

PODSTAWY ELEKTRONIKI

Katedra Robotyki i Mechatroniki

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

***Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie***



Wzmacniacz Operacyjny

***LAB 11
LAB 12***

SPIS TREŚCI

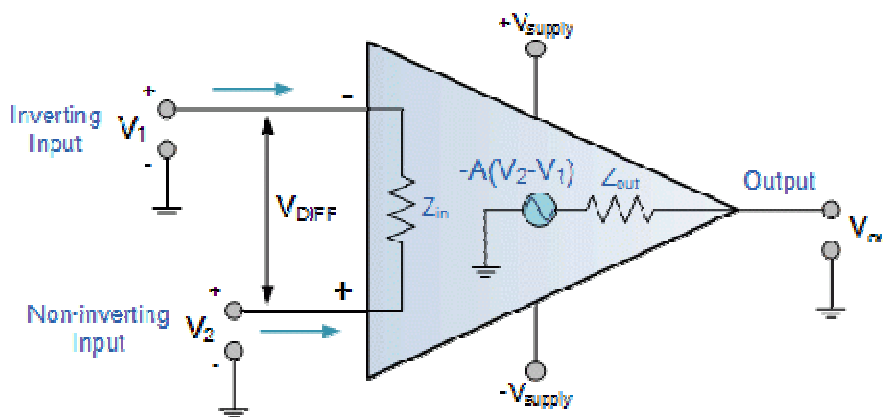
1.	BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA WZMACNIACZA OPERACYJNEGO	2
2.	PODSTAWOWE PARAMETRY WZMACNIACZA OPERACYJNEGO	3
3.	PODSTAWOWE APLIKACJE	4
3.1	Wzmacniacz odwracający	4
3.2	Wzmacniacz nieodwracający	4
3.3	Wtórnik napięciowy	5
3.4	Wzmacniacz różnicowy	6
3.5	Sumator	7
3.6	Komparator	7
4.	LITERATURA	9

PODSTAWY ELEKTRONIKI

1. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA WZMACNIACZA OPERACYJNEGO

Wzmacniacz operacyjny jest wzmacniaczem prądu stałego (tzn. potrafi wzmacniać sygnał od 0Hz) o bardzo dużym wzmocnieniu. Prawie zawsze pracuje z zewnętrznym obwodem sprzężenia zwrotnego, który decyduje o głównych parametrach układu, którego jest częścią. Zbudowany jest jako wielostopniowy różnicowy wzmacniacz posiadający wzmocnienie sygnału różnicowego rzędu kilkudziesięciu lub kilkuset decybeli (kilkuset tysięcy razy). Na bazie wzmacniacza operacyjnego, po dodaniu kilku elementów biernych (np. rezystory, kondensatory) można zbudować wiele aplikacji związanych z analogowym przetwarzaniem sygnałów, tj.: wzmacniacze o regulowanym wzmocnieniu, sumatory, filtry, układy kondycjonowania sygnału współpracujące z przetwornikami ADC/DAC, generatory, itd.

Wzmacniacz operacyjny (którego ogólny schemat działania widoczny jest na rys. 1) posiada dwa wejścia: odwracające (oznaczone symbolem '-') i nieodwracające (oznaczone symbolem '+'). Posiada także jedno wyjście (na którym pojawia się napięcie V_{out}); różnica napięć wejściowych nazywa się napięciem różnicowym ($V_{DIFF} = V_+ - V_-$). Napięcie wyjściowe jest iloczynem napięcia różnicowego oraz bardzo dużego współczynnika wzmocnienia.



Rys. 1: Schemat ideowy działania wzmacniacza operacyjnego[5]

Idealny wzmacniacz operacyjny powinien charakteryzować się następującymi właściwościami:

- nieskończenie dużym wzmocnieniem przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego ($K \rightarrow \infty$);
- nieskończenie szerokim pasmem przenoszenia częstotliwości;
- nieskończenie dużą impedancją wejściową, zarówno między wejściami, jak i między każdym z wejść a masą;
- impedancją wyjściową równą zero;
- napięciem wyjściowym równym zero przy równości napięć wejściowych ($V_{out} = 0$ przy $V_+ = V_-$);
- nieskończenie dużym dopuszczalnym prądem wyjściowym;
- zerowym prądem wejściowym;
- wzmocnieniem idealnie różnicowym, tzn. nieskończenie dużym współczynnikiem tłumienia sygnału wspólnego (nieróżnicowego);
- zachowaniem powyższych właściwości przy zmianach temperatury.

2. PODSTAWOWE PARAMETRY WZMACNIACZA OPERACYJNEGO

Wzmocnienie w pętli otwartej (*ang. Open Loop Gain*) – stosunek zmiany napięcia wyjściowego do zmiany napięcia różnicowego (występującego na wejściach). W karcie katalogowej zwykle podawana jest wartość dla napięcia stałego oraz wykres pokazujący wartość tego parametru w funkcji częstotliwości [2]. Parametr o bardzo dużej wartości rzędu setek tysięcy.

Impedancja wejściowa (*ang. Input impedance*) – Impedancja wejściowa jest stosunkiem napięcia wejściowego do prądu wejściowego. Dla idealnego wzmacniacza przyjmuje się, że jest nieskończona. Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne mają wejściowe prądy upływowe od kilku pikoamperów do kilku mikroamperów.

Impedancja wyjściowa (*ang. Output impedance*) – Impedancja wyjściowa idealnego wzmacniacza operacyjnego wynosi zero. Zakłada się, że idealny wzmacniacz działa jako doskonałe wewnętrzne źródło napięcia bez wewnętrznej rezystancji. Rezystancja wewnętrzna jest połączona szeregowo z obciążeniem, zmniejszając w ten sposób napięcie wyjściowe dostępne dla obciążenia. Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne mają impedancje wyjściowe najczęściej w zakresie 100-20kΩ.

Pasmo (*ang. Bandwidth*) – Idealny wzmacniacz operacyjny ma nieskończoną charakterystykę częstotliwościową i może wzmacniać dowolny sygnał częstotliwościowy od DC (0 Hz) do najwyższych częstotliwości AC, dlatego zakłada się, że ma nieskończoną szerokość pasma. W przypadku rzeczywistych wzmacniaczy operacyjnych przepustowość jest ograniczona przez iloczyn Wzmocnienie-Pasmo, który jest równy częstotliwości, przy której wzmocnienie wzmacniacza staje się równe 1 [5].

Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego (*ang. Common Mode Rejection Ratio CMRR*) – Idealny wzmacniacz powinien wzmacniać tylko różnicę napięć między wejściami (odwracającym i nieodwracającym). Powinien tłumić wszystkie sygnały wspólnie, podawana jednocześnie na oba wejścia. Jeśli jednak na oba wejścia rzeczywistego wzmacniacza zostanie podany ten sam sygnał, to na wyjściu pojawi się niewielka jego część. Współczynnik CMRR wskazuje, jaka część sygnału wejściowego przedostanie się na wyjście, czyli jest to stosunek wzmocnienia różnicowego do wspólnego [4].

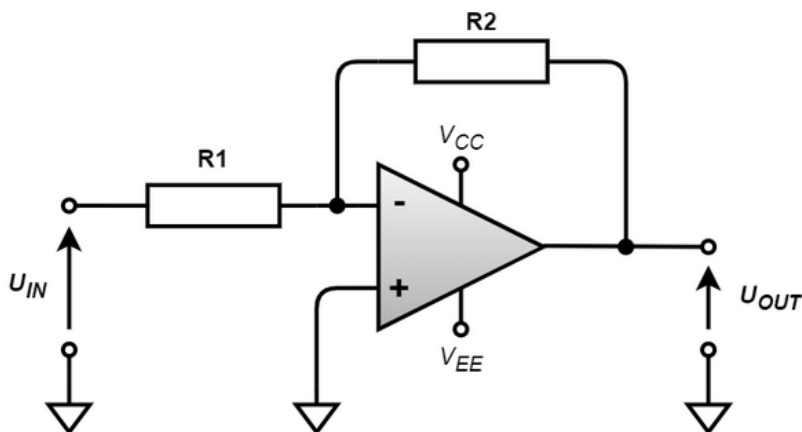
Szybkość narastania zbocza (*ang. Slew Rate SR*) – lub inaczej szybkość zmian napięcia wyjściowego. Jest to parametr podawany w jednostkach V/μs i określa jak szybko może zmienić się napięcie na wyjściu wzmacniacza.

Napięcie niezrównoważenia (*ang. Offset Voltage*) – Wyjście wzmacniacza będzie równe zero, gdy różnica napięć między wejściem odwracającym i nieodwracającym będzie równa zero, taka sama lub gdy oba wejścia są uziemione. Rzeczywiste wzmacniacze operacyjne mają pewną ilość wyjściowego napięcia niezrównoważenia [5].

3. PODSTAWOWE APLIKACJE

3.1 Wzmacniacz odwracający

Jest to jedna z najprostszych aplikacji z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego (rys. 2) . Wzmocnienie może być zarówno większe od jedności (sygnał wyjściowy będzie miał większą amplitudę niż wejściowy) jak i mniejsze od jedności (sygnał wyjściowy będzie miał mniejszą amplitudę niż wejściowy). Sygnał wyjściowy jest w przeciw-fazie w stosunku wejściowego (tzn. podanie na wejście napięcia dodatniego spowoduje pojawienie się na wyjściu napięcia ujemnego). Wzmocnienie takiego wzmacniacza uzyskuje się poprzez zmianę wartości (stosunku) rezystorów R1 i R2 (zazwyczaj ich wartości mieszczą się w zakresie 1 k – 100 k).



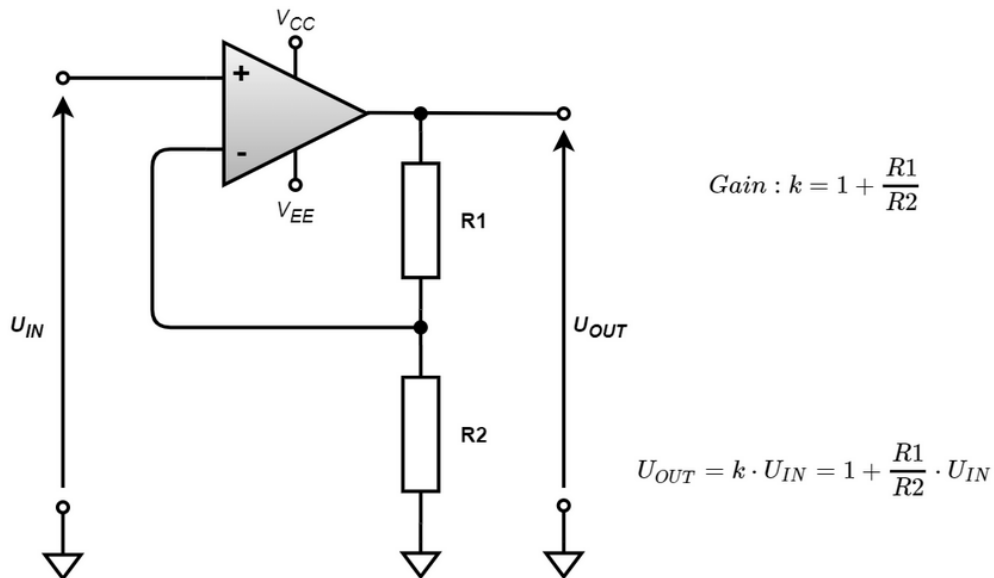
$$\text{Gain} : k = -\frac{R2}{R1}$$

$$U_{OUT} = k \cdot U_{IN} = -\frac{R2}{R1} \cdot U_{IN}$$

Rys. 2:Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji odwracającej

3.2 Wzmacniacz nieodwracający

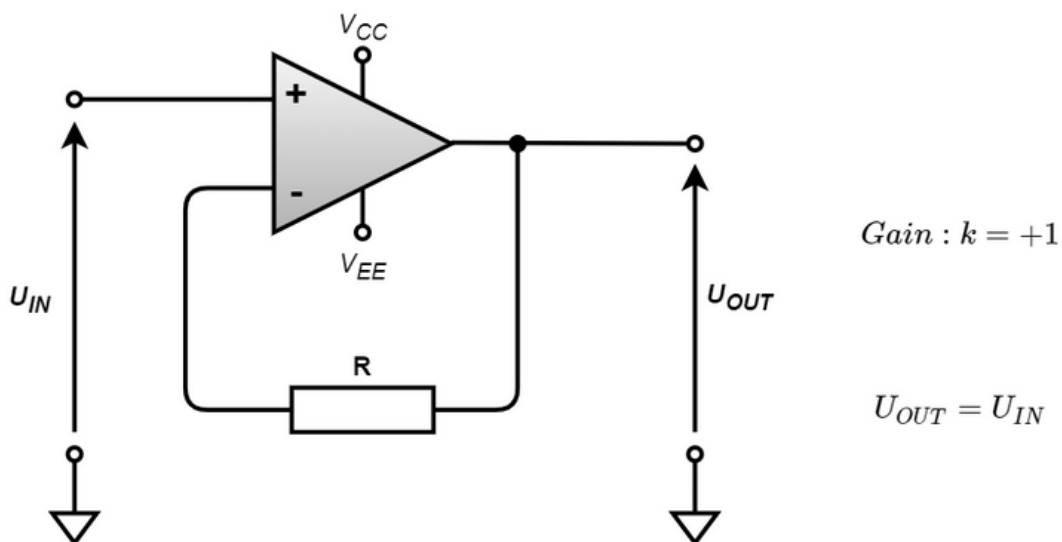
W tej konfiguracji osiągnąć wzmocnienie może być tylko większe od jedności. Sygnał wyjściowy nie jest w przeciw-fazie w stosunku do wejściowego. Podobnie jak w poprzednim wypadku wzmocnienie uzyskuje się poprzez zmianę wartości (stosunku) rezystorów R1 i R2 (zazwyczaj ich wartości mieszczą się w zakresie 1 k – 100 k). Schemat z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego w konfiguracji nieodwracającej widoczny jest na rys. 3.



Rys. 3: Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji nieodwracającej

3.3 Wtórnik napięciowy

Wtórnik napięciowy (widoczny na rys. 4) jest uproszczoną wersją wzmacniacza nieodwracającego ze wzmocnieniem równym 1. Wtórnik napięciowy stosuje się w celu zwiększenia wydajności prądowej sygnału lub/i w celu ochrony wrażliwych układów konwersji (przetworniki ADC) przed zakłóceniami i uszkodzeniem. W takim przypadku wtórnik napięciowy służy jako element separujący.

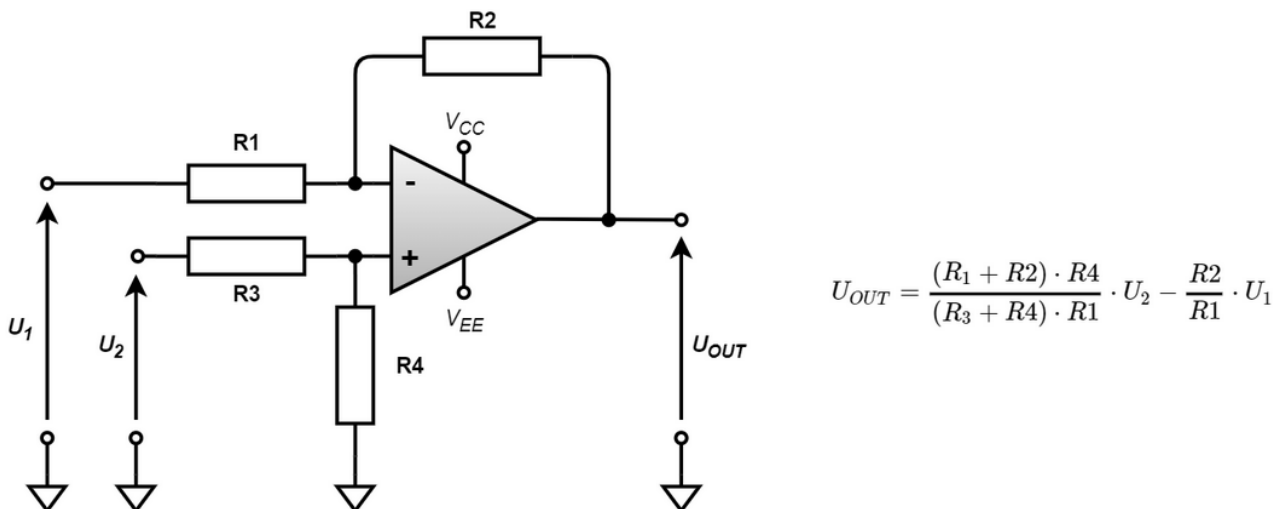


Rys. 4: Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji wtórnika napięciowego

3.4 Wzmacniacz różnicowy

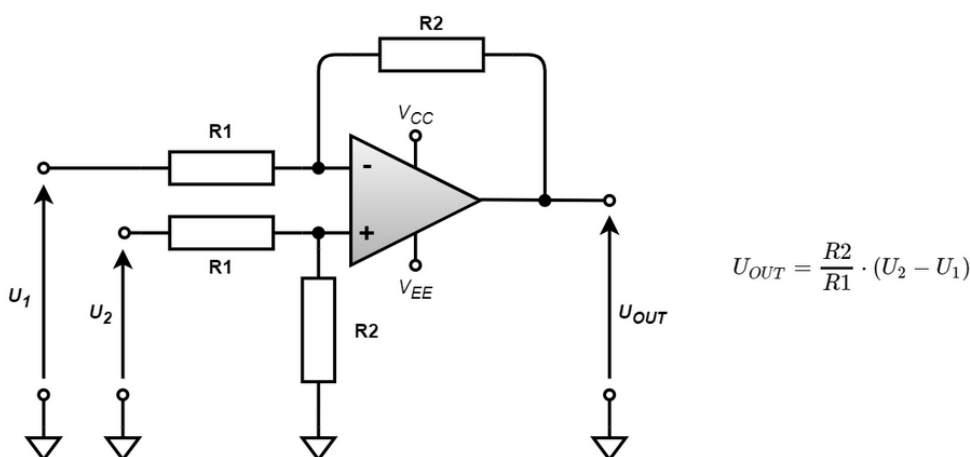
Kolejną aplikacją, która może zostać zbudowana na bazie wzmacniacza operacyjnego jest wzmacniacz różnicowy, tzn. wzmacnia od sygnał stanowiący różnicę pomiędzy dwoma sygnałami wejściowymi. Konfiguracja ta jest bardzo często wykorzystywana np. do współpracy z mostkami pomiarowymi, gdzie sygnał użyteczny stanowi różnicę napięć występującą pomiędzy gałęziami mostków.

W ogólnym przypadku napięcie wyjściowe jest wyrażone wzorem widocznym na rys. 5.



Rys. 5: Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji wzmacniacza różnicowego (przypadek ogólny)

Przy założeniu, że wartości rezystancji $R_1 = R_3$ i $R_2 = R_4$ wzór upraszcza się do równania widocznego na rys. 6.

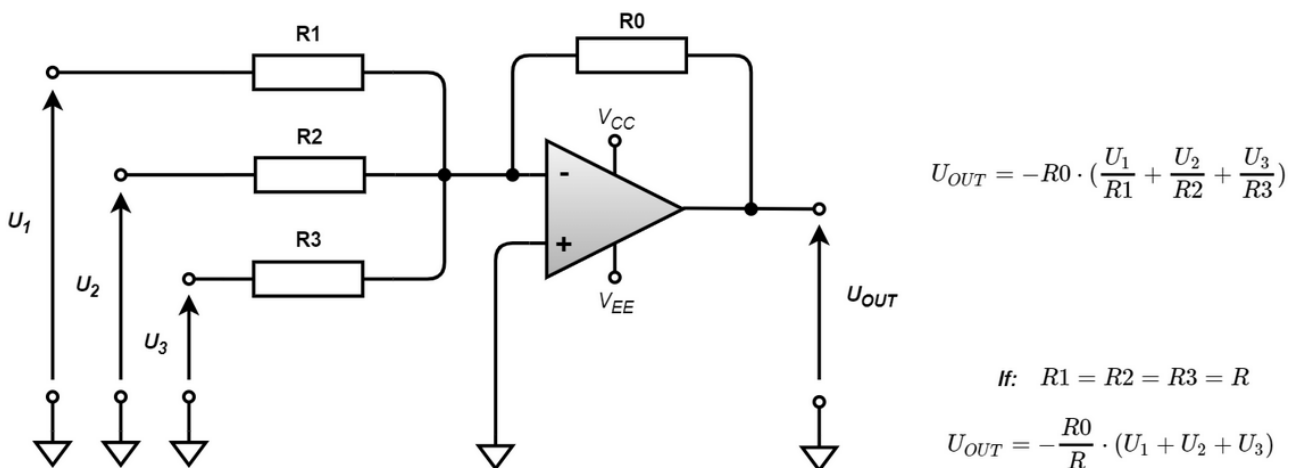


Rys. 6: Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji wzmacniacza różnicowego (przypadek uproszczony)

Jeśli wszystkie wartości rezystancji będą identyczne tzn. $R_1=R_2=R_3=R_4$ napięcie wyjściowe jest równe różnicy napięć wejściowym $U_{OUT} = U_2 - U_1$.

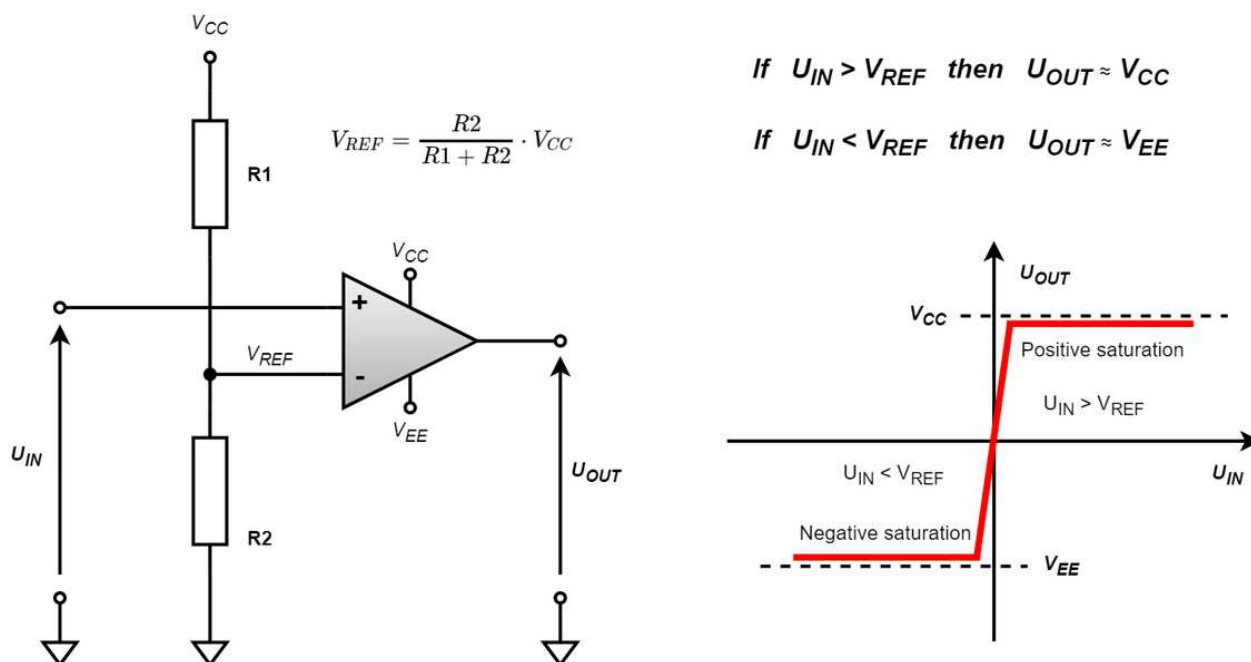
3.5 Sumator

Kolejną aplikacją jest sumator napięcia, widoczny na rys. 7. Na tym samym rysunku widoczne są również równania dla napięcia wyjściowego w przypadku ogólnym oraz dla identycznych wartości rezystancji na wejściach. Należy pamiętać, że obwód ten również odwraca sygnał w fazie.



Rys. 7: Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji sumatora napięć

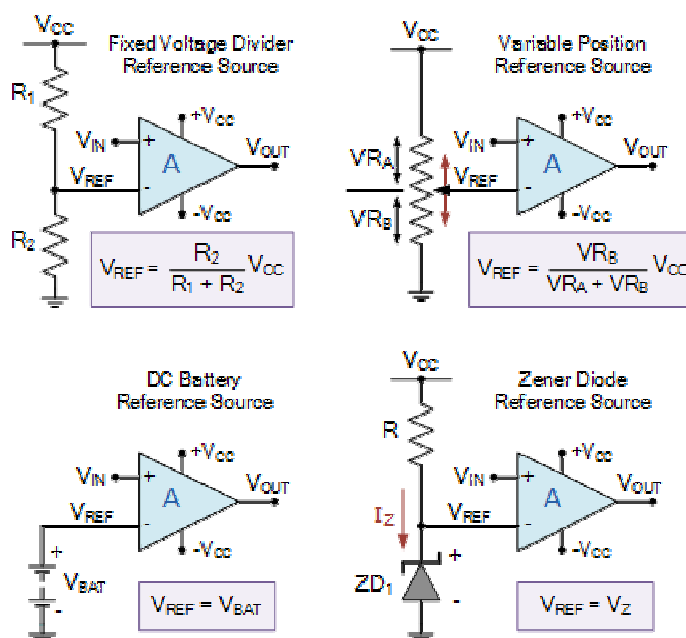
3.6 Komparator



Rys. 8: Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji komparatora napięcia

Komparator (rys. 8) porównuje jeden analogowy poziom napięcia z innym analogowym poziomem napięcia lub pewnym ustawionym napięciem odniesienia, V_{REF} i wytwarza sygnał wyjściowy w oparciu o to porównanie. Innymi słowy, komparator napięcia wzmacniacza operacyjnego porównuje wartości dwóch wejść napięcia i określa, który z nich jest największy.[5] Napięcie wyjściowe jest jednym z napięć zasilającym w zależności od tego które z napięć na wejściach (odwracającym i nieodwracającym) jest większe. Jest to jedyna z aplikacji w której wzmacniacz pracuje bez pętli sprzężenia zwrotnego w swoim zakresie nieliniowym (nasycenia). Można powiedzieć, że komparator napięcia jest 1-bitowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym, ponieważ sygnał wejściowy jest analogowy, a wyjście przyjmuje tylko jedno z dwóch stanów (wysoki i niski). W takiej roli jest też najczęściej używany, tzn. do sprawdzania czy wartość analogowa przekracza przyjęty poziom (próg) przekształca tę informację na sygnał cyfrowy, który następnie może być podany na wejście mikrokontrolera.

Na rys. 9 przedstawiono różne sposoby uzyskania napięcia referencyjnego.



Rys. 9 [5] Różne sposoby uzyskania napięcia referencyjnego dla wzmacniacza operacyjnego w konfiguracji komparatora

4. LITERATURA

- [1] *Laboratorium z podstawowych układów elektronicznych KL-210: Rozdział 6 – Wzmacniacze tranzystorowe*
- [2] *Wzmacniacze operacyjne – teoria i praktyka*: Bruce Carter, Ron Mancini.
- [3] *Wzmacniacze operacyjne i pomiarowe – Przewodnik projektanta*: Charles Kitchin, Lew Counts.
- [4] *Wzmacniacze operacyjne*: Piotr Górecki.
- [5] <https://www.electronics-tutorials.ws/>