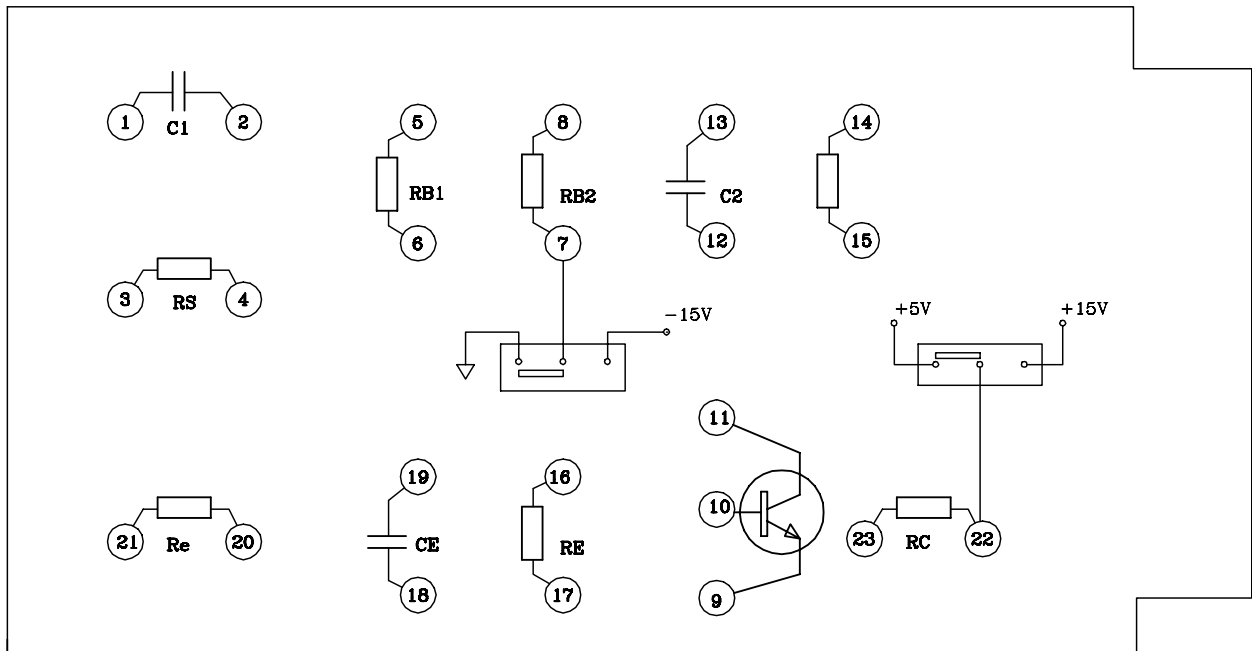
- A. Dla rezystancji kolektora $5k\Omega$ i otrzymanego tranzystora BC107 dobrać najkorzystniejszą wartość napięcia zasilania, a następnie punkt pracy tak aby możliwe było uzyskanie na wyjściu napięcia niezniekształconego o amplitudzie $12V_{pp}$.
- B. Dokonać pomiaru charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza.
- C. Porównać zniekształcenia wzmacniacza przy wyjściowej amplitudzie sygnału wyjściowego $12V_{pp}$ dla dwóch wykonania wzmacniacza:
 1. z rezystancją $R_s=10k\Omega$,
 2. z rezystancją $R_s=0\Omega$,
 Dla drugiego punktu należy odpowiednio zmniejszyć amplitudę sygnału wejściowego.
- E. Dokonać porównania rezystancji wejściowej dla $R_s=10k\Omega$ i $R_s=0\Omega$.

Badanie wzmacniacza wersja 1b

- A. Dla rezystancji $R_C = 3k\Omega$ Dobrać najkorzystniejsze wartości rezystorów R_1 , R_2 i R_E , tak aby przy napięciu zasilania wzmacniacza równym $+15V$ można było uzyskać niezniekształcony sygnał wyjściowy o amplitudzie $10V_{pp}$.
- B. Dokonać pomiaru charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza,
- C. Porównać zniekształcenia wzmacniacza przy wyjściowej amplitudzie sygnału wyjściowego $10V_{pp}$ dla dwóch wykonania wzmacniacza:
 1. z rezystancją $R_s=10k\Omega$,
 2. z rezystancją $R_s=0\Omega$
 Dla drugiego punktu należy odpowiednio zmniejszyć amplitudę sygnału wejściowego.
- E. Dokonać pomiaru rezystancji wejściowej dla $R_s=10k\Omega$ i $R_s=0\Omega$.

Badanie wzmacniacza wersja 1c

- A. Dla rezystancji $R_C = 5\text{ k}\Omega$ Dobrać najkorzystniejsze wartości rezystorów R_2 i R_E , tak aby przy napięciu zasilania wzmacniacza równym $+15\text{V}$ i -15V można było uzyskać nieznkształcony sygnał wyjściowy o amplitudzie 14Vpp .
- B. Dokonać pomiaru charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza.
- C. Porównać zniekształcenia wzmacniacza przy wyjściowej amplitudzie sygnału wyjściowego 14Vpp dla dwóch wykonañ wzmacniacza:
1. z rezystancją $R_E = 220\Omega$,
 2. z rezystancją $R_E = 0\Omega$
- Dla drugiego punktu należy odpowiednio zmniejszyć amplitudę sygnału wejściowego.
- D. Dokonać pomiaru rezystancji wejściowej dla $R_E = 220\Omega$ i $R_E = 0\Omega$.
Dla umożliwienia pomiaru prądu sygnału wejściowego dołączyć rezystor $R_S = 1\text{ }\div\text{ }10\text{ k}\Omega$



Rys. 4 Płytkę drukowaną wkładki DWT1; umiejscowienie elementów

Badania symulacyjne

Badania symulacyjne należy przeprowadzić dla wzmacniaczy RC wg rys. 1a, 1b, i 1c. Dla tranzystora BC 237 należy dobrać najkorzystniejsze wartości elementów, tak aby możliwe było osiągnięcie, przy zadanych napięciach zasilania największych amplitud sygnału wyjściowego.

- przeprowadzić pomiar charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza,
- określić wpływ elementów aplikacyjnych na dolną częstotliwość graniczną wzmacniacza, podać wzór uwzględniający wszystkie trzy obwody determinujące dolną częstotliwość,
- dokonać pomiarów rezystancji wejściowej, także dla wariantów,
- dokonać pomiaru stopnia zniekształceń sygnału wyjściowego dla wzmacniacza z linearyzacją i bez linearyzacji,
- porównać wyniki szacunkowych obliczeń wzmocnienia [9],[10] z wynikami z symulacji.

Dodatek I

Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza

Wzmocnienie napięciowe nieobciążonego wzmacniacza tranzystorowego określa w przybliżeniu⁶ wzór:

$$k_U \cong -g_m \cdot R_C \quad [4]$$

gdzie:

$$g_m = \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} \text{ - transkonduktancja tranzystora,}$$

R_C - rezystancja dołączona do kolektora,

ponieważ, $I_C = \alpha \cdot I_E$, α - współczynnik wzmocnienia prądowego w układzie WB

zatem,

$$g_m = \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} = \alpha \cdot \frac{\partial I_E}{\partial U_{BE}} = \alpha \frac{1}{r_e} \quad [5]$$

wyrażenie $\frac{\partial U_{BE}}{\partial I_E}$ określa dynamiczną rezystancję emitera analogiczną do rezystancji wejściowej określonej na rys 2. W rzeczywistości jest to ta "sama rezystancja" tym razem widziana od strony emitera. Inaczej mówiąc określona zmiana napięcia ΔU_{BE} wymusza zmianę prądu bazy o ΔI_B i prądu emitera o ΔI_E , ponieważ $I_E = (\beta+1) I_B$, zatem:

$$r_e = \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_E} = \frac{r_{B'E}}{\beta + 1} \cong \frac{r_{WE}}{\beta + 1} \quad [6]$$

wartość rezystancji emitera możemy obliczyć także bezpośrednio na podstawie zależności pomiędzy wielkością prądu emitera, a napięciem polaryzującym złącze baza emiter określonej przez wzór Schockleya:

$$I_E = I_{SE} (e^{qU_{BE}/N \cdot KT} - 1) \quad [7]$$

Ponieważ, $I_C = \alpha \cdot I_E$ istnieje więc nieliniowa zależność pomiędzy wartością prądu kolektora a napięciem polaryzującym złącze baza emiter.

$$r_e \cong \frac{N \cdot KT}{q \cdot I_E} \approx \frac{N \cdot 26mV}{I_E} \quad [8]$$

Wzmocnienie napięciowe na rezystorze kolektora R_C będzie równe:

$$k_U \approx -\alpha \cdot \frac{R_C}{r_e} \quad [9]$$

⁶ Wzór nie uwzględnia rezystancji wyjściowej tranzystora r_{CE} . Pominięcie rezystancji wyjściowej nie wprowadza dużego błędu ponieważ $r_{CE} \gg R_C$

Współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza określa więc stosunek dwóch rezystancji: rezystancji w obwodzie kolektora do rezystancji w obwodzie emitera. Warto zauważyć, że wzmocnienie napięciowe bezpośrednio nie zależy od współczynnika prądowego tranzystora, zależy natomiast wprost proporcjonalnie od prądu emitera. Ta korzystna własność niestety nie zawsze może być wykorzystana. powodem jest fakt, że wewnętrzna rezystancja emitera jest nieliniowa. W celu linearyzacji wprowadza się dodatkowy rezystor w obwodzie bazy R_S lub dodatkowy rezystor w obwodzie emitera R_e .

Wprowadzenie dodatkowego rezystora R_S (1a, 1b) o rezystancji wyraźnie większej od impedancji wejściowej tranzystora r_{WE} sprawia, że tranzystor jest sterowany prądowo. Przy prądowym sterowaniu bazy wielkość sygnału na złączu baza emiter uzależniowa jest od impedancji wejściowej tranzystora, ta z kolei zależna jest współczynnika wzmocnienia prądowego.

Korzystniejsza jest sytuacja w przypadku wykonania 1c. Wprowadzenie dodatkowej zewnętrznej rezystancji emitera linearyzuje wzmacniacz, ponieważ maleje względny udział nieliniowej rezystancji r_e z połączonym liniowym rezystorem R_e . Zwiększeniu ulega rezystancja wejściowa, która jest proporcjonalna do iloczynu współczynnika wzmocnienia prądowego i połączonych szeregowo rezystancji $r_e + R_e$.

Dodatkową korzystną cechą tego obwodu jest fakt, że współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza może być łatwo oszacowany jako iloraz rezystancji w obwodzie kolektora (R_C) do szeregowo połączonych rezystancji w obwodzie emitera ($r_e + R_e$).

$$k_U \approx -\alpha \cdot \frac{R_C}{r_e + R_e} \quad [10]$$

Należy zauważyć, że ten bezpośredni wzór określa wzmocnienie napięciowe stosunkowo skomplikowanego obwodu. Wzmacniacz według rys.1c zawiera bowiem pętlę szeregowego, ujemnego, prądowego sprzężenia zwrotnego.

Przyjmowane niemal na prawach dogmatu twierdzenie, że ujemne sprzężenie zwrotne poprawia liniowość wzmacniacza w tym przypadku nie wymaga nawet dowodu. Liniowość wzmacniacza uległa poprawie, ponieważ do nieliniowej rezystancji wewnętrznej emitera r_e został dołączony szeregowo liniowy rezystor zewnętrzny R_e . Jest oczywiste, że nieliniowość wypadkowej rezystancji ($r_e + R_e$) będzie mniejsza.

Dodatek II

Degradacja wzmacniacza przy wyższych częstotliwościach pracy

Wprowadzone pojemności C_1 , C_2 , C_E włączone szeregowo w torze sygnałowym zmieniają własności wzmacniacza w zakresie niskich częstotliwości i są przyczyną znacznych przesunięć fazowych.

W układzie wzmacniacza istnieją także pojemności będące skutkiem przemieszczenia się ładunków w półprzewodniku lub wynikające z procesu dyfuzji nośników. Pojemności te istnieją w obszarze złącz i są nierozdzielnie związane z pracą tranzystora bipolarnego. Obie te pojemności z uwagi na nieliniowy charakter zdefiniujemy jako:

$$C(U) = \frac{\partial Q}{\partial U} \quad [11]$$

zwierają one złącze baza emiter i złącze baza kolektor. Ponieważ źródła sterujące (zewnętrzne i wewnętrzne) mają rezystancje różne od zera, nieuchronnie wytworzone zostają filtry dolnoprzepustowe. Pierwszym z nich jest filtr dolnoprzepustowy na złączu baza emiter, natomiast filtr drugi, w obwodzie kolektora, stanowią pojemność złącza kolektor baza i rezystancja w obwodzie kolektora).

Zajmiemy się filtrem pierwszym, ponieważ ten filtr z uwagi na dużą wartość pojemności C_{BE} głównie kształtuje charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza.

Jak wspomniano wcześniej rezystancję wejściową tranzystora zdefiniowaliśmy jako pochodną funkcji określającej zależność prądu od napięcia dla złącza baza emiter. Rezystancja wejściowa nie ma więc charakteru zwykłego rezystora.

Podobnie jest z pojemnością wejściową, która schematach zastępczych przedstawiana jako element dyskretny w rzeczywistości jest pojemnością zmienną zależną od przepływającego prądu polaryzacji bazy I_B .

W programie symulacyjnym pojemność ta jest sprecyzowana za pośrednictwem parametru τ , który określa czas przelotu nadmiarowych nośników mniejszościowych przez bazę. Zgodnie z [11]:

$$C_{BE} = \frac{\partial Q}{\partial U}$$

Ładunek Q stanowią, wstrzyknięte przez emiter, nośniki nadmiarowe w neutralnym obszarze bazy, które po czasie τ opuszczają bazę; można więc zapisać, że $Q = I_E \cdot \tau$

Pojemność jest więc ilorazem przyrostu ładunku nadmiarowych nośników do przyrostu napięcia na złączu baza emiter.

zatem:

$$C_{BE} = \frac{\partial Q}{\partial U} = \frac{\partial I_E}{\partial U_{BE}} \cdot \tau \quad [12]$$

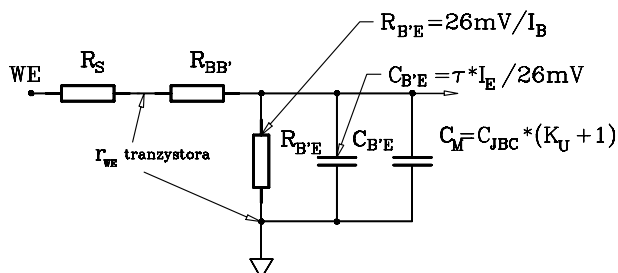
zależność prądu emitera od napięcia baza -emiter określa wzór [7]; po wstawieniu obliczonej już pochodnej funkcji [8] otrzymamy.

$$C_{BE} = \frac{I_E}{N \cdot 26mV} \cdot \tau = \frac{\tau}{r_e} \quad [13]$$

Oszacowaliśmy największą z pojemności występującą w tranzystorze bipolarnym. Należy pamiętać, że do bazy dołączona jest także pojemność złącza baza kolektor, która aczkolwiek jest znacznie mniejsza powinna być uwzględniona w układach o dużym wzmocnieniu z uwagi na tzw. efekt multiplikacji. Wartość tej pojemności widziana od strony bazy jest $k_U + 1$ razy większa.

Reasumując charakterystykę częstotliwościową dla wyższych częstotliwości determinuje prosty filtr dolno przepustowy pierwszego rzędu w którym wypadkowa pojemność jest sumą pojemności dyfuzyjnej złącza baza emiter i zmnożonej, przez współczynnik wzmocnienia napięciowego, pojemności złącza baza kolektor, natomiast wypadkowa rezystancja jest kombinacją nieliniowej dynamicznej rezystancji wejściowej, rezystancji szeregowej bazy³ i rezystancji linearyzującej R_S .

Elementy wchodzące w skład filtra przedstawia rysunek 5.



Rys. 5 Elementy filtra dolnoprzepustowego ograniczającego pracę tranzystora w zakresie wielkich częstotliwości. Zmnożona pojemność złącza kolektor-baza C_M może być pominięta jeżeli wzmocnienie napięciowe wzmacniacza jest mniejsze od 100. Jeżeli dodatkowo $R_S \gg R_{B'E}$, to stałą czasową filtra można określić w przybliżeniu jako $\tau \cdot \beta$, gdzie: τ - czas przelotu nosników przez bazę, β - współczynnik wzmocnienia prądowego.

Drugie spostrzeżenie

Górna częstotliwość pracy wzmacniacza RC zdeterminowana jest głównie przez parametry zastosowanego tranzystora.

Dodatek III

Pomiar nieliniowości wzmacniacza

Nieliniowość wzmacniacza oszacować możemy przy pomocy miernika zniekształceń nieliniowych dokonując pomiaru zniekształceń sygnału wyjściowego i sygnału wejściowego, następnie obliczając procentową różnicę zniekształceń.

Przy braku wymienionego przyrządu porównania wielkości stopnia zniekształceń sygnału należy dokonać przy pomocy oscyloskopu przy maksymalnej amplitudzie napięcia wyjściowego.

³ Wzór [3] w przybliżeniu określa rezystancję wejściową; w rzeczywistości jest ona sumą rezystancji dynamicznej złącza idealnego (R_{BE}) określonej wzorem [3] i tzw. rezystancji rozproszenia bazy ($R_{BB'}$), która w przeciwieństwie do pierwszej ma charakter liniowy. Jej wartość zazwyczaj nie przekracza 20% wartości R_{BE}

Dodatek IV

Wpływ pojemności C_E na pracę wzmacniacza RC

We wzmacniaczach wg 1b i 1c rezystor R_E bezpośrednio określa wartość prądu emitera i tym samym prądu kolektora, co zapewnia utrzymanie stabilnego punktu pracy. Ponieważ w obu tych układach zarówno baza jak i emiter posiadają potencjały różne od zera zastosowano pojemność C_E , która umożliwi przekazanie sygnału wejściowego na złącze baza emiter. W żargonie technicznym- pojemność C_E zwiera emiter z masą dla sygnałów zmiennych.

Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza RC określają wzory [9], [10]. Pierwszy z nich określa wzmocnienie napięciowe wzmacniacza wg. rys. 1a, natomiast drugi określa wzmocnienie napięciowe wzmacniacza wg. rys. 1c jeżeli pojemność C_E nie występuje (zwarcie). Jeżeli w obwodzie emitera tranzystora istnieje reaktancja pojemnościowa winna być ona wprowadzona do wzorów [9] i [10], ponieważ jest ona połączona szeregowo z wewnętrzną rezystancją emitera r_e . Zatem wzmocnienie napięciowe wzmacniacza z pojemnością C_E będzie określać wzór:

$$k_U \approx -\alpha \cdot \frac{R_C}{r_e + R_E + \frac{1}{j\omega \cdot C_E}} \quad [14]$$

wartość reaktancji kształtuje więc charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza. Wielkość pojemności C_E determinuje więc częstotliwość graniczną wzmacniacza, która w przypadku wzmacniacza⁴ wg 1b wyniesie:

$$f_d = \frac{1}{2\pi \cdot C_E \cdot r_e} = \frac{I_E}{2\pi \cdot C_E \cdot N \cdot 26mV} \quad [15]$$

gdzie :

I_E - prąd polaryzacji emitera,

N - współczynnik emisji (nieidealności złącza ok. 1+)

Dla zapewnienia małej wartości f_d pojemność C_E powinna być duża, ponieważ wartość rezystancji wewnętrznej emitera jest mała (<25 Ω)

⁴ Wzór ten nie uwzględnia wpływu na charakterystykę wzmacniacza obwodów wejściowego ($C1, r_{we}$) i wyjściowego ($C2$ z R_C).