



# Politechnika Wroclawska

Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”



KoNaR

## Wzmacniacze operacyjne

Łukasz Juskiewicz

Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”

Wrocław, 15 czerwca 2011



## Plan prezentacji

- Wstęp
- Jak to działa?
- Podstawowe aplikacje
- Niedoskonałości wzmacniaczy operacyjnych
- Układy z pojedynczym zasilaniem
- Stabilność i pasmo przenoszenia
- Podsumowanie



# Wstęp

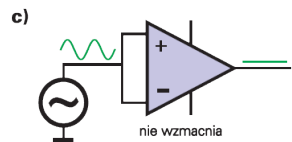
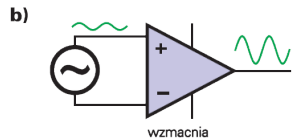
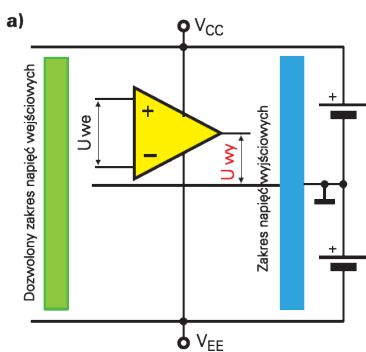
## Motto

„W teorii nie ma różnicy między praktyką a teorią.  
W praktyce jest.”



# Wstęp

## Wzmacniacz różnicowy





## Jak to działa?

### Wzmacniacz operacyjny

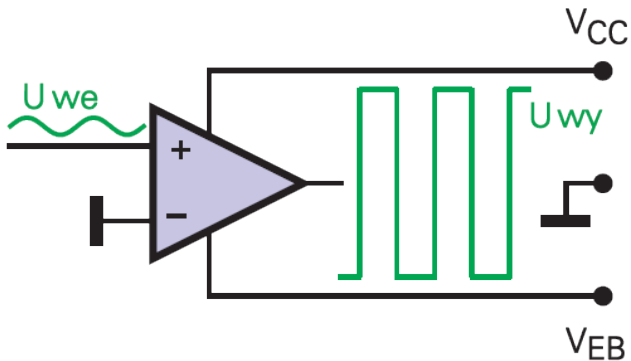
Wzmacniacz operacyjny to wzmacniacz różnicowy o bardzo dużym wzmocnieniu. Założenia upraszczające:

- Wejścia wzmacniacza nie pobierają prądu — rezystancja wejściowa jest nieskończona.
- Wyjście poprzez obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego stara się utrzymać jednakowe napięcie na obu wejściach. W czasie normalnej pracy oba wejścia mają jednakowe potencjały (wirtualne zwarcie).



# Podstawowe aplikacje

Tak nie!

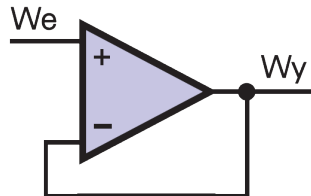




# Podstawowe aplikacje

## Wtórnik

- $U_{wy} = U_{we}$
- Bardzo duża rezystancja wejściowa
- Mała rezystancja wyjściowa

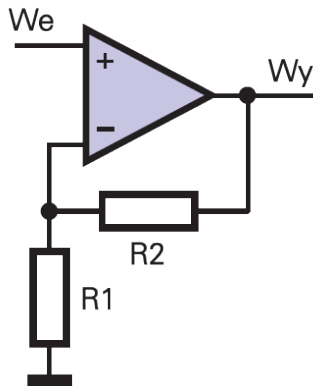




# Podstawowe aplikacje

## Wzmacniacz nieodwracający

- $U_{we} = U_X = \frac{R_1}{R_1+R_2} U_{wy}$
- $K = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
- Duża rezystancja wejściowa



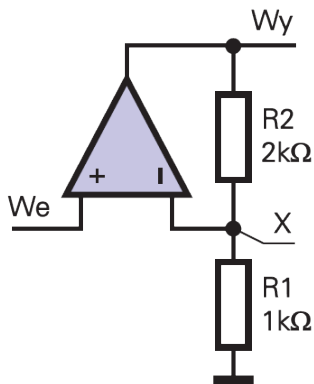




# Podstawowe aplikacje

## Wzmacniacz nieodwracający

- $U_{we} = U_X = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{wy}$
- $K = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
- Duża rezystancja wejściowa

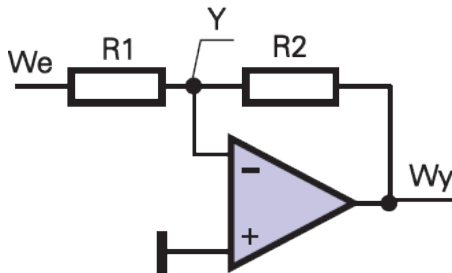




# Podstawowe aplikacje

## Wzmacniacz odwracający

- $U_Y = 0 \Rightarrow U_{R2} = U_{wy}$  oraz  $U_{R1} = -U_{we}$
- $I_{R2} = I_{R1}$
- $K = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = -\frac{R2}{R1}$
- $R_{we} = R1$

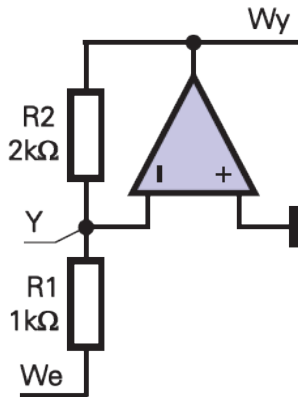




# Podstawowe aplikacje

## Wzmacniacz odwracający

- $U_Y = 0 \Rightarrow U_{R2} = U_{wy}$  oraz  $U_{R1} = -U_{we}$
- $I_{R2} = I_{R1}$
- $K = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = -\frac{R_2}{R_1}$
- $R_{we} = R_1$

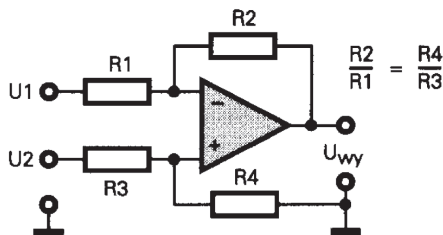




# Podstawowe aplikacje

## Wzmacniacz różnicowy

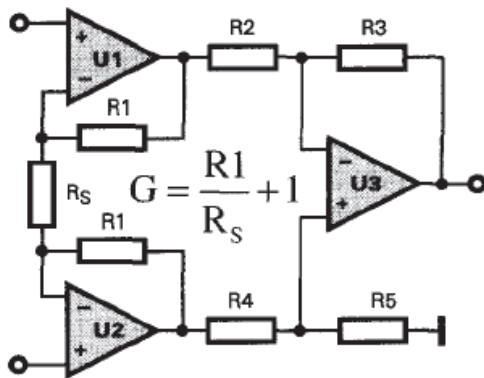
- $K = \frac{U_{wy}}{U_2 - U_1}$
- Rezystancja wejściowa zależy od wartości rezystorów
- Wymagany dokładny dobór rezystorów!





# Podstawowe aplikacje

## Wzmacniacz pomiarowy





## Niedoskonałości wzmacniaczy

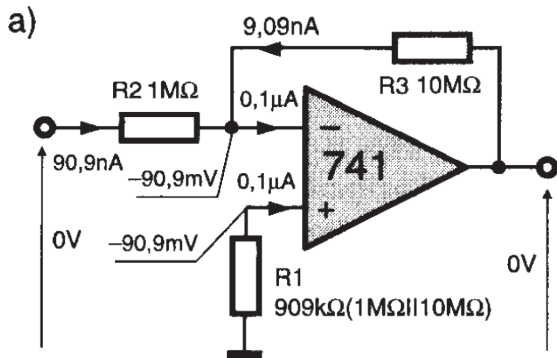
### Parametry wzmacniaczy operacyjnych

- Gain [V/V] — wzmocnienie dla prądu stałego ( $> 10^4$ )
- $U_{CC}$  [V] — zakres napięć zasilania
- $I_{CC}$  [mA] — prąd zasilania
- $I_{BIAS}$  [ $\mu$ V] — prąd polaryzacji wejść
- $U_{OFF}$  [mA] — wejściowe napięcie niezrównoważenia
- $U_{INcom}$  [V] — zakres wspólnych napięć wejściowych
- $U_{INdiff}$  [V] — maksymalne dopuszczalne napięcie różnicowe
- Slew Rate [V/ $\mu$ s] — szybkość zmian napięcia wyjściowego



# Niedoskonałości wzmacniaczy

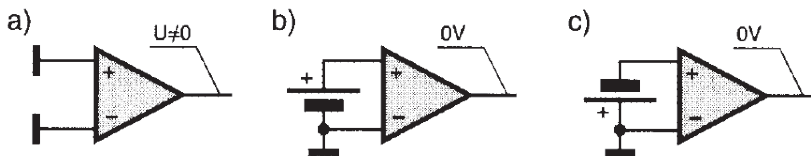
## Prąd polaryzacji





# Niedoskonałości wzmacniaczy

## Napięcie niezrównoważenia

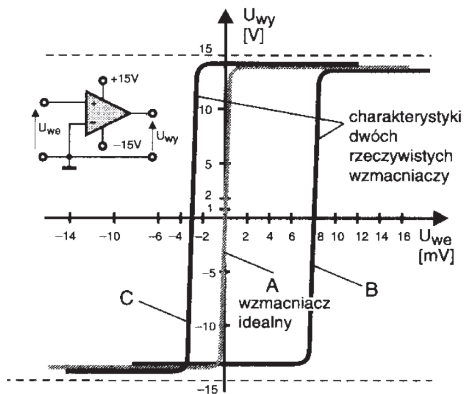






# Niedoskonałości wzmacniaczy

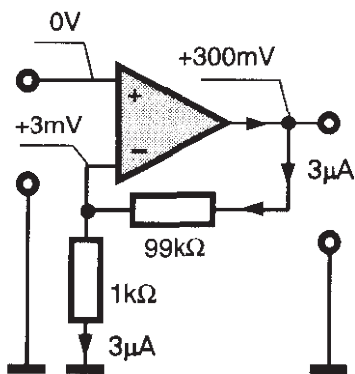
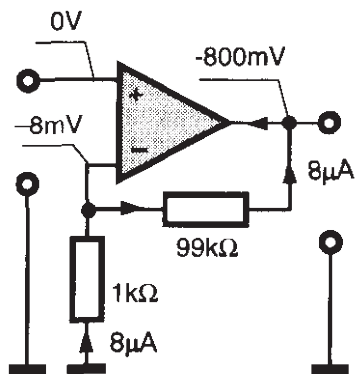
## Napięcie niezrównoważenia — ch-ki przejściowe





# Niedoskonałości wzmacniaczy

## Napięcie niezrównoważenia — wzmocnienie





## Niedoskonałości wzmacniaczy

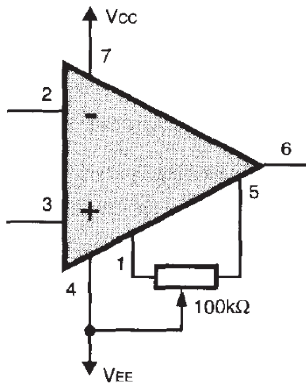
### Napięcie niezrównoważenia — wnioski

Podczas normalnej pracy między wejściami wzmacniacza występuje wejściowe napięcie niezrównoważenia wynoszące do kilku mV. Napięcie to jest wzmacniane tak samo jak napięcie wejściowe wzmacniacza nieodwracającego, odwracającego itp.



# Niedoskonałości wzmacniaczy

## Napięcie niezrównoważenia — kompensacja

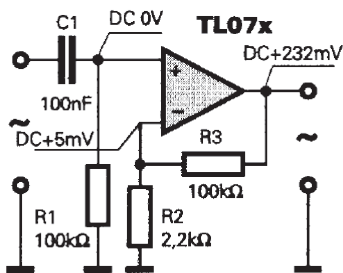




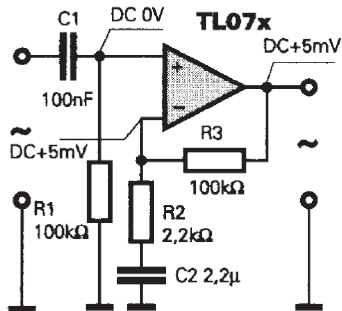
# Niedoskonałości wzmacniaczy

## Napięcie niezrównoważenia — nie wzmacniamy go

wzmocnienie stałoprądowe = 46,5  
wzmocnienie zmiennoprądowe = 46,5



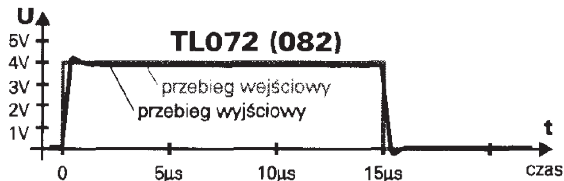
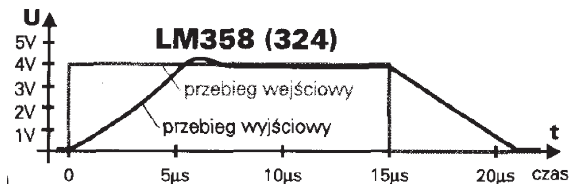
wzmocnienie stałoprądowe = 1  
wzmocnienie zmiennoprądowe = 46,5





# Niedoskonałości wzmacniaczy

## Szybkość zmian napięcia wyjściowego

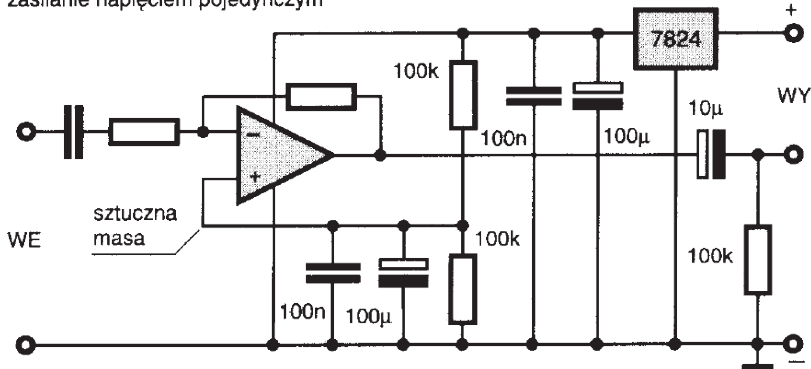




# Pojedyncze napięcie zasilania

## Zasilamy pojedynczym napięciem

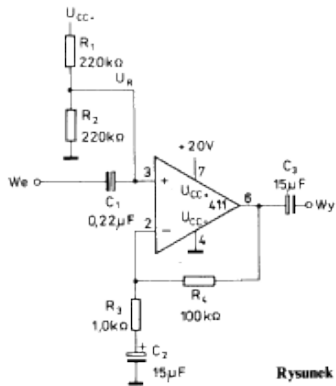
zasilanie napięciem pojedynczym





# Pojedyncze napięcie zasilania

Można też tak



Rysunek 4.53.

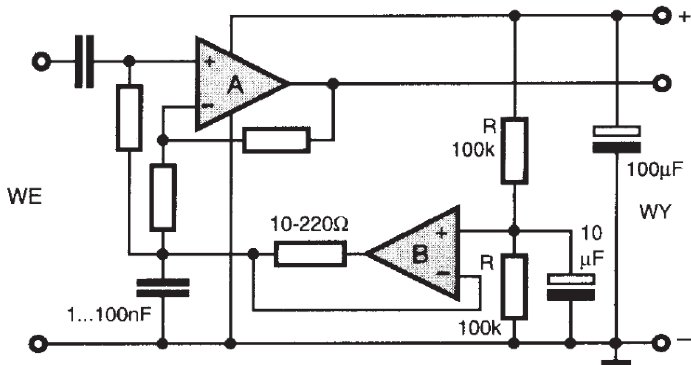




# Pojedyncze napięcie zasilania

## Aktywna sztuczna masa

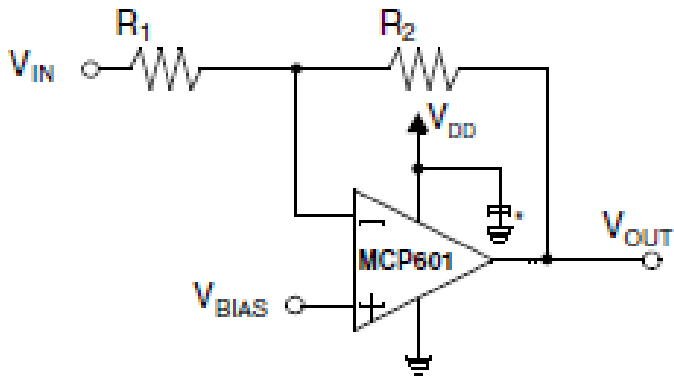
aktywna sztuczna masa





# Pojedyncze napięcie zasilania

Jak to liczyć?





# Pojedyncze napięcie zasilania

Jak to liczyć?

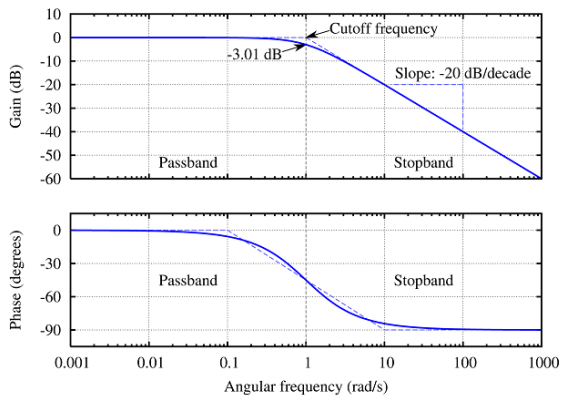
$$V_{OUT} = -\frac{R_2}{R_1} V_{IN} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{BIAS}$$

$$V_{OUT} - V_{BIAS} = -\frac{R_2}{R_1} (V_{IN} - V_{BIAS})$$



# Stabilność

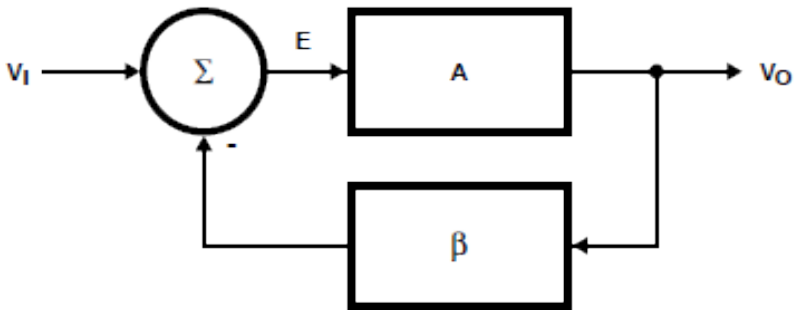
## Wykresy Bodego





# Stabilność

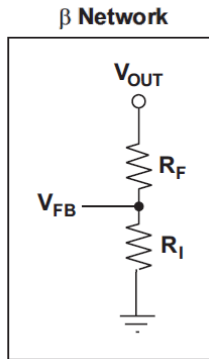
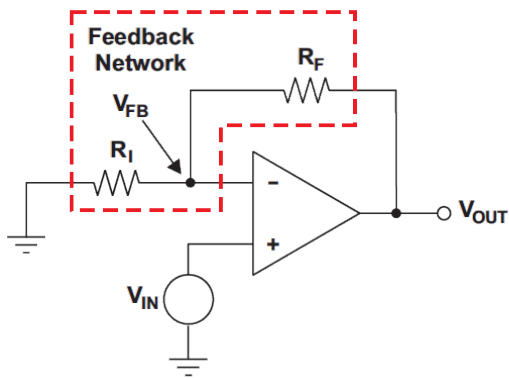
## Pętla sprzężenia zwrotnego





# Stabilność

## Pętla sprzężenia zwrotnego





# Stabilność

## Małe przypomnienie

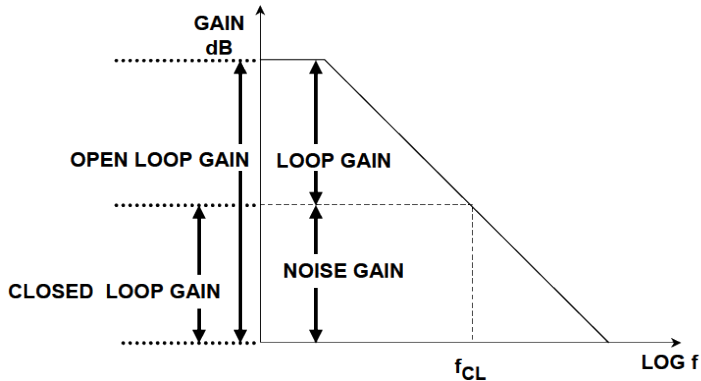
$$K = \frac{1}{1 + A\beta}$$

$$K = \frac{1}{\beta} \text{ dla } 1 \ll A\beta$$



# Stabilność

## Definicje

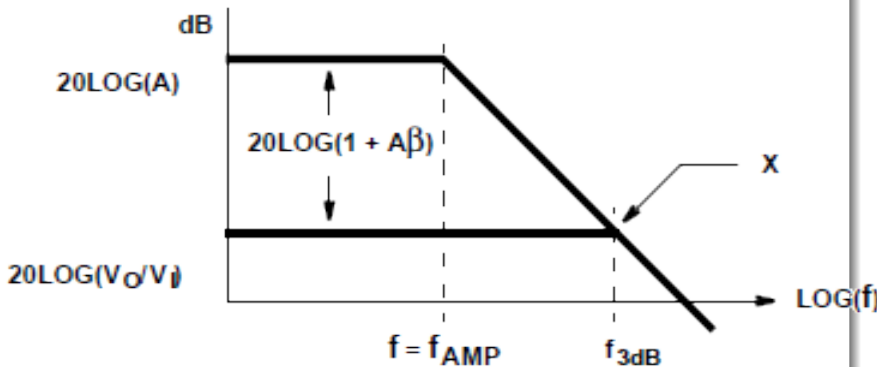






# Stabilność

## Definicje





# Stabilność

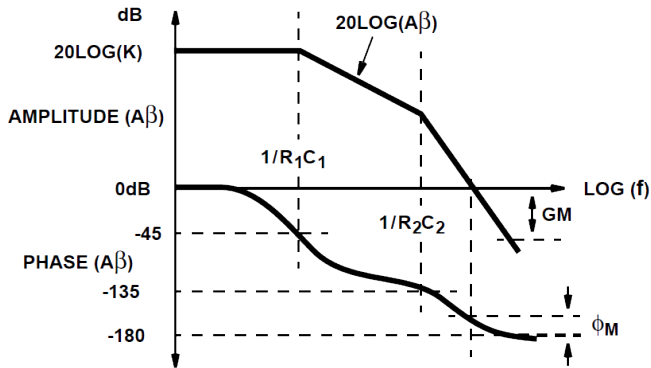
## Pasma przenoszenia

Iloczyn wzmocnienia wzmacniacza w otwartej pętli i częstotliwości jest stały  $fK = GBW$ . Parametr ten nazywany jest Gain Bandwidth Product. Dla częstotliwości  $f_T = GBW$  wzmocnienie wynosi 1, dla dziesięć razy mniejszej jest równe 10 itd. Podobnie iloczyn częstotliwości granicznej i wzmocnienia wzmacniacza z zamkniętą pętlą jest równy GBW.



# Stabilność

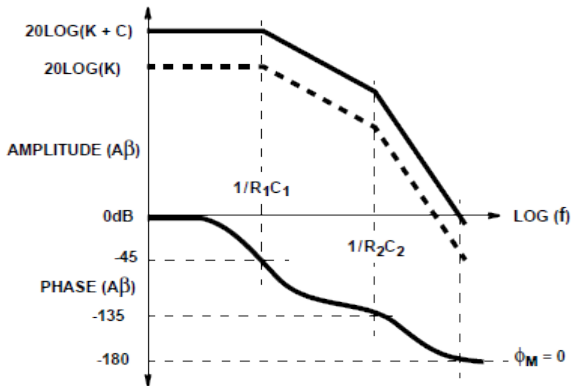
## Kryterium stabilności





# Stabilność

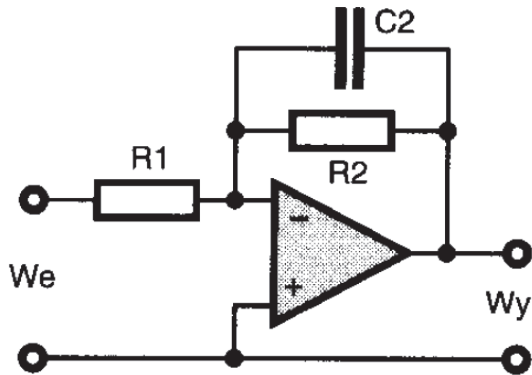
## Zapas wzmocnienia i fazy





# Stabilność

## Tniemy pasmo





# Podsumowanie

**Dziękuję za uwagę.**