

4. Liniowe i nieliniowe układy analogowe ze wzmacniaczami operacyjnymi

Wprowadzenie

Przetwarzanie i obróbka danych w przyrządach pomiarowych oraz układach regulacji automatycznej odbywa się dzisiaj wyłącznie w technice cyfrowej. Jedyne sygnały, na których wykonujemy operacje matematyczne to najczęściej sygnały analogowe, których źródłem są przetworniki pomiarowe.

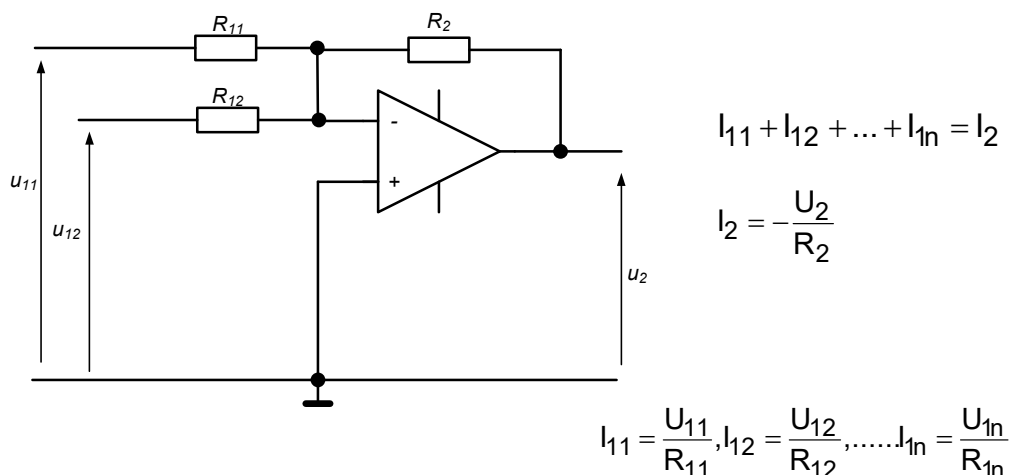
Zatem, aby zrealizować komunikację między światem zewnętrznym i maszyną cyfrową trzeba zastosować przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. Częścią tych obwodów są układy analogowe realizujące najważniejsze operacje matematyczne: dodawanie, odejmowanie, mnożenie, dzielenie, różniczkowanie i całkowanie oraz tworzenie specjalnych funkcji, np. logarytmicznej, wykładniczej.

W niniejszym wykładzie omówiono zasady działania podstawowych układów analogowych liniowych z ujemnym sprzężeniem zwrotnym oraz układów nieliniowych, w których zastosowano zarówno ujemne jak i dodatnie sprzężenie zwrotne, realizujących wyżej wymienione funkcje.

Do grupy układów liniowych z ujemnym sprzężeniem zwrotnym zalicza się między innymi:

1. Sumatory
2. Układy odejmujące
3. Układy ze zmiennym znakiem współczynnika wzmocnienia
4. Integratory
5. Układy różniczkujące
6. Sterowane źródła napięcia
7. Sterowane źródła prądu

Sumator

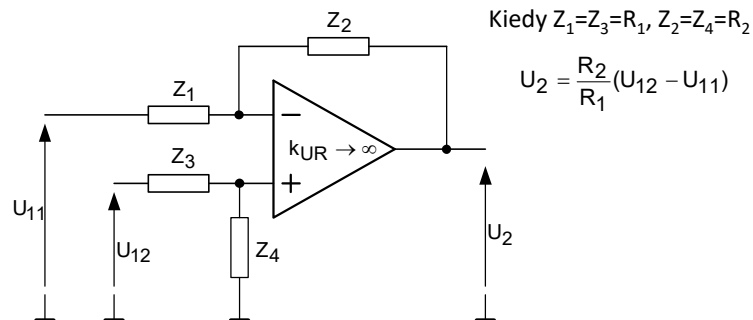


Po przekształceniu napięcie wyjściowe jest równe:

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_{11}} U_{11} - \frac{R_2}{R_{12}} U_{12} + \dots - \frac{R_2}{R_{1n}} U_{1n}$$

Rys. 4.1. Sumator

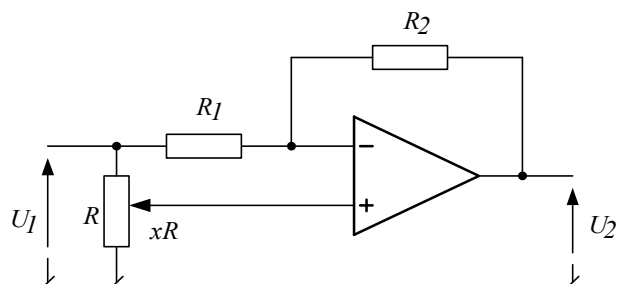
Układ odejmujący



$$U_2 = \frac{Z_4 (Z_1 + Z_2)}{Z_1 (Z_3 + Z_4)} U_{12} - \frac{Z_2}{Z_1} U_{11}$$

Rys. 4.2. Układ odejmujący

Układ ze zmiennym znakiem wzmacnienia

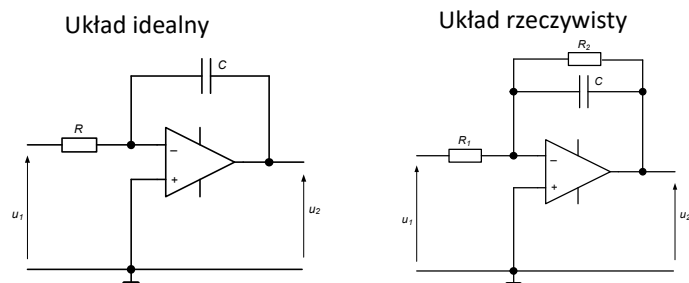


$$k_U = \frac{R_2}{R_1}(x - 1) + x$$

$$k_U = -\frac{R_2}{R_1} \text{ dla } x = 0, \quad k_U = 1 \frac{V}{V} \text{ dla } x = 1$$

Rys. 4.3. Układ ze zmiennym znakiem wzmacnienia

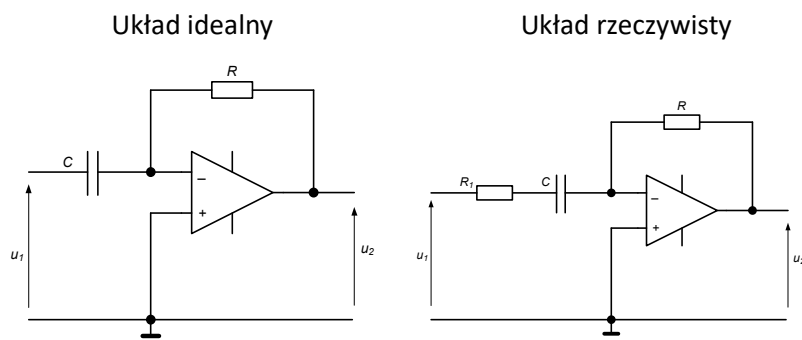
Integrator



$$u_2(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_1(\tau) d\tau + U_0$$

Rys. 4.4. Układ całkujący

Układ różniczkujący

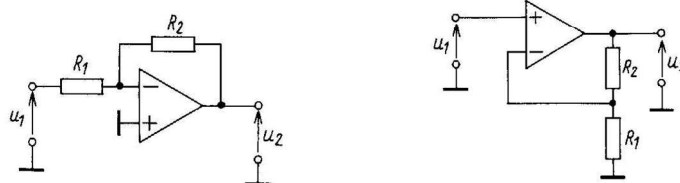


$$u_2 = -RC \frac{du_1}{dt}$$

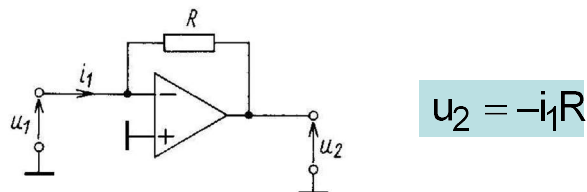
Rys. 4.5. Układ różniczkujący

Źródła napięcia

Źródła napięcia sterowane napięciem



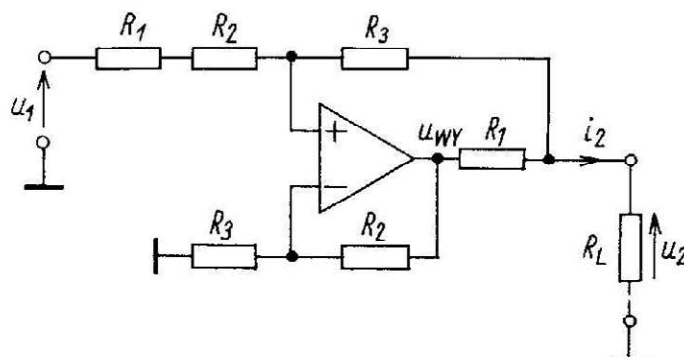
Źródło napięcia sterowane prądem



$$u_2 = -i_1 R$$

4.6. Źródła napięcia sterowane napięciem lub prądem

Źródło prądu sterowane napięciem z uziemionym odbiornikiem



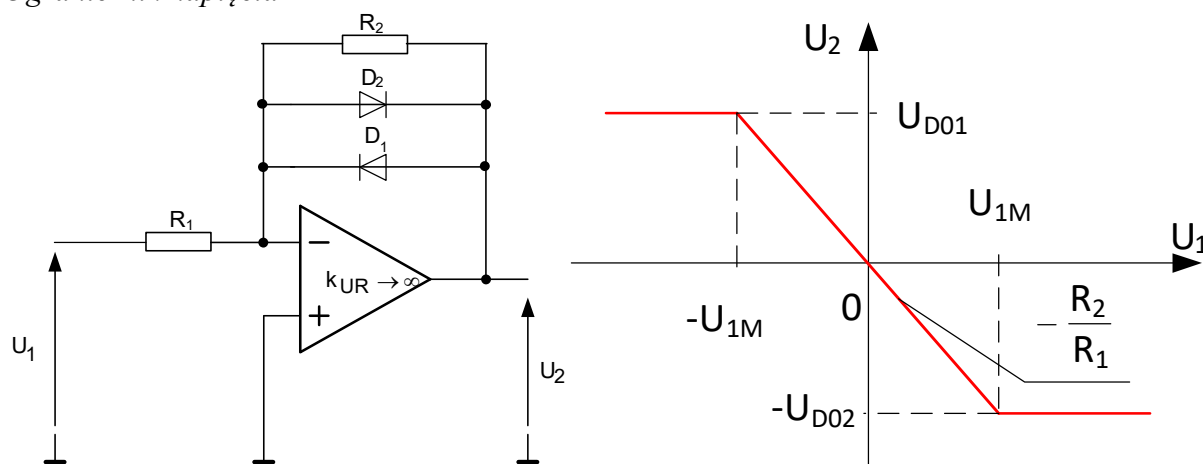
$$\text{Dla } R_3 = R_2 \quad i_2 = \frac{u_1}{R_1}$$

4.7. Źródło prądu sterowane napięciem z uziemionym odbiornikiem

Do grupy układów nieliniowych z ujemnym sprzężeniem zwrotnym zalicza się między innymi:

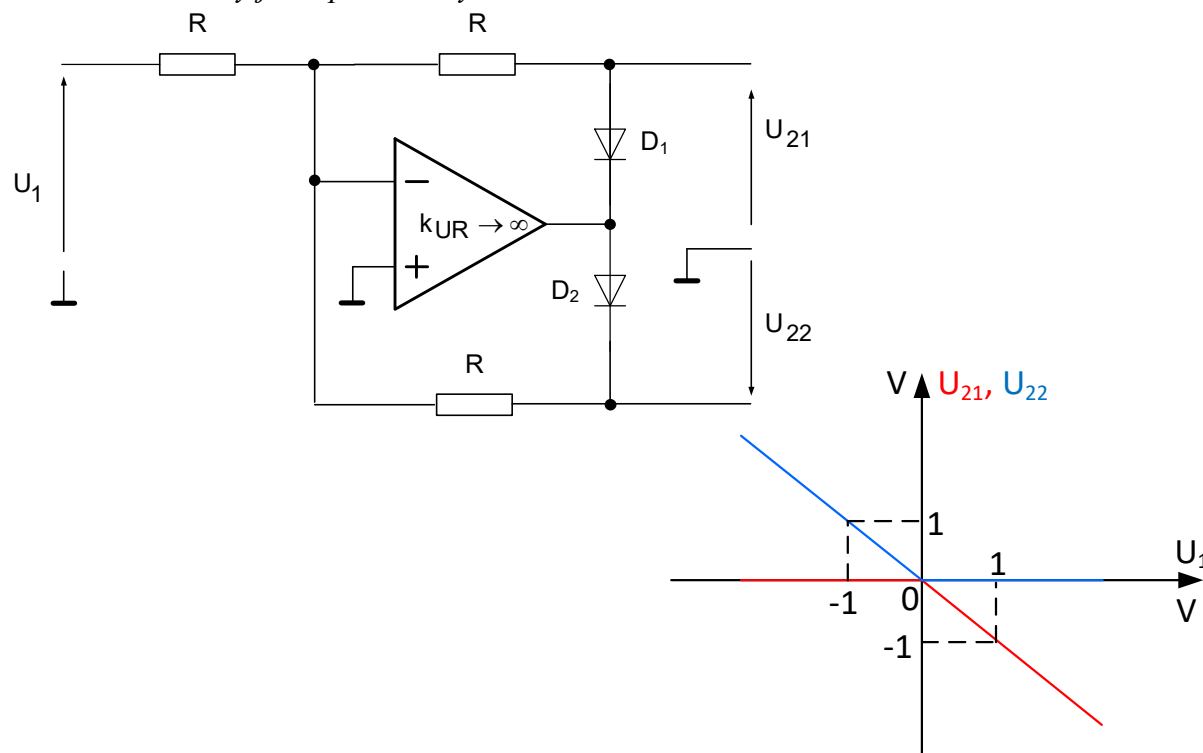
1. Ogranicznik napięcia
2. Prostownik liniowy jednopółkowy
3. Układ modułu
4. Prostownik liniowy z mostkiem Gretza
5. Układ logarytmujący
6. Układ realizujący funkcję wykładniczą
7. Generatory funkcji nieliniowych

Ogranicznik napięcia

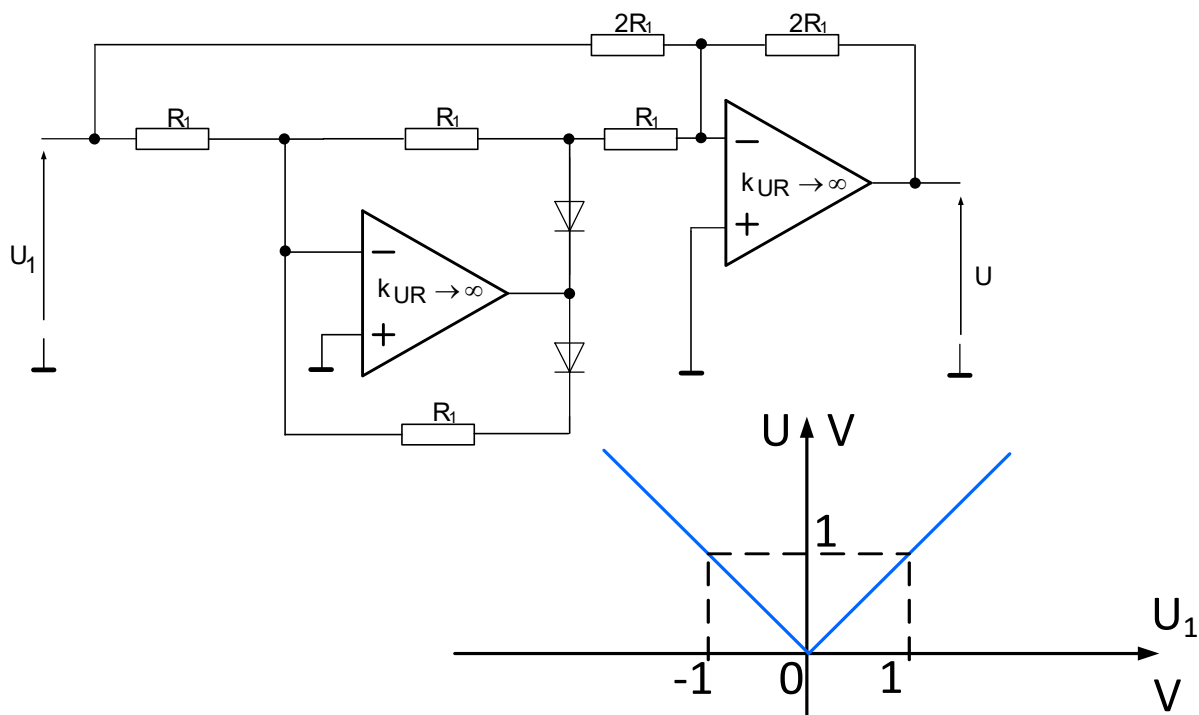


Rys. 4.8. Ogranicznik napięcia

Prostownik liniowy jednopółkowy



Układ modułu (prostownik liniowy dwupółkowy)

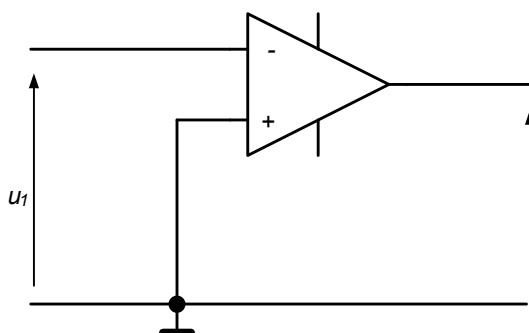


Rys. 4.9. Układ modułu

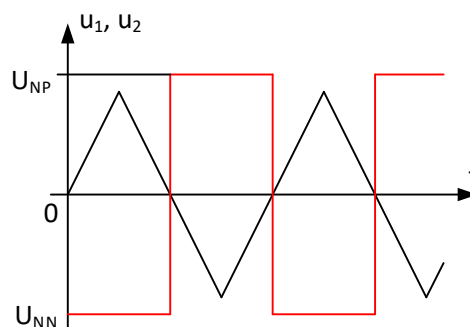
Układy nieliniowe, w których zastosowano dodatnie sprzężenie zwrotne działają dwustanowo. Można wśród nich wyróżnić:

1. Komparatory napięcia
2. Przerzutniki
 - Przerzutnik Schmitta
 - przerzutnik bistabilny
 - przerzutnik astabilny (multiwibrator)
 - przerzutnik monostabilny (uniwibrator)

Komparatory napięcia



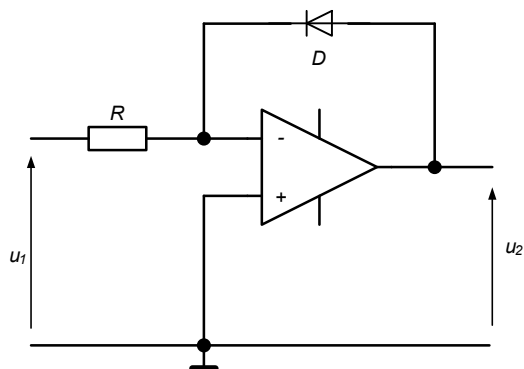
Rys. 4.10.



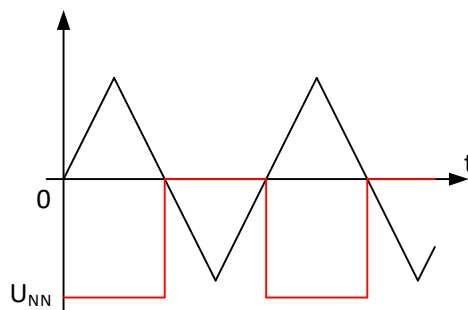
Rys. 4.11

Najprostszy komparator napięcia przedstawiono na (Rys.4.10), a przebiegi: wejściowy u_1 i wyjściowy u_2 na (Rys.4.11). Układ porównuje sygnał wejściowy u_1 z potencjałem 0 V. Każda zmiana znaku wartości chwilowej tego napięcia powoduje przejście wzmacniacza operacyjnego z jednego stanu nasycenia do drugiego. Kiedy chwilowe wartości u_1 są dodatnie, wzmacniacz jest w stanie plus nasycenia U_{NP} , kiedy ujemne w minus stanie nasycenia U_{NN} .

Czas przejścia z jednego stanu nasycenia do drugiego zależy między innymi od pasma przenoszenia wzmacniacza. Komparator ze wzmacniaczem operacyjnym $\mu A741$ będzie poprawnie pracował, jeżeli częstotliwość sygnału u_1 będzie rzędu kilkuset herców. Ważne jest także, żeby przejście chwilowej wartości sygnału u_1 było jednoznaczne i szybkie.



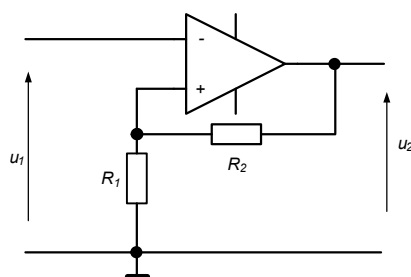
Rys. 4.12.



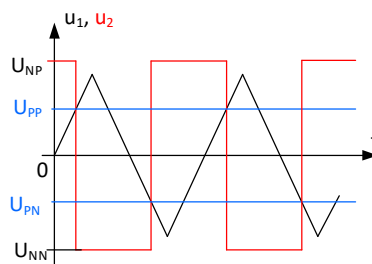
Rys.4.13

Komparator przedstawiony na (Rys.4.12.) działa podobnie jak układ z (Rys.4.10.), dla dodatniej półfali napięcia sterującego u_1 dioda D w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego jest spolaryzowana w kierunku zaworowym i można ją traktować jak łącznik otwarty. Pętla sprzężenia zwrotnego jest zatem przerwana i wzmacniacz jest w stanie minus nasycenia. Dla ujemnej półfali napięcia u_1 dioda jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia i w tej sytuacji można ją potraktować jak łącznik zamknięty. Działanie ujemnej pętli sprzężenia zwrotnego wprowadza w tym wypadku wzmacniacz w stan aktywny. Na wyjściu komparatora jest napięcie u_2 bliskie 0 V. Jeżeli w miejsce diody półprzewodnikowej D będzie włączona jedna lub szeregowo dwie przeciwnie spolaryzowane diody Zenera wzmacniacz będzie zawsze w stanie aktywnym, a poziomy sygnału wyjściowego będą określone przez odpowiednie napięcia przewodzenia tych diod.

Przerzutnik Schmitta



Rys. 4.14



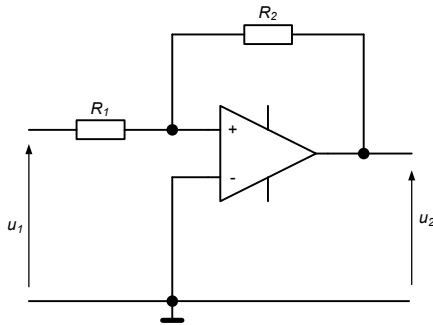
Rys. 4.15

Klasyczny układ przerzutnika Schmitta przedstawiono na (Rys.4.14), a przebiegi sygnału wejściowego u_1 i wyjściowego u_2 na (Rys.4.15). Napięcie wyjściowe jest zawsze równe napięciu nasycenia U_{NP} lub U_{NN} . Przełączenie stanów występuje, gdy zrównają się potencjały wejść $+$ i $-$ wzmacniacza operacyjnego. Jeżeli wzmacniacz operacyjny jest w stanie plus nasycenia U_{NP} przełączenie nastąpi, kiedy napięcie wejściowe u_1 jest równe dodatniemu napięciu przełączania U_{PP} . Napięcie U_{PP} można wyznaczyć z zależności:

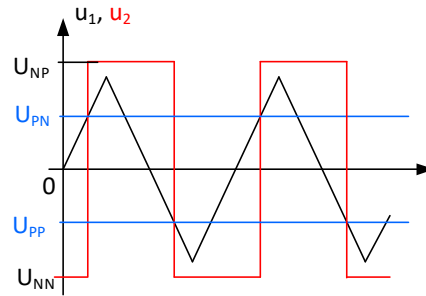
$$U_{PP} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{NP} \quad (4.1)$$

Kiedy wzmacniacz jest w stanie minus nasycenia napięcie przełączania U_{PN} jest równe:

$$U_{PN} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{NN} \quad (4.2)$$



Rys. 4.16.



Rys. 4.17.

W przerzutniku przedstawionym na (Rys. 4.16.) wejście inwertujące (–) wzmacniacza jest połączone z masą układu (ma potencjał zero), a sygnał wejściowy steruje przez rezystor R_1 wejście powtarzające (+). Tym razem, kiedy na wyjściu układu jest stan plus nasycenie, chwilowa wartość sygnału u_1 , która spowoduje przełączenie musi mieć taką wartość, przy której potencjał wejścia (+) będzie równy zero.

Warunek zatem jaki musi być spełniony ma postać:

$$\frac{U_{NP} - U_{PP}}{R_1 + R_2} R_1 + U_{PP} = 0 \quad (4.3)$$

Oznacz to, że dodatnie napięcie przełączania ma wartość:

$$U_{PP} = -\frac{R_1}{R_2} U_{NP} \quad (4.4)$$

Kiedy wzmacniacz jest w stanie minus nasycenia napięcie przełączania U_{PN} jest równe:

$$U_{PN} = -\frac{R_1}{R_2} U_{NN} \quad (4.5)$$

Z zależności (4.4) i (4.5) wynika, że napięcia przełączania są przeciwnego znaku względem napięć nasycenia wzmacniacza. Przebiegi napięcia wyjściowego u_2 w układzie z (Rys. 4.15) i z (Rys. 4.17) są przesunięte względem siebie o półokresu.

Bibliografia

1. Kaźmierkowski M. P., Matysik J. T.: Wprowadzenie do elektroniki i energoelektroniki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
2. Baranowski J., Nosal Z.: Układy elektroniczne cz. I. Układy analogowe liniowe, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998