

Ćwiczenie Nr 26

**BADANIE WZMACNIACZA POMIAROWEGO**

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest poznanie struktur, właściwości oraz potencjalnych zastosowań wzmacniaczy pomiarowych a także sposobów wyznaczania ich podstawowych parametrów metrologicznych

*(Opracował: prof. Jan R. Jasik)*

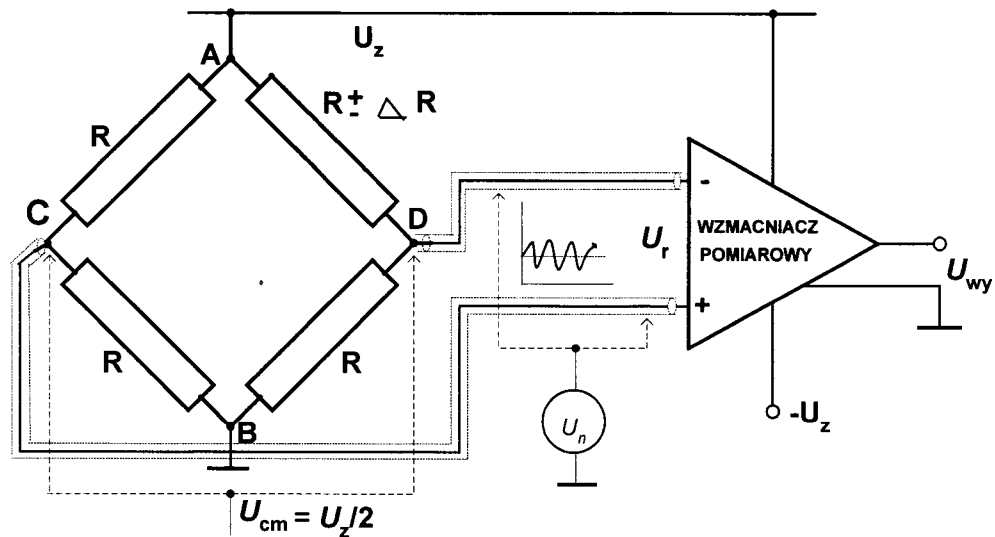
Lublin 2007

## 1. WPROWADZENIA TEORETYCZNE.

### 1.1. Podstawowe definicje i określenia.

Wzmacniacze pomiarowe (*przrządowe, instrumentalne*) przeznaczone są przede wszystkim do dokładnego wzmacniania bardzo małych napięć różnicowych, (*od pojedynczych  $\mu\text{V}$  do dziesiątek mV*) występujących w obecności dużego sygnału wspólnego (wspólnego, sumacyjnego). **Napięcie różnicowe to napięcie źródła symetrycznego a więc napięcie między takimi dwoma punktami obwodu, że żaden z nich nie jest połączony bezpośrednio z masą.** Najczęściej są to sygnały wyjściowe mostków niezrównoważonych (np. tensometrycznych), termopar i innych czujników pomiarowych.

Typowe zastosowanie wzmacniacza pomiarowego jest przedstawione na rys. 1.1.



Rys 1.1 Przykładowe zastosowanie wzmacniacza pomiarowego;  $U_z$  – napięcie zasilające mostek i wzmacniacz pomiarowy,  $U_n$  – napięcie zakłócające,  $U_C - U_D = U_r$  – napięcie różnicowe jako napięcie nierównowagi mostka rezystancyjnego .

Dwa napięcia  $U_C = U_D = \frac{U_z}{2} = U_{cm}$  **równoramienne mostka zrównoważonego**

**odnoszone do masy układu** nie niosą informacji pomiarowej i są wspólne dla obydwu wejść (odwracającego i nieodwracającego) wzmacniacza. Napięcia te powinny być ignorowane przez wzmacniacz. Ignorowane powinny być również napięcia  $U_n$  indukowane w przewodach doprowadzających pomiarowy sygnał różnicowy do wejść wzmacniacza, jeśli napięcia te posiadają tę samą polaryzację i fazę (sygnały synfazowe).

Gdy mierzona wielkość fizyczna (np. temperatura, ciśnienie, siła mechaniczna itp.) powoduje zmianę rezystancji czujnika o wartość  $\pm \Delta R$ ,  $U_C$  już nie jest równe  $U_D$ . Napięcie wyjściowe  $U_r$ , mostka opisuje wzór (1.1)

$$U_r = U_C - U_D = U_z \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R}. \quad (1.1)$$

Dla małych przyrostów rezystancji ( $\Delta R \ll 4R$ ) wzór (1.1) przyjmuje postać:

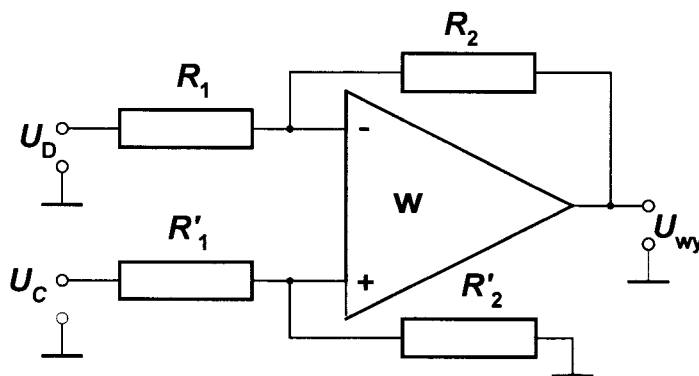
$$U_r = U_C - U_D \approx \frac{U_z}{4} \frac{\Delta R}{R}, \quad (1.2)$$

przy czym polaryzacja napięcia różnicowego  $U_r$  zależy od znaku przyrostu  $\Delta R$  .

Najprostszym, możliwym technicznie, rozwiązaniem wzmacniacza, który wzmacnia sygnał różnicowy  $U_r$  mostka niezrównoważonego i eliminuje lub tłumi napięcie wspólne (synfazowe)  $U_{cm}$ , na które „nałożony” jest sygnał różnicowy jest wzmacniacz operacyjny w konfiguracji wzmacniacza różnicowego [1, 2, 3], przedstawiony na rys.1.2. Konfiguracja tego wzmacniacza gwarantuje, że żadne z wejść wzmacniacza operacyjnego  $W$  nie jest bezpośrednio połączona z masą układu (punkt B na rys.1.1).

Stabilizację współczynnika wzmocnienia takiego wzmacniacza osiąga się tak jak w klasycznych wzmacniaczach odwracającym lub nieodwracającym, z wykorzystaniem ujemnego sprzężenia zwrotnego [1,2]. Napięcie wyjściowe wzmacniacza różnicowego  $U_{wy}$  można zapisać jako sumę dwóch niezależnych składowych, z których jedna jest wywołana przez napięcie  $U_C$ , druga zaś przez  $U_D$

$$U_{wy} = U_C \frac{R'_2}{R'_1 + R'_2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - U_D \frac{R_2}{R_1}. \quad (1.3)$$



Rys .1.2 Schemat wzmacniacza różnicowego.

Jeżeli spełniony jest warunek, że  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R'_2}{R'_1}$  to wyjściowe napięcie będzie proporcjonalne do różnicy napięć:

$$U_{wy} = (U_C - U_D) \frac{R_2}{R_1}. \quad (1.4)$$

Relacja  $\frac{R_2}{R_1}$  jest współczynnikiem wzmocnienia wzmacniacza różnicowego.

Rezystancje wewnętrzne  $r_{w1}$  i  $r_{w2}$  źródeł napięć wejściowych  $U_C$  i  $U_D$  dodają się do rezystancji  $R_1$  i  $R'_1$  odpowiednio, powodując zmianę współczynników wzmocnienia dla tych napięć. Jeżeli  $r_{w1} = r_{w2}$  to celowym jest utrzymanie

$$R_1 = R'_1 \text{ oraz } R_2 = R'_2. \quad (1.5)$$

W tej sytuacji obecność, nie równych zero, rezystancji wewnętrznych źródeł będzie miała wpływ na wartość współczynnika wzmocnienia lecz nie będzie prowadzić do naruszenia „różnicowości” wzmacniacza.

Zdolność wzmacniacza do tłumienia napięć wspólnych jest charakteryzowana przez jego współczynnik CMRR (ang. *common mode rejection ratio*) definiowany wzorem (1.6):

$$\text{CMRR [dB]} = 20 \lg \frac{K_r \cdot U_{cm}}{U_{wym}} \text{ [dB]}, \quad (1.6)$$

$$K_r = \frac{U_{wy}}{U_r} \quad (1.7)$$

jest współczynnikiem wzmocnienia sygnału różnicowego  $U_r$ , zaś

$$K_{cm} = \frac{U_{wym}}{U_{cm}} \quad (1.8)$$

jest współczynnikiem wzmocnienia sygnału sumacyjnego (*wspólnego, współbieżnego*).

Współczynnik CMRR podawany jest także w postaci relacji:

$$CMRR = \frac{K_r}{K_{cm}}, \quad (1.9)$$

która wskazuje ile razy bardziej jest wzmocniane napięcie różnicowe niż napięcie wspólne. Przy całkowitym wytłumieniu napięcia wspólnego przez wzmacniacz wartość jego CMRR jest nieskończenie duża.

Od wzmacniacza pomiarowego wymaga się by posiadał **właściwości członu nieznieskształcającego**, tzn. by jego sygnał wyjściowy  $U_{wy}$  wiernie odzwierciedlał (w skali wynikającej z wartości  $K_r$ ) kształt różnicowego sygnału wejściowego  $U_r$ . Wymaganie przetwarzania nieznieskształcającego jest spełnione gdy wzmacniacz posiada:

- stały w całym zakresie współczynnik  $K_r$ , a więc wysoką liniowość statycznej charakterystyki przetwarzania (tzw. charakterystyki przejściowej) (1.10):

$$U_{wy} = K_r(U_C - U_D), \quad (1.10)$$

- dolnoprzepustową i liniową charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową,
- liniową charakterystykę fazowo-częstotliwościową,

Ponadto, od wzmacniacza pomiarowego wymaga się:

- bardzo dużej i takiej samej na obydwu wejściach rezystancji wejściowej,
- małej rezystancji wyjściowej,
- małych napięć i prądów niezrównoważenia,
- wartości CMMR rzędu (80÷120) dB,
- łatwości nastawiania współczynnika wzmocnienia sygnału różnicowego.

Parametry zwykłego wzmacniacza różnicowego są znacznie gorsze od parametrów specjalnych wzmacniaczy pomiarowych, czego główną przyczyną jest przeciwstawność wymagań dotyczących łatwości regulacji wzmocnienia oraz jednakowej i dużej rezystancji wejściowej. Rezystancja wzmacniacza różnicowego widziana z wejścia odwracającego (-) wynosi  $R_1$ , zaś z wejścia nieodwracającego (+) ( $R'_1 + R'_2$ ). Tak więc uzyskanie dużej rezystancji wejściowej wymaga stosowania wysokoomowych rezystorów  $R_1$  i  $R'_1$ , niepraktycznych z powodu niestabilności termicznej, a z kolei w celu osiągnięcia dużego wzmocnienia bardzo wysokoomowych rezystorów  $R_2$ . Trudności związane z małą rezystancją wejściową mogą być wyeliminowane jeżeli każde z wejść wzmacniacza różnicowego poprzedzić (rys.1.3) wtórnikiem napięciowym [2].

Następną trudnością jest ograniczenie współczynnika CMRR wzmacniacza różnicowego spowodowane asymetrią par rezystorów  $R_1 = R'_1$  oraz  $R_2 = R'_2$ . Niedokładność rezystorów jest również źródłem błędów zarówno multiplikatywnych jak i addytywnych. Wzór (5) można przekształcić [3] do postaci:

$$U_{wy} = U_r \frac{R_2 R'_2 + \frac{R_2 R'_1 + R_1 R'_2}{2}}{R_1 (R'_1 + R'_2)} + U_{cm} \frac{R_2 R'_2 - R_2 R'_1}{R_1 (R'_1 + R'_2)}, \quad (1.11)$$

w której  $U_r = U_c - U_D$  to różnicowe napięcie wejściowe, zaś  $U_{cm} = (U_c + U_D)/2$  to wejściowy sygnał wspólny. Z (1.11) widać, że niedokładność współczynnika przy  $U_r$  powoduje błąd multiplikacyjny (błąd czułości) wzmacniacza, zaś niezerowa wartość współczynnika przy  $U_{cm}$  jest źródłem błędu addytywnego (błąd zera).

Dokonując analizy wzoru (1.11) przy założeniu, że nominalnie  $R_1 R'_2 = R'_1 R_2$ , otrzymujemy zależność na błąd multiplikacyjny  $\gamma_m$  i addytywny  $\gamma_a$  wzmacniacza różnicowego

$$\gamma_m = \frac{R_1 + 2R_2}{2(R_1 + R_2)}(\gamma_{R_2} - \gamma_{R_1}) + \frac{R_1}{2(R_1 + R_2)}(\gamma_{R_2'} - \gamma_{R_1'}), \quad (1.12)$$

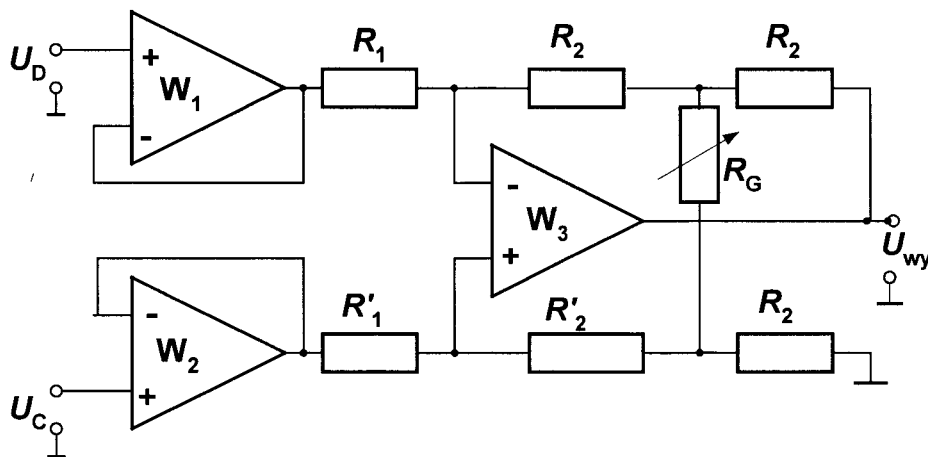
$$\gamma_a = \frac{U_{cm}}{U_{mom}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}(\gamma_{R_1} + \gamma_{R_2} - \gamma_{R_1'} - \gamma_{R_2'}), \quad (1.13)$$

gdzie:  $\gamma_{R_i}$  - błędy (tolerancje) użytych rezystorów.

Błąd addytywny (1.13) jest powodowany tym, że niedokładność rezystorów prowadzi do zaistnienia różnego od zera współczynnika wzmocnienia sygnału synfazowego. Tolerancje rezystorów wynoszące 0,1 % obniżają CMRR wzmacniacza różnicowego do wartości 65 dB nawet gdyby CMRR samego wzmacniacza operacyjnego był nieskończenie duży. Błąd addytywny wzmacniacza różnicowego zależy również od CMRR zastosowanego wzmacniacza operacyjnego [1, 2, 3].

## 1.2 Struktury wzmacniaczy pomiarowych.

W zależności od konkretnego zastosowania konstruuje się różne wzmacniacze pomiarowe wykorzystując monolityczne wzmacniacze operacyjne [1]. Istnieją też specjalistyczne monolityczne wzmacniacze pomiarowe (ang. *instrumentation amplifiers*) [1]. Na rys. 1.3 jest przedstawiony schemat zmodyfikowanego wzmacniacza różnicowego, w którym zmiana wzmocnienia nie pogarsza jego CMRR.



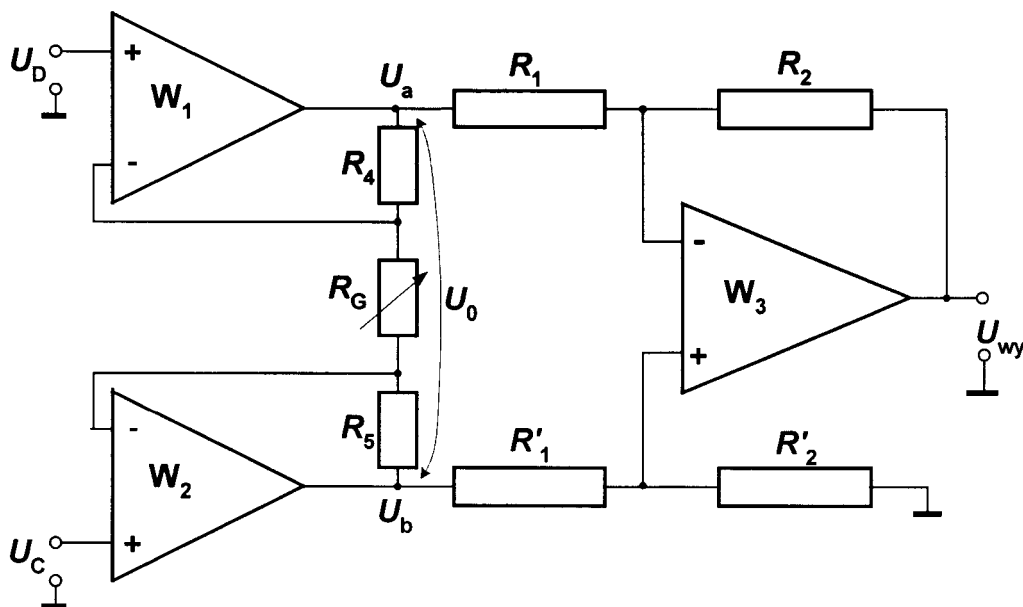
Rys. 1.3 Schemat zmodyfikowanego wzmacniacza różnicowego.

W układzie tym, gdy z dużą dokładnością spełnione są warunki, że  $R_1 = R'_1$  oraz  $R_2 = R'_2$ , napięcie wyjściowe wyraża się wzorem (1.14):

$$U_{wy} = 2 \left( 1 + \frac{R_2}{R_G} \right) \left( \frac{R_2}{R_1} \right) (U_C - U_D) \quad (1.14)$$

a wzmocnienie  $K_r$  jest nieliniową funkcją rezystancji  $R_G$ , ponieważ jest ono ustalone przez część napięcia  $U_{wy}$  wchodzącą do sprzężenia zwrotnego za pomocą dzielnika napięcia złożonego z rezystorów  $R_2$  i  $R_G$ . Włączone na obydwu wejściach układu z rys.1.3 wtórniki napięciowe gwarantują dużą wartość rezystancji wejściowej, zwłaszcza wtedy gdy wzmacniacze operacyjne  $W_1$  i  $W_2$  mają na swoich wejściach układy różnicowe z tranzystorami unipolarnymi FET [2].

Najpopularniejszą strukturą profesjonalnego wzmacniacza pomiarowego jest układ przedstawiony na rys 1.4 [1, 2, 3, 4]. W układzie często utrzymuje się z dużą dokładnością  $R_1 = R'_1 = R_2 = R'_2 = 10k\Omega$  [4, 5].



Rys. 1.4 Schemat klasycznego wzmacniacza pomiarowego.

Napięcie wspólne  $U_{cm}$ , po przejściu bez wzmocnienia przez wzmacniacze  $W_1$  i  $W_2$ , zostaje stłumione w różnicowym wzmacniaczu  $W_3$ , wzmacniającym napięcia  $U_1$  i  $U_2$  o wartościach.

$$U_a = \left[ 1 + \frac{R_4}{R_G} \right] \cdot U_D - \frac{R_4}{R_G} \cdot U_C + U_{cm}, \quad (1.15)$$

$$U_b = \left[ 1 + \frac{R_5}{R_G} \right] \cdot U_C - \frac{R_5}{R_G} \cdot U_D + U_{cm}. \quad (1.16)$$

Pierwsze składniki w równaniach (1.15) i (1.16) reprezentują napięcia doprowadzone do nieodwracających wejść wzmacniaczy  $W_1$  i  $W_2$ . Drugie składniki reprezentują napięcia wywołane napięciami  $U_C$  i  $U_D$  doprowadzonymi do wejść odwracających wzmacniaczy  $W_1$  i  $W_2$ . Należy zwrócić uwagę na fakt, że przy dużym wzmocnieniu wzmacniaczy  $W_1$  i  $W_2$  w otwartej pętli, napięcia na ich wejściach, odwracającym i nieodwracającym, powinny być sobie równe a wzmacniacze  $W_1$  i  $W_2$  wraz z rezystorami odpowiednio  $R_G$  i  $R_4$  oraz  $R_G$  i  $R_5$  przedstawiają sobą inwertery napięć  $U_C$  i  $U_D$ .

Ostatnie składniki wzorów (1.15) i (1.16) reprezentują składową sumacyjną przepuszczoną przez wzmacniacze  $W_1$  i  $W_2$  ze współczynnikiem wzmocnienia równym 1. Wyjściowe napięcie  $U_0$  równolegle połączonych nieodwracających wzmacniaczy  $W_1$  i  $W_2$  stanowi różnica

$$U_0 = U_b - U_a, \quad (1.17)$$

która po przejściu przez stopień różnicowy, przy spełnieniu warunku że  $R_4 = R_5$ , daje napięcie wyjściowe [2] wyrażające się wzorem:

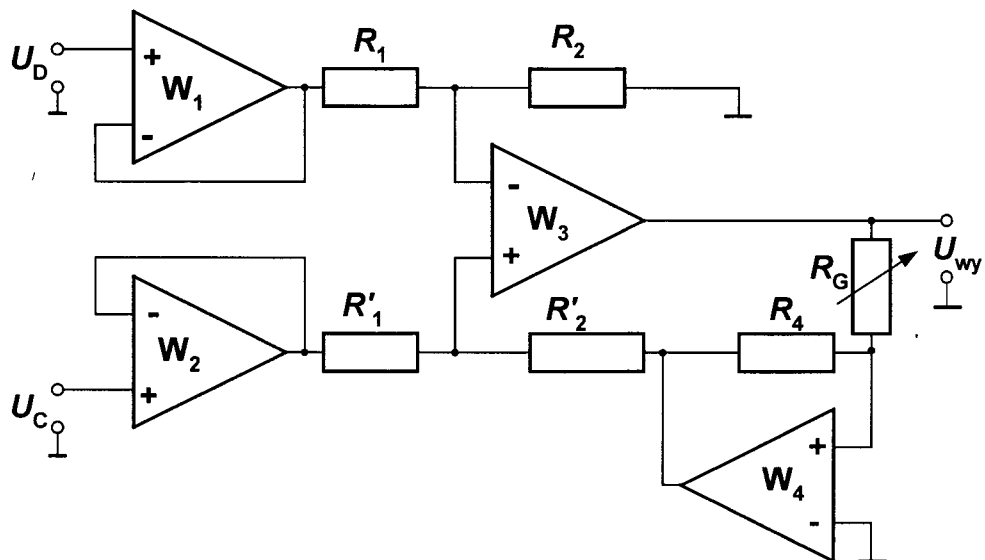
$$U_{wy} = \left[ 1 + \frac{2R_4}{R_G} \right] \cdot (U_C - U_D). \quad (1.18)$$

Rozrzut parametrów  $R_4$  i  $R_5$  skutkuje obecnością błędu wywołanego zmianą współczynnika wzmocnienia lecz nie prowadzi do obniżenia wartości CMRR. Pewną wadą omawianego rozwiązania jest to, że jego wypadkowy współczynnik wzmocnienia  $K_r$ , po uwzględnieniu obydwu stopni, wyraża się zależnością:

$$K_r = \left[ 1 + \frac{2R_4}{R_G} \right]. \quad (1.19)$$

będącą nieliniową funkcją  $R_G$ . Dołączany z zewnątrz, do monolitycznej struktury wzmacniacza pomiarowego, rezystor  $R_G$  służy do nastawiania wzmocnienia (ang. GAIN). Struktura z rys.1.5 jest podstawą realizacji modelu dydaktycznego wzmacniacza pomiarowego badanego w ćwiczeniu.

Liniową zależność  $K_r$  od  $R_G$  uzyskuje się w układzie przedstawionym na rys. 1.5 [2].



Rys. 1.5 Schemat ideowy wzmacniacza pomiarowego badanego w ćwiczeniu.

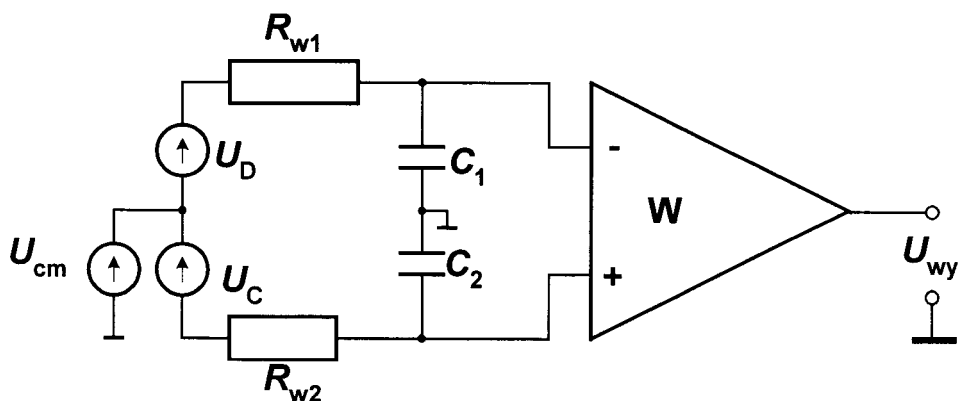
W układzie tym wzmacniacze  $W_1$  i  $W_2$  przedstawiają sobą wtórnik napięciowy o wzmocnieniu równym 1. Przy spełnieniu warunku, że  $R_1 = R'_1 = R_2 = R'_2$  wzmacniacz  $W_3$  również posiada wzmocnienie równe 1. Współczynnik wzmocnienia  $K_r$  układu ustalany jest liniowym rezystorem  $R_G$ , stanowiącym wejściową rezystancję wzmacniacza  $W_4$ , który pełni rolę dzielnika napięcia wprowadzonego do obwodu sprzężenia zwrotnego. Napięcie

wyściowe  $W_4$ , podawane zwrotnie na wejście nieodwracające wzmacniacza  $W_3$ , jest równe  $(U_C - U_D)$  a stąd wynika, że napięcie wyjściowe układu [2]

$$U_{wy} = -\frac{R_G}{R_4}(U_C - U_D) \quad (1.20)$$

liniowo zależy od  $R_G$ . Linearyzacja charakterystyki  $K_r(R_G)$  jest osiągnięta kosztem pogorszenia innych właściwości układu. Wpływ rezystancji wejściowej wzmacniacza powoduje bowiem powstanie niewielkiej niesymetrii rezystorów współpracujących z  $W_3$ , co wywołuje pogorszenie CMRR wzmacniacza i wzrost jego błędów niezrównoważenia..

Ważnym problemem, który należy uwzględnić przy projektowaniu układów ze wzmacniaczami pomiarowymi jest wpływ pojemności pasozytniczych  $C_1$  i  $C_2$  doprowadzeń (rys.1.6). Sygnał współbieżny  $U_{cm}$  przechodząc do wejścia wzmacniacza podlega całkowaniu w układach  $R_{w1}C_1$  i  $R_{w2}C_2$ , przy czym  $R_{w1}$  i  $R_{w2}$  są rezystancjami wewnętrznymi źródeł sygnałów  $U_C$  i  $U_D$ .



Rys. 1.6 Ilustracja wpływu kabli połączeniowych.

Wszelkie niesymetrie stałych czasowych  $R_{w1}C_1$  i  $R_{w2}C_2$  powodują powstanie dodatkowej różnicy napięcia między wejściami i spadek CMRR. Problem ten występuje szczególnie ostro, gdy sygnały do wejść wzmacniacza są dołączane przewodami ekranowymi (patrz rys.1.1). Jest to przypadek często spotykany we wzmacniaczach pomiarowych, do których w praktyce małe sygnały doprowadzane są ze źródeł znajdujących się w dużej odległości od wzmacniacza i ekranowanie jest niezbędne dla ochrony przed zakłóceniami zewnętrznymi ( $U_n$  na rys.1.1). Najprostszym sposobem uniknięcia tych błędów jest takie zaprojektowanie układu, aby ekrany znajdowały się nie na potencjale masy, lecz na potencjale równym wartości sygnału współbieżnego  $U_{cm}$  [2, 4].

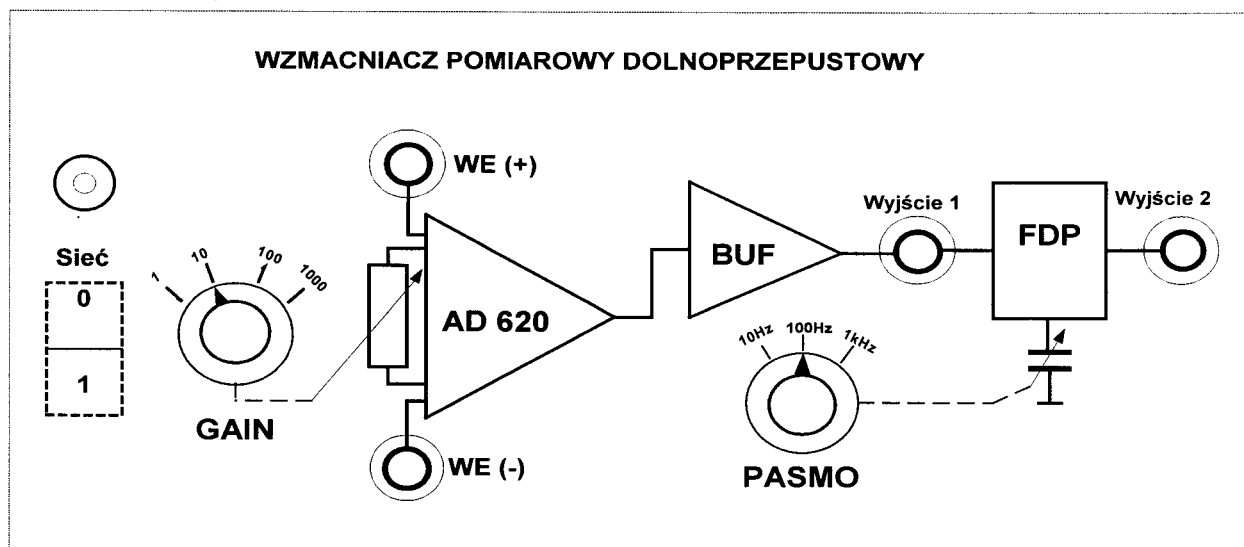
## 2. OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO.

Struktura badanego modelu wzmacniacza pomiarowego odpowiada schematowi z rys.1.4. Przyrząd został zaprojektowany i wykonany [6] z wykorzystaniem scalonego wzmacniacza pomiarowego typu AD 620 [4, 5] firmy Analog Devices zgodnie z ideą, którą przedstawia schemat blokowy (rys.2.1), zamieszczony na jego płycie czołowej.

W rzeczywistym układzie napięcie różnicowe doprowadzane jest przewodami koncentrycznymi do gniazd BNC oznaczonych jako WE (+) i WE (-). Niesymetryczny sygnał z wyjścia wzmacniacza jest podawany na wejście bufora napięciowego [5], który zrealizowano w oparciu o wzmacniacz operacyjny typu OP07 o niskim napięciu niezrównoważenia i wzmocnieniu równym 1. Na wyjściu przyrządu włączony jest



dolnoprzepustowy aktywny filtr pierwszego rzędu, ograniczający jego pasmo przepuszczania do wartości 10Hz, 100Hz lub 1kHz.



Rys 2.1 Widok płyty czołowej modelu dydaktycznego wzmacniacza pomiarowego.

Napięcie wyjściowe przyrządu dostępne jest w gniazdach BNC oznaczonych jako **Wyjście 1** i **Wyjście 2**. Współczynnik wzmocnienia wzmacniacza o nastawianych skokowo wartościach 1, 10, 100 lub 1000 jest ustalany przełącznikiem pokrętnym GAIN, dostępnym na płycie czołowej modelu.

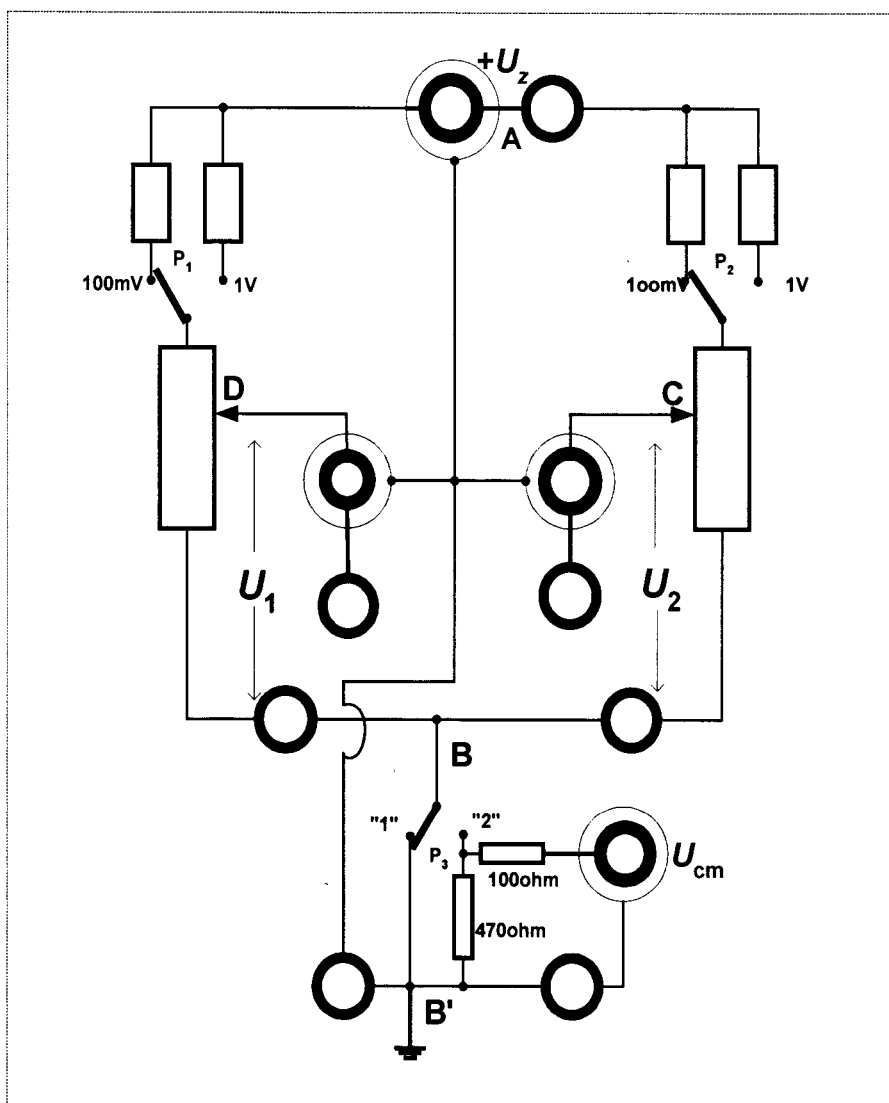
Dopuszczalna wartość różnicowego napięcia wejściowego  $U_r$  wzmacniacza wynosi 230V. Również 230V wynosi dopuszczalna wartość napięcia wspólnego  $U_{cm}$ . Maksymalne napięcie wyjściowe, przy którym wzmacniacz nie nasycy się wynosi 10.

Na stanowisku laboratoryjnym znajdują się dwa cyfrowe wielofunkcyjne multimetry typu DIGITALVOLTOMETER G-1002.500, umożliwiające kontrolowanie napięć doprowadzanych do wejść WE(+) i WE(-) badanego wzmacniacza oraz wielofunkcyjny multimetr cyfrowy DIGITAL MULTIMETER V 562, przeznaczony do pomiarów napięcia wyjściowego. Do dyspozycji ćwiczących jest również stabilizowany zasilacz regulowanego napięcia stałego QUAD POWER SUPPLY KB- 6118, generator napięcia sinusoidalnego GENERATOR G 430 o regulowanej amplitudzie i częstotliwości, cyfrowe multimetry V 540 i V 541 oraz oscyloskop analogowy.

Sygnały wejściowe badanego wzmacniacza (różnicowy i sumacyjny) są otrzymywane w układzie specjalnego „zadajnika napięcia”, którego schemat ideowy jest przedstawiony na rys.2.2. W zależności od rodzaju zastosowanego zasilania „zadajnika” (napięcie stałe - stabilizator napięcia stałego lub napięcie zmienne - generator sinusoidalny) możliwe jest wytwarzanie zarówno stałych jak też przemiennych napięć różnicowych i sumacyjnych.

„Zadajnik napięcia” jest specjalnie opracowanym układem mostkowym zrealizowanym z przełączanych rezystorów zakresowych (100mV lub 1V) o stałych wartościach i połączonych z nimi rezystorów w postaci potencjometrów wieloobrotowych. Szeregowo z układem mostkowym dołączany jest dzielnik napięcia złożony z rezystorów 100Ω i 470Ω, służący do tworzenia napięcia sumacyjnego.

Źródło  $U_z$  zasilające „zadajnik napięcia (przekątna AB), o wartości zdeterminowanej przez ustawienie przełączników  $P_1$  i  $P_2$ , dołączane jest go gniazda BNC przewodem koncentrycznym lub do odpowiednich gniazdek radiowych - zwykłymi przewodami.



Rys.2.2 Schemat ideowy „zadajnika napięcia” różnicowego i sumacyjnego

Multimetry cyfrowe mierzące napięcia  $U_C$  (oznaczenie  $U_1$ ) i  $U_D$  (oznaczenie  $U_2$ ) między punktami **C** i **D** mostka i masą (punkt **B**) dołączane są do odpowiednich gniazd BNC „zadajnika” przewodami koncentrycznymi lub do odpowiadających im gniazdek radiowych-przewodami zwykłymi.

Źródło napięcia wspólnego  $U_{cm}$  jest dołączane do odpowiedniego gniazda BNC „zadajnika” przewodem koncentrycznym. Oczywiście w tym przypadku przełącznik  $P_3$  powinien być ustawiony w pozycji „2”.

Zaleca się studentom by, podczas przygotowywania się do zajęć, przeanalizowali pracę zadajnika pod kątem wytwarzania niezbędnych napięć oraz sposobu ich pomiaru.

### 3. WYKONANIE ĆWICZENIA

#### 3.1 Przygotowanie układu pomiarowego

Korzystając z informacji zawartych w punkcie 2 połącz układ pomiarowy:

- ◆ w charakterze źródła napięcia  $U_z$  zastosuj jedną z sekcji zasilacza stabilizowanego typu QUAD POWER SUPPLY KB- 6118,
- ◆ uzgodnij z prowadzącym ćwiczenie nastawianą wartość  $U_z$ ,
- ◆ wybierz położenie przełączników  $P_1$  i  $P_2$  odpowiednie dla nastawionej wartości  $U_z$ ,
- ◆ do pomiarów napięcia  $U_z$  użyj multimetru V 540,
- ◆ w charakterze źródła napięcia sumacyjnego  $U_{cm}$  zastosuj generator typu G 430 o regulowanej amplitudzie i częstotliwości; nastawy generatora uzgodnij z prowadzącym ćwiczenia,
- ◆ do pomiarów napięcia wyjściowego generatora użyj multimetru V 541, skonfigurowanego w tryb AC,
- ◆ oblicz współczynnik podziału dzielnika napięcia sumacyjnego  $U_{cm}$ ,
- ◆ ustal z prowadzącym ćwiczenia nastawę wzmocnienia w modelu badanego wzmacniacza.
- ◆ przećwicz proces generowania w „zadajniku napięcia” napięcia różnicowego i napięcia sumacyjnego (wspólnego) korzystając z oscyloskopu i woltomierzy cyfrowych mierzących napięcia  $U_C$ ,  $U_D$ , oraz  $U_{cm}$ ,
- ◆ do pomiarów napięć  $U_C$  (oznaczenie  $U_1$ ) i  $U_D$  (oznaczenie  $U_2$ ) użyj multimetrów G-1002.500, konfigurowanych w tryb DC lub AC, w zależności od rodzaju napięcia  $U_z$  zasilającego „zadajnik”,
- ◆ połącz wyjścia „zadajnika napięcia” z odpowiednimi wejściami modelu badanego wzmacniacza pomiarowego,
- ◆ do pomiarów napięcia wyjściowego (**Wyjście 1** lub **Wyjście 2**) badanego wzmacniacza użyj multimetru V 562.

**UWAGA!** *Włączenia zasilania przyrządów pomiarowych, zasilacza, generatora i innych elementów układu pomiarowego mogą się odbyć jedynie po zaakceptowaniu połączeń i zastosowanych nastaw przez prowadzącego ćwiczenie.*

#### 3.2 Wyznaczanie charakterystyki statycznej wzmacniacza pomiarowego $U_{wy} = f(U_r)$

- a) Ustal z prowadzącym ćwiczenia i zanotuj:
  - wartość napięcia zasilającego „zadajnik napięcia”  $U_z = \dots\dots V$ ,
  - przyjmowane nastawy początkowe napięć  $U_C = U_D = \dots\dots V$ , dla których  $U_r = 0$ ,
  - przyjętą nastawę współczynnika wzmocnienia  $GAIN = \dots\dots$  badanego wzmacniacza.
- b) Mierz charakterystykę  $U_{wy} = f(U_r)$  dla dwóch wariantów zmian napięcia różnicowego:
  - dla  $U_C = \text{const.}$   $U_D = \text{var.}$  („w górę” i „w dół” od przyjętej nastawy),
  - dla  $U_C = \text{var.}$  („w górę” i „w dół” od przyjętej nastawy) i  $U_D = \text{const.}$
- c) Wyniki pomiarów notuj w tabeli 1

Tabela 1

L.p.	$U_z$	$U_C = \text{const}$	$U_D = \text{var.}$	$U_r = U_C - U_D$	$U_{wy}$	$K_r$
-	V	V	V	V	V	-
-		$U_C = \text{var.}$	$U_D = \text{const.}$	-	-	-

Przedstaw zmierzoną charakterystykę na wykresie, posługując się arkuszem kalkulacyjnym EXCEL lub innym narzędziem. Oblicz (w V/V i w dB) współczynnik wzmocnienia  $K_r$  badanego wzmacniacza korzystając z wzoru (1.7) i z otrzymanego wykresu. Porównaj obliczoną wartość z przyjętą nastawą wzmocnienia GAIN wzmacniacza. Oceń wartość napięcia niezrównoważenia wzmacniacza.

### 3.3 Wyznaczanie charakterystyki tłumienia sygnału wspólnego $U_{wy} = f(U_{cm})$

- a) Zbadaj wpływ poziomu równych napięć stałych  $U_C = U_D = U'_{cm}$  na tłumienie przez wzmacniacz sygnałów wspólnych. W tym celu zmierz charakterystykę  $U_{wy} = f(U_C = U_D = U'_{cm})$ . Wyniki pomiarów notuj w tabeli 2

Tabela 2

$U_C = U_D = U'_{cm}$	V							
$U_{wy}$	V							

Przedstaw mierzoną charakterystykę na wykresie posługując się arkuszem kalkulacyjnym EXCEL lub innym narzędziem. Oblicz współczynnik wzmocnienia  $K'_{cm}$  badanego wzmacniacza korzystając z wzoru (1.8).

- b) Zmierz charakterystykę  $U_{wy} = f(U_{cm})$  wzmacniacza pomiarowego
- w charakterze źródła napięcia wspólnego zastosuj generator G 430 dołączony przewodem koncentrycznym do gniazda BNC oznaczonego  $U_{cm}$  (zwróć uwagę na prawidłowe dołączenie przewodów masy),
  - ustal i zanotuj wartość  $U_C = U_D = \text{const.}$ ,
  - wyniki pomiarów zamieść w tabeli 3.

Tabela 3

	V							
$U_{cm}$	V							
$U_C = U_D = \text{const.}$	V							

Przedstaw mierzona charakterystykę na wykresie posługując się arkuszem kalkulacyjnym EXCEL lub innym narzędziem. Oblicz współczynnik wzmocnienia  $K_{cm}$  badanego wzmacniacza korzystając z wzoru (1.8) oraz jego współczynnik CMRR korzystając z wzoru (1.9).

### 3.4 Wyznaczanie charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej wzmacniacza $K_r(f) = \frac{U_{wy}(f)}{U_r(f)}$ przy $U_{cm} = 0$

#### Uwagi wstępne

- w charakterze źródła napięcia  $U_z$  zastosuj generator G 430,
  - częstotliwość napięcia  $U_z$  mierz częstotliciemierzem cyfrowym,
  - multimetry cyfrowe mierzące napięcia  $U_C$ ,  $U_D$  i  $U_{wy}$  przekonfiguruj w tryb AC do pomiarów napięcia zmiennego,
  - zanotuj wartość nastawionego współczynnika wzmocnienia wzmacniacza GAIN =.....
- a) Utrzymując  $U_r = \text{const.}$  (na poziomie uzgodnionym z prowadzącym ćwiczenia) i  $U_{cm} = 0$  mierz napięcia  $U_{wy1}$  i  $U_{wy2}$  na **Wyjściu 1** i **Wyjściu 2** badanego wzmacniacza przy różnych nastawach PASMA filtru dolnoprzepustowego.
- b) Częstotliwość  $f$  napięcia  $U_r$  zmieniaj w granicach od 10 Hz do 2 kHz.
- c) Wyniki wskazań woltomierzy i częstotliciemierza notuj w tabeli. 4

Tabela 4

L.p.	$f$	$U_C$	$U_D$	$U_r$	$U_{wy1}$	$U_{wy2} (10\text{Hz})$	$U_{wy2} (100\text{Hz})$	$U_{wy2} (1\text{kHz})$
-	Hz	V	V	V	V	V	V	V

- d) Na wspólnym wykresie przedstaw zmierzone charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe. Oś częstotliwości narysuj w skali logarytmicznej. Określ i zilustruj na narysowanych charakterystykach tzw. pasma trzydecybelowe (3dB) dla poszczególnych wyjść badanego wzmacniacza.

## 4 OPRACOWANIE SPRAWOZDANIA

W sprawozdaniu należy przedstawić:

- a) Wzory definicyjne wyznaczanych parametrów wzmacniacza pomiarowego oraz jego podstawowy schemat ideowy.
- b) Uproszczone schematy blokowe realizowanych układów pomiarowych zawierające oznaczenia zacisków tzw. „gorących” i zacisków „masy” oraz rodzaj użytych przewodów.
- c) Charakterystykę metrologiczną używanych multimetrów, właściwą dla ich konfiguracji podczas pomiarów.
- d) Wyniki pomiarów zamieszczone w tabelach.
- e) Przykładowe obliczenia wyznaczanych parametrów wzmacniacza.
- f) Wykresy charakterystyki statycznej wzmacniacza oraz charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej.
- g) Uwagi dotyczące przebiegu ćwiczenia oraz propozycję oceny dokładności uzyskanych w wyniku pomiarów charakterystyk.

## Literatura

- [1] Kulka Z., Nadachowski M., Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowania, cz.2, realizacje praktyczne. WNT, Warszawa 1982 r.
- [2] Nadachowski M., Kulka Z.- Analogowe układy scalone., WKŁ, Warszawa 1983 r.
- [3] Gutnikow W.S., Mikroelektronika w izmierzitelnych priborach., Energiija, Leningrad 1985.
- [4] Kitchin Ch., Counts L., A designer's guide to instrumentation amplifiers., [www.analog.com](http://www.analog.com) , 2000 Analog Devices).
- [5] Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier AD 620, Analog Devices Application Note
- [6] Burek J., Dydaktyczny model wzmacniacza pomiarowego, Dyplomowa praca inżynierska wykonana pod kierunkiem dra E. Pawłowskiego, Pol. Lub., Lublin 2004 r.

## Pytania i inne problemy

1. Podać definicję sygnału różnicowego i wskazać naturalne źródła takich sygnałów.
2. Narysować schemat i omówić właściwości wzmacniacza różnicowego.
3. Narysować schemat i omówić właściwości wzmacniacza pomiarowego (przyrządowego, instrumentalnego).
4. Podać definicję współczynnika wzmocnienia wzmacniacza pomiarowego.
5. Podać definicję współczynnika tłumienia sygnału wspólnego (CMRR) wzmacniacza pomiarowego.
6. W jakim celu na wejścia wzmacniacza różnicowego włączane są wtórniki napięciowe? Uzasadnij odpowiedź.
7. Co to jest charakterystyka statyczna (charakterystyka przejściowa) wzmacniacza pomiarowego?
8. Co to jest charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa wzmacniacza?
9. Co to jest charakterystyka fazowo-częstotliwościowa wzmacniacza?
10. Podać warunki, które powinien spełniać wzmacniacz pomiarowy by mógł być uauważany za człon nieznikształcający.
11. W jakim celu ogranicza się „od góry” pasmo częstotliwościowe sygnału wyjściowego wzmacniacza