

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

im. Jarosława Dąbrowskiego

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

INSTYTUT SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH

**ZAKŁAD EKSPLOATACJI SYSTEMÓW
ELEKTRONICZNYCH**

PODSTAWY AUTOMATYKI

INSTRUKCJA LABORATORYJNA

ĆWICZENIE Nr 3

Temat: BADANIE UKŁADÓW NIELINIOWYCH

WARSZAWA - 2013

SPIS TREŚCI

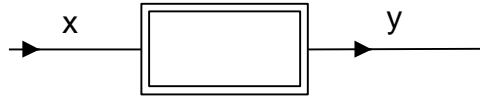
	str.
1. CEL ĆWICZENIA.....	3
2. WIADOMOŚCI OGÓLNE	3
2.1. Metody analizy układów nieliniowych	5
2.2. Metoda funkcji opisującej	5
2.3. Zastosowanie funkcji opisującej do badania dynamiki nieliniowych układów regulacji automatycznej	7
3. BUDOWA STANOWISKA LABORATORYJNEGO	9
3.1. Widok stanowiska do badania układów nieliniowych	9
3.2. Schematy i charakterystyki badanych układów	10
3.3. Badanie statycznych charakterystyk członów nieliniowych	11
3.3.1. Zestaw stanowiska do badania statycznych charakterystyk układów nieliniowych	11
3.3.2. Przygotowanie stanowiska do przeprowadzenia pomiarów.....	12
3.3.3. Pomiar statycznej charakterystyki wzmacniacza ze strefą martwą (1)	12
3.3.4. Pomiar statycznej charakterystyki ogranicznika diodowego (2)	12
3.3.5. Rejestracja charakterystyki statycznej dwóch członów nieliniowych połączonych łańcuchowo	13
3.3.6. Rejestracja statycznej charakterystyki przekaźnika dwupołożeniowego (3)	13
3.3.7. Rejestracja charakterystyki przekaźnika dwupołożeniowego z histerezą (4)	13
3.3.7. Rejestracja charakterystyki przekaźnika dwupołożeniowego z 1. histerezą, gdy B osiąga wartości dodatnie (+B)	13
3.3.7. Rejestracja charakterystyki przekaźnika dwupołożeniowego z 2. histerezą, gdy B osiąga wartości dodatnie i ujemne (+B, -B)	14
3.3.8. Rejestracja i pomiar charakterystyki statycznej członu inercyjnego II rzędu (element 5).....	14
3.4. Pomiar charakterystyki amplitudowo – fazowej członu liniowego [członu inercyjnego rzędu drugiego (element liniowy nr 5)]	15
3.4.1. Przygotowanie stanowiska do przeprowadzenia pomiarów	15
3.4.2. Przygotowanie oscyloskopu cyfrowego do pomiarów	15
3.4.3. Pomiar charakterystyki amplitudowo – fazowej	16
3.5. Nieliniowy układ automatycznej regulacji ...	16
3.5.1. Układ nieliniowy bez pętli sprzężenia zwrotnego (układ otwarty)	16
3.5.2. Nieliniowy układ automatycznej regulacji z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego	17
3.5.3. Chwilowa średnia wartość napięcia wyjściowego	19
3.6. Obserwacja pracy nieliniowego układu automatycznej regulacji przy podaniu na wejście układu napięcia przemiennego o różnej wartości jego parametrów.....	20
3.6.1. Obserwacja pracy układu automatycznej regulacji dla $U_{WE}=1V$, $f=20Hz$	20
3.6.2. Obserwacja pracy układu automatycznej regulacji dla $U_{WE}=2V$, $f=20Hz$	20
3.6.3. Pomiar amplitudy i częstotliwości ustalonych drgań Własnych układu przy $a = 2V$	21
3.6.4. Rysowanie charakterystyk nieliniowego układu automatycznej regulacji $G(j\omega)$ i $i -1/j(A)$	22
4. PROGRAM ĆWICZENIA	23
5. PYTANIA KONTROLNE	23
SPRAWOZDANIE	24

1. CEL ĆWICZENIA.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z jedną z metod analizy układów nieliniowych zwaną „metodą funkcji opisującej”.

2. WIADOMOŚCI OGÓLNE.

Opis zachowania się układu fizycznego za pomocą liniowych równań różniczkowych jest zawsze wynikiem idealizacji procesów zachodzących w tym układzie. Wszystkie elementy fizyczne, rozpatrywane w nieograniczonym zakresie sygnałów wejściowych są nieliniowe. Układ zawierający co najmniej jeden człon nieliniowy jest układem nieliniowym.



Rys.2.1. Schematyczne oznaczenie członu nieliniowego

W przypadku ogólnym odpowiedź członu nieliniowego jest związana z wymuszeniem równaniem różniczkowym n-tego rzędu o postaci:

$$F(y^n, y^{n-1}, \dots, x^m, x^{m-1}, \dots, x, t) = 0 \quad (1)$$

F – nieliniowa funkcja argumentów.

W przypadku szczególnym równanie (1) może przybrać postać :

$$F(y, x, t) = 0 \quad (2)$$

Człon opisany równaniem (1) jest **członem dynamicznym**, a człon opisany równaniem (2) członem statycznym.

Człon nieliniowy statyczny jest **członem bezinercyjnym**, gdyż odpowiedź $y(t)$ w chwili t zależy tylko od wymuszenia $x(t)$ w chwili t , a nie zależy od wymuszenia poprzedzającego tę chwilę.

Człon nieliniowy stacjonarny jest to człon, którego odpowiedź na dowolne wymuszenie zależy tylko od $\tau = t - t_0$, nie zależy natomiast oddzielnie od t i t_0 .

Nieliniowy człon stacjonarny opisany jest nieliniowym równaniem różniczkowym (człon dynamiczny), lub algebraicznym (człon statyczny) o stałych współczynnikach, niezależnych od czasu.

$$F(y^n, y^{n-1}, \dots, y, x^m, x^{m-1}, \dots, x) = 0 \quad (3)$$

$$F(y, x) = 0 \quad (4)$$

Graficzną postać równania $y = f(x)$ nazywamy **charakterystyką statyczną**.

W przypadku układów nieliniowych istnieje potrzeba otrzymania charakterystyki statycznej członu równoważnego danemu układowi elementów nieliniowych o znanych charakterystykach.

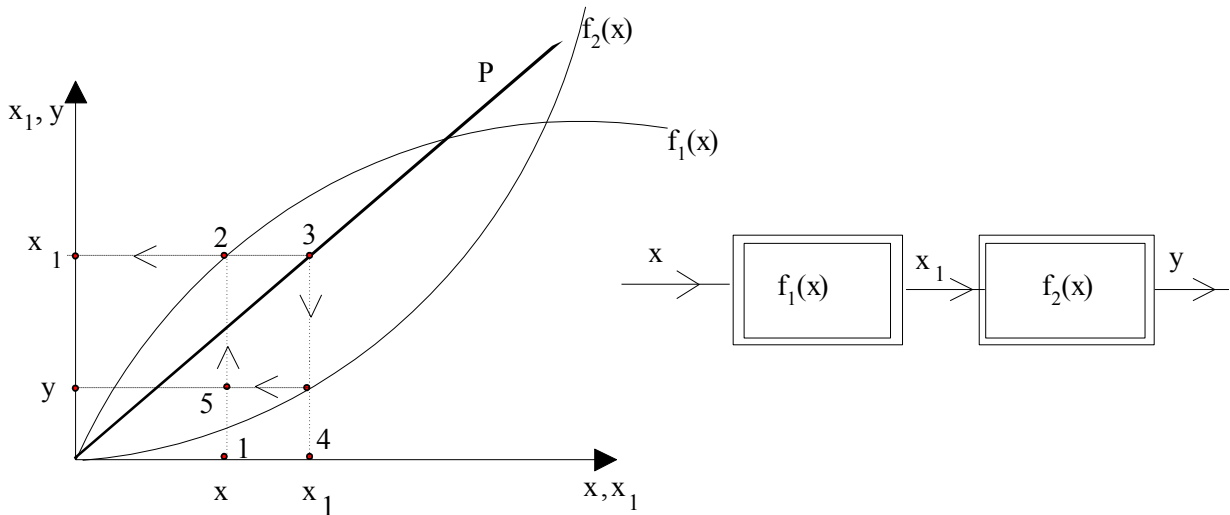
Przekształcenia można dokonać zarówno graficznie jak i analitycznie. Dowolna wielkość w części układu nie podlegającej przekształceniu nie może ulec zmianie.

Dla połączenia szeregowego dwóch członów nieliniowych funkcja przedstawiająca charakterystykę statyczną członu zastępczego jest superpozycją funkcji składowych.

$$y = f_2(x) = f_2[f_1(x)]$$

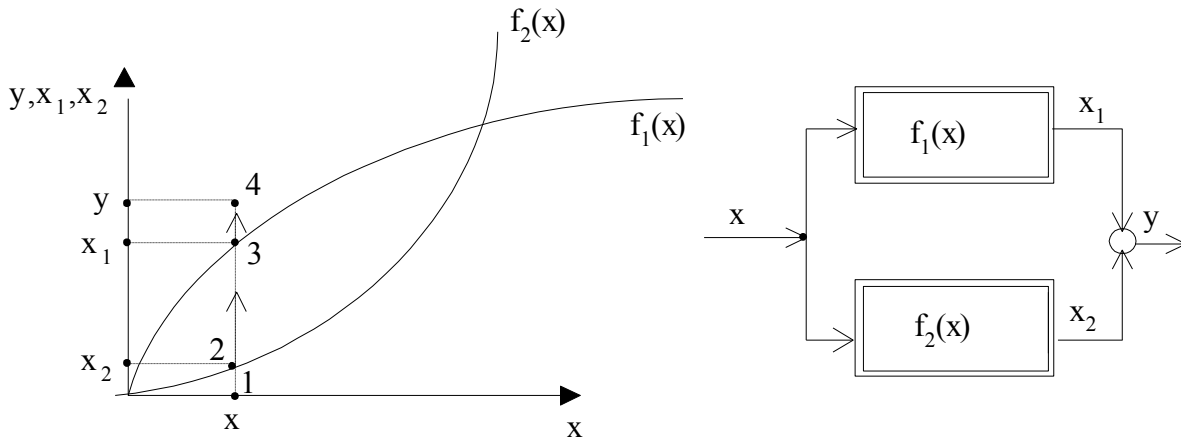
Metodę graficzną wyznaczania charakterystyki statycznej dla **szeregowego (łańcuchowego) połączenia** dwóch członów nieliniowych pokazuje rys.2.2.

Kolejne czynności wykonywane w tej metodzie zostały ponumerowane.



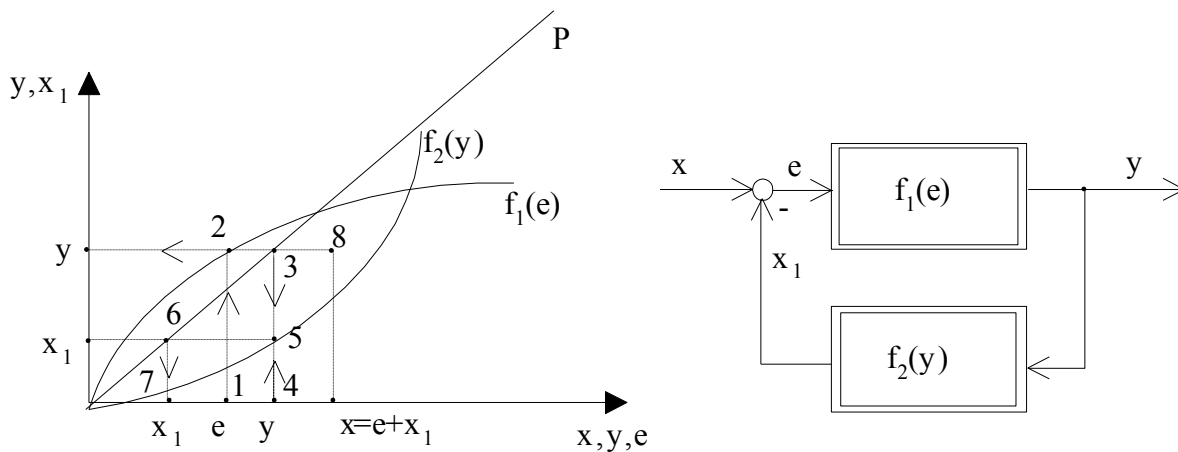
Rys.2.2. Graficzne wyznaczenie punktu 5 wypadkowej charakterystyki statycznej członów połączonych szeregowo.

Wyznaczenie charakterystyki zastępczej dwóch członów nieliniowych połączonych równolegle sprowadza się do sumowania rzędnych charakterystyk tych członów dla tego samego sygnału wejściowego rys. 2.3.



Rys.2.3. Graficzne wyznaczenie punktu 4 wypadkowej charakterystyki statycznej członów połączonych równolegle

W przypadku układu ze sprzężeniem zwrotnym, sposób wyznaczenia charakterystyki statycznej członu zastępczego przedstawia rys.2.4.



Rys.2.4. Wyznaczanie punktu 8 charakterystyki $y = f(x)$ członu zastępczego na podstawie charakterystyk $y = f_1(e)$ i $x_1 = f_2(y)$ układu z ujemnym sprzężeniem zwrotnym

Prosta pomocnicza narysowana pod kątem 45° , pozwala przenosić wartości sygnału z osi rzędnych na oś odciętych i odwrotnie. Dla wybranej wartości uchybu regulacji e z charakterystyki $y = f_1(e)$ odczytujemy wartość y . Korzystając z prostej pomocniczej P znajdujemy wartość y na osi odciętych (p.4).

Z charakterystyki $x_1 = f_2(y)$ odczytujemy wartość x_1 (p.5) odpowiadającą wartości y . Korzystając z prostej pomocniczej P znajdujemy wartość x_1 na osi odciętych (p.7). Z równania węzła sumacyjnego mamy $x = e + x_1$. Poszukiwany punkt charakterystyki $y = f(x)$ członu zastępczego otrzymamy na przecięciu się prostych prostopadłych odpowiadających x, y (p.8). Dla wyznaczenia pełnej charakterystyki $y = f(x)$ należy podaną wyżej konstrukcję powtórzyć dla dostatecznie wielu wartości z przedziału, w którym poszukujemy charakterystyk członu zastępczego.

2.1. Metody analizy układów nieliniowych.

W wielu układach automatycznej regulacji nie można pominąć nieliniowości metodą linearyzacji, drogą rozkładu w szereg Taylora i pominięcia składników nieliniowych tego szeregu, ponieważ sygnały istniejące w UAR mogą się zmieniać w szerokich granicach. Takie układy możemy badać metodami dokładniejszymi:

- metodą funkcji opisującej;
- metodą płaszczyzny fazowej;
- metodą modelowania analogowego i cyfrowego.

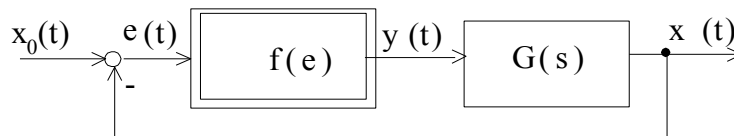
2.2. Metoda funkcji opisującej.

Metoda przybliżona, polegająca na linearyzacji harmonicznej członu nieliniowego, a następnie na badaniu tak zlinearyzowanego układu metodami częstotliwościowymi.

Istotą metody linearyzacji harmonicznej, jest pominięcie wyższych harmonicznych odpowiedzi członu nieliniowego na wymuszenie sinusoidalne.

Funkcja opisująca jest przybliżoną transmitancją elementu nieliniowego, przy założeniu, że sygnał wejściowy jest sinusoidalny.

Założenie to jest spełnione, jeżeli część liniowa układu ma silne właściwości filtru dolnoprzepustowego.



Rys.2.5. Schemat blokowy nieliniowego układu automatycznej regulacji

Metoda funkcji opisującej pozwala znaleźć **cykle graniczne**.

Cykl graniczny – drganie własne układu nieliniowego przy stałej amplitudzie A i stałym okresie T .

Zakładamy, że element nieliniowy UAR jest opisany równaniem różniczkowym :

$$b_n y^n(t) + \dots + b_1 y^1(t) + b_0 y(t) = a_m x^m(t) + \dots + a_1 x^1(t) + a_0 x(t) + c \quad (5)$$

oraz $e(t) = A \sin \omega t$

Sygnał wejściowy elementu nieliniowego $y(t)$ jest funkcją okresową niesinusoidalną.

$$y(t) = F(A, \omega, t, b_k, a_i) \quad \begin{matrix} k = 0, 1, \dots, n \\ i = 0, 1, \dots, m \end{matrix} \quad (6)$$

Funkcję $y(t)$ można rozwinąć w szereg Fouriera:

$$y(t) = C_0 + \sum_{r=1}^{\infty} [B_r \sin(r\omega t) + C_r \cos(r\omega t)]$$

(7)

gdzie:

$$\begin{aligned}
 C_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F[A, \omega, t, a_i, b_k] d(\omega t) \\
 B_r &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F[A, \omega, t, a_i, b_k] \sin(r\omega t) d(\omega t) \\
 C_r &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F[A, \omega, t, a_i, b_k] \cos(r\omega t) d(\omega t)
 \end{aligned} \tag{8}$$

Jeżeli charakterystyka statyczna elementu nieliniowego jest symetryczna względem początku układu współrzędnych, to składowa stała sygnału wyjściowego $y(t)$ jest równa $C_0 = 0$.

Rozpatrujemy elementy nieliniowe statyczne, więc współczynniki B_r, C_r zależą tylko od A, ω, a_0, b_0, c_0 .

Jeżeli część liniowa UAR jest filtrem dolnoprzepustowym tłumiącym wyższe harmoniczne (przy $r > 1$), to sygnał $y(t)$ jest dostatecznie reprezentowany przez pierwszą składową rozwinięcia:

$$y(t) = y_1(t) = B_1(A, \omega) \sin(\omega t) + C_1(A, \omega) \cos(\omega t)$$

gdzie

$$B_1(A, \omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y(t) \sin(\omega t) d(\omega t) \tag{9}$$

$$C_1(\omega, t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y(t) \cos(\omega t) d(\omega t)$$

Funkcją opisującą $J(A, \omega)$ elementu nieliniowego nazywamy iloraz opisany wzorem:

$$J(A, \omega) = \frac{B_1(A, \omega) + jC_1(A, \omega)}{A} \tag{10}$$

A – amplituda wymuszenia sinusoidalnego o pulsacji ω .

B_1, C_1 – współczynniki rozkładu odpowiedzi w szereg Fouriera.

Funkcją opisującą członu nieliniowego nazywamy stosunek wartości zespolonej amplitudy pierwszej harmonicznej odpowiedzi wywołanej wymuszeniem sinusoidalnym do amplitudy tego wymuszenia.

Funkcja opisująca $J(A, \omega)$ charakteryzuje w sposób przybliżony właściwości dynamiczne członu nieliniowego i jest odpowiednikiem transmitancji widmowej członu liniowego. Dla nieliniowych elementów statycznych, funkcja opisująca nie zależy od pulsacji co wymuszenia $e(t)$, zatem

$$J(A) = \frac{B_1(A) + jC_1(A)}{A} = \frac{j}{\pi A} \int_0^{2\pi} y(t) e^{-j\omega t} d(\omega t) \tag{11}$$

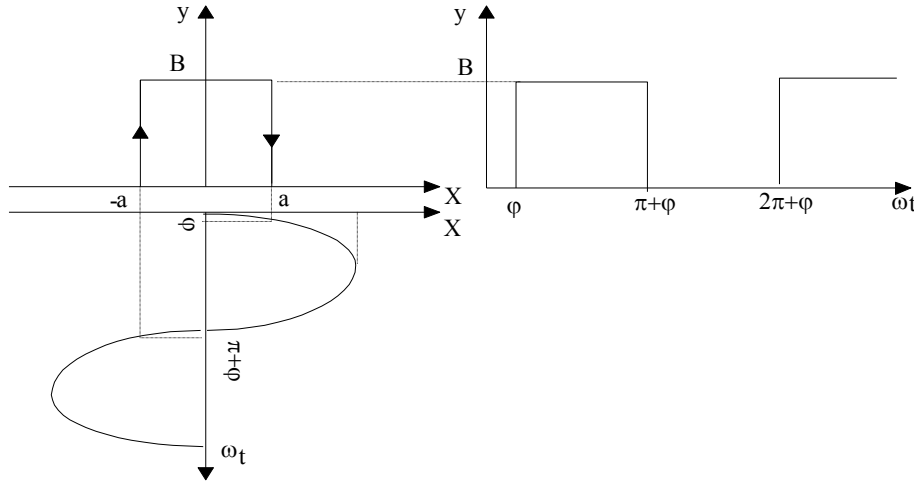
Można wykazać, że dla elementów nieliniowych o jednoznacznych charakterystykach statycznych współczynniki $C_1 = 0$. Funkcja opisująca takich elementów jest funkcją rzeczywistą, zależną tylko od amplitudy A i kształtu charakterystyki statycznej elementu nieliniowego.

$$J(A) = \frac{B_1(A)}{A} = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} y(t) \sin(\omega t) d(\omega t) \tag{12}$$

Zastąpienie członu lub układu nieliniowego odpowiadającą mu funkcją opisującą nazywa się **linearyzacją harmoniczną**.

Wyznamy funkcję opisującą przekaźnika dwupołożeniowego z histerezą.

$$\begin{aligned}
 J(A) &= \frac{j}{\pi A} \int_0^{2\pi} y(t) e^{-j\omega t} d(\omega t) = \frac{jB}{\pi A} \int_{\varphi}^{\pi+\varphi} e^{-j\omega t} d(\omega t) = \frac{jB}{\pi A} \left. \frac{e^{-j\omega t}}{-j} \right|_{\varphi}^{\pi+\varphi} = \\
 &= -\frac{Be^{-j\varphi}}{\pi A} [e^{-j\pi} - 1] = -\frac{2B}{\pi A} e^{-j\varphi} = \frac{2B}{\pi A} [\cos \varphi - j \sin \varphi] = \frac{2B}{\pi A} \left[\sqrt{1 - \left[\frac{a}{A} \right]^2} - j \frac{a}{A} \right]
 \end{aligned} \quad (13)$$

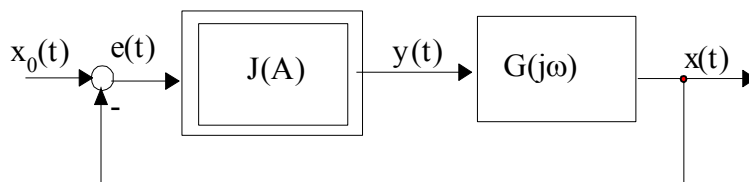


Rys.2.6. Charakterystyka przekaźnika dwupołożeniowego z histerezą oraz wyznaczanie jego odpowiedzi na wymuszenie sinusoidalne

W przypadku przekaźnika dwupołożeniowego bez histerezy, przy charakterystyce statycznej zmieniającej się od $-B$ do $+B$ funkcja opisująca ma postać:

$$J(A) = \frac{4B}{\pi A} \quad (14)$$

2.3. Zastosowanie funkcji opisującej do badania dynamiki nieliniowych układów regulacji automatycznej



Rys.2.7. Schemat blokowy nieliniowego układu automatycznej regulacji

Z kryterium Nyquista wynika, że drgania sinusoidalne powstają w układzie liniowym, jeżeli charakterystyka amplitudowo-fazowa układu otwartego przechodzi przez punkt $(-1, j0)$, czyli

$$G(j\omega)J(A) + 1 = 0 \quad (15)$$

Warunek powstania drgań harmonicznycy (cyklu granicznego) jest określany równaniem:

$$G(j\omega) = -\frac{1}{J(A)} \quad (16)$$

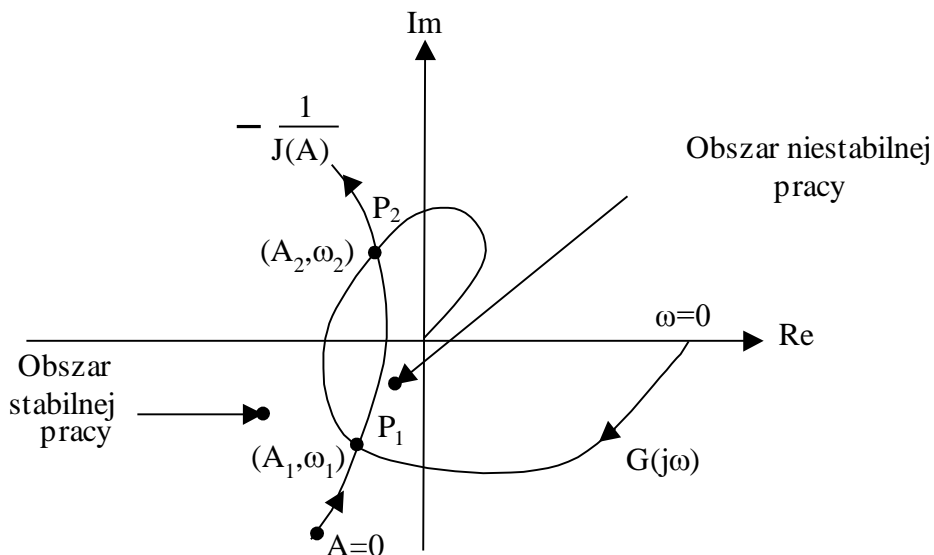
Amplitudę i pulsację drgań harmonicznycy w cyklu granicznym, najłatwiej jest wyznaczyć sposobem graficznym.

Na płaszczyźnie zmiennej zespolonej wykreślamy charakterystykę amplitudowo-fazową części liniowej $G(j\omega)$, oraz krzywą $-1/J(A)$.

Punkty przecięcia krzywych wyznaczają na charakterystyce $G(j\omega)$ pulsację drgań sinusoidalnych, a na krzywej $-1/J(A)$ amplitudę. W przypadku ogólnym krzywe mogą przecinać się w kilku punktach. Jeżeli krzywe $G(j\omega)$ i $-1/J(A)$ **nie przecinają się**, oraz charakterystyka $G(j\omega)$ **nie obejmuje krzywej $-1/J(A)$** , wówczas **układ jest stabilny** dla dowolnych wartości amplitudy A .

Jeżeli natomiast charakterystyka $G(j\omega)$ **obejmuje** całkowicie krzywą $-1/J(A)$, wówczas układ rozpatrywany jest **niestabilny** dla dowolnej wartości amplitudy A .

Jeżeli krzywe przecinają się w dwu punktach, np. w przypadku przedstawionym na rys.2.8, to mamy do czynienia z dwoma cyklami granicznymi.



Rys.2.8. Charakterystyki układu z dwoma cyklami granicznymi

Punktowi P_1 odpowiada cykl graniczny o amplitudzie A_1 i pulsacji ω_1 , a punktowi P_2 odpowiada cykl graniczny o amplitudzie A_2 i pulsacji ω_2 .

Jeżeli amplituda A_1 wzrośnie z dowolnych przyczyn, to punkt pracy układu znajdzie się wewnątrz krzywej $G(j\omega)$, a więc w obszarze **pracy niestabilnej** i amplituda drgań wzrośnie.

Jeżeli amplituda A_1 zmaleje, to punkt pracy układu znajdzie się w obszarze pracy stabilnej, na zewnątrz krzywej $G(j\omega)$ i amplituda drgań będzie malała. Punkt P_1 jest więc punktem drgań niestabilnych.

Drgania sinusoidalne o amplitudzie A_1 i pulsacji ω_1 nie mogą realnie istnieć, gdyż dowolna zmiana amplitudy spowoduje zanikanie lub narastanie drgań.

Jeżeli amplituda A_2 (p. P_2) wzrośnie, to punkt pracy układu znajdzie się na zewnątrz krzywej $G(j\omega)$, a więc w obszarze pracy stabilnej i amplituda drgań zmaleje do wartości wyjściowej A_2 .

Jeżeli amplituda A_2 zmaleje, to punkt pracy układu znajdzie się wewnątrz krzywej $G(j\omega)$, a więc w obszarze pracy niestabilnej układu i amplituda wzrośnie do wartości A_2 .

Układ regulacji automatycznej o charakterystykach przedstawionych na rys.2.8, po zamknięciu pętli sprzężenia zwrotnego i wytrąceniu go z równowagi wymuszeniem o amplitudzie $A > A_1$ będzie niestabilny. Jego drgania ustalą się w punkcie P_2 .

W zakresie amplitud $A_1 < A < A_2$ w UAR występują drganie niestabilne o narastającej amplitudzie. Amplituda tych drgań może wzrosnąć jedynie do A_2 , ponieważ przy większej amplitudzie układ regulacji staje się stabilnym, a w układzie stabilnym drgania maleją.

Drgania te mogą zmaleć jedynie do A_2 , ponieważ przy niższych amplitudach układ wchodzi w zakres niestabilności z tendencją do wzrostu amplitudy. Konsekwencją tych zjawisk jest to, że w układzie rozpatrywanym na rys.8 cyklem granicznym stabilnym jest cykl występujący w punkcie P_2 .

3. BUDOWA STANOWISKA LABORATORYJNEGO.

3.1. Widok stanowiska do badania układów nieliniowych.

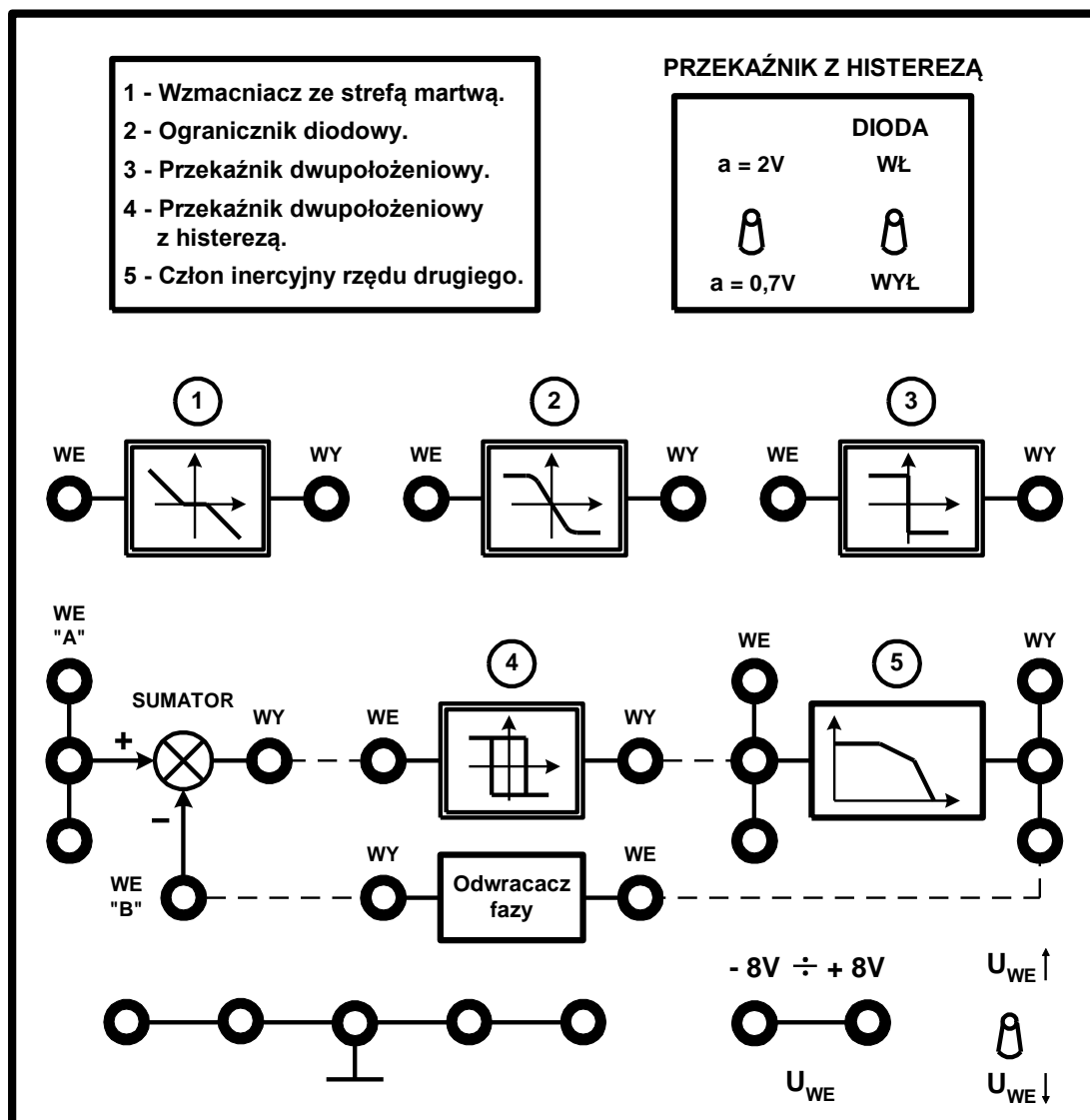
W ramach ćwiczenia, badaniu podlegają układy nieliniowe oraz człon inercyjny drugiego rzędu (układ liniowy). Układy te zbudowano na bazie wzmacniaczy operacyjnych uA 741. Układy te umieszczono w obudowie. Wejścia i wyjścia układów połączono z gniaздkami radiowymi, które umieszczono na płycie czołowej stanowiska.

Na górnej części płyty zamocowano 2 przełączniki do zmiany parametrów.

1. Pierwszy przełącznik z napisem „Przełącznik” zmienia wartość „a” (szerokość pętli hysterezy) z **2V na 0,7V (około)**.
2. Drugi przełącznik z napisem „Przełącznik” w położeniu „Dioda wł.” powoduje, że napięcie wyjściowe na charakterystyce przekaźnika ma wartości dodatnie ($0 \div +B$), a w położeniu „Dioda wył.” powoduje, że napięcie wyjściowe na charakterystyce przekaźnika posiada wartości dodatnie i ujemne ($-B \div +B$).

Zasilanie stanowiska napięciem 230V/50Hz odbywa się poprzez kabel sieciowy zakończony wtyczką. Do włączenia zasilania służy wyłącznik z napisem „SIEĆ”.

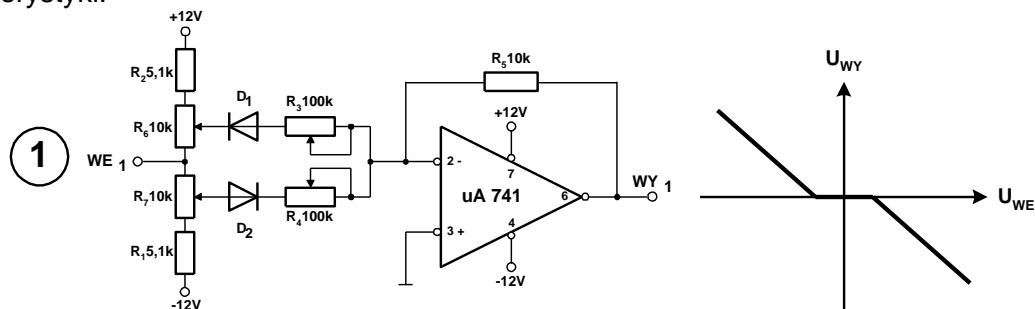
Widok płyty czołowej stanowiska przedstawia rysunek 3.1.



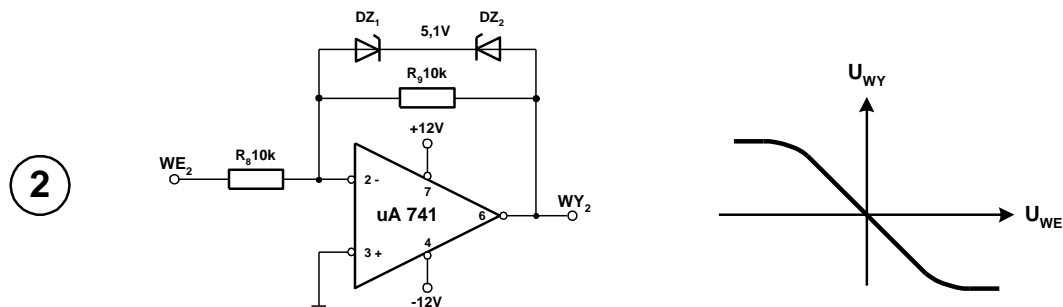
Rys. 3.1. Widok płyty czołowej stanowiska do badania układów nieliniowych.

3.2. Schematy i charakterystyki badanych układów.

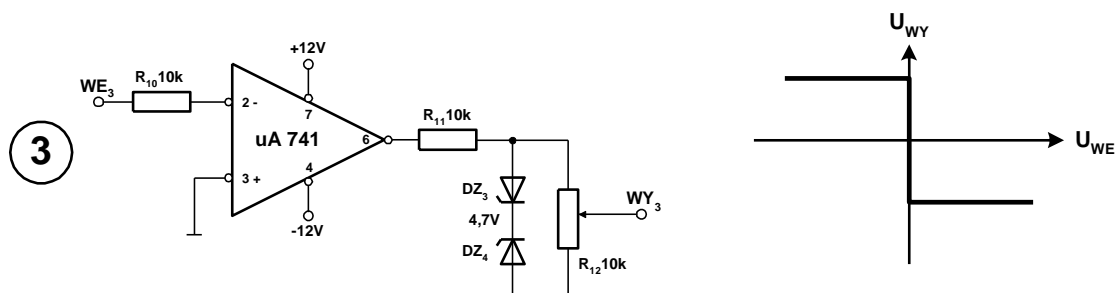
Na rysunkach 3.2 ÷ 3.6 przedstawiono schematy badanych układów i ich charakterystyki.



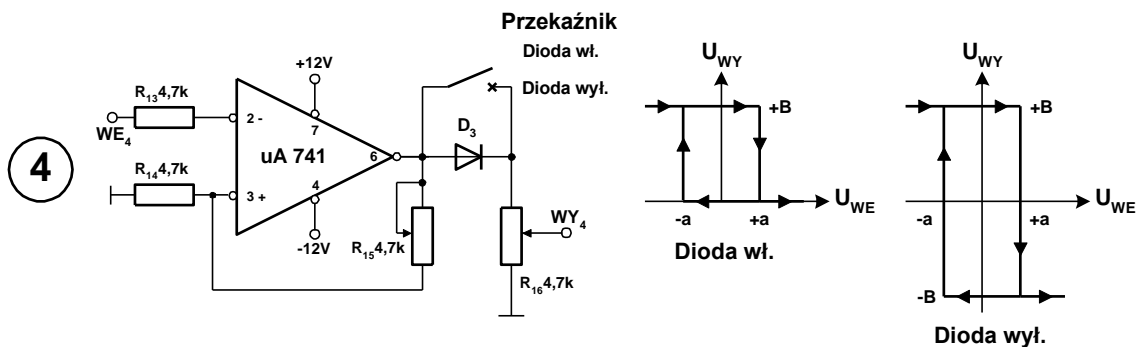
Rys. 3.2. Wzmacniacz ze strefą martwą (element nieliniowy nr 1).



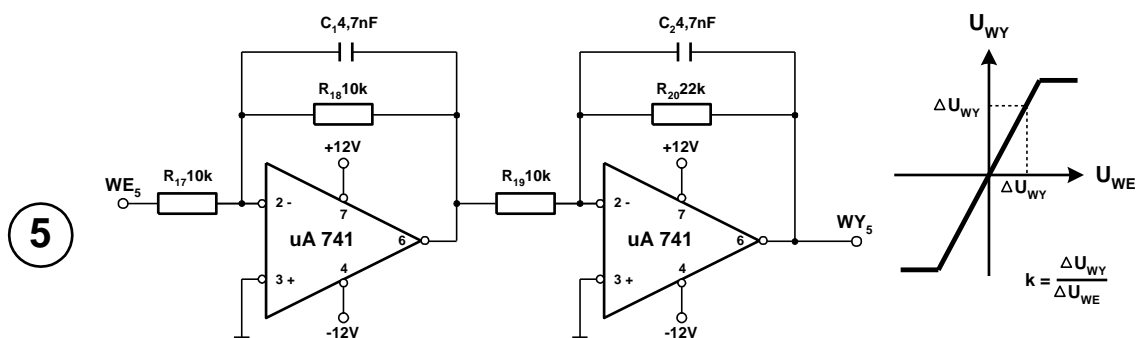
Rys. 3.3. Ogranicznik diodowy (element nieliniowy nr 2).



Rys. 3.4. Przekaznik dwupołożeniowy (element nieliniowy nr 3).



Rys. 3.5. Przekaznik dwupołożeniowy z histerezą (element nieliniowy nr 4).

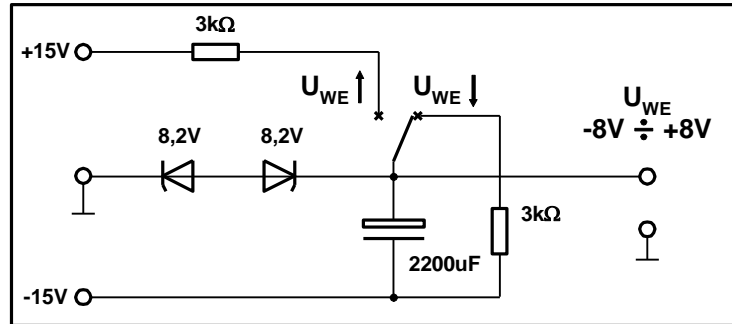


Rys. 3.6. Człon inercyjny drugiego rzędu (układ liniowy – element nr 5).

3.3. Badanie statycznych charakterystyk członów nieliniowych.

Aby pomierzyć statyczne charakterystyki układów, należy podać na wejście danego układu odpowiednie napięcie prądu stałego. Wartość tego napięcia należy zmieniać w granicach $-8V \div +8V$. Zmianę napięcia można uzyskać stosując potencjometr. Na wejściu i wyjściu układu należy wówczas mierzyć wartości napięć za pomocą woltomierzy. Wartości te z kolei wpisać do odpowiedniej tabeli, a następnie narysować charakterystyki badanych układów.

Ćwiczenie wykonywane tą metodą zajęłoby dużo czasu. W celu skrócenia czasu wykonania ćwiczenia, wykorzystano oscyloskop cyfrowy. Wykonano także nieskomplikowaną przystawkę zabudowaną do stanowiska. Schemat elektryczny przystawki przedstawiono na rysunku 3.7.

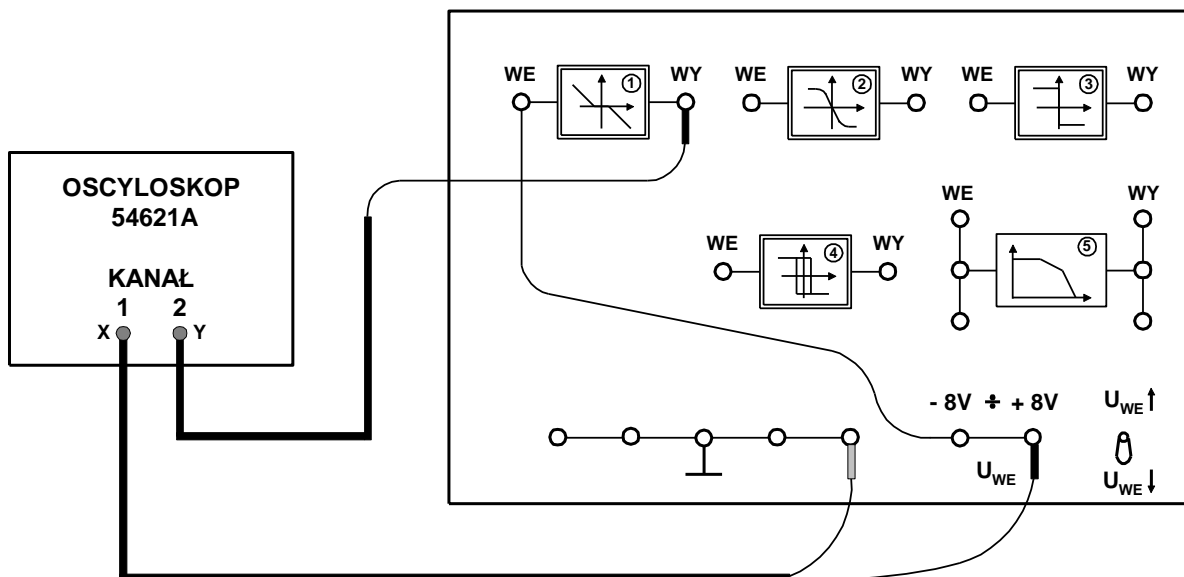


Rys. 3.7. Schemat elektryczny przystawki.

Po przestawieniu przełącznika w pozycję $u_{WE} \uparrow$, następuje ładowanie kondensatora do napięcia około $+8,5V$ (dioda Zenera ogranicza to napięcie). Ładowanie kondensatora odbywa się w czasie kilkunastu sekund. Napięcie to podane jest na wejście badanego układu i kanał pierwszy oscyloskopu pracującego w trybie **XY**. Na wejście drugiego kanału oscyloskopu podane jest napięcie z wyjścia badanego układu. Malenie napięcia od $+8,5V$ do $-8,5V$ odbywa się po przełączeniu przełącznika w pozycję $u_{WE} \downarrow$.

3.3.1. Zestaw stanowiska do badania statycznych charakterystyk układów nieliniowych.

Na rysunku 3.8. przedstawiono zestaw stanowiska do badania statycznych charakterystyk układów nieliniowych.



Rys. 3.8. Zestaw stanowiska do badania statycznych charakterystyk układów nieliniowych.

3.3.2. Przygotowanie stanowiska do przeprowadzenia pomiarów.

1. Połączyć stanowisko zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.8.
2. Sprawdzić (lub ustawić), czy przełącznik (w prawym dolnym rogu stanowiska) jest ustawiony w pozycji $U_{WE}\downarrow$.
3. Wyłącznikiem „Sieć” włączyć zasilanie stanowiska.
4. Przygotować oscyloskop do pomiarów.

Przygotowanie oscyloskopu cyfrowego do pomiarów

Do sterowania pracą oscyloskopu służą pokrętki i przyciski umieszczone na obudowie, które w tekście są opisane pismem pogrubionym np. **Cursors**.

Przyciski programowalne są umieszczone pod ekranem oscyloskopu i są one opisane w tekście pismem pochyłym pogrubionym np. **Normal**.

1. Włączyć zasilanie oscyloskopu przyciskiem **Power**.
2. Nacisnąć przycisk **Main/Delayed**, a następnie wybrać **XY**.
3. Pokrętkami **kanałów 1 i 2** ustawić wzmocnienie na **2V/dz**.
4. Pokrętkami **Position kanałów 1 i 2** ustawić położenie **plamki na ekranie oscyloskopu** w pozycji **0V**.
W tym celu należy:
 - 4.1. Nacisnąć na przycisk **kanał 1**.
 - 4.2. Przyciskiem **Coupling AC, DC, Ground** ustawić w pozycję **Ground**.
 - 4.3. Pokrętkiem **kanału 1** ustawić plamkę w pozycji **0V [Ch(1) = 0V]**.
 - 4.4. Nacisnąć na przycisk **kanał 2**.
 - 4.5. Przyciskiem **Coupling AC, DC, Ground** ustawić w pozycję **Ground**.
 - 4.6. Pokrętkiem **kanału 2** ustawić plamkę w pozycji **0V [Ch(2) = 0V]**.
5. Nacisnąć przycisk **Display**; następnie **Persist** (poruszająca się plamka będzie zostawiała ślad na ekranie).
6. Nacisnąć przycisk **Acquire** oraz wybrać **Averaging** (plamka zostawi cienki ślad)
7. lub **Normal** (plamka zostawi pogrubiony ślad).
8. W celu wyczyszczenia ekranu należy nacisnąć **Display** i **Clear/Display**.
9. Nacisnąć na przycisk **kanału 1**. Przyciskiem **Coupling** wybrać **DC**.
10. Nacisnąć na przycisk **kanału 2**. Przyciskiem **Coupling** wybrać **DC**.

3.3.3. Rejestracja na ekranie oscyloskopu statycznej charakterystyki wzmacniacza ze strefą martwą (1).

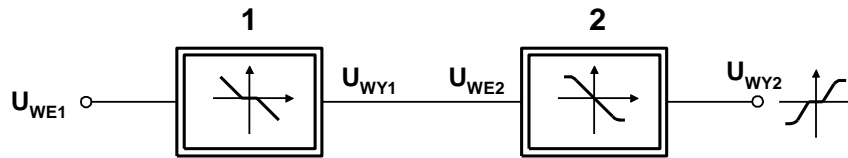
1. Przełącznik zmiany napięcia wejściowego ustawić w położenie $U_{WE}\uparrow$. Na wejście badanego układu będzie podawane zmieniające się napięcie od $-8,5V$ do $+8,5V$. Na ekranie oscyloskopu poruszająca się plamka narysuje charakterystykę badanego elementu nieliniowego.
2. Zaobserwować przebieg charakterystyki.
3. Uzyskaną charakterystykę narysować w sprawozdaniu (charakterystykę można zapisać na dyskietce lub zrobić zdjęcie aparatem cyfrowym – komórką i wkleić do sprawozdania).
4. Na ekranie wymazać charakterystykę naciskając na przycisk **Display** i **Clear Display**.
5. Można sprawdzić, czy badany układ nie posiada histerezy. W tym celu należy ustawić przełącznik w położenie $U_{WE}\downarrow$. Plamka winna poruszać się dokładnie po narysowanej charakterystyce.

3.3.4. Rejestracja statycznej charakterystyki ogranicznika diodowego (2).

1. Napięcie wejściowe i drugi kanał oscyloskopu przyłączyć do układu nieliniowego 2. W czasie zmian badanych układów nieliniowych nie należy wyłączać zasilania żadnego przyrządu.
2. Wykonać czynności jak w punkcie 3.3.3 (podpunkty 1 ÷ 4).

3.3.5. Rejestracja charakterystyki statycznej dwóch członów nieliniowych połączonych łańcuchowo.

1. Połączyć łańcuchowo dwa człony nieliniowe (1 i 2) zgodnie z poniższym schematem.



2. Napięcie wejściowe przyłączyć do wejścia członu 1, a drugi kanał oscyloskopu przyłączyć do wyjścia członu 2.
3. Wykonać czynności jak w punkcie 3.3.3 (podpunkty 1 ÷ 4).

3.3.6. Rejestracja statycznej charakterystyki przełącznika dwupołożeniowego (3).

1. Napięcie wejściowe i drugi kanał oscyloskopu przyłączyć do układu nieliniowego 3.
2. Wykonać czynności jak w punkcie 3.3.3 (podpunkty 1 ÷ 4).

3.3.7. Rejestracja charakterystyki przełącznika dwupołożeniowego z histerezą oraz pomiar wartości „a” i „B”, gdy B osiąga wartości (od +B do -B). (4) .

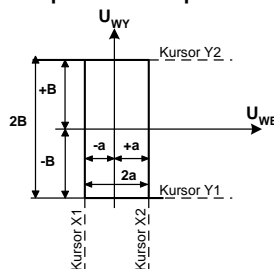
3.3.7.1. Rejestracja charakterystyki przełącznika dwupołożeniowego z histerezą, gdy przełącznik „Przełącznik z histerezą” ustawiony jest w położeniu „a = 2V”.

a) Rejestracja charakterystyki

1. Napięcie wejściowe i drugi kanał oscyloskopu przyłączyć do układu nieliniowego 4.
2. Pierwszy przełącznik z napisem „Przełącznik” ustawić w położenie $a = 2V$.
3. Drugi przełącznik z napisem „Przełącznik” ustawić w położeniu „Dioda włączona.”
4. Przełącznik zmiany napięcia wejściowego ustawić w położenie $U_{WE} \uparrow$. Na wejście badanego układu będzie podawane zmieniające się napięcie od $-8,5V$ do $+8,5V$. Na ekranie oscyloskopu poruszająca się plamka narysuje część charakterystyki przełącznika dwupołożeniowego z histerezą.
5. Przełącznik zmiany napięcia wejściowego ustawić w położenie $U_{WE} \downarrow$. Na wejście badanego układu będzie podawane zmieniające się napięcie od $+8,5V$ do $-8,5V$. Na ekranie oscyloskopu poruszająca się plamka narysuje drugą część charakterystyki.
6. Wykonać czynności jak w punkcie 3.3.3 (podpunkty 1 ÷ 4).

b) Pomiar wartości „a” i „B” kursorami oscyloskopu.

Na otrzymanej charakterystyce (patrz rysunek 3.9) pomierzyć kursorami oscyloskopu wartości $2a$ i $2B$, ponieważ charakterystyka jest trochę niesymetryczna względem osi U_{WE} i U_{WY} . Wartości te podzielić przez 2 uzyskując średnią wartość a i B .



Rys. 3.9. Pomiar wartości $2a$ i $2B$ charakterystyki przełącznika dwupołożeniowego z histerezą.

W celu pomiaru wartości „a” i „B” należy:

1. Na oscyloskopie nacisnąć przycisk **Cursors** i **X1**. Pokrętlekursorów ustawić kursor X1 na kropkowanej linii, gdy nastąpił przeskok napięcia wyjściowego z wartości $-B$ na wartość $+B$.
2. Nacisnąć przycisk **X2**. Pokrętlekursorów ustawić kursor X2 na kropkowanej linii, gdy nastąpił przeskok napięcia wyjściowego z wartości $+B$ na wartość $-B$.
3. Odczytać wartość ΔX . Jest to wartość $2a$. Wynik pomiaru $2a$ podzielić przez 2.
4. Wartości a i $2a$ zanotować w tabeli 1.
5. Nacisnąć przycisk **Y1**. Pokrętlekursorów ustawić kursor Y1 na wartość $-B$.

6. Nacisnąć przycisk **Y2**. Pokrętelem kursorów ustawić kursor Y2 na wartość **+B**.
7. Odczytać wartość ΔY . Jest to wartość **2B**. Wynik pomiaru 2B podzielić przez 2.
8. Wartości **B** i 2B zanotować w tabeli 1.
9. Na ekranie wymazać charakterystykę naciskając na przycisk **Display** i **Clear Display**.

Tabela 1.

Ustawienie przełącznika „Przełącznik”	2a [V]	a [V]	2B [V]	B [V]
2V				
0,7V lub 0,5V				

3.3.7.2. Rejestracja charakterystyki przełącznika dwupołożeniowego z histerezą, gdy przełącznik „Przełącznik z histerezą” ustawiony jest w położeniu „a = 0,7V”.

Przełącznik z napisem „Przełącznik” ustawić w położenie **a = 0,7V lub 0,5V**.

Rejestrację charakterystyki i pomiar wartości a i B wykonać zgodnie z podpunktami zawartymi w punkcie 3.3.7.1.

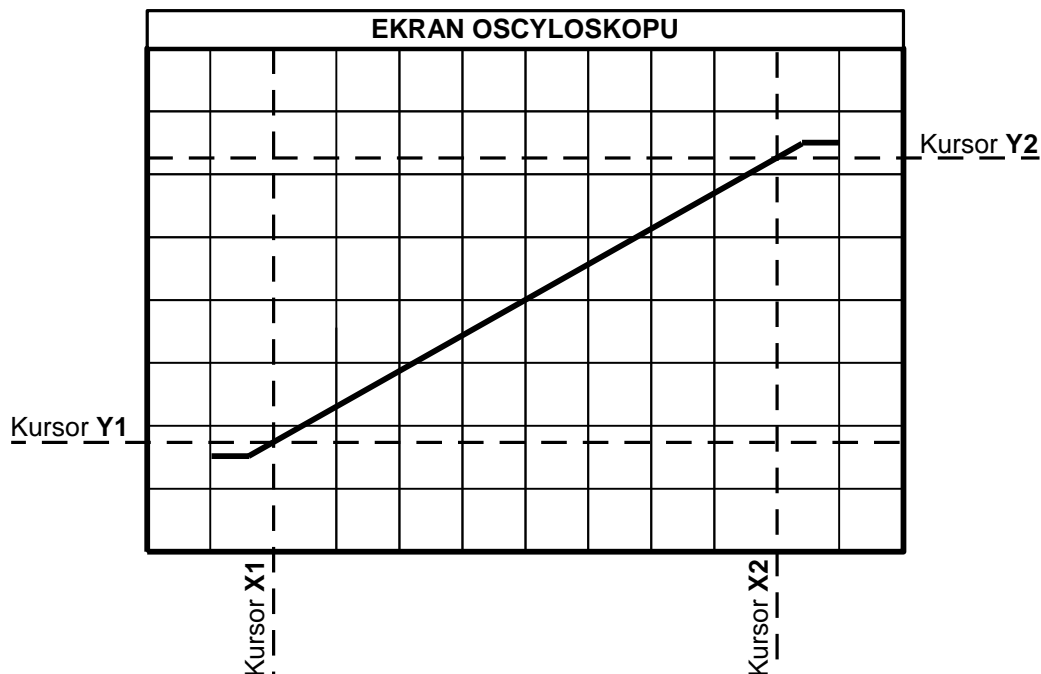
3.3.8. Pomiar wzmocnienia członu inercyjnego II rzędu (element 5).

Na oscyloskopie zarejestrować charakterystykę członu inercyjnego II rzędu.

1. Napięcie wejściowe i drugi kanał oscyloskopu przyłączyć do układu liniowego 5.
2. Pokrętelem **kanalu 2** ustawić wzmocnienie na **5V/dz**.
3. Wykonać czynności jak w punkcie 3.3.3 (podpunkty 1 ÷ 4).

Na otrzymanej charakterystyce (patrz rysunek 3.10) pomierzyć kursorami oscyloskopu wartości ΔU_{WE} i ΔU_{WY} w następujący sposób:

- ustawić kursory **X** i **V** tak lub podobnie, jak pokazano na rysunku 3.10;
- odczytać wartość ΔX - jest to wartość ΔU_{WE} ;
- odczytać wartość ΔY - jest to wartość ΔU_{WY} ;
- zapisać pomierzone wartości do tabeli 2 i obliczyć wzmocnienie członu inercyjnego.



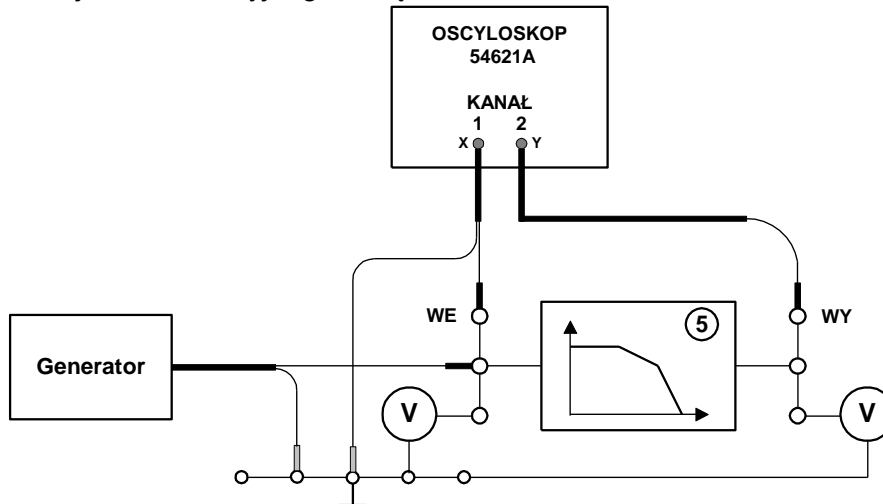
Rys. 3.10. Pomiar wartości ΔU_{WE} i ΔU_{WY} członu inercyjnego II rzędu.

Tabela 2.

ΔU_{WE}	ΔU_{WY}	$k = \Delta U_{WY} / \Delta U_{WE}$ (dla $f=0\text{Hz}$)
V	V	-

3.4. Pomiar charakterystyki amplitudowo – fazowej członu inercyjnego rzędu drugiego (element liniowy nr 5)] przy ustawieniu przełącznika „Przełącznik” w położeniu 2 (2V).

Na rys. 3.11. przedstawiono zestaw stanowiska do pomiaru charakterystyki amplitudowo-fazowej członu inercyjnego II rzędu.



Rys. 3.11. Zestaw stanowiska do pomiaru charakterystyki amplitudowo-fazowej członu inercyjnego II rzędu.

3.4.1. Przygotowanie stanowiska do przeprowadzenia pomiarów.

1. Połączyć stanowisko zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.11.
2. Na generatorze ustawić:
 - częstotliwość na wartości około 40Hz;
 - pokrętkę poziomu odniesienia w pozycji „0”;
 - wybrać sinusoidalny kształt napięcia.
3. Ustawić zakresy woltomierzy na wartości 100V „AC”.
4. Włączyć zasilanie generatora, woltomierzy i stanowiska.
5. Na generatorze ustawić wartość napięcia wyjściowego około 2V. W czasie pomiarów nie korygować wartości ustawionego napięcia, a do tabeli zapisywać jego aktualne wartości.

3.4.2. Przygotowanie oscyloskopu cyfrowego do pomiarów.

1. Nacisnąć przycisk **Main/Delayed**, a następnie wybrać **Main**.
2. Nacisnąć przycisk **Display**; następnie wyłączyć **Persist** (poruszająca się plamka nie będzie zostawiała ślad na ekranie).
3. Nacisnąć na przycisk **Edge** i ustawić wyzwal. sygnałem 1 kanału, naciskając na przycisk **1**.
4. Nacisnąć przycisk **1** kanału oraz wybrać **Coupling DC**.
5. Nacisnąć przycisk **2** kanału oraz wybrać **Coupling DC**.
6. Nacisnąć na przycisk **Mode Coupling** i przyciskiem **Mode** wybrać **Auto**.
7. Pokrętkami kanałów ustawić wzmocnienie kanału 1 na wartość 2V/dz, a drugiego 5V/dz.
8. Pokrętkiem **Horizontal** ustawić podstawę czasu tak, aby było widać od 2 do 3 okresów przebiegu napięcia. Przy innym ustawieniu, gdy będzie widać tylko jeden okres, oscyloskop nie będzie mierzył kąta przesunięcia fazowego.
9. Pokrętkami **Position** 1 i 2 kanału ustawić przebieg napięcia 1-go kanału nad drugim.
10. Pokrętkiem **Level** ustalić poziom wyzwalania kanału pierwszego.
11. Nacisnąć na przycisk **Quick Meas** i przyciskiem **Source** wybrać **1**. Następnie nacisnąć na przycisk **Frequency** – oscyloskop będzie mierzył częstotliwość przebiegu kanału 1. Nacisnąć kilkakrotnie na przycisk **➡**, aż do pokazania się przycisku **Phase 1→ 2**. (Przycisk ten będzie aktywny, jeżeli poprzednio wybrano **Source 1**). Nacisnąć na ten przycisk. Oscyloskop będzie mierzył dodatni kąt przesunięcia fazowego. Jeżeli ukaże się ujemna wartość kąta przesunięcia fazowego np. -244° , to należy wykonać działanie: $360^{\circ} - 244^{\circ} = 116^{\circ}$.

3.4.3. Pomiar charakterystyki amplitudowo – fazowej.

Aby pomierzyć charakterystykę amplitudowo-fazowej członu liniowego należy:

1. Na wejście układu podać napięcie sinusoidalne o stałej wartości $U = 2V$.
2. Według wskazań oscyloskopu ustawić częstotliwość napięcia wejściowego na około 40Hz tak, aby uzyskać kąt przesunięcia fazowego $\phi=15^\circ$.
3. Pomierzyć napięcie wejściowe, wyjściowe i częstotliwość. Częstotliwość wskaże oscyloskop. Wartości te zapisać w tabeli 3.
4. Wykonać następane pomiary dla kątów przesunięcia fazowego ϕ podanych w tabeli 3.
5. W czasie wykonywania dalszych pomiarów należy zmieniać podstawę czasu, a od częstotliwości 500Hz, należy także zwiększać wzmocnienie 2 kanału.
6. Po zakończeniu pomiarów należy wymazać wielkości częstotliwości i kąta przesunięcia fazowego naciskając na przycisk **Clear Meas**.

Tabela 3.

Wielkość	Lp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f [Hz]		0										
$-\phi$		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
U_{WY} [V]	Wstawić z tabeli nr 2											
U_{WE} [V]												
$k=\Delta U_{WY}/\Delta U_{WE}$												

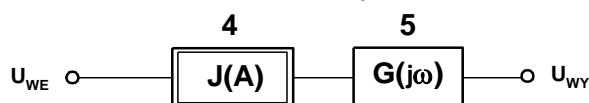
Wzmocnienie układu jest to stosunek wartości napięcia wyjściowego do wejściowego (amplitudy napięcia lub wartości skutecznej). Jest to moduł transmitancji układu. $k=|G(j\omega)|$.

3.5. Nieliniowy układ automatycznej regulacji.

Zadaniem układu automatycznej regulacji jest utrzymywanie na wyjściu układu chwilowej wartości napięcia proporcjonalnego do wartości napięcia wejściowego. Wartość ta jest stabilizowana z pewnym statycznym błędem regulacji.

3.5.1. Układ nieliniowy bez pętli sprzężenia zwrotnego (układ otwarty).

Schemat blokowy układu przedstawiono na rysunku 3.12.



Rys. 3.12. Schemat blokowy nieliniowego układu bez pętli sprzężenia zwrotnego.

A) Praca układu.

Pracę układu wyjaśniają przebiegi napięć w poszczególnych punktach układu przedstawione na rysunku 3.13.

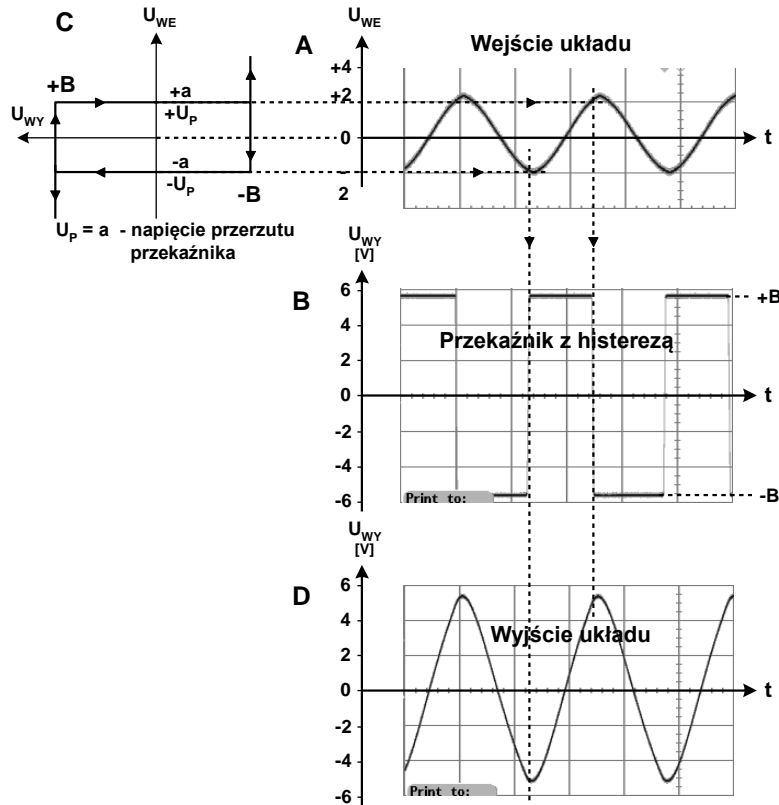
Jeżeli na wejście układu zostanie podane napięcie sinusoidalnie zmienne o odpowiedniej częstotliwości, którego amplituda będzie mniejsza od napięcia przerzutu przekaźnika dwupołożeniowego z histerezą, to napięcie na wyjściu układu będzie 0V lub równe napięciu nasycenia (około 11V).

Jeżeli na wejście układu zostanie podane napięcie, którego amplituda będzie większa od napięcia przerzutu przekaźnika ($-U_P$ i $+U_P$) (rys. 3.13.A), to na wyjściu układu powstaną oscylacje.

I tak, kiedy napięcie na wejściu układu wzrośnie i jego wartość przekroczy napięcie przerzutu przekaźnika ($+U_P$), to przekaźnik przejdzie ze stanu wysokiego do niskiego (0V) (rys. 3.13B). Ujemne napięcie wyjściowe przekaźnika powoduje opadanie napięcia na wyjściu członu inercyjnego z pewną stałą czasową (rys. 3.13D).

Kiedy zaś napięcie na wejściu układu zmaleje i jego wartość będzie mniejsza od napięcia przerezu przekaźnika ($-U_P$), to przekaźnik przejdzie ze stanu niskiego do wysokiego. Dodatnie napięcie wyjściowe przekaźnika powoduje narastanie napięcia na wyjściu członu inercyjnego z pewną stałą czasową. Dzięki zastosowaniu silnie tłumiącego elementu (członu inercyjnego II rzędu), na wyjściu układu powstaje napięcie przemienne bardzo zbliżone do przebiegu sinusoidalnego.

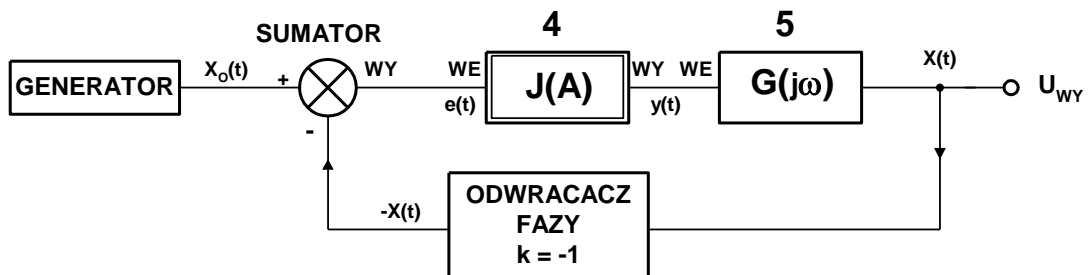
B) Przebiegi napięć układu otwartego.



Rys. 3.13. Przebiegi napięć układu otwartego z przekaźnikiem o charakterystyce symetrycznej względem osi napięcia wejściowego (+B, -B).

3.5.2. Nieliniowy układ automatycznej regulacji z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego.

Schemat blokowy układu przedstawiono na rysunku 3.14.



Rys. 3.14. Schemat blokowy nieliniowego układu automatycznej regulacji z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego.

W skład układu wchodzi następujące podzespoły:

- generator;
- sumator, zbudowany na wzmacniaczu odwracającym o wzmacnieniu $K = -1$;
- przekaźnik dwupołożeniowy z histerezą – element nr 4;
- człon inercyjny drugiego rzędu – element nr 5;
- odwracacz fazy, zbudowany na wzmacniaczu odwracającym o wzmacnieniu $K = -1$.

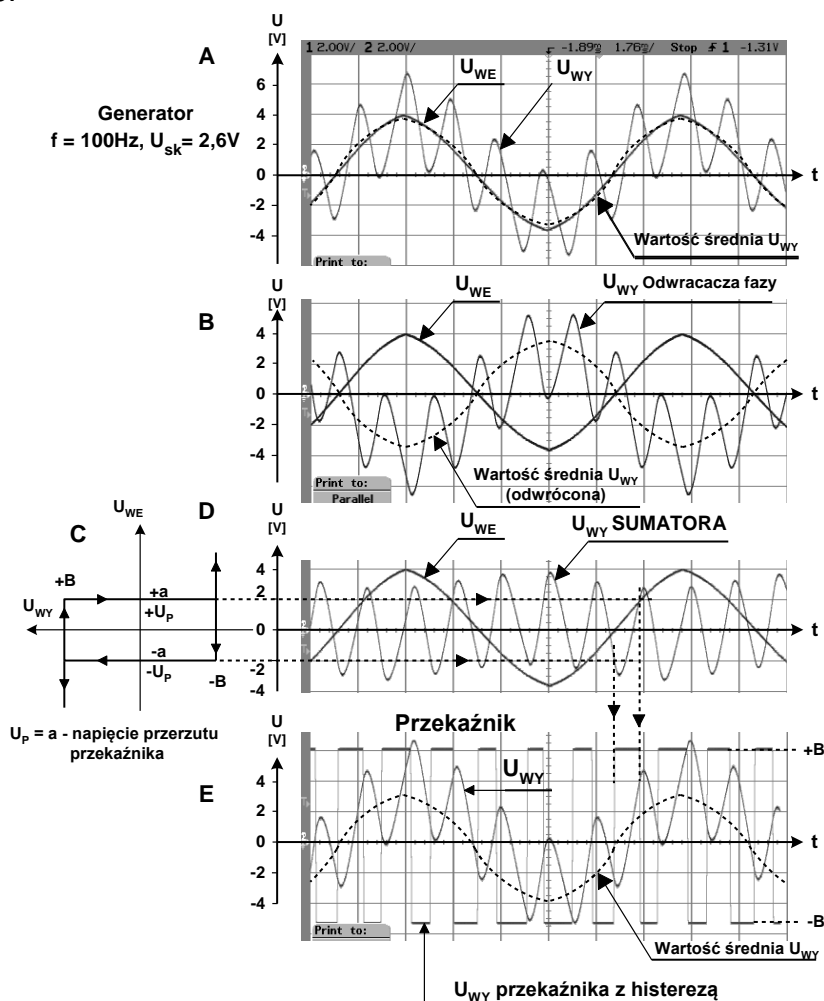
Uwaga !

W jednym egzemplarzu stanowiska nie ma odwracacza fazy, gdyż sumator zbudowano na wzmacniaczu różnicowym, gdzie **wejście B jest wejściem odwracającym**.

Praca układu

W układzie zastosowano przełącznik dwupołożeniowy z histerezą, którego napięcia w czasie przerzutu zmieniają się od $-B$ do $+B$.

Pracę układu wyjaśniają przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego przedstawione na rysunku 3.15.



Rys. 3.15. Przebiegi napięć w poszczególnych punktach nieliniowego układu automatycznej regulacji w czasie stabilizacji wejściowego napięcia przemiennego.

Na wejście układu podane zostało napięcie przemiennie o częstotliwości 100Hz i wartości skutecznej 2,6V.

Na wyjściu układu występuje napięcie, którego wartość średnia, mierzona w czasie okresu napięcia wejściowego, jest w przybliżeniu równa chwilowej wartości napięcia wejściowego (rys. 3.15A).

Tak więc przebieg napięcie na wyjściu jest sumą dwóch przebiegów: przebiegu o częstotliwości napięcia wejściowego i przebiegu o częstotliwości i amplitudzie drgań układu.

Napięcie to jest odwrócone na odwracaczu fazy (rys. 3.15B) i podane na sumator. Na sumatorze następuje odejmowanie od napięcia wejściowego, napięcia podanego z odwracacza fazy (rys.3.15D).

Napięcie to podane jest na przełącznik dwupołożeniowy z histerezą, którego charakterystyka przedstawiona jest na rysunku 3.15C.

Jeżeli wartość bieżąca napięcia na wejściu przełącznika będzie równa napięciu przerzutu przełącznika ($-U_P$), to przełącznik przejdzie ze stanu niskiego do wysokiego (rys.3.15E). To powoduje narastanie napięcia na wyjściu członu inercyjnego z pewną stałą czasową.

Kiedy zaś napięcie na wejściu układu wzrośnie i jego wartość przekroczy napięcie przerzutu przełącznika ($+U_P$), to przełącznik przejdzie ze stanu wysokiego do niskiego. Ujemne napięcie na wyjściu przełącznika powoduje opadanie napięcia na wyjściu członu inercyjnego z pewną stałą czasową.

Na wyjściu układu występuje napięcie pulsujące, którego chwilowa wartość średnia (mierzona w czasie $\frac{1}{4}$ okresu) napięcia wyjściowego, jest w przybliżeniu równa chwilowej wartości napięcia wejściowego (rys. 3.15E).

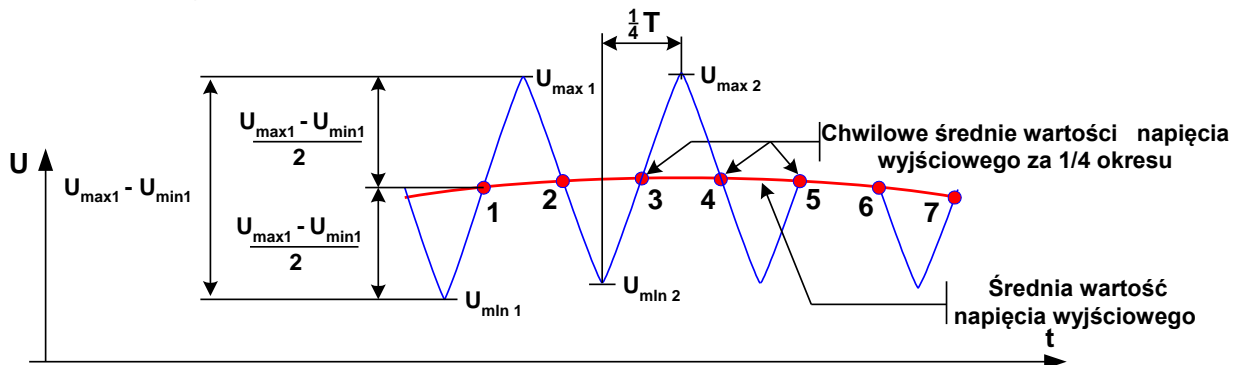
Amplituda oraz częstotliwość drgań układu zależy od parametrów układu:

- wartości napięcia przerezu przełącznika $\pm U_p$ ($\pm a$);
- wartości napięcia na wyjściu przełącznika $\pm B$, $\pm B$;
- częstotliwości granicznych członu inercyjnego II rzędu.

W przypadku stabilizacji napięcia przemiennego, istotną sprawą staje się dobór parametrów układu tak, aby częstotliwość drgań układu była znacznie większa od częstotliwości stabilizowanego napięcia wejściowego.

3.5.3. Chwilowa średnia wartość napięcia wyjściowego.

Wyznaczanie chwilowych średnich wartości napięcia wyjściowego w czasie trwania $\frac{1}{4}$ jego okresu drgań przedstawiono na rysunku 16.

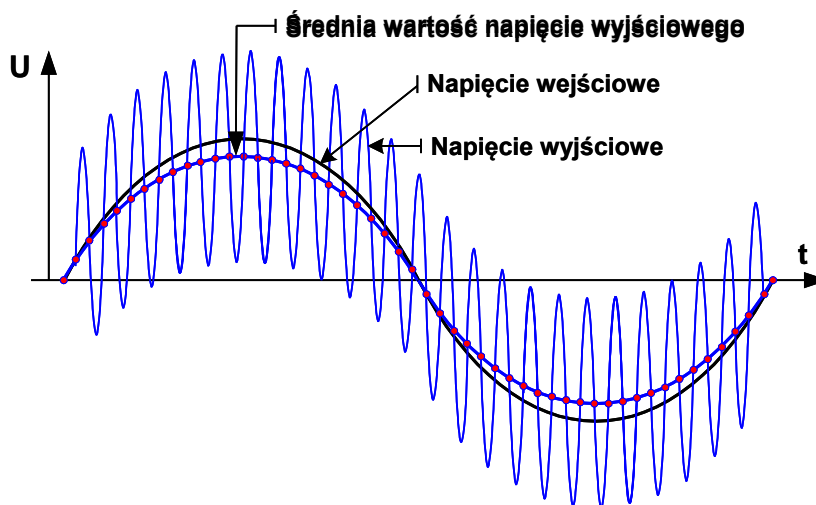


Rys. 16. Wyznaczanie średniej chwilowej wartości napięcia wyjściowego w czasie trwania ćwierćokresu jego drgań.

W celu wyznaczenia chwilowych średnich wartości napięcia wyjściowego w czasie trwania $\frac{1}{4}$ jego okresu drgań należy:

1. Pomierzyć wartości U_{max1} i U_{min1} . Wartości te odjąć i zaznaczyć punkt 1.
2. Pomierzyć wartości U_{max1} i U_{min2} . Wartości te odjąć i zaznaczyć punkt 2.
3. W podobny sposób obliczyć i zaznaczyć punkty 3, 4, 5, 6, 7 itd.

Punkty te należy połączyć. Powstanie część charakterystyki średnich wartości napięcia wyjściowego.



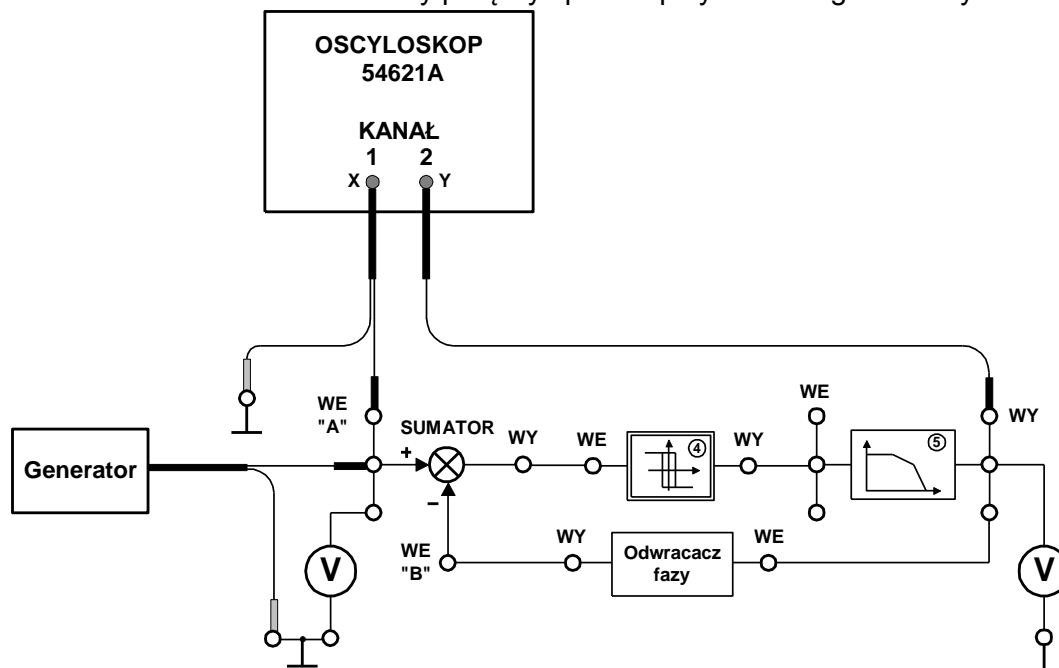
Rys. 17. Przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego oraz średniej wartości napięcia wyjściowego.

Na rys. 3.17. pokazano przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego oraz średniej wartości napięcia wyjściowego w czasie trwania jednego okresu U_{WE} .

Średnia wartość napięcia wyjściowego różni się od napięcia wejściowego. Różnica ta jest kilkuprocentowa. Wynika to z różnic w symetrii charakterystyki przekaźnika z histerezą oraz z różnic stałych czasowych narastania i opadania napięcia wyjściowego.

3.6. Obserwacja pracy nieliniowego układu automatycznej regulacji przy podaniu na wejście układu napięcia przemiennego o różnej wartości jego parametrów.

W celu dokonania badań należy połączyć podzespoły układu zgodnie z rysunkiem 3.18.



Rys. 3.18. Zestaw stanowiska do badania nieliniowego układu automatycznej regulacji.

3.6.1. Obserwacja pracy układu automatycznej regulacji dla $U_{WE}=1V$, $f=20Hz$.

1. Na górnej płycie stanowiska ustawić pierwszy przełącznik w pozycję „**a = 2V**”, a drugi przełącznik w pozycję „**Dioda WYŁ**”,
2. Na generatorze ustawić wartość napięcia na **1V**. Poziom odniesienia ustawić na **0**, a częstotliwość na **20Hz**.
3. Woltomierze ustawić na zakresie **100V AC**.
4. Włączyć zasilanie generatora, woltomierzy, badanych układów i oscyloskopu.
5. Na oscyloskopie ustawić wzmacnienia kanałów na **2V/dz**, a ich poziomy ustawić na środku ekranu. Kolejno nacisnąć na przycisk **1** i **2** kanału oraz wybrać **Coupling DC**.
6. Na oscyloskopie nacisnąć na przycisk **Edge** i ustawić wyzwalać sygnałem 1 kanału, naciskając na przycisk **1**. Pokrętelem **Level** ustawić poziom wyzwalać (na 0).
7. Dobrać podstawę czasu tak, aby na ekranie było widać kilka okresów napięcia
8. Chwilowa średnia wartość napięcia na wyjściu układu winna być w przybliżeniu równa chwilowej wartości napięcia na wejściu układu.
9. Dokonać obserwacji pracy układu przy zmianie:
 - napięcia wejściowego w zakresie **3 ÷ 0V**;
 - częstotliwości napięcia wejściowego w zakresie **1 ÷ 500Hz**;
 - składowej stałej napięcia wejściowego w zakresie **-2 ÷ +2V**;
 - wartości napięcia przerzutu przekaźnika **a = 2V** i **a = 0,7V**.

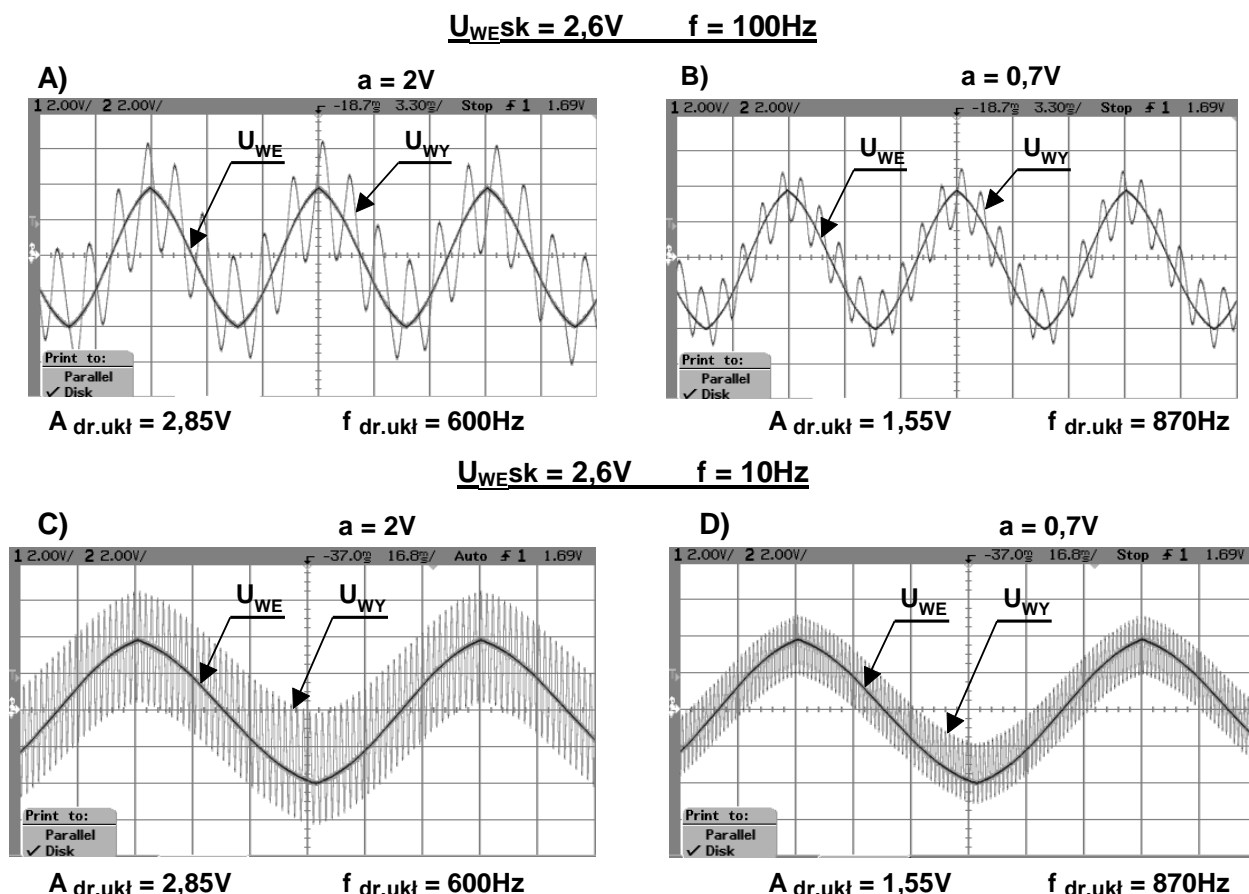
3.6.2. Obserwacja pracy układu automatycznej regulacji dla $U_{WE}=2V$, $f=20Hz$.

Podgrupa wykonująca ćwiczenie na stanowisku z przełącznikiem „Przełącznik” 005, 0,1, 0,5, 1, 2, 8 4 winna zaobserwować przebiegi dla wszystkich ustawień przełącznika. Przebiegi te winna pokazać kolejnym dwóm podgrupom.

Obserwacja pracy układu automatycznej regulacji dla:

- A. $U_{WE}=2,6V$, $f=100Hz$, ustawienie przełącznika „Przełącznik” w położeniu 2 ($a=2V$).
 B. $U_{WE}=2,6V$, $f=100Hz$, ustawienie przełącznika „Przełącznik” w położeniu 0,7 ($a=0,7V$).
 C. $U_{WE}=2,6V$, $f=10Hz$, ustawienie przełącznika „Przełącznik” w położeniu 2 ($a=2V$).
 D. $U_{WE}=2,6V$, $f=10Hz$, ustawienie przełącznika „Przełącznik” w położeniu 0,7 ($a=0,7V$).

Na rysunku 3.19 przedstawiono przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego nieliniowego układu automatycznej regulacji w czasie stabilizacji wejściowego napięcia przemiennego, dla dwóch różnych częstotliwości napięcia wejściowego i dwóch wartości napięcia przerzutu przełącznika „a”.



Rys. 3.19. Przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego nieliniowego układu automatycznej regulacji w czasie stabilizacji wejściowego napięcia przemiennego, dla dwóch różnych częstotliwości napięcia wejściowego i 2 wartości napięcia przerzutu przełącznika „a”.

Porównując przebiegi z rys. 3.19A i C można łatwo zauważyć że:

- dla częstotliwości **100Hz**, na jeden okres napięcia wejściowego przypada tylko kilka okresów drgań układu;
- dla częstotliwości **10Hz**, na jeden okres napięcia wejściowego przypada kilkadziesiąt okresów drgań układu.

Porównując przebiegi z rys. 3.19C i D można zauważyć, iż dla napięcia przerzutu przełącznika $a = 0,7V$, amplituda drgań maleje, w stosunku do amplitudy przy $a = 2V$, zaś częstotliwość drgań rośnie.

3.6.3. Pomiar amplitudy i częstotliwości drgań własnych układu przy $a = 2V$.

1. Na górnej części płyty stanowiska ustawić pierwszy przełącznik w pozycję „ $a = 2V$ ”, a drugi przełącznik w pozycję „**Dioda WYŁ**”.
2. Na generatorze ustawić wartość amplitudy napięcia na **0**. Poziom odniesienia także ustawić na **0**, Układ będzie stabilizował zerowe napięcie wejściowe. Wartość średnia napięcia na wyjściu układu winna być zbliżona do zera (błąd statyczny regulacji).

3. Na oscyloskopie nacisnąć na przycisk **Edge** i ustawić wyzwalanie sygnałem 2 kanału, naciskając na przycisk **2**. Pokręćłem **Level** ustawić poziom wyzwalania tak, aby przebieg ustabilizował się.
4. Dobrać podstawę czasu tak, aby na ekranie było widać kilka okresów napięcia ustalonych drgań układu.
5. Nacisnąć na oscyloskopie na przycisk **Quick Meas**. Przyciskiem **Source** wybrać **kanal 2**. Następnie nacisnąć **Frequency**. Oscyloskop będzie mierzył częstotliwość drgań układu.
6. Kursorami **Y** oscyloskopu pomierzyć amplitudą drgań własnych układu.
7. Pomierzone wartości zanotować w tabeli 4.

Tabela 4.

	$f_{dr.ukł}$	U_{P-P}	A $A = U_{P-P}/2$
	Hz	V	V
$a = 2V$			
$a = 0,7(0,5)V$			

3.6.5. Rysowanie charakterystyk nieliniowego układu automatycznej regulacji $G(j\omega)$ i $-1/J(A)$.

Aby znaleźć punkt stabilnych drgań układu, należy narysować charakterystykę amplitudowo – fazową $G(j\omega)$ członu inercyjnego II rzędu i dorysować charakterystykę członu nieliniowego (przełącznika z histerezą) $-1/J(A)$. Na charakterystyce $-1/J(A)$ zaznaczyć położenie punktu **K2**.

Kolejność rysowania charakterystyki amplitudowo – fazowej $G(j\omega)$

1. Na arkuszu A4 narysować układ współrzędnych, przyjmując za jednostkę np. 10cm.
2. Za pomocą kątomierza narysować proste wychodzące ze środka układu pod kątami (15° , 30° , itd), które zostały pomierzone dla danych częstotliwości.
3. Linijką lub cyrklem, na narysowanych prostych, odłożyć odcinki równe wartościom modułów (wzmocnieniu k) obliczonych i zapisanych w tabeli 3 wiersz 7).
4. Krzywką połączyć uzyskane punkty (1, 2 do 12). Powstanie pomierzona charakterystyka $G(j\omega)$.

Poprzednio uzyskane wyniki pomiarów (tabela 1 i 4) przenieść do tabeli 5 i wykonać wykres $-1/J(A)$ zgodnie z wyprowadzonym równaniem:

$$-\frac{1}{J(A)} = -\frac{\Pi A}{4B} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{A}\right)^2} - j \frac{\Pi a}{4B}$$

gdzie wprowadzono oznaczenia:

$$K_2 = -\frac{\Pi A}{4B} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{A}\right)^2} ; \quad L = -\frac{\Pi a}{4B}$$

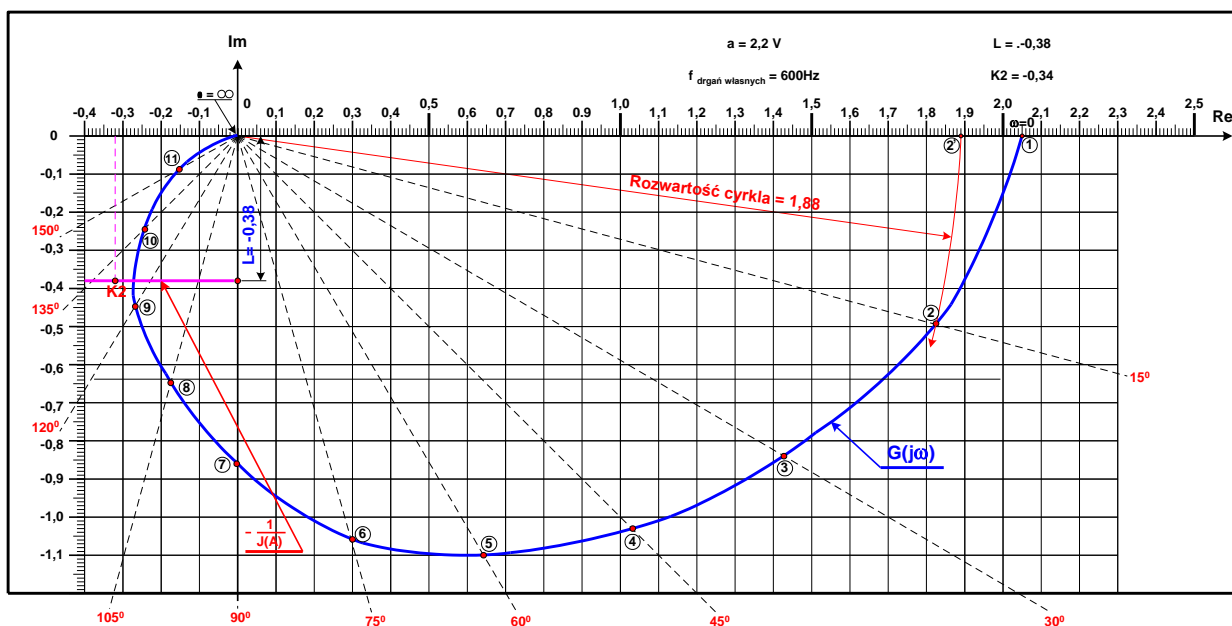
gdzie: A – amplituda drgań własnych układu.

Tabela 5.

Ustawienie przełącznika z napisem „Przełącznik” w położeniu $a = 2V$.		
Napięcie na wyjściu przełącznika	B=	[V]
Napięcie przerzutu przełącznika	a =	[V]
Amplituda drgań układu	A =	[V]
Częstotliwość drgań układu	$f_{dr.ukł} =$	[Hz]
	L = -	-
	K₂ = -	-

Aby narysować charakterystykę $-1/J(A)$, należy obliczyć wartość **L** i **K₂** i wpisać je do tabeli 5.

Konstrukcję charakterystyki pokazano na rysunku 3.20.



Rys 3.20. Charakterystyki nieliniowego układu automatycznej regulacji.

4. PROGRAM ĆWICZENIA.

1. Badanie statycznych charakterystyk członów nieliniowych.

- 1.1. Pomiar statycznej charakterystyki wzmacniacza ze strefą martwą (1).
- 1.2. Pomiar statycznej charakterystyki ogranicznika diodowego (2).
- 1.3. Pomiar charakterystyki statycznej dwóch członów połączonych łańcuchowo (1 i 2).
- 1.4. Pomiar statycznej charakterystyki przekaźnika dwupołożeniowego (3).
- 1.5. Pomiar charakterystyki przekaźnika dwupołożeniowego z histerezą (4).
- 1.6. Pomiar charakterystyki statycznej członu inercyjnego II rzędu (element 5).

2. Pomiar charakterystyki amplitudowo – fazowej członu liniowego [członu inercyjnego rzędu drugiego (element liniowy nr 5)].

3. Badanie stabilności nieliniowego układu automatycznej regulacji.

- 3.1. Pomiar amplitudy i częstotliwości drgań układu przy $a = 2V$ i $a = 0,7V$.
- 3.2. Określenie punktu stabilnych drgań nieliniowego układu automatycznej regulacji.

5. PYTANIA KONTROLNE.

1. Czym charakteryzuje się element nieliniowy. Narysować symbol i wybraną charakterystykę elementu nieliniowego.
2. Jakiej zasady nie można stosować dla elementu nieliniowego.
3. Narysować charakterystykę dwóch elementów nieliniowych połączonych szeregowo.
4. Scharakteryzować funkcję opisującą elementu nieliniowego.
5. Napisać wzór na funkcję opisującą przekaźnika dwupołożeniowego z histerezą dla $B = -B, +B$.
6. Narysować blokowy schemat nieliniowego układu automatycznej regulacji i omówić jego zasadę działania.
7. Dla nieliniowego układu automatycznej regulacji, na płaszczyźnie liczb zespolonych narysować:
 - charakterystykę amplitudowo-fazową członu inercyjnego II rzędu;
 - charakterystykę $-1/A$ przekaźnika dwupołożeniowego z histerezą i omówić stabilność nieliniowego układu automatycznej regulacji.

	$K_2 =$	$K_2 =$	-
--	---------	---------	---

Obliczenie wartości L i K_2 .

$$-\frac{1}{J(A)} = -\frac{\Pi A}{4B} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{A}\right)^2} - j \frac{\Pi a}{4B}$$

gdzie wprowadzono oznaczenia:

$$K_2 = -\frac{\Pi A}{4B} \sqrt{1 - \left(\frac{a}{A}\right)^2} ; \quad L = -\frac{\Pi a}{4B}$$

Wnioski

