



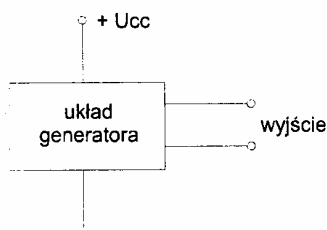
INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

NR.5

TRANZYSTOROWE GENERATORY NAPIĘĆ SINUSOIDALNYCH.

1. Wstęp.

Generatorem nazywany jest układ elektroniczny samorzutnie wytwarzający zmienne przebiegi elektryczne, zazwyczaj okresowe. W odróżnieniu do wzmacniacza, generator posiada tylko zaciski wyjściowe i zaciski zasilania, pozbawiony jest natomiast zacisków wejściowych (Rys.1).



Rys.1 Schemat blokowy generatora.

Generatory przebiegów sinusoidalnych tworzą szczególną klasę, ponieważ każde drgania fizyczne mogą być interpretowane, na podstawie rozkładu Fouriera, jako suma drgań harmonicznnych. Źródła drgań sinusoidalnych znajdują liczne zastosowania, np. w radiokomunikacji, w miernictwie, w systemach opartych na pomiarze czasu, itd.

Ze względu na przeznaczenie wyróżnia się dwa podstawowe typy generatorów:

- generatory częstotliwości – źródła o dużej stałości drgań,
- generatory mocy – źródła energii prądu przemiennego, w których problem stałości drgań odgrywa drugorzędną rolę, natomiast najważniejsze jest otrzymanie dużej mocy i dużej sprawności energetycznej.

Pod względem struktury układu, generatory drgań sinusoidalnych można podzielić na:

- generatory RC (ze sprzężeniem zwrotnym),
- generatory LC ze sprzężeniem zwrotnym,
- generatory LC z elementami o ujemnej rezystancji,
- generatory ze stabilizacją piezoelektryczną (np. kwarcowe).

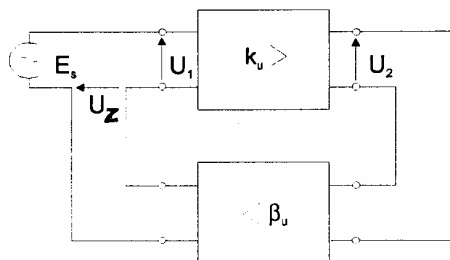
Źródło napięcia zmiennego, jakim jest generator drgań sinusoidalnych, opisywane jest innymi niż wzmacniacz, parametrami. Najważniejsze z nich to:

- częstotliwość przebiegu i zakres jej przestrajania,

- stałość częstotliwości i amplitudy – określające zmiany długoterminowe, będące efektem zmian warunków otoczenia (temperatura, napięcie zasilające) lub starzenia się elementów układu,
- fluktuacje częstotliwości i amplitudy – określające krótkotrwałe wahania częstotliwości lub amplitudy, powstające na skutek wpływu zmian zewnętrznych pól elektromagnetycznych, tętnień napięcia zasilającego, itp.,
- zawartość harmoniczných (zniekształcenia nieliniowe),
- parametry energetyczne (moc, sprawność).

1.1. Warunki generacji

Generacja drgań w układzie wzmacniacza objętego sprzężeniem zwrotnym następuje przy braku stabilności tego układu (Rys.2). Załóżmy, że dana jest transmitancja wzmacniacza k_u oraz transmitancja β_u czwornika realizującego sprzężenie zwrotne (przyjmujemy przybliżenie liniowe):



Rys.2 Generator jako wzmacniacz objęty sprzężeniem zwrotnym.

$$k_u = \frac{U_2}{U_1}; \quad (1)$$

$$\beta_u = \frac{U_z}{U_2} \quad (2)$$

Obliczmy transmitancję układu zamkniętego:

$$k_f = \frac{U_2}{E_s}. \quad (3)$$

Ponieważ $E_s = U_1 - U_z$, zatem mamy:

$$k_f = \frac{U_2}{U_1 - U_z}. \quad (4)$$

Przekształcając wyrażenie (4), otrzymujemy:

$$k_f = \frac{U_2}{U_1 - U_z} = \frac{\frac{U_2}{U_1}}{1 - \frac{U_z}{U_1}} = \frac{U_2}{U_1} \frac{1}{1 - \frac{U_z}{U_1}},$$

stąd:

$$k_f = \frac{k_u}{1 - k_u \beta_u}. \quad (5)$$

W przypadku, gdy:

$$k_u \beta_u = 1, \quad (6)$$

k_f dąży do nieskończoności, układ staje się niestabilny, co fizycznie oznacza generację drgań. Równanie (6) nazywane jest *warunkiem generacji*. Ponieważ k_u i β_u są wielkościami zespolonymi, tzn.

$$k_u \beta_u = \operatorname{Re}(k_u \beta_u) + j \operatorname{Im}(k_u \beta_u) = |k_u \beta_u| \cdot \exp(j\varphi_u), \quad (7)$$

warunek generacji można zapisać w postaci dwóch równań:

$$|k_u \beta_u| = 1 \quad (8)$$

$$\varphi_u = 0 \pm 2k\pi, \quad k \in N. \quad (9)$$

Równanie (8) nazywane jest *warunkiem amplitudy*, natomiast (9) – *warunkiem fazy*.

Warunek amplitudy wyraża konieczność przyłożenia do wejścia wzmacniacza części $|\beta_u|$ napięcia U_2 pobieranego z wyjścia, aby po wzmocnieniu $|k_u|$ razy otrzymać znowu napięcie wyjściowe U_2 przy braku napięcia E_S ($E_S = 0$). Warunek fazy oznacza konieczność zerowego przesunięcia fazowego sygnału w pętli generatora.

Warto w tym miejscu zauważyć, że ściśle spełnienie warunku (8) byłoby trudne do spełnienia ze względu na rozrzut i pewną fluktuację parametrów układu. Co więcej, warunek (8) zapewniałby podtrzymanie drgań istniejących, pozostawiając nieokreślonym proces ich wzbudzenia. Dlatego też zamiast równania (8) należałoby raczej zapisać:

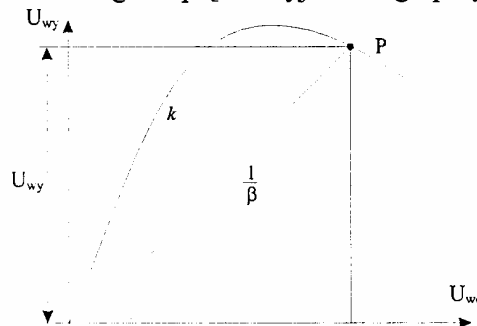
$$|k_u \beta_u| \geq 1 \quad (10)$$

1.2. Amplituda generowanych drgań.

Zgodnie z przyjętym opisem liniowym, drgania narastają nieograniczenie. W rzeczywistości po pewnym czasie amplituda zostaje ograniczona przez nieliniowości elementu aktywnego. Znalezienie amplitudy metodami analitycznymi nie zawsze jest możliwe. Metoda *funkcji opisującej* jest natomiast prostsza, lecz mniej dokładna (rys.3). Polega ona na założeniu, że drgania ustalają się wtedy, gdy warunek amplitudy (8) jest spełniony dla pierwszej harmonicznej generowanego przebiegu. Oznacza to pominięcie wpływu wyższych harmonicznych na warunek amplitudy, dzięki istnieniu obwodu rezonansowego.

Graficzne określenie amplitudy drgań polega na znalezieniu punktu przecięcia P jest charakterystyki dynamicznej wzmacniacza (krzywa k) z linią prostą o nachyleniu $1/\beta$, stanowiącą charakterystykę dynamiczną czwórnika sprzęgającego (z założenia liniowego)

Nachylenie krzywej k blisko początku układu współrzędnych jest równe wzmocnieniu tranzystora dla małych sygnałów. W miarę wzrostu amplitudy napięcia wejściowego na wejściu wzmacniacza, amplituda pierwszej harmonicznej napięcia wyjściowego wzrasta początkowo liniowo, następnie wolniej, a dla dużych sygnałów wejściowych może nawet maleć (wtedy większość energii napięcia wyjściowego przypada na wyższe harmoniczne).



Rys. 3. Wyznaczanie amplitudy drgań generatora metodą funkcji opisującej.

1.3. Właściwości generatorów

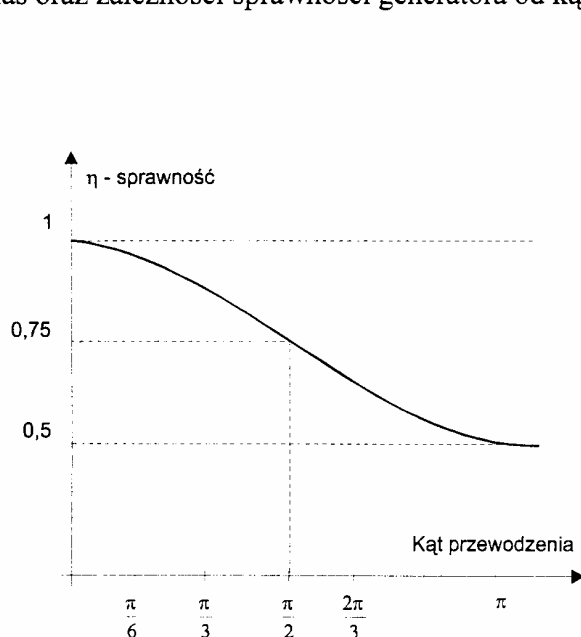
Parametry energetyczne oraz zawartość harmoniczných determinowane są przez klasę pracy wzmacniacza objętego pętlą sprzężenia zwrotnego (rys.2), która zależy od polaryzacji złącza emiterowego. Generatory pracujące w klasie A oraz B charakteryzują się niewielką sprawnością i niewielką mocą wyjściową. Odznaczają się natomiast dużą stałością generowanej częstotliwości.

Praca generatora w klasie C zapewnia wysoką sprawność oraz dużą moc wyjściową. W klasie A i B napięcie polaryzujące uzyskuje się stosując dzielnik potencjometryczny. W klasie C punkt pracy jest obrany w zakresie zatkania złącza emiterowego, przez jego odpowiednią polaryzację. Dopiero doprowadzenie do złącza emiter-baza napięcia o odpowiednio dużej amplitudzie, odblokowuje tranzystor, który zaczyna przewodzić. Dzieje się to w pewnym odcinku przebiegu zmiennego doprowadzonego do złącza. Okres czasu, w którym tranzystor przewodzi i wzmacnia określa się tak zwanym kątem przewodzenia (przepływu) prądu kolektora. Im mniejszy jest ten kąt, czyli im krócej przewodzi prąd kolektora, tym większa jest sprawność generatora.

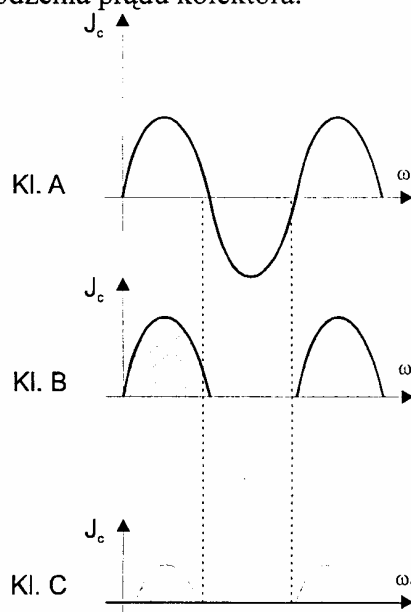
Przebiegi otrzymywane z generatora mają kształt zależny od klasy, w której on pracuje. W klasie A otrzymuje się najmniej odkształcony przebieg sinusoidalny, w klasie B i C generowane przebiegi odbiegają znacznie od sinusoidy. Przebieg taki należy doprowadzić do obwodu rezonansowego LC, który analizując podany przebieg wybiera z niego częstotliwość własną (rezonansową obwodu). Stałość częstotliwości jest więc w tym wypadku zależna od stałości rezonansu własnego obwodu rezonansowego.

Z powyższego wynika, że generatory RC mogą pracować tylko w klasie A, natomiast w klasie B i C mogą pracować generatory z obwodem rezonansowym, czyli generatory LC.

Na rys.4a i 4b pokazano przebiegi prądów kolektora dla generatorów poszczególnych klas oraz zależności sprawności generatora od kąta przewodzenia prądu kolektora.

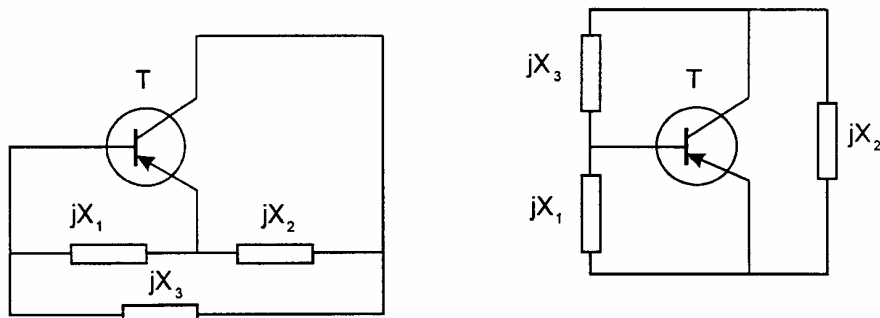


Rys.4a. Zależność sprawności generatora od kąta przepływu (przewodzenia).



Rys.4b. Kształt prądu kolektora przy różnych klasach pracy generatora.

Na rys.5 podany jest uproszczony zastępczy schemat generatora LC, słuszny dla przebiegów zmiennych.



Rysunek 5. Schematy zastępcze generatorów LC.

Na Rys.5 jX_1 , jX_2 , jX_3 oznaczają czyste reaktancje. Rozwiązując podane układy można wyprowadzić zależności, z których wynikają warunki, jakie muszą spełniać reaktancje, aby układ zaczął generować.

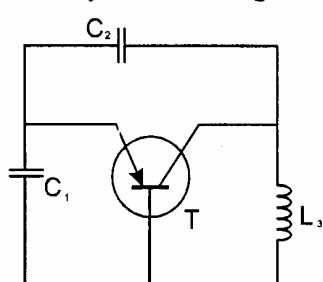
Okazuje się, że warunkiem generacji jest, aby:

1. reaktancje X_1 i X_2 muszą mieć ten sam znak (obie muszą mieć charakter indukcyjny, lub obie charakter pojemnościowy).
2. reaktancje X_2 i X_3 muszą mieć znak przeciwny, jeżeli X_2 ma charakter pojemnościowy, to X_3 powinno być indukcyjnością i odwrotnie.

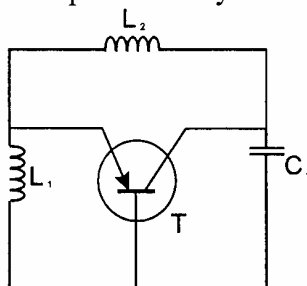
Opierając się na podanych warunkach można przewidzieć możliwość realizacji generatorów LC w następujących układach:

1. Generator z dzieloną pojemnością, tzw. generator Colpittsa. W tym układzie X_1 i X_2 są pojemnościami, zaś X_3 indukcyjnością.
2. Generator z dzieloną indukcyjnością, tzw. generator Hartleya. W tym układzie X_1 i X_2 są indukcyjnościami, a X_3 pojemnością.

Schematy omówionych układów generatorów LC podano na rys. 6a i 6b.

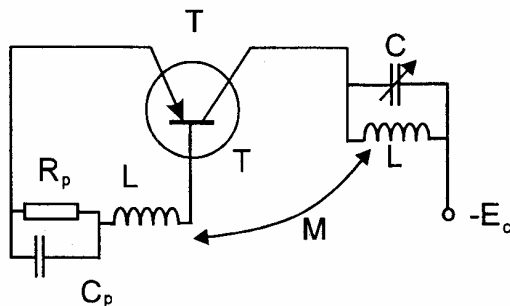


Rys. 6a. Generator w układzie Colpittsa (z dzieloną pojemnością)



Rys. 6b. Generator w układzie Hartleya (z dzieloną indukcyjnością).

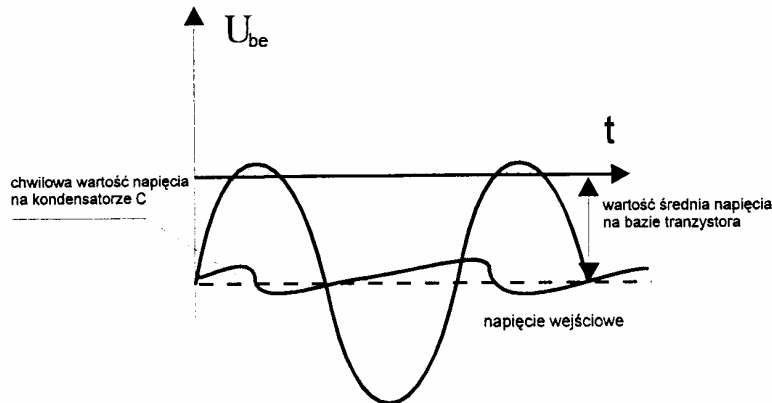
Inną, często stosowaną odmianą generatora LC jest tzw. generator Meissnera, w którym występuje sprzężenie transformatorowe (rys.7).



Rys. 7. Generator Meissnera.

W tym układzie generatora transformator spełnia rolę czwórnika sprzężenia zwrotnego. Transformator odwraca fazę napięcia podawanego z wyjścia na wejście wzmacniacza o kąt π (180°). Generator ten pracuje w klasie C. Napięcie polaryzujące dodatnie złącze emiterowe, które blokuje to złącze, uzyskano przez polaryzację dynamiczną, pozyskaną w układzie R_p i C_p . Zasada działania tej polaryzacji jest następująca.

W czasie ujemnego półokresu napięcia (zmiennego) w obwodzie bazy, kondensator C_p ładuje się prądem bazy do napięcia równego w przybliżeniu amplitudzie przyłożonego napięcia zmiennego. Gdy chwilowa wartość napięcia zmiennego jest mniejsza od wartości szczytowej, kondensator rozładowuje się przez opornik R_p . Kiedy tranzystor przewodzi, następuje doładowanie kondensatora ze źródła napięcia zmiennego. Opisane przebiegi napięć podano na rys.8.



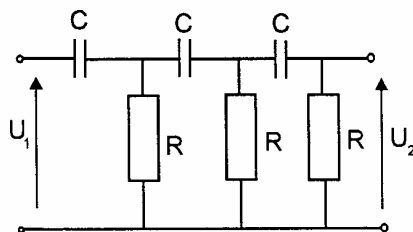
Rys.8 Przebiegi napięć w obwodzie bazy generatora pracującego w klasie C.

Warunkiem stabilnej pracy generatora w tym układzie jest właściwe dobranie stałej czasowej obwodu $R_p C_p$, musi być ona mianowicie duża w porównaniu z okresem generowanego napięcia.

Generatory RC używane są szeroko w generacji niższych częstotliwości, dla których praktycznie nie można już realizować układów rezonansowych. W układach RC stosowany jest przesuwnik fazowy jako czwórnik sprzęgający. Czwórnik ten daje przesunięcie fazowe wymagane dla uzyskania generacji tylko dla jednej częstotliwości. Najprostszy czwórnik tego typu podaje rys.9. Daje on przesunięcie fazowe równe π (180°). Częstotliwość, dla której to wystąpi zleży od wielkości stosowanych elementów R i C.

Można wyprowadzić wyrażenie określające tę częstotliwość, mianowicie:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$$



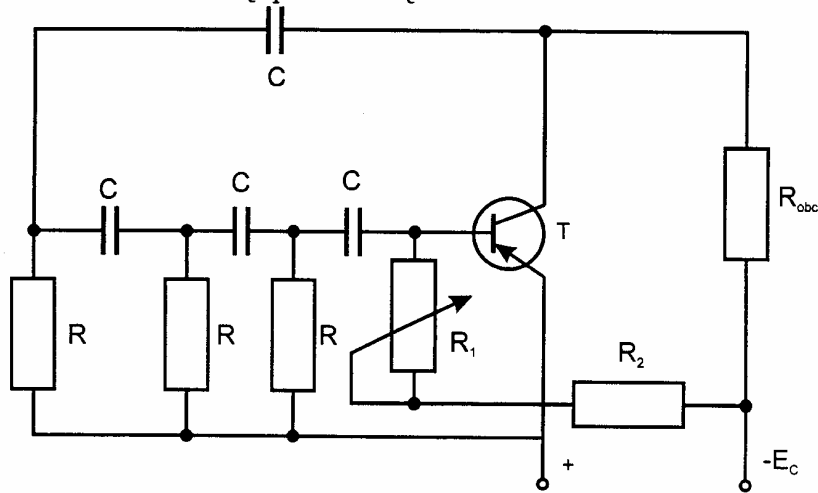
Rys.9 Układ najprostszego przesuwnika fazowego RC.

Układ przesuwnika składa się z trzech ogniw RC. Każde ogniwo RC daje przesunięcie fazowe mniejsze od $\pi/2$ (90°). Dla jednej częstotliwości, określonej podanym wzorem, każde ogniwo da przesunięcie $\pi/3$ (60°), a trzy dadzą wymagane przesunięcie π (180°). Jednocześnie musi być spełniony warunek amplitudy, aby powstały drgania, czyli tłumienia β

(współczynnik sprzężenia czwornika RC) nie powinno być większe od $\frac{1}{K_U}$, gdzie K_U jest współczynnikiem wzmocnienia napięciowego podstawowego wzmacniacza tranzystorowego.

Na rys.10 pokazano podstawowy schemat generatora tranzystorowego RC.

Należy zwrócić uwagę, że generatory RC pozwalają na stosunkowo proste przestrajanie na wymaganą częstotliwość. Muszą jednak pracować w klasie A, co łączy się z większą stratą mocy w elementach układu i małą sprawnością.



Rys.10. Podstawowy schemat generatora tranzystorowego RC.

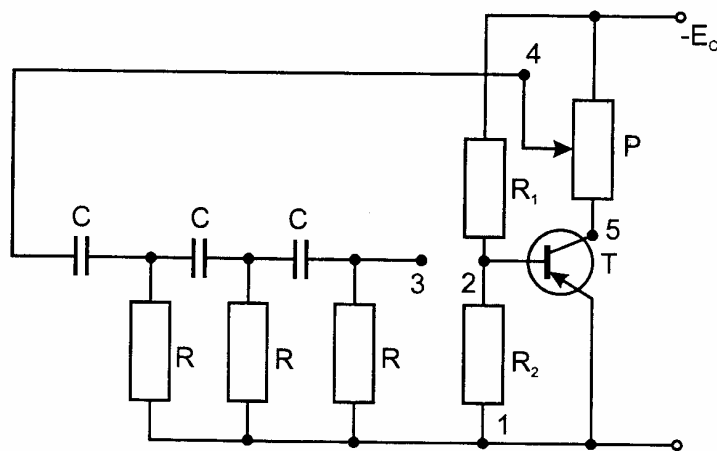
3. Przebieg ćwiczenia.

W ćwiczeniu przeprowadza się badanie parametrów czworników sprzężenia zwrotnego, wzmacniaczy oraz układów generujących typu RC.

3.1. Badanie generatora RC.

Badany generator RC jest generatorem tranzystorowym. Czwornik sprzężenia zwrotnego jest przesuwnikiem fazowym. Współczynnik sprzężenia zwrotnego może być regulowany przy pomocy potencjometru P.

Tranzystor we wzmacniaczu podstawowym pracuje w układzie WE. Zasilanie przeprowadzono poprzez układ potencjometryczny R_1 R_2 , oporność kolektorową stanowi potencjometr P. Schemat badanego generatora podano na rys. 11.



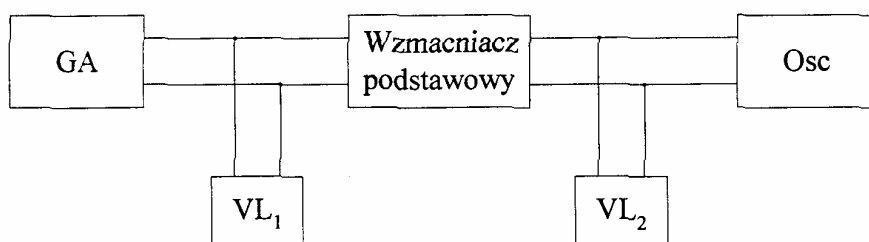
Rysunek 11. Schemat badanego generatora RC.

Wzmacniacz podstawowy generatora tranzystorowego: zaciski wejściowe 1-2, zaciski wyjściowe 1-5.

Czwórnik sprzęgający RC: zaciski wejściowe 1-4, zaciski wyjściowe 1-3. Po zwarceniu zacisków 3, 2 zamyka się pętla sprzężenia zwrotnego.

3.1.1. Charakterystyka dynamiczna wzmacniacza podstawowego.

Należy wykonać układ połączeń jak na rys.12. Pętla sprzężenia zwrotnego otwarta (zaciski 3, 2 rozwarte). Generator akustyczny GA podaje całą częstotliwość, napięcie generatora należy zmieniać od zera, aż do wartości, przy której wystąpią zniekształcenia przebiegu wyjściowego, które należy zaobserwować na oscyloskopie. Na podstawie pomiarów należy wypełnić tabelkę.



Rys.12. Schemat pomiarowy do wyznaczania charakterystyki dynamicznej wzmacniacza podstawowego.

Użyte przyrządy: GA - generator akustyczny,
 VL₁, VL₂ - woltomierze lampowe,
 Osc - oscyloskop katodowy,
 1-2 - wejście wzmacniacza,
 1-5 wyjście wzmacniacza.

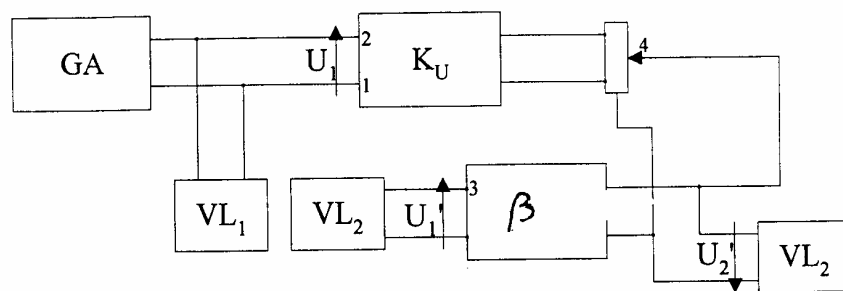
U _{we}	V			
U _{wy}	V			

3.1.2. Charakterystyka czwórnika sprzężenia zwrotnego RC.

Charakterystykę należy wyznaczyć dla kilku wartości współczynnika sprzężenia, czyli dla kilku położeń potencjometru P.

Układ pomiarowy należy zmontować w następujący sposób:

Na wejście wzmacniacza podstawowego (zaciski 1-2) włączyć generator akustyczny GA, z potencjometru P napięcie podawane jest na wejście czwórnika RC, napięcie to mierzy woltomierz VL₃ (zaciski 4-1), na wyjściu czwórnika RC napięcie mierzy woltomierz VL₂ (zaciski 3-1). Schemat pomiarowy podaje rys.13.



Rys.13. Schemat pomiarowy do wyznaczania charakterystyki czwórnika sprzężenia zwrotnego RC.

K_U - wzmacniacz podstawowy,

β - czwórnik sprzęgający.

UWAGA: Zmiana oporności P powoduje zmianę napięcia podawanego na czwórnik, a więc na wielkość β . Położenie potencjometru należy tak dobrać, aby uzyskać wartość na $\beta_{\max}$, $\beta_{\min}$ i pośrednią.

$\beta_{\max}$		$\beta_{\min}$		$\beta_{\text{pośr}}$	
U_1'	U_2'	U_1'	U_2'	U_1'	U_2'
V	V	V	V	V	V

Na podstawie poprzednich pomiarów należy wykonać wykresy $U_2=f(U_1)$ oraz $U_2'=f(U_1')$. Oba wykresy należy umieścić na jednym rysunku, punkt przejścia obu linii wyznacza amplitudę drgań układu generacyjnego (warunek amplitudy) ponieważ w tym punkcie (rys. 15)

$$K_U = \frac{1}{\beta}$$

Znając wartości oporności i pojemności stosowanych w czwórnikach sprzęgających można wyznaczyć częstotliwość drgań ze wzoru:

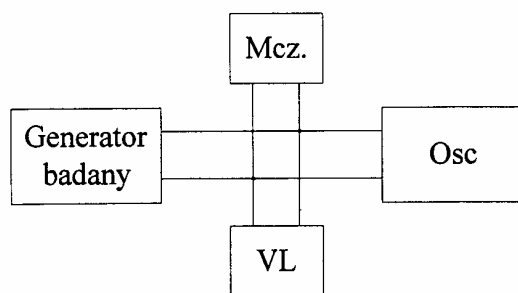
$$f_G = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} \quad \text{Hz} \quad \text{gdzie } R = \dots\dots\dots \Omega$$

$$C = \dots\dots\dots \mu F$$

Zmiana jednoczesna wszystkich wartości R lub wszystkich wartości C w czwórniku pozwala na zmianę częstotliwości generowanej przez układ.

3.1.3. Wyznaczanie częstotliwości generowanej i napięcia wejściowego w zależności od współczynnika sprzężenia.

Przy tym pomiarze należy zamknąć pętlę sprzężenia zwrotnego (zwarłe zaciski 2-3). Zmieniając wartość sprzężenia poprzez regulację potencjometru P należy mierzyć generowaną częstotliwość oraz wyjściowe napięcie. Jednocześnie należy obserwować kształt wyjściowego napięcia na oscyloskopie. Układ pomiarowy podaje rys.14.,



Rysunek 14. Układ pomiarowy do wyznaczania częstotliwości generowanej i napięcia wejściowego w zależności od współczynnika sprzężenia.

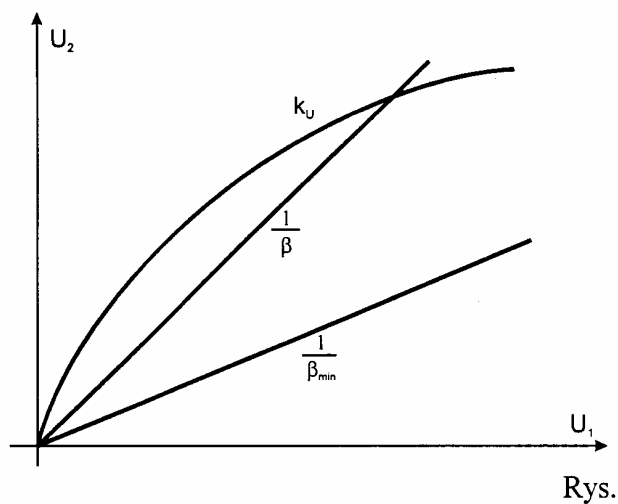
gdzie:

Mcz. - miernik częstotliwości,

VL - woltomierz lampowy,

Osc - oscyloskop katodowy.

	U_{Gen}	f_{Gen}	kształt napięcia wyjściowego
	V	V	
β_{max}			
β_{min}			
$\beta_{pośr}$			



Rys.15. Wyznaczanie amplitudy drgań generatora

4.Pytania:

1. Warunki powstania generacji
2. Sposób wyznaczania amplitudy drgań generowanych.
3. Podstawowe układy generatorów LC.
4. Dynamiczna polaryzacja złącza tranzystora pracującego w klasie C.