

1 Zagadnienia teoretyczne

- Podstawowe zagadnienia związane z tematyką wzmacniaczy operacyjnych:
 - 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).

Dodatkowe informacje na temat wzmacniaczy liniowych można znaleźć w materiałach w kursie na Wirtualnym Kampusie [1].

Praktyczne układy zawierające wzmacniacze operacyjne oraz ich różne konfiguracje wraz z listą typowych, stosowanych najczęściej układów można znaleźć w książce Sztuka Elektroniki [2].

2 Elementy układu pomiarowego

- Płytki pomiarowe ze złączami radiowymi:
 - wzmacniacz operacyjny OP07CP,
 - rezystory o różnych oporach.
- Zasilacz symetryczny ± 15 V: Kabid-Press KP-16102.
- Dzielnik napięcia DNA18a $\times 2$.
- Mierniki: multimetr cyfrowy $\times 2$ lub analogowy miliwoltomierz $\times 3$.

3 Wstęp i cel ćwiczenia

W ćwiczeniu badamy wzmacniacz operacyjny o wzmacnieniu około 100 w dwóch konfiguracjach: wzmacniacz nieodwracający oraz wzmacniacz odwracający. Dodatkowo, dla wzmacniacza odwracającego, badamy wpływ polaryzacji wejścia nieodwracającego (we+) stałym napięciem dodatnim.

Schemat budowy takich wzmacniaczy oraz ich podstawowe właściwości zostały zestawione w tabeli 1.

Aby uzyskać wzmacnienie rzędu 100 należy na płytce ze wzmacniaczem operacyjnym umieścić przy jego wejściach oraz między wejściem odwracającym a wyjściem odpowiednie rezystory, których stosunek oporów jest w przybliżeniu równy 100, np.:

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 1 \text{ M}\Omega \quad (1)$$

Dodatkowy opornik R_3 (patrz rysunki w tabeli 1) może mieć opór równy oporowi rezystora R_1 . Nie wpływa on bezpośrednio na wzmacnienie, a ułatwia zmianę konfiguracji wzmacniacza (pamiętamy, że impedancja wejścia w typowych wzmacniaczach jest bardzo duża – w zastosowanym typie wynosi około 20 M Ω).

Wzmacniacz nieodwracający	Wzmacniacz odwracający
$U_{wy} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{we}$	$U_{wy} = - \left(\frac{R_2}{R_1}\right) U_{we}$

Tabela 1: Wzmacniacze liniowe w podstawowych konfiguracjach

4 Instrukcja wykonania ćwiczenia

Pomiary rozpoczniemy od konfiguracji wzmacniacza nieodwracającego zbudowanego zgodnie z podanymi we wstępie informacjami. Do płytki pomiarowej doprowadzamy dodatkowo symetryczne napięcie zasilające $+15\text{ V}$, -15 V oraz masę z zasilacza (proszę zwrócić uwagę na to, żeby zasilacz miał wybrany odpowiedni tryb pracy).

Charakterystyki wzmacniaczy, w różnych konfiguracjach, sporządzamy dla napięć wejściowych zmienianych w zakresie w przybliżeniu od -0.2 V do $+0.2\text{ V}$. Dla wzmacnienia około 100, można spodziewać się, że napięcie wyjściowe będzie w zakresie od -20 V do $+20\text{ V}$. 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 5 V , zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys. 1. Dla napięć dodatnich oraz ujemnych 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. 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).

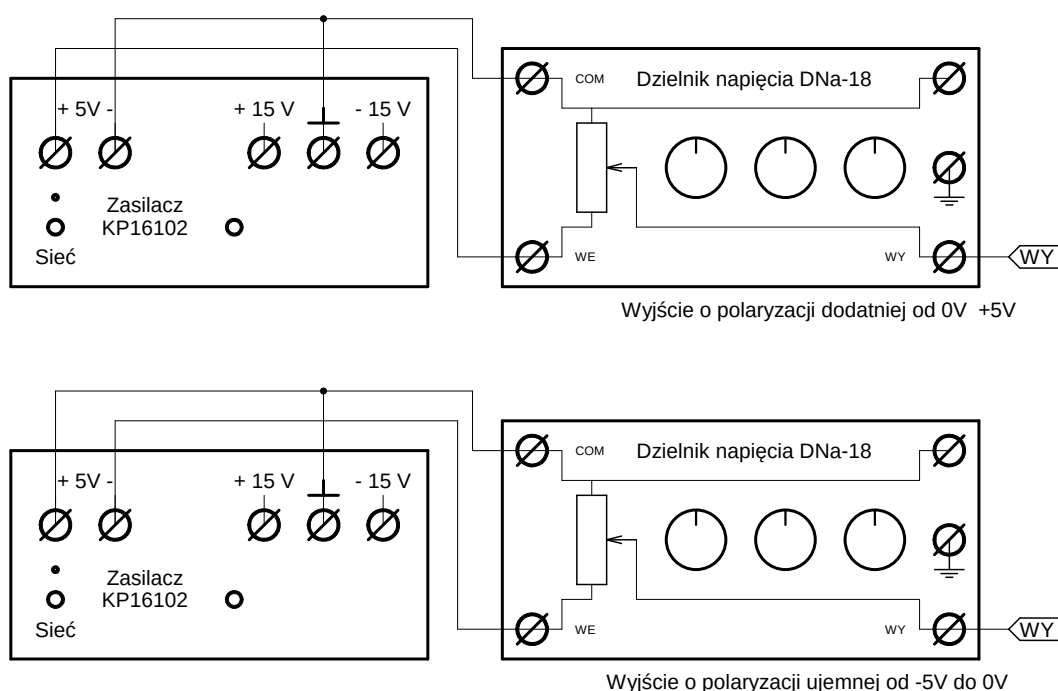
Napięcie na wyjściu dzielnika jest proporcjonalne do nastawy jego pokręteł. Przykładowo, ustawiając pokrętkę na pozycjach 5-0-0, uzyskamy napięcie na wyjściu równe:

$$\frac{500}{1000} \times (-5\text{ V}) = -2.5\text{ V} \quad (2)$$

Ponieważ w ćwiczeniu będziemy używać $\pm 0.2\text{ V}$, które podajemy na wejście wzmacniacza, to nie należy przekraczać nastawy 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 nieco większe napięcie ($+0.4\text{ V}$).

W ostatnim kroku do układu podłączamy woltomierze ustawione w odpowiednich zakresach (tych zakresów nie zmieniamy w trakcie ćwiczenia). Pamiętajmy, że na wejściu spodziewamy się maksymalnie 0.4 V , na wyjściu na pewno nie będzie więcej niż 20 V .

W przypadku wykorzystania **multimetrów cyfrowych** należy ich wejście COM podłączyć do masy układu, wówczas multimetr poprawnie wskaże czy mierzone napięcie jest dodatnie czy ujemne względem masy. Drugie wejście oznaczone zwykle jako V/Ω , podłączamy do wskazanego punktu w badanym obwodzie.



Rysunek 1: Schemat budowy źródła regulowanego sygnału wejściowego (polaryzacja dodatnia i ujemna)



Jeśli przez pomyłkę użyjemy wejścia multimetru używanego do pomiaru prądu, oznaczonego zwykle jako A, to multimetr, zewrze ze sobą połączone węzły obwodu!

Jeśli korzystamy z woltomierzy analogowych, należy zwrócić uwagę na ich sposób podłączenia z zachowaniem odpowiedniej polaryzacji – mogą one mierzyć jedynie napięcie dodatnie. Bezpiecznie jest każdy pomiar rozpoczynać od niskich nastaw dzielnika napięcia, które stopniowo zwiększamy (czyli wykonujemy pomiar od 0 V). Wtedy łatwo zauważyć czy wskazówki woltomierzy wychylają się w odpowiednią stronę.

4.1 Wzmacniacz nieodwracający

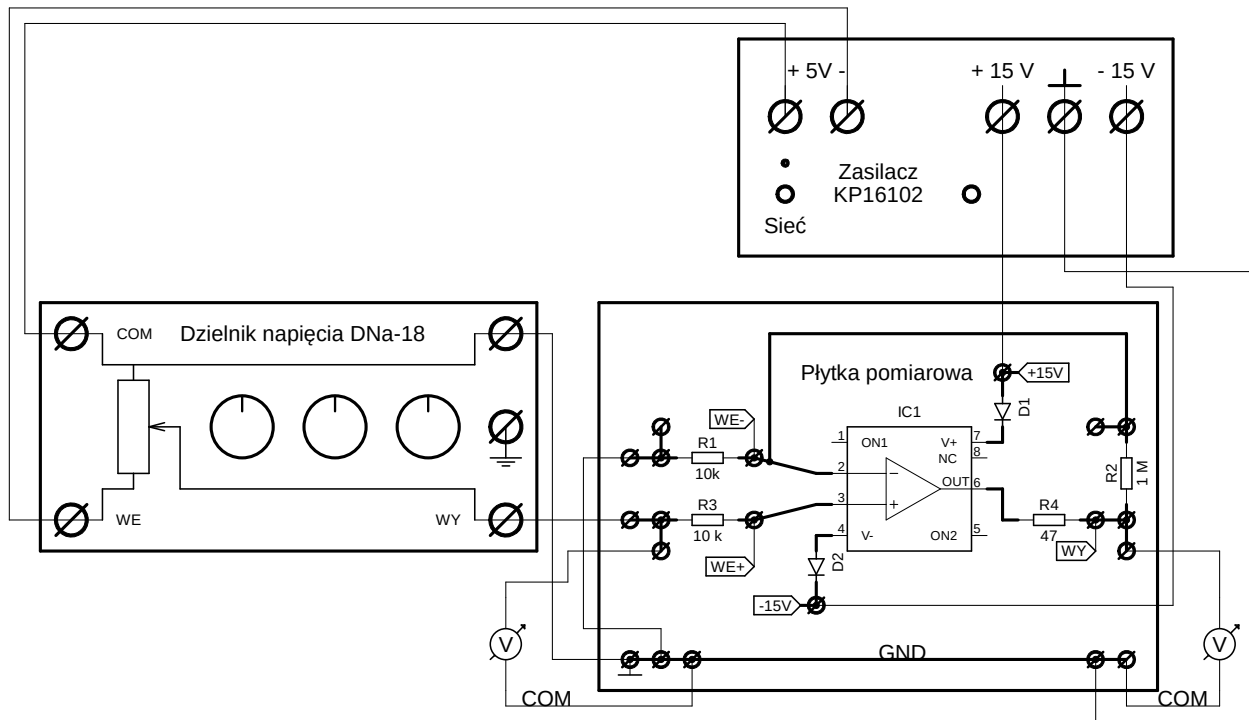
W pierwszej kolejności badamy wzmacniacz nieodwracający w konfiguracji, dla której na jego wejście nieodwracające (we+) podawane są napięcia ujemne. Gotowy układ ze wzmacniaczem liniowym nieodwracającym (o wzmacnieniu około 100) został przedstawiony na Rys. 2.

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.

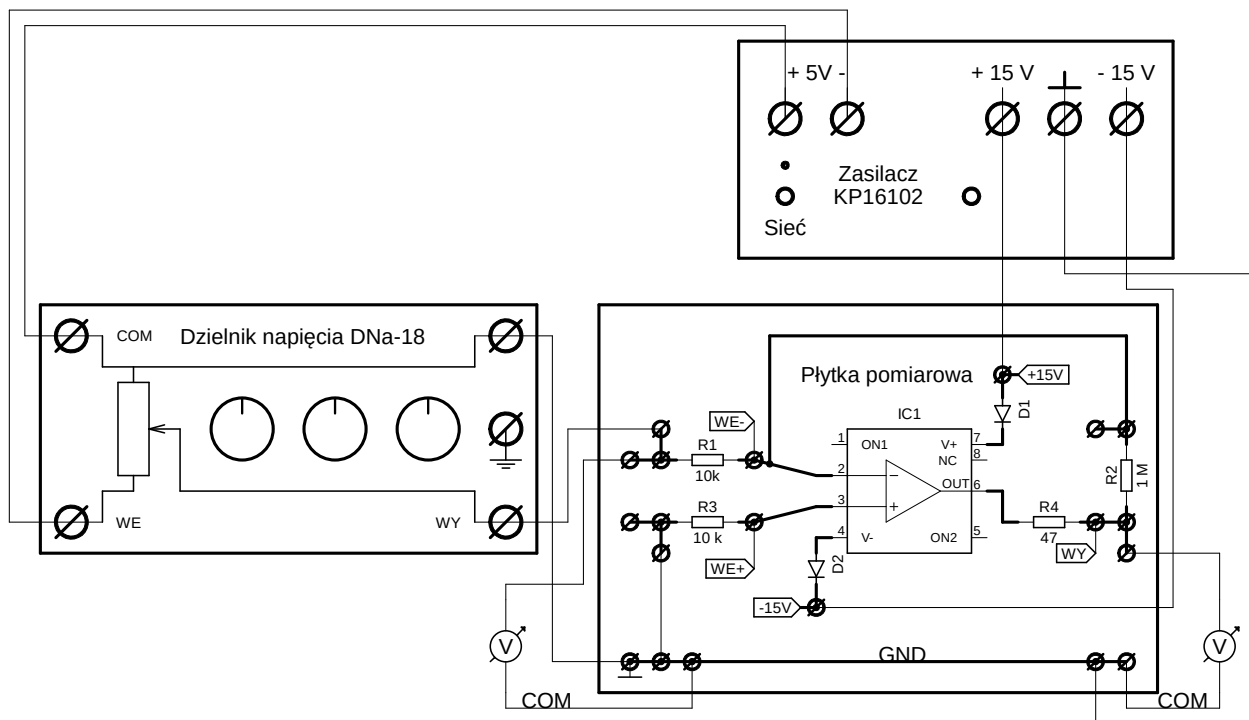
4.2 Wzmacniacz odwracający

W celu zamiany konfiguracji wzmacniacza na odwracający należy zmienić sposób podłączenia jego poszczególnych wejść zgodnie ze schematem na Rys. 3 (tym razem sygnał podajemy na wejście odwracające).

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.



Rysunek 2: Wzmacniacz nieodwracający dla napięcia wejściowego ujemnego



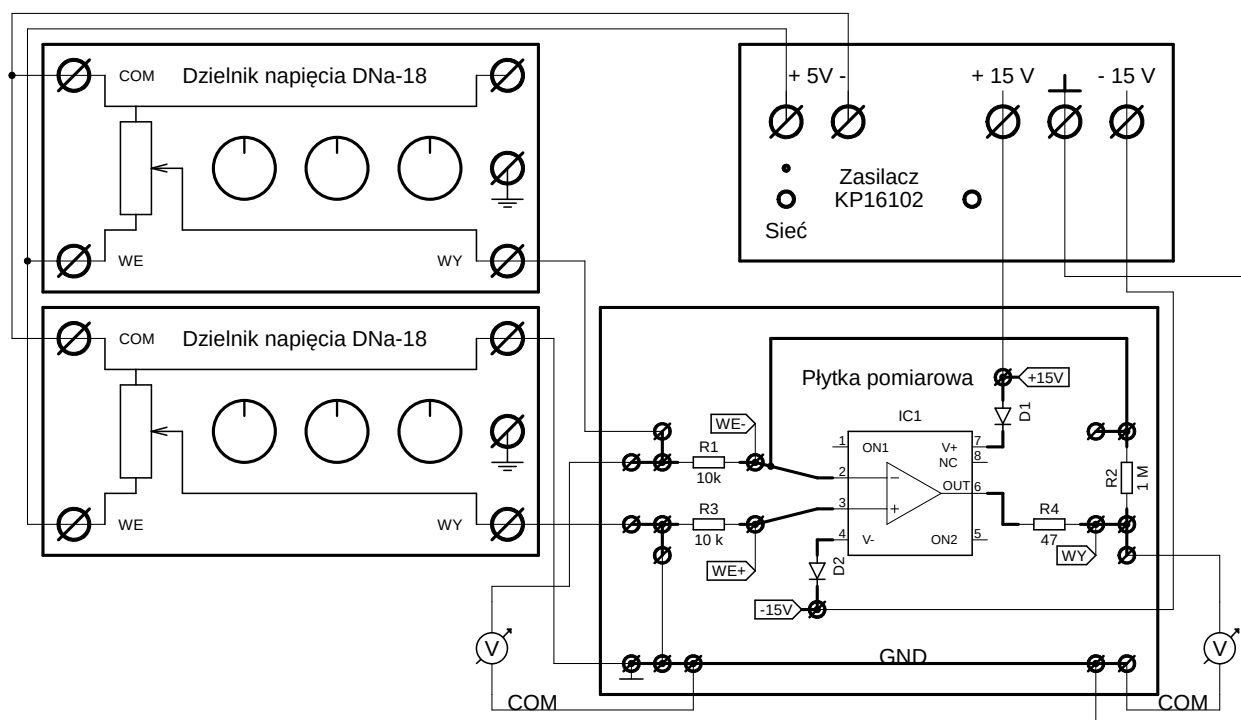
Rysunek 3: Wzmacniacz odwracający dla napięcia wejściowego ujemnego

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).

4.3 Wzmacniacz odwracający z (we+) spolaryzowanym stałym napięciem dodatnim

Ostatnim zadaniem w tym ćwiczeniu jest pomiar charakterystyk dla wzmacniacza odwracającego, w którym wejście nieodwracające (we+), zamiast do masy, podłączamy do stałego napięcia równego np.: +0.2 V. Konieczne jest zatem użycie dwóch dzielników napięcia, co zostało przedstawione na Rys. 4. Oba dzielniki powinny mieć połączone wspólnie górne zaciski (COM), które są, tak jak poprzednio, połączone z masą układu. Oba dzielniki łączymy „w konfiguracji dodatniej”.

Jeden z dzielników będzie ustawiony na stałe w takiej pozycji, aby na jego wyjściu było napięcie +0.2 V. Ustawiamy to napięcie korzystając z multimetru, który tymczasowo podłączamy do wyjścia dzielnika lub wejścia nieodwracającego (we+). Drugi dzielnik napięcia, będzie regulowany w zakresie od około 0.0 V do +0.4 V.



Rysunek 4: Schemat układu pomiarowego wzmacniacza liniowego odwracającego z wejściem nieodwracającym (we+) spolaryzowanym stałym napięciem dodatnim

5 Opracowanie wyników

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 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.

6 Literatura

- [1] *Pracownia Elektroniki – kurs na Wirtualnym Kampusie UMCS*. Materiały dodatkowe do kursu Pracownia Elektroniki. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.
- [2] Paul Horowitz i Winfield Hill. *Sztuka Elektroniki. Tom 1*. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2014.

Marek Kopciuszyński

Lublin, 13 marca 2026