

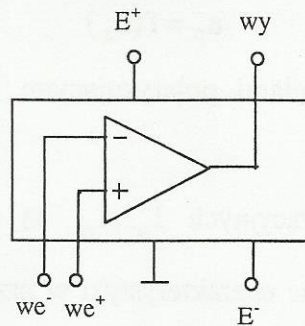
BADANIE UKŁADÓW ZAWIERAJĄCYCH WZMACNIACZE OPERACYJNE

CEL ĆWICZENIA:

Poznanie zasady działania wzmacniacza operacyjnego w zakresie niskich częstotliwości. Analiza układów zawierających wzmacniacze operacyjne pracujące w zakresie liniowym i nieliniowym.

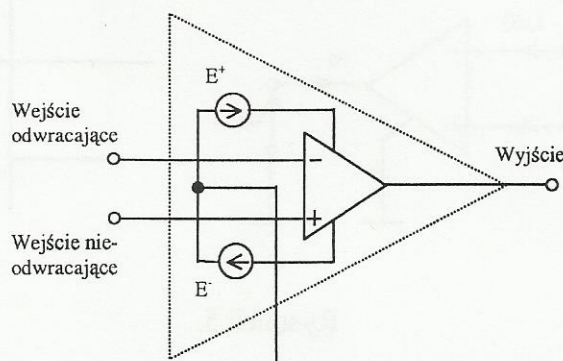
WPROWADZENIE

Wzmacniacz operacyjny (w.o.) jest wielokońcówkowym przyrządem półprzewodnikowym mającym zastosowanie w wielu układach elektronicznych. Zwykle w.o. ma 8 lub więcej wyprowadzeń, ale w większości zastosowań 6 z nich, zaznaczonych na rysunku 1, jest istotnych.



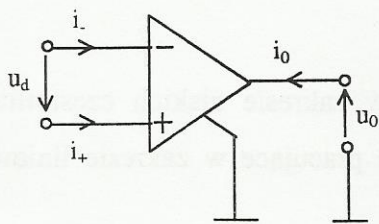
Rysunek 1.

Wyprowadzenia E^+ i E^- (zasilanie) przeznaczone są do ustalenia właściwych punktów pracy wewnętrznym elementom w.o. (tranzystorom i diodom). Są one dołączane do zasilacza (zwykle $+15V$ i $-15V$). Pozostałe 4 wyprowadzenia są dostępne do zewnętrznych połączeń (rysunek 2).

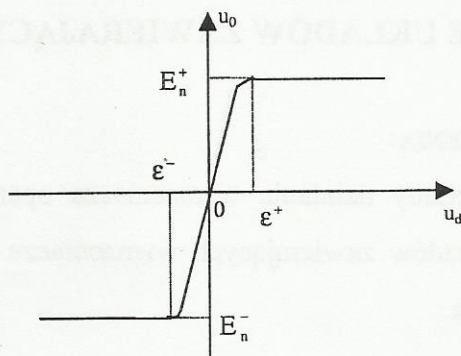


Rysunek 2.

Przyrząd wewnątrz trójkąta narysowanego na rysunku 2 przerywaną linią będzie oznaczany w dalszej części poprzez symbol pokazany na rysunku 3.



Rysunek 3.



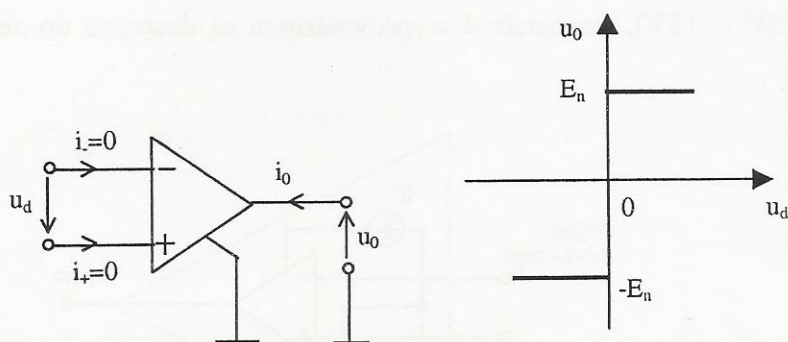
Rysunek 4.

Dla zastosowań w zakresie niskich częstotliwości prądy i napięcia wyprowadzeń w.o. spełniają następujące zależności:

$$\begin{aligned} i_- &= I_{B^-} \\ i_+ &= I_{B^+} \\ u_0 &= f(u_d) \end{aligned}$$

gdzie I_{B^-}, I_{B^+} są wejściowymi prądami polaryzującymi, a $f(u_d)$ jest symetryczną funkcją pokazaną na rysunku 4.

W większości wzmacniaczy operacyjnych I_{B^-}, I_{B^+} są mniejsze niż 0.01mA , ϵ^+, ϵ^- są mniejsze niż 0.1mV , zaś nachylenie charakterystyki w przedziale $[\epsilon^-, \epsilon^+]$ oznaczane zwykle A jest większe niż 100000V/V , $E_n^+ = -E_n^- = E_n \cong 14\text{V}$ (zależne od napięcia zasilania). Biorąc pod uwagę powyższe wartości możemy przyjąć: $I_{B^-} = I_{B^+} = 0, A = \infty$ otrzymując model idealnego w.o. przedstawiony na rysunku 5.



Rysunek 5.

W zakresie niskich częstotliwości idealny w.o. jest bardzo dobrym przybliżeniem rzeczywistego układu i jest powszechnie stosowany w analizie układów zawierających w.o. Idealny wzmacniacz operacyjny jest opisany następującymi równaniami:

$$i_- = i_+ = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} u_o &= E_n & u_d &> 0 \\ u_o &= -E_n & u_d &< 0 \\ -E_n &< u_o < E_n & u_d &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Funkcja $f(u_d)$ jest więc reprezentowana przez 3-odcinkową charakterystykę, która określa trzy obszary pracy: obszar liniowy, obszar nasycenia dodatniego i obszar nasycenia ujemnego.

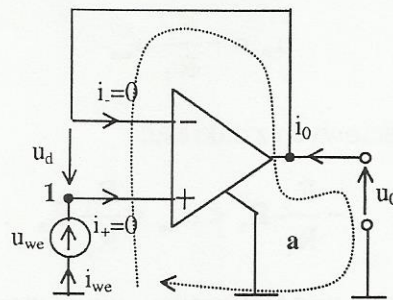
Wzmacniacz operacyjny pracujący w zakresie liniowym

W obszarze pracy liniowej idealny wzmacniacz operacyjny jest opisany zależnościami:

$$i_- = i_+ = 0 \quad u_d = 0$$

Wykorzystując powyższe równania możemy analizować układy elektroniczne zawierające w.o. pracujący w zakresie liniowym. Metodę tę pokażemy na dwóch przykładach.

1. Układ z rysunku 6 jest nazywany wtórnikiem napięciowym.



Rysunek 6.

Analizując układ otrzymujemy z PPK w węźle 1

$$i_{we} = 0 \quad (3)$$

zaś z NPK w pętli a)

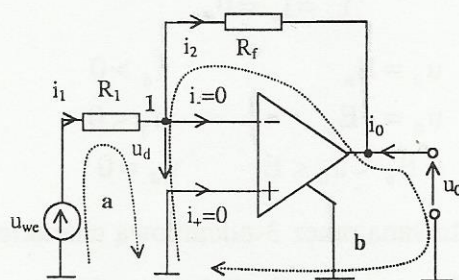
$$u_o = u_{we} \quad (u_d = 0) \quad (4)$$

Wyniki są ważne przy założeniu

$$-E_n < u_{we} < E_n$$

które gwarantuje pracę w.o. w zakresie liniowym.

2. Weźmy obecnie pod uwagę układ z rysunku 7.



Rysunek 7.

Układ można opisać następującymi równaniami:

z NPK w pętli a)
$$i_1 = \frac{u_{we}}{R_1}$$

z PPK w węzle 1)
$$i_2 = i_1$$

z NPK w pętli b)
$$u_o = -R_f i_2$$

Stąd po przekształceniach otrzymujemy równanie:

$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} u_{we} \quad (5)$$

które jest ważne dla napięć wejściowych z zakresu:

$$-\frac{R_1}{R_f} E_n < u_{we} < \frac{R_1}{R_f} E_n$$

Ze względu na ujemny znak współczynnika we wzorze (5) układ jest nazywany wzmacniaczem odwracającym.

W podobny sposób możemy analizować inne układy zawierające w.o. pracujące w liniowym zakresie.

Wzmacniacz operacyjny pracujący w zakresie nieliniowym

W pewnych zastosowaniach w.o. pracuje we wszystkich trzech regionach. W takich przypadkach musimy wykorzystać model nieliniowy przedstawiony na rysunku 5. Ponieważ charakterystyka $u_o=f(u_d)$ jest odcinkowo-liniowa analizujemy układ w każdym z regionów jako układ liniowy.

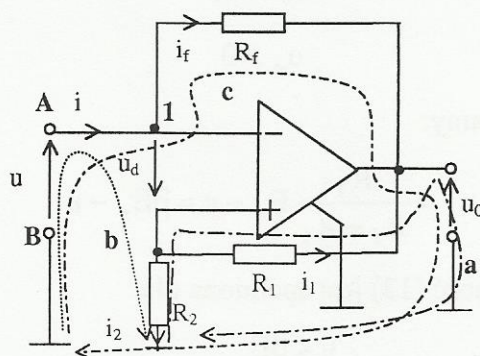
W obszarze nasycenia dodatniego ($u_d>0$) model idealnego w.o. jest opisany następującymi równaniami:

$$i_- = i_+ = 0 \quad u_o = E_n \quad (6)$$

W obszarze nasycenia ujemnego ($u_d < 0$) otrzymujemy:

$$i_- = i_+ = 0 \quad u_0 = -E_n \quad (7)$$

Metoda analizy układów ze w.o. pracującymi w zakresie nieliniowym zostanie zilustrowana na przykładzie układu konwertera ujemno-rezystancyjnego z rysunku 8.



Rysunek 8.

Chcemy wyznaczyć dwie charakterystyki $i=g(u)$ oraz $u_0=f(u)$.

Rozpatrzmy najpierw region liniowy ($u_d=0$) otrzymując:

z NPK w pętli a)

$$i_2 = \frac{u_0}{R_1 + R_2}$$

z NPK w pętli b)

$$u = R_2 i_2$$

Stąd wynika, że:

$$u_0 = \frac{1}{\beta} u \quad (8)$$

gdzie

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (9)$$

Następnie wyznaczamy z PPK w węźle 1) i NPK w pętli c)

$$i = i_f = \frac{1}{R_f} (u - u_0)$$

Z relacji tej i zależności (8) otrzymujemy:

$$i = -\frac{R_1}{R_2} \frac{1}{R_f} u \quad (10)$$

Wzór powyższy jest słuszny dla

$$-E_n < u_0 < E_n$$

lub wykorzystując (8) dla

$$-\beta E_n < u < \beta E_n \quad (11)$$

W obszarze nasycenia dodatniego mamy:

$$i = \frac{u - E_n}{R_f} \quad (12)$$

$$u_0 = E_n \quad (13)$$

$$u_d > 0 \quad (14)$$

Wyznaczając u_d w funkcji u mamy:

$$u_d = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_n - u = \beta E_n - u$$

Stąd i na podstawie (14) zależność (12) jest spełniona dla

$$u < \beta E_n \quad (15)$$

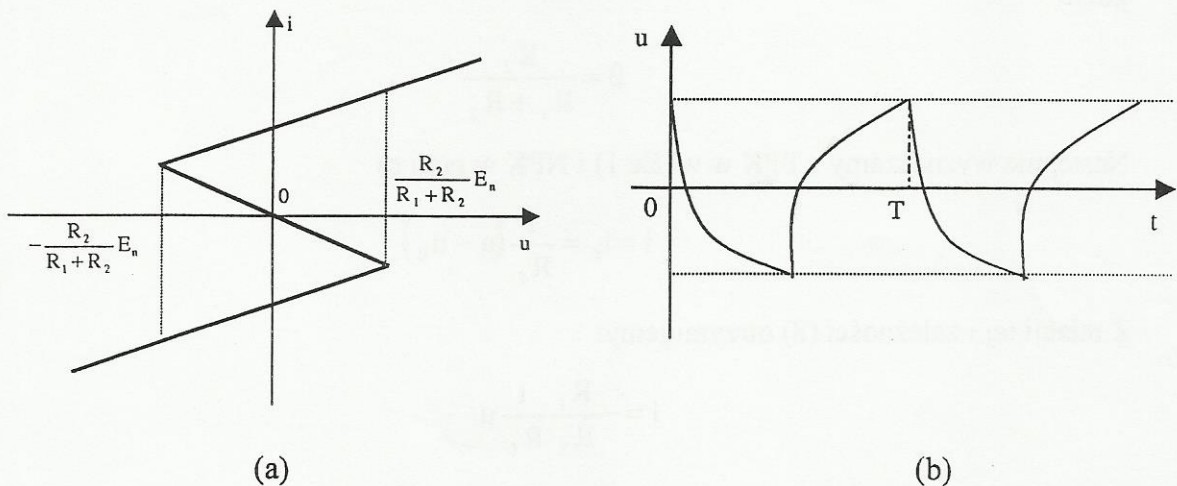
Podobne zależności otrzymujemy w obszarze nasycenia ujemnego:

$$i = \frac{u + E_n}{R_f} \quad (16)$$

$$u_0 = -E_n \quad (17)$$

$$u > -\beta E_n \quad (18)$$

Powyższe wzory pozwalają na narysowanie charakterystyki u - i (rysunek 9a). Jeżeli do zacisków AB dołączymy kondensator otrzymujemy układ generatora drgań relaksacyjnych. Drgania te mają charakter oscylacji o okresie T i są złożone z fragmentów krzywych wykładniczych (rysunek 9b)

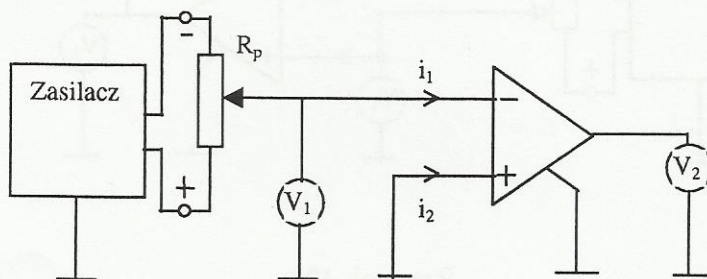


Rysunek 9.

CZĘŚĆ LABORATORYJNA

1. Badanie wzmacniacza operacyjnego w zakresie niskich częstotliwości.

1.1. Połącz układ zgodnie z rysunkiem 10.



Rysunek 10.

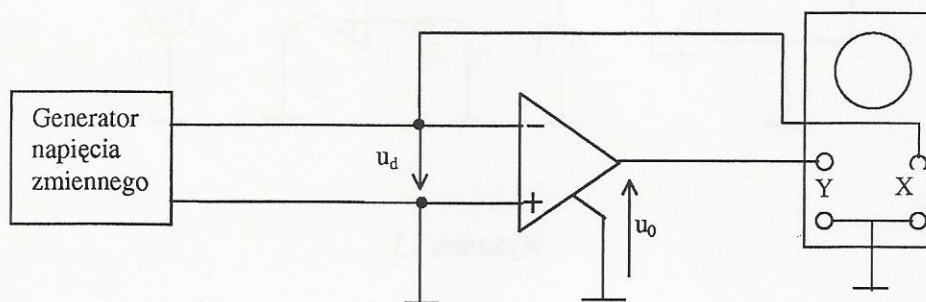
Wyznacz charakterystykę $u_2=f(u_1)$ wzmacniacza operacyjnego $\mu A741$. Zapisz wyniki w tabeli i narysuj charakterystykę na papierze milimetrowym.

u_1									
u_2									

1.2. Wykorzystując układ pomiarowy z rysunku 11 wyznacz charakterystykę $u_0=f(u_d)$. Dokonaj odczytu dodatniego i ujemnego napięcia nasycenia.

$$E_n^+ = \quad \text{V}$$

$$E_n^- = \quad \text{V}$$

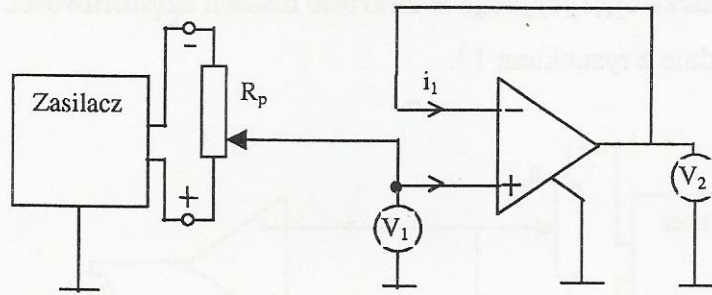


Rysunek 11.

2. Badanie układów zawierających w.o. pracujący w zakresie liniowym

2.1. Badanie wtórnika napięciowego

Wyznacz charakterystykę $u_2=f(u_1)$ wykorzystując układ pomiarowy z rysunku 12.



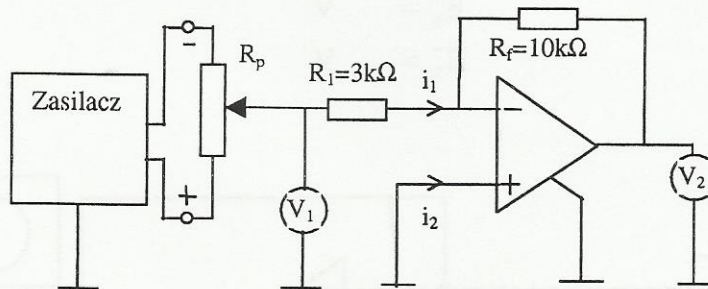
Rysunek 12.

Zapisz wyniki w tabeli i wyznacz stosunek $\frac{u_2}{u_1}$

u_1									
u_2									
$\frac{u_2}{u_1}$									

2.2. Wzmacniacz odwracający

2.2.1. Połącz układ pokazany na rysunku 13.



Rysunek 13.

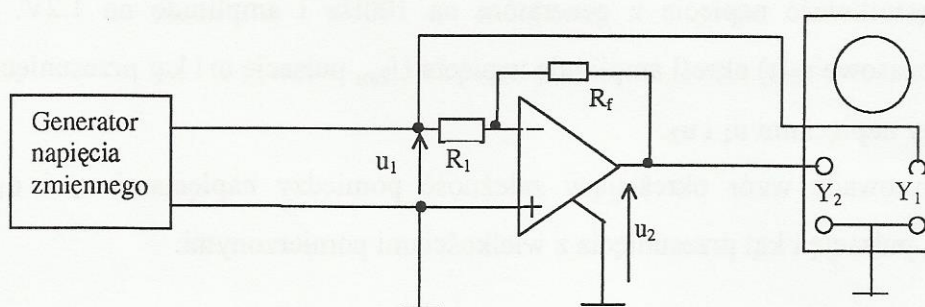
Wyznacz charakterystykę $u_2=f(u_1)$. Zapisz wyniki w tabeli

u_1									
u_2									

2.2.2. Zapisz wzór określający zależność pomiędzy u_1 i u_2 . Wykorzystując ten wzór oblicz u_2 w punktach pomiarowych oraz błąd $\varepsilon = \frac{(u_2 - (u_2)_{obl})}{u_2}$. Zapisz wyniki w tabeli

u_1									
u_2									
ε									

2.2.3. Wykorzystując układ pomiarowy z rysunku 14 zaobserwuj zależność napięć u_1 i u_2 w funkcji czasu. Naszkicuj zaobserwowane przebiegi.

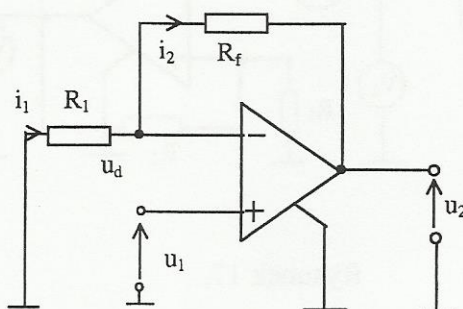


Rysunek 14.

2.3. Wzmacniacz nieodwracający

Wykonaj wszystkie punkty pomiarowe z punktu 2.2 dla układu wzmacniacza

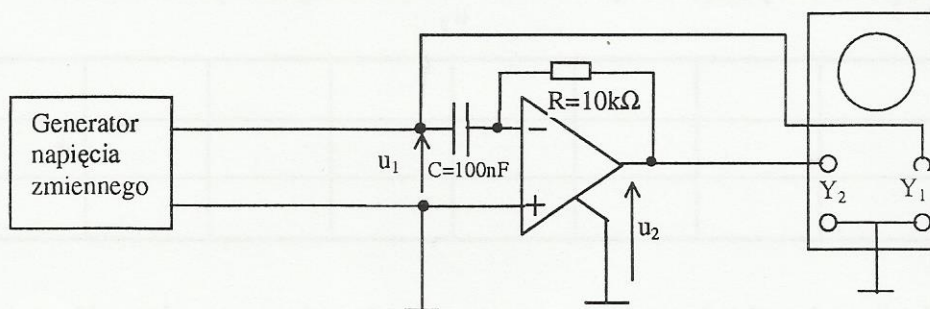
nieodwracającego z rysunku 15 (wskazówka $u_2 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_1$).



Rysunek 15.

2.4. Układ różniczkujący

2.4.1. Połącz układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 16.



Rysunek 16.

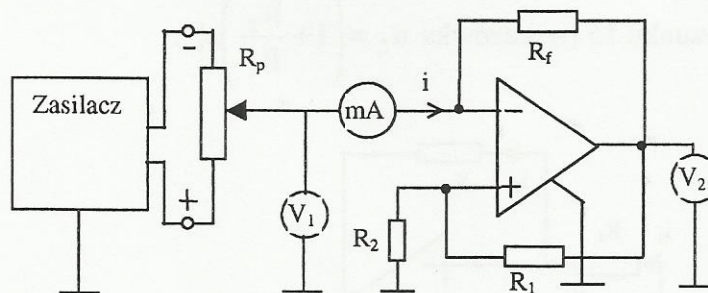
Ustaw częstotliwość napięcia z generatora na 100Hz i amplitudę na 1.2V. Zaobserwuj przebiegi czasowe $u_2(t)$ określ amplitudę napięcia U_{2m} , pulsację ω i kąt przesunięcia fazowego ϕ pomiędzy napięciami u_1 i u_2 .

2.4.2. Wyprowadź wzór określający zależność pomiędzy napięciami u_2 i u_1 . Porównaj amplitudę, pulsację i kąt przesunięcia z wielkościami pomierzonymi.

3. Badanie układów ze w.o. pracującym w zakresie nieliniowym

3.1. Konwerter ujemno-rezystancyjny

3.1.1. Połącz układ zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 17.



Rysunek 17.

Pomierz charakterystyki $i=f_1(u_1)$ oraz $u_2=f_2(u_1)$. Wyniki zapisz w tabeli

u_1	V								
u_2	V								
i	mA								

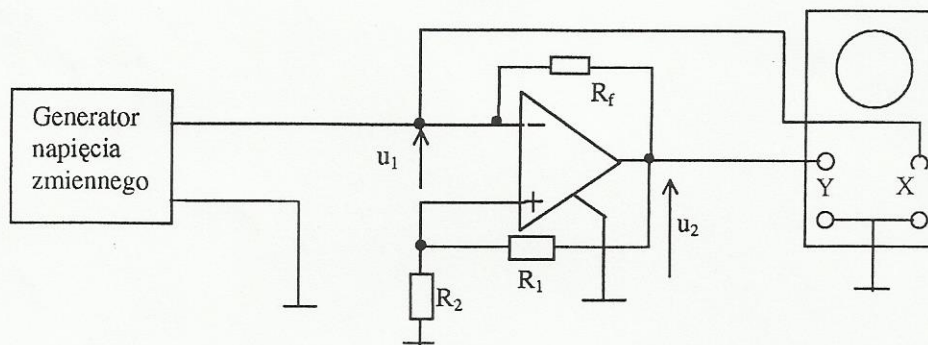
Wykonaj odpowiednie wykresy na papierze milimetrowym.

3.1.2. Wykorzystując wzory:

$$i = \begin{cases} -\frac{E_n}{R_f} + \frac{u_1}{R_f} \\ -\frac{R_1}{R_2 R_f} u_1 \\ \frac{E_n}{R_f} + \frac{u_1}{R_f} \end{cases} \quad u_2 = \begin{cases} E_n & \text{dla } u_1 < \beta E_n \\ \frac{u_1}{\beta} & \text{dla } -\beta E_n < u_1 < \beta E_n \\ -E_n & \text{dla } u_1 > -\beta E_n \end{cases}$$

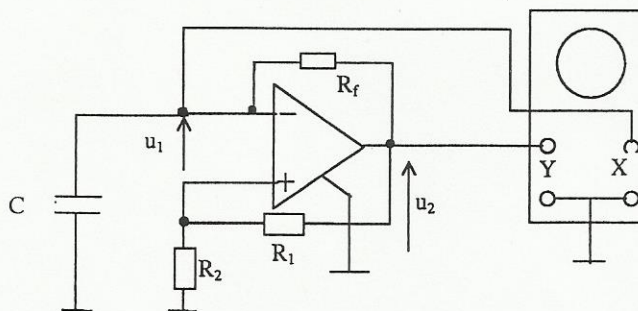
gdzie $\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ oblicz i narysuj odpowiednie charakterystyki. Dokonaj odpowiednich porównań.

3.1.3. Połącz układ pomiarowy przedstawiony na rysunku 18. Zaobserwuj charakterystykę $u_2=f(u_1)$. Naszkicuj ją na papierze milimetrowym.



Rysunek 18.

3.1.4. Połącz układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 19. Zaobserwuj i narysuj $u_1(t)$. Określ amplitudę i okres drgań relaksacyjnych zachodzących w układzie.



Rysunek 19.