

# WZMACNIACZE LINIOWE

## ZAGADNIENIA TEORETYCZNE

- Wzmacniacz operacyjny:
  - cechy wzmacniacza idealnego,
  - cechy realnych wzmacniaczy,
  - zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych – typowe konfiguracje.
- Wzmacniacze liniowe: odwracający i nieodwracający, schemat i zasada działania.
- Dokumentacja wzmacniacza OP07CP (*datasheet* – do odnalezienia w sieci).

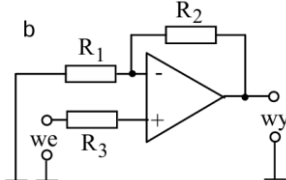
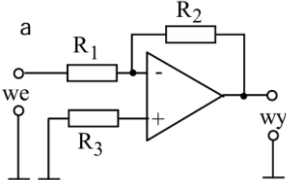
## ELEMENTY UKŁADU POMIAROWEGO

- Płytki pomiarowe ze złączami radiowymi:
  - wzmacniacz operacyjny OP07CP,
  - rezystory o różnych oporach.
- Zasilacz Kabid-Press KP-16102.
- Dzielnik napięcia DNA18a x 2.
- Mierniki:
  - analogowy miliwoltomierz x3.

## INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

W ćwiczeniu badamy wzmacniacz operacyjny w dwóch konfiguracjach: jako wzmacniacz nieodwracający oraz wzmacniacz odwracający. Dodatkowo, dla wzmacniacza odwracającego, badamy wpływ polaryzacji wejścia nieodwracającego (+) stałym napięciem dodatnim.

Schemat budowy takich wzmacniaczy oraz ich podstawowe właściwości zostały zestawione w poniższej tabeli.

| Wzmacniacz nieodwracający                                                                                                | Wzmacniacz odwracający                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $We^- \rightarrow \text{masa (przez rezystor } R_1)$<br>$We^+ \rightarrow \text{sygnał wejściowy (przez rezystor } R_3)$ | $We^- \rightarrow \text{sygnał wejściowy (przez rezystor } R_1)$<br>$We^+ \rightarrow \text{masa (przez rezystor } R_3)$ |
| $U_{WY} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{WE}$                                                                 | $U_{WY} = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{WE}$                                                                    |
|                                       |                                      |

W pierwszej kolejności należy na płytce ze wzmacniaczem operacyjnym umieścić rezystory o oporach dobranych w ten sposób, aby uzyskać wzmacniacz liniowy o wzmacnieniu **około 100-krotnym**. Takie wzmacnienie można uzyskać używając oporników:

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega,$$

$$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$$

Opornik  $R_3$  można wstawić o oporze równym  $R_1$ , nie ma on bezpośredniego wpływu na wzmacnienie zbudowanego w ten sposób wzmacniacza (pamiętamy, że impedancja wejścia w typowych wzmacniaczach jest bardzo duża – w zastosowanym typie wynosi około 20 M $\Omega$ ).

W obu konfiguracjach: odwracającej i nieodwracającej, **rezystory będą takie same**, jednak wzmacnienie będzie różnić się o czynnik równy 1, co zostało zestawione w tabeli poniżej.

Pomiary rozpoczniemy od konfiguracji wzmacniacza nieodwracającego, gdzie wejście odwracające (-) podłączamy do masy układu (przez rezystor  $R_3$ ). Sygnał wejściowy będzie podawany na wejście nieodwracające (+) przez rezystor  $R_1$ .

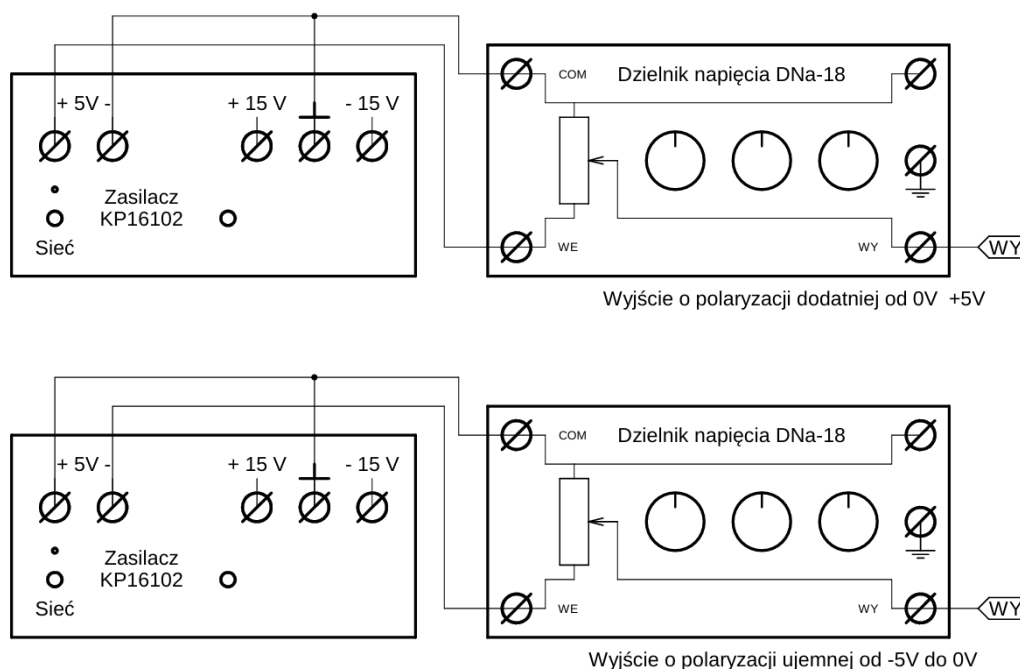
W dalszej części ćwiczenia, zmiana typu wzmacniacza na odwracający, będzie polegała na podłączeniu masy do wejścia (+), a sygnał będzie podawany na wejście (-). Reszta pozostaje bez zmian.

W następnej kolejności, do płytki pomiarowej doprowadzamy symetryczne napięcie zasilające +15 V, - 15 V oraz masę z zasilacza KP 16102 (proszę zwrócić uwagę na to, żeby zasilacz miał wybrany odpowiedni tryb pracy).

Charakterystyki wzmacniaczy, w różnych konfiguracjach, sporządzamy dla napięć wejściowych zmieniających w zakresie w przybliżeniu od -0.2 V do +0.2 V. Dla wzmacnienia około 100, można spodziewać się, że napięcie wyjściowe będzie w zakresie od -20 V do + 20 V. Jednak osiągnięcie takiego poziomu wyjścia jest niemożliwe m.in. ze względu na ograniczone napięcie zasilające wzmacniacz.

Na tym etapie należy zbudować źródło regulowanego sygnału wejściowego korzystając z dzielnika napięcia oraz dodatkowego wyjścia zasilacza 5V zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys. 1.

Dla napięć dodatnich oraz ujemnych (górny i dolny schemat na Rys. 1) stosujemy przeciwny sposób podłączenia do zacisków zasilacza 5 V oznaczonych jako (+) oraz (-). Górne zaciski dzielnika są wspólne (COM) i należy je docelowo podłączyć do masy zasilania wzmacniacza operacyjnego.



RYS. 1. SCHEMAT BUDOWY ŹRÓDŁA REGULOWANEGO SYGNAŁU WEJŚCIOWEGO DLA NAPIĘĆ O POLARYZACJI DODATNIEJ (GÓRNY) ORAZ UJEMNEJ (DOLNY)

Jeśli zacisk dodatni (+) zasilacza 5 V podłączymy do górnych zacisków dzielnika napięcia (COM), a ujemny (-) do jego wejścia, to poprzez regulację nastawy dzielnika możemy zmieniać poziom jego wyjścia w zakresie od 0 V do -5 V względem masy (czyli zacisku COM).

Napięcie na wyjściu dzielnika jest proporcjonalne do nastawy jego pokręteł. Przykładowo, ustawiając pokrętkę w pozycjach 5, 0, 0, uzyskamy napięcie na wyjściu równe:

$$\frac{500}{1000} \times (-5 \text{ V}) = -2.5 \text{ V}$$

Ponieważ w ćwiczeniu będziemy używać  $\pm 0.2 \text{ V}$ , które podajemy na wejście wzmacniacza, to nie należy przekraczać nastaw dzielnika napięcia równej w przybliżeniu: 0, 4, 0 (bo  $40/1000 \times 5 \text{ V} = 0.2 \text{ V}$ ) lub 0, 6, 0 w przypadku punktu 3, gdzie będziemy podawać napięcie  $+0.3 \text{ V}$ .

Ostatni element, który podłączamy do układu, to woltomierze ustawione w odpowiednich zakresach (tych zakresów nie zmieniamy w trakcie ćwiczenia). Pamiętajmy, że na wejściu spodziewamy się maksymalnie  $0.3 \text{ V}$ , na wyjściu na pewno nie będzie więcej niż  $20 \text{ V}$ .

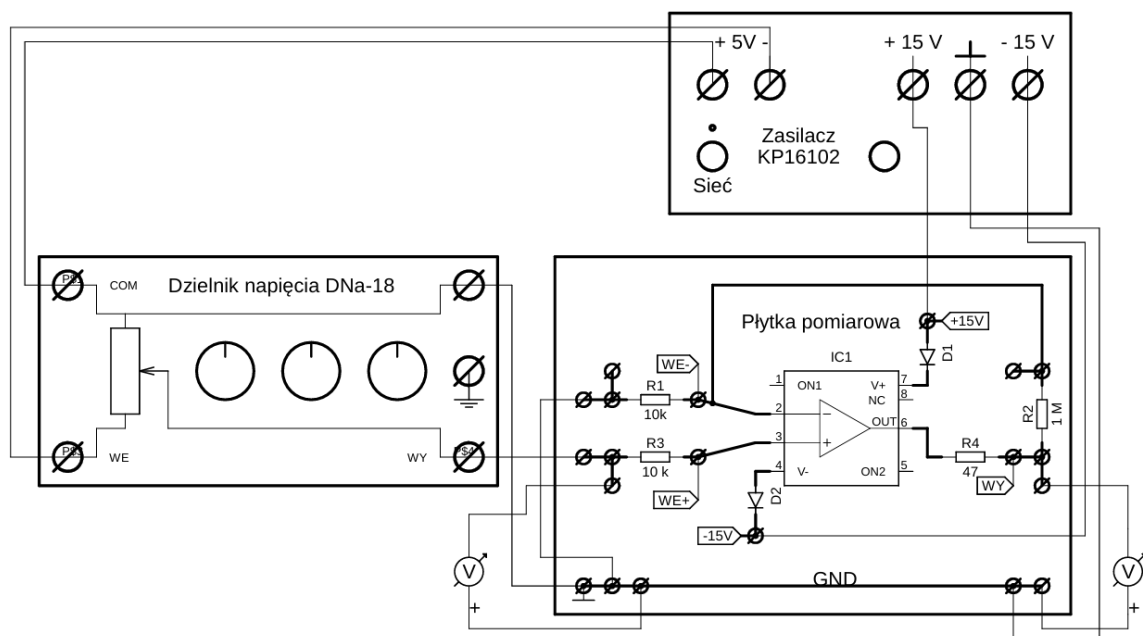
Należy zwrócić tutaj uwagę na sposób podłączenia tych woltomierzy, które mają za zadanie pomiar napięcia na poszczególnych wejściach wzmacniacza oraz jego wyjściu. Dla każdej konfiguracji należy osobno rozważyć jak powinny być podłączone multimetry.

Bezpiecznie jest każdy pomiar rozpoczynać od niskich nastaw dzielnika napięcia, które stopniowo zwiększamy (czyli wykonujemy pomiar od  $0 \text{ V}$  do  $\pm 0.2 \text{ V}$ ). Wtedy łatwo zauważyć czy wskazówki woltomierzy wychylają się w odpowiednią stronę.

## 1. WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY

W pierwszej kolejności badamy wzmacniacz nieodwracający w konfiguracji, dla której na jego wejście nieodwracające (+) podawane są napięcia ujemne.

Gotowy układ ze wzmacniaczem liniowym nieodwracającym (o wzmocnieniu około 100) został przedstawiony na poniższym schemacie.

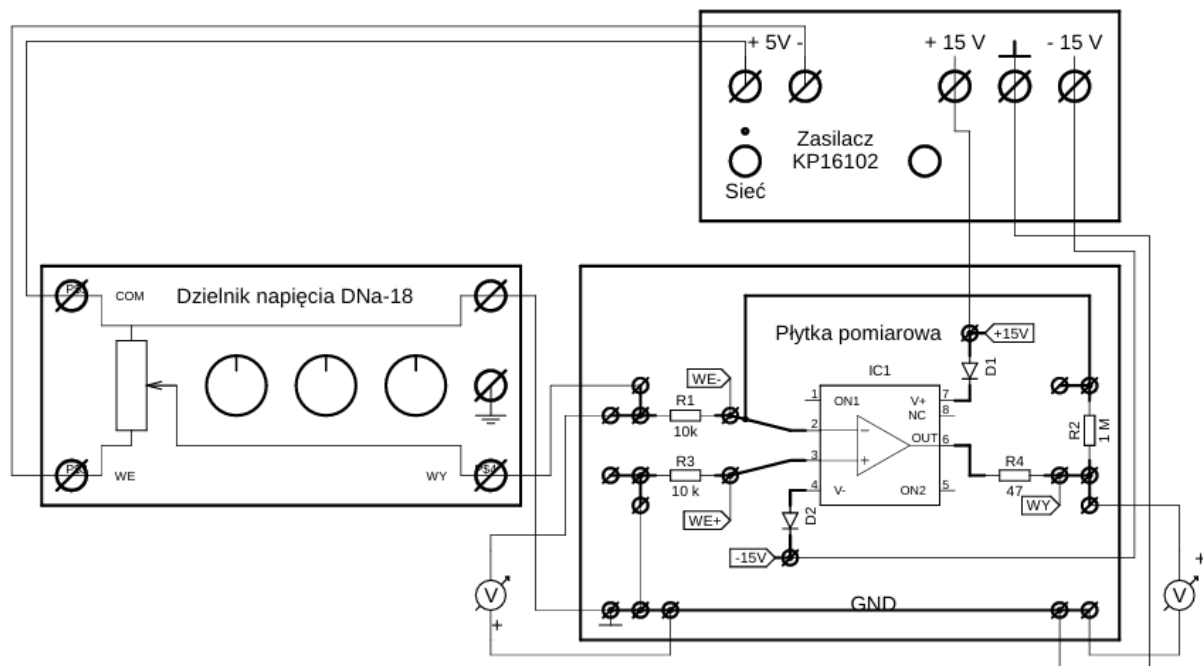


RYŚ. 2. WZMACNIACZ NIEODWRACAJĄCY DLA NAPIĘCIA WEJŚCIOWEGO UJEMNEGO

Po zakończeniu pomiaru dla zakresu napięć ujemnych należy zamienić miejscami zaciski zasilacza 5 V, tak aby do wejścia dzielnika doprowadzić napięcie dodatnie. Ponieważ nadal badamy tutaj wzmacniacz nieodwracający to dla wejść w zakresie napięć dodatnich wyjście również będzie w zakresie dodatnim, dlatego oba woltomierze powinny być podłączone odwrotnie niż na Rys. 2.

## 2. WZMACNIACZ ODWRACAJĄCY

W celu zamiany konfiguracji wzmacniacza na odwracający należy zmienić sposób podłączenia jego poszczególnych wejść zgodnie z poniższym schematem (tym razem sygnał podajemy na wejście odwracające).



RYS. 3. WZMACNIACZ ODWRACAJĄCY DLA NAPIĘCIA WEJŚCIOWEGO UJEMNEGO

Schemat na Rys. 3 przedstawia przypadek, w którym na wejście odwracające wzmacniacza podajemy napięcie ujemne. Dla tego wzmacniacza należy spodziewać się wówczas dodatniej polaryzacji napięcia wyjściowego, dlatego ten woltomierz podłączony jest odwrotnie niż w przypadku Rys. 2.

Tutaj również wykonujemy pomiary dla obu zakresów napięcia wejściowego czyli najpierw dla napięć ujemnych od 0 V do -0.2 V, a następnie dla napięć dodatnich od 0 V do +0.2 V (pamiętamy o zmianie polaryzacji obu woltomierzy).

## 3. WZMACNIACZ ODWRACAJĄCY Z WEJŚCIEM (+) SPOLARYZOWANYM STAŁYM NAPIĘCIEM DODATNIM

Ostatnim zadaniem w tym ćwiczeniu jest pomiar charakterystyk dla wzmacniacza odwracającego, w którym wejście nieodwracające (+), **zamiast do masy, podłączamy do stałego napięcia równego +0.1 V**. Konieczne będzie zatem użycie dwóch dzielników napięcia i łącznie trzech woltomierzy.

Oba dzielniki powinny mieć połączone wspólnie górne zaciski (COM), które są, tak jak poprzednio, połączone z masą układu.

Jeden z dzielników będzie w pracował w konfiguracji „dodatniej” ustawiony w taki sposób aby na jego wyjściu było napięcie +0.1 V (ustawiamy to napięcie korzystając z woltomierza podłączonego do wejścia (+) wzmacniacza).

Drugi dzielnik napięcia, podobnie jak w poprzednich punktach, będzie najpierw podłączony tak aby na wyjściu uzyskać napięcie ujemne, a następnie dodatnie. W tym jednak przypadku, napięcie podawane na wejście odwracające wzmacniacza (-) zmieniamy w zakresie **-0.1 V do +0.3 V**.

Należy samodzielnie przygotować (narysować) schemat układu, który umożliwi przygotowanie takiej charakterystyki.

## UWAGI KOŃCOWE

Z powodu konieczności odmiennej konfiguracji pomiarowej dla układu gdzie na wejście podajemy sygnał dodatni lub ujemny wykonujemy te charakterystyki osobno, ale przedstawiając je w postaci wykresu należy połączyć te zakresy. Wykres ma ilustrować zależność napięcia wyjściowego od wejściowego.

Zaleca się wykonanie ostatecznie jednego wykresu, który przedstawi wszystkie uzyskane charakterystyki (których powinno być łącznie 3 pary). Pamiętajmy o polaryzacjach napięć stosowanych w poszczególnych pomiarach. Na wykresie warto dodać linie pomocnicze wskazujące napięcia równe 0 V.

W ramach opracowania wykorzystujemy liniowe fragmenty charakterystyk do wyznaczenia wzmocnienia wzmacniaczy w konfiguracjach: nieodwracającej oraz odwracającej. W tym celu należy wpisać w dane funkcję liniową korzystając z metody najmniejszych kwadratów.

Marek Kopciuszynski  
Lublin, 29 stycznia 2026