

# Analogowe Układy Elektroniczne

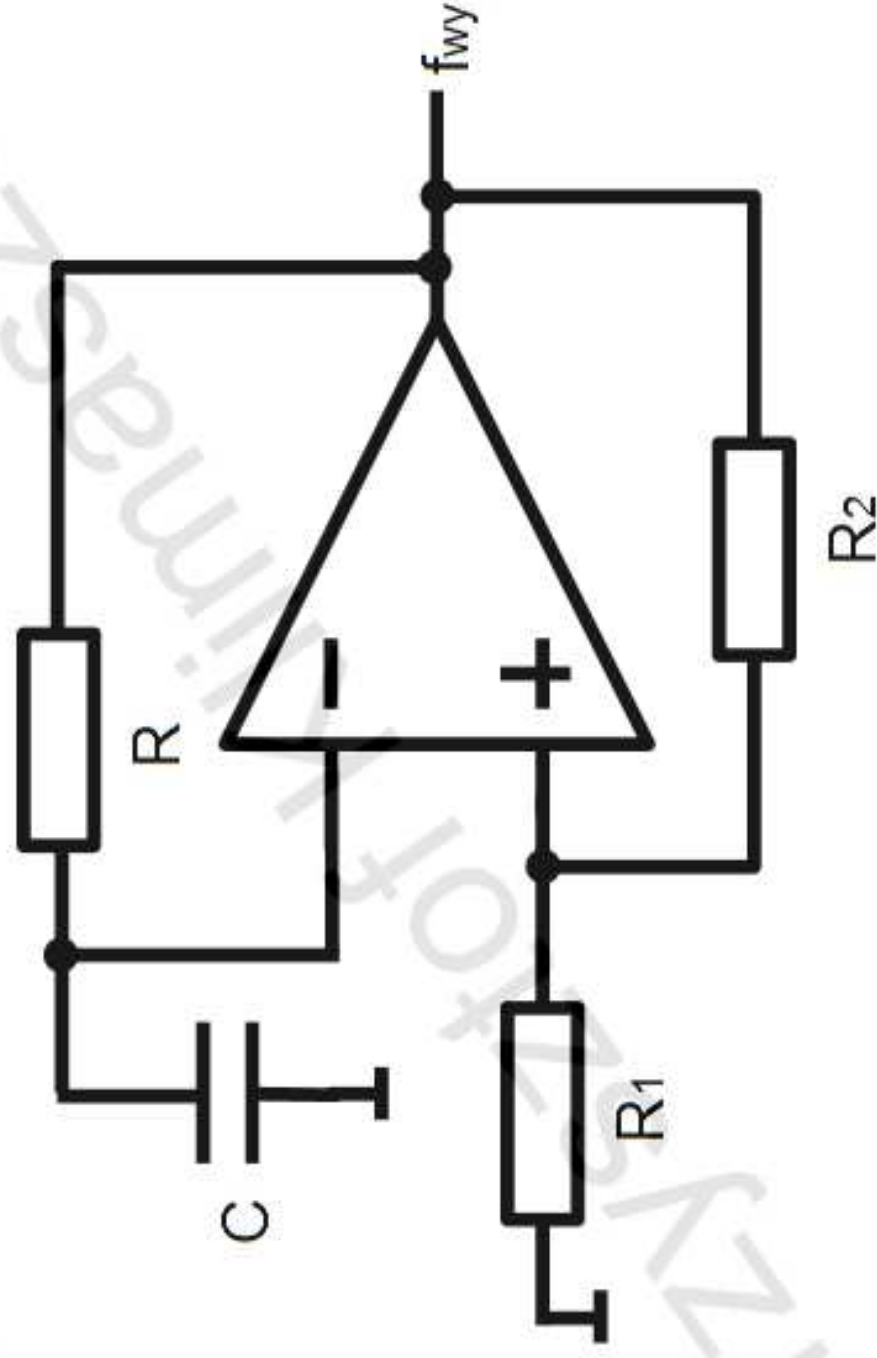
Krzysztof Klimaszewski

[kklima@et.put.poznan.pl](mailto:kklima@et.put.poznan.pl)

Polanka 3, pokój 118

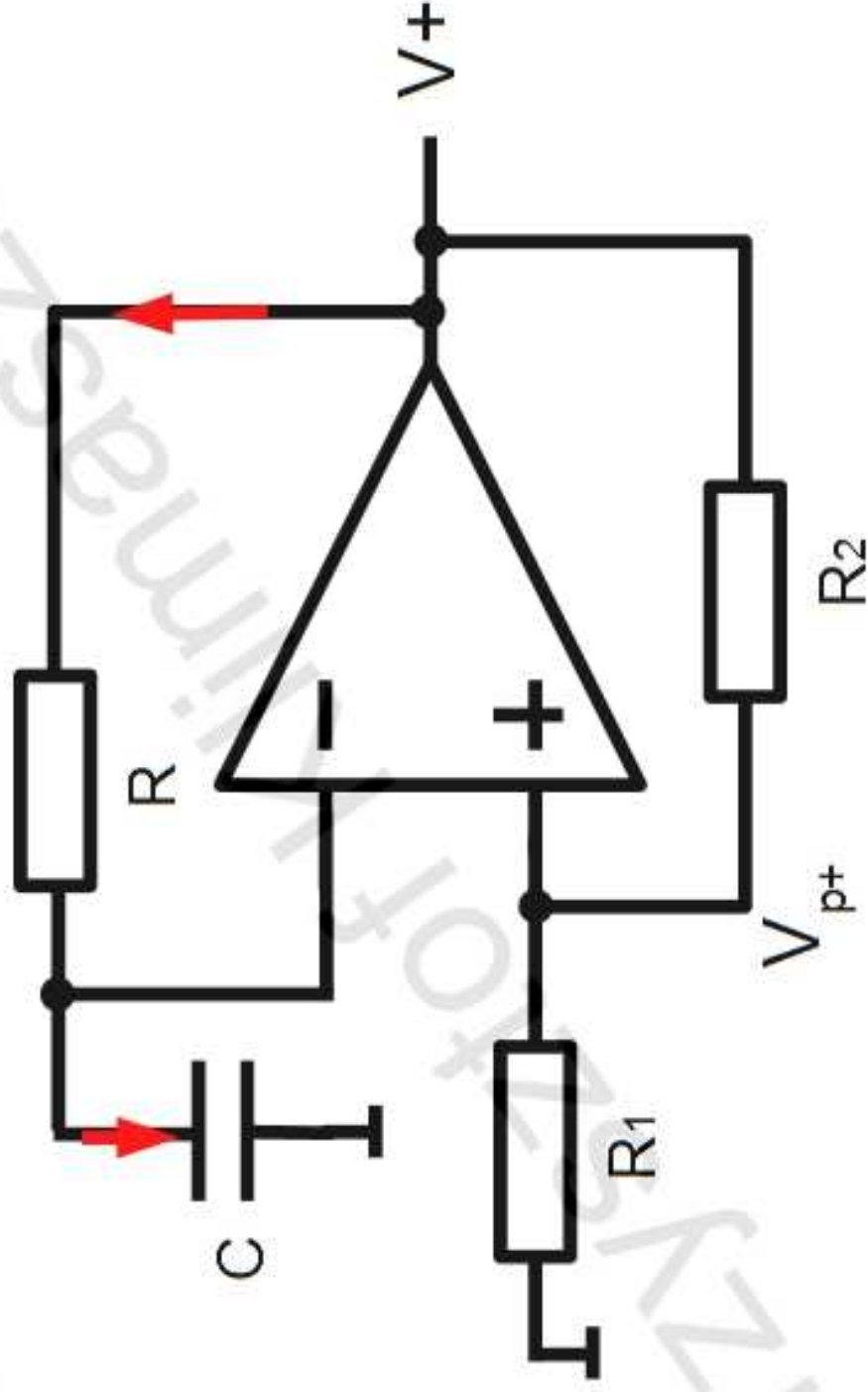
# Generator przebiegu prostokątnego

- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC



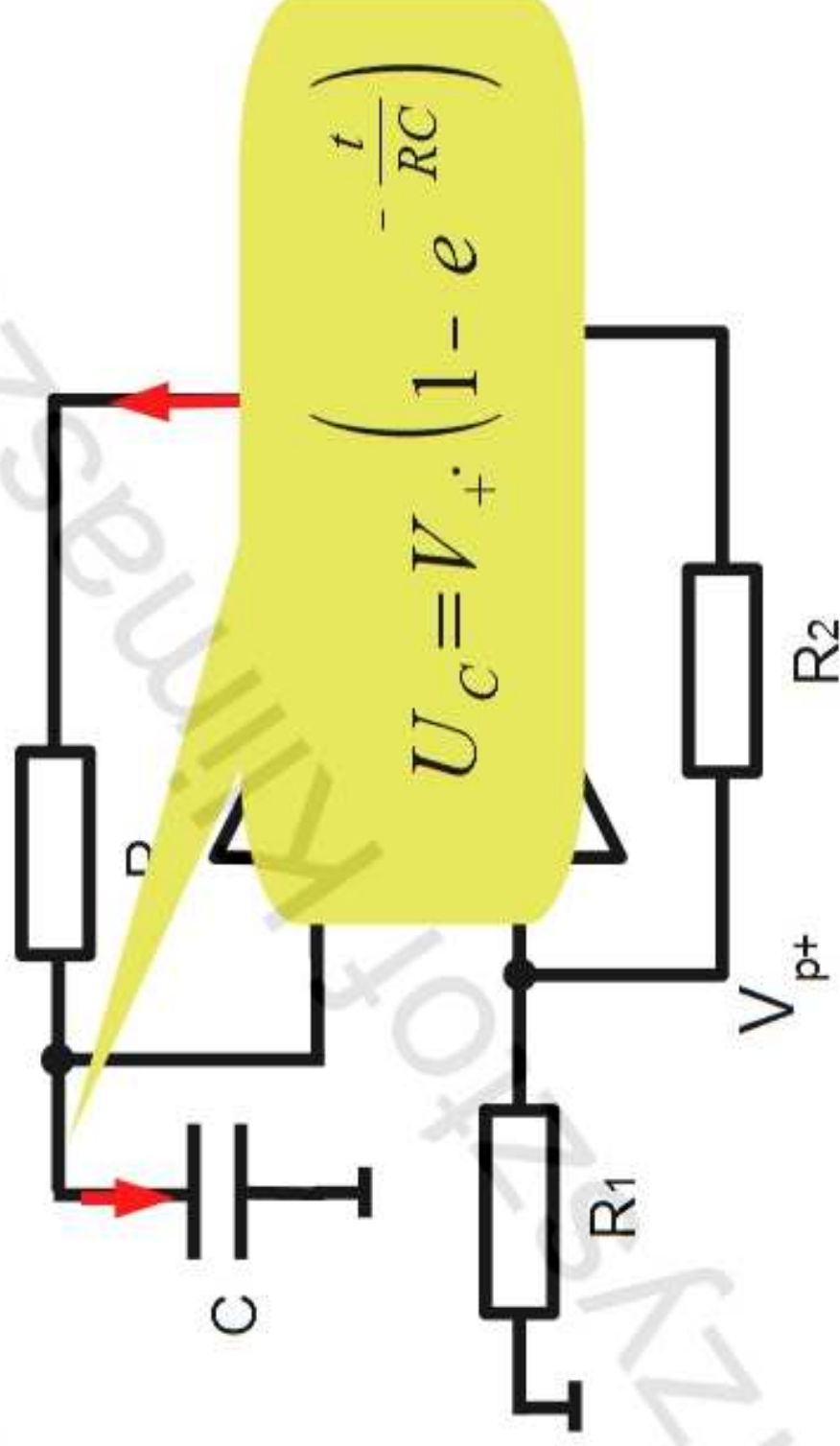
# Generator przebiegu prostokątnego

- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC



# Generator przebiegu prostokątnego

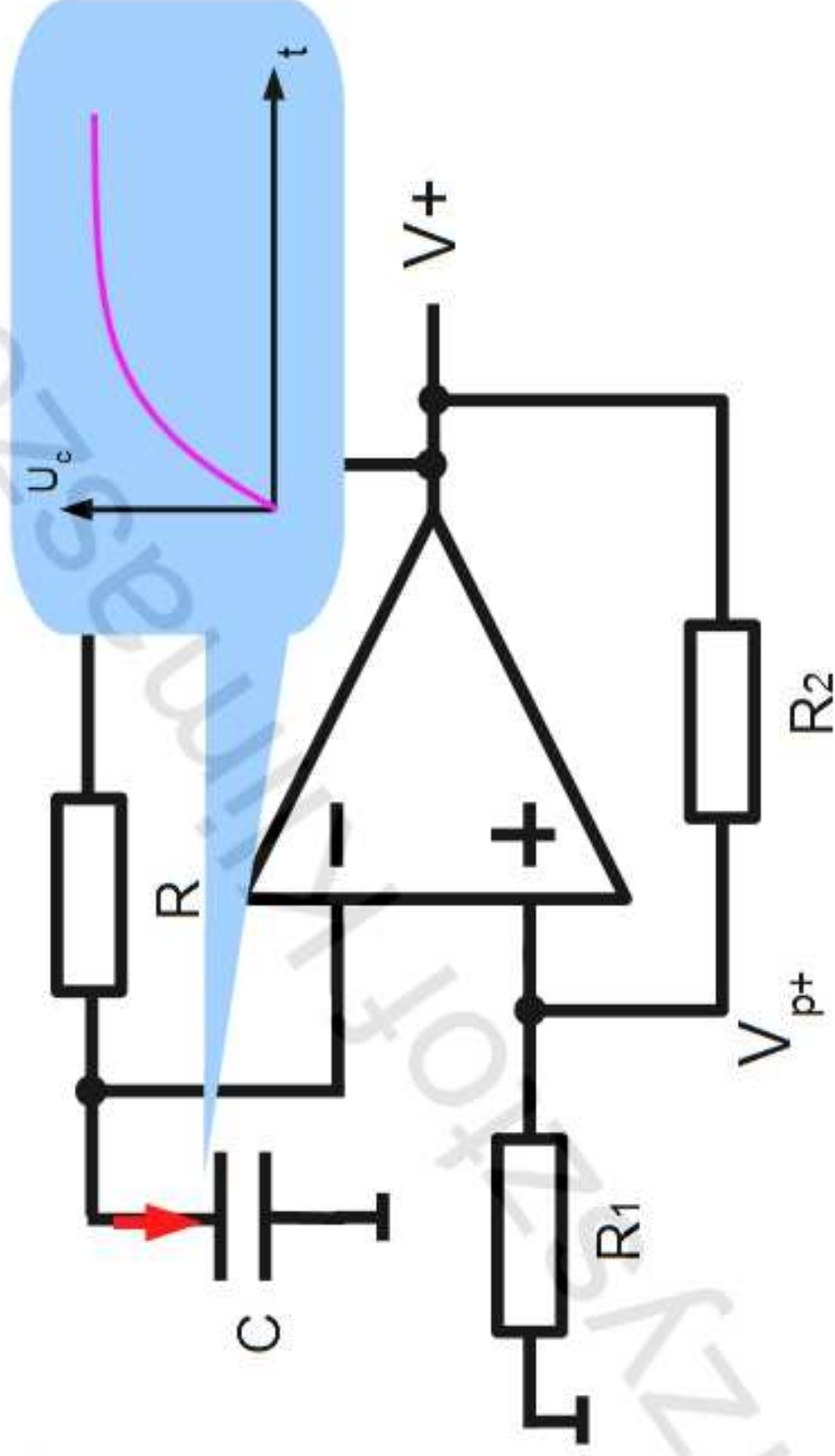
- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC





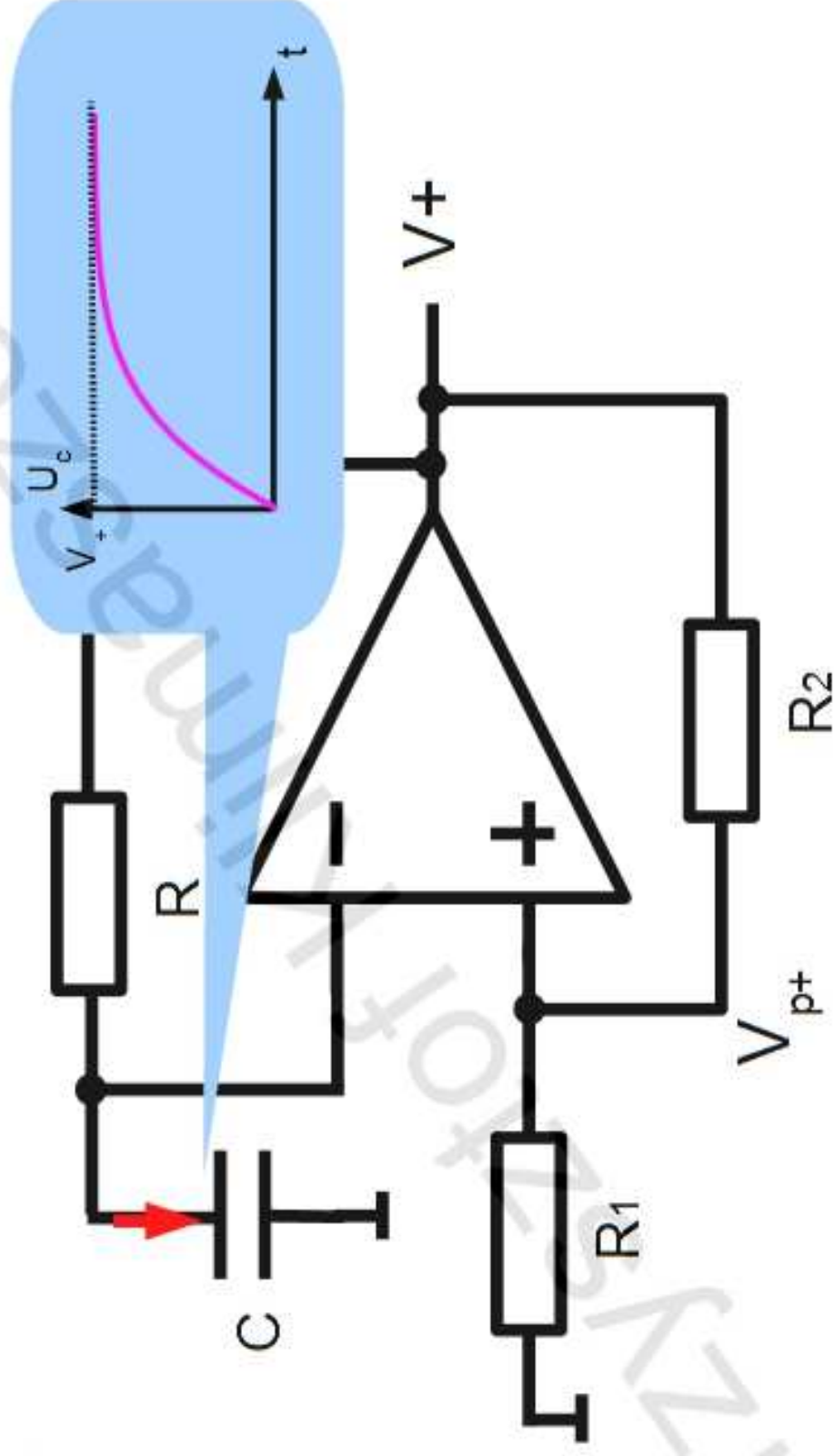
# Generator przebiegu prostokątnego

- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC



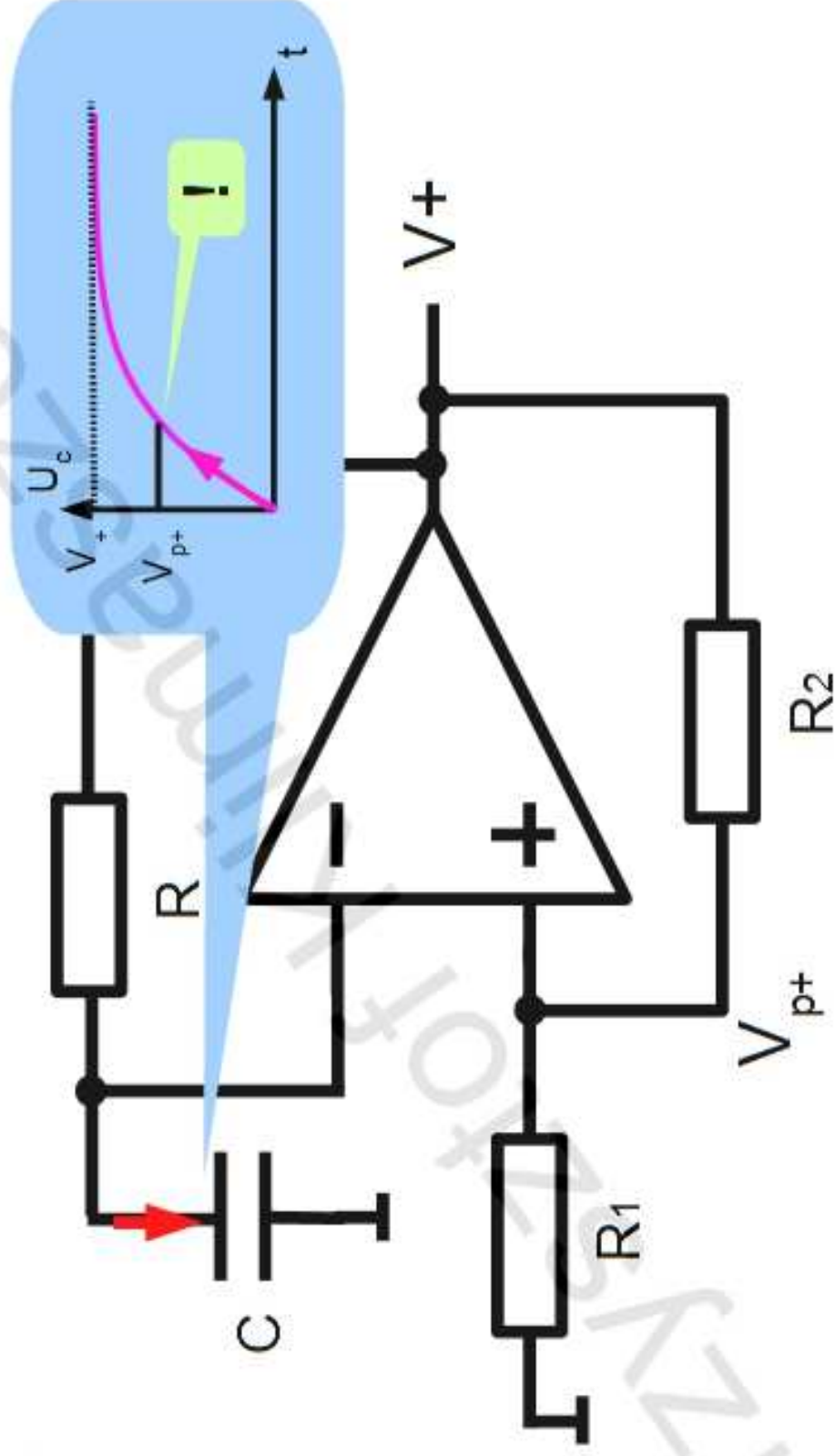
# Generator przebiegu prostokątnego

- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC



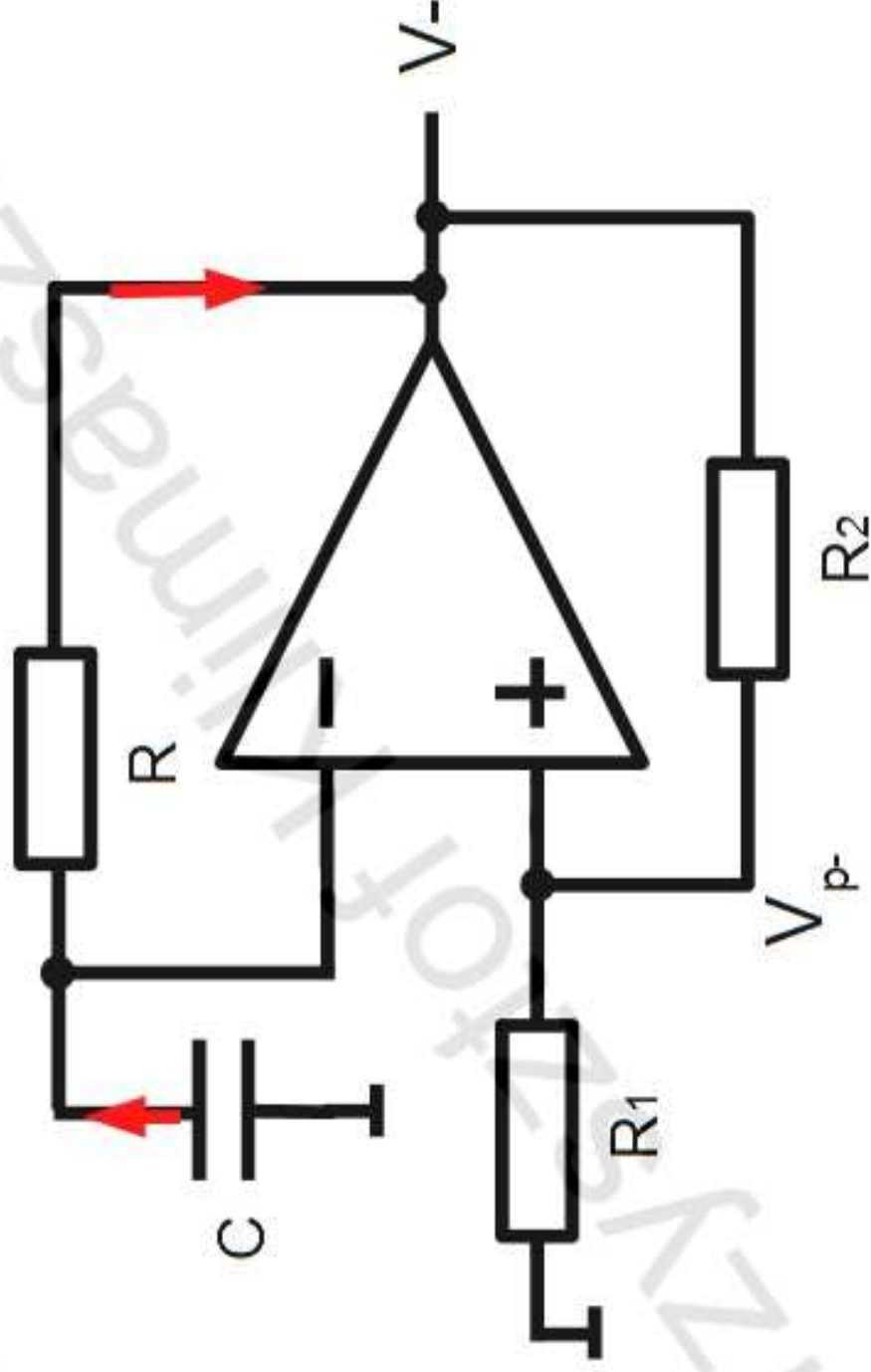
# Generator przebiegu prostokątnego

- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC



# Generator przebiegu prostokątnego

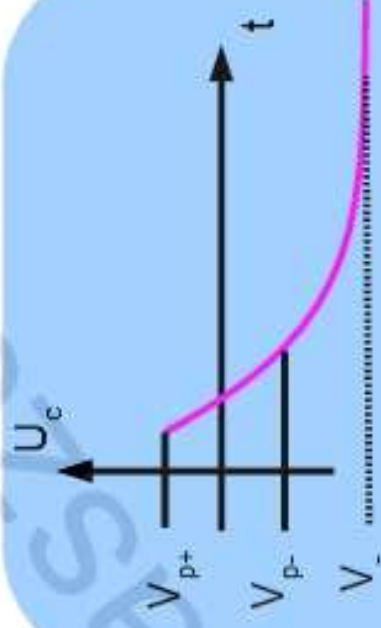
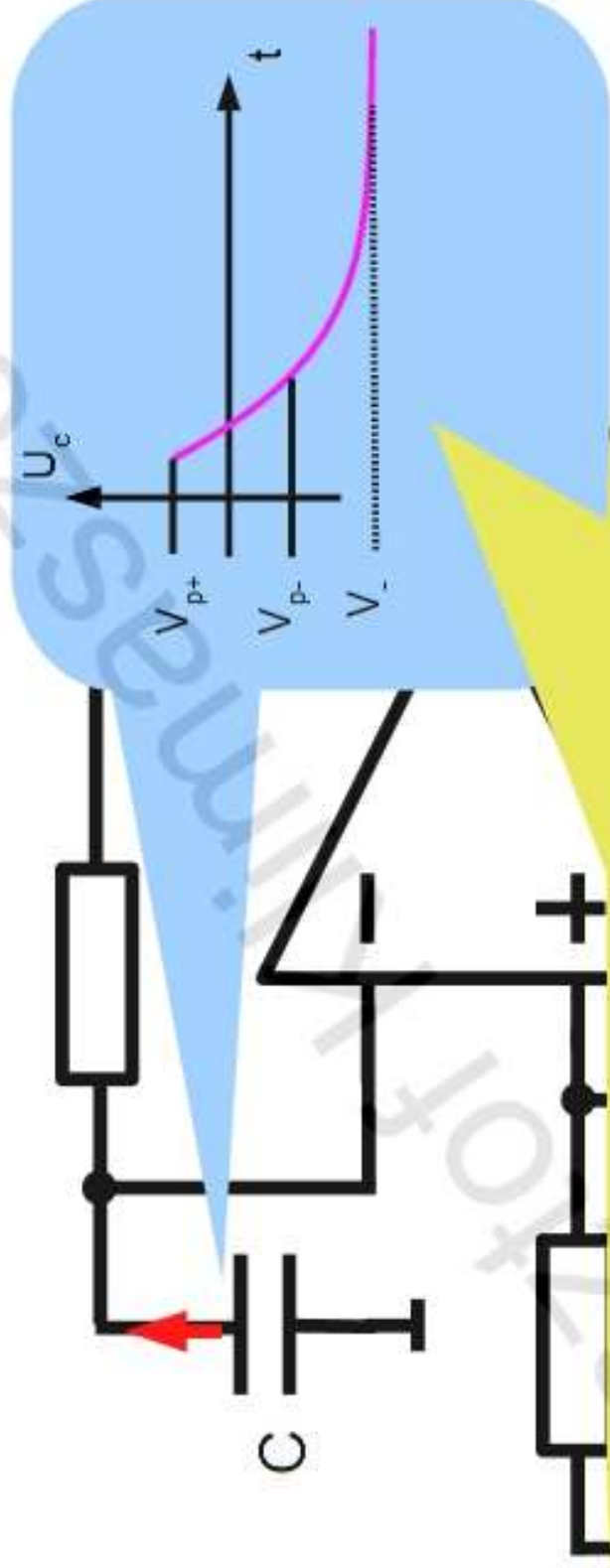
- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC





# Generator przebiegu prostokątnego

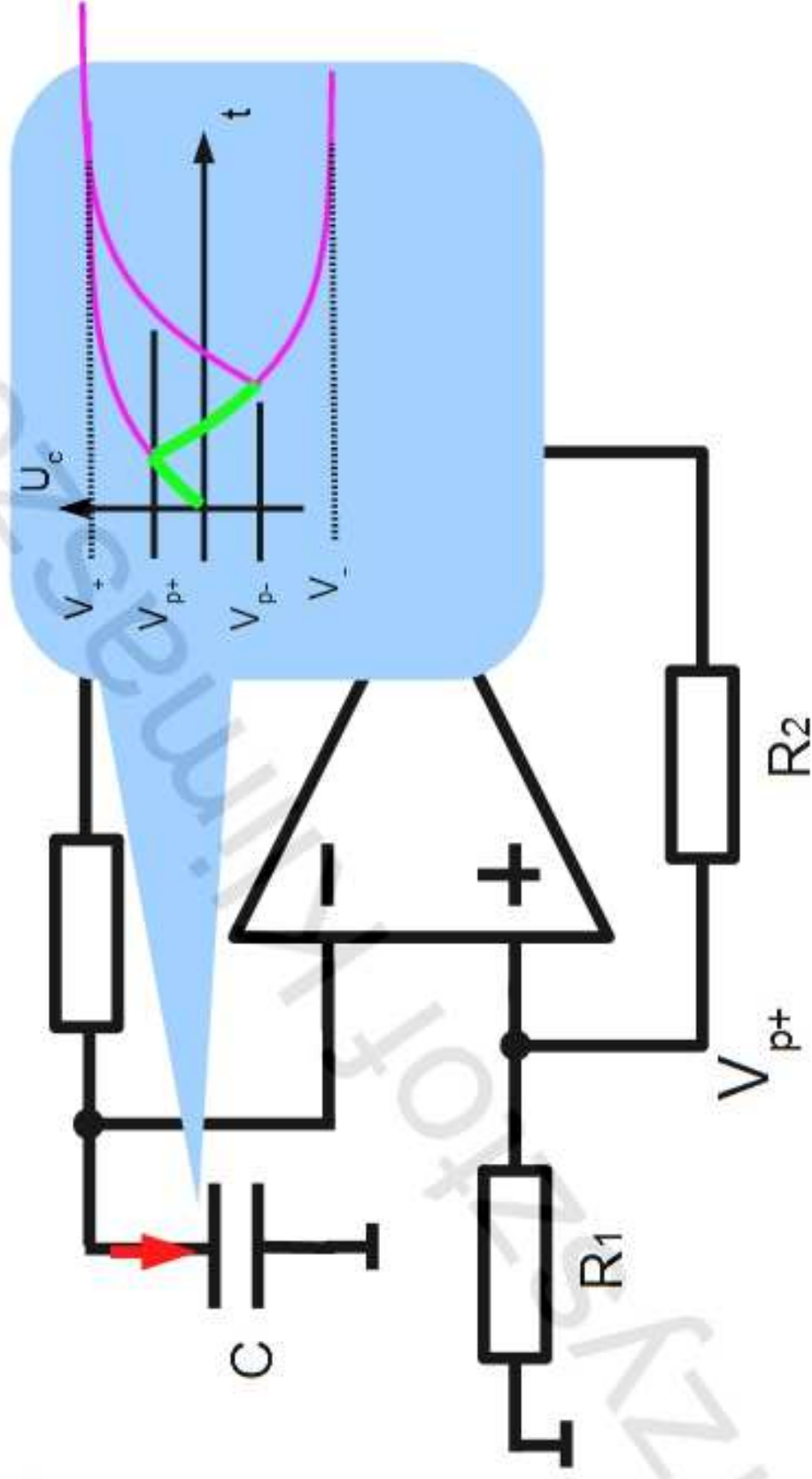
- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC



$$U_C = (V_- - V_{p+}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) + V_{p+}$$

# Generator przebiegu prostokątnego

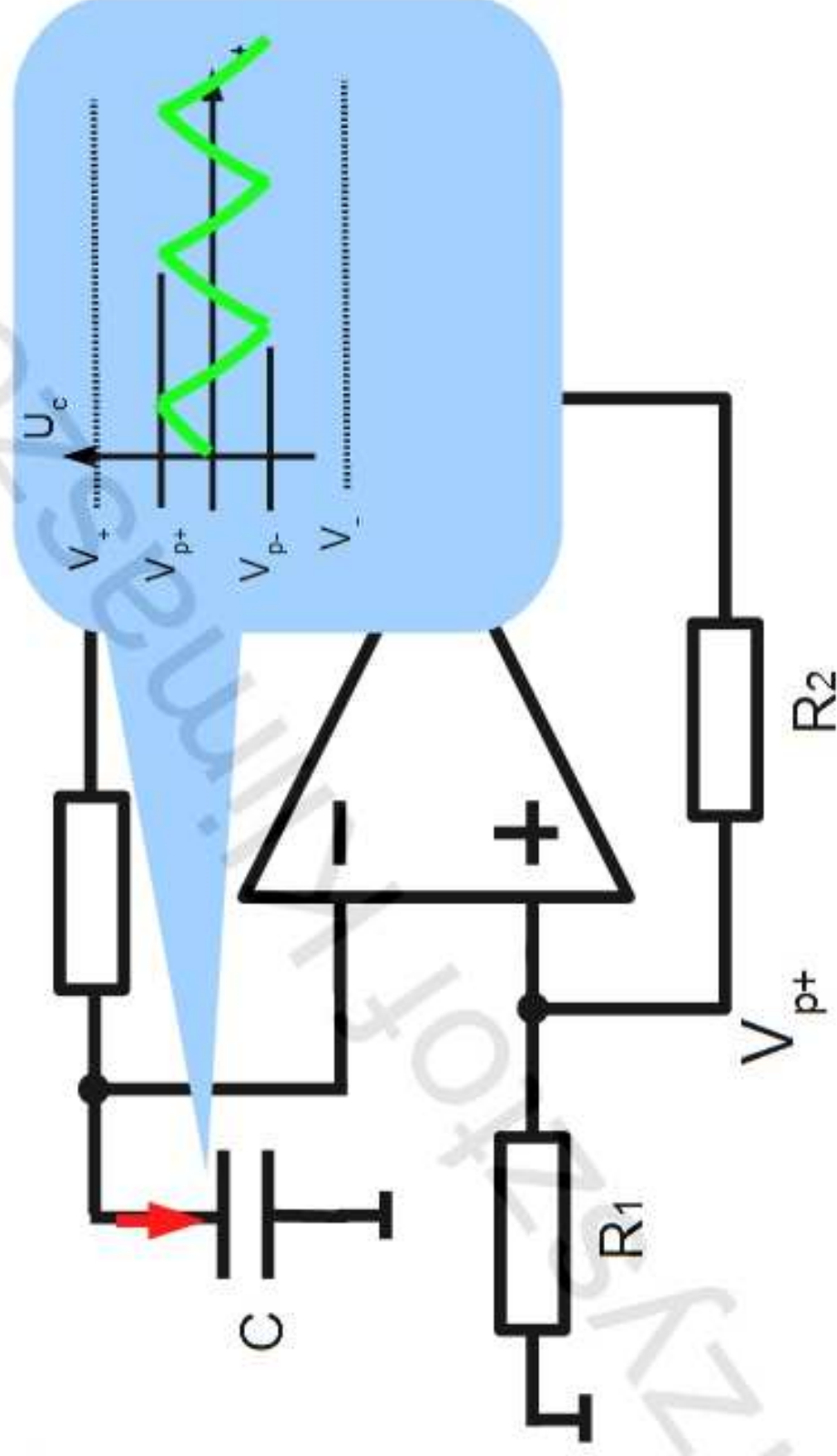
- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC





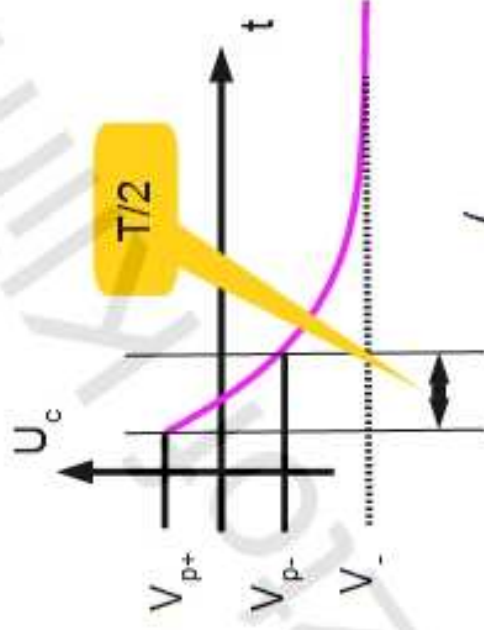
# Generator przebiegu prostokątnego

- przerzutnik Schmitta odwracający fazę + układ RC



# Generator przebiegu prostokątnego

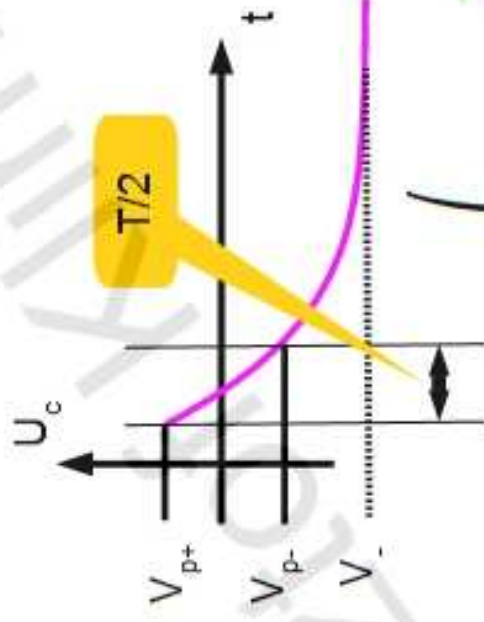
- Wzór na częstotliwość przebiegu
- Poza pierwszym półokresem, kondensator przeładowuje się od  $V_{p+}$  do  $V_{p-}$  i na odwrót



$$U_C = (V_{-} - V_{p+}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) + V_{p+}$$

# Generator przebiegu prostokątnego

- Wzór na częstotliwość przebiegu
- Poza pierwszym półokresem, kondensator przeładowuje się od  $V_{p+}$  do  $V_{p-}$  i na odwrót



$$V_{p-} = (V_{-} - V_{p+}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{2} \frac{1}{RC}}\right) + V_{p+}$$

# Generator przebiegu prostokątnego

$$V_{p^-} = (V_{p^-} - V_{p^+}) \left( 1 - e^{-\frac{T}{2RC}} \right) + V_{p^+}$$

$$\frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_{p^-} - V_{p^+}} = 1 - e^{-\frac{T}{2RC}}$$

$$\frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_{p^-} - V_{p^+}} = 1 - e^{-\frac{T}{2RC}}$$

$$-\frac{T}{2RC} = \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_{p^-} - V_{p^+}} \right)$$

# Generator przebiegu prostokątnego

$$\frac{-T}{2RC} = \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$T = -2RC \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} = \frac{V_- - V_{p^+} - V_{p^-} + V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} = \frac{V_- - V_{p^-}}{V_- - V_{p^+}}$$



# Generator przebiegu prostokątnego

$$\frac{-T}{2RC} = \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$T = -2RC \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$V_{p^-} = V_+ \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{p^+} = V_+ \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} = \frac{V_- - V_{p^+} - V_{p^-} + V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} = \frac{V_- - V_{p^-}}{V_- - V_{p^+}}$$

$$V_+ = -V_-$$



# Generator przebiegu prostokątnego

$$\frac{-T}{2RC} = \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$T = -2RC \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$\frac{V_- - V_{p^-}}{V_- - V_{p^+}} = \frac{V_- \left( 1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)}{V_- \left( 1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)}$$

# Generator przebiegu prostokątnego

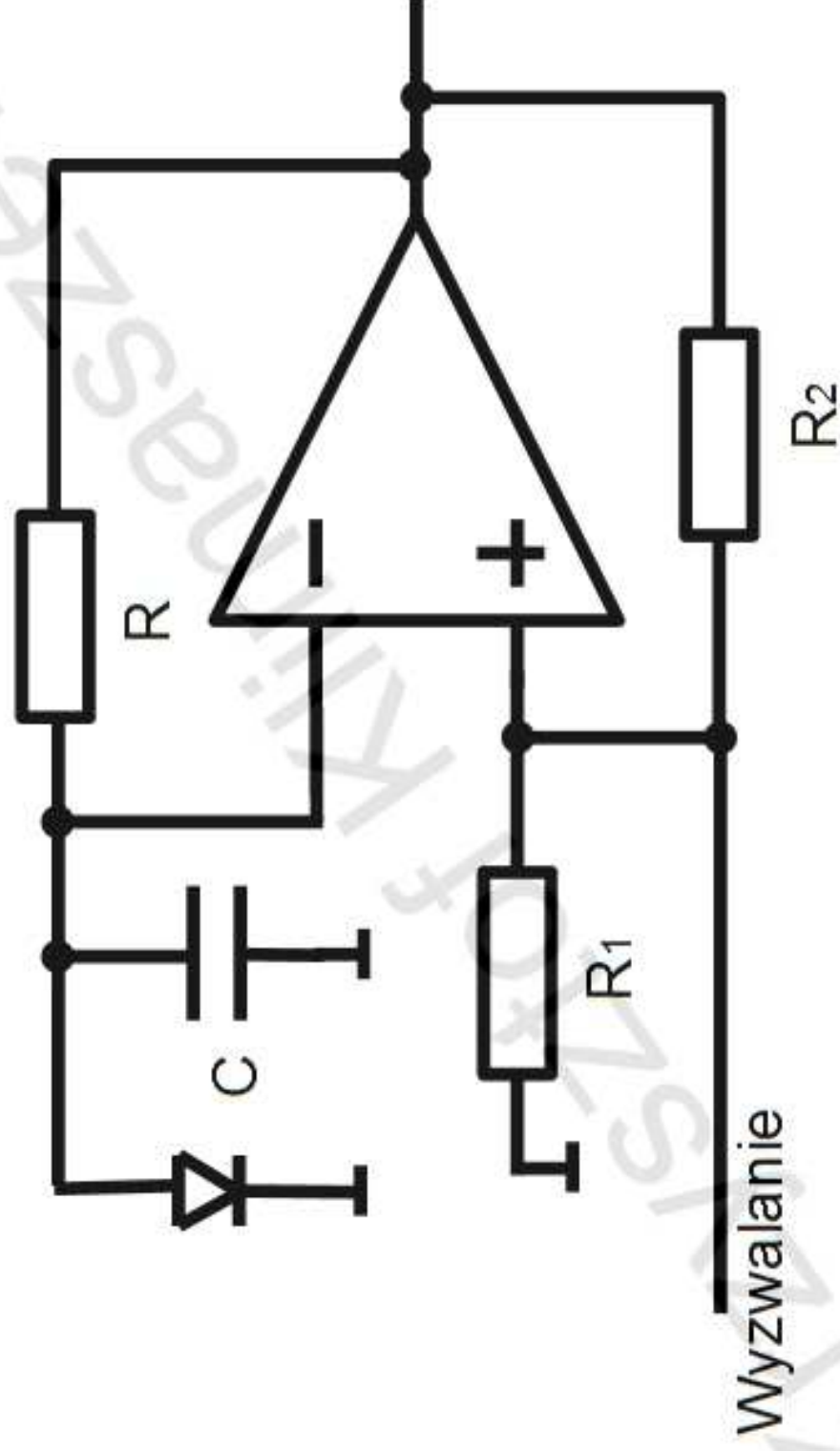
$$\frac{-T}{2RC} = \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$T = -2RC \ln \left( 1 - \frac{V_{p^-} - V_{p^+}}{V_- - V_{p^+}} \right)$$

$$\frac{V_- - V_{p^-}}{V_- - V_{p^+}} = \frac{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

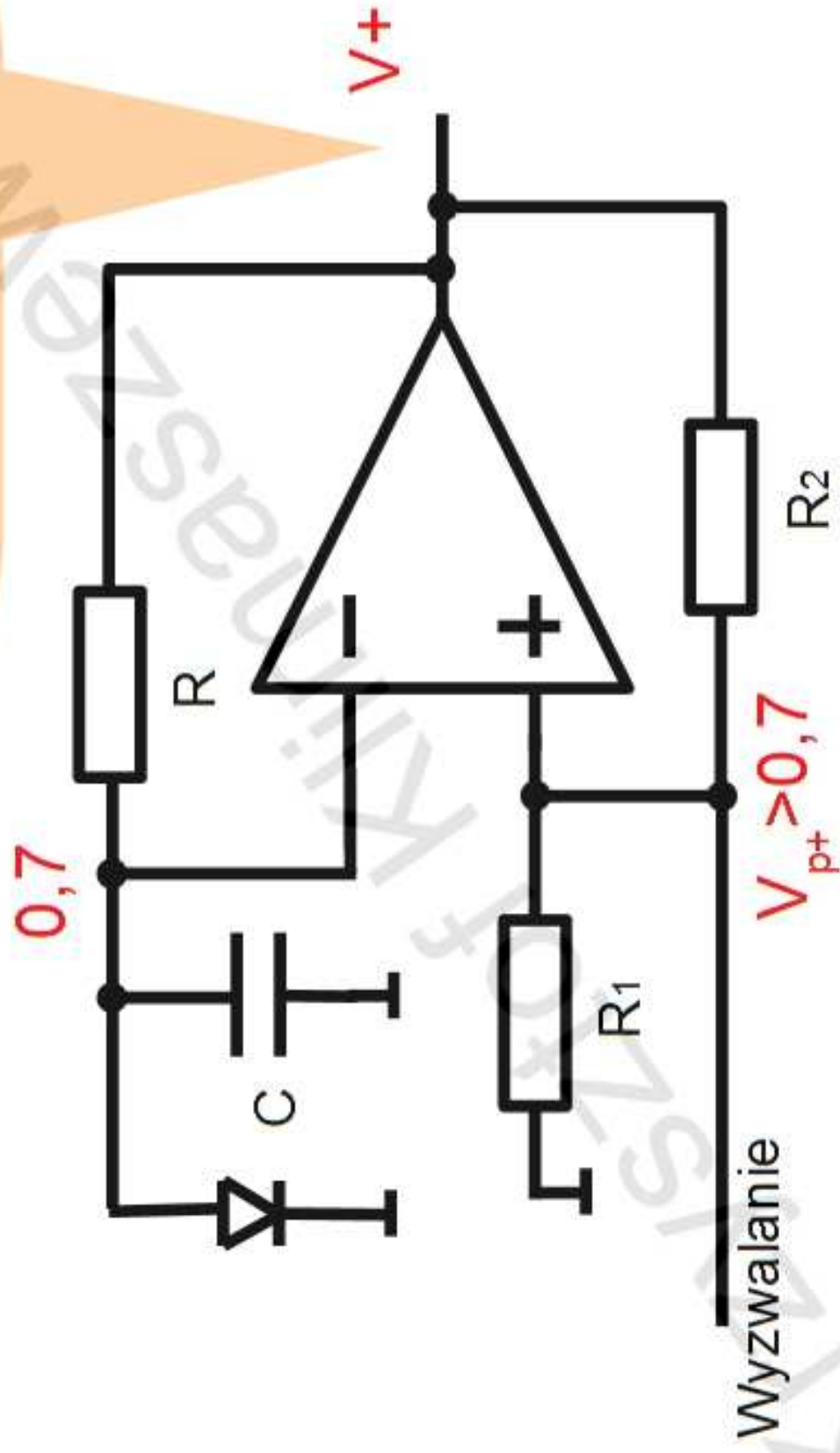
$$T = -2RC \ln \left( \frac{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \right) = 2RC \ln \left( \frac{2R_1 + R_2}{R_2} \right)$$

# Multiwibrator monostabilny



# Multiwibrator mc

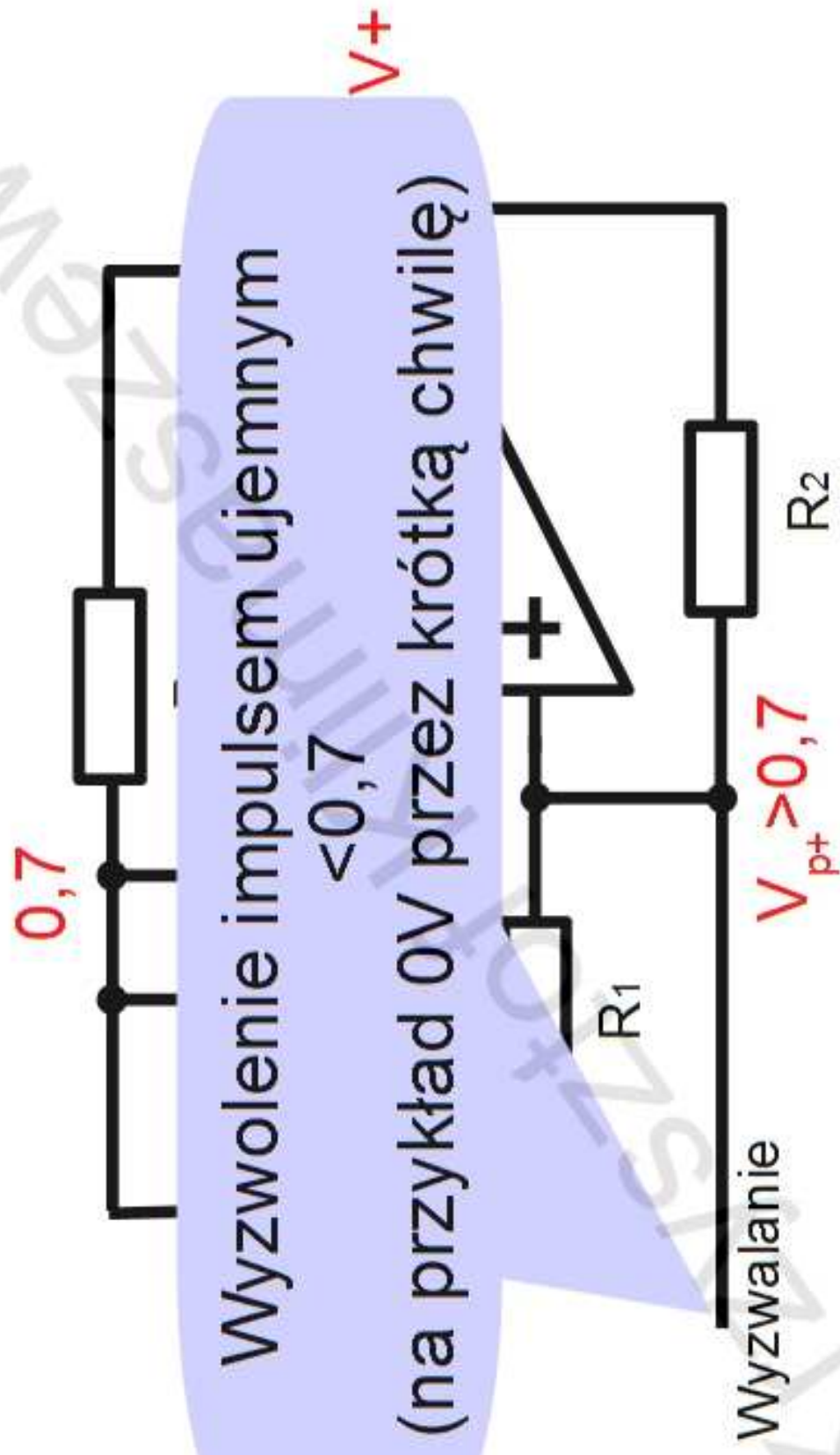
Stan stabilny



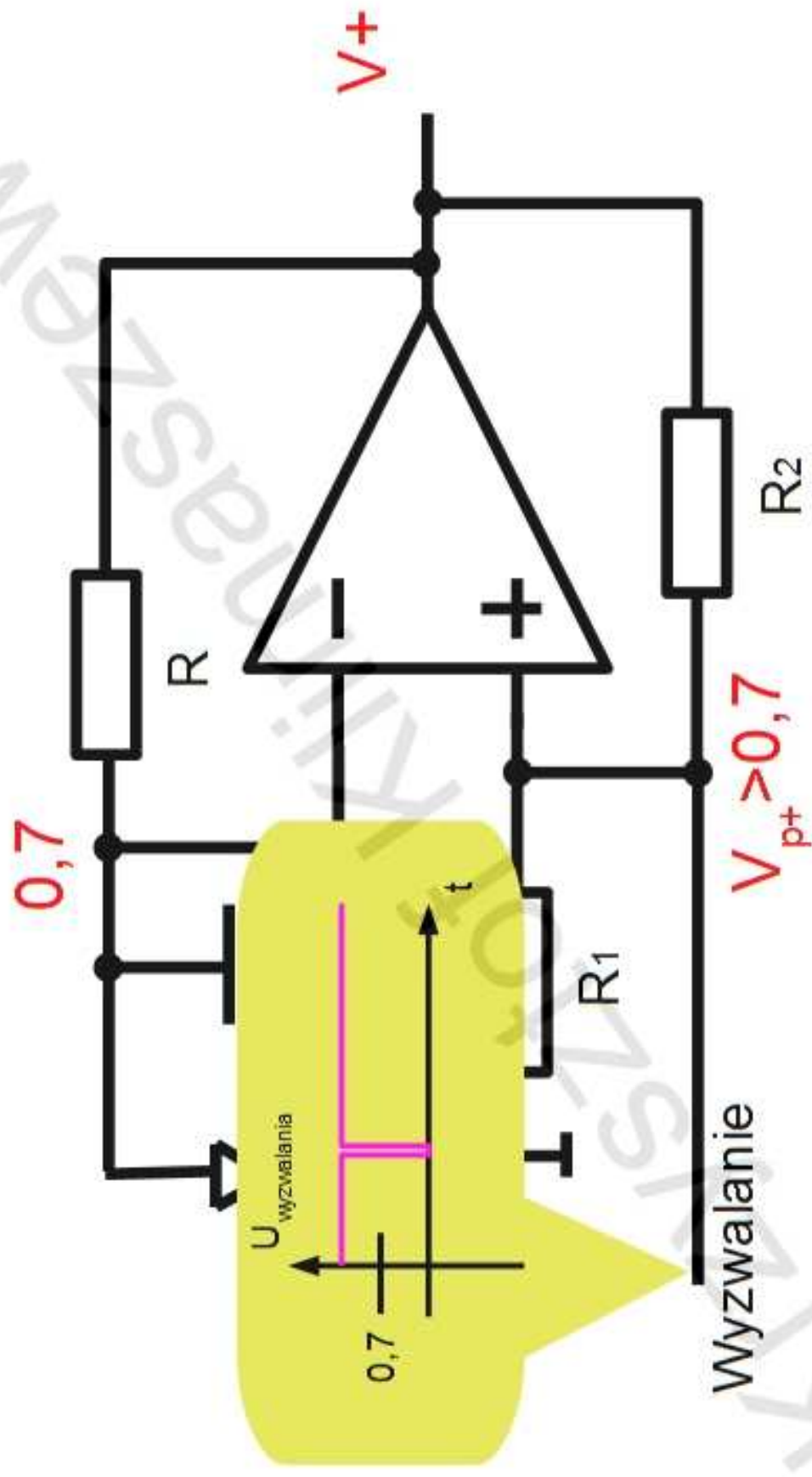
Wyzwalanie

$$V_{pt} > 0,7$$

# Multiwibrator monostabilny

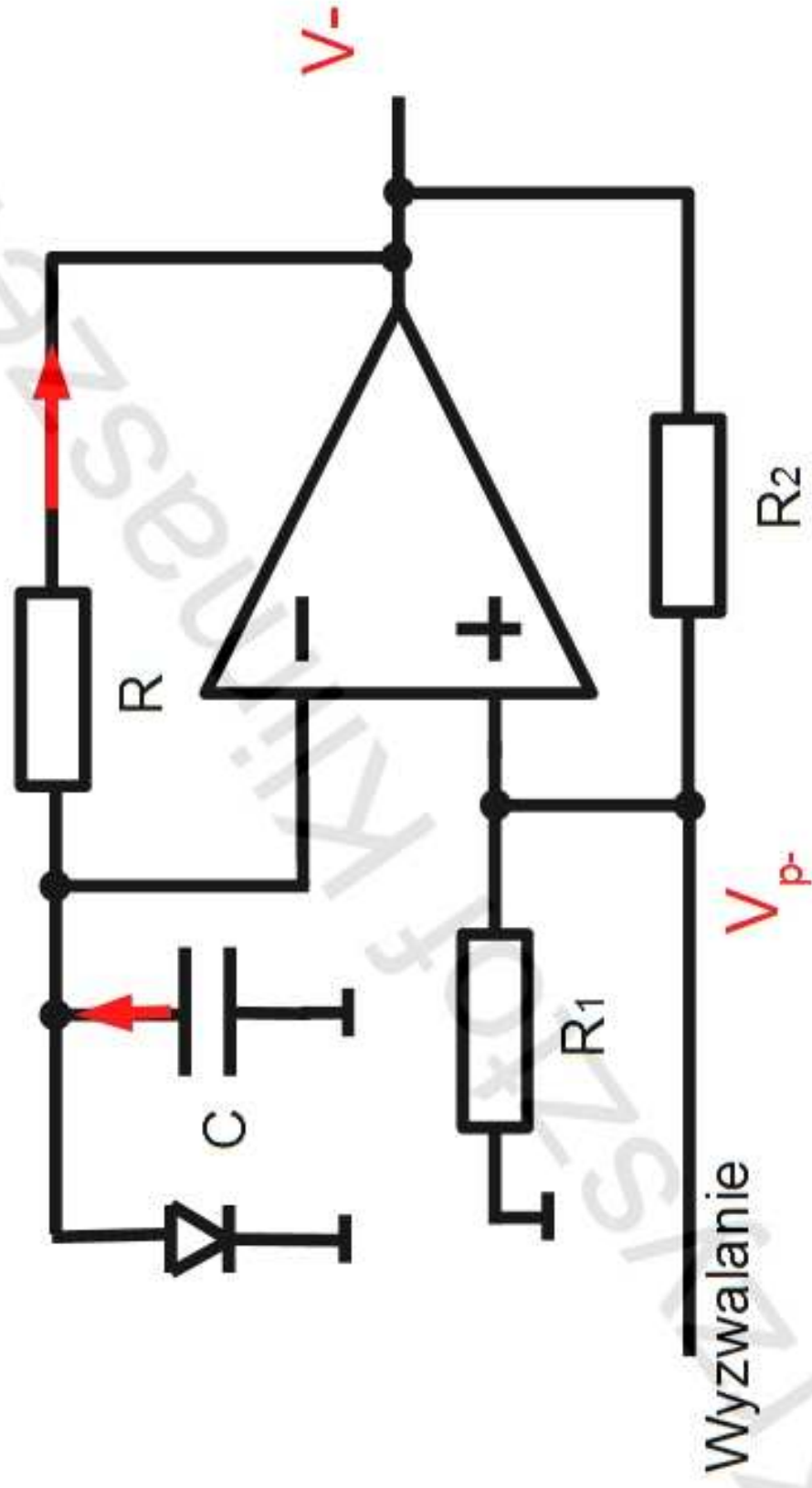


# Multiwibrator monostabilny

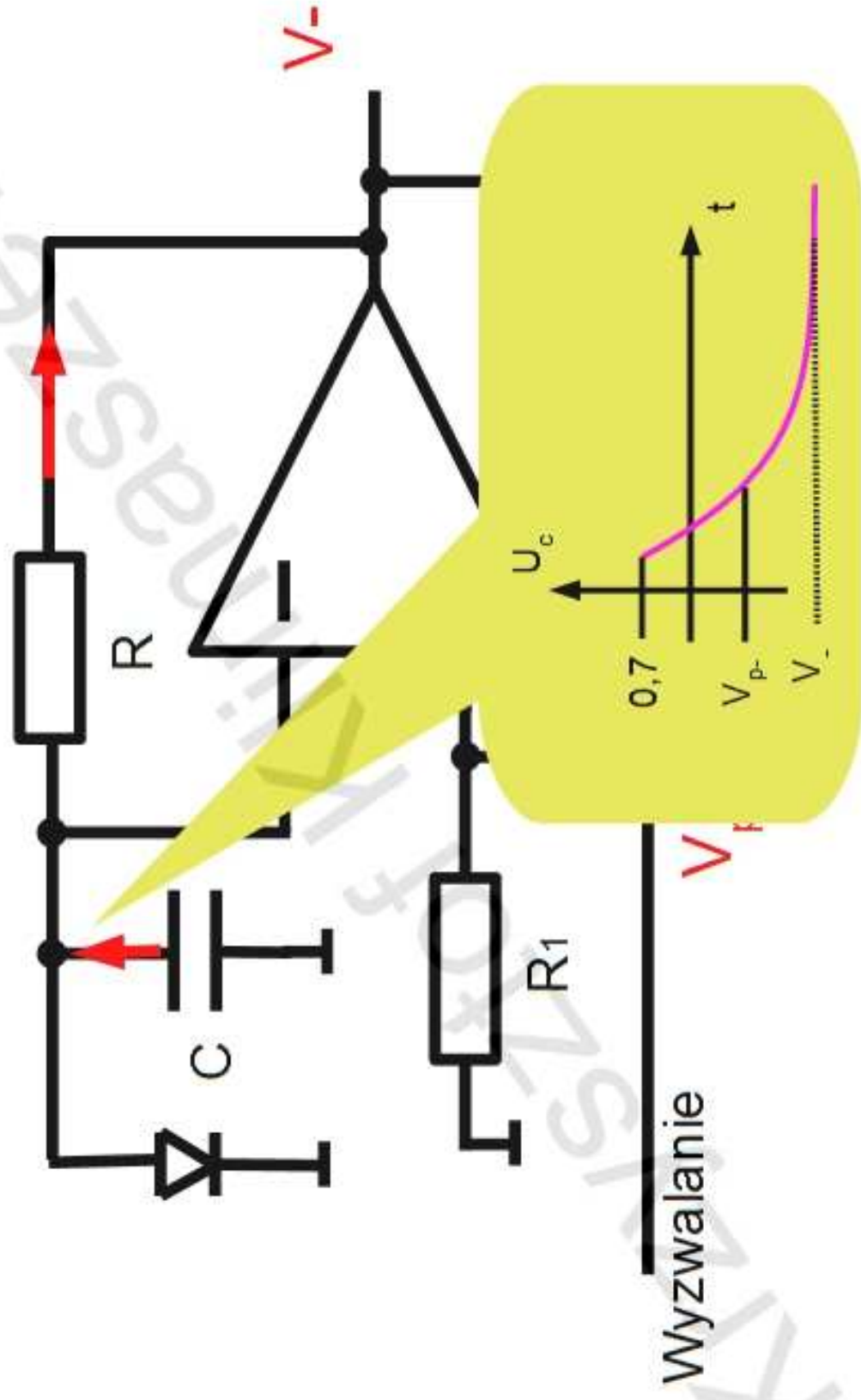




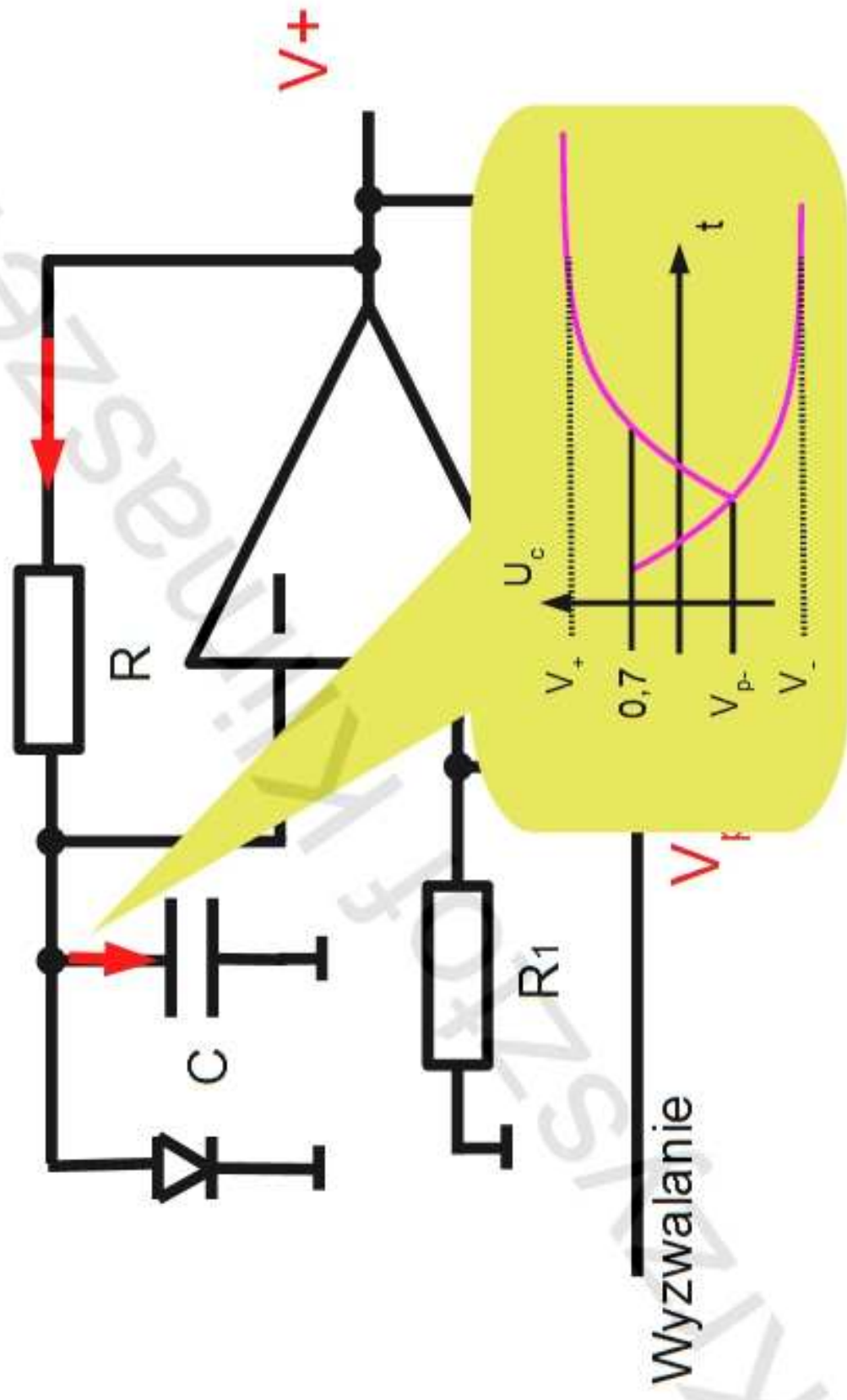
# Multiwibrator monostabilny



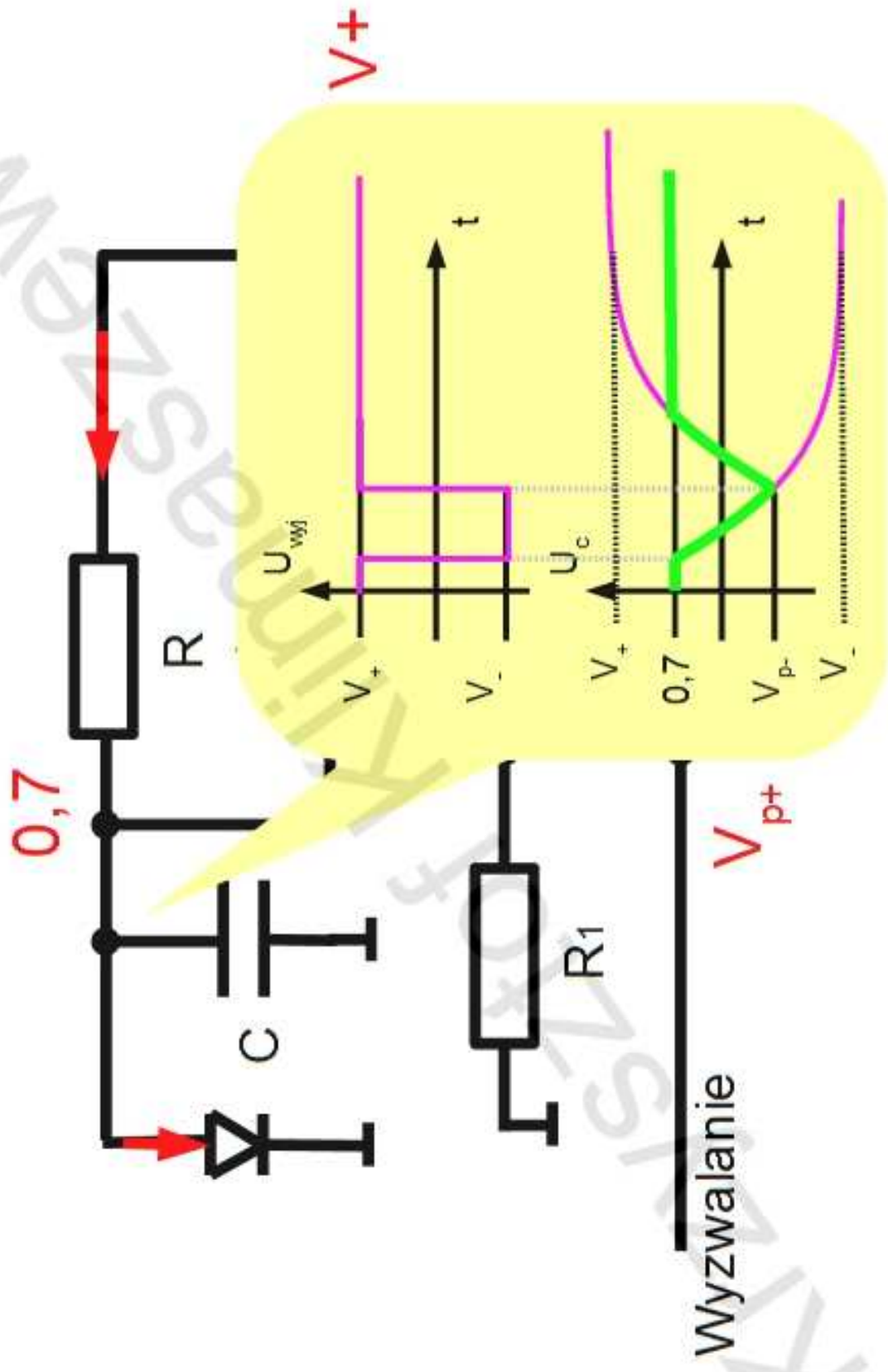
# Multiwibrator monostabilny



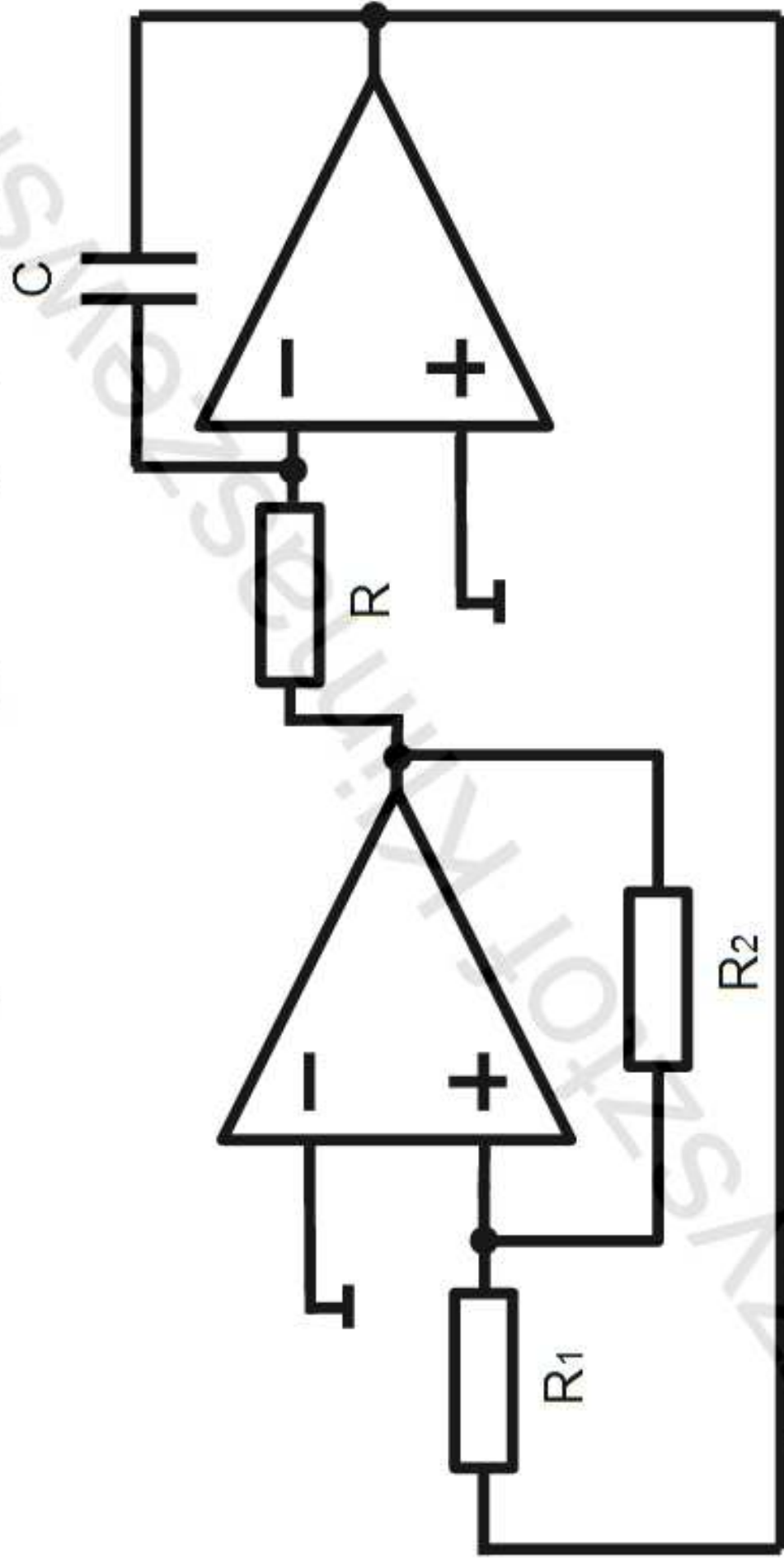
# Multiwibrator monostabilny



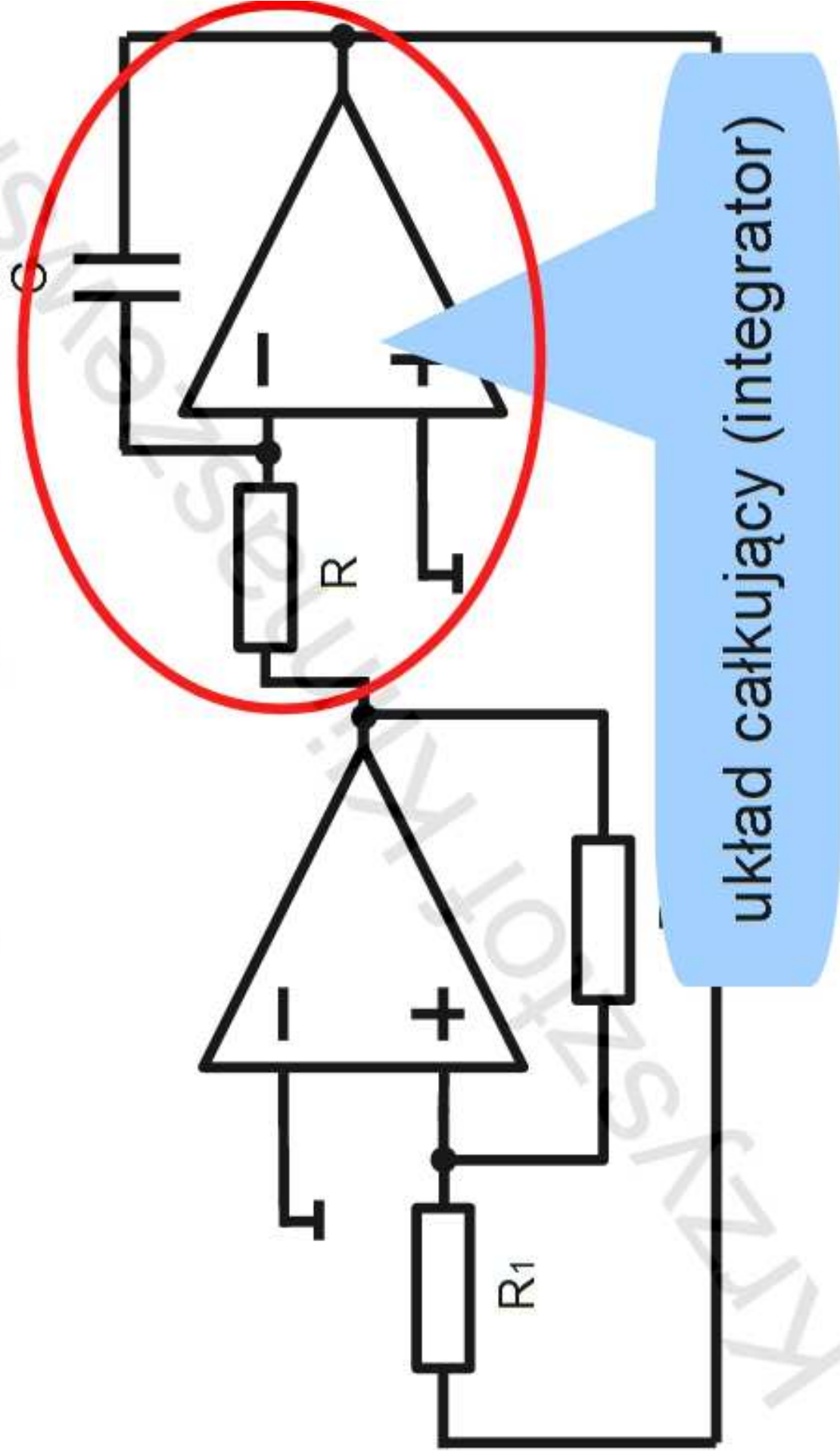
# Multiwibrator monostabilny



# Generator przebiegu trójkątnego



# Generator przebiegu trójkątnego

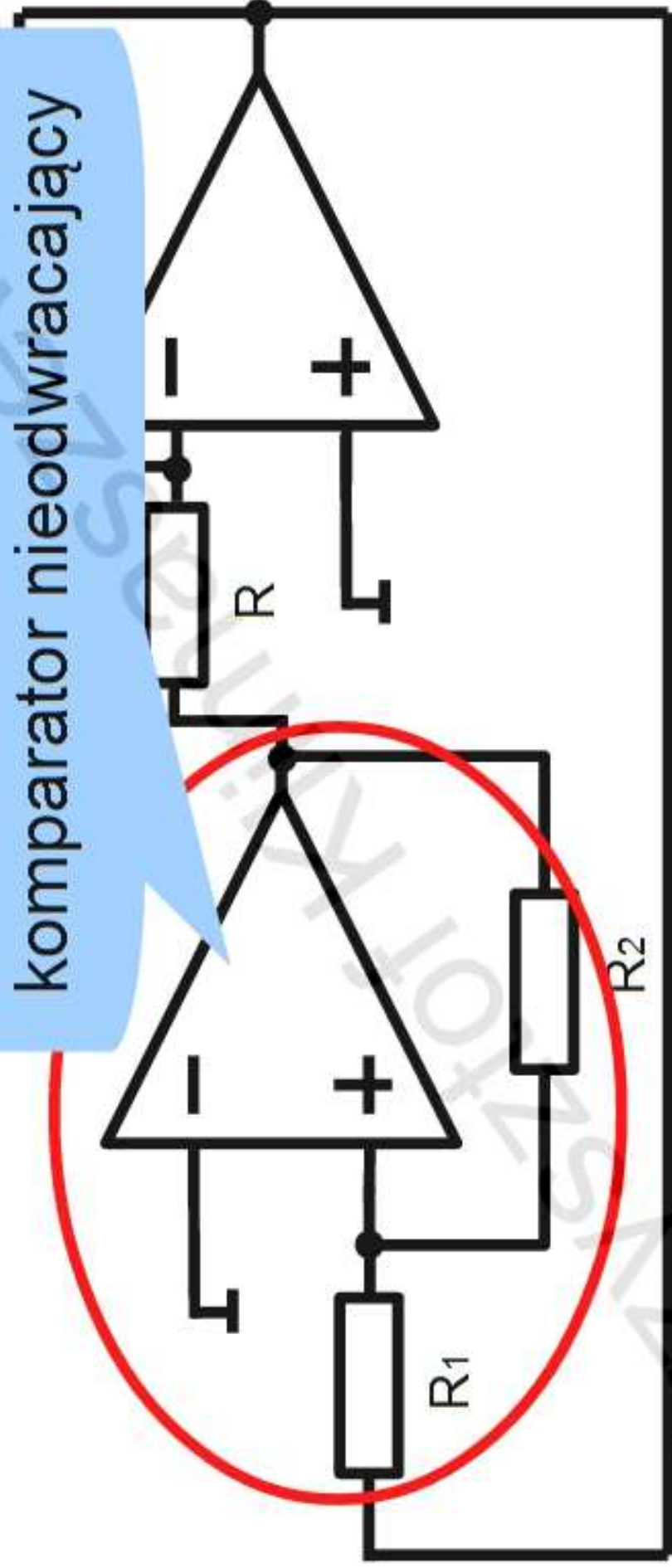




# Generator przebiegu trójkątnego

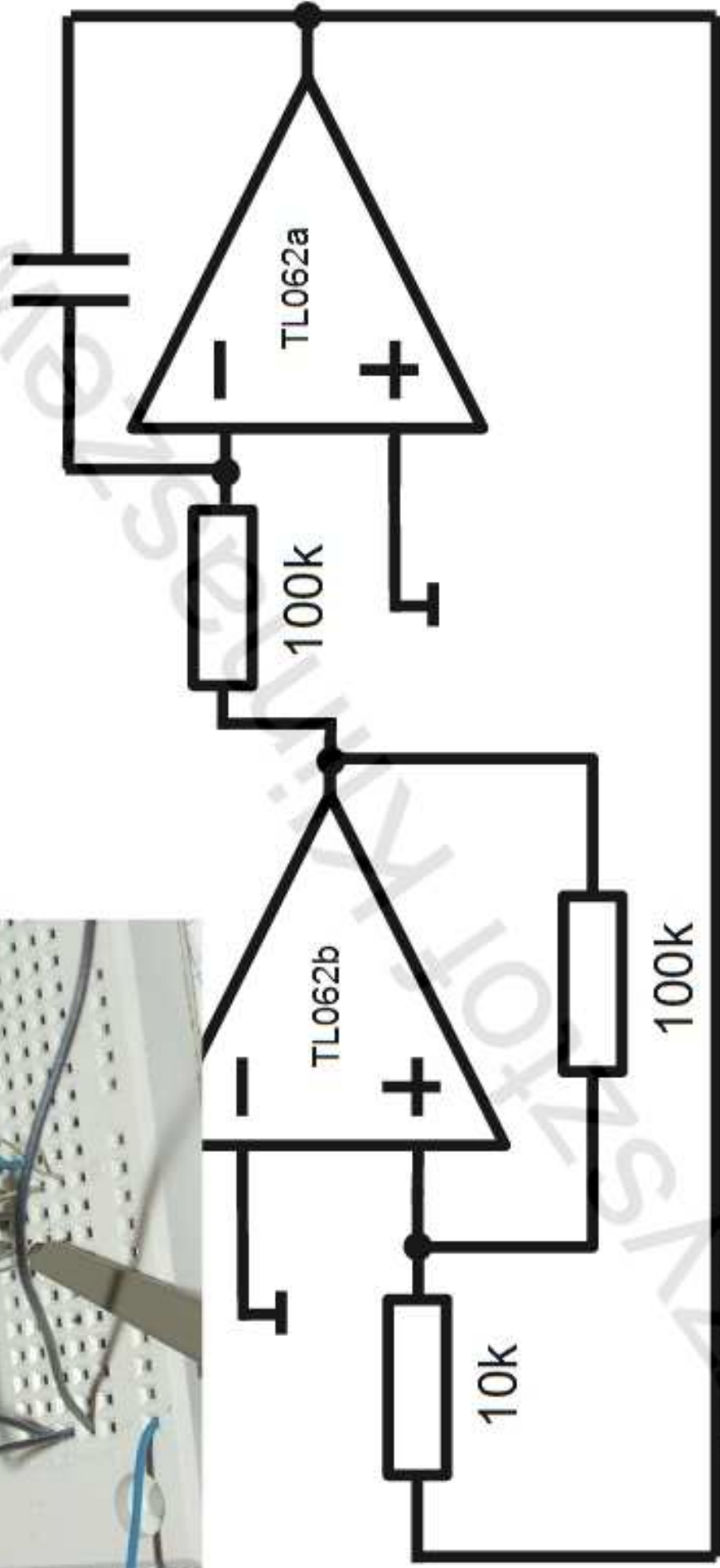
C

komparator nieodwracający



# zbiegu trójkątne

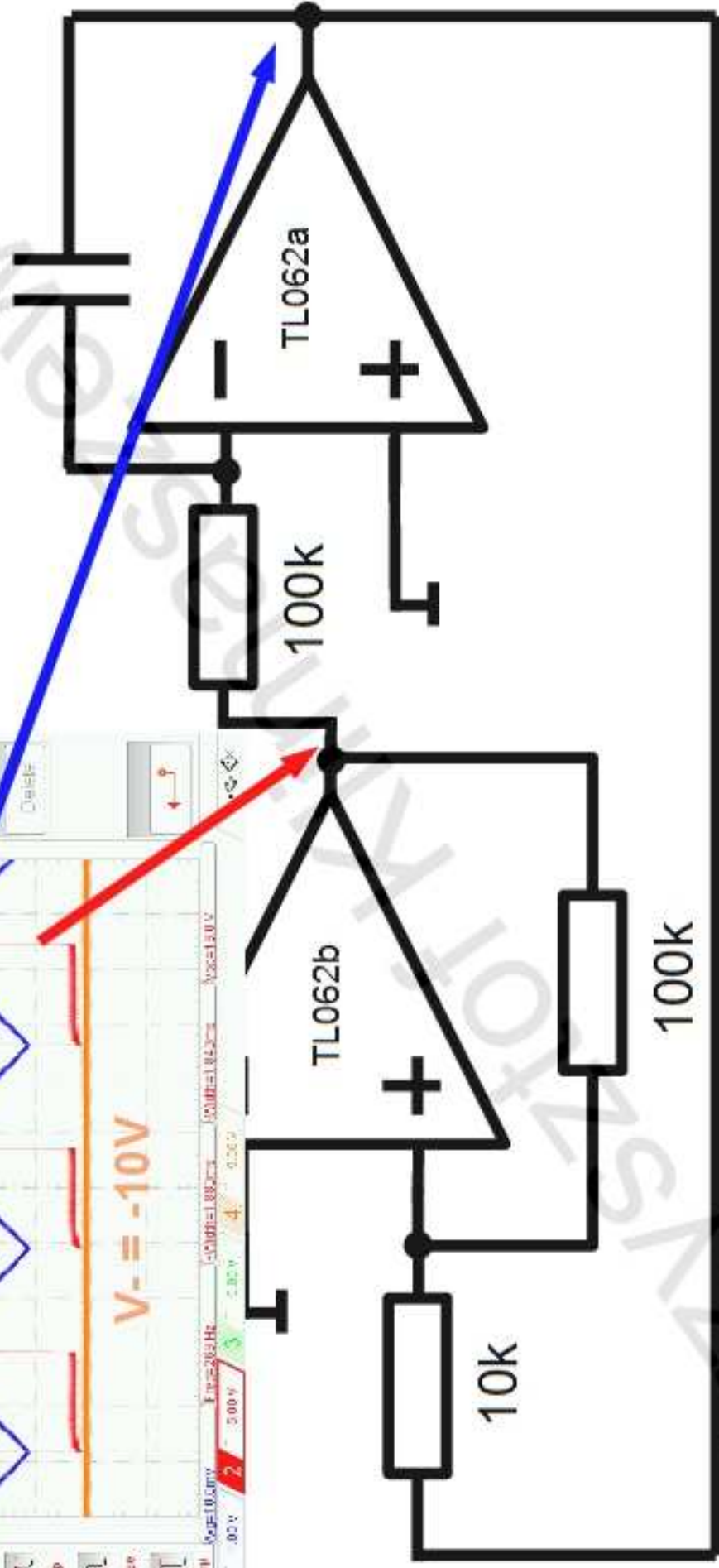
100n



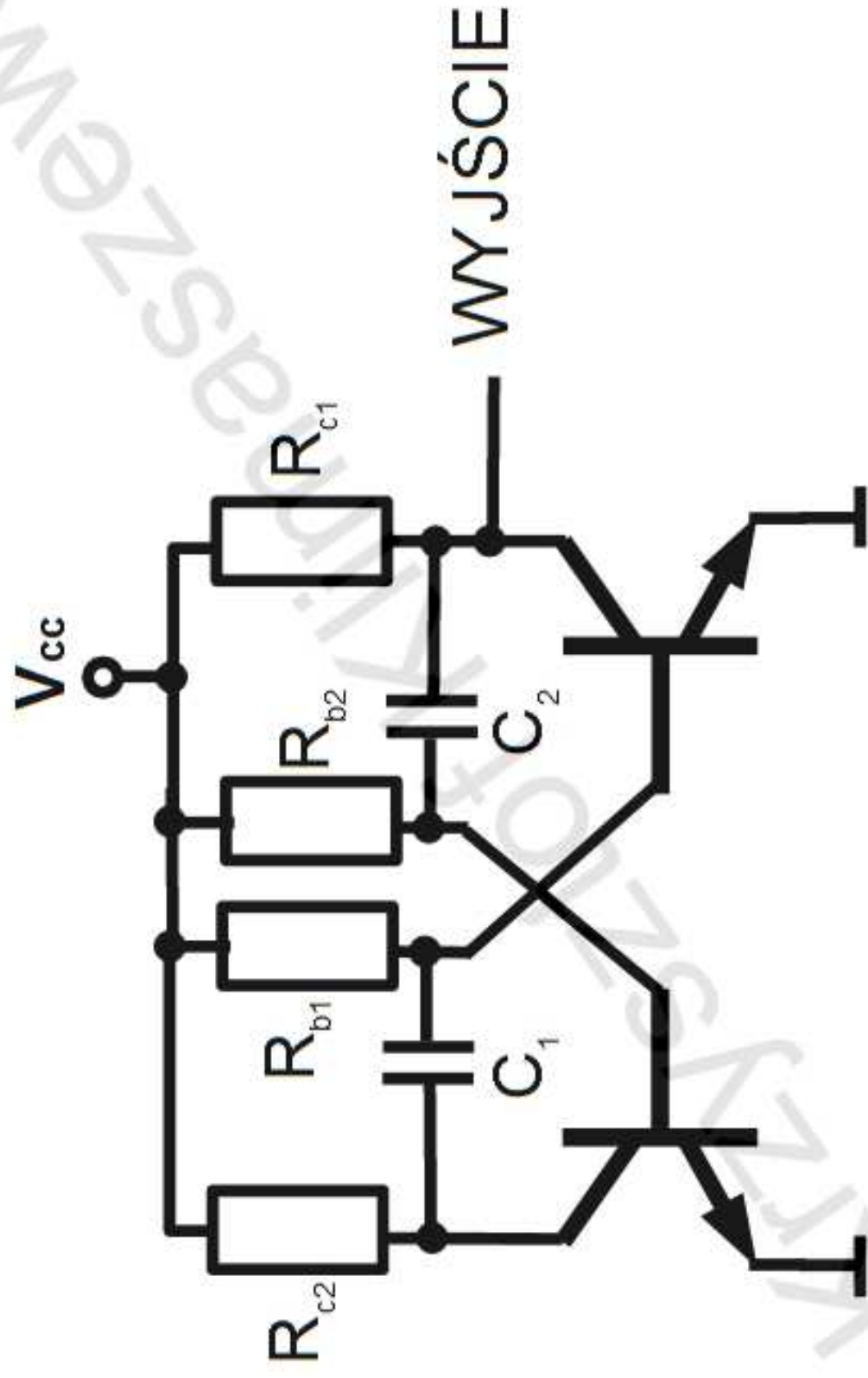


igu trójkątnego

100n

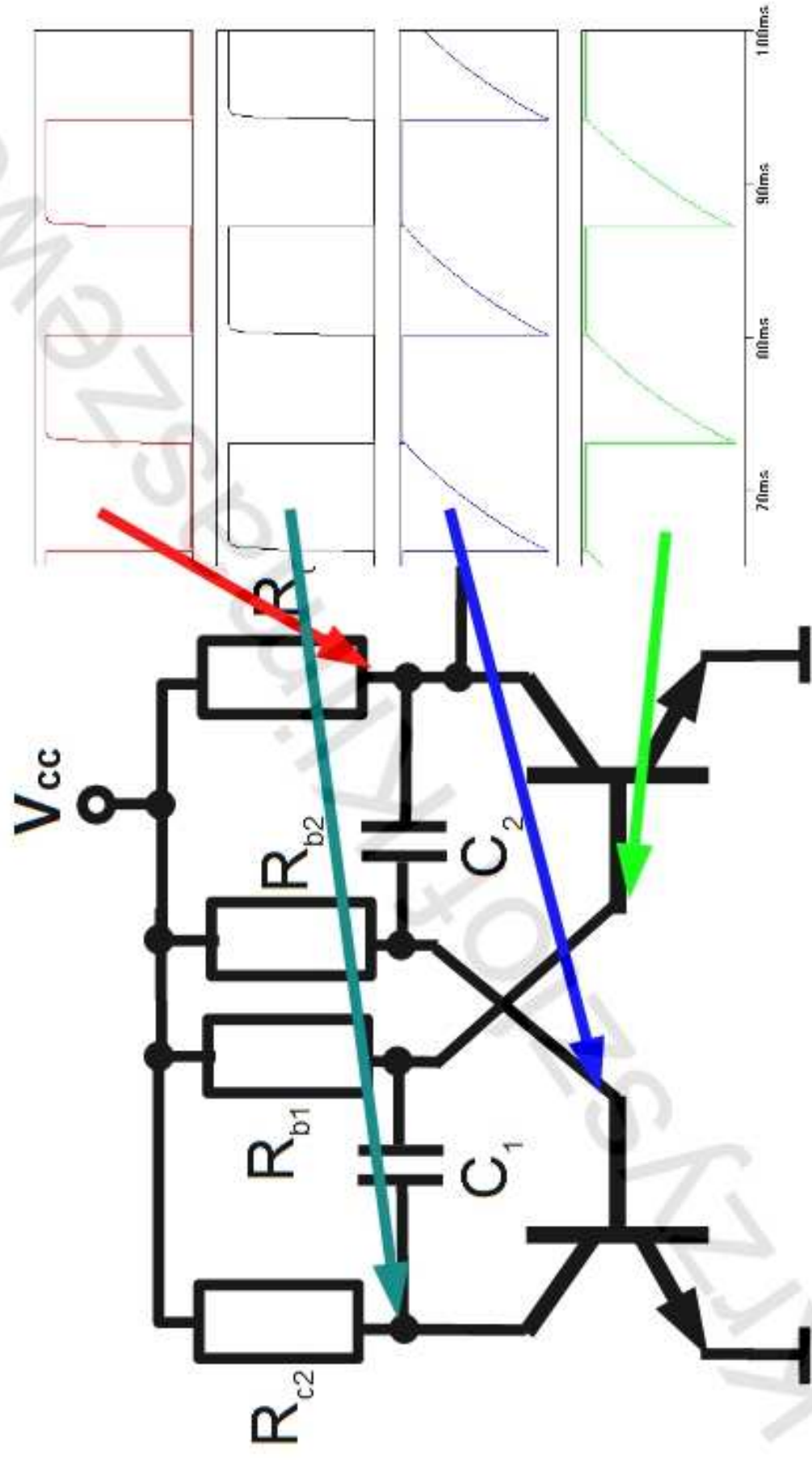


# Układ astabilny z tranzystorami





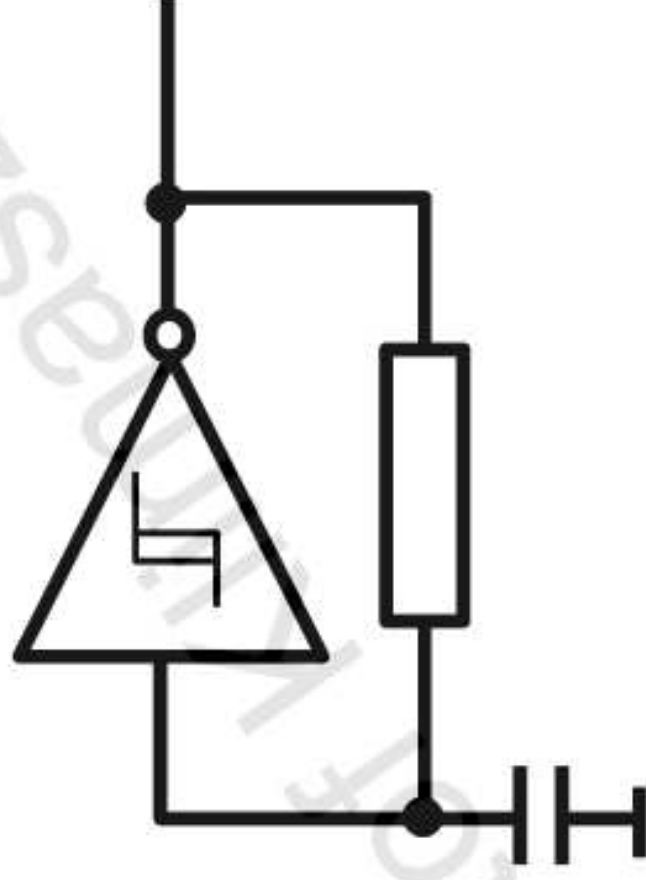
# Układ astabilny z tranzystorami





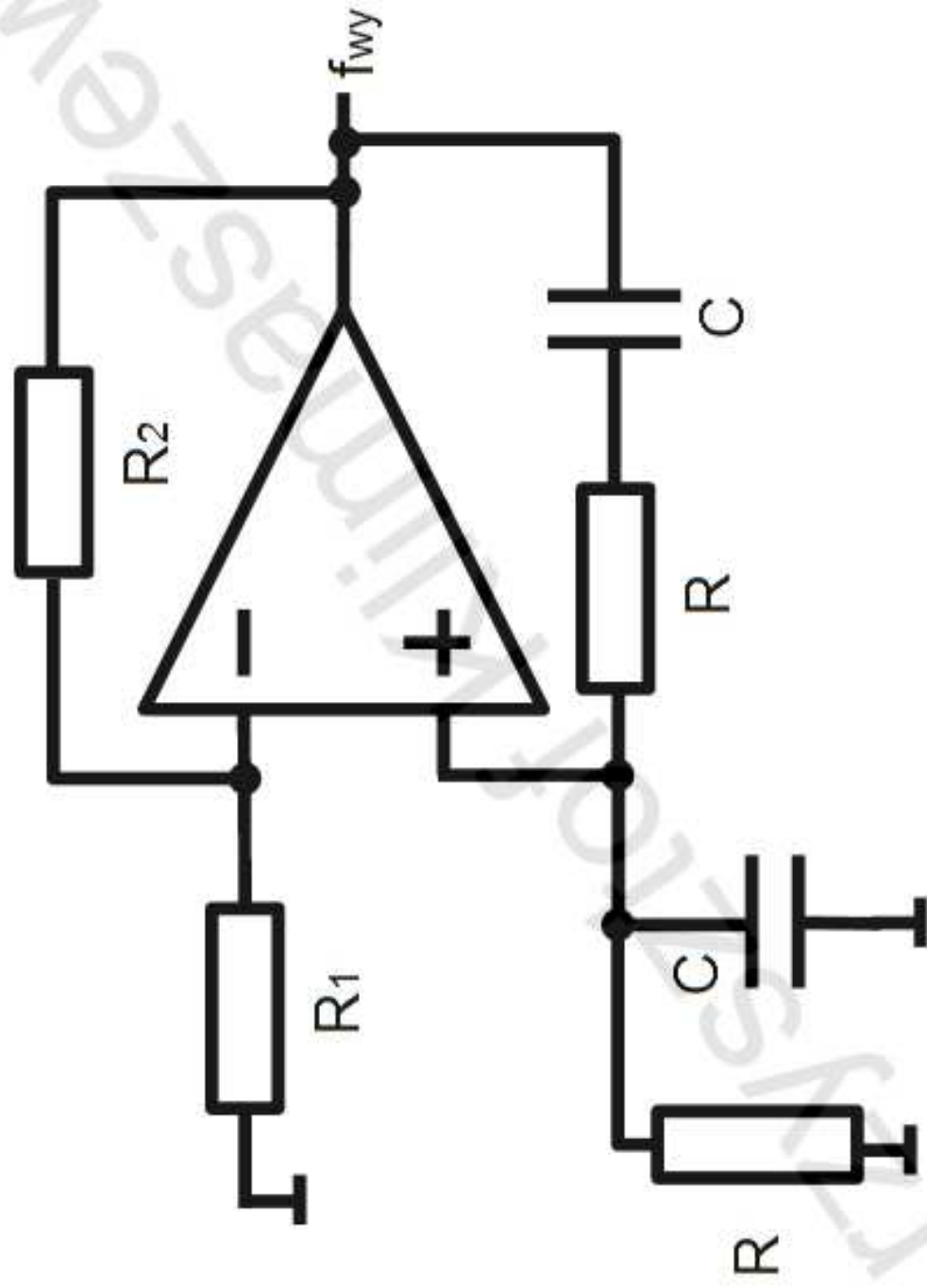
# (Chyba) najprostszy generator

74xx14 (np. 74HC14)

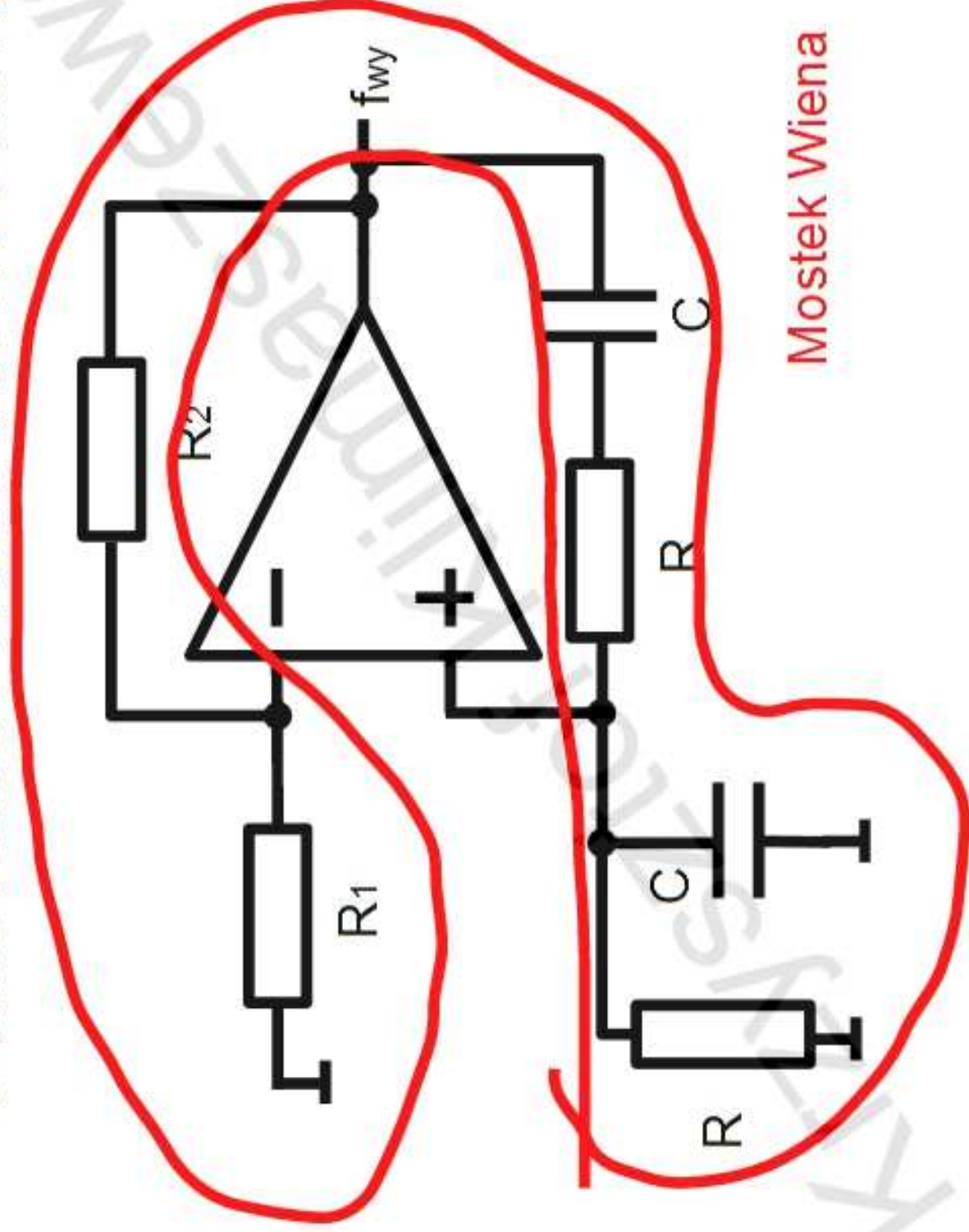


podobne, a nawet lepsze:  
CD4093  
74xx132

# Generator z mostkiem Wienia

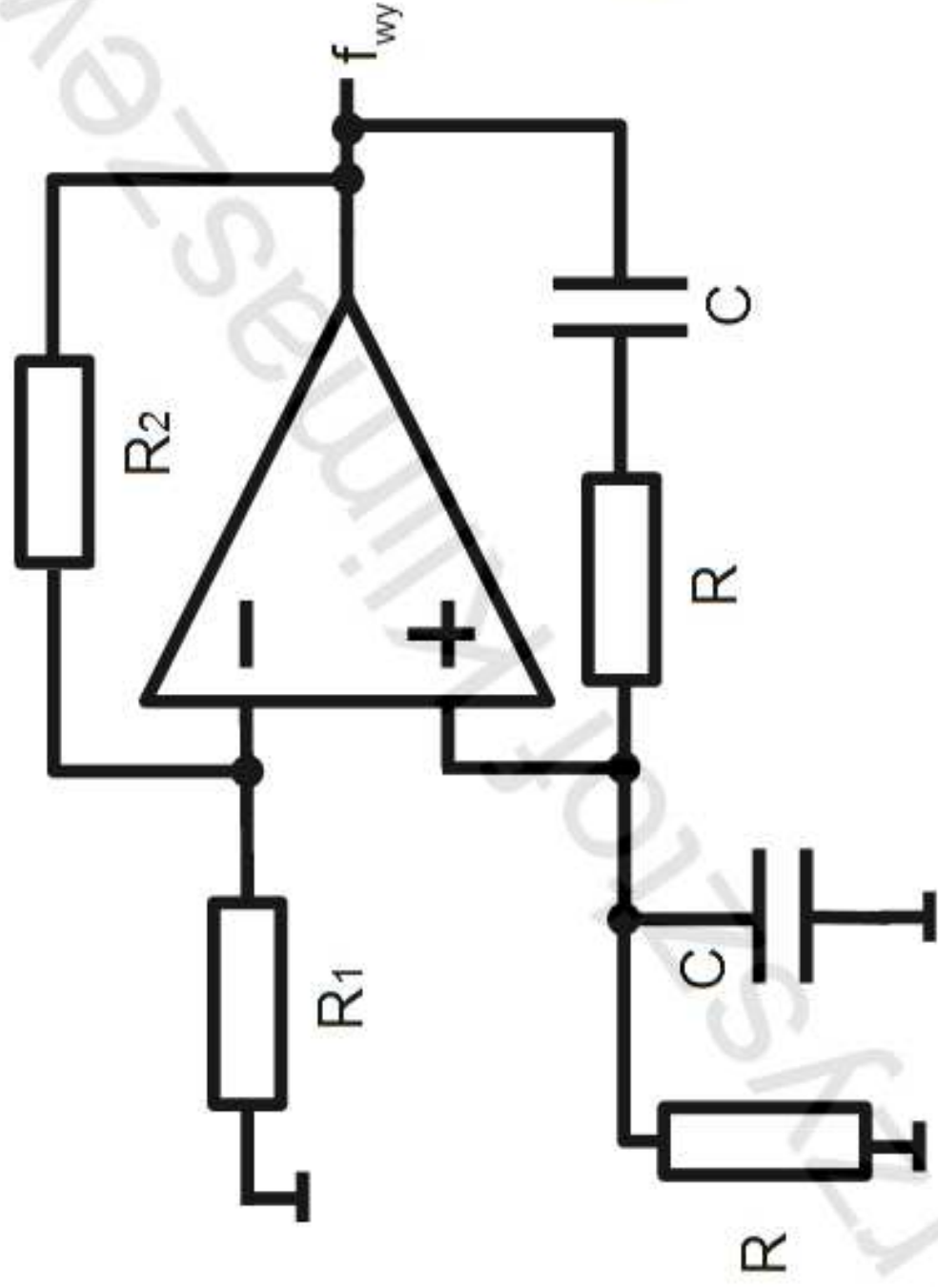


# Generator z mostkiem Wienera



Mostek Wienera

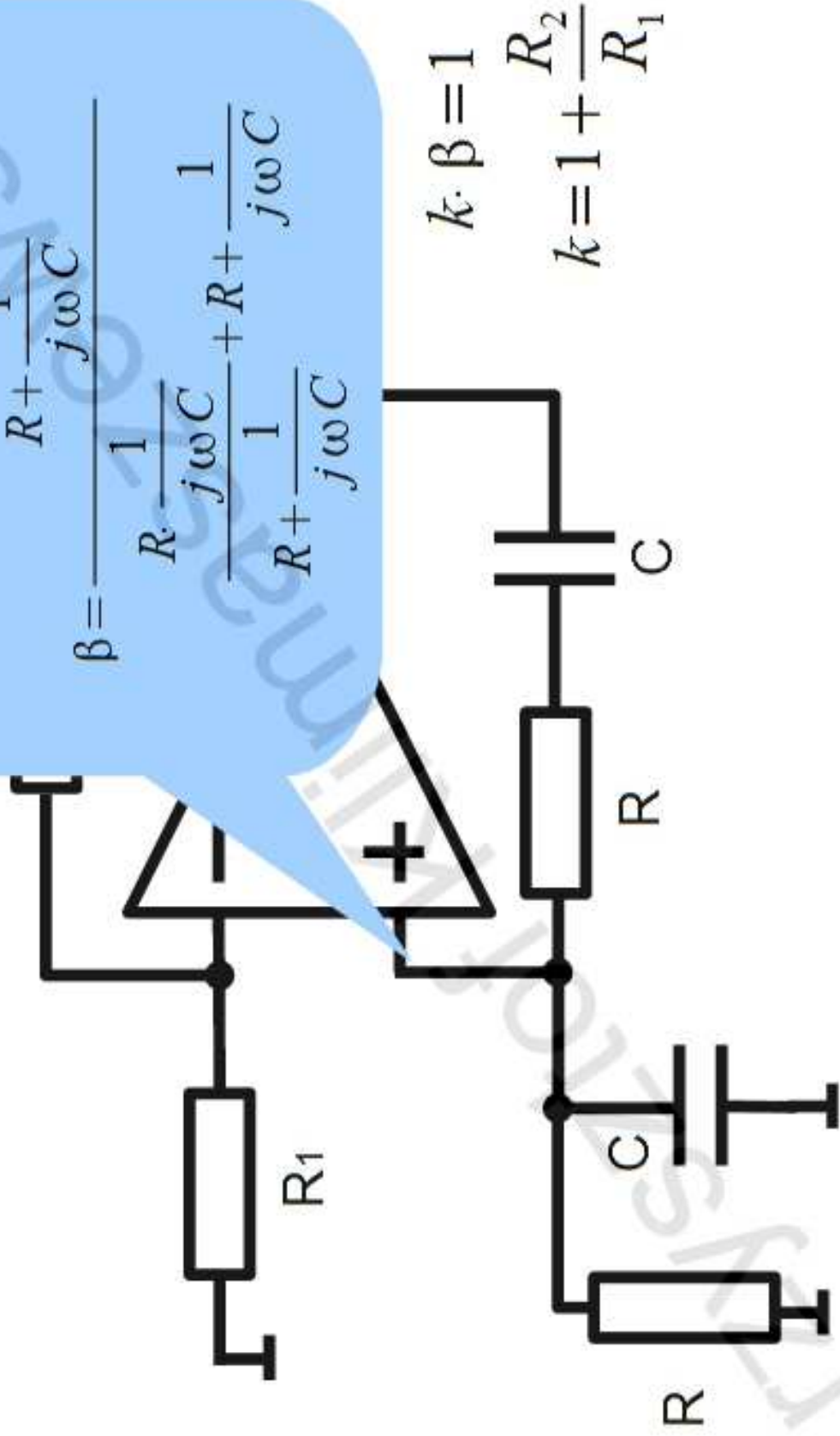
# Generator z mostkiem Wienera



$$k \cdot \beta = 1$$

$$k = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

# Generator z m

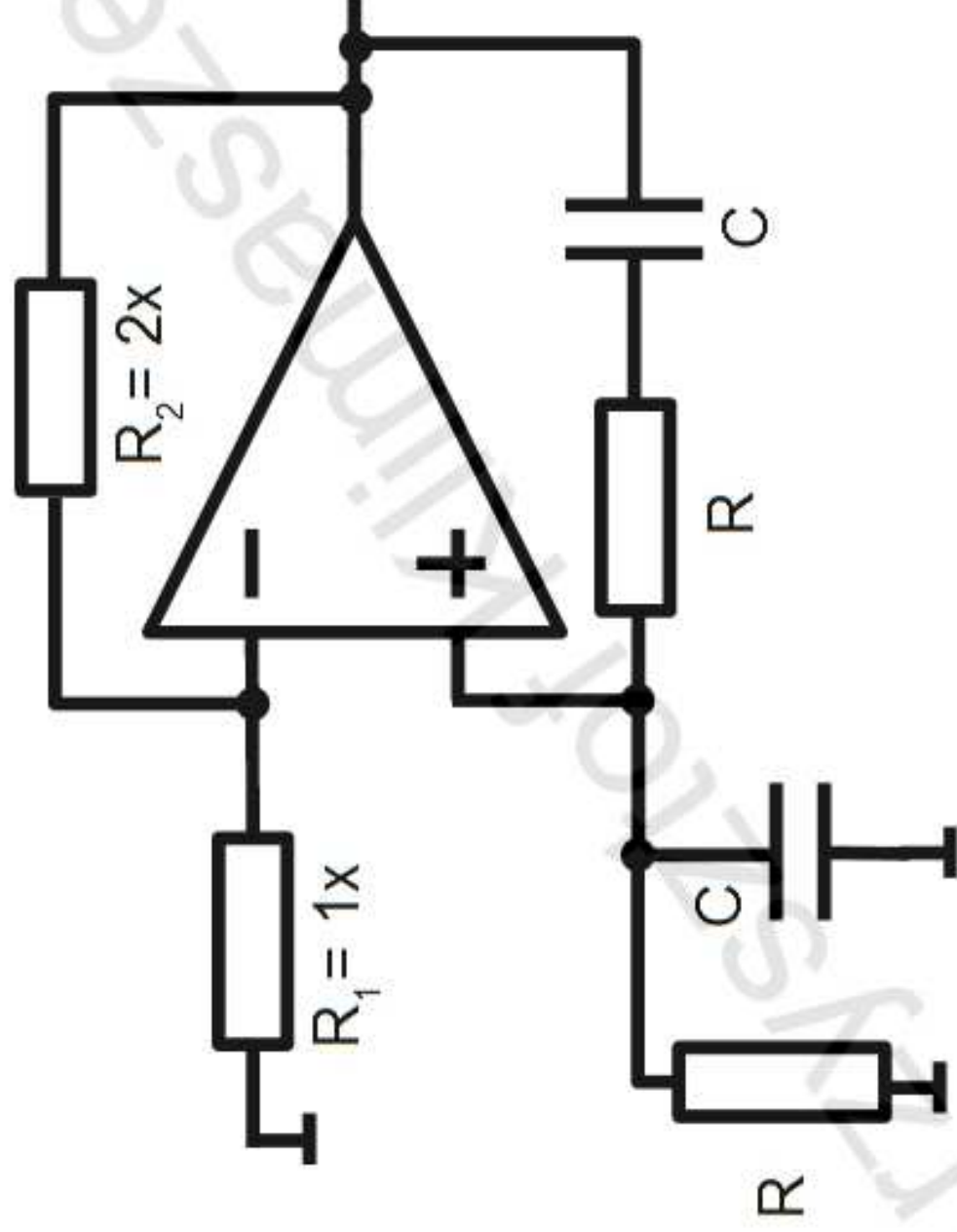


$$\beta = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \cdot \frac{1}{R \cdot \frac{1}{j\omega C} + R + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$k \cdot \beta = 1$$
$$k = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



# Generator z mostkiem Wienera



# Generator z mostkiem Wienera



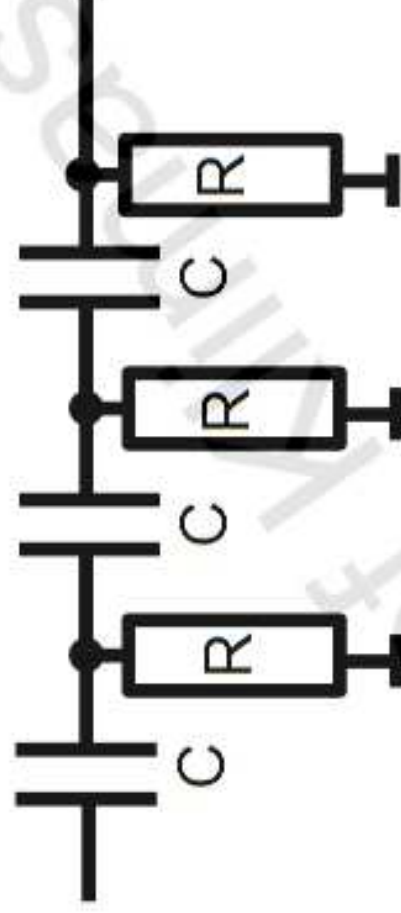
$$f_{wv} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Aby uruchomić oscylacje, potrzeba wzmacnienia większego niż 3, ale stabilne drgania wymagają wzmacnienia równego 3.

**UWAGA:**

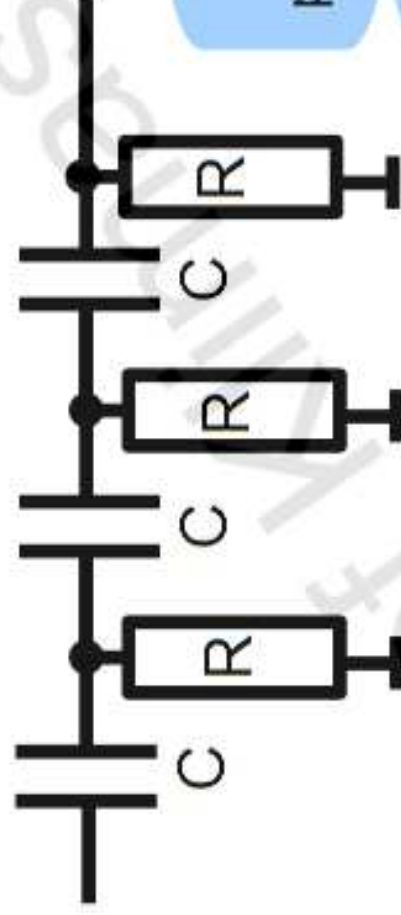
Wartości R i C nie są w rzeczywistym układzie identyczne  
(bo **R i C nie są idealne**)

# Generator z przesuwnikiem fazowym



$$H(\omega) = \frac{1}{1 + \frac{6}{j\omega RC} + \frac{5}{(j\omega RC)^2} + \frac{1}{(j\omega RC)^3}}$$

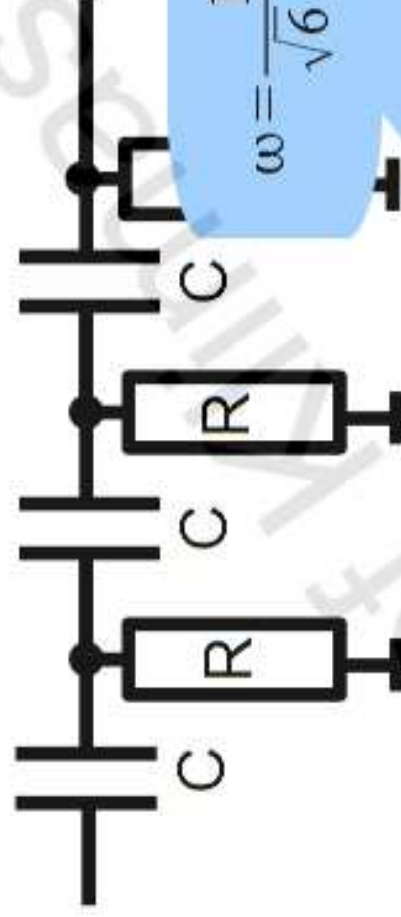
# Generator z przesuwnikiem fazowym



interesuje nas  
przesunięcie o  $180^\circ$

$$H(\omega) = \frac{1}{1 + \frac{6}{j\omega RC} + \frac{5}{(j\omega RC)^2} + \frac{1}{(j\omega RC)^3}}$$

# Generator z przesuwnikiem fazowym

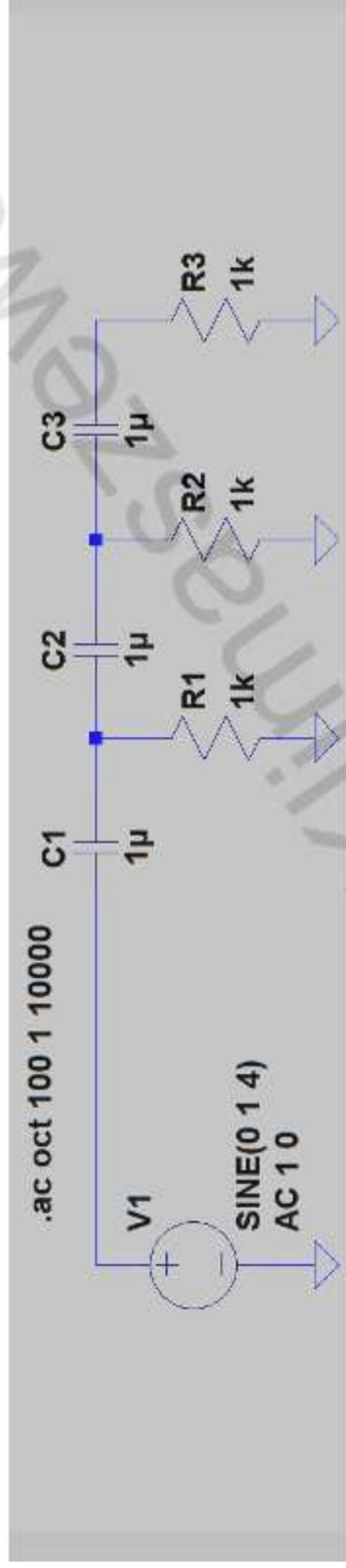


$$\omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC} \rightarrow H(\omega) = -\frac{1}{29}$$

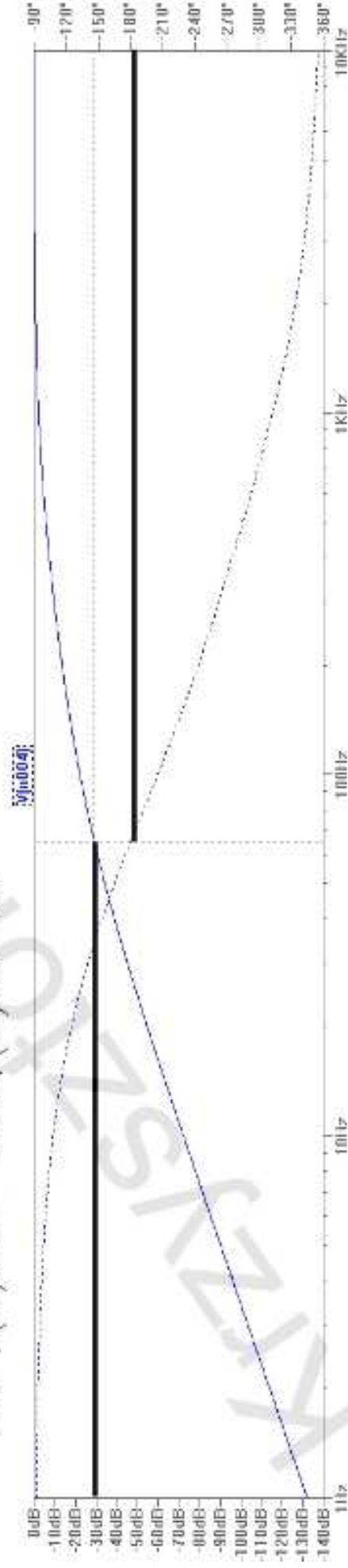
$$H(\omega) = \frac{1}{1 + \frac{6}{j\omega RC} + \frac{5}{(j\omega RC)^2} + \frac{1}{(j\omega RC)^3}}$$



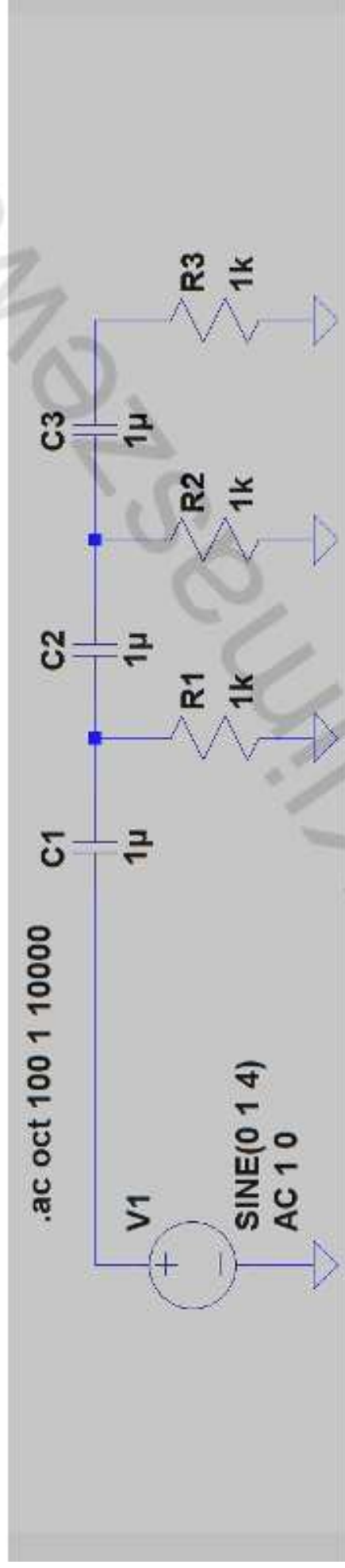
# Generator z przesuwnikiem fazowym



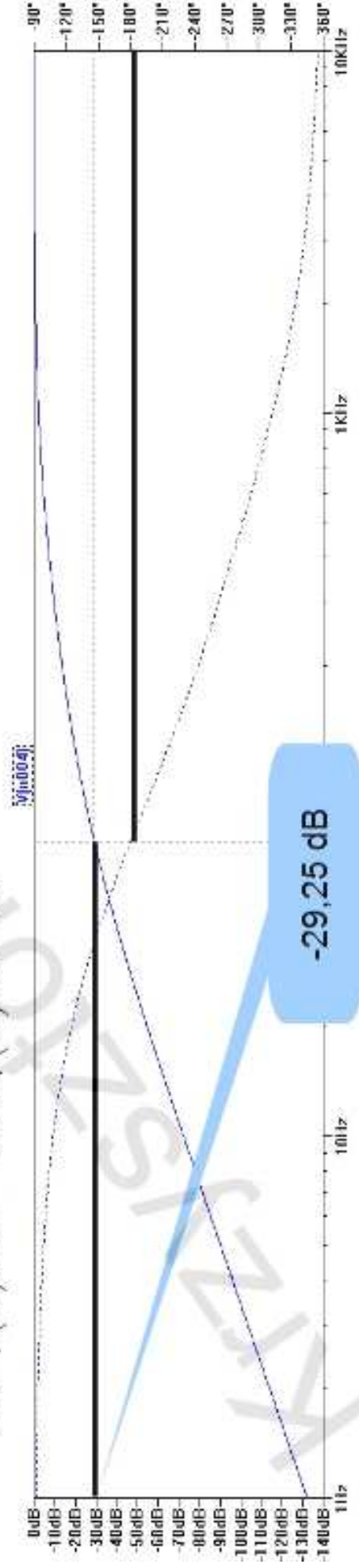
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(6)RC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(6)10^3 \cdot 10^{-6}}} = 64,975 \text{ Hz}$$



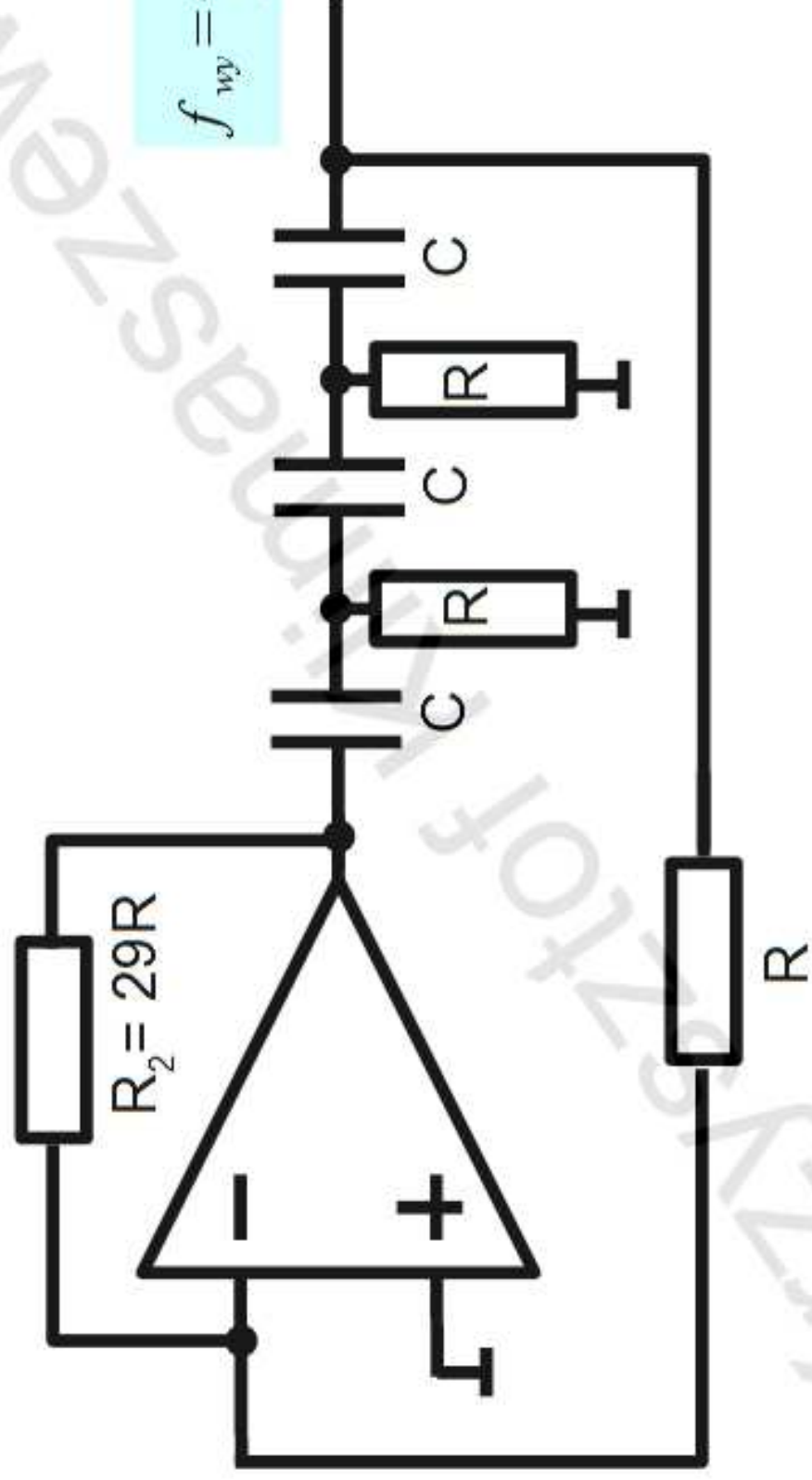
# Generator z przesuwnikiem fazowym



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(6)RC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(6)10^3 \cdot 10^{-6}}} = 64,975 \text{ Hz}$$



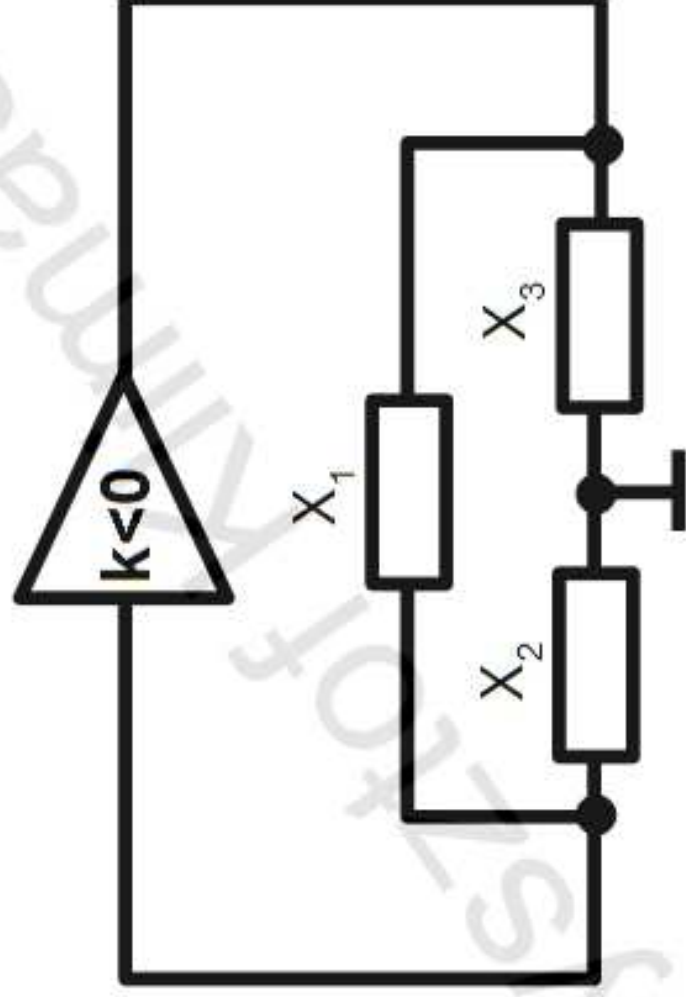
# Generator z przesuwnikiem fazowym



$$f_{wy} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

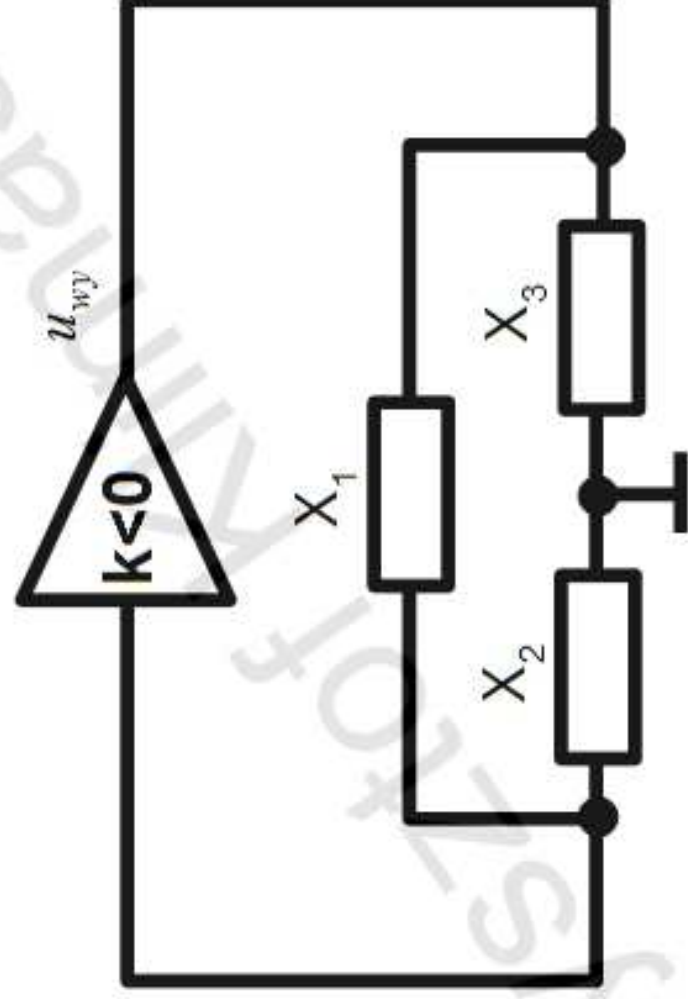
# Generatory LC - ogólnie

- ogólny układ generatora LC



# Generator LC - ogólnie

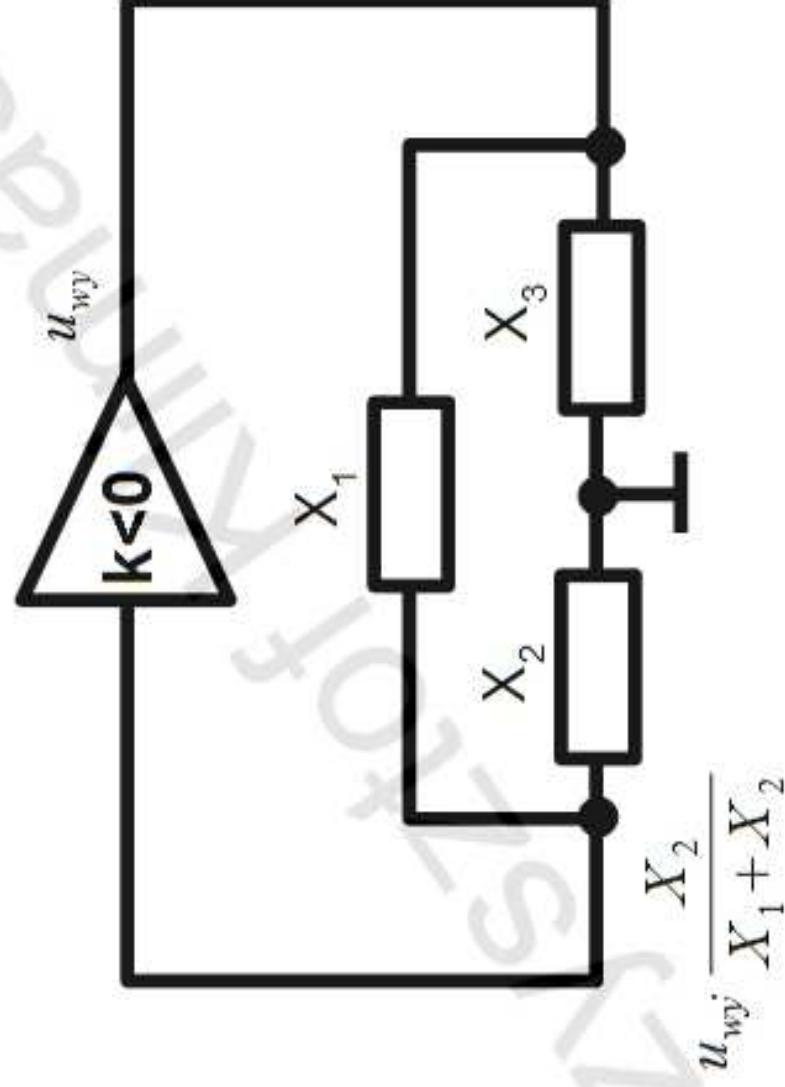
- ogólny układ generatora LC





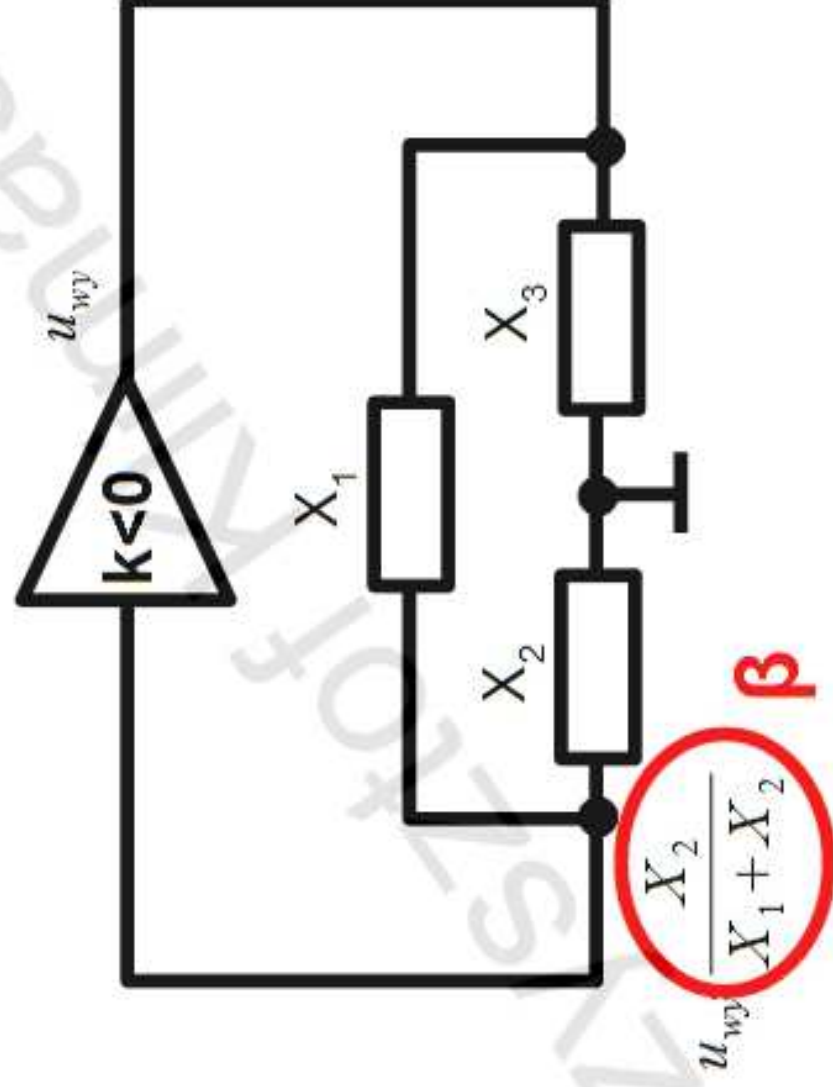
# Generator LC - ogólnie

- ogólny układ generatora LC



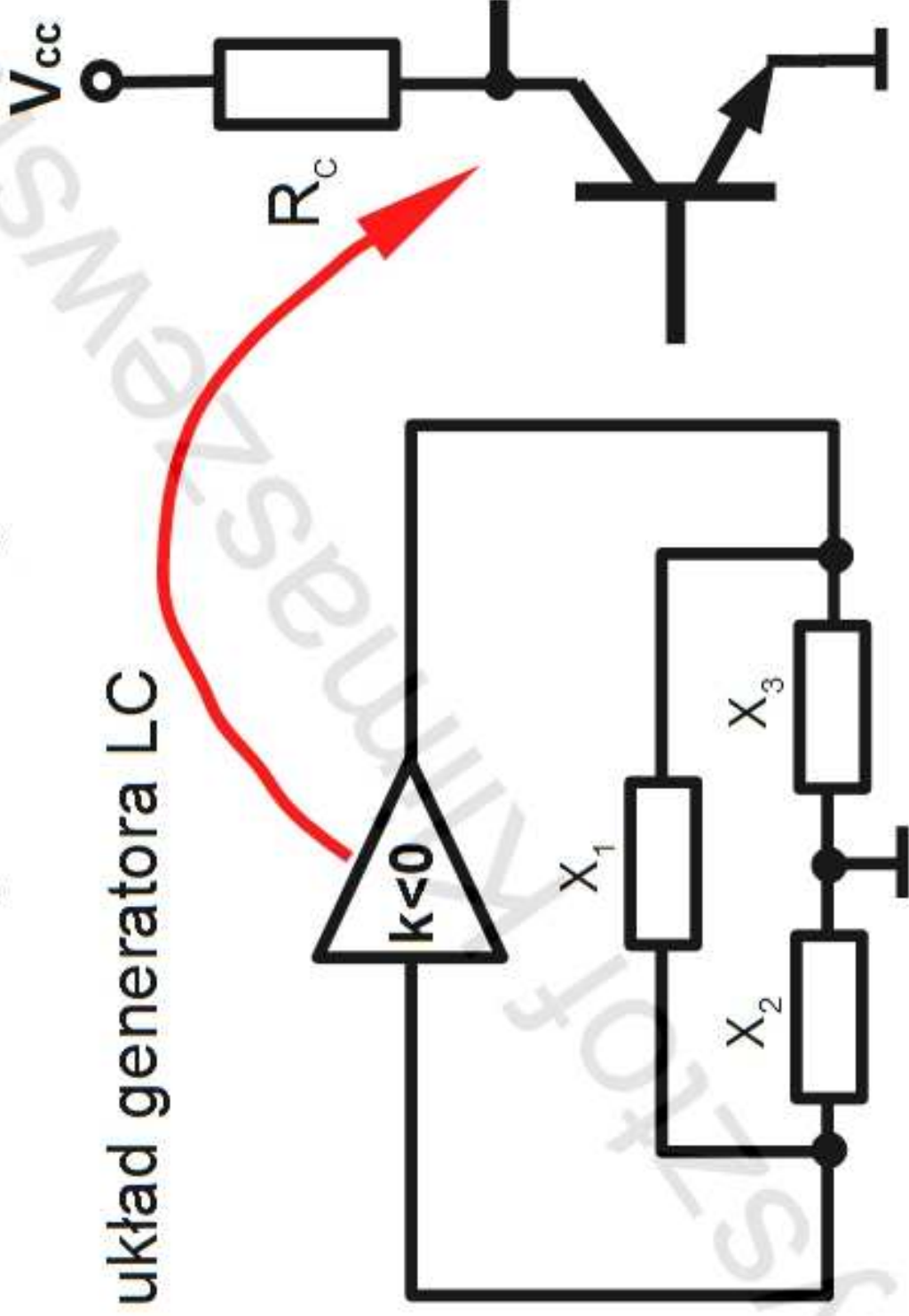
# Generator LC - ogólnie

- ogólny układ generatora LC



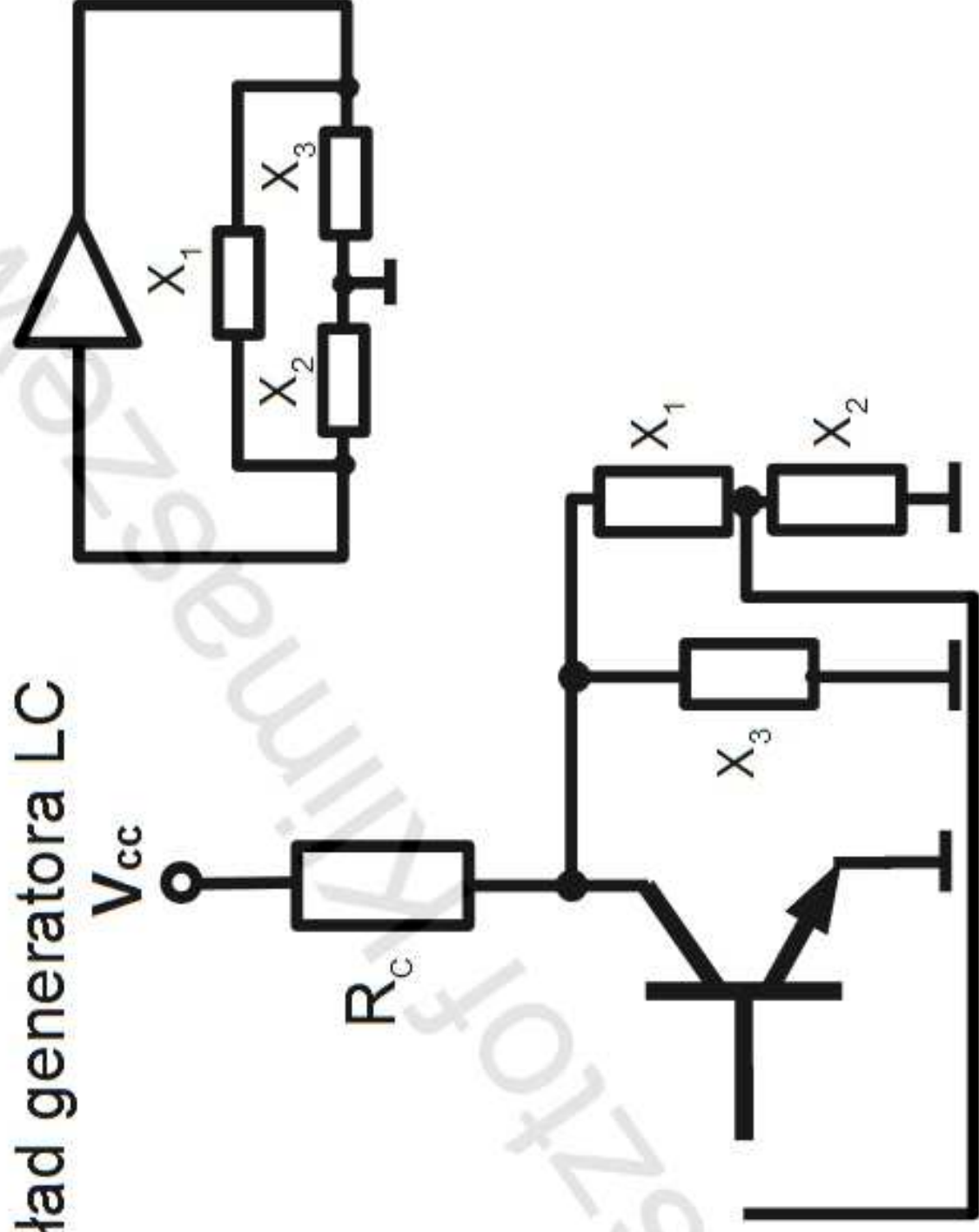
# Generatory LC - ogólnie

- ogólny układ generatora LC



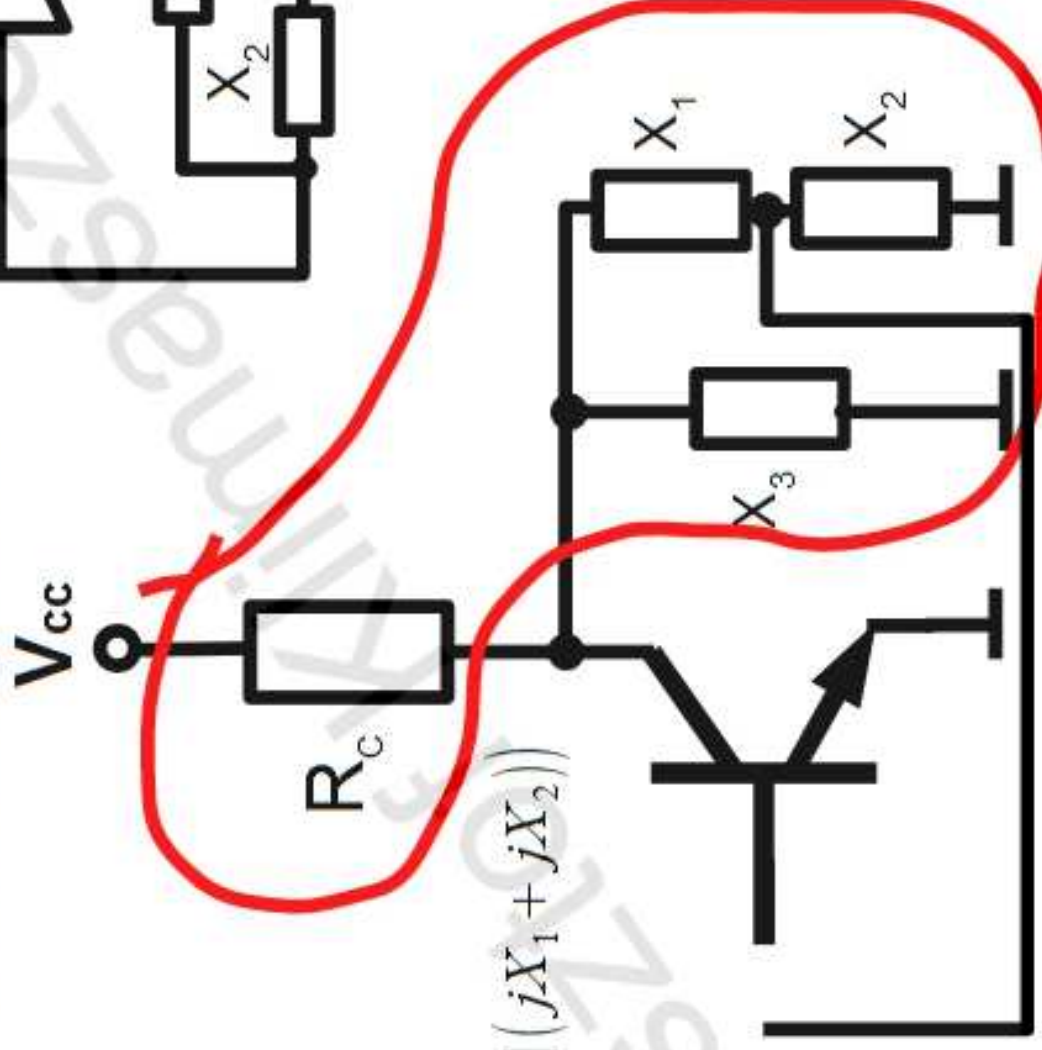
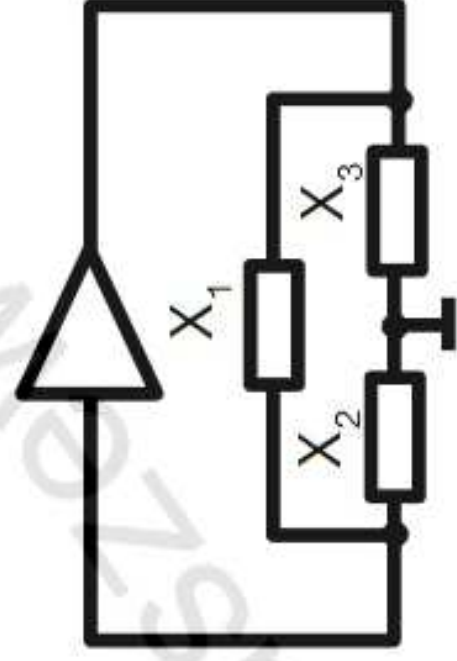
# Generatory LC - ogólnie

- ogólny układ generatora LC



# Generatory LC - ogólnie

- ogólny układ generatora LC



$$k_u = -g_m R_C \parallel (jX_3 \parallel (jX_1 + jX_2))$$




# Generatory LC - ogólnie

$$k_u \beta = 1$$

$$X = \frac{1}{B} \quad (\text{reaktancja} = 1 / \text{susceptancja})$$

$$k_u = -g_m \cdot \frac{1}{G_C + \left( jB_3 + \left( \frac{jB_1 jB_2}{jB_1 + jB_2} \right) \right)} = -g_m \cdot \frac{1}{G_C + j \left( B_3 + \left( \frac{B_1 B_2}{B_1 + B_2} \right) \right)}$$

 = 0

# Generatory LC - ogólnie

$$k_u \beta = 1$$

$$X = \frac{1}{B} \quad (\text{reaktancja} = 1 / \text{susceptancja})$$

$$k_u = -g_m \cdot \frac{1}{G_C + \left( jB_3 + \left( \frac{jB_1 jB_2}{jB_1 + jB_2} \right) \right)} = -g_m \cdot \frac{1}{G_C + j \left( B_3 + \left( \frac{B_1 B_2}{B_1 + B_2} \right) \right)}$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

$$= 0$$

# Generatory LC - ogólnie

- Ostatecznie:

$$k_i: \beta = 1 \text{ zatem } -\frac{g_m}{G_C} \frac{X_2}{X_1 + X_2} = 1$$

po podstawieniu  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$  czyli  $X_1 + X_2 = -X_3$

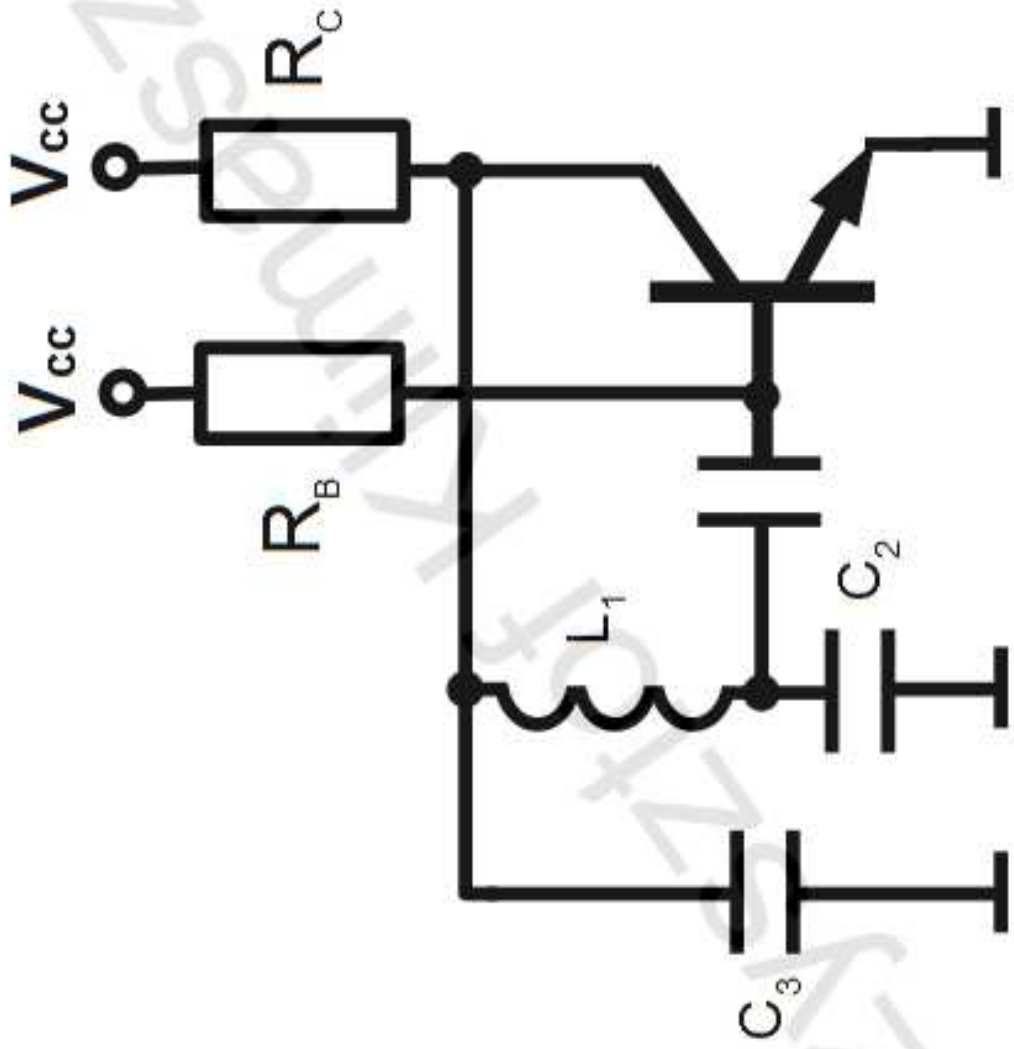
$$\frac{g_m}{G_C} \frac{X_2}{X_3} = 1$$

- $X_2$  i  $X_3$  tego samego znaku (np. kondensatory),  
 $X_1$  innego (cewka)

# Generatory LC - ogólnie

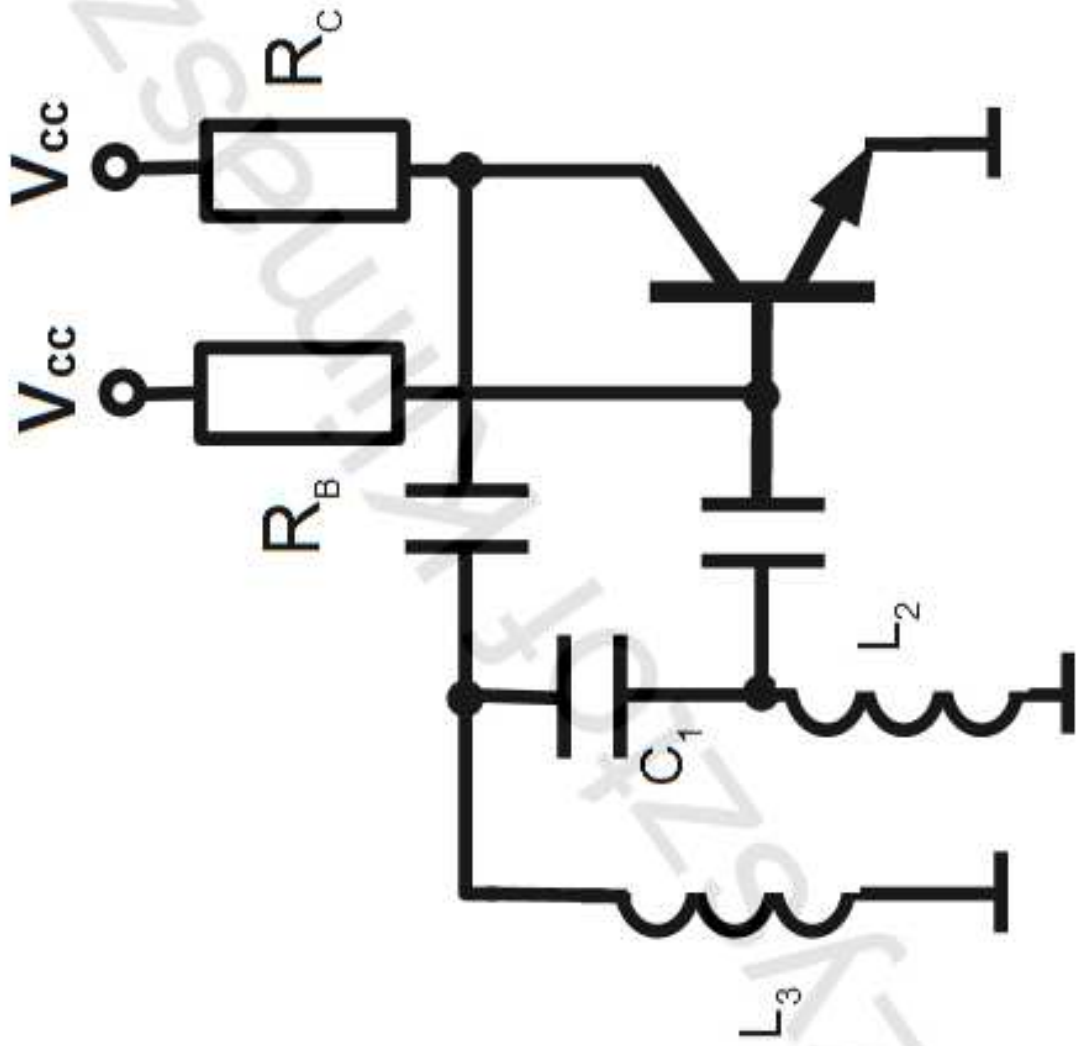
- zwykle wzmacnienie  $g_m R_C$  jest duże, wtedy:
  - $X_2 \ll X_3$
  - $X_1 \approx -X_3$

# Generator Colpittsa

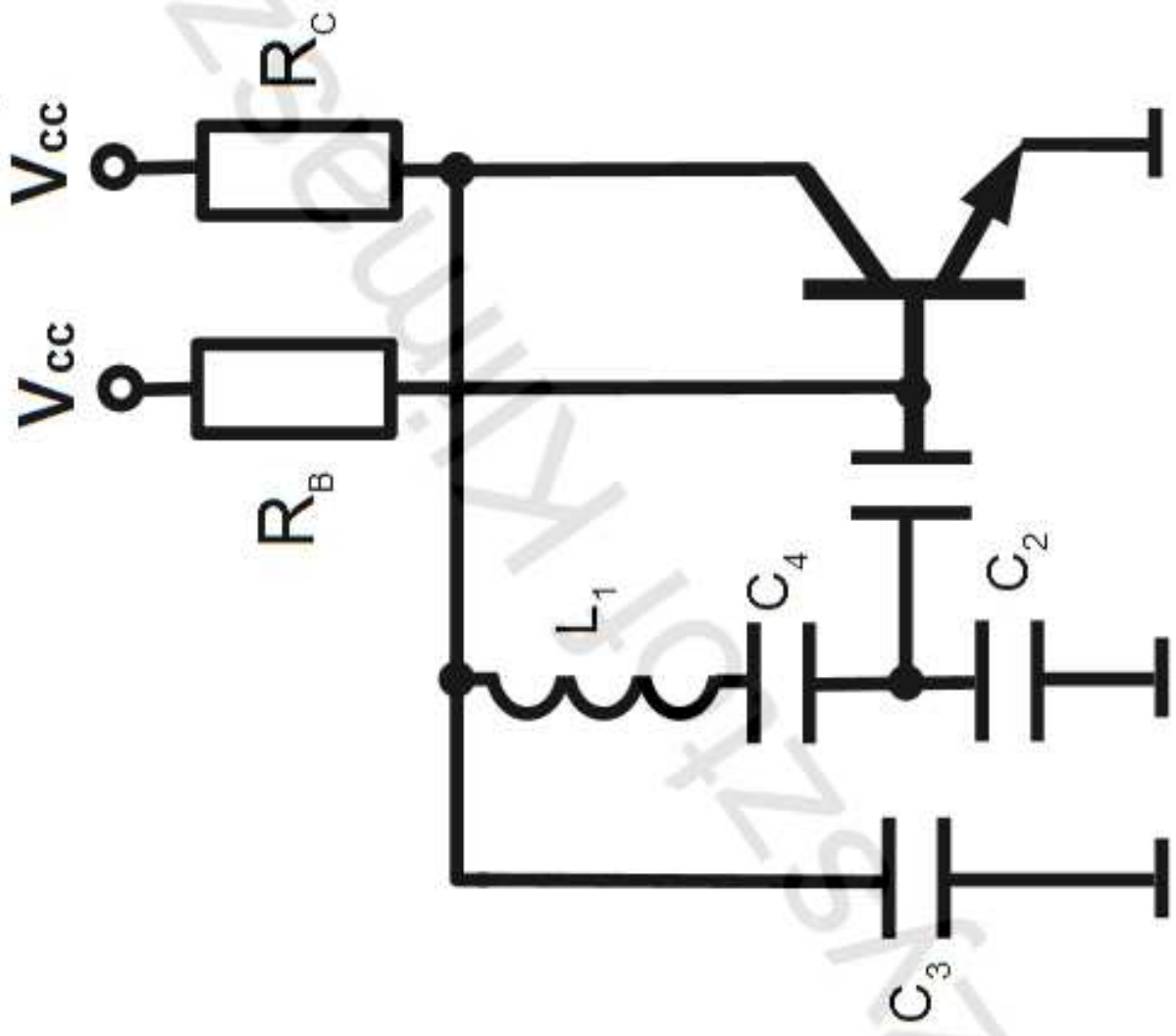




# Generator Hartleya

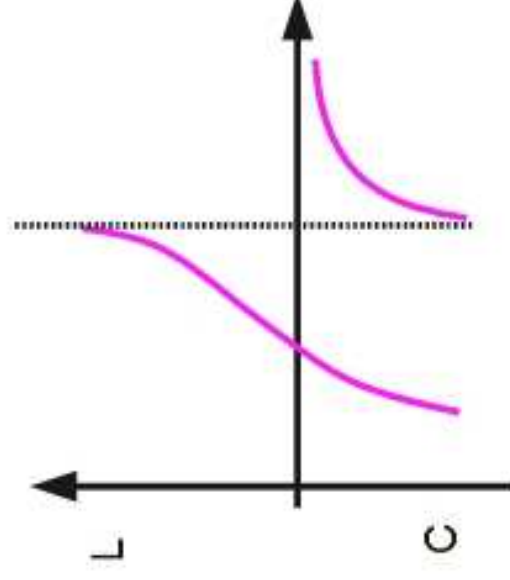
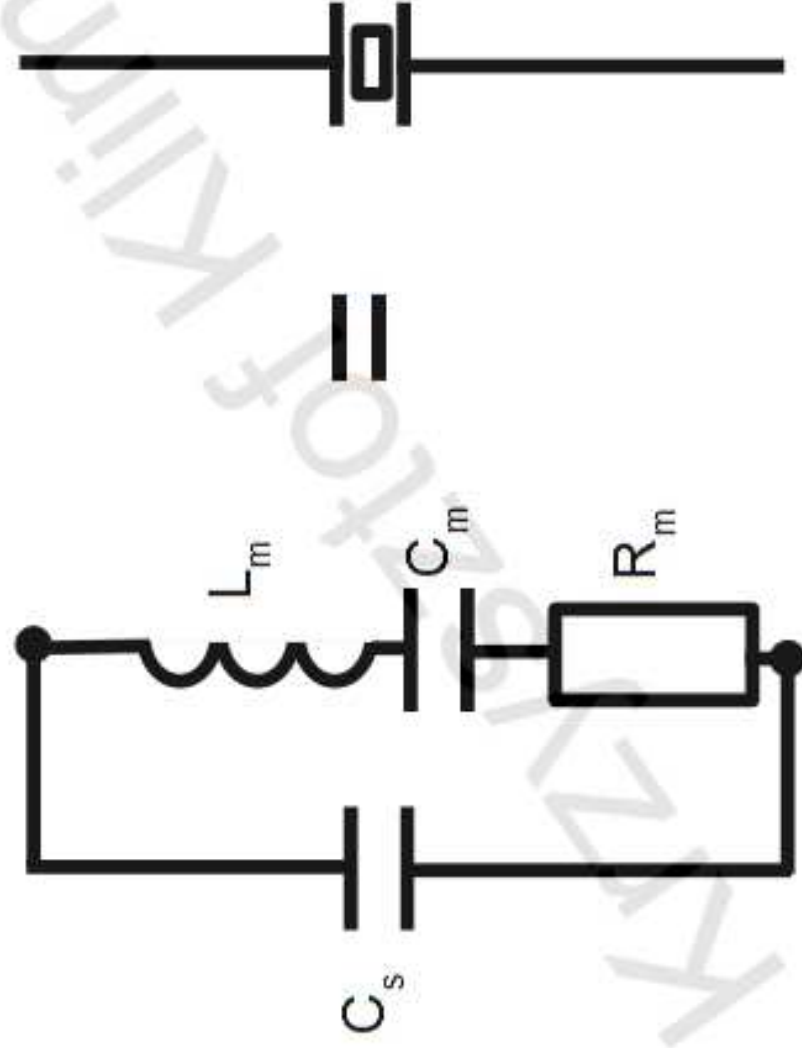


# Generator Clappa



# Generatory kwarcowe

- Mała dobroć obwodów LC
- Zamiast obwodu LC można użyć kwarcu



# Generatory

- Mała dobroć obwodów
- Zamiast obwodu LC m

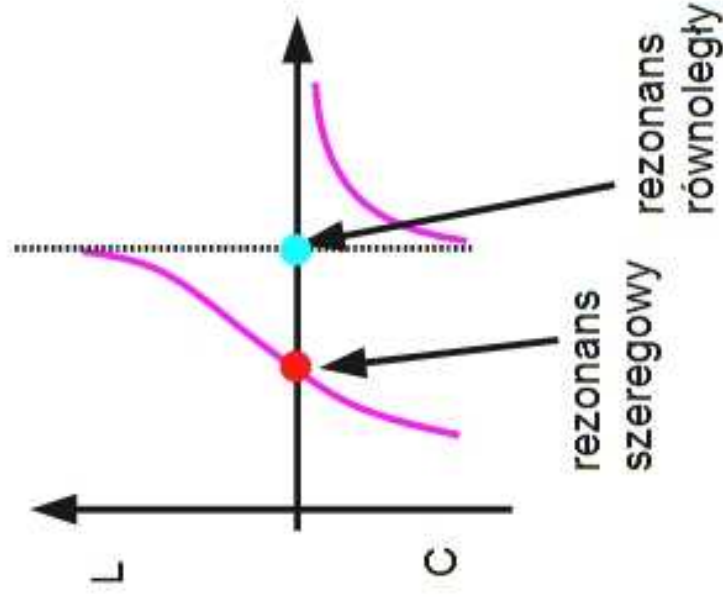
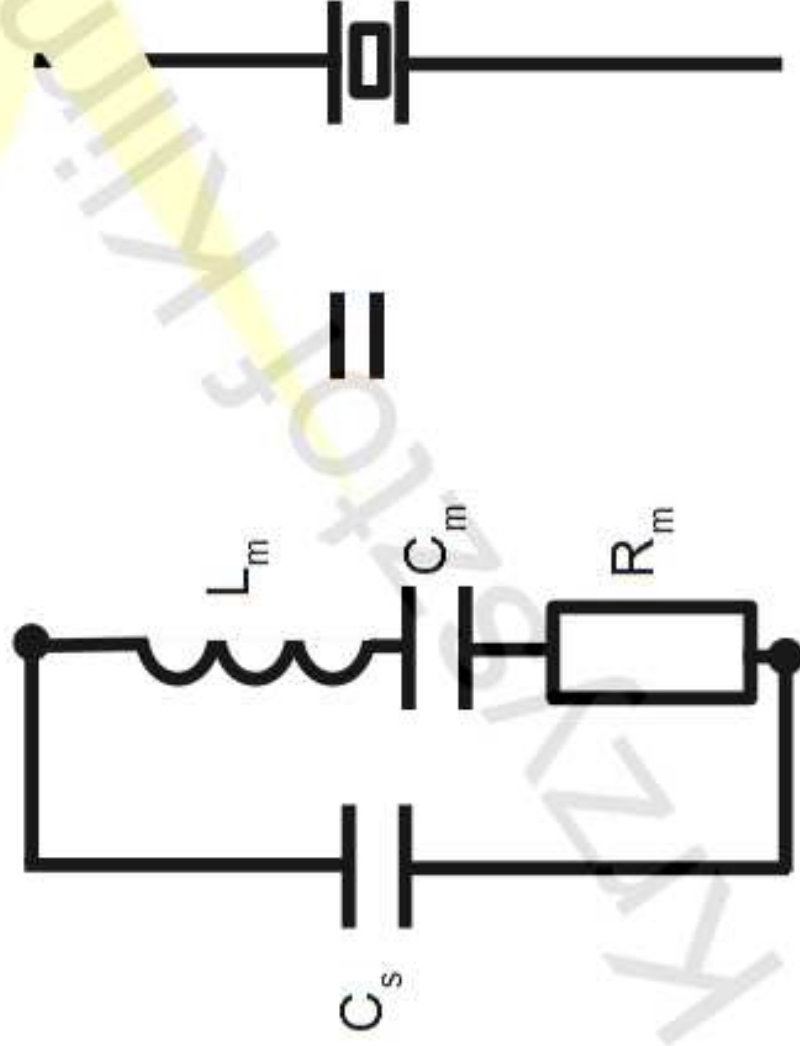
Przykładowe wartości:

$$L_m = 2,49 \text{ mH}$$

$$C_m = 25,4 \text{ fF}$$

$$R_m = 5,5 \Omega$$

$$C_s = 5,4 \text{ pF}$$



# Generatory

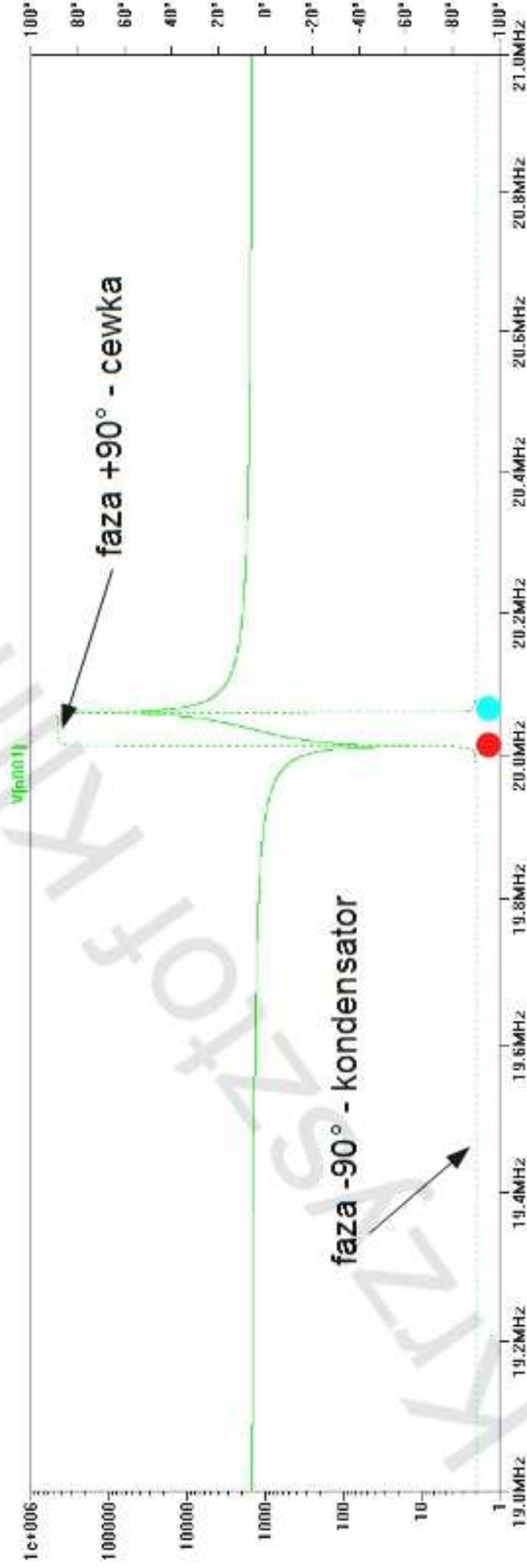
Przykładowe wartości:

$$L_m = 2,49 \text{ mH}$$

$$C_m = 25,4 \text{ fF}$$

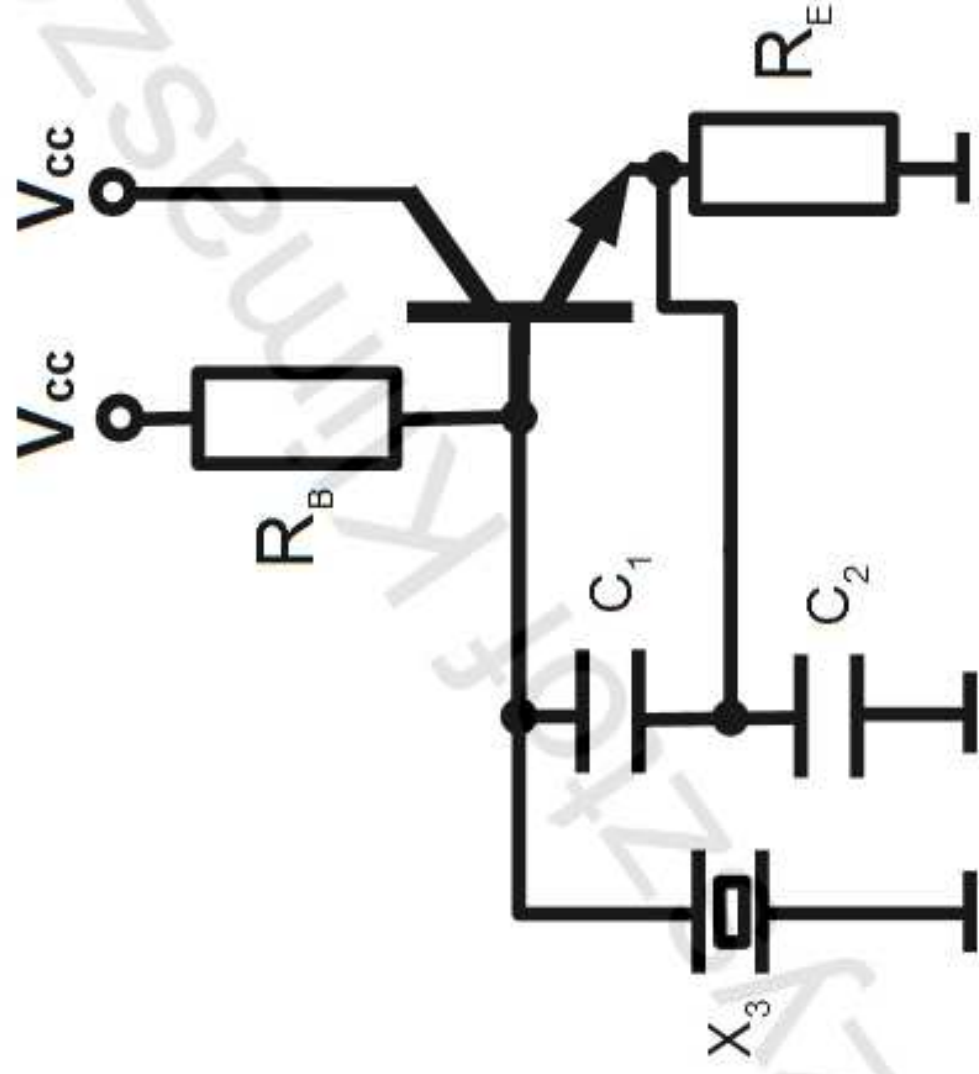
$$R_m = 5,5 \Omega$$

$$C_s = 5,4 \text{ pF}$$

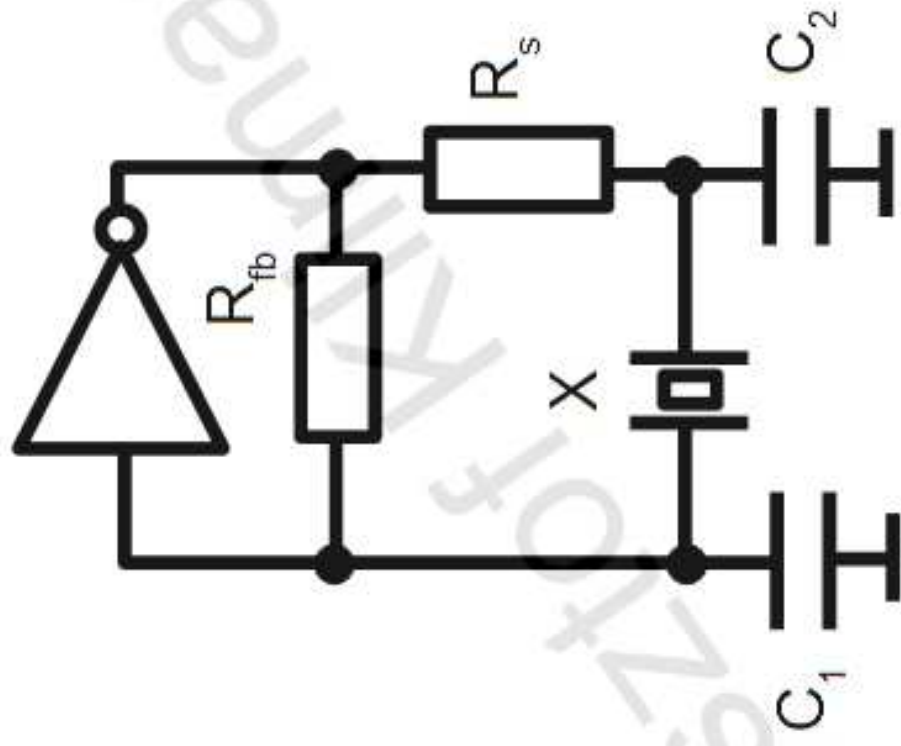




# Generator kwarcowy (przykład)



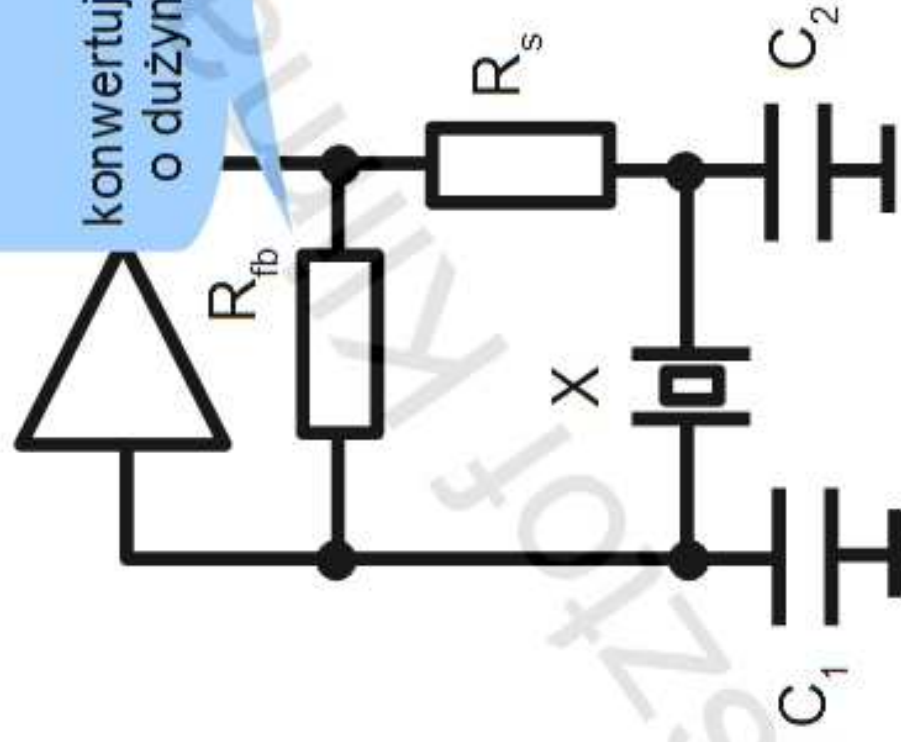
# Generator na negatorze



# Generator na negatorze

Rzędu  $1\text{ M}\Omega$

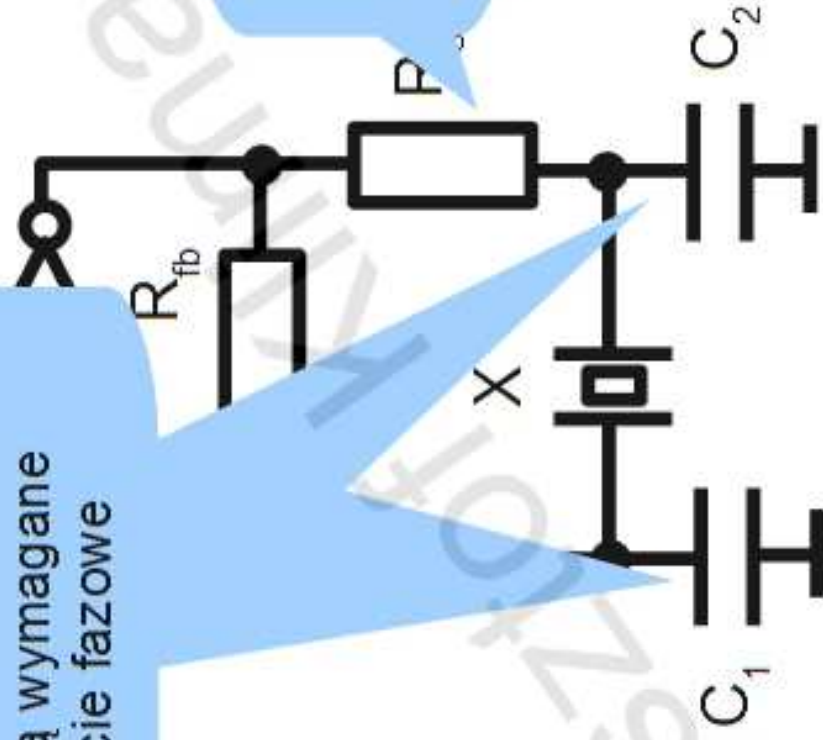
konwertuje negator we wzmacniacz o dużym ujemnym wzmocnieniu



# Generator na negatorze

Rzędu 10-20pF

wprowadzają wymagane przesunięcie fazowe



Rzędu 1k $\Omega$

wprowadza wymagane przesunięcie fazowe

## rodzaje oscylatorów

- OCXO – oven controlled crystal oscillator
- VCO – voltage controlled oscillator
- VXO – variable crystal oscillator
- VFO – variable frequency oscillator
- TCXO – temperature compensated crystal oscillator
- ...



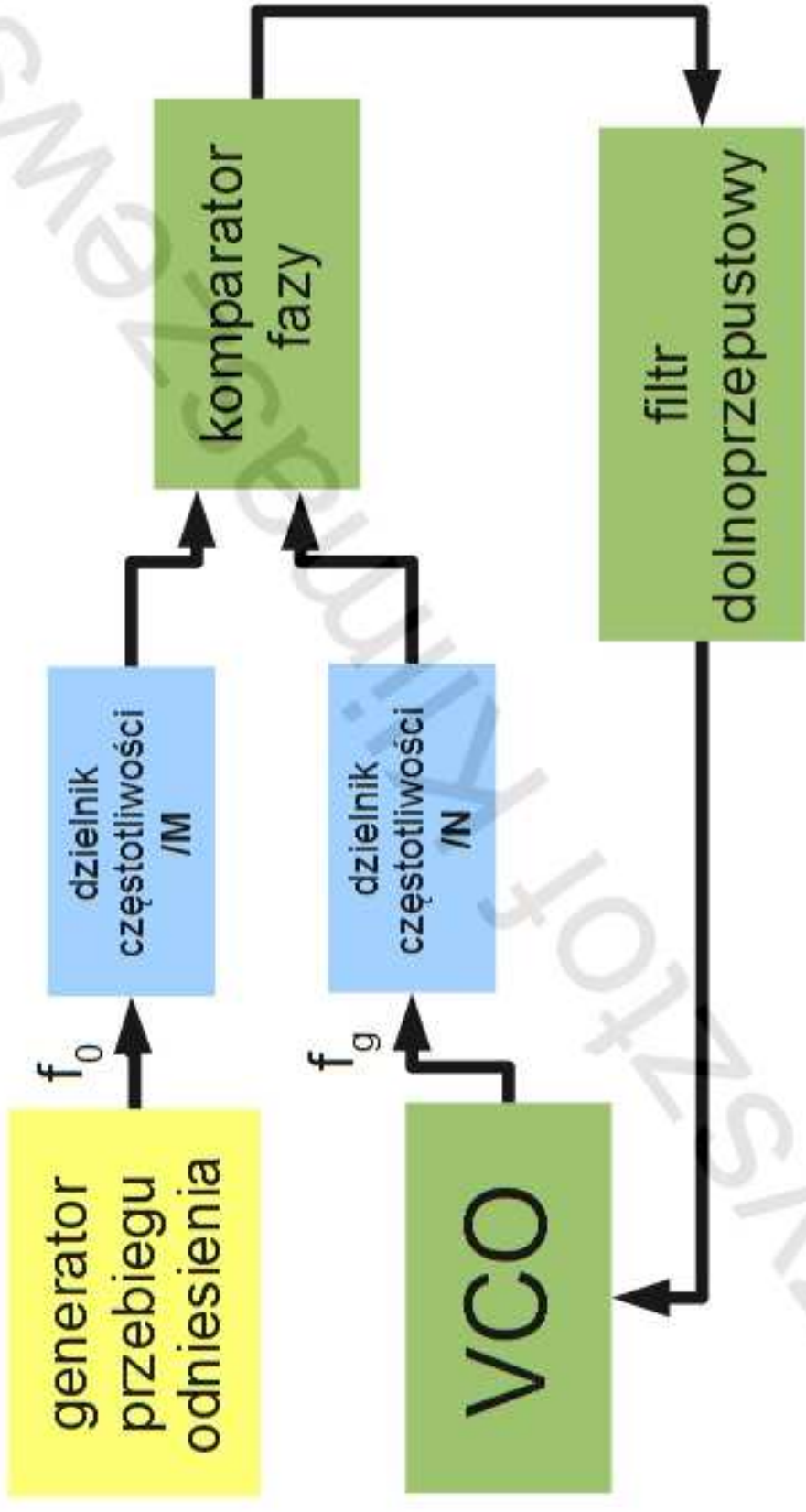
# Analogowe Układy Elektroniczne

Krzysztof Klimaszewski

[kklima@et.put.poznan.pl](mailto:kklima@et.put.poznan.pl)

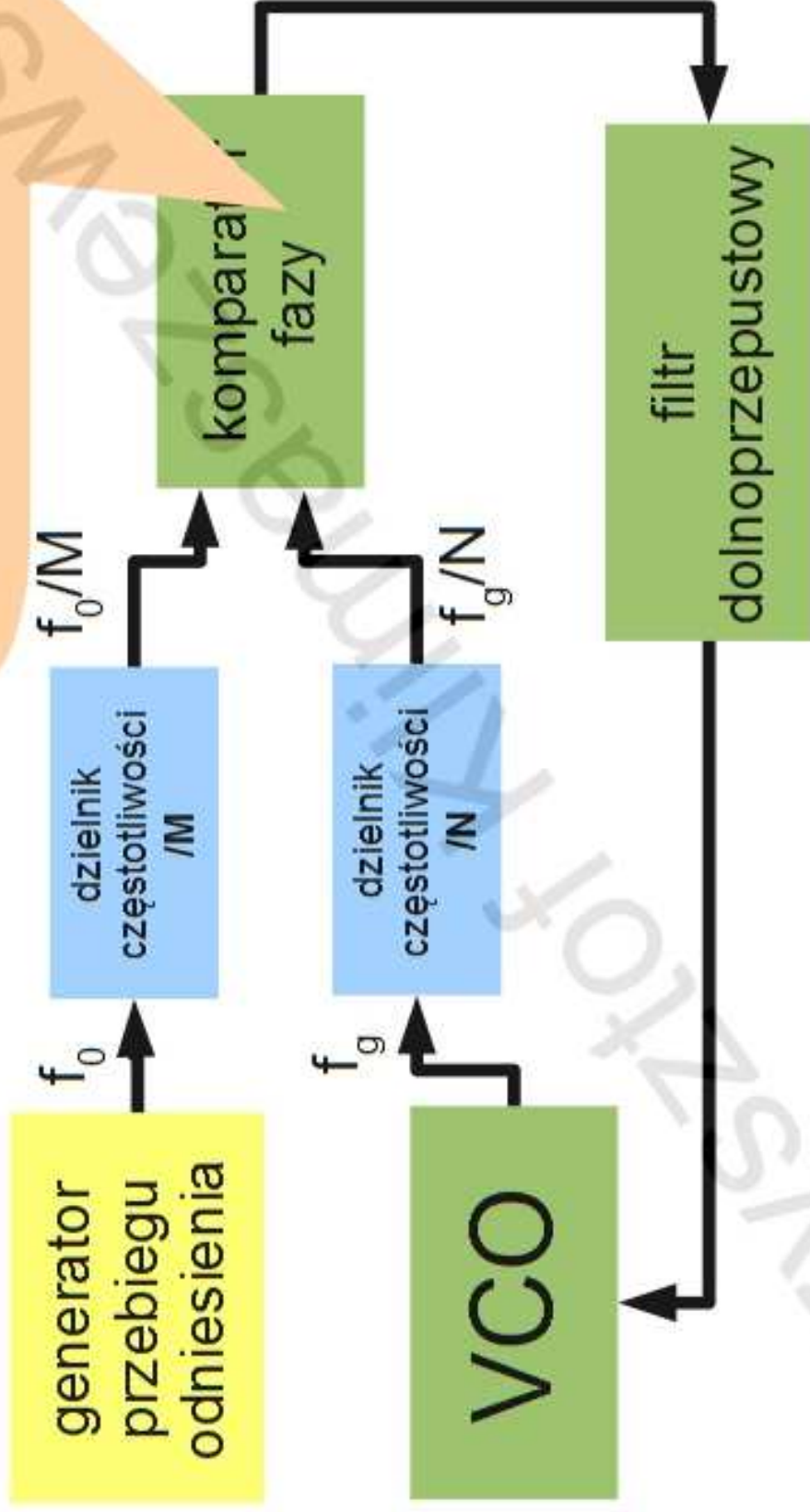
Polanka 3, pokój 118

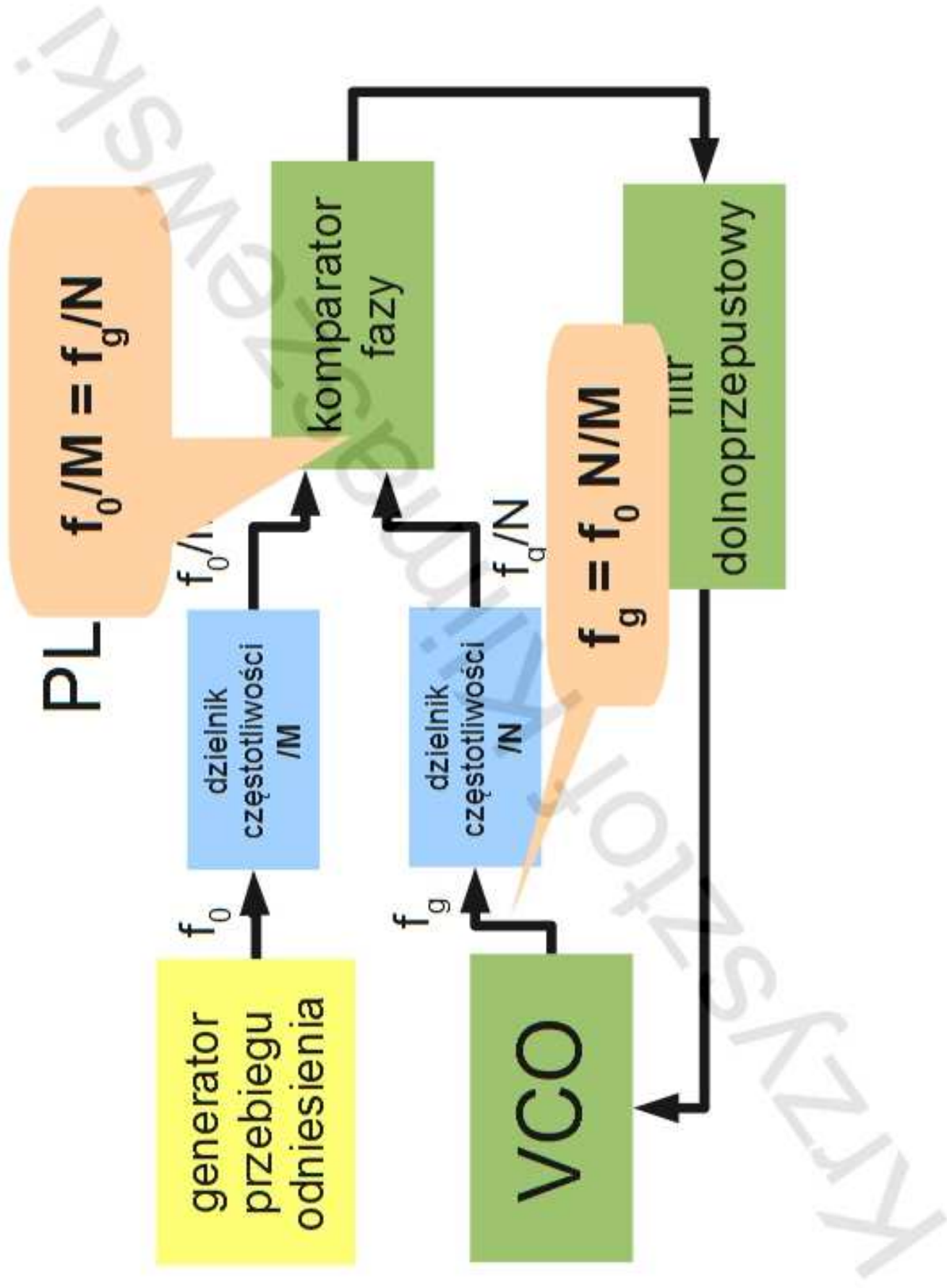
# PLL



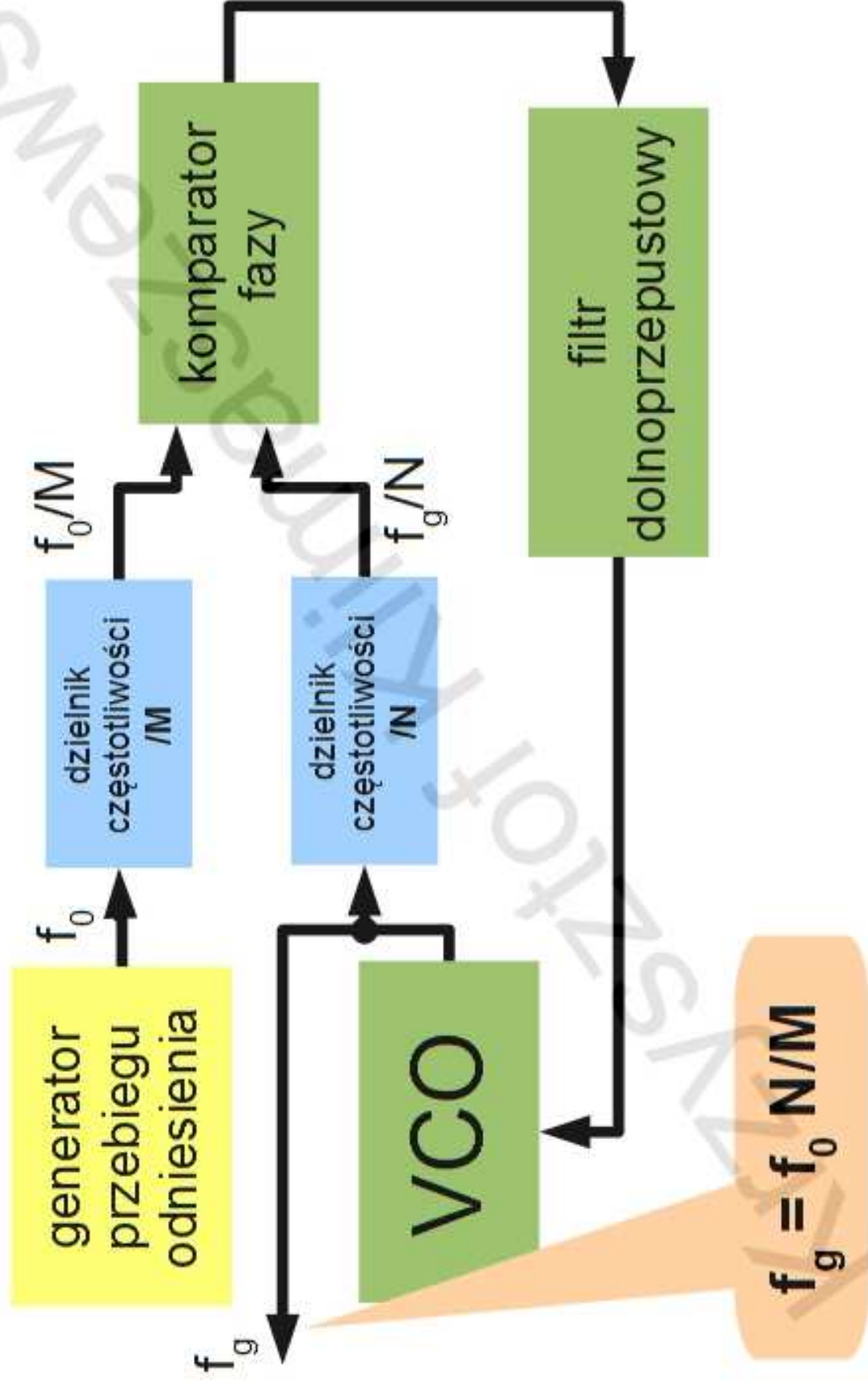
PL

pętla dąży do uzyskania stałego przesunięcia fazowego między sygnałami wejściowymi



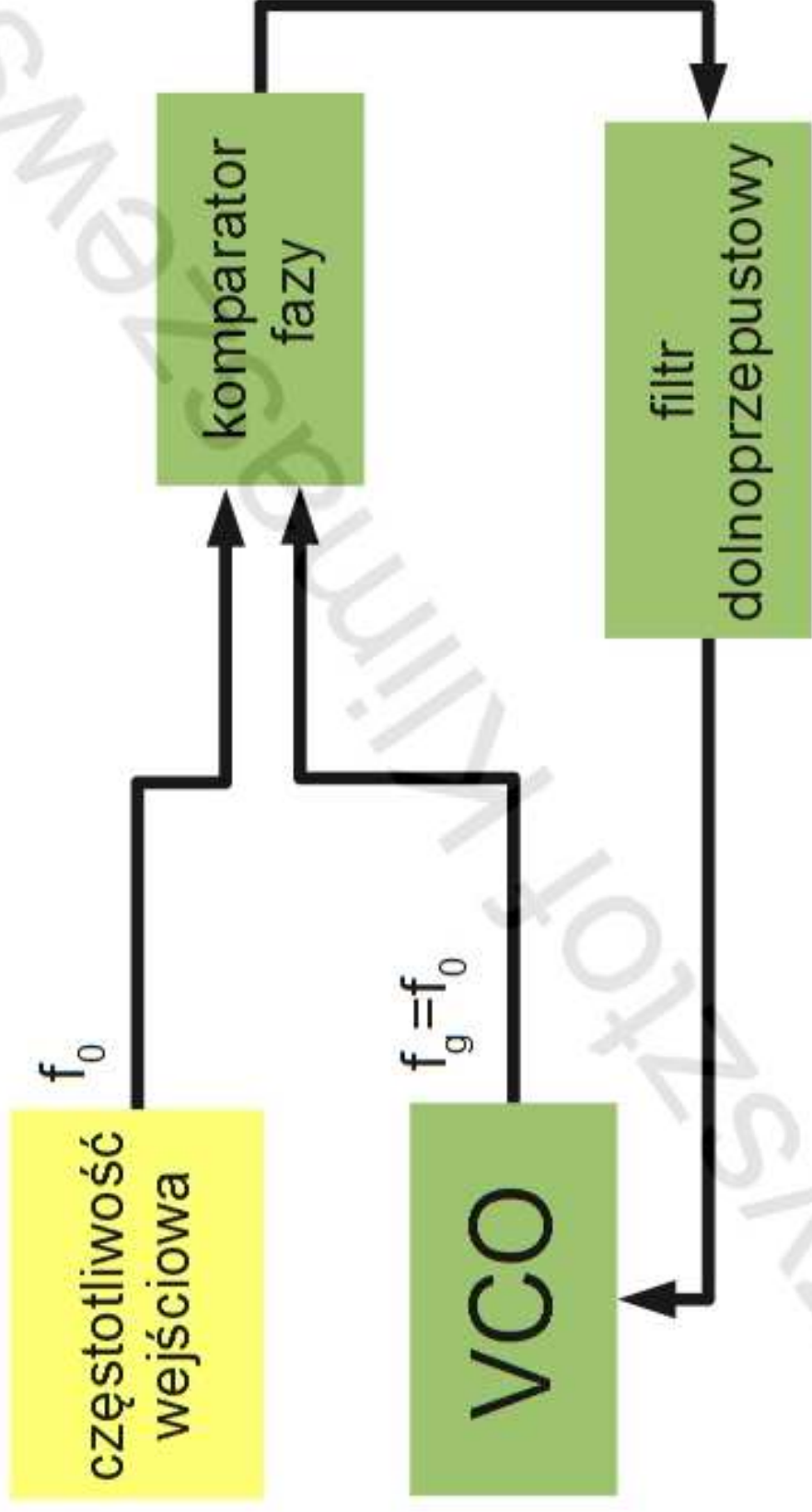


# Synteza częstotliwości

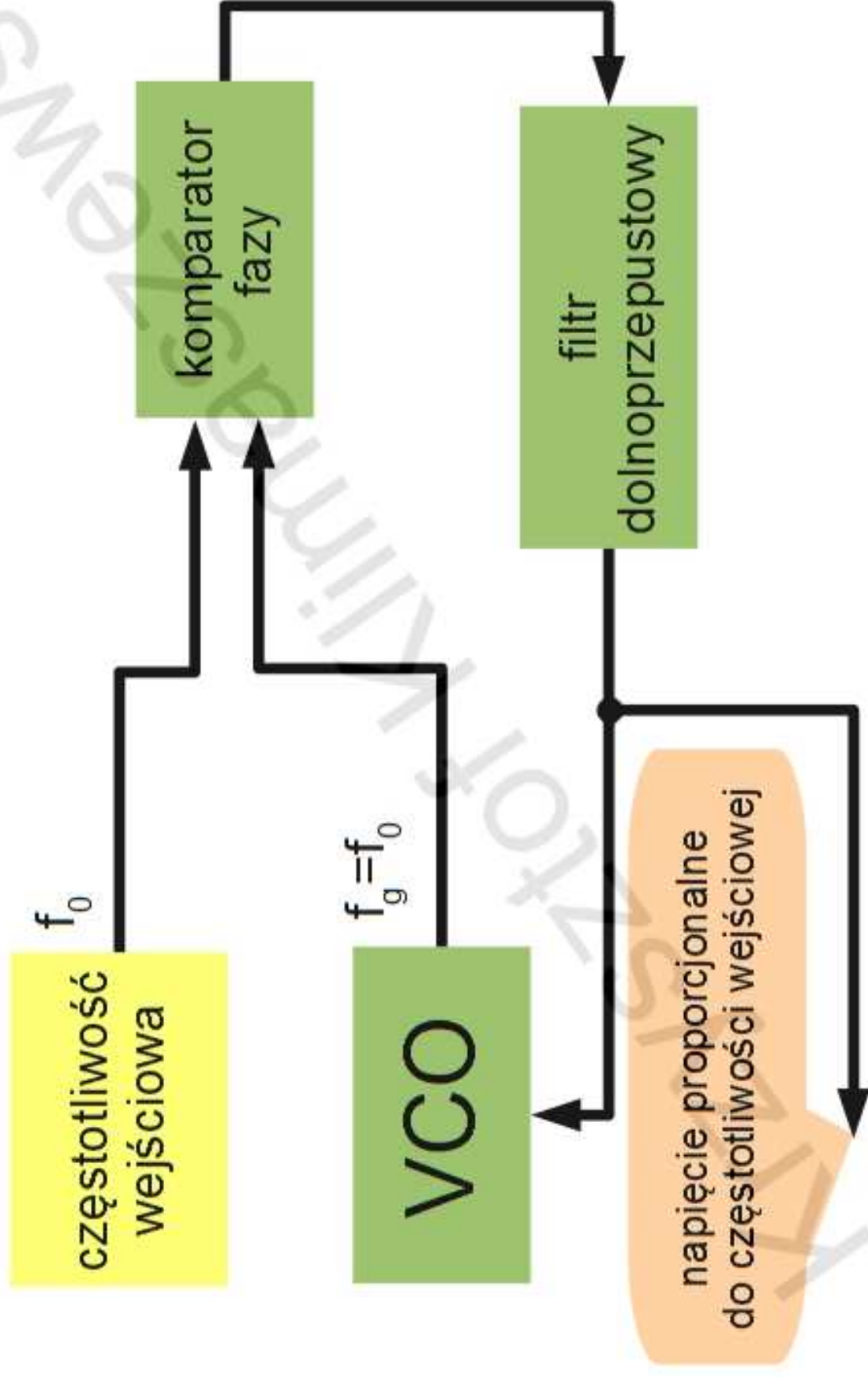




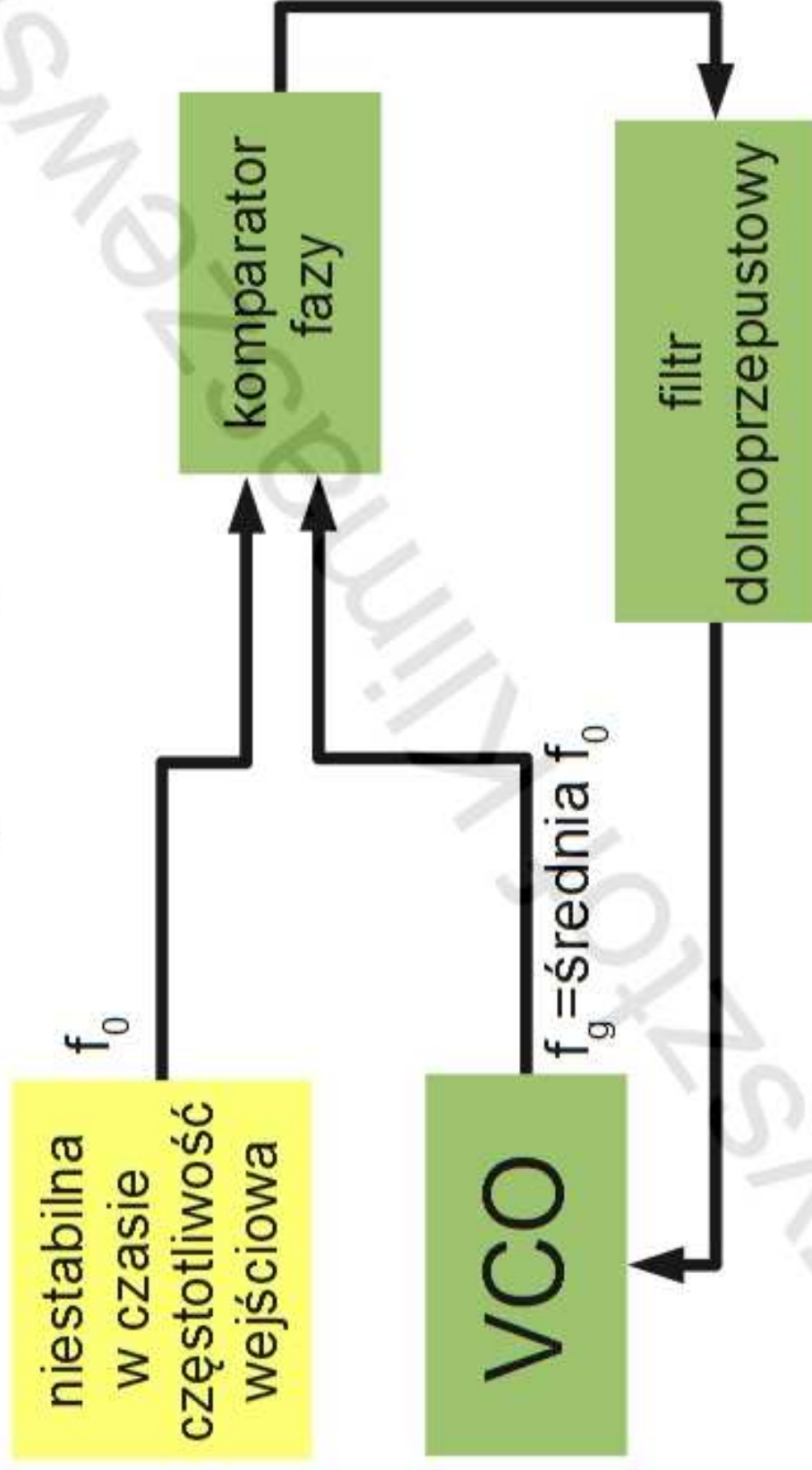
# Przetwornik częstotliwość-napięcie



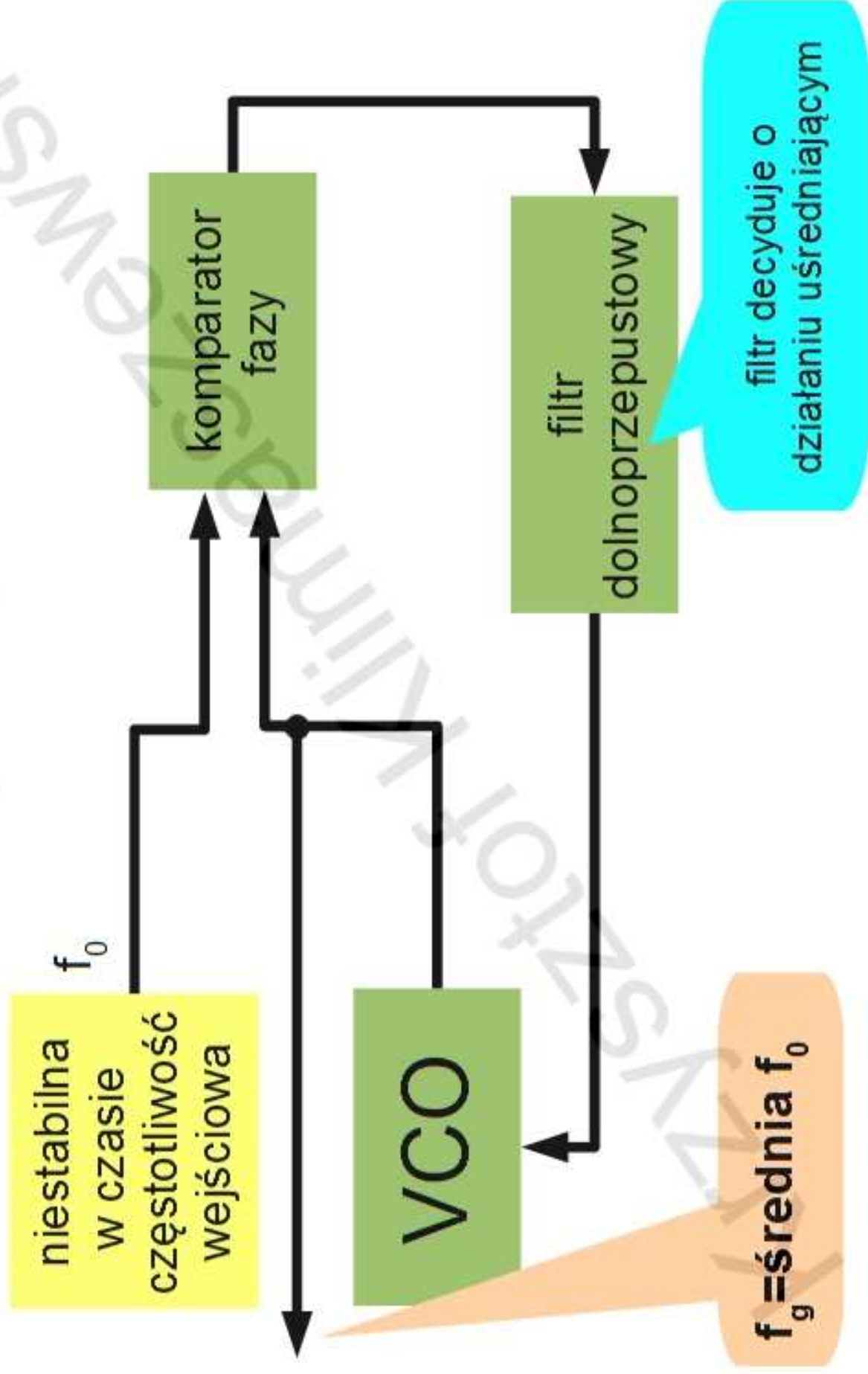
# Przetwornik częstotliwość-napięcie



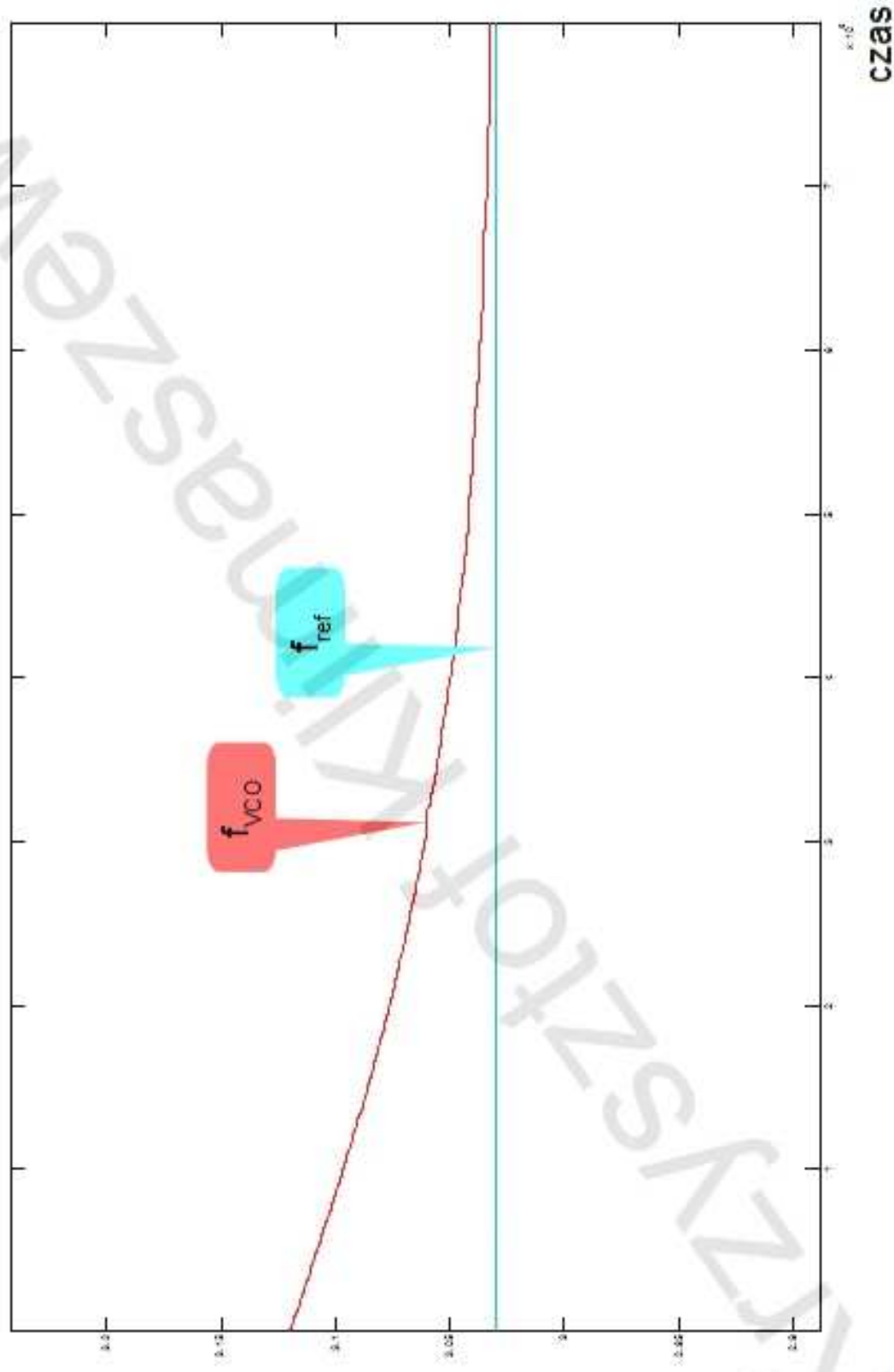
# Stabilizacja częstotliwości



# Stabilizacja częstotliwości

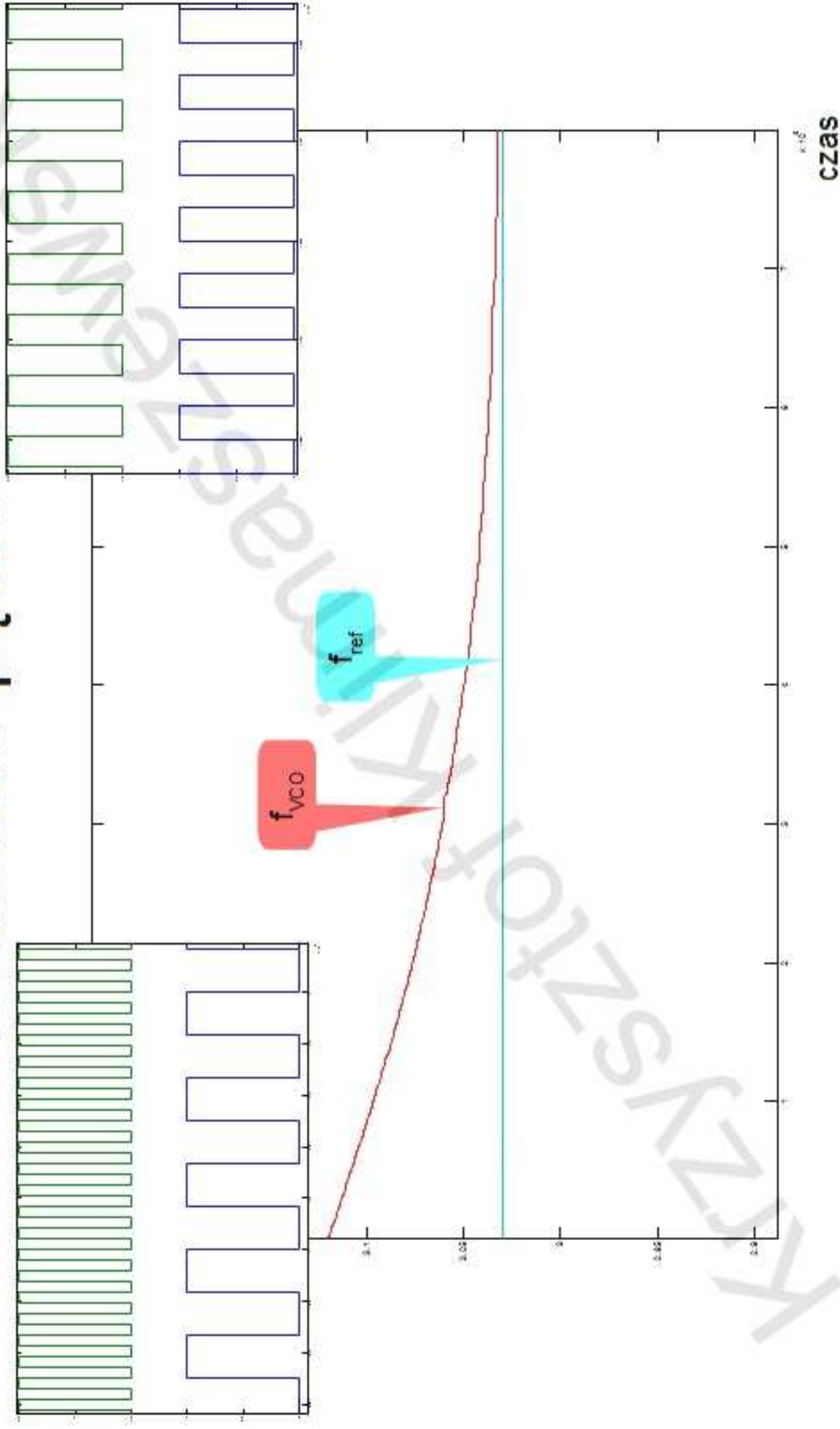


# Działanie pętli PLL

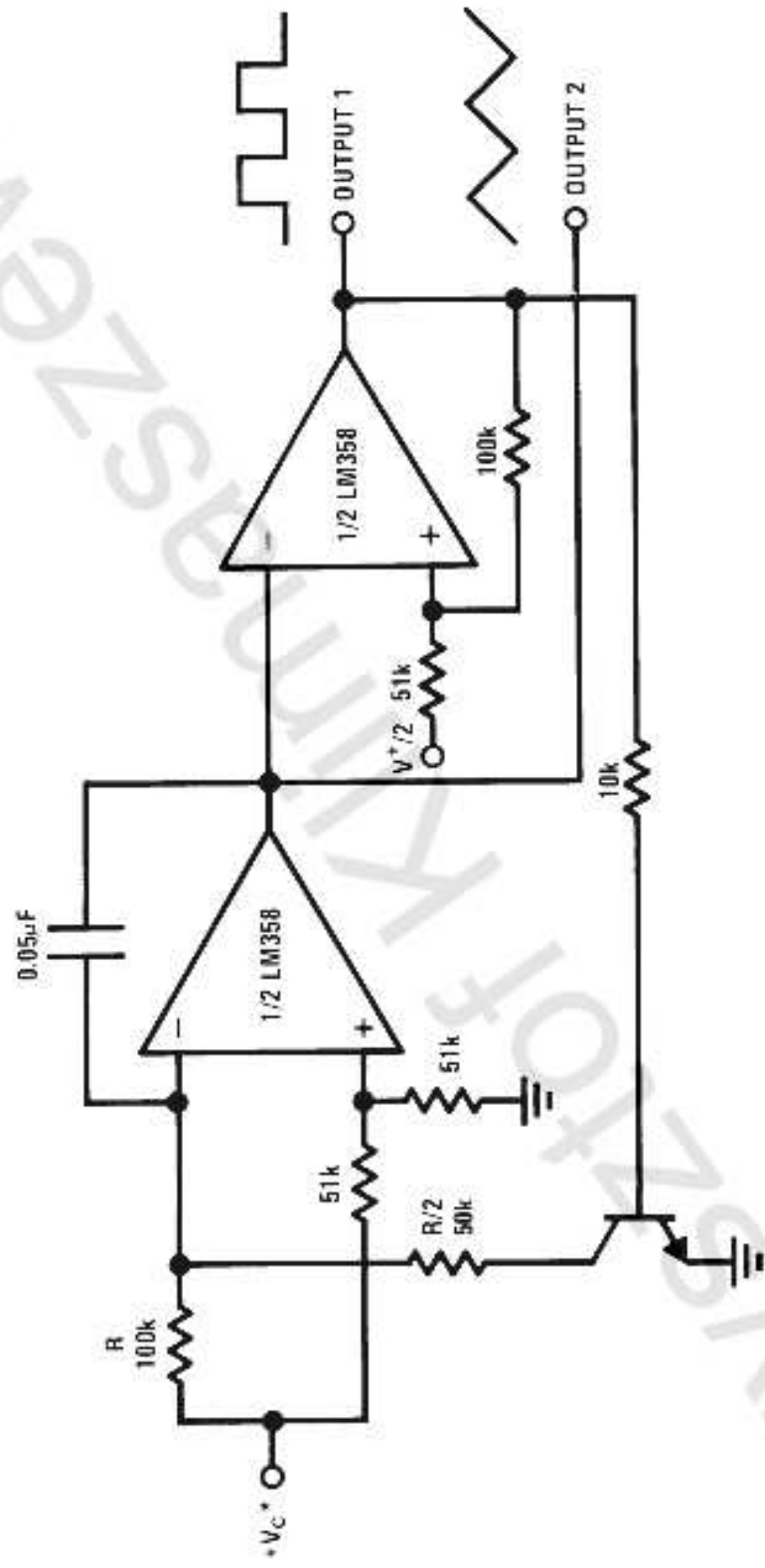




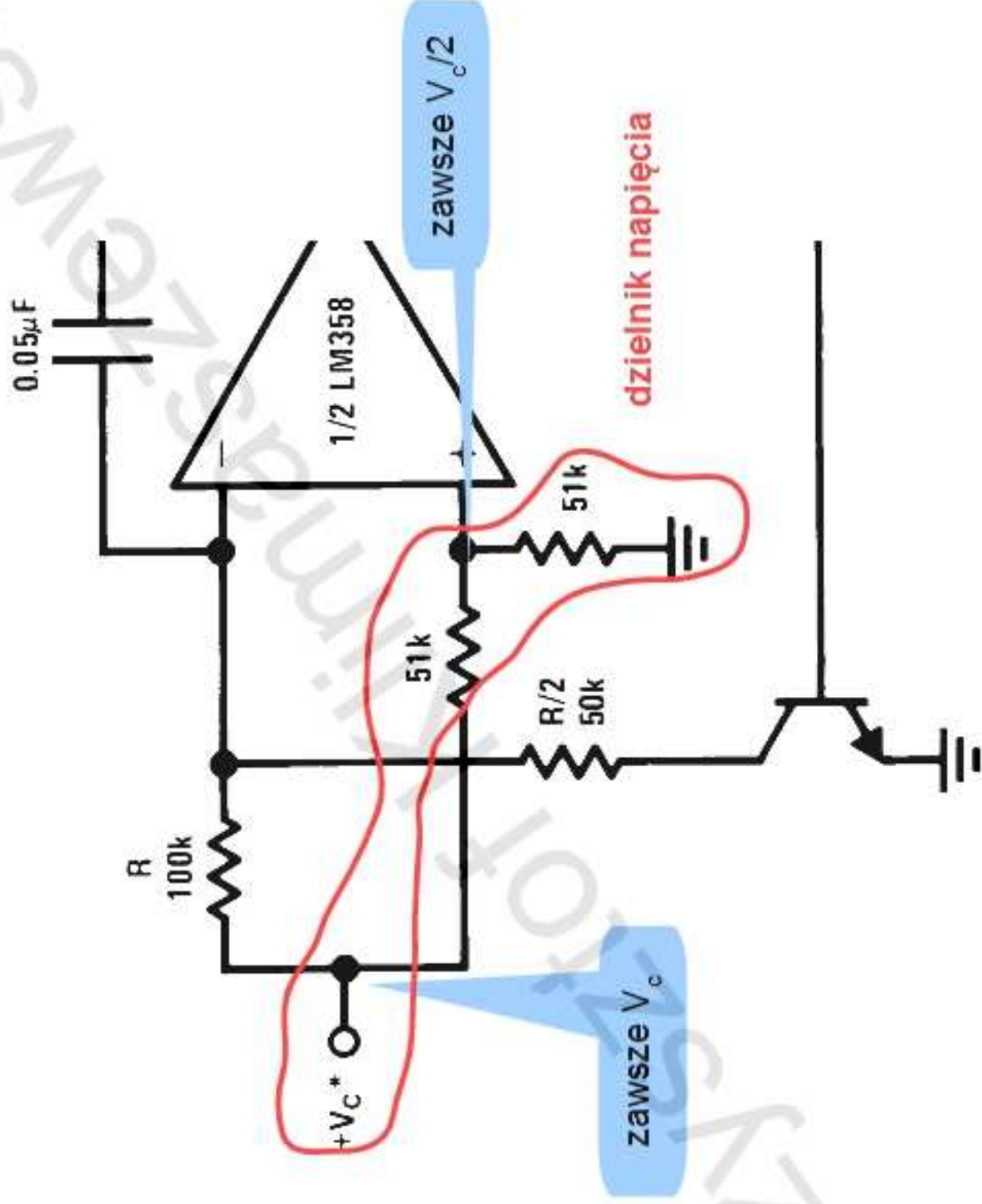
# Działanie pętli PLL



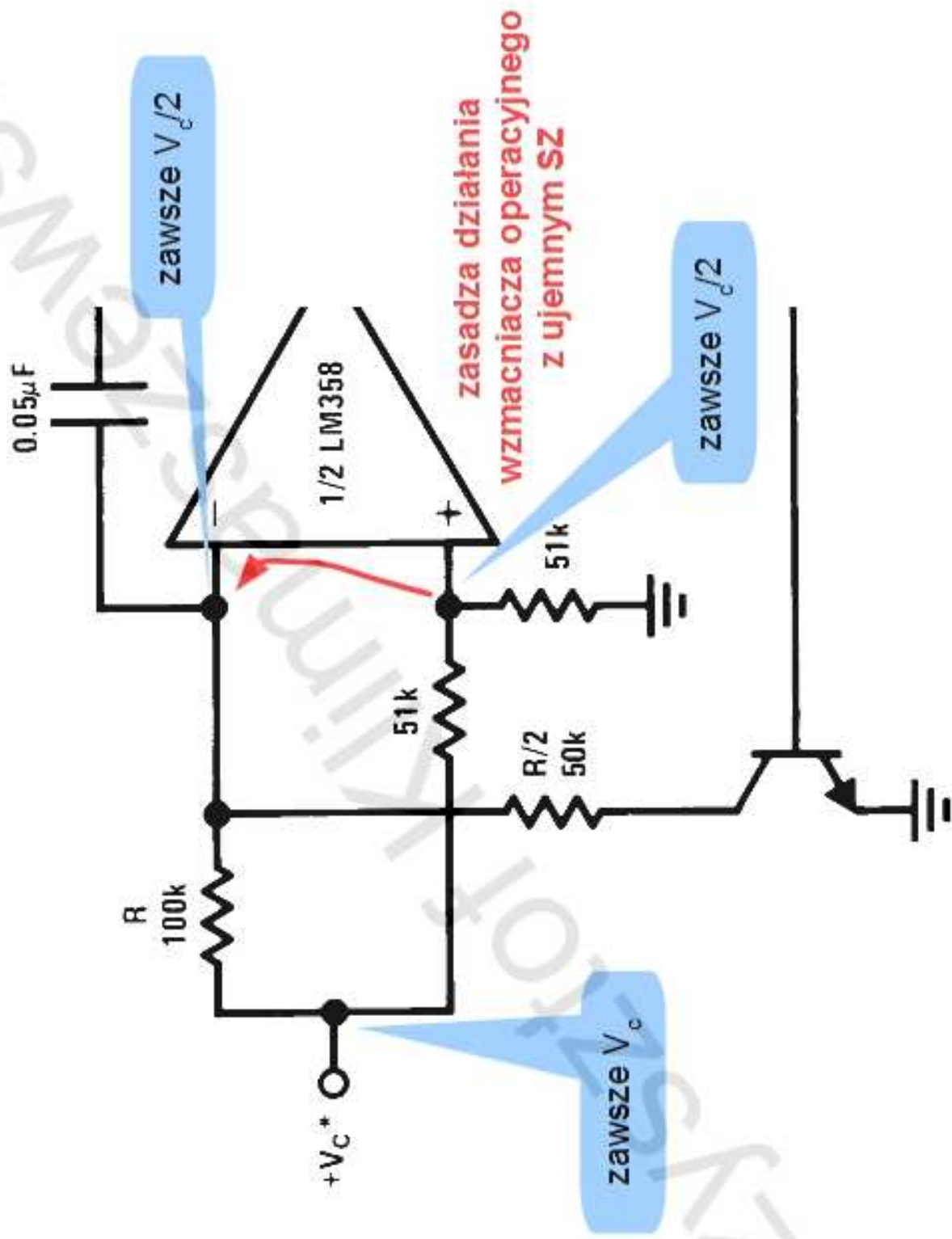
# VCO - przykład



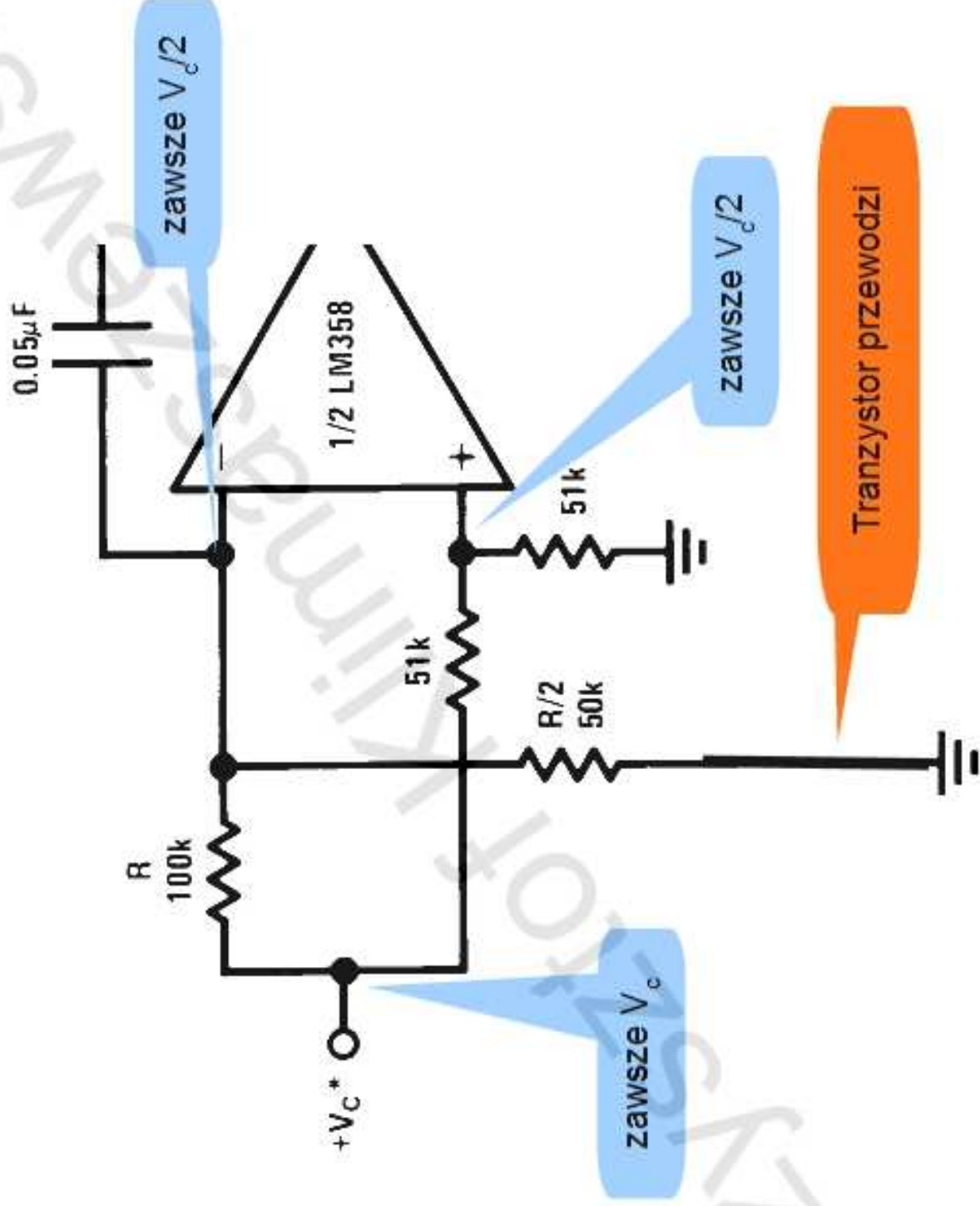
# VCO - przykład



# VCO - przykład



# VCO - przykład

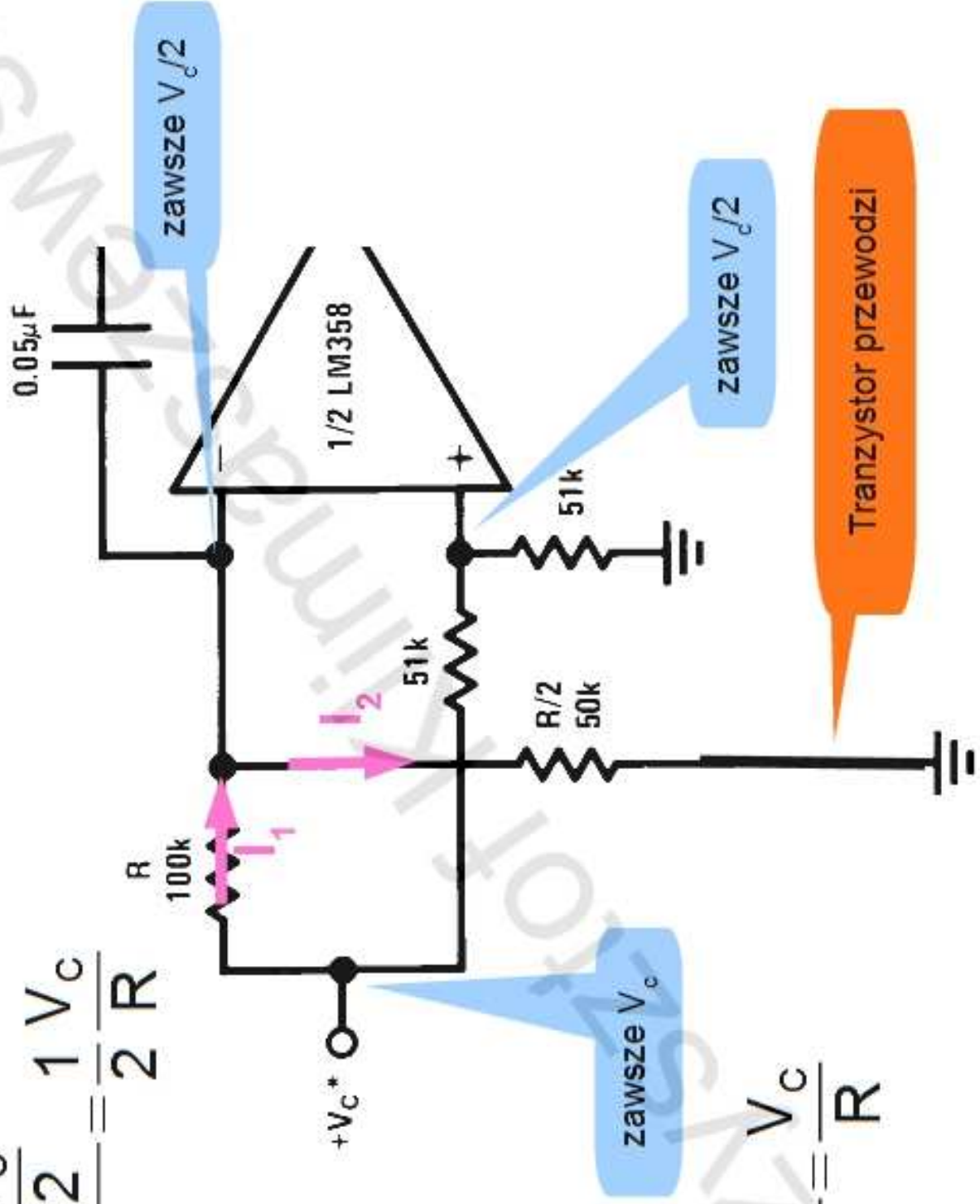




# VCO - przykład

$$I_1 = \frac{V_C}{R} - \frac{V_C}{2} = \frac{1}{2} \frac{V_C}{R}$$

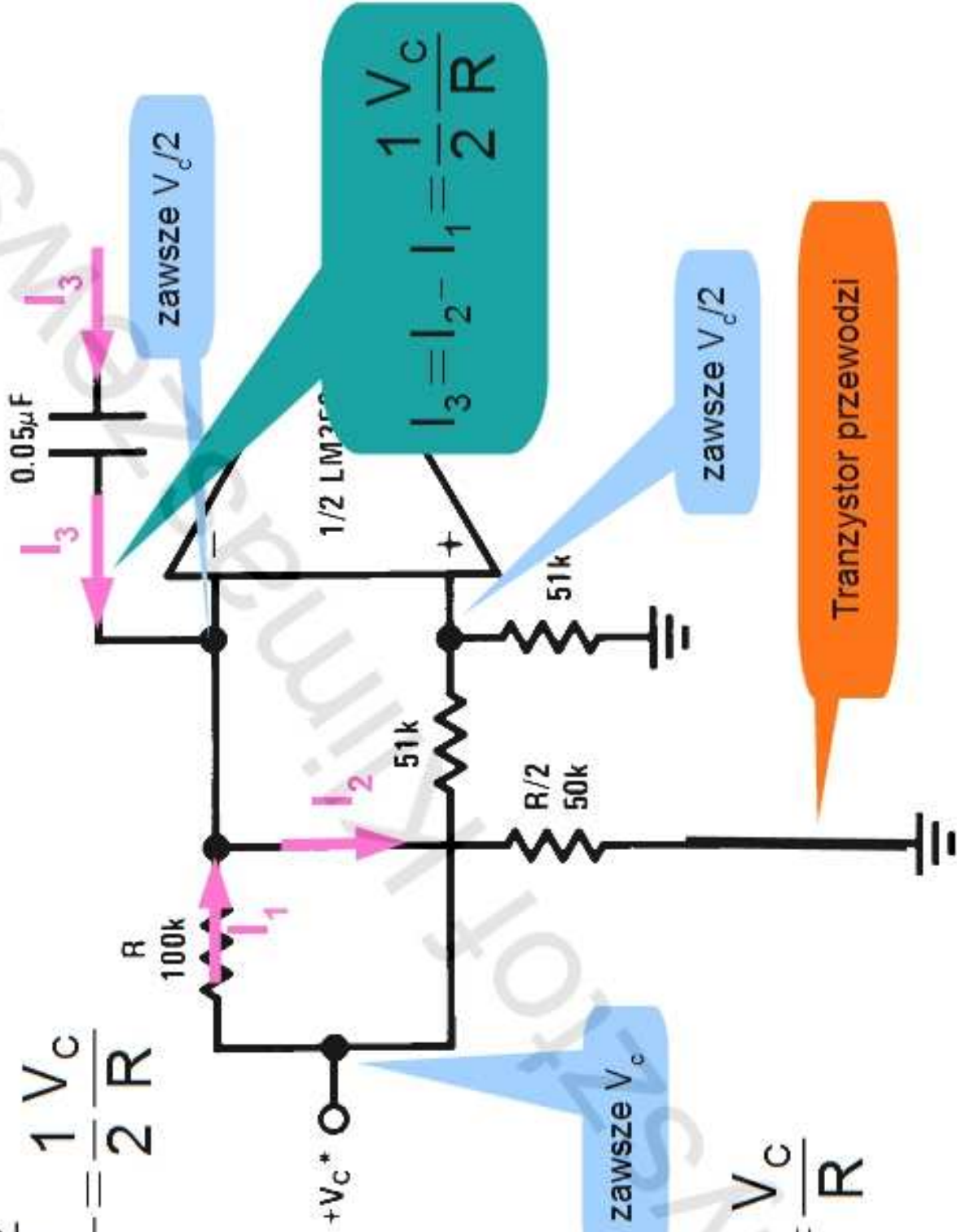
$$I_2 = \frac{V_C}{2} - \frac{V_C}{R} = \frac{1}{2} \frac{V_C}{R}$$



# VCO - przykład

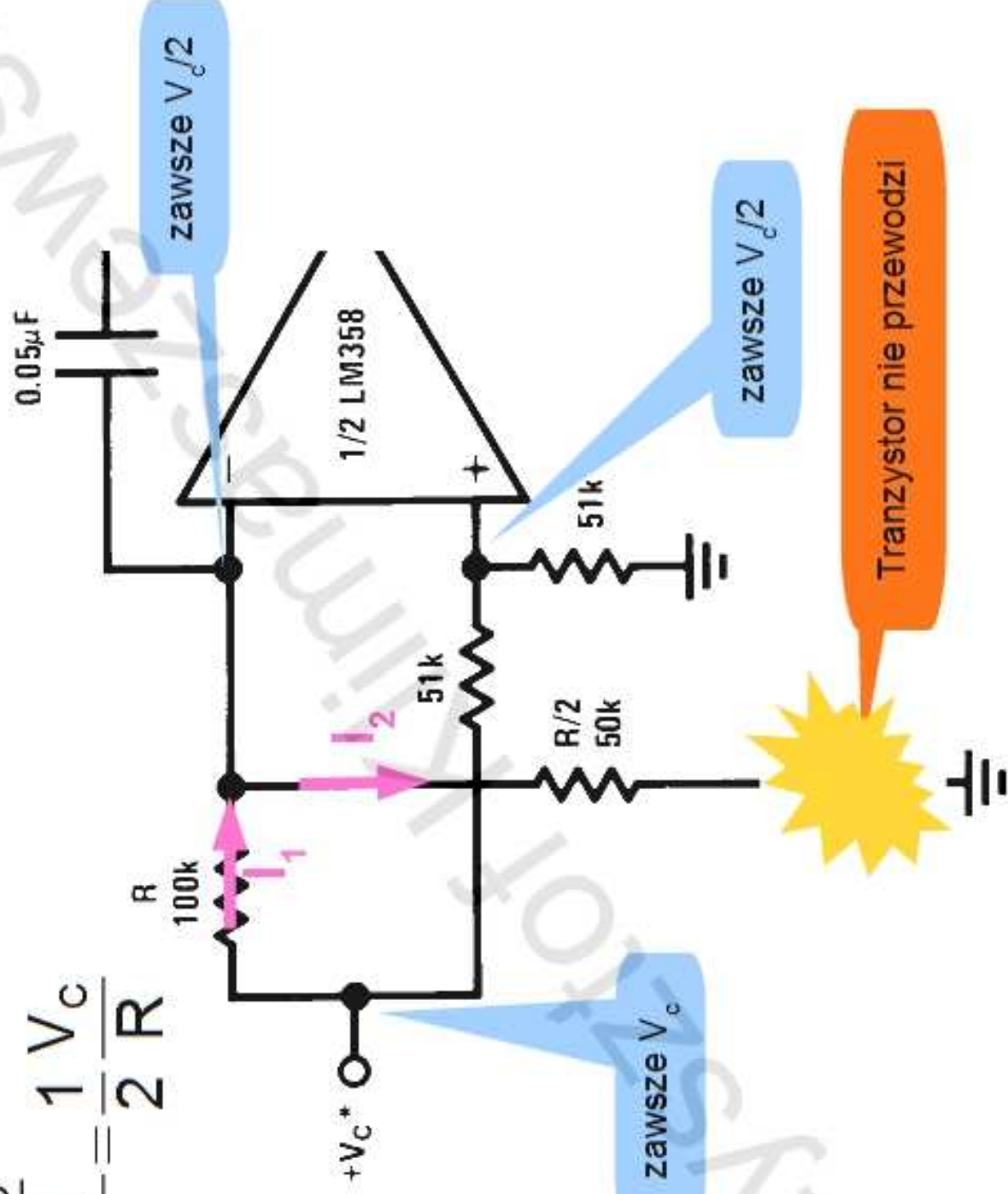
$$I_1 = \frac{V_C}{R} - \frac{V_C}{2} = \frac{1}{2} \frac{V_C}{R}$$

$$I_2 = \frac{V_C}{2} - \frac{V_C}{2} = 0$$



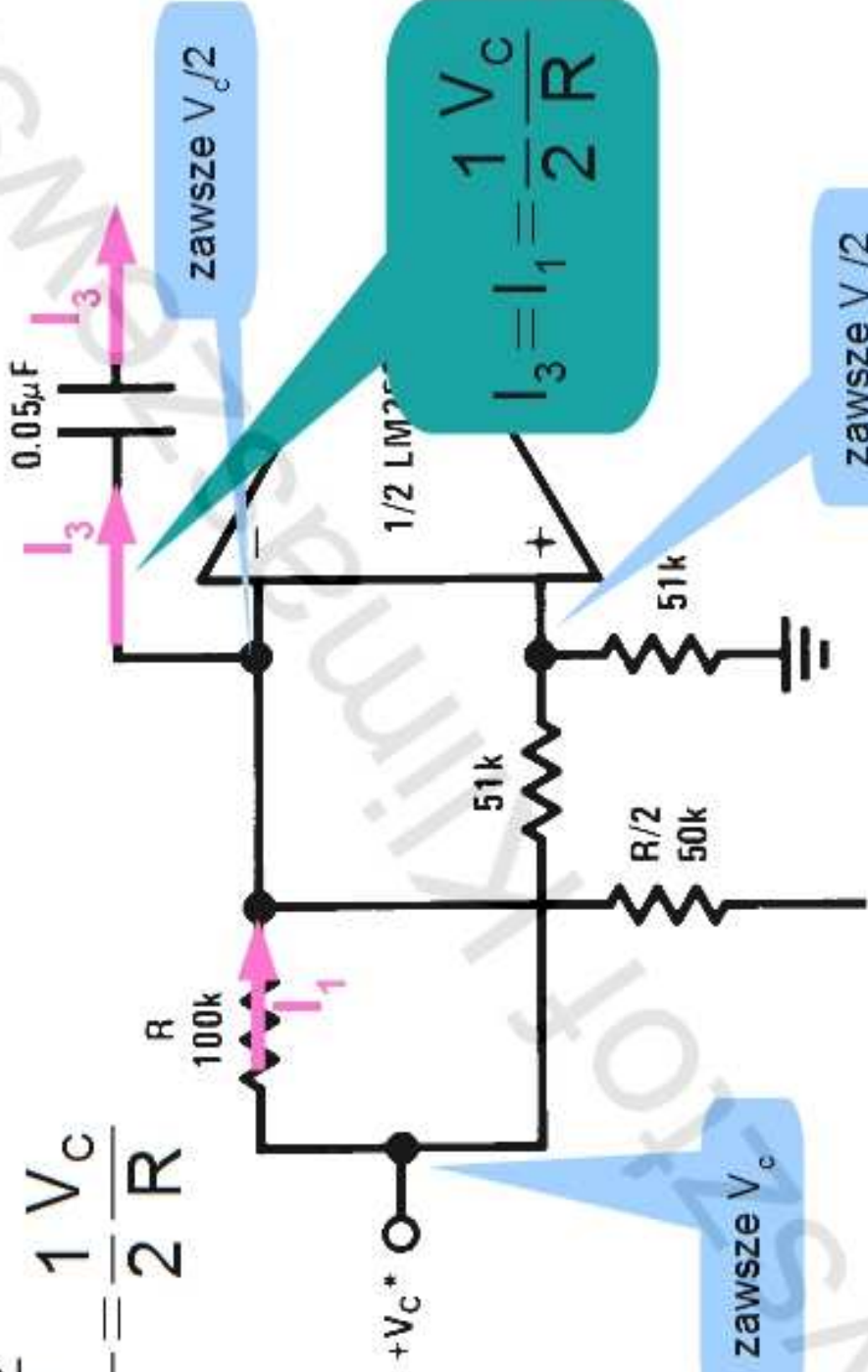
# VCO - przykład

$$I_1 = \frac{V_C}{R} - \frac{V_C}{2R} = \frac{1 V_C}{2R}$$



# VCO - przykład

$$I_1 = \frac{V_C}{R} - \frac{V_C}{2} = \frac{1}{2} \frac{V_C}{R}$$



$$I_2 = 0$$

Tranzystor nie przewodzi





## Inne układy o podobnych funkcjach

- FLL – *Frequency Locked Loop*
- DLL – *Delay Locked Loop* – do uzyskiwania przebiegów o stałym przesunięciu fazowym względem siebie
- DDS – *Direct Digital Synthesis* – bezpośrednia synteza cyfrowa



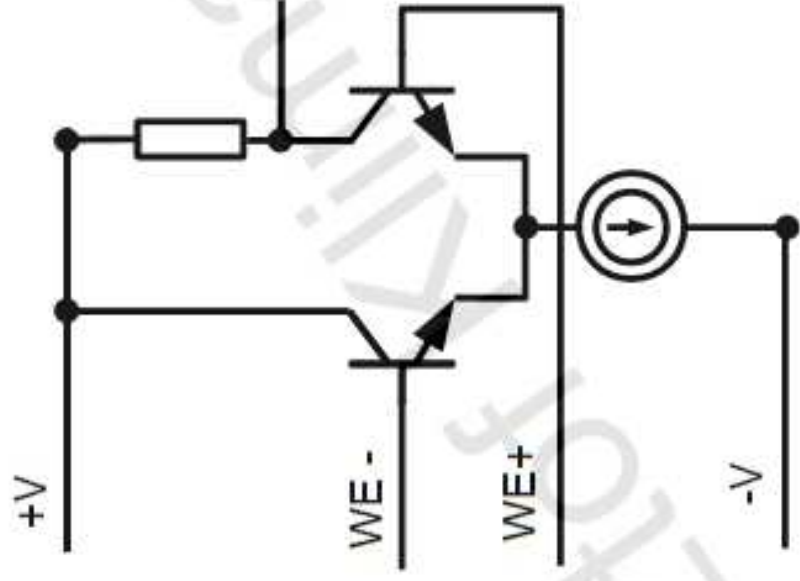
# Analogowe Układy Elektroniczne

Krzysztof Klimaszewski

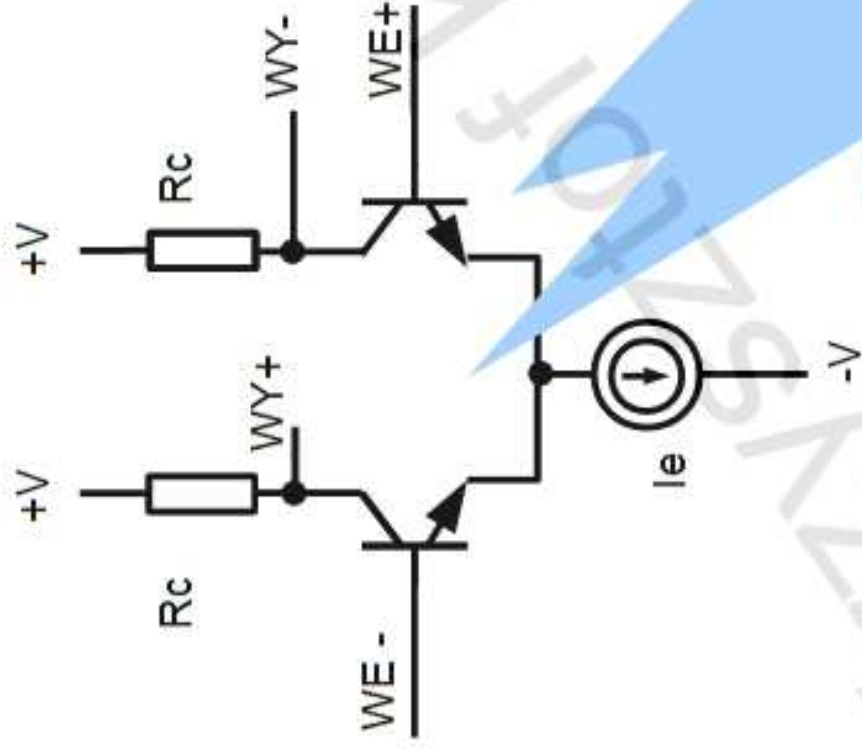
[kklima@et.put.poznan.pl](mailto:kklima@et.put.poznan.pl)

Polanka 3, pokój 118

# Wzmacniacz różnicowy



# Wzmacniacz różnicowy



Identyczne tranzystory  
o tej samej temperaturze

# Wzmacniacz różnicowy

- zasada działania
  - suma prądów kolektora jest stała
  - różnica napięć na wejściach zmienia rozkład prądów
  - wykorzystamy prosty model Shockleya do określenia prądu diody B-E

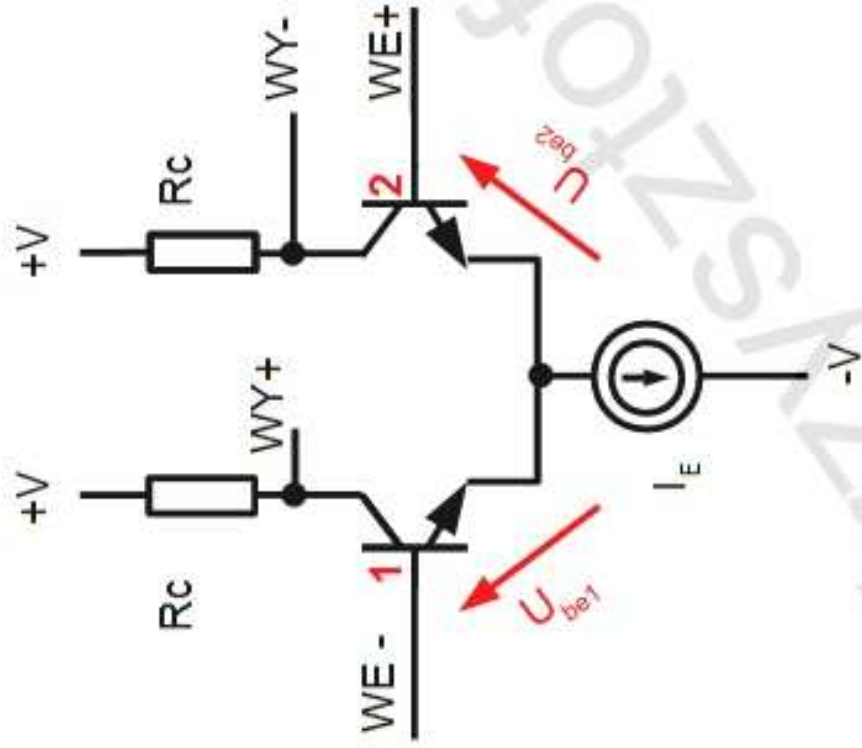
Nie wykorzystujemy tu na razie modelu małosygnałowego tranzystora

# Zachowanie dla dużych sygnałów

$$I_E = I_{E1} + I_{E2}$$

$$I_{E1} = I_S e^{\frac{U_{be1}}{U_T}}$$

$$I_{E2} = I_S e^{\frac{U_{be2}}{U_T}}$$





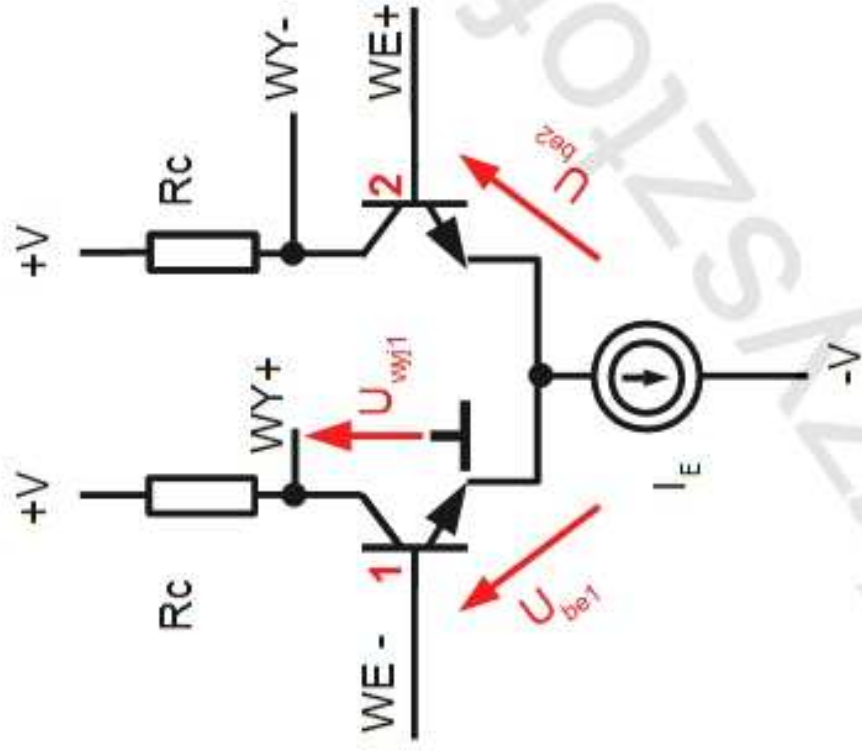
# Zachowanie dla dużych sygnałów

$$I_E = I_{E1} + I_{E2}$$

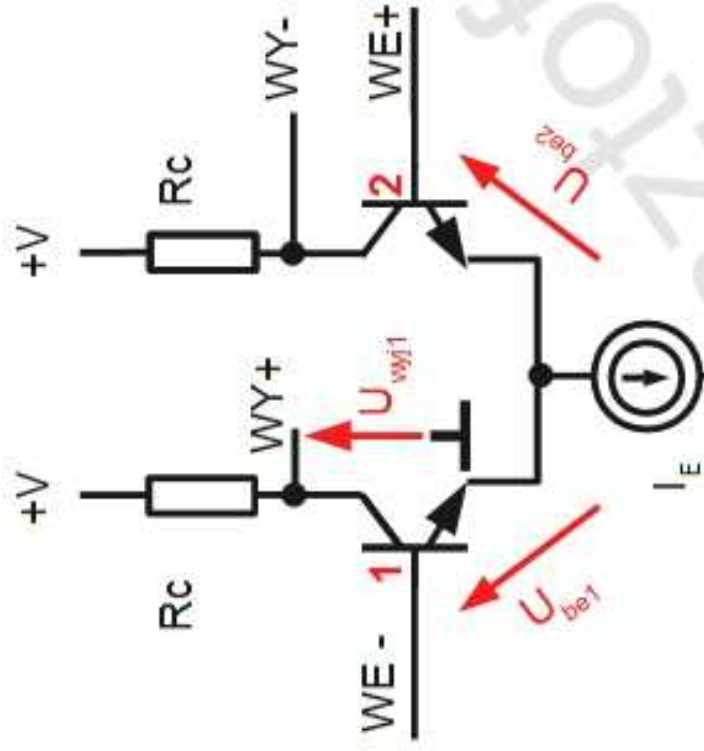
$$I_{E1} = I_S e^{\frac{U_{be1}}{U_T}}$$

$$I_{E2} = I_S e^{\frac{U_{be2}}{U_T}}$$

$$U_{wyj1} = U_{+V} - R_c I_{C1}$$



# Zachowanie dla dużych sygnałów



$$I_E = I_{E1} + I_{E2}$$

$$I_{E1} = I_S e^{\frac{U_{be1}}{U_T}}$$

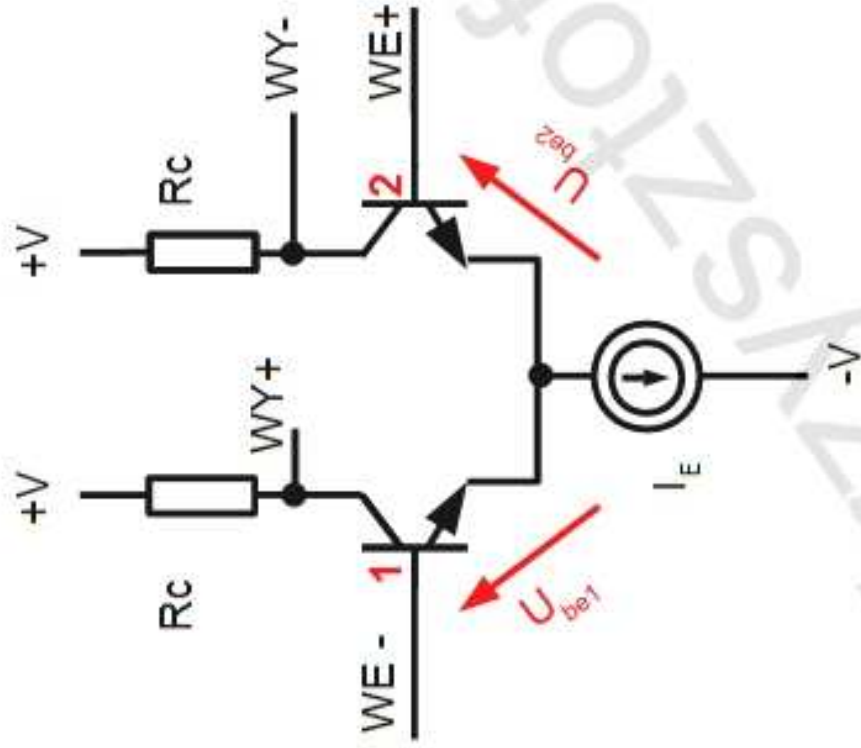
$$I_{E2} = I_S e^{\frac{U_{be2}}{U_T}}$$

$$U_{wyj1} = U_{+V} - R_C I_{C1}$$

$$I_{C1} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E1}$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{\frac{\beta}{\beta + 1} I_S e^{\frac{U_{be1}}{U_T}}}{\frac{\beta}{\beta + 1} I_S e^{\frac{U_{be2}}{U_T}}}$$

# Zachowanie dla dużych sygnałów

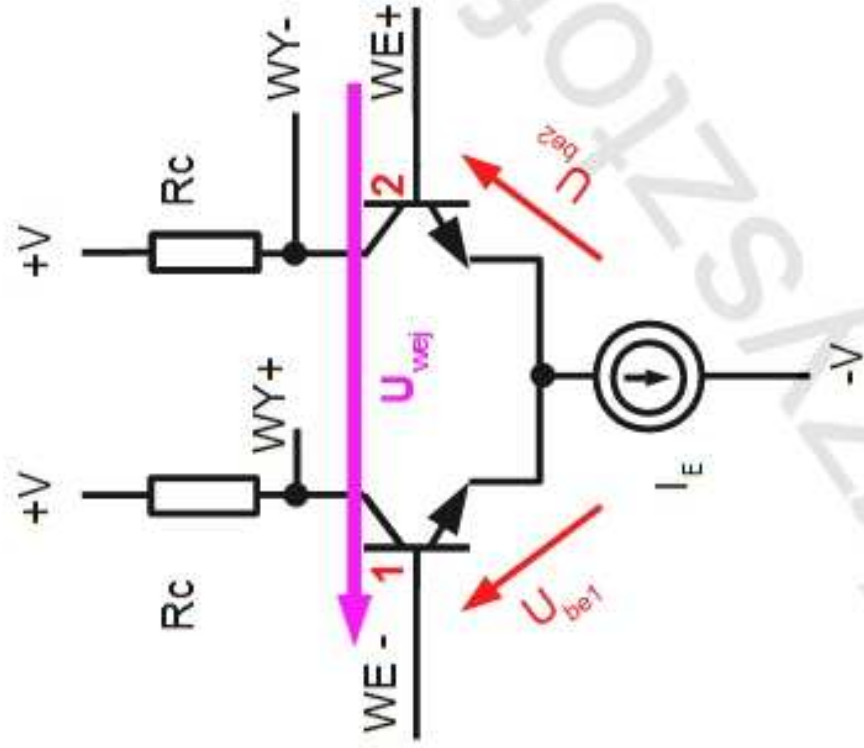


$$I_{C1} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E1}$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{\frac{\beta}{\beta + 1} I_S e^{\frac{U_{be1}}{U_T}}}{\frac{\beta}{\beta + 1} I_S e^{\frac{U_{be2}}{U_T}}}$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} e^{\frac{U_{be1}}{U_T}} = e^{\frac{U_{be1} - U_{be2}}{U_T}}$$

# Zachowanie dla dużych sygnałów



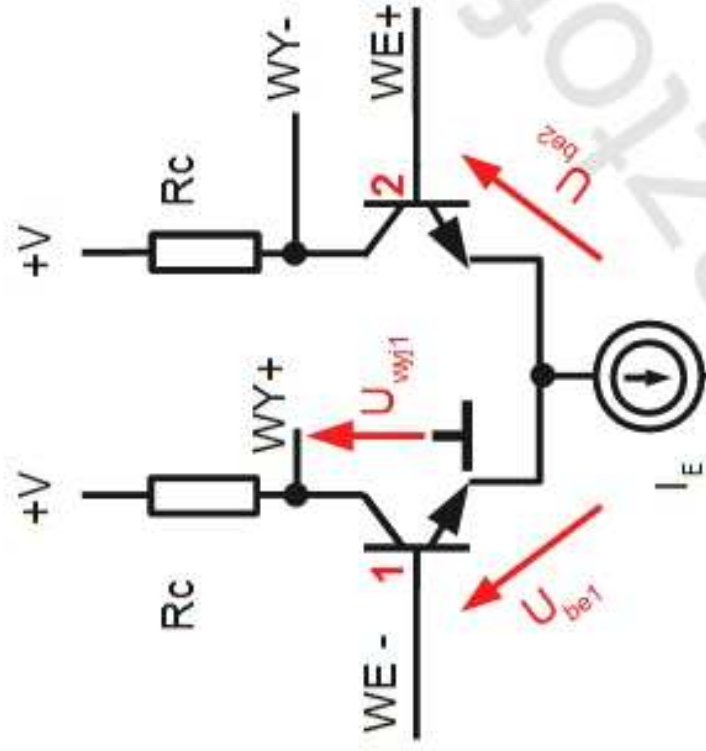
$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = e^{\frac{U_{be1} - U_{be2}}{U_T}} = e^{\frac{U_{wyj}}{U_T}}$$

$$I_{C1} + I_{C2} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E$$

$$I_{C1} e^{\frac{U_{wyj}}{U_T}} + I_{C1} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E$$

$$I_{C1} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E \frac{1}{1 + e^{-\frac{U_{wyj}}{U_T}}}$$

# Zachowanie dla dużych sygnałów



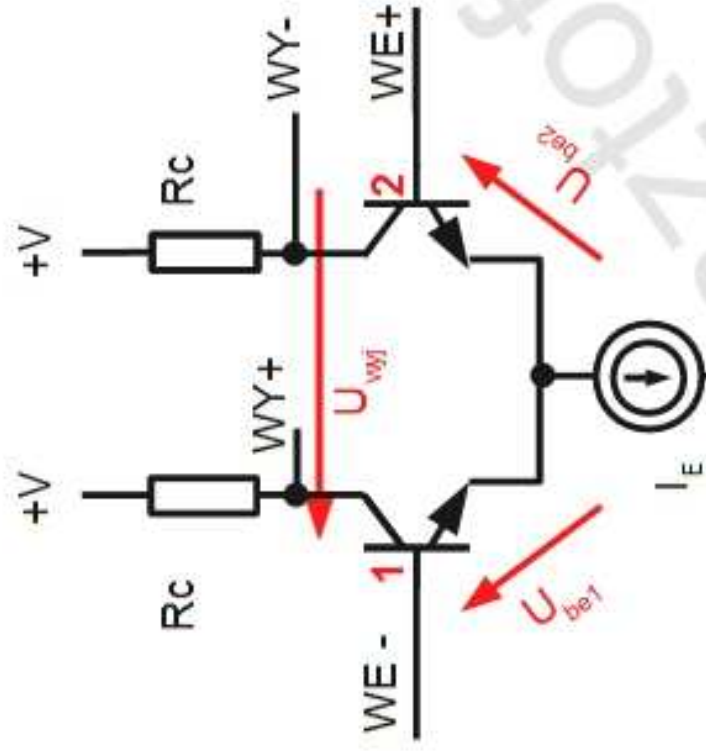
$$I_{CI} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E \frac{1}{1 + e^{-\frac{U_{wyj}}{U_T}}}$$

$$U_{wyj1} = U_{+V} - \frac{\beta}{\beta + 1} I_E R_C \frac{1}{1 + e^{-\frac{U_{wyj}}{U_T}}}$$

$$U_{wyj2} = U_{+V} - \frac{\beta}{\beta + 1} I_E R_C \frac{1}{1 + e^{-\frac{U_{wyj}}{U_T}}}$$



# Zachowanie dla dużych sygnałów



$$U_{wyj1} = U_{+V} - \frac{\beta}{\beta + 1} I_E R_c - \frac{1}{1 + e^{-\frac{U_{wyj}}{U_T}}}$$

$$U_{wyj2} = U_{+V} - \frac{\beta}{\beta + 1} I_E R_c - \frac{1}{1 + e^{\frac{U_{wyj}}{U_T}}}$$

$$U_{wyj} = U_{wyj1} - U_{wyj2}$$

# Zachowanie dla dużych sygnałów

$$U_{wyj} = U_{+V^-} \frac{\beta}{\beta+1} I_E R_C \frac{1}{1+e^{-\frac{U_{wej}}{U_T}}} - U_{+V^-} \frac{\beta}{\beta+1} I_E R_C \frac{1}{1+e^{\frac{U_{wej}}{U_T}}}$$

$$U_{wyj} = \frac{-\beta}{\beta+1} I_E R_C \left( \frac{1}{1+e^{-\frac{U_{wej}}{U_T}}} - \frac{1}{1+e^{\frac{U_{wej}}{U_T}}} \right)$$

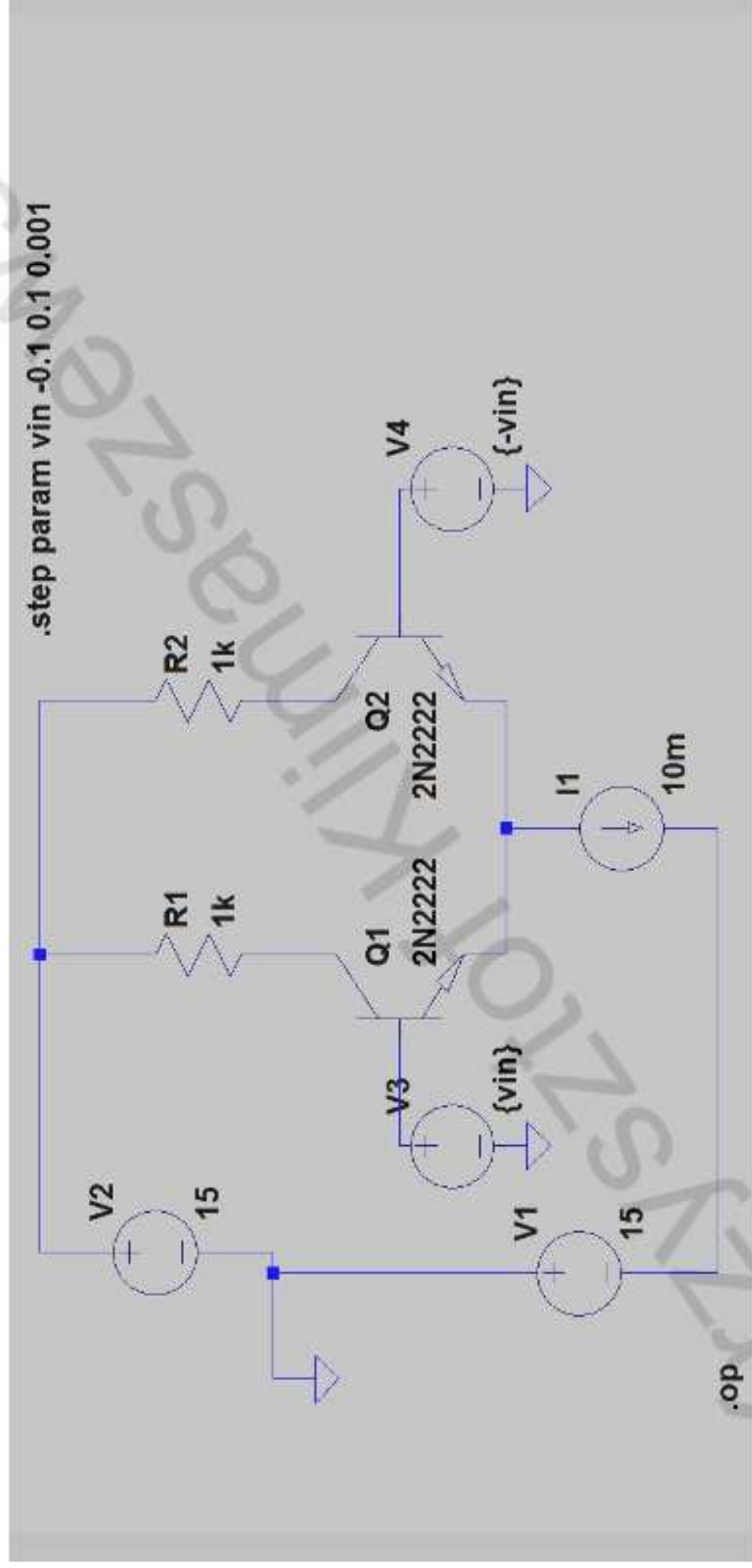
$$\frac{1}{1+e^{-\frac{U_{wej}}{U_T}}} - \frac{1}{1+e^{\frac{U_{wej}}{U_T}}} = \frac{1}{1+e^{-\frac{U_{wej}}{U_T}}} \left( \frac{U_{wej}}{2U_T} e^{\frac{U_{wej}}{2U_T}} - \frac{U_{wej}}{2U_T} e^{-\frac{U_{wej}}{2U_T}} \right) = \frac{U_{wej}}{2U_T} \left( e^{\frac{U_{wej}}{2U_T}} - e^{-\frac{U_{wej}}{2U_T}} \right)$$

$$= \frac{e^{\frac{U_{wej}}{2U_T}} - e^{-\frac{U_{wej}}{2U_T}}}{e^{\frac{U_{wej}}{2U_T}} + e^{-\frac{U_{wej}}{2U_T}}} = \tanh \left( \frac{U_{wej}}{2U_T} \right)$$

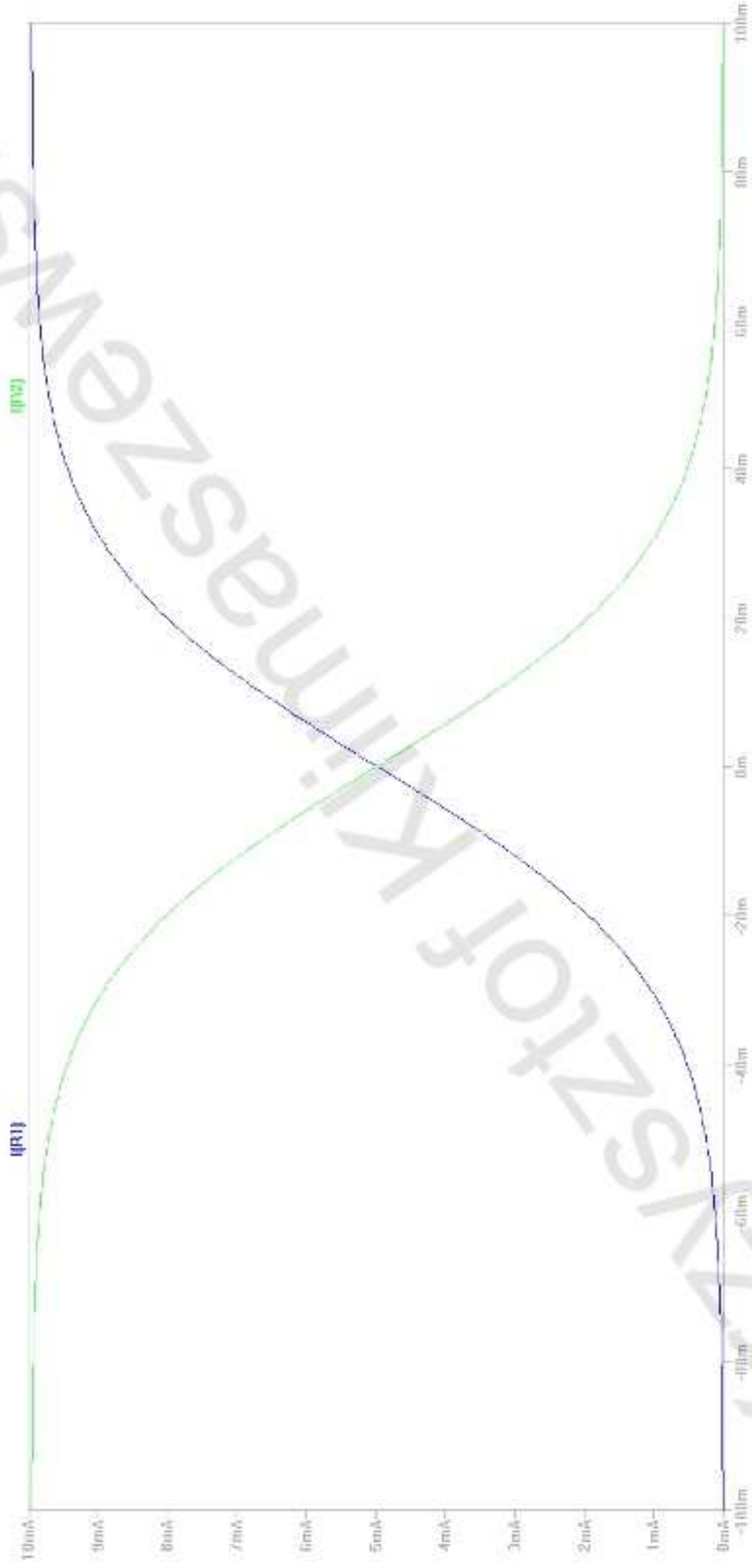
## Zachowanie dla dużych sygnałów

$$U_{wy} = \frac{-\beta}{\beta + 1} I_E R_C \tanh\left(\frac{U_{wej}}{2 \cdot U_T}\right)$$

# Wzmacniacz różnicowy



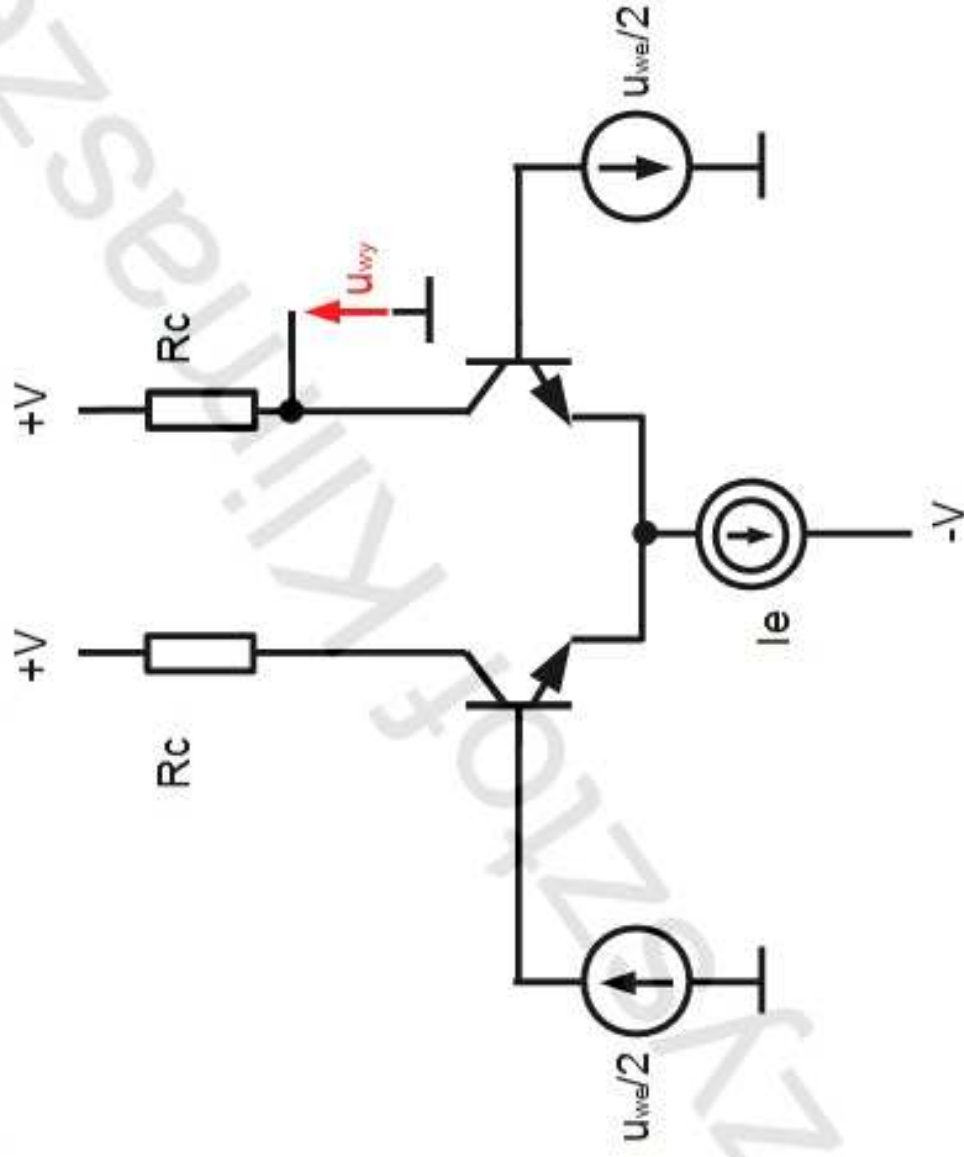
# Wzmacniacz różnicowy





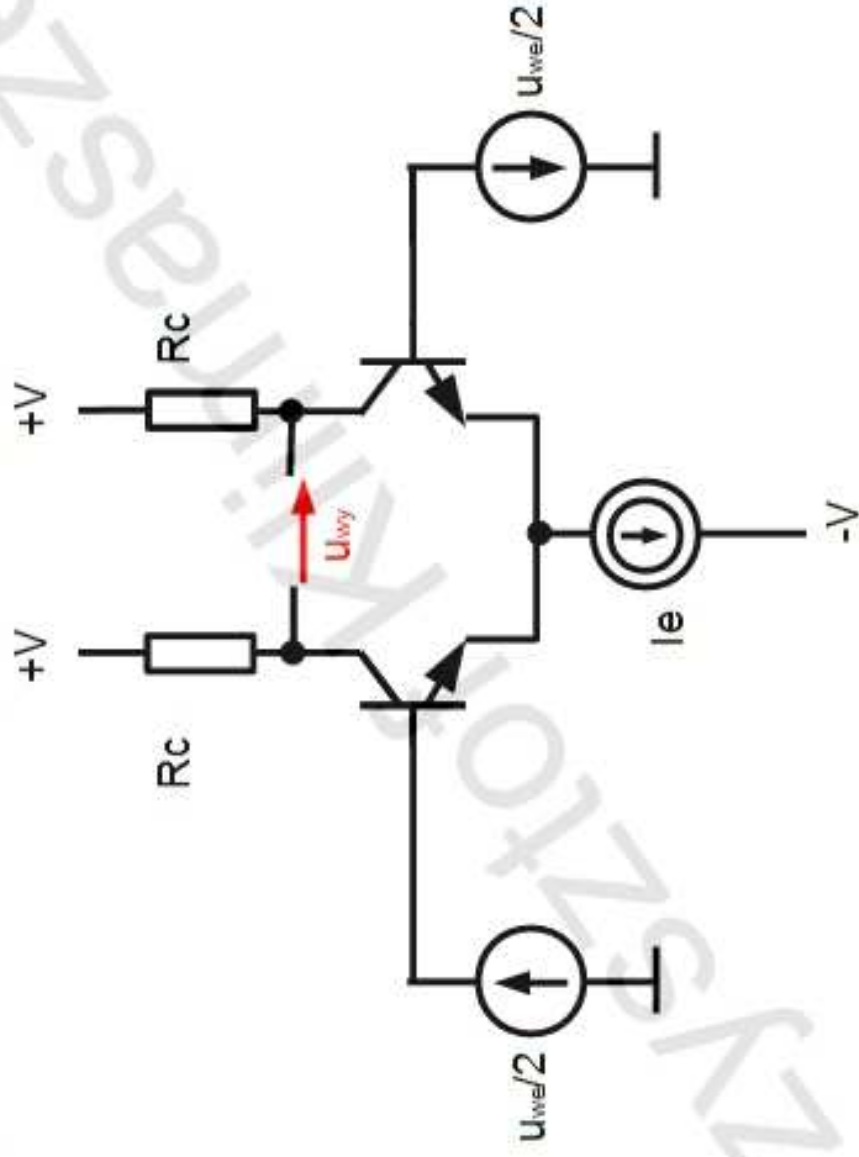
# Wzmacniacz różnicowy

- Przypadek 1 – wyjście niesymetryczne



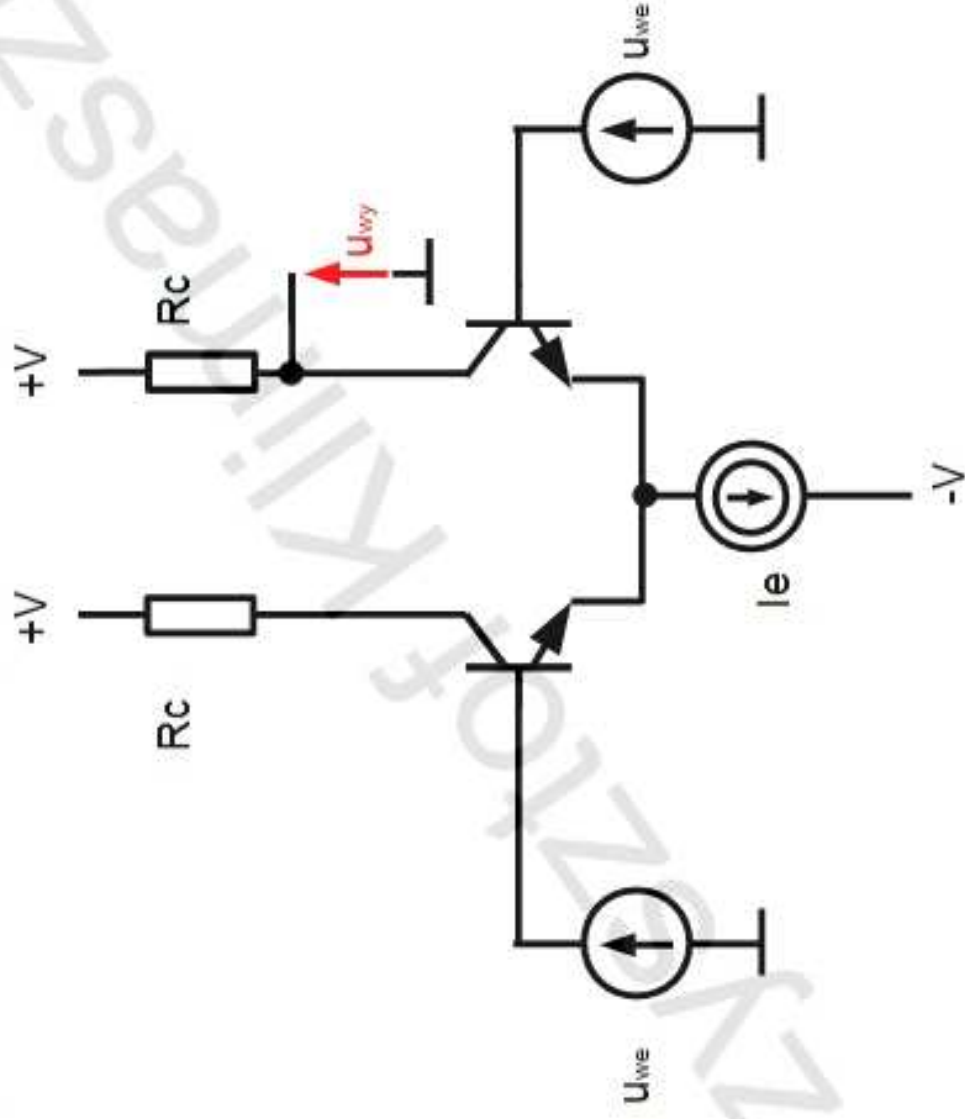
# Wzmacniacz różnicowy

- Przypadek 1 – wyjście symetryczne



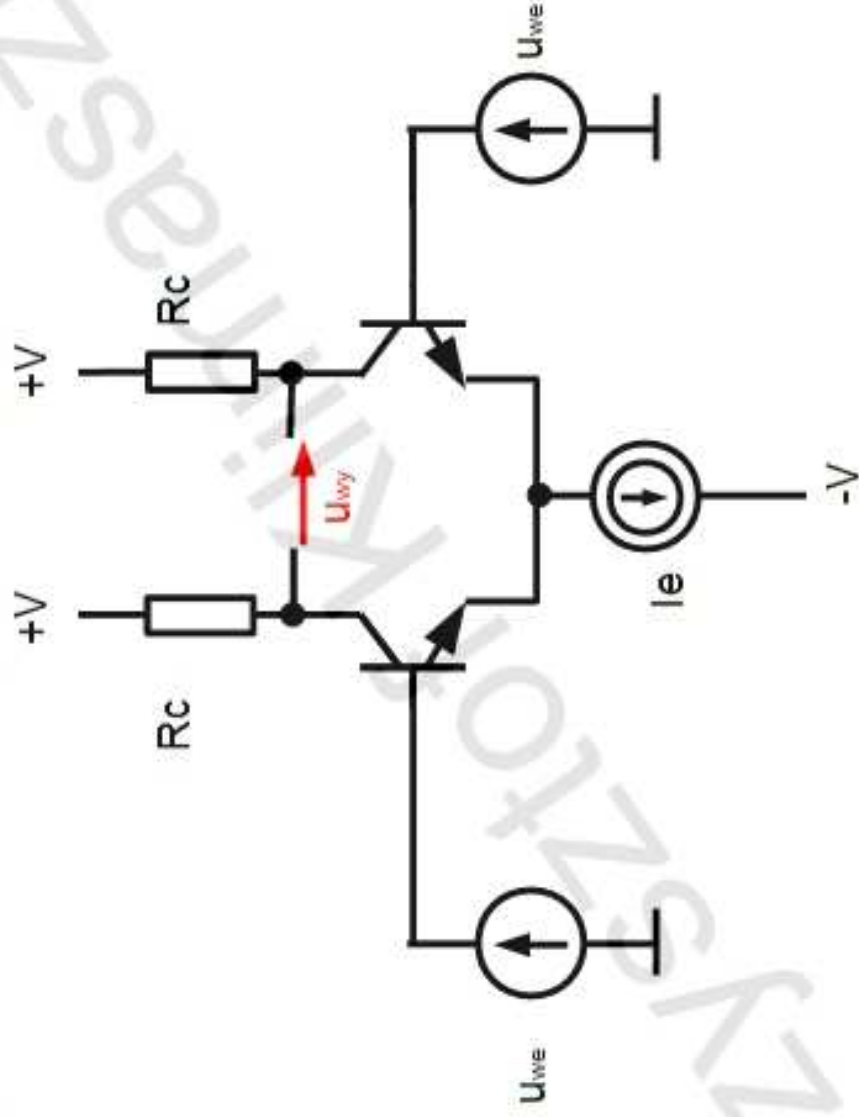
# Wzmacniacz różnicowy

- Przypadek 2 – wyjście niesymetryczne



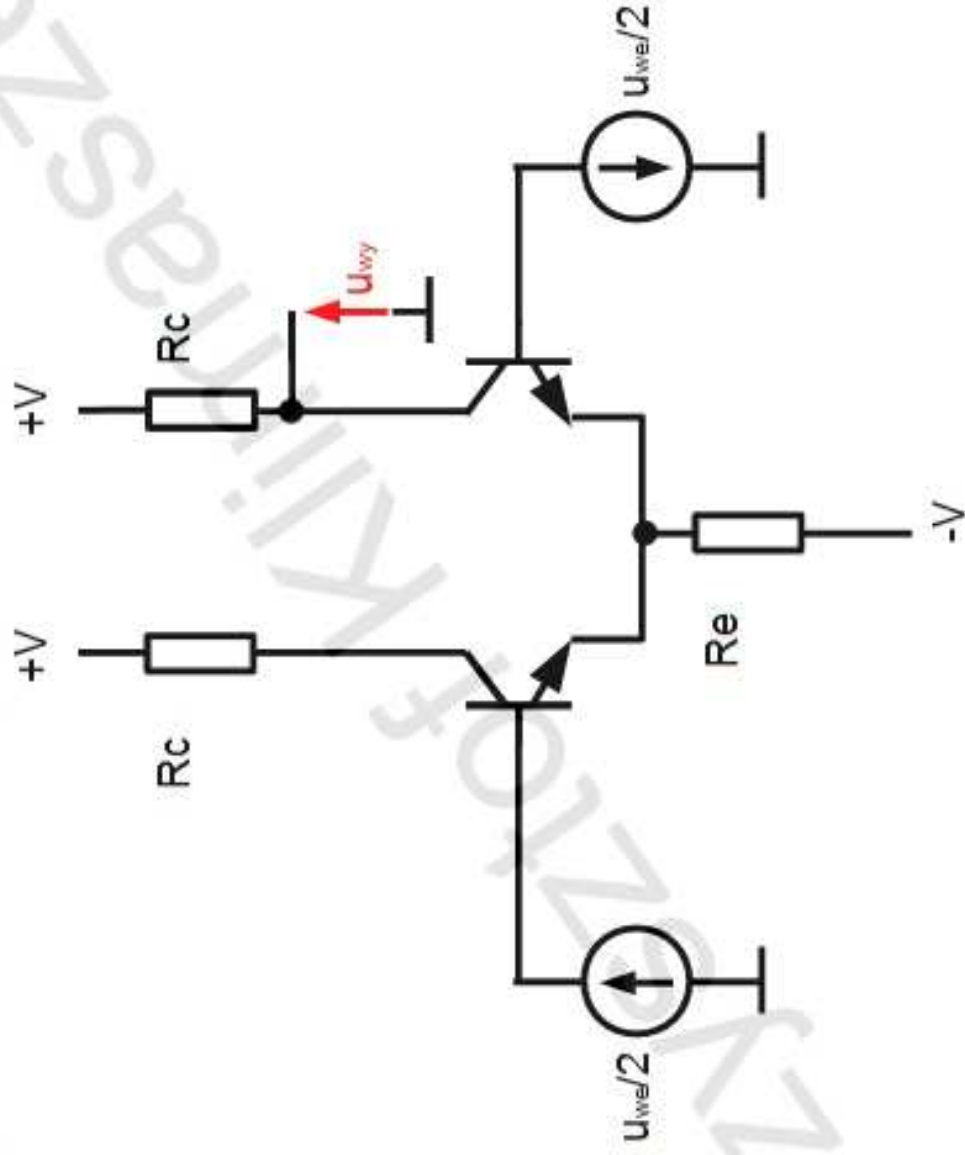
# Wzmacniacz różnicowy

- Przypadek 2 – wyjście symetryczne



# Wzmacniacz różnicowy

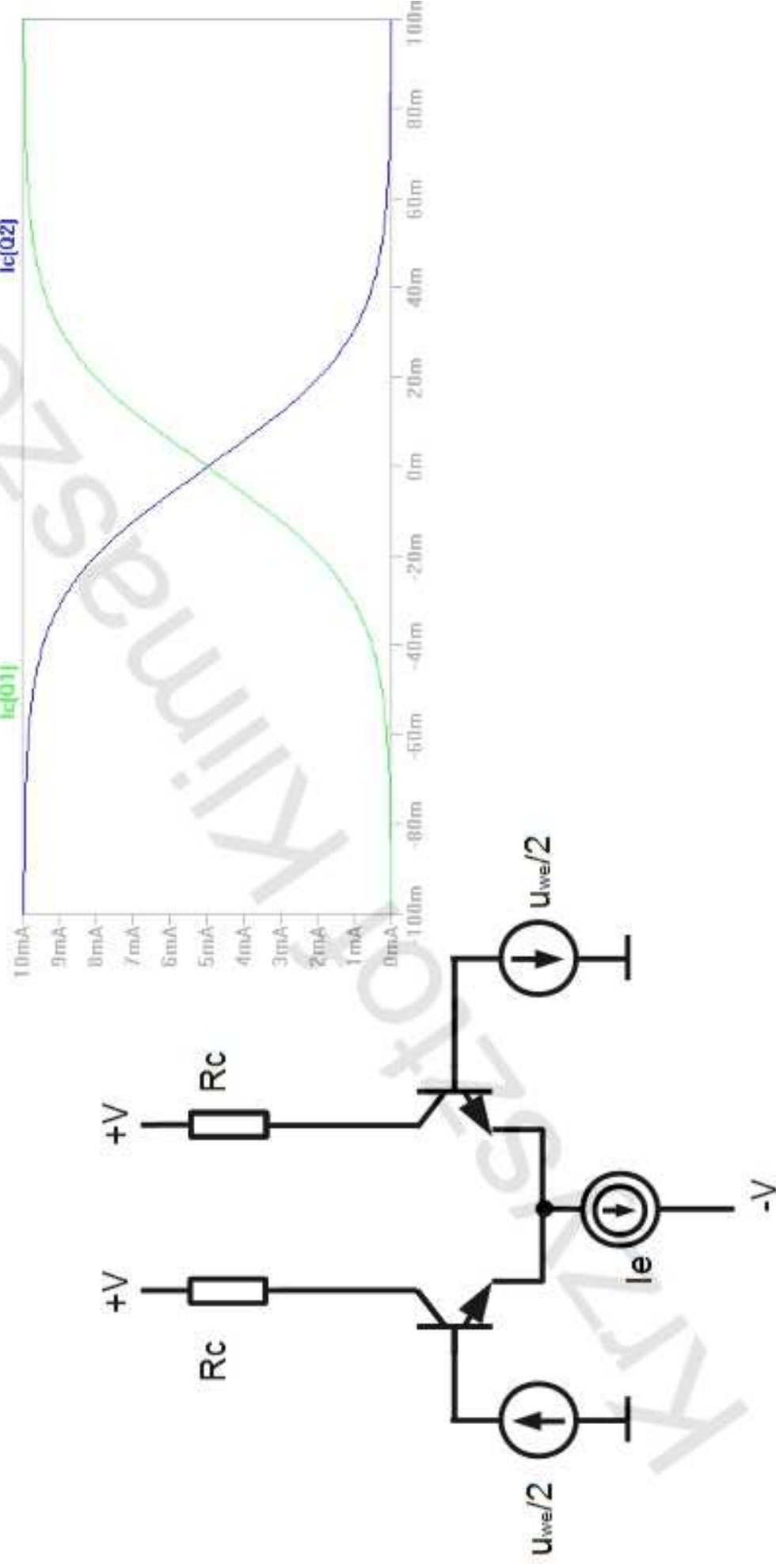
- Przypadek 3 – wyjście niesymetryczne





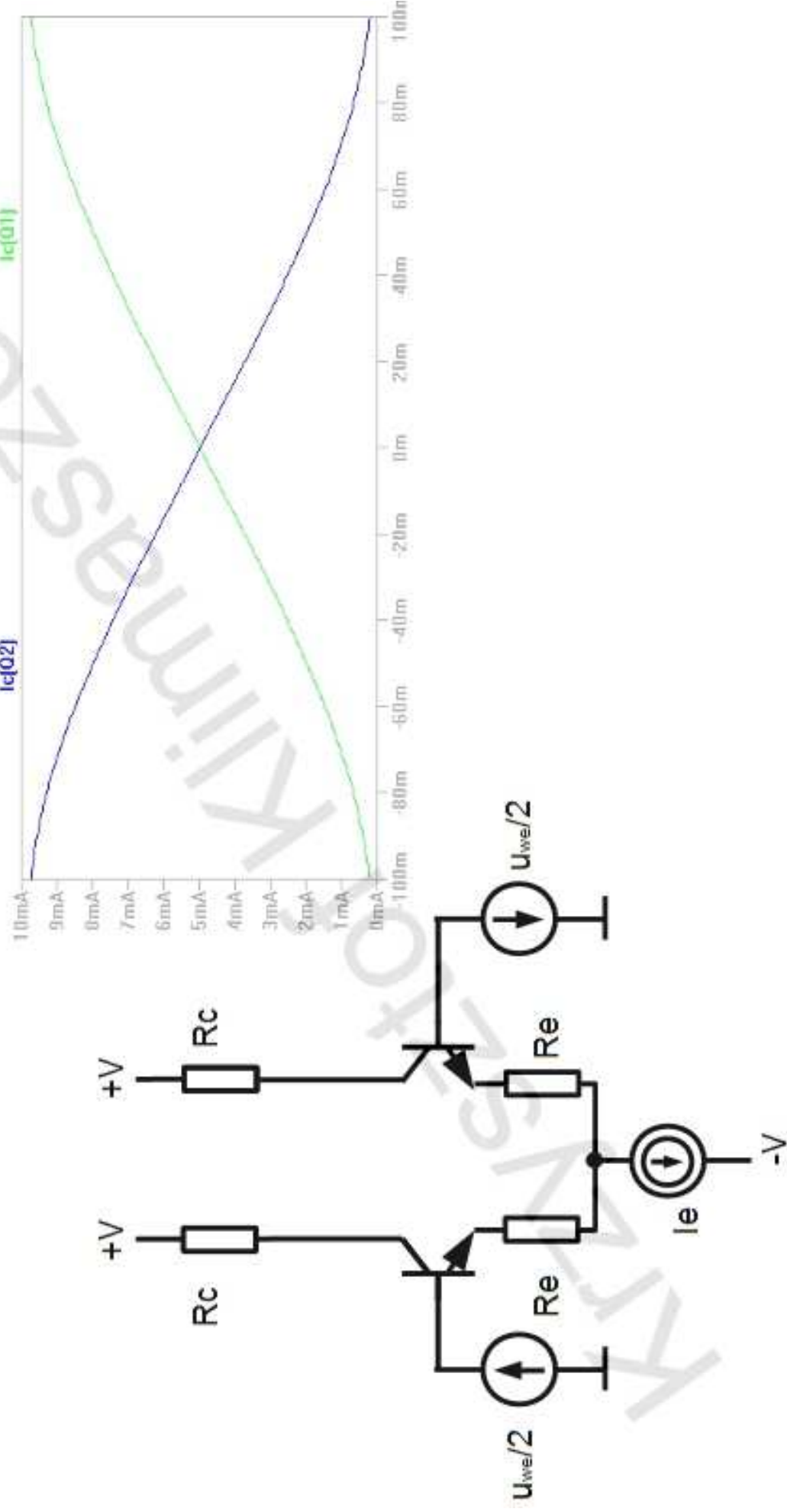
# Wzmacniacz różnicowy

- Jak poprawić liniowość?



# Wzmacniacz różnicowy

- Jak poprawić liniowość?

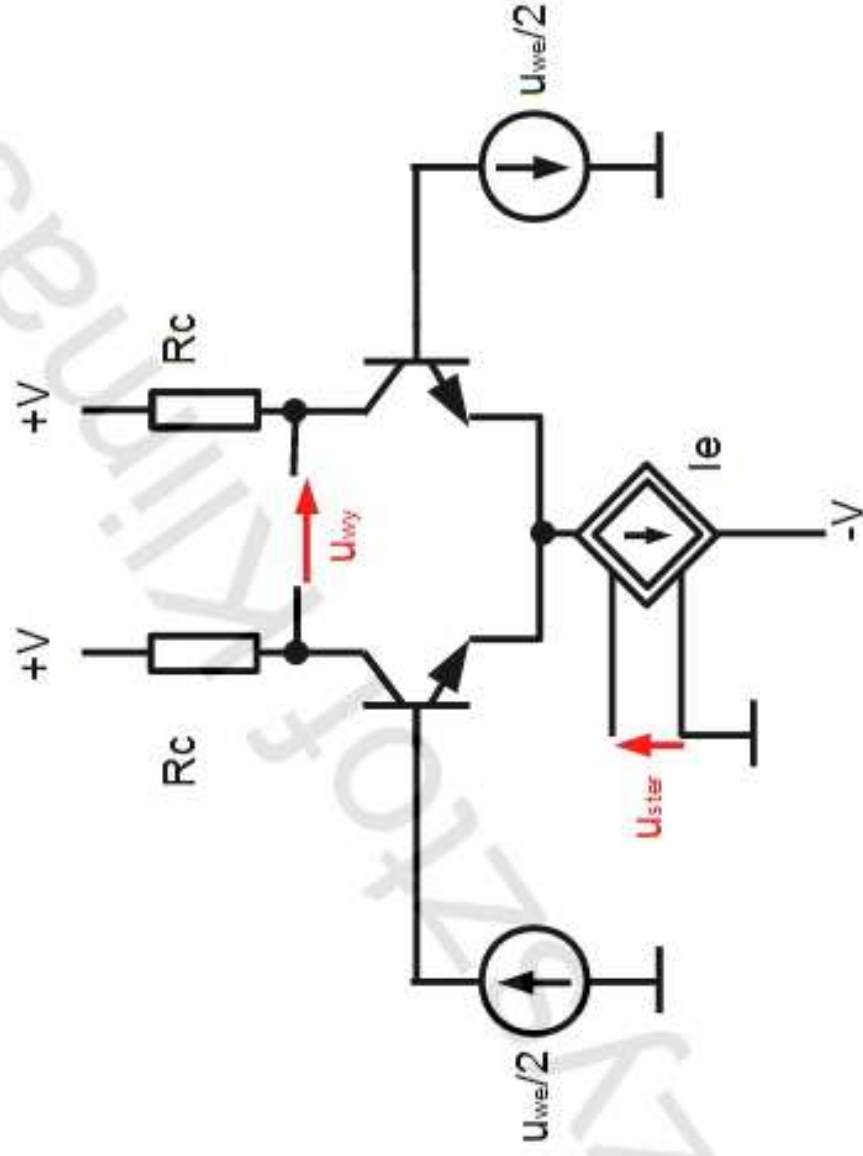


# Tranzystory

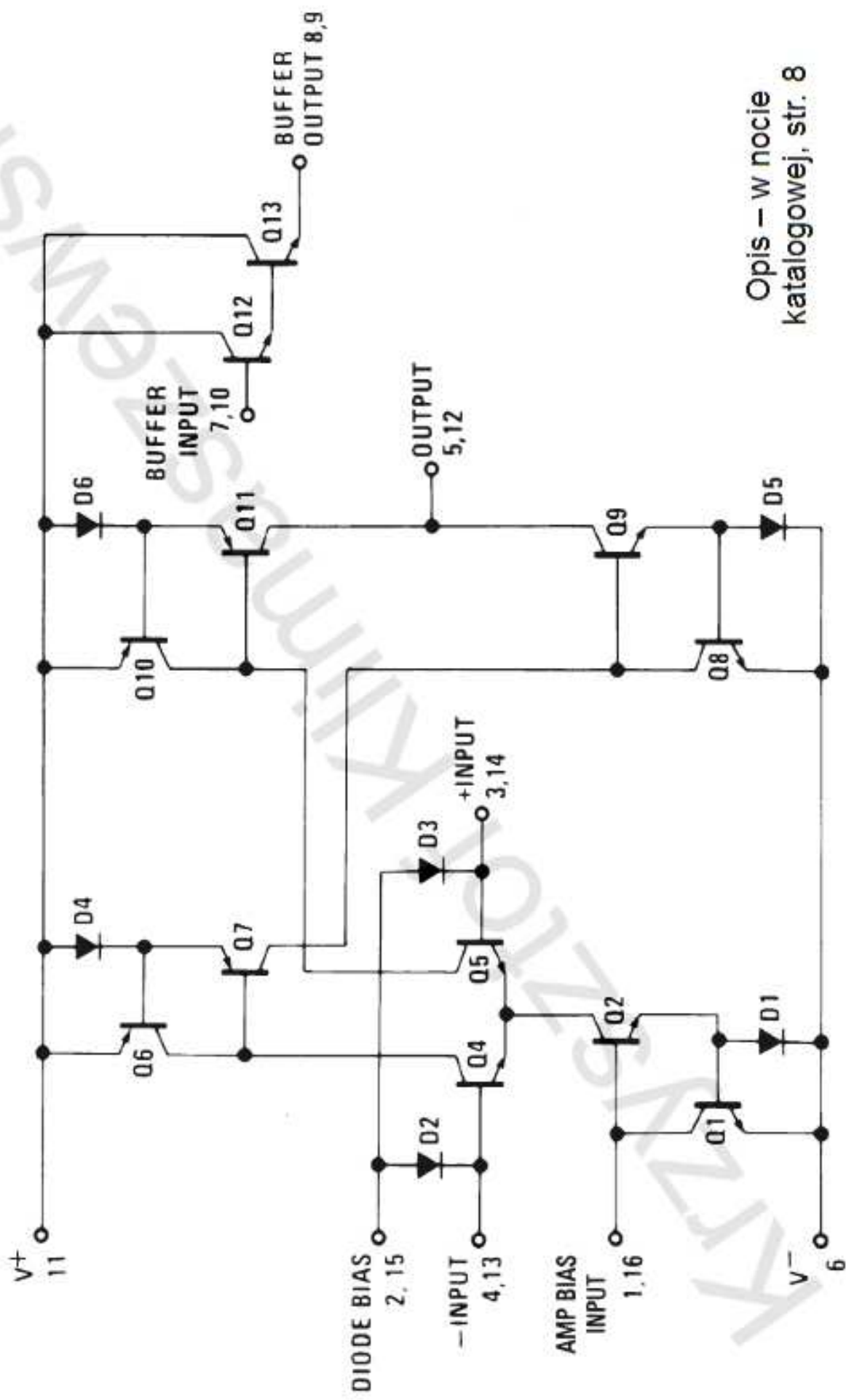
- Do poprawnej pracy pary różnicowej potrzebne są tranzystory o jak najbardziej zbliżonych parametrach
- Łatwiej o te same parametry, jeśli tranzystory są wykonywane na tej samej płycie krzemowej
- tzw. matryce tranzystorów

# Regulacja wzmocnienia

- Można regulować wzmocnienie pary różnicowej poprzez zmianę prądu źródła prądowego



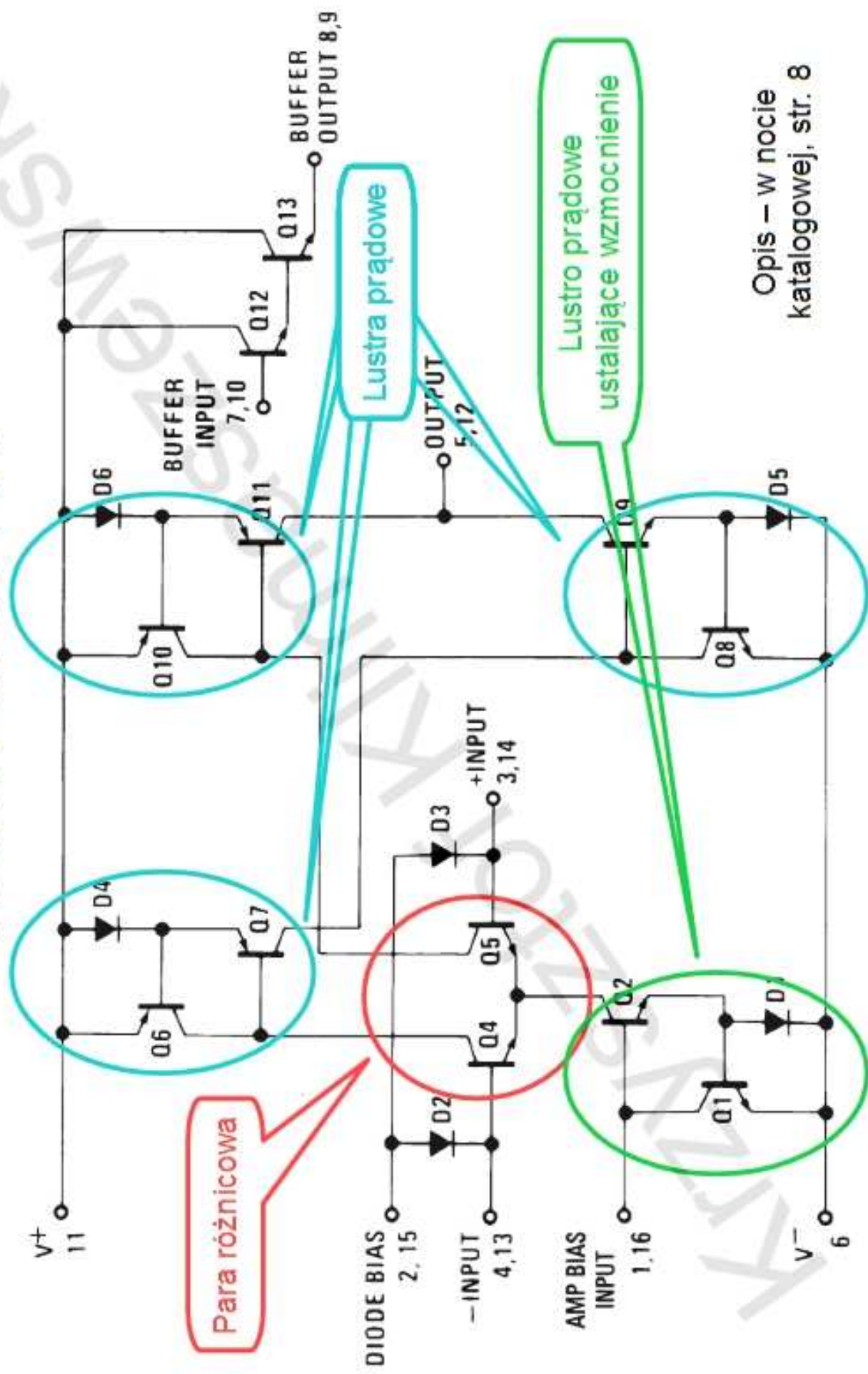
# Układ LM13700



Opis – w nocie katalogowej, str. 8



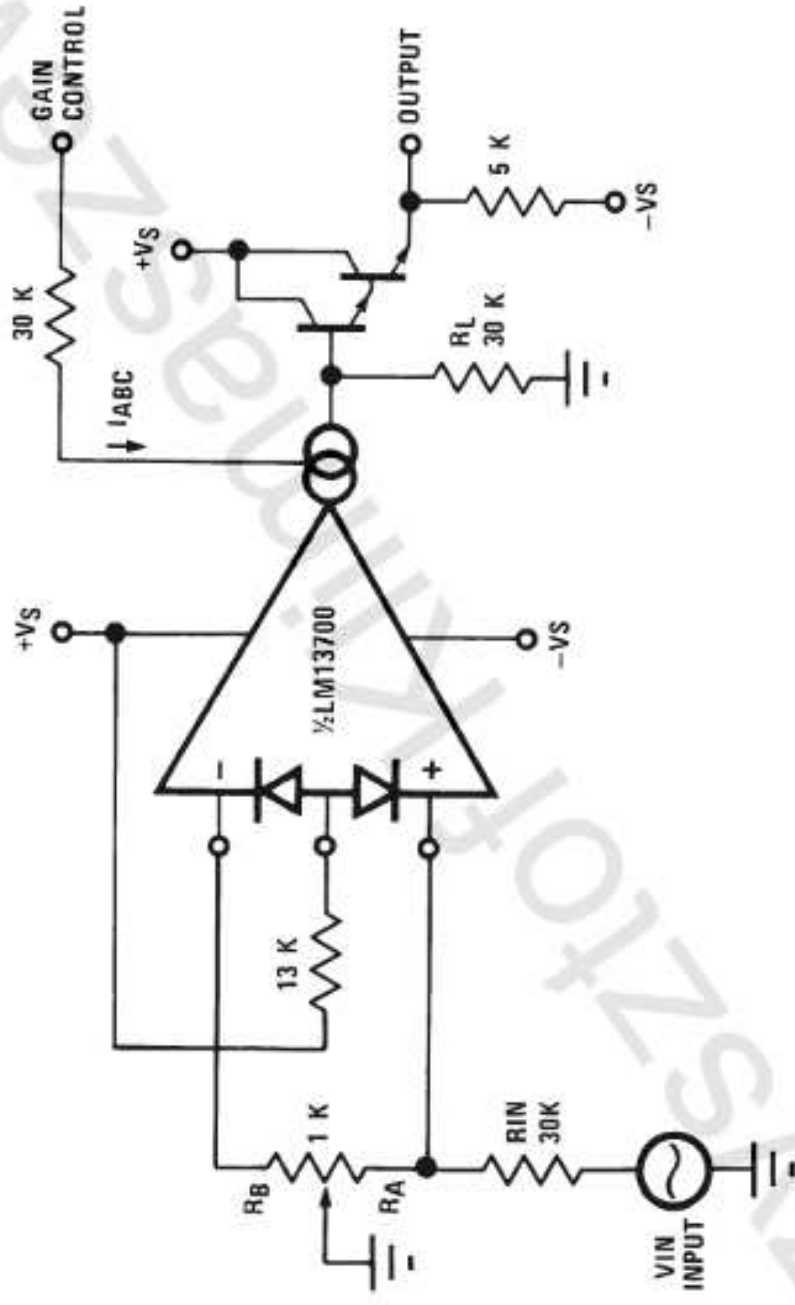
# Układ LM13700



Opis – w nocie katalogowej, str. 8



# Układ LM13700



00798109

FIGURE 2. Voltage Controlled Amplifier

## Użycie JFET-ów

- Zamiast tranzystorów bipolarnych z powodzeniem można użyć JFET-ów
  - na przykład wzmacniacze TL081 / TL082 / TL084
  - Znacznie większa rezystancja wejściowa

# Użycie MOSFET-ów

- Współcześnie większość wzmacniaczy wykorzystuje MOSFET-y
- jeszcze większa rezystancja wejściowa
- prądy polaryzacji typowo rzędu pA, a w precyzyjnych wykonaniach – fA (np. LMP7721)

**Wzmacniacze wielostopniowe**

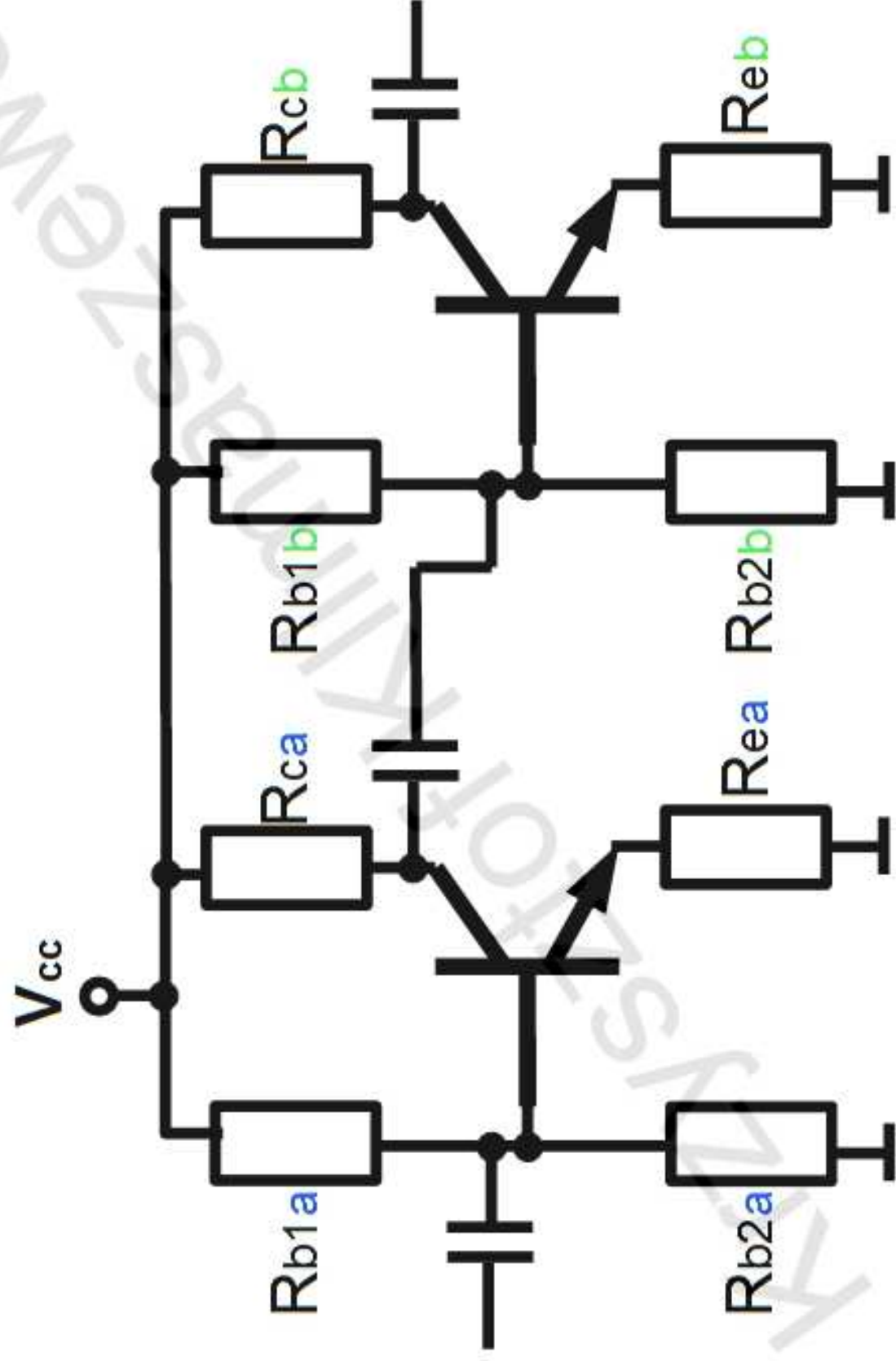
Wzmacniacze wielostopniowe

## Wzmacniacze wielostopniowe

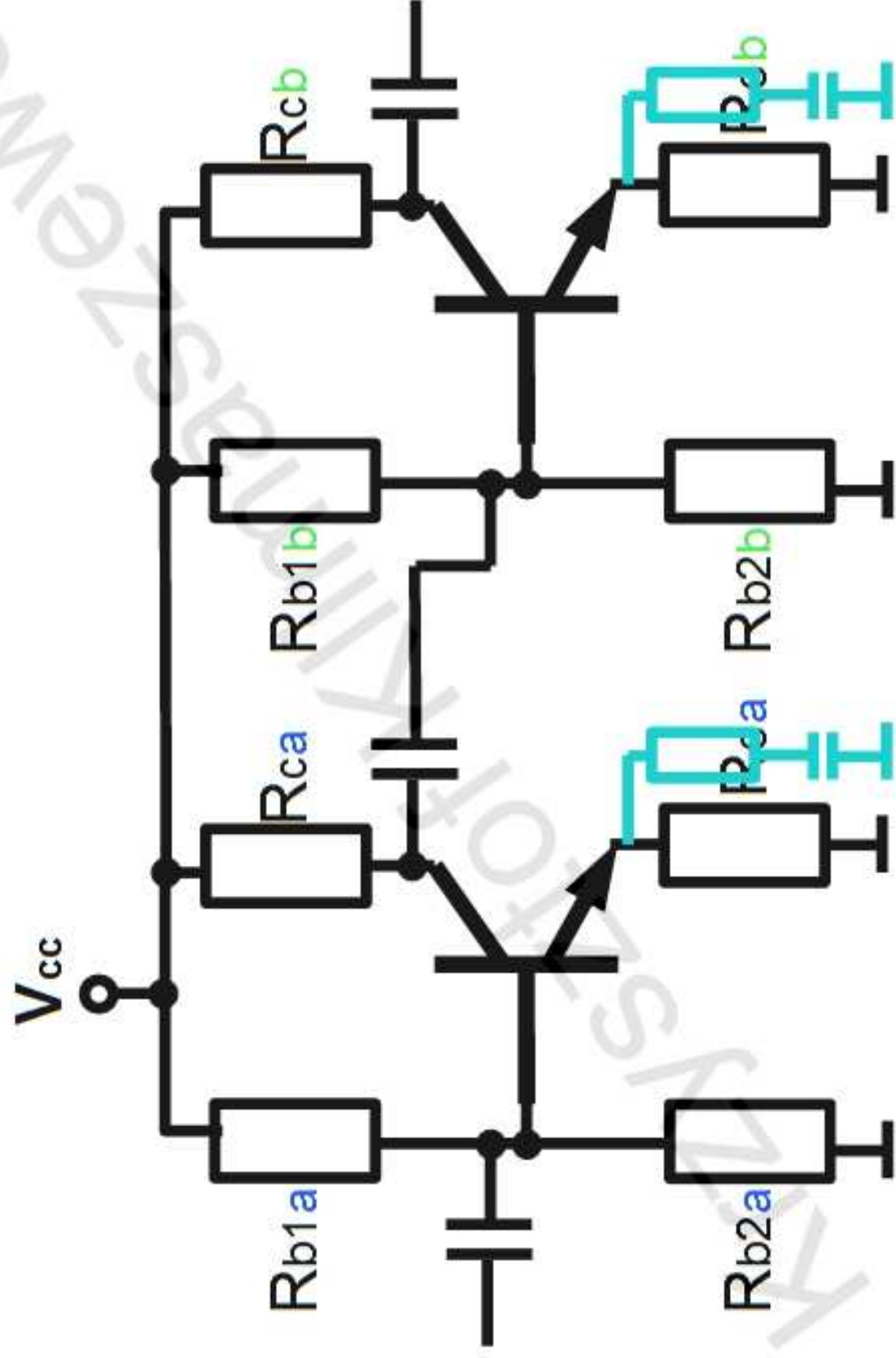
- Wzmacniacz na 1 tranzystorze może z reguły dostarczyć wzmocnienia rzędu najwyżej kilkuset razy
- Jeśli potrzebne jest większe wzmocnienie – trzeba użyć kilku stopni wzmacniających



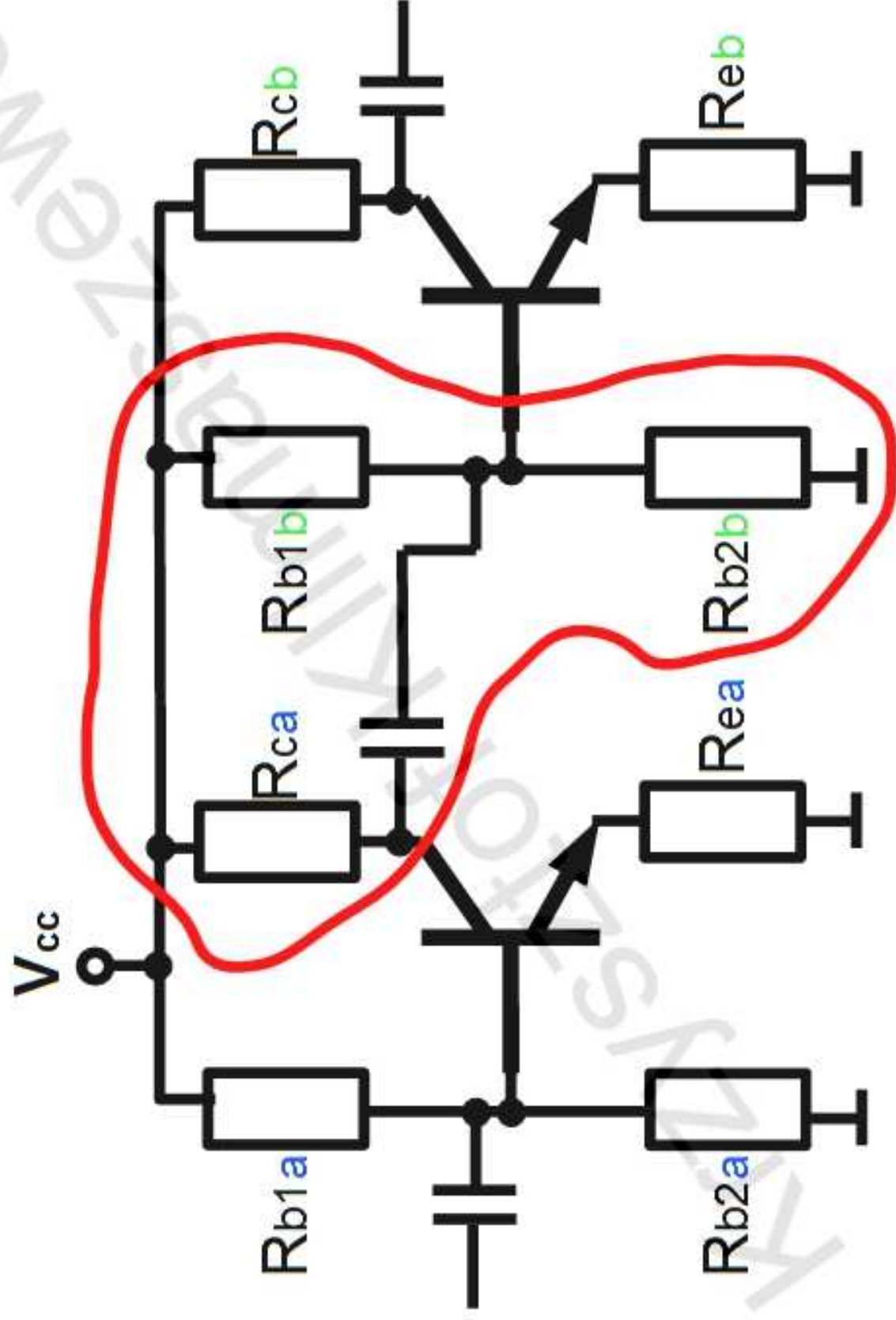
# Łączenie stopni wzmacniaczy



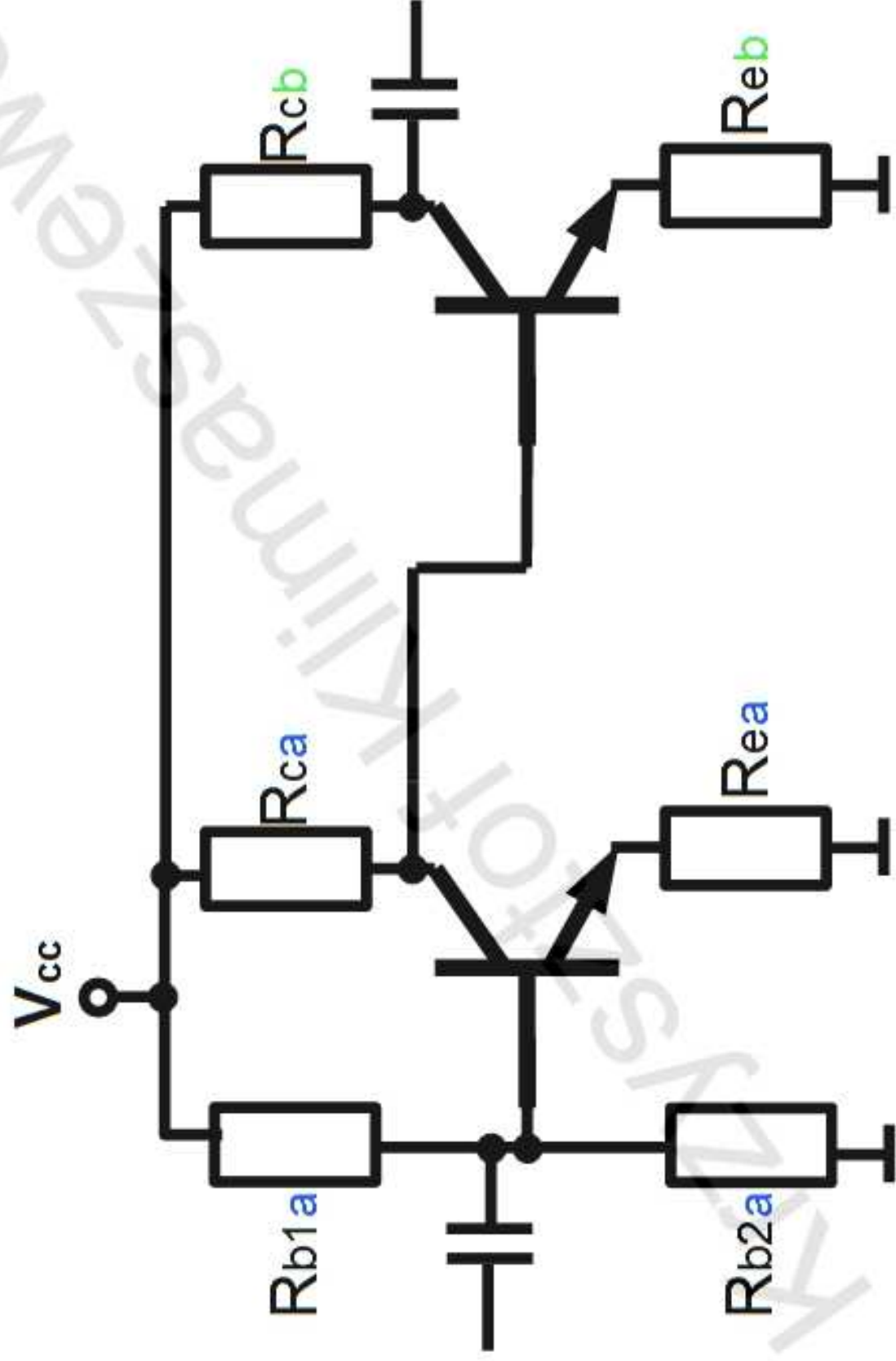
# Łączenie stopni wzmacniaczy



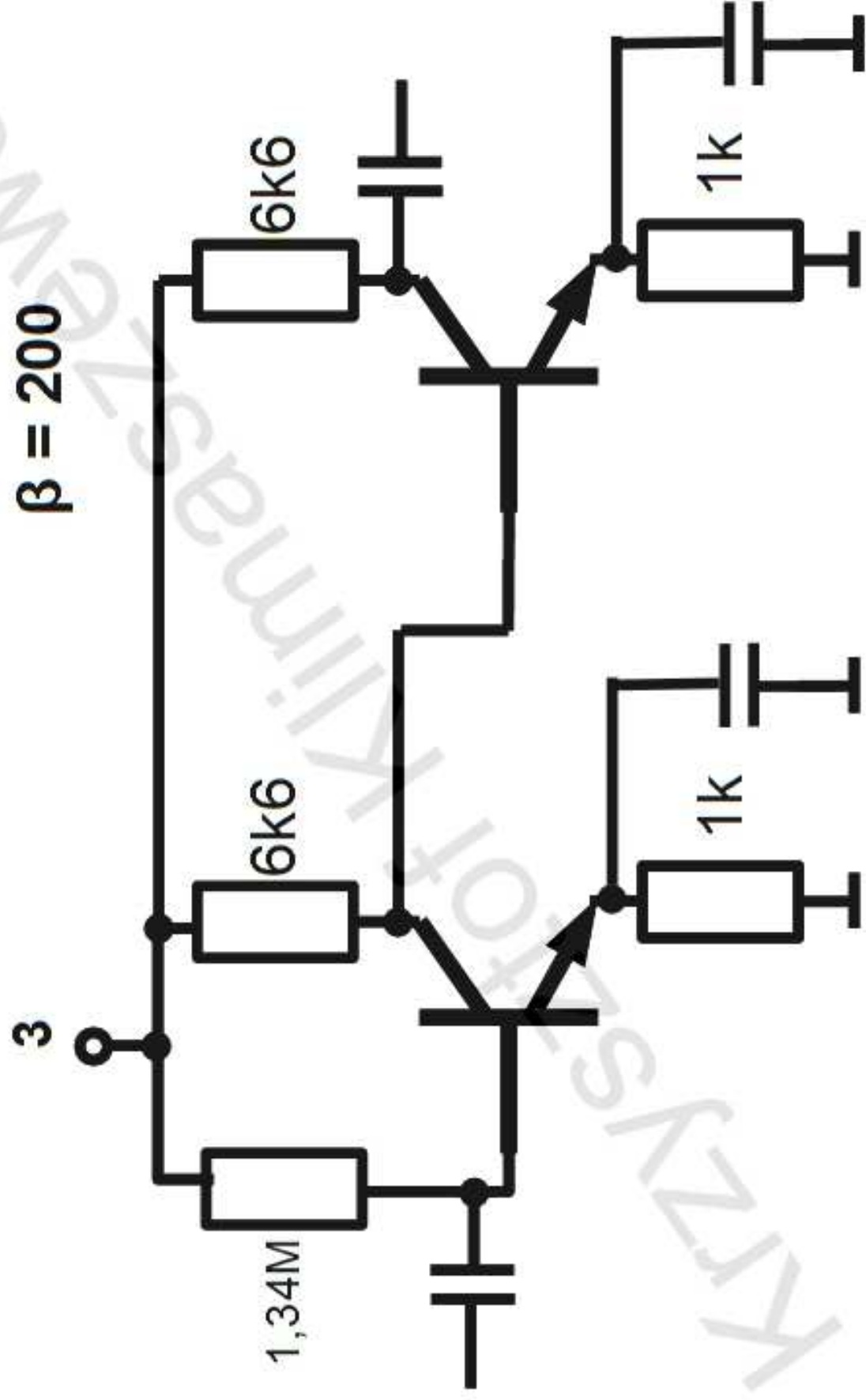
# Łączenie stopni wzmacniaczy



# Łączenie stopni wzmacniaczy

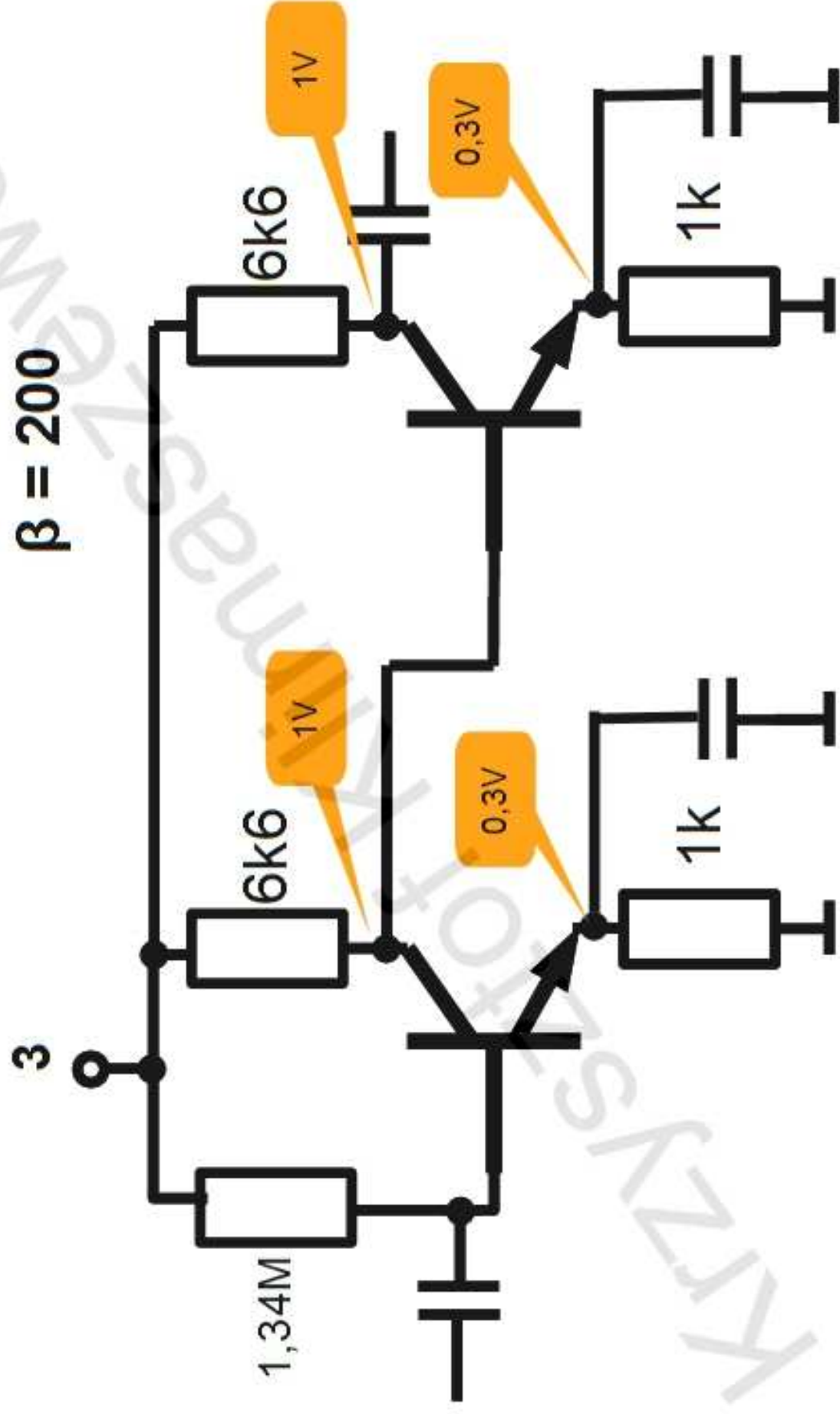


# Łączenie stopni wzmacniaczy

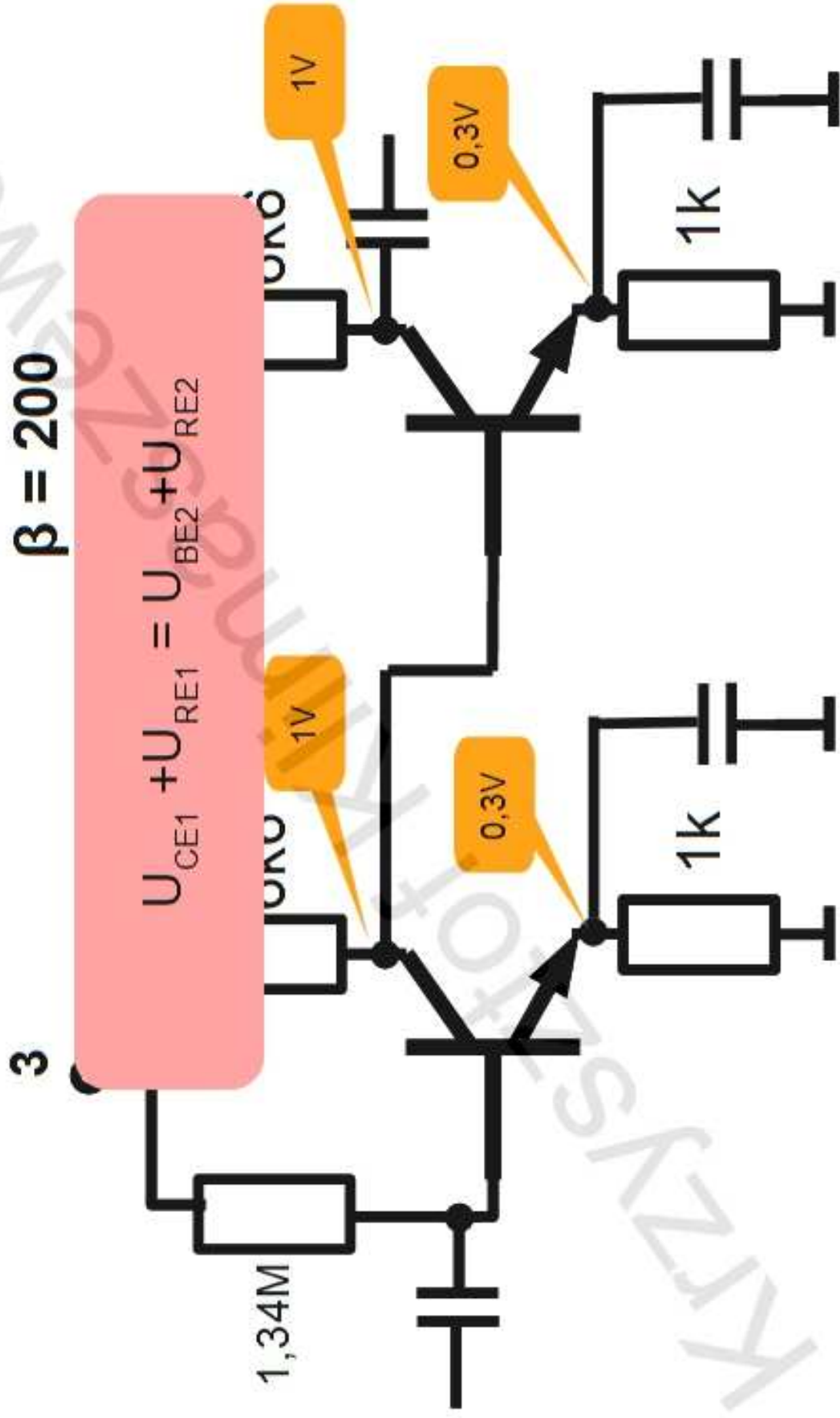




# Łączenie stopni wzmacniaczy



# Łączenie stopni wzmacniaczy



# Łączenie stopni wzmacniaczy

3

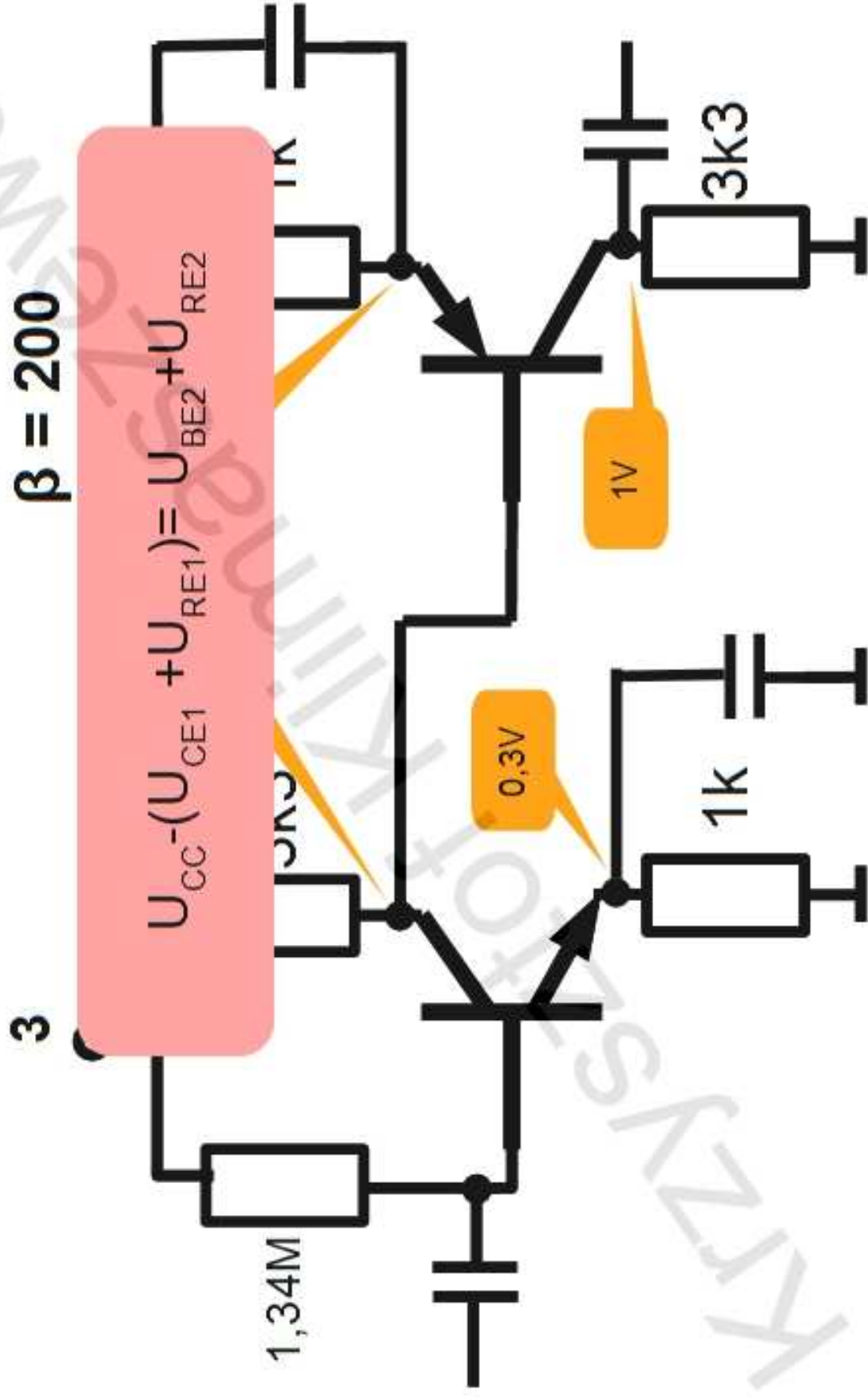
$\beta = 200$

Jeśli stopni jest więcej, można użyć naprzemiennie stopni z tranzystorami NPN i PNP, co pozwoli na łatwiejsze uzyskanie odpowiedniej polaryzacji (np. większe napięcie  $U_{CE}$ ).





# Łączenie stopni wzmacniaczy





## Wzmacniacze wielostopniowe

- Używając różnych konfiguracji (CE, CC, CD, CS) (CB i CG używane są rzadziej, w specjalnych zastosowaniach), możemy uzyskać żądane wzmocnienie i rezystancje wejściowe i wyjściowe

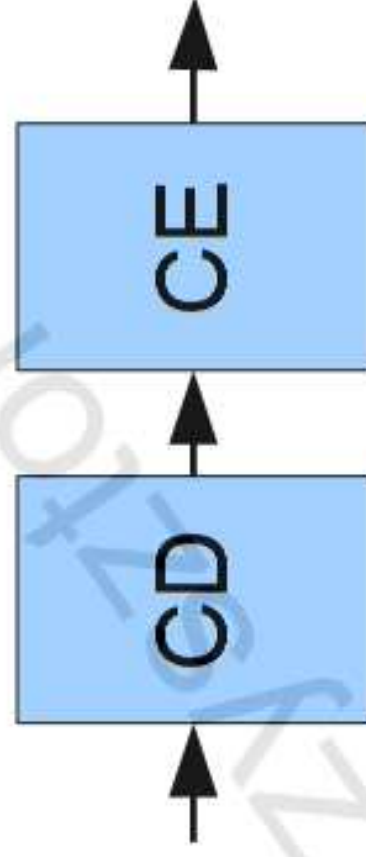
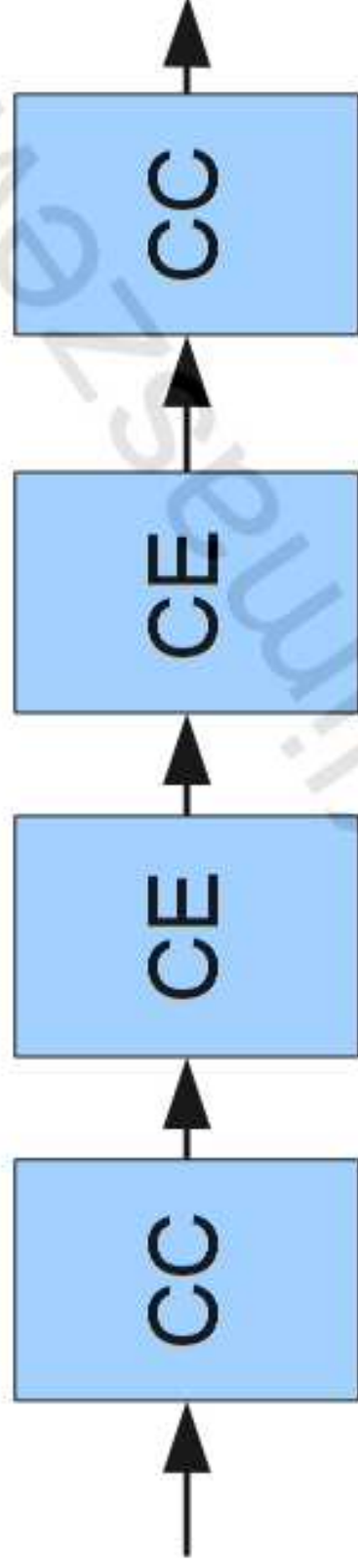


# Wzmacniacze wielostopniowe

- Używając różnych konfiguracji (CE, CC, CD, CS) (CB i CG używane są rzadziej, w specjalnych zastosowaniach), możemy uzyskać żądane wzmocnienie i rezystancje wejściowe i wyjściowe

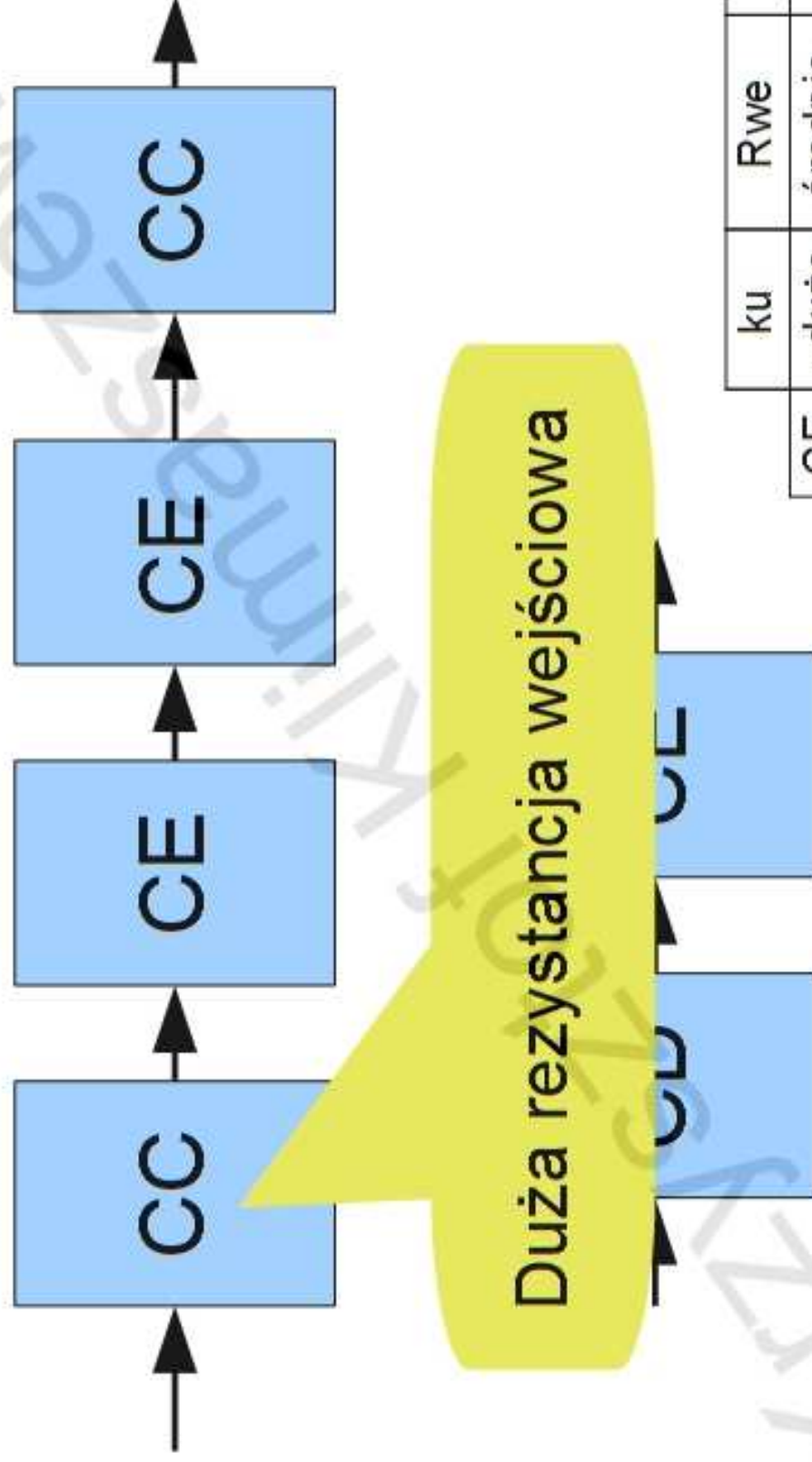
	wzmocnienie napięciowe	$R_{we}$	$R_{wy}$
CE	duże odwraca fazę	średnie	średnie
CC	$\sim 1$	duże	małe
CB	duże	małe	duże

# Wzmacniacze wielostopniowe



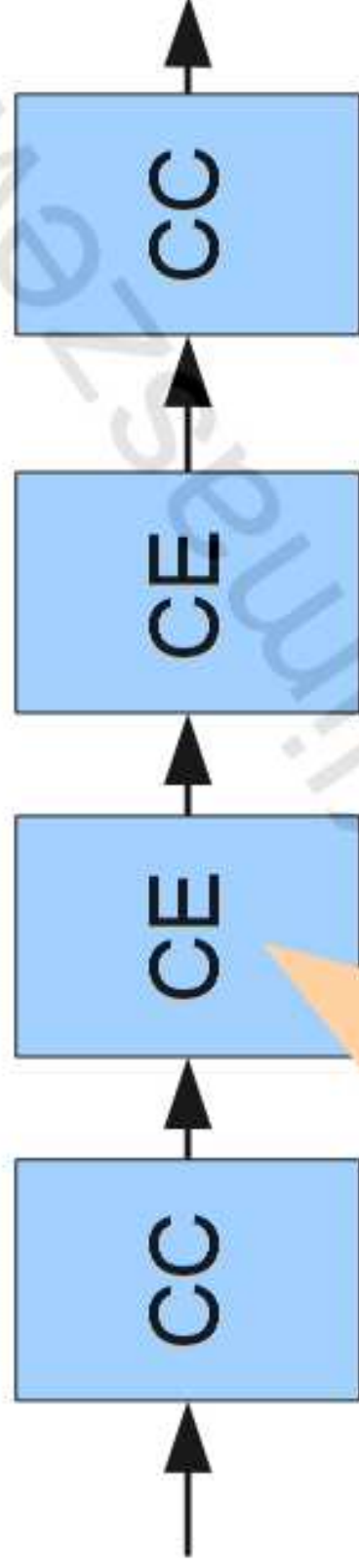
	ku	Rwe	Rwy
CE	- duże	średnie	średnie
CC	~1	duże	małe
CB	duże	małe	duże

# Wzmacniacze wielostopniowe



	ku	Rwe	Rwy
CE	- duże	średnie	średnie
CC	$\sim 1$	duże	małe
CB	duże	małe	duże

# Wzmacniacze wielostopniowe

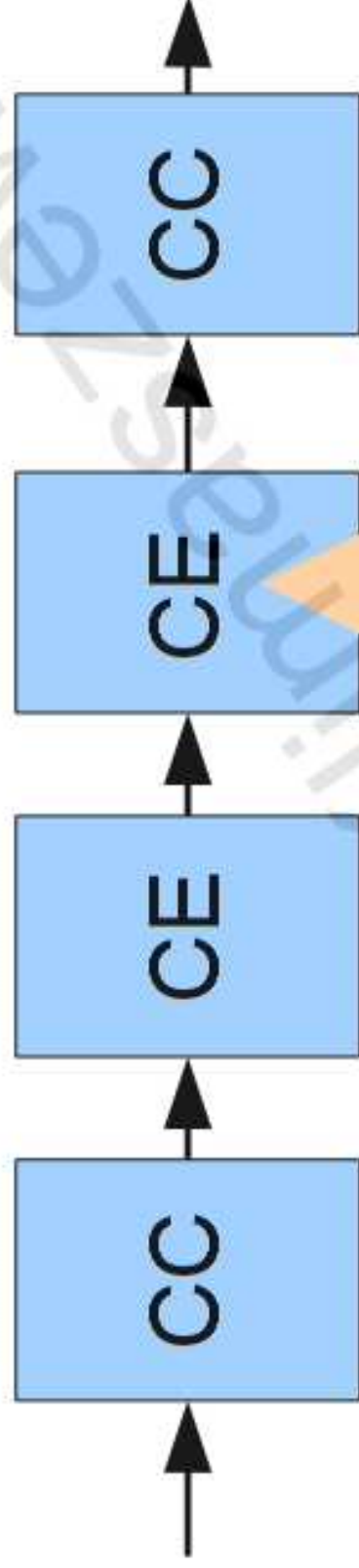


wzmocnienie napięciowe

	ku	Rwe	Rwy
CE	- duże	średnie	średnie
CC	$\sim 1$	duże	małe
CB	duże	małe	duże



# Wzmacniacze wielostopniowe

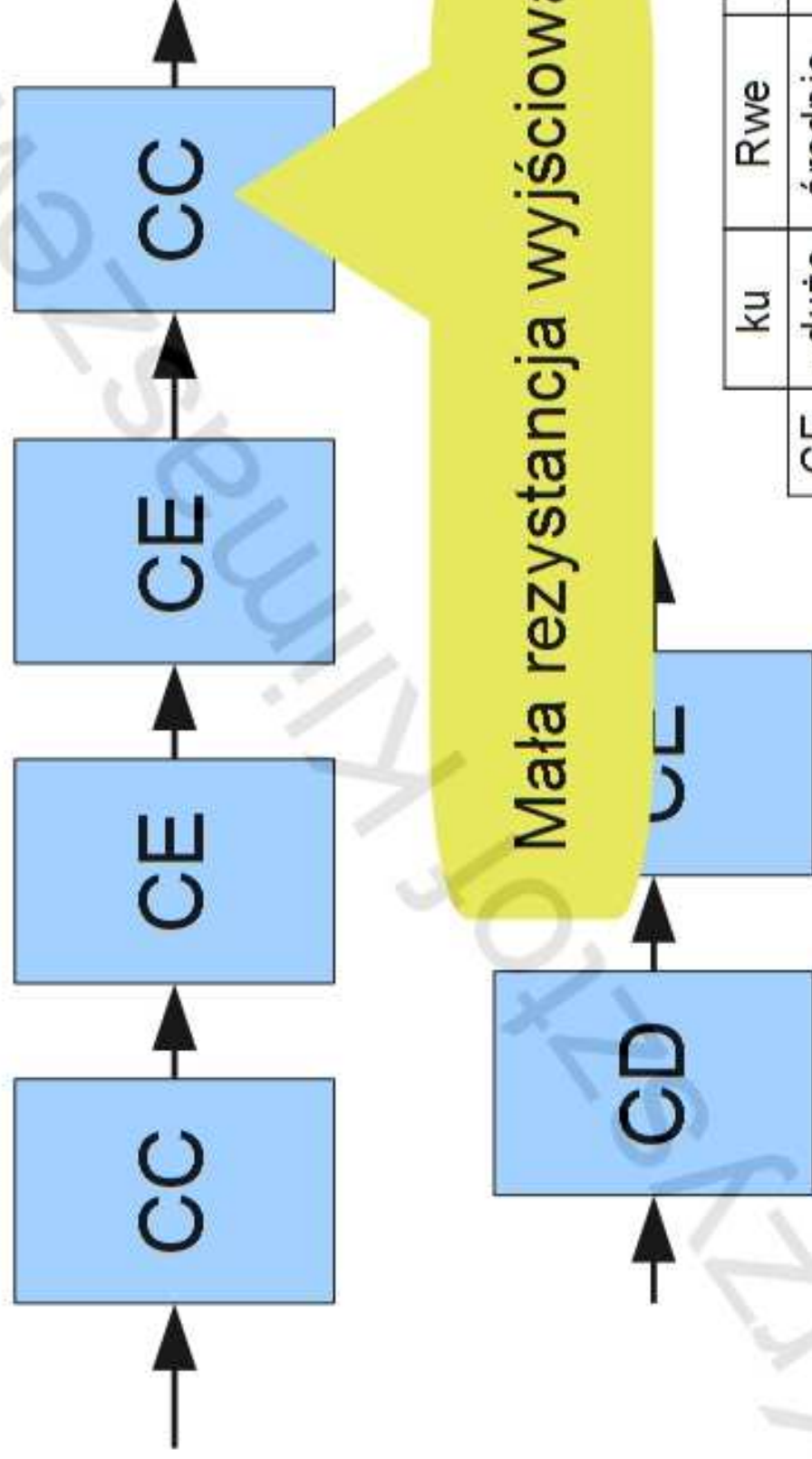


wzmocnienie napięciowe

	ku	Rwe	Rwy
CE	- duże	średnie	średnie
CC	$\sim 1$	duże	małe
CB	duże	małe	duże



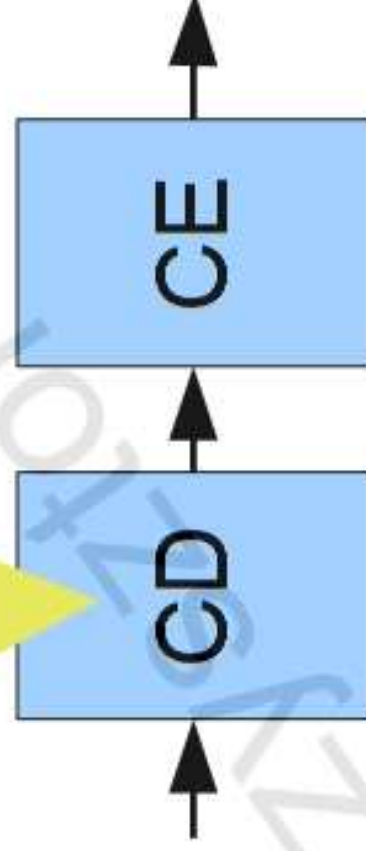
# Wzmacniacze wielostopniowe



	ku	Rwe	Rwy
CE	- duże	średnie	średnie
CC	$\sim 1$	duże	małe
CB	duże	małe	duże

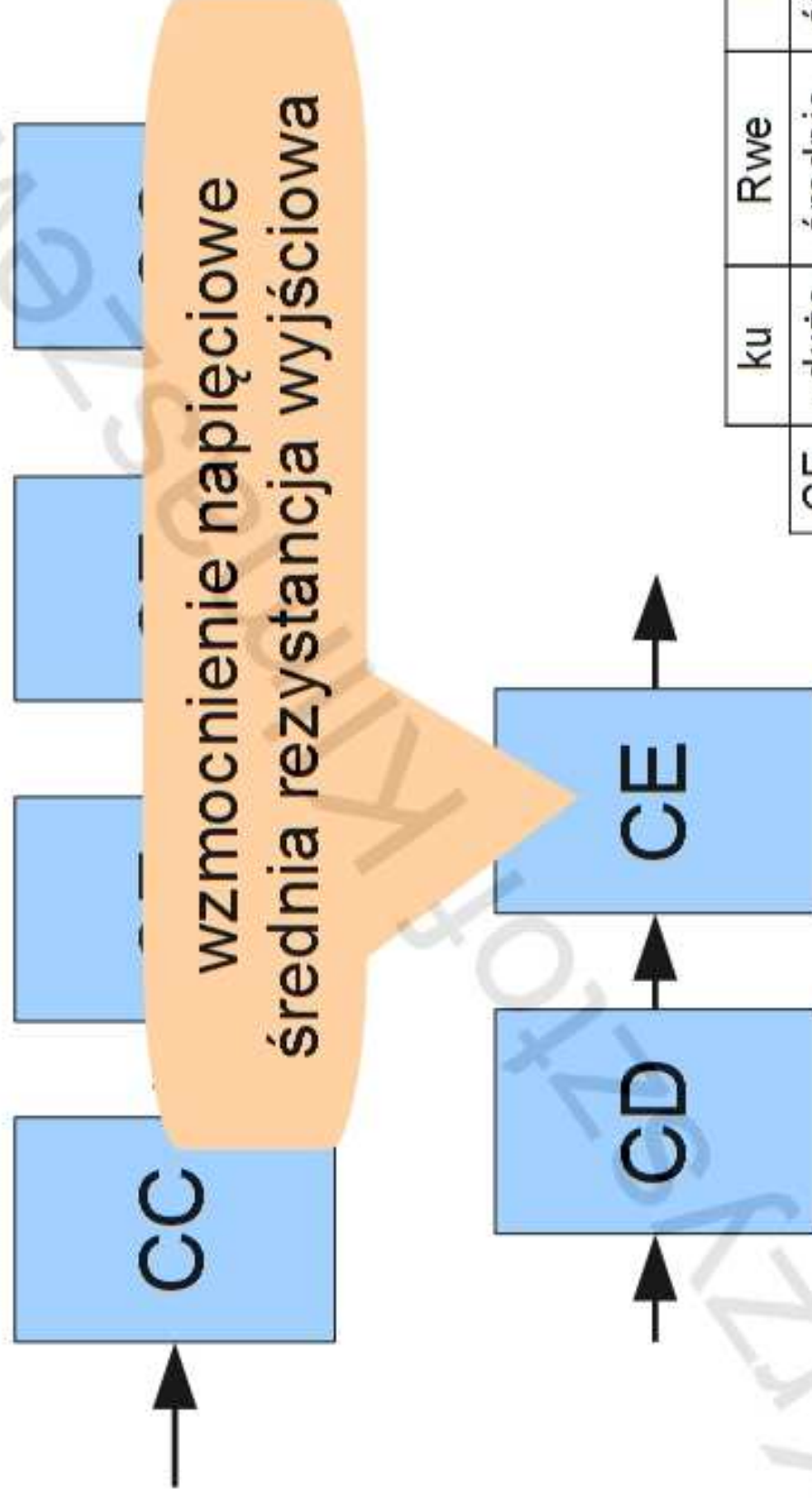
# Wzmacniacze wielostopniowe

Bardzo duża rezystancja wejściowa



	ku	Rwe	Rwy
CE	- duże	średnie	średnie
CC	$\sim 1$	duże	małe
CB	duże	małe	duże

# Wzmacniacze wielostopniowe

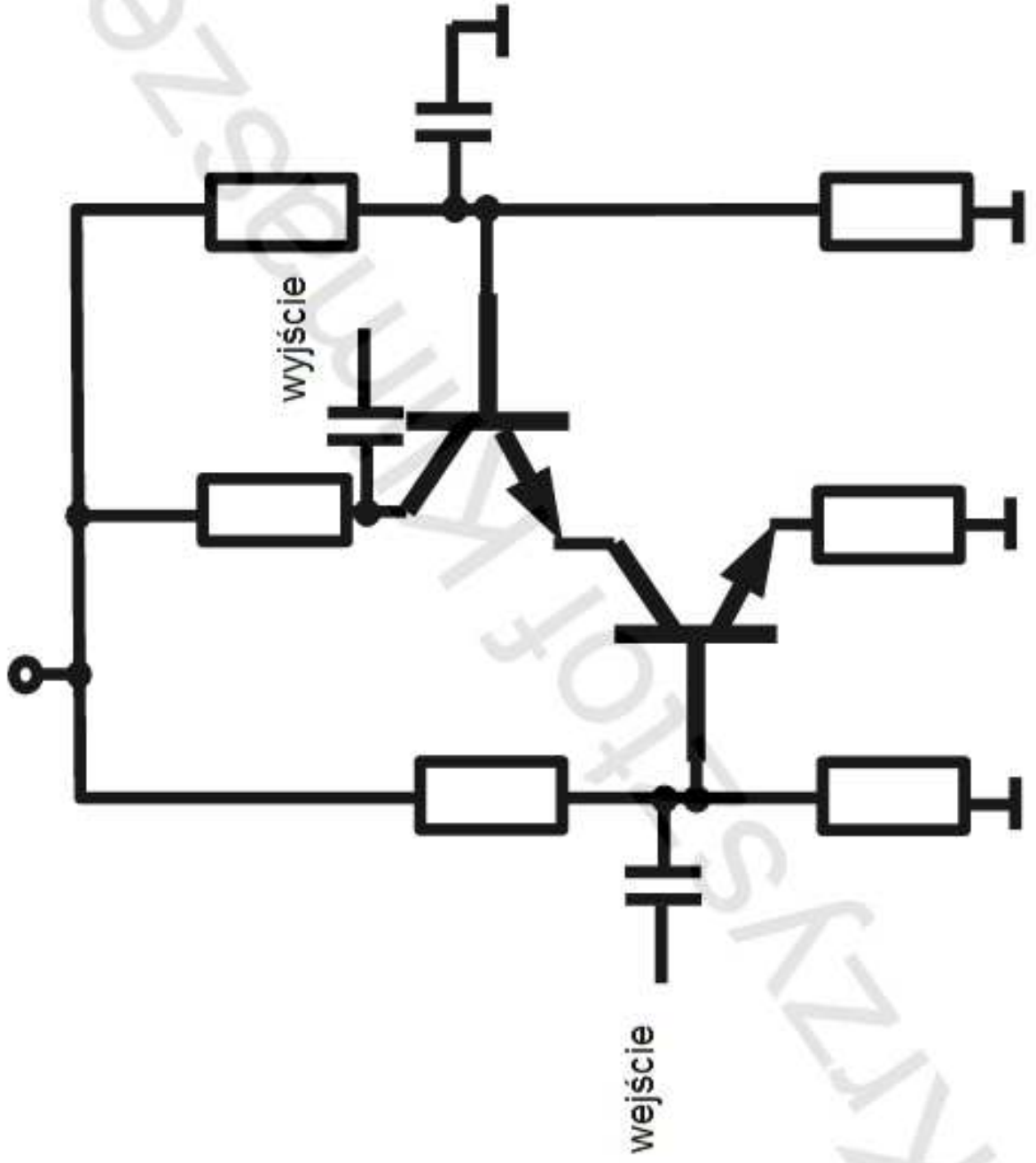


	ku	Rwe	Rwy
CE	- duże	średnie	średnie
CC	$\sim 1$	duże	małe
CB	duże	małe	duże

# Kaskoda

- Połączenie CE + CB
- użyteczne ze względu na dobre właściwości częstotliwościowe i liniowość

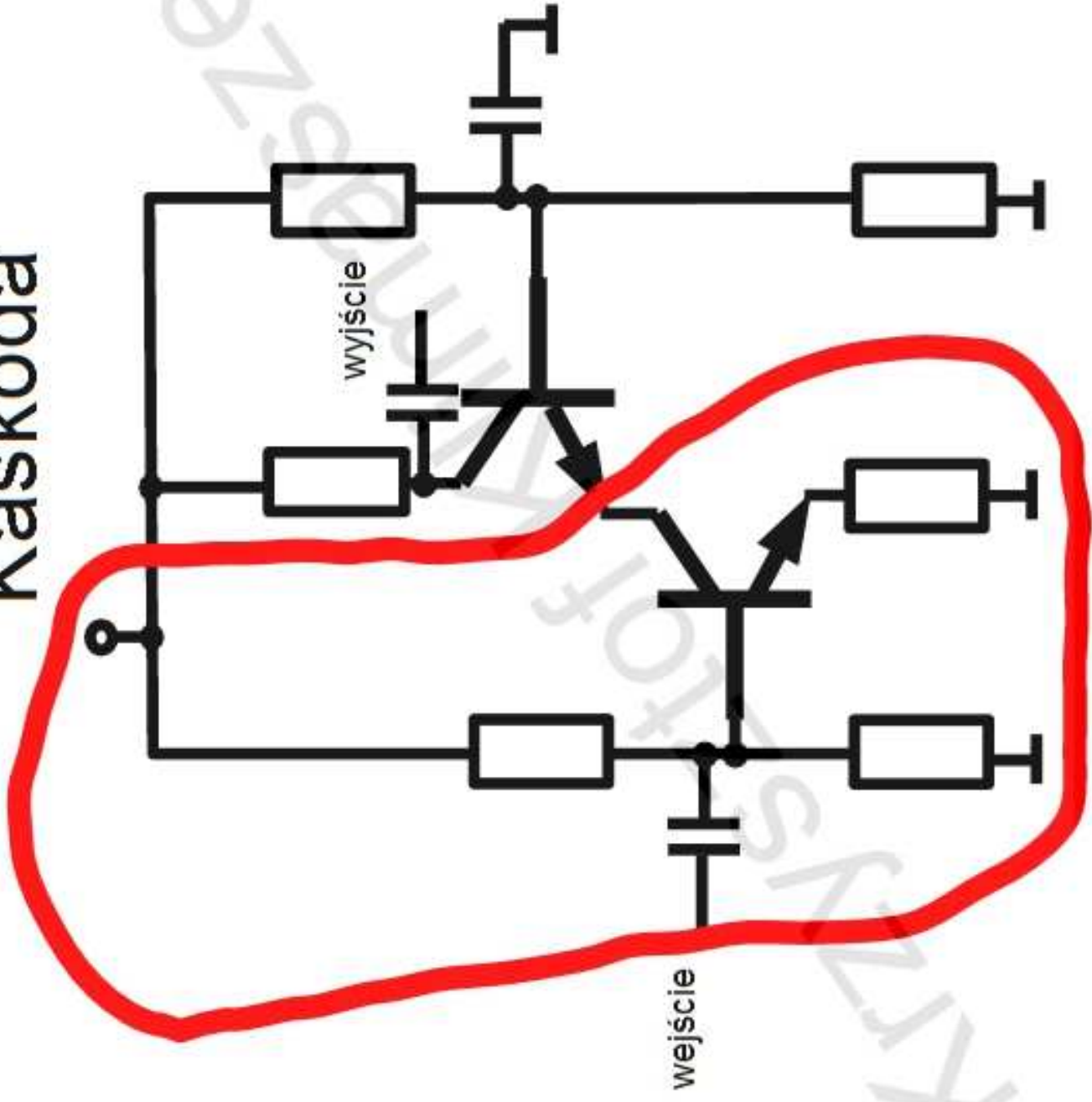
# Kaskoda





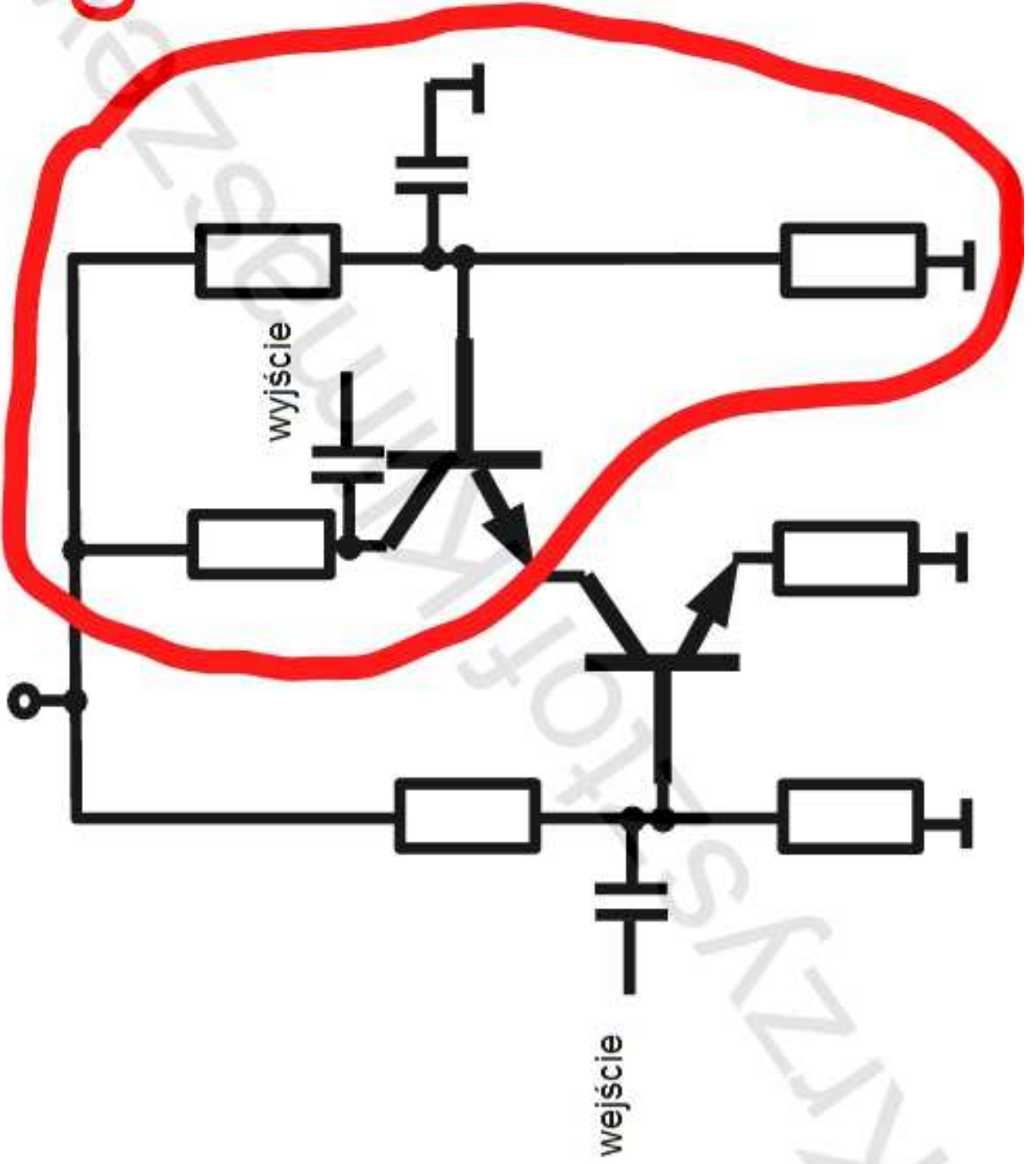
# Kaskoda

CE

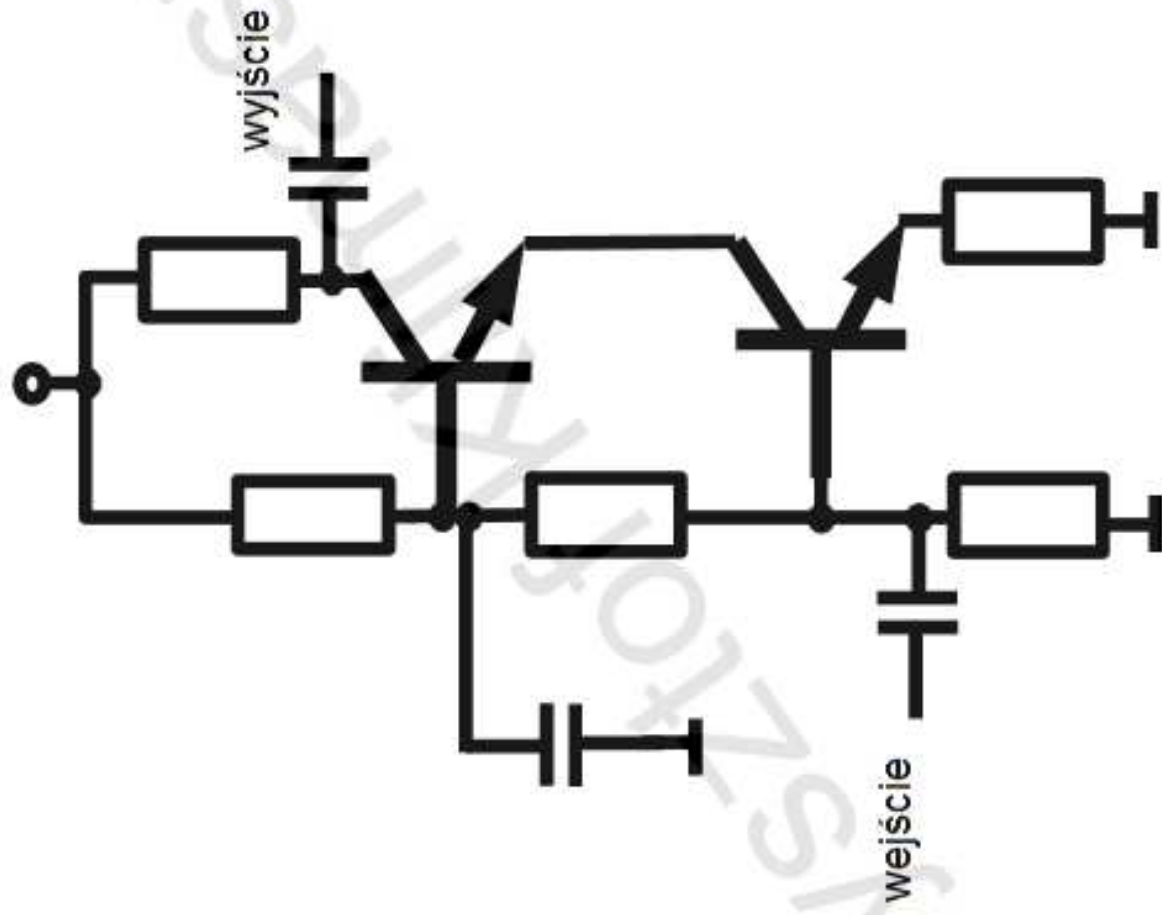


# Kaskoda

CB



# Kaskoda



Wzmacniacze mocy

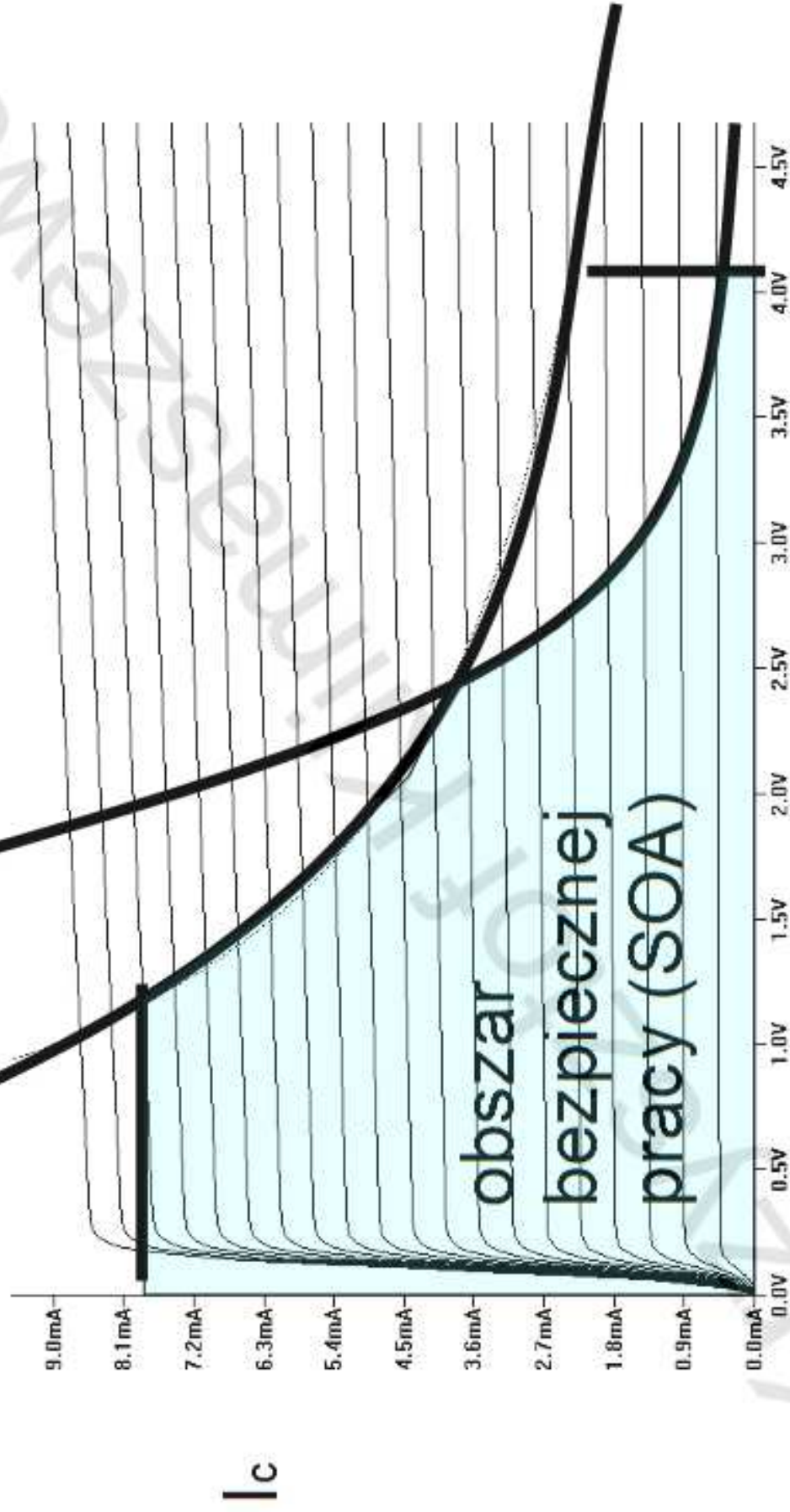
Wzmacniacze mocy

## Wzmacniacze mocy

- Sygnały na tyle duże, że nie można zaniedbać wpływu obciążenia na pracę układu
- różne linie obciążenia dla prądów DC i AC

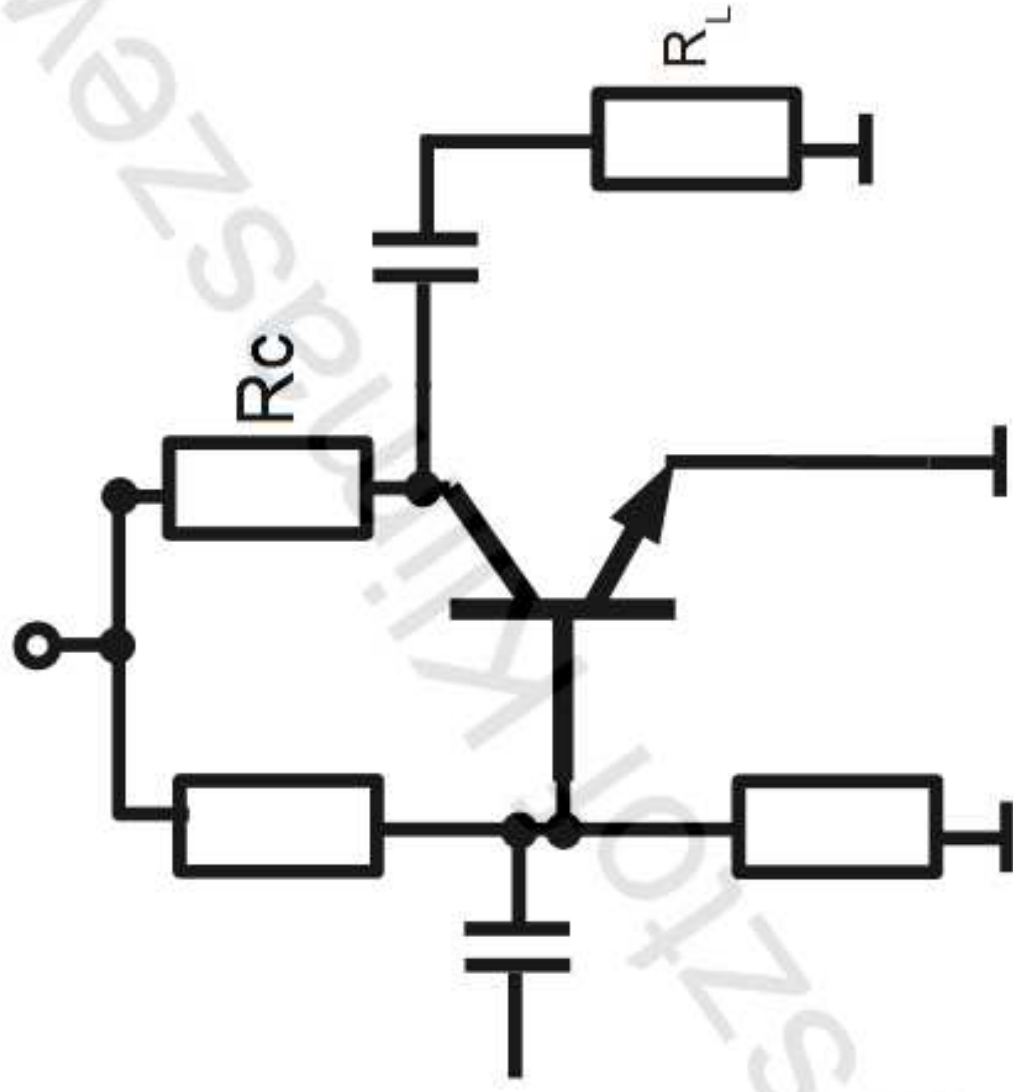


# Linia obciążenia

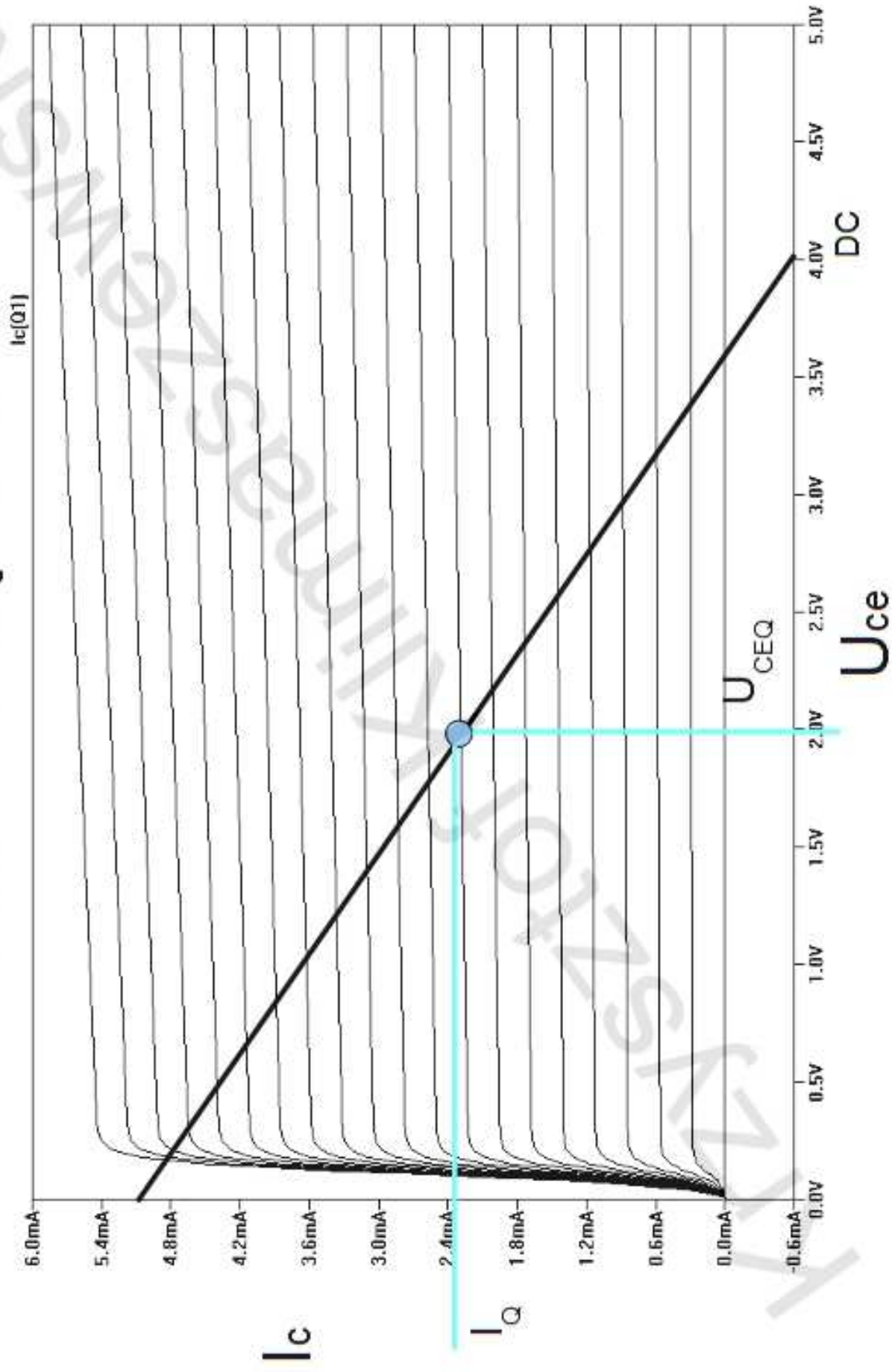


$U_{ce}$

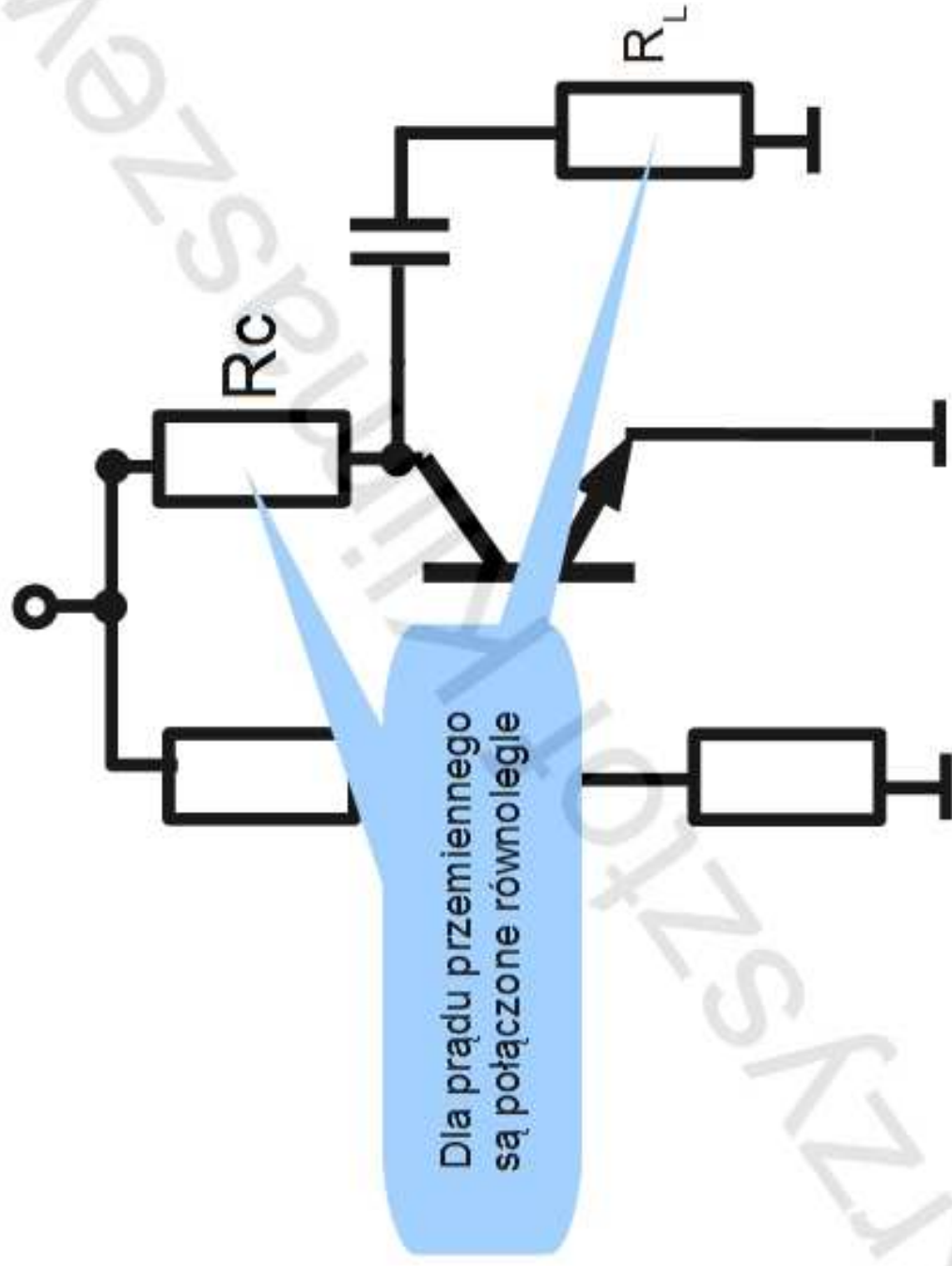
# Przykładowy wzmacniacz



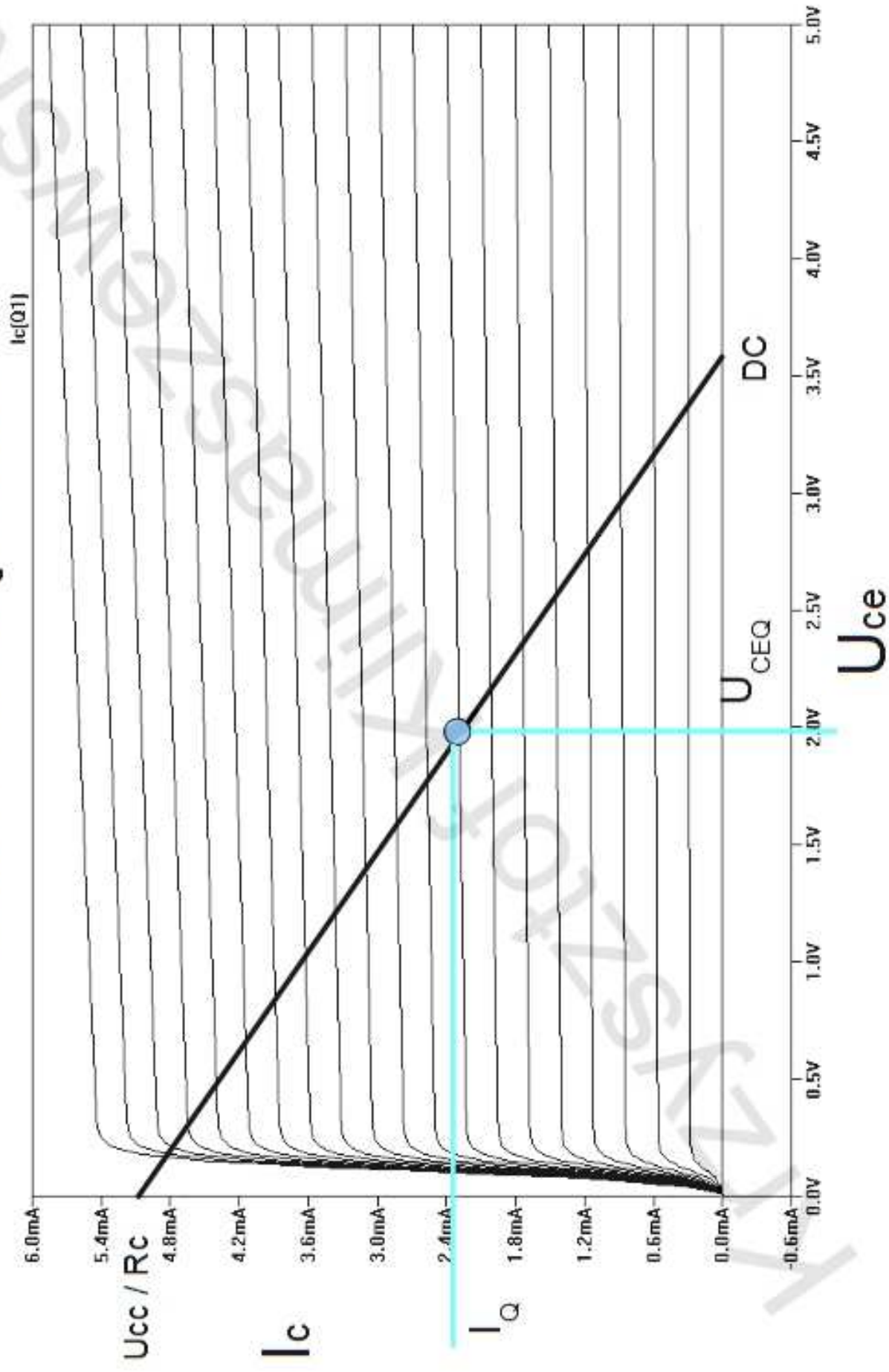
# Linia obciążenia



# Przykładowy wzmacniacz

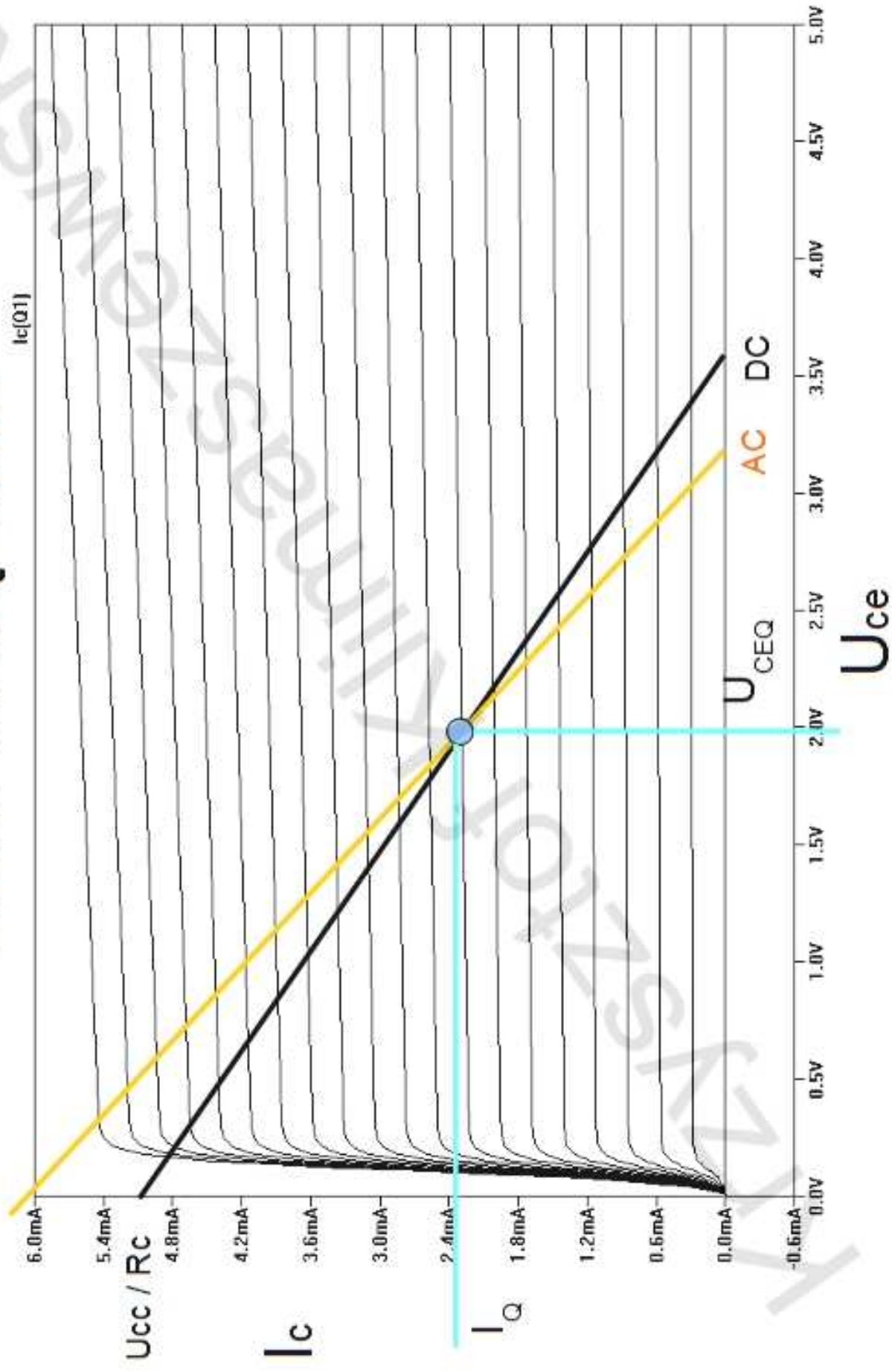


# Linia obciążenia

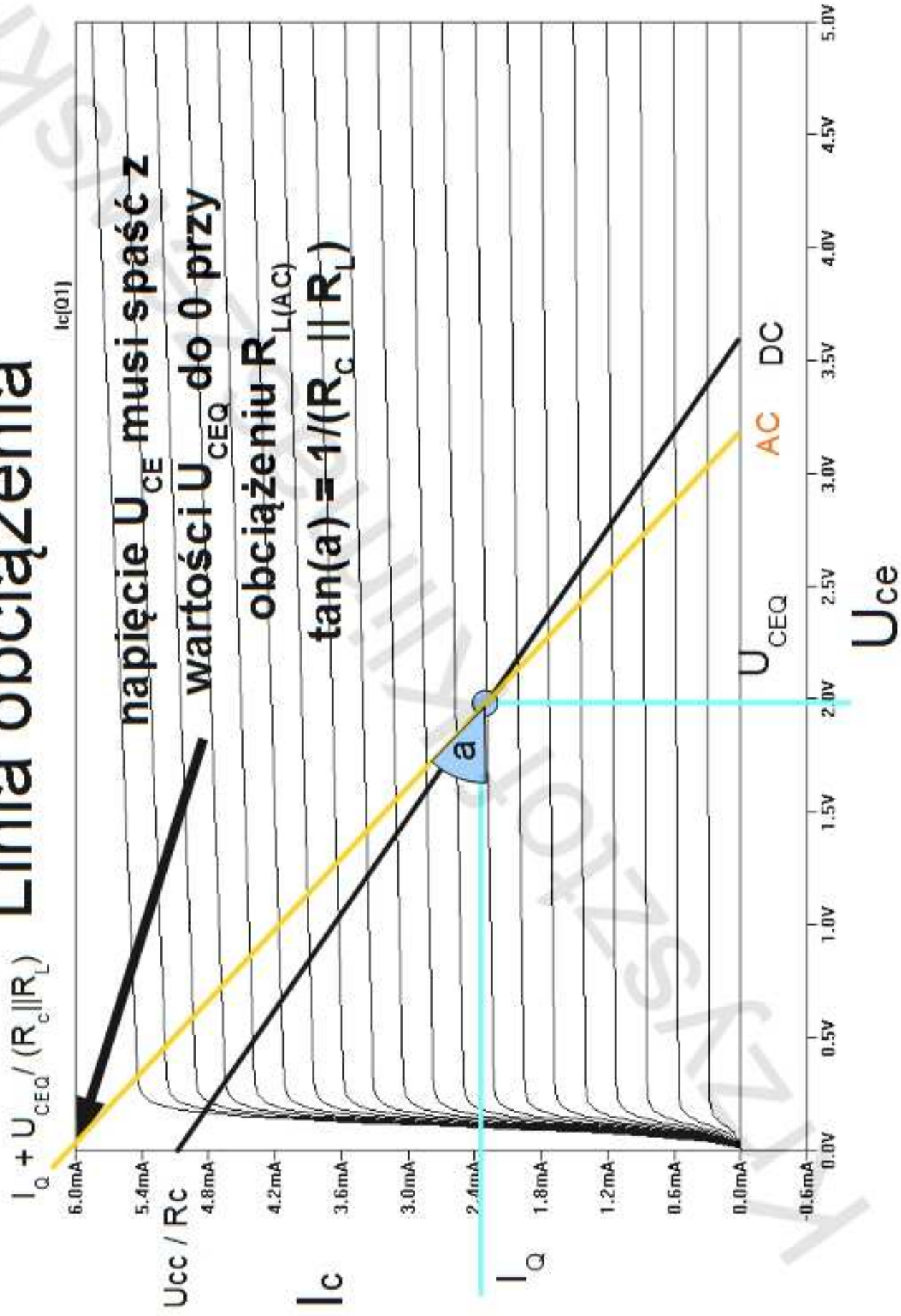




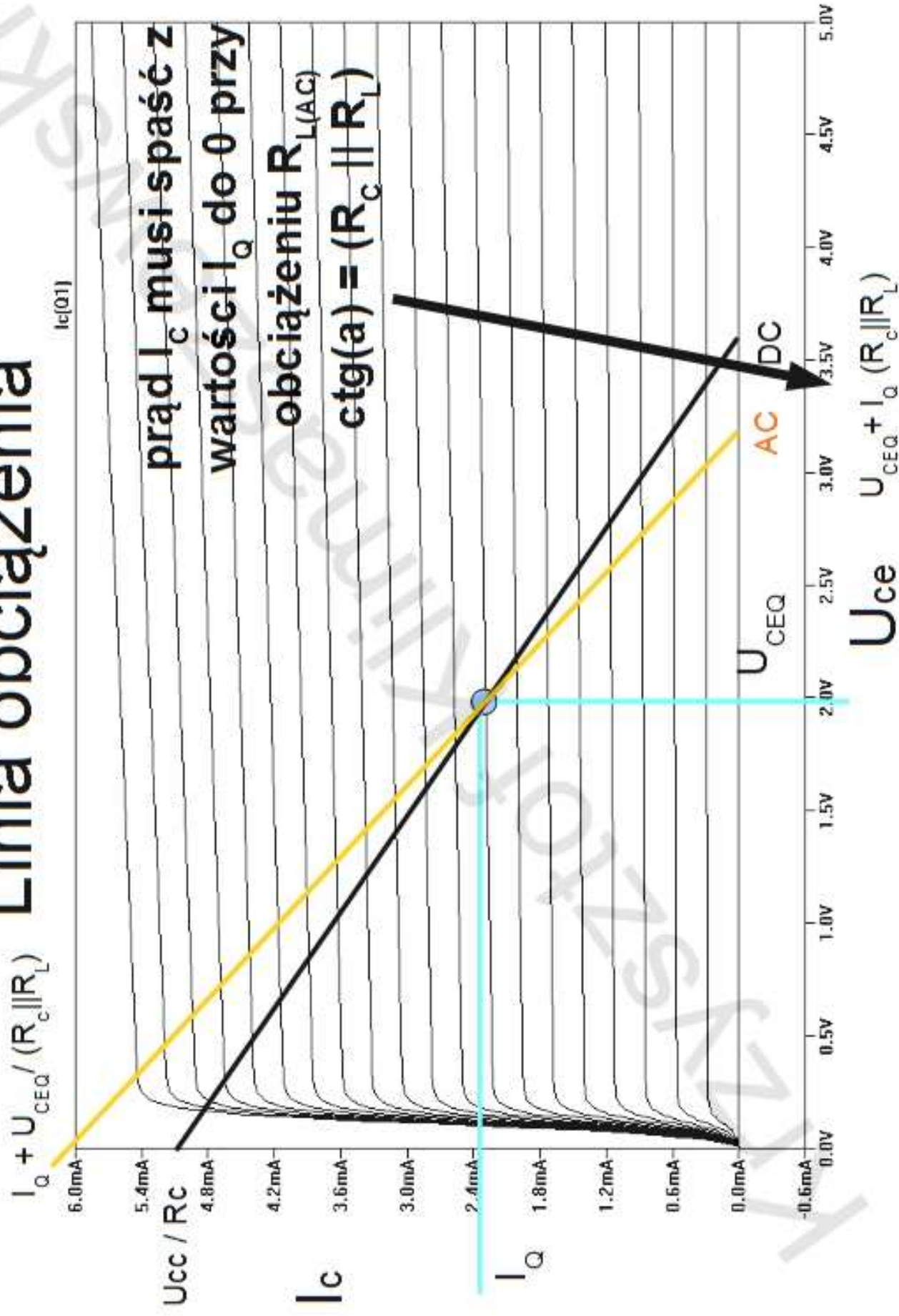
# Linia obciążenia



# Linia obciążenia



# Linia obciążenia





## Wzmacniacz klasy D

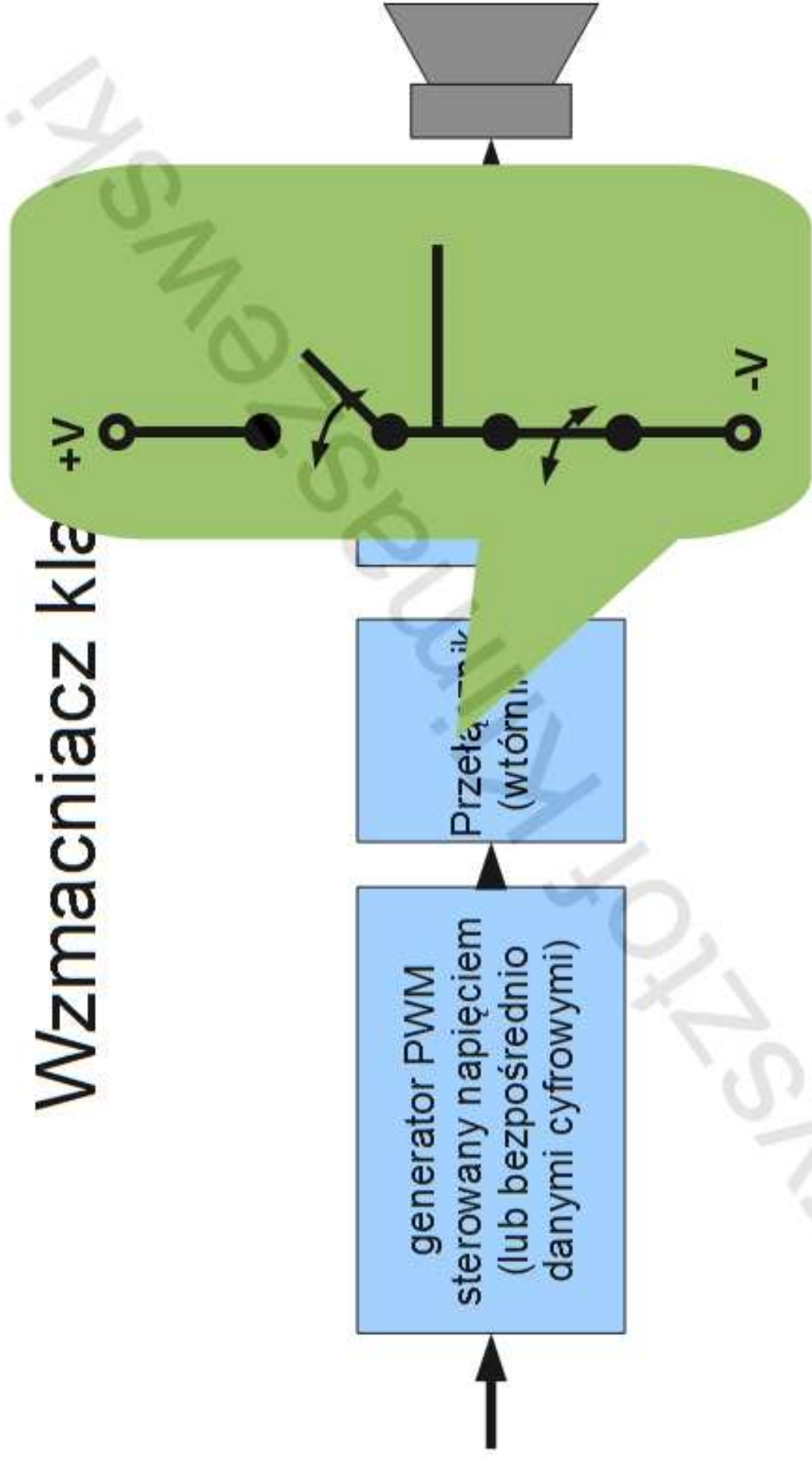
- Nie próbuje odwzorować dokładnie napięcia wyjściowego
- Zmienia wypełnienie PROSTOKĄTNEGO przebiegu wyjściowego tak, aby średnia wartość była równa napięciu wyjściowemu
- Sygnał prostokątny podawany na filtr dolnoprzepustowy
- Częstotliwość przebiegu prostokątnego musi być dużo większa niż największa częstotliwość przebiegu wyjściowego

# Wzmacniacz klasy D

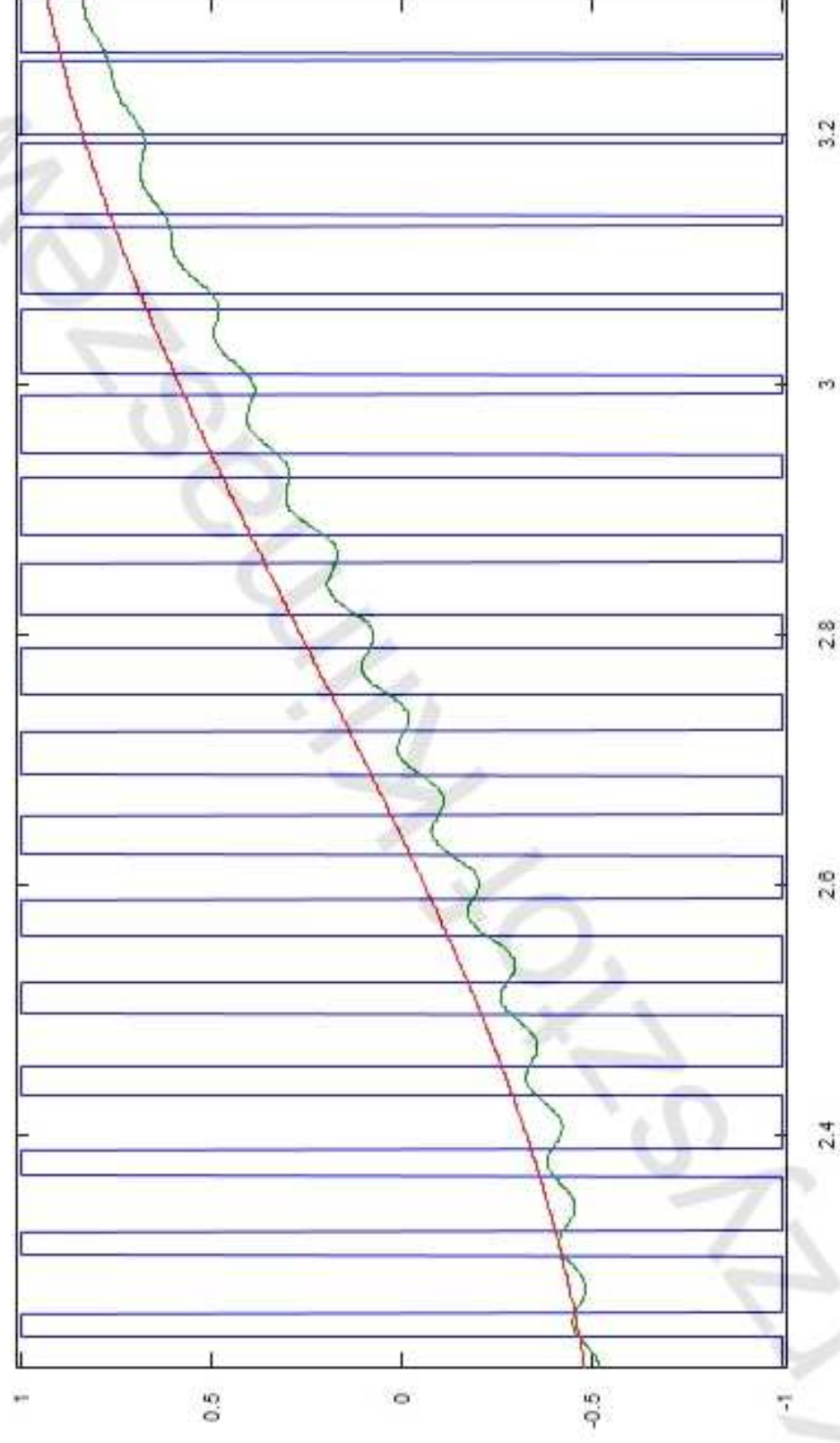




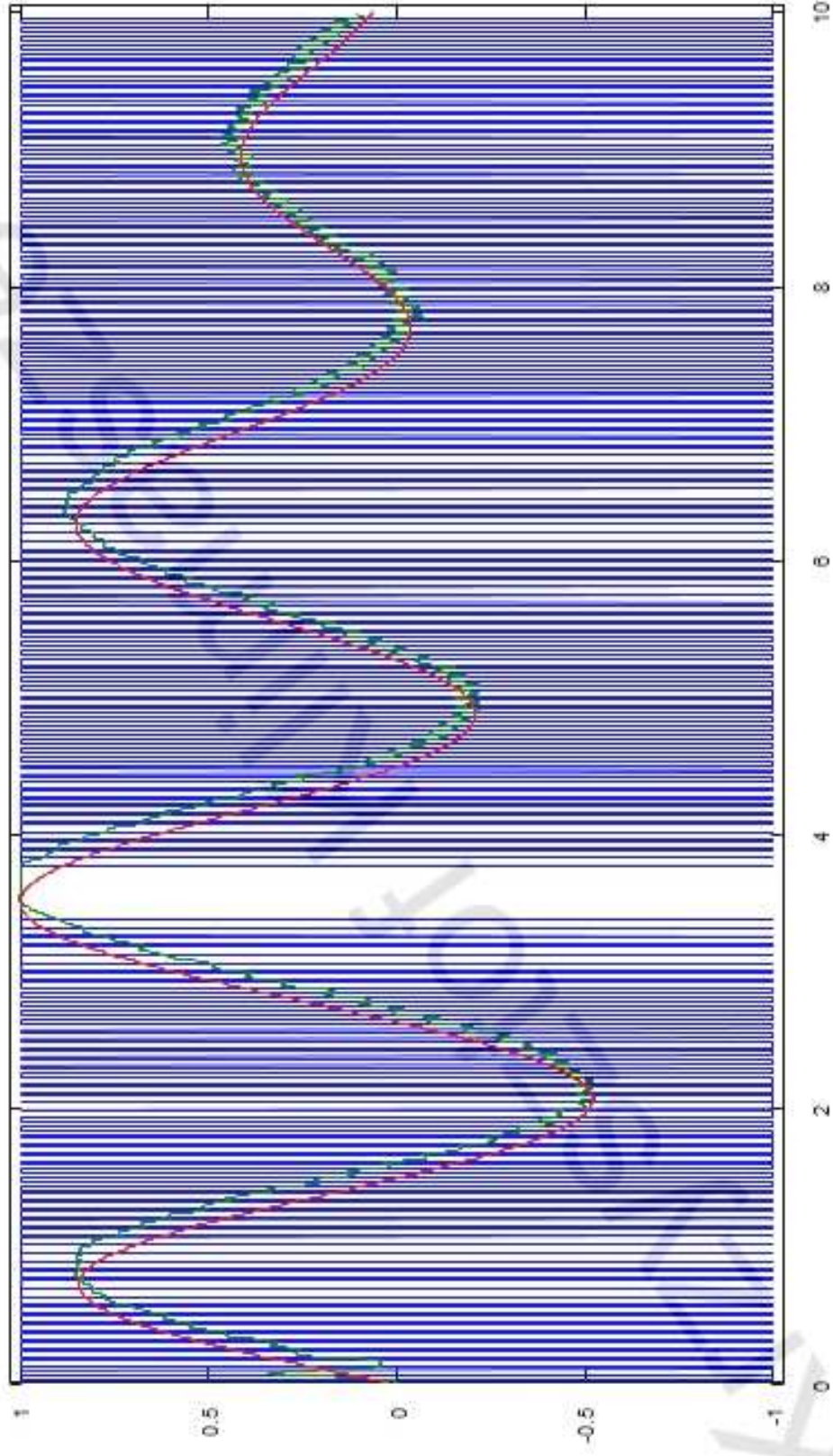
# Wzmacniacz kl



# Wzmacniacz klasy D



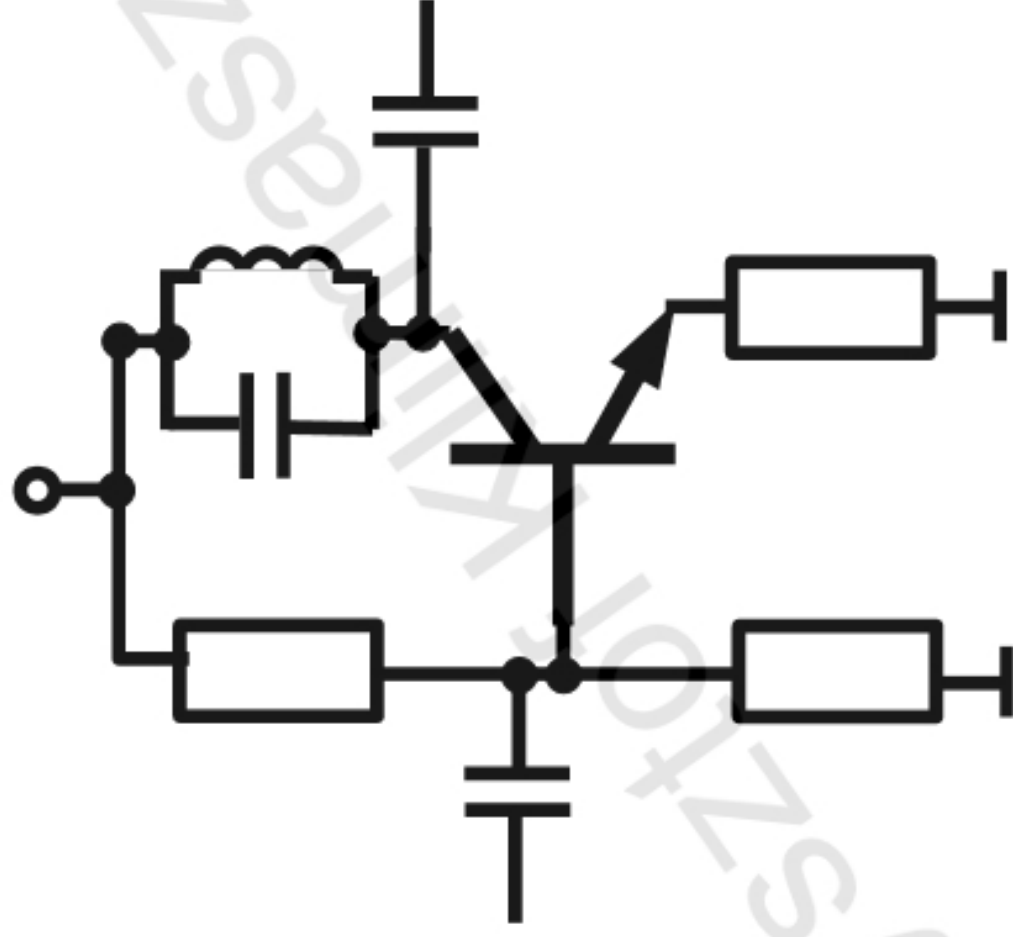
# Wzmacniacz klasy D



# Klasy wzmacniaczy mocy - porównanie

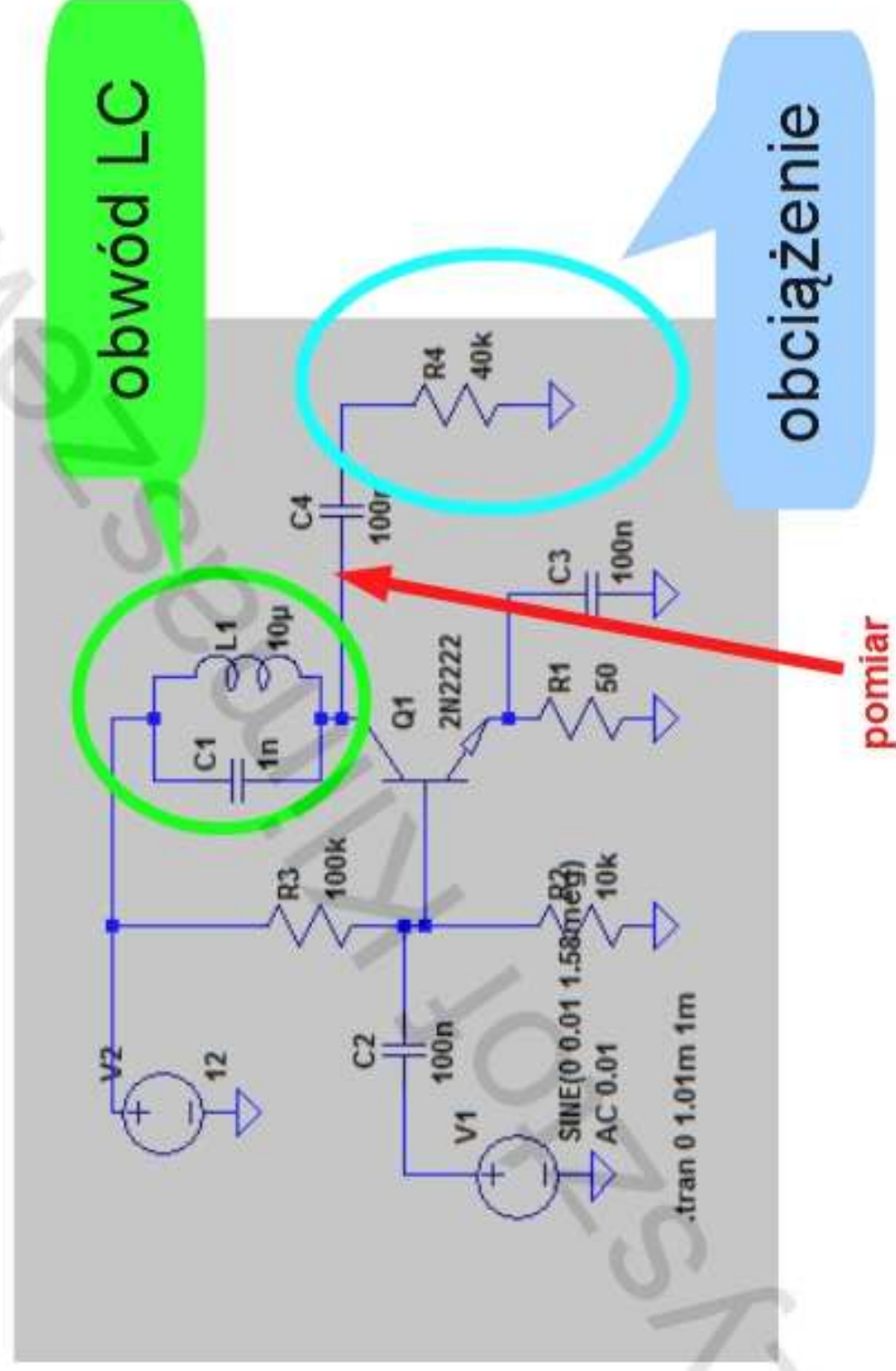
Klasa	zakres fazy przewodzenia pojedynczego elementu wzmacniającego	typowa rzeczywista sprawność
A	360°	5%-20%
B	180°	40% - 70%
AB	210° (typowo)	20% - 40%
D	-	do powyżej 90%

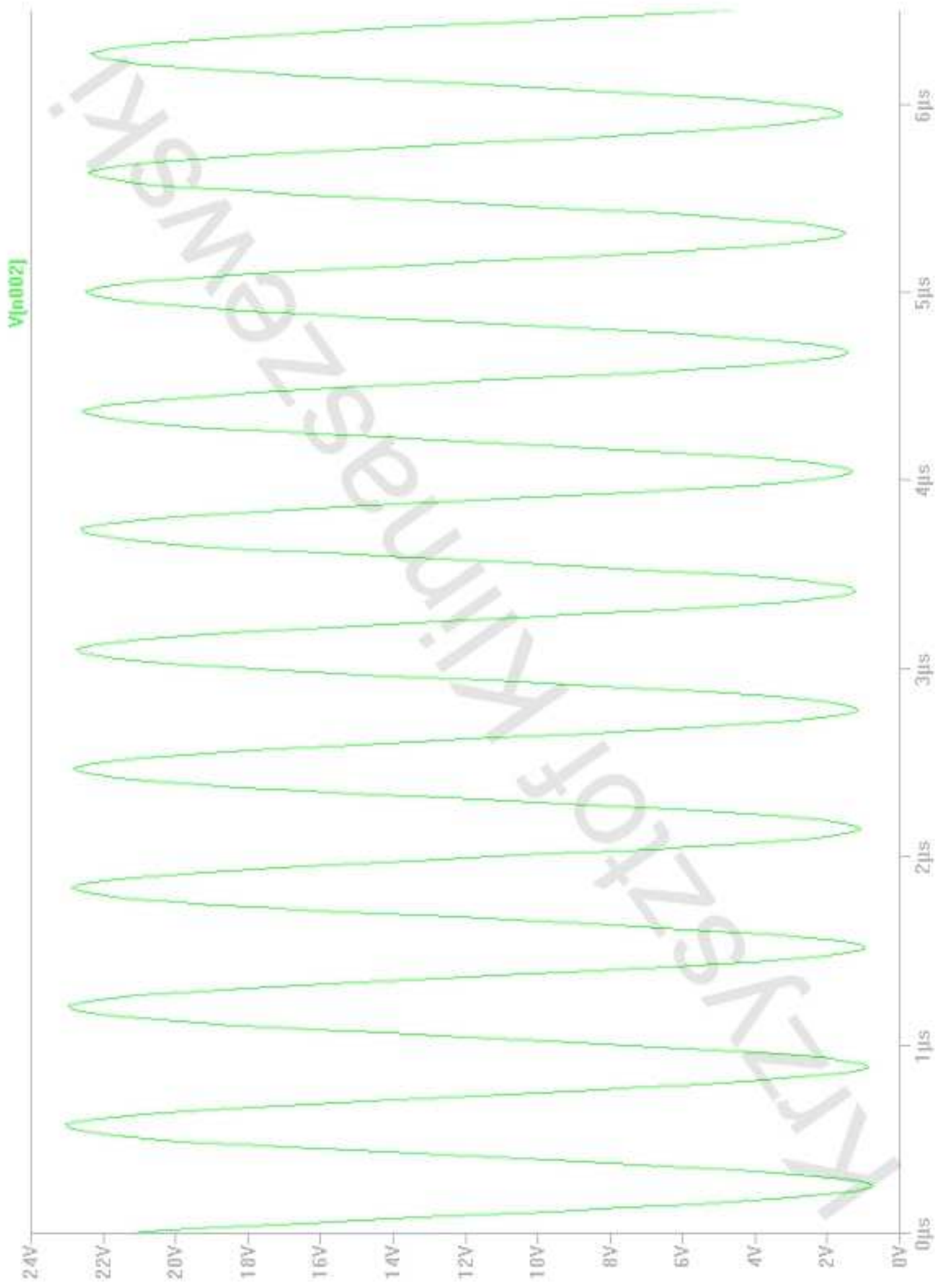
# Wzmacniacz z obwodem LC

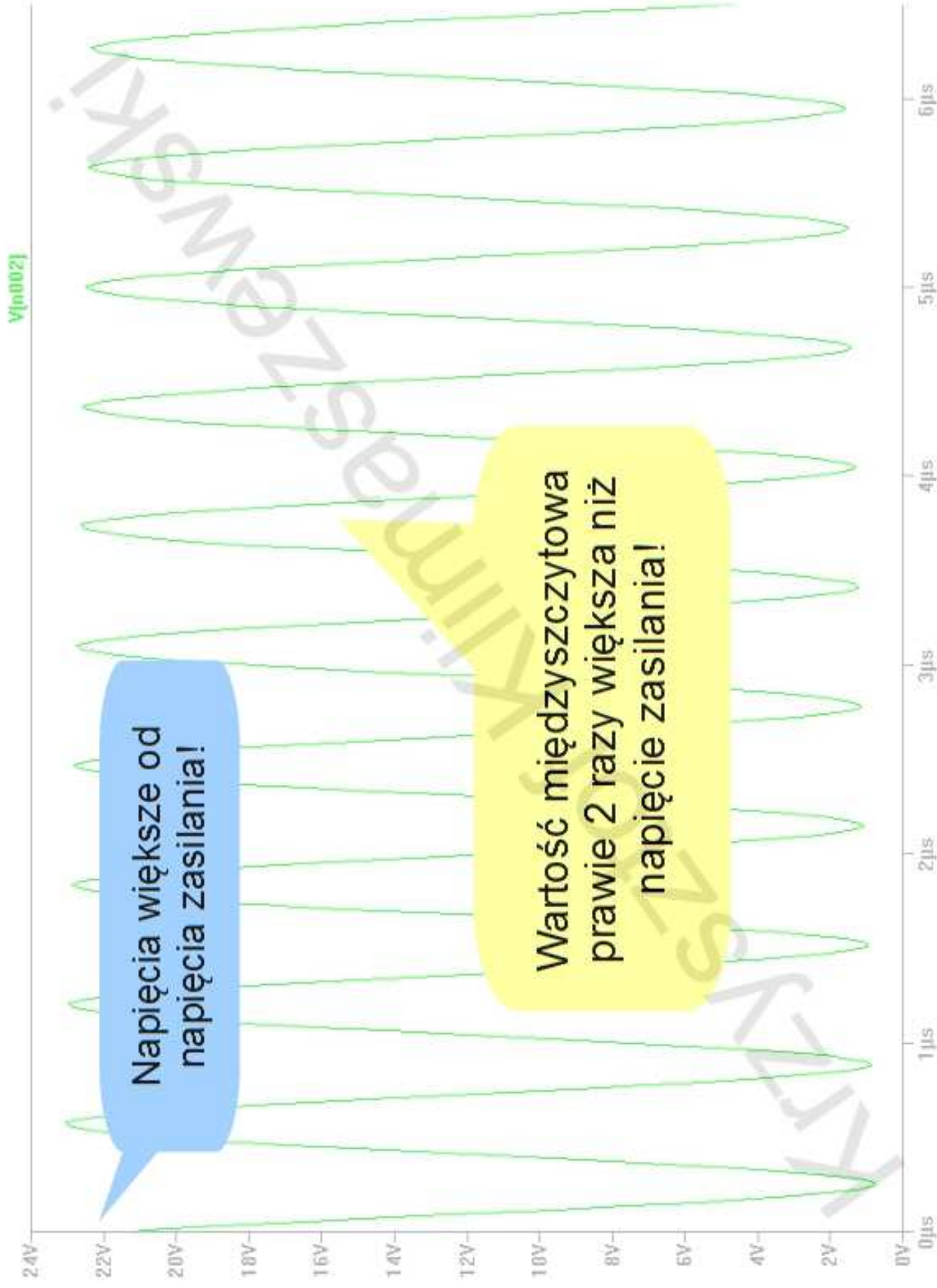




# Wzmacniacz z obwodem LC





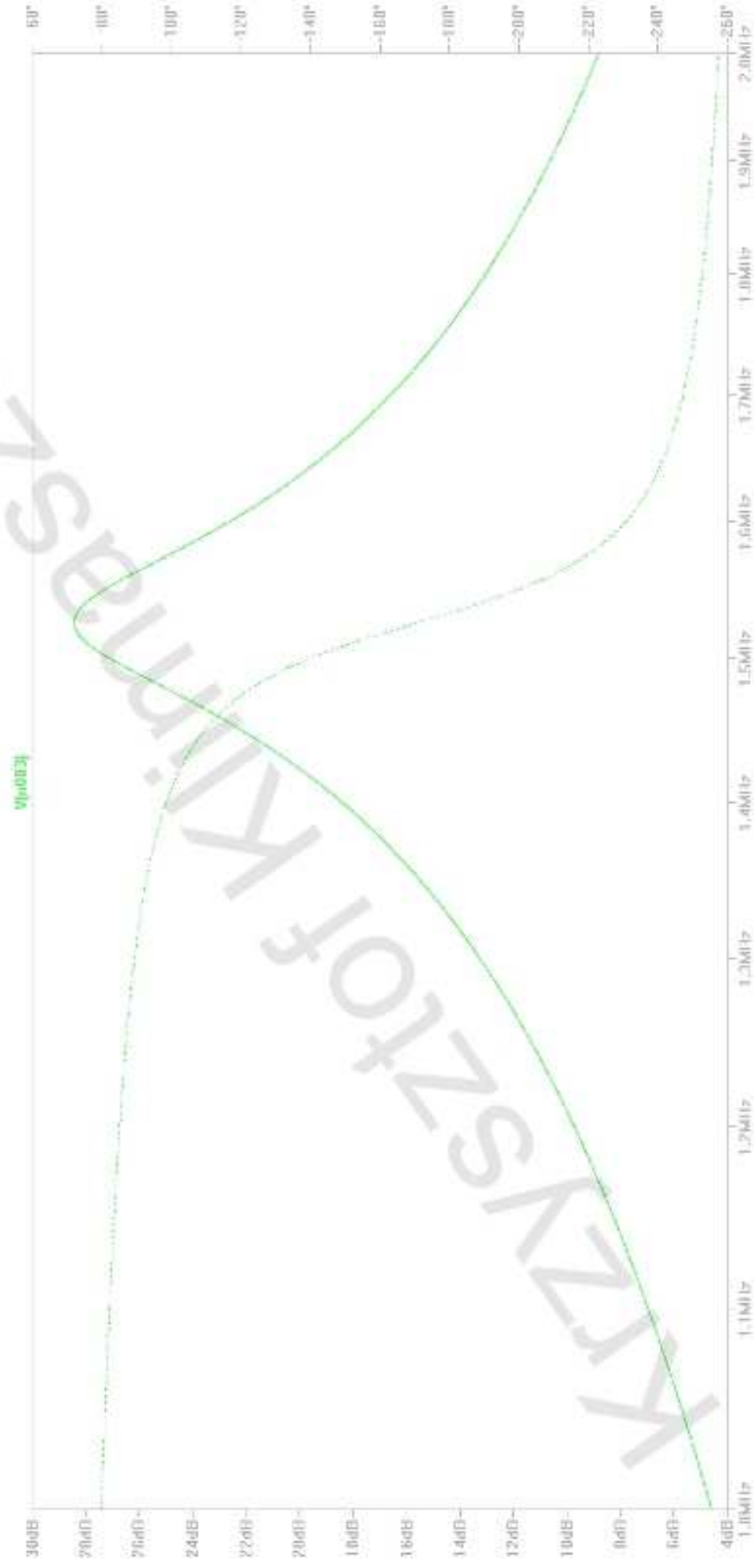


Napięcia większe od  
napięcia zasilania!

Wartość międzyszczytowa  
prawie 2 razy większa niż  
napięcie zasilania!

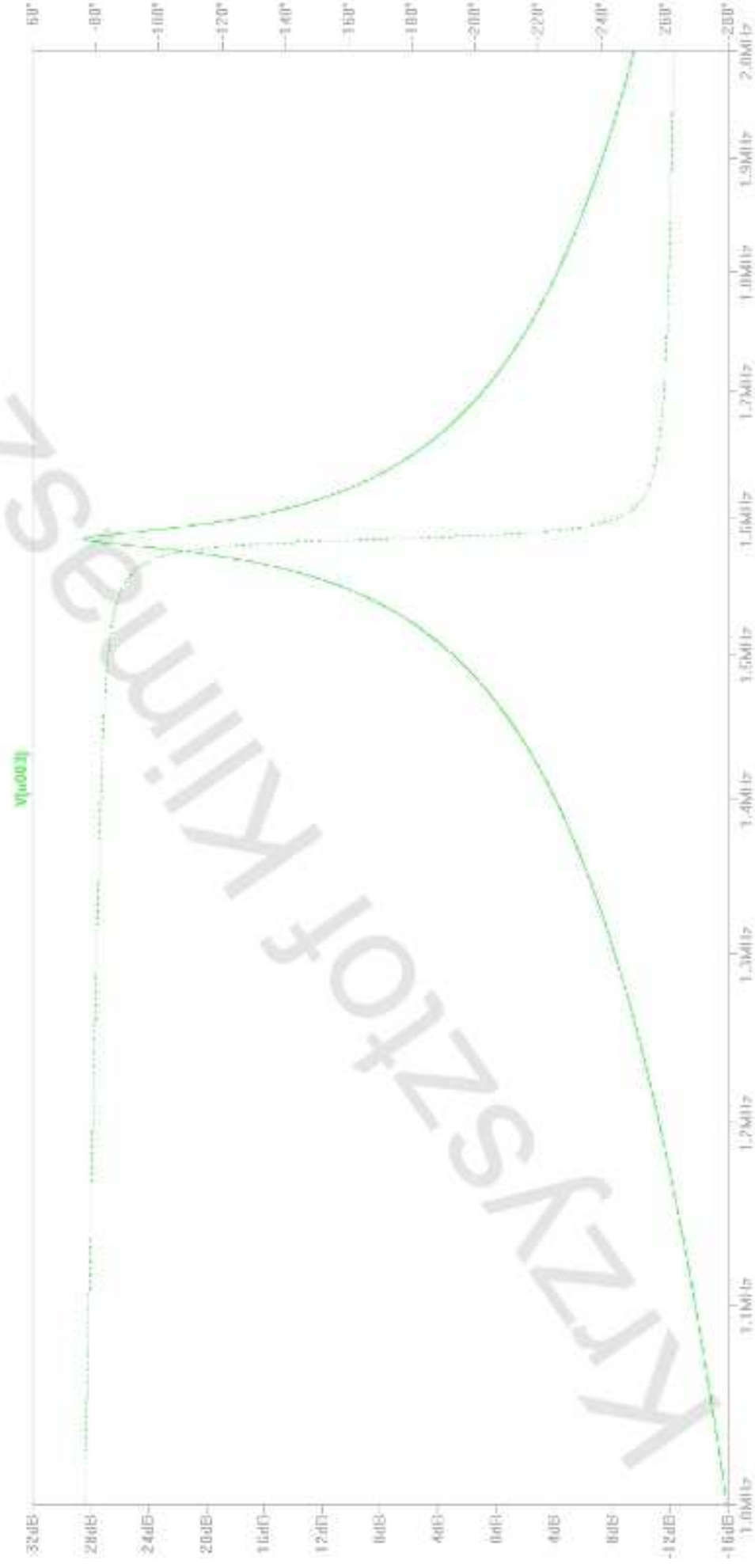
# Charakterystyka częstotliwościowa

- $L = 100\mu\text{H}$        $C = 0,1\text{nF}$



# Charakterystyka częstotliwościowa

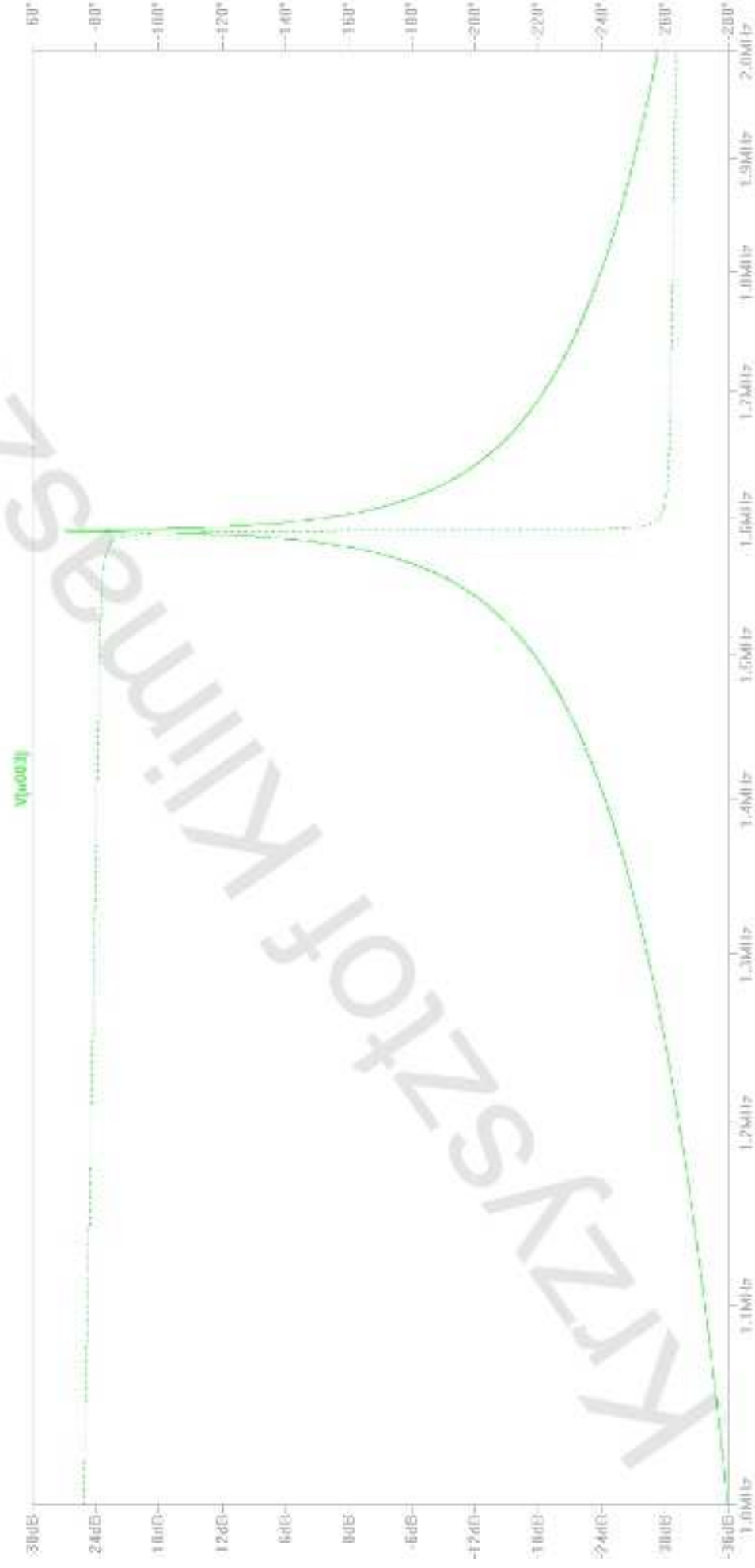
- $L = 10\mu\text{H}$        $C = 1\text{nF}$





# Charakterystyka częstotliwościowa

- $L = 1\mu\text{H}$        $C = 10\text{nF}$



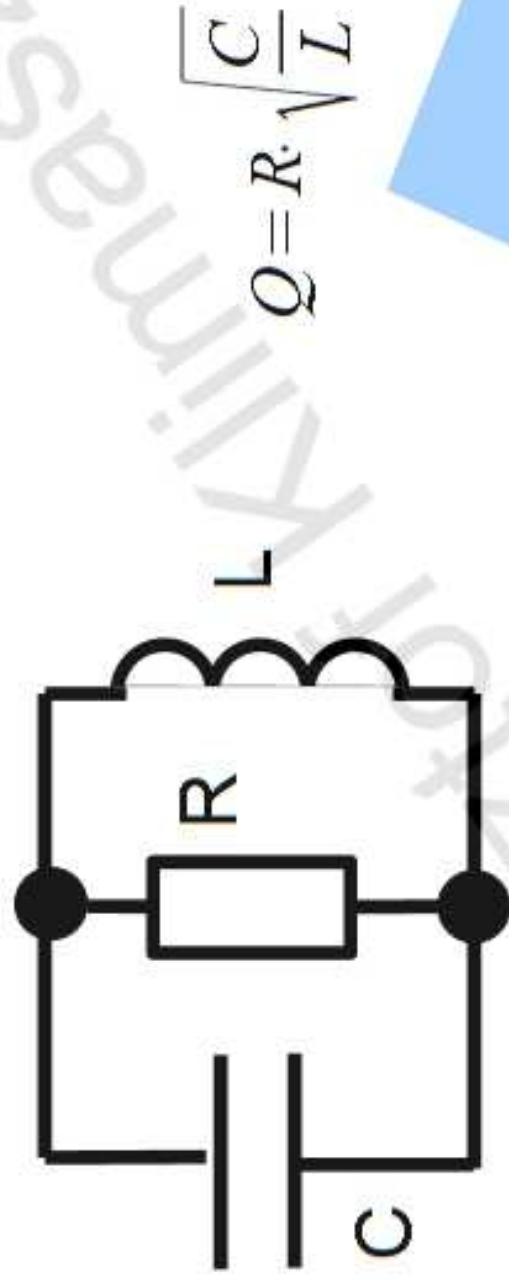
# Dobroć równoległego obwodu LC

Przekształcenie wzoru podanego wcześniej



$$Q = R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

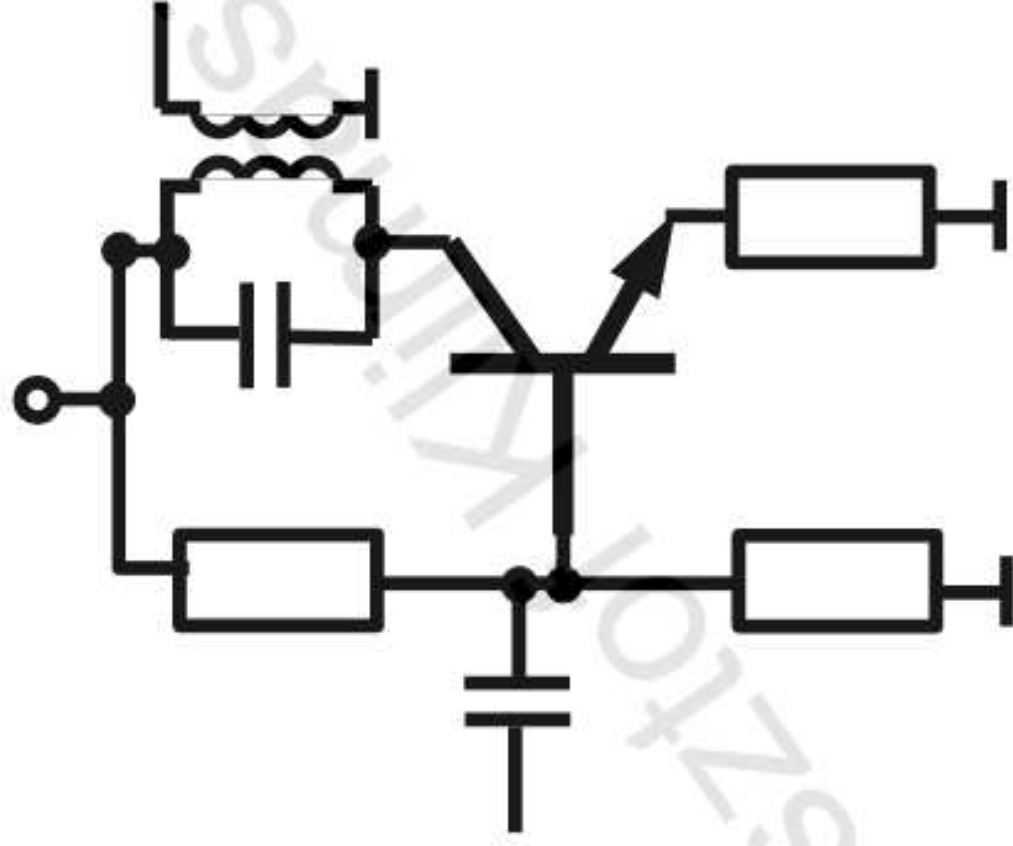
Dobroć równoległego obwodu LC



$$Q = R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Ten wzór działa TYLKO  
dla równoległego obwodu  
RLC jak na rysunku!

# Sprężenie magnetyczne



# Analogowe Układy Elektroniczne

Krzysztof Klimaszewski

[kklima@et.put.poznan.pl](mailto:kklima@et.put.poznan.pl)

Polanka 3, pokój 118

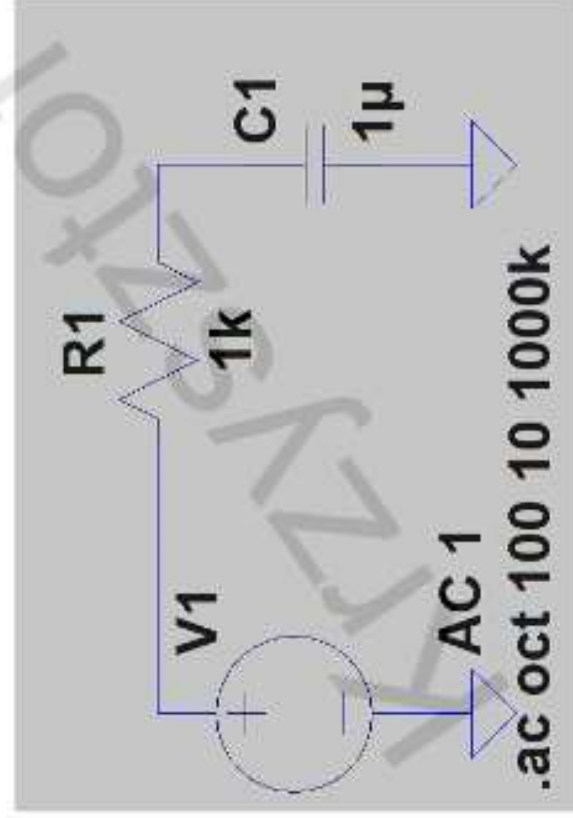


# Filtry pasywne

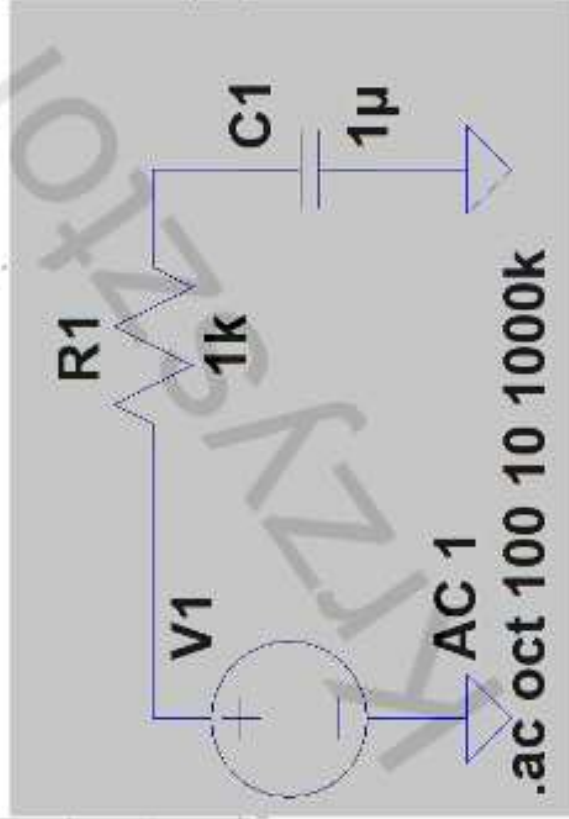
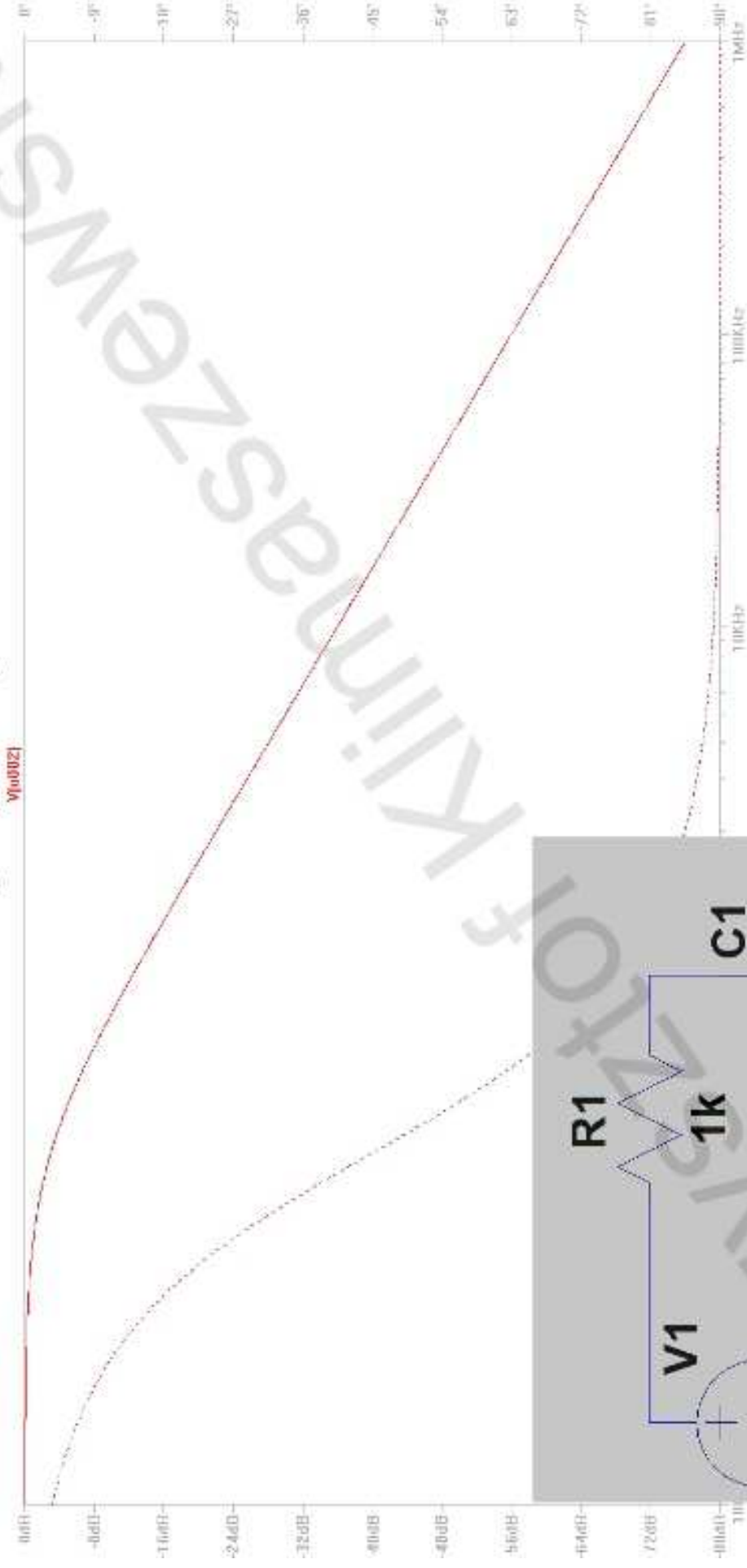
- Filtry RC
- bardzo łatwe do wykonania
- szerokie pasmo przejściowe
- trudność w uzyskaniu stromych charakterystyk
- ograniczenia wynikające z nieidealności elementów

# Filtry pasywne

- Filtry RC
  - bardzo łatwe do wykonania
  - szerokie pasmo przejściowe
  - trudność w uzyskaniu stromych charakterystyk
  - ograniczenia wynikające z nieidealności elementów

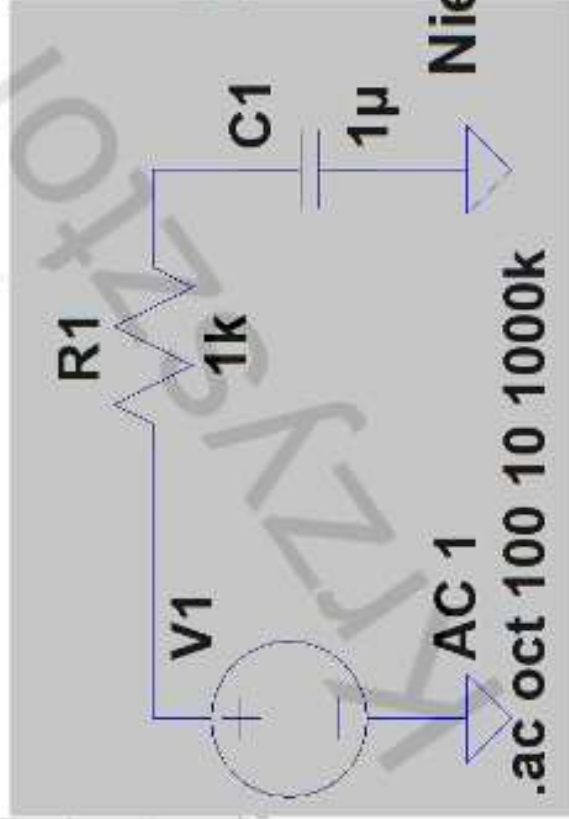
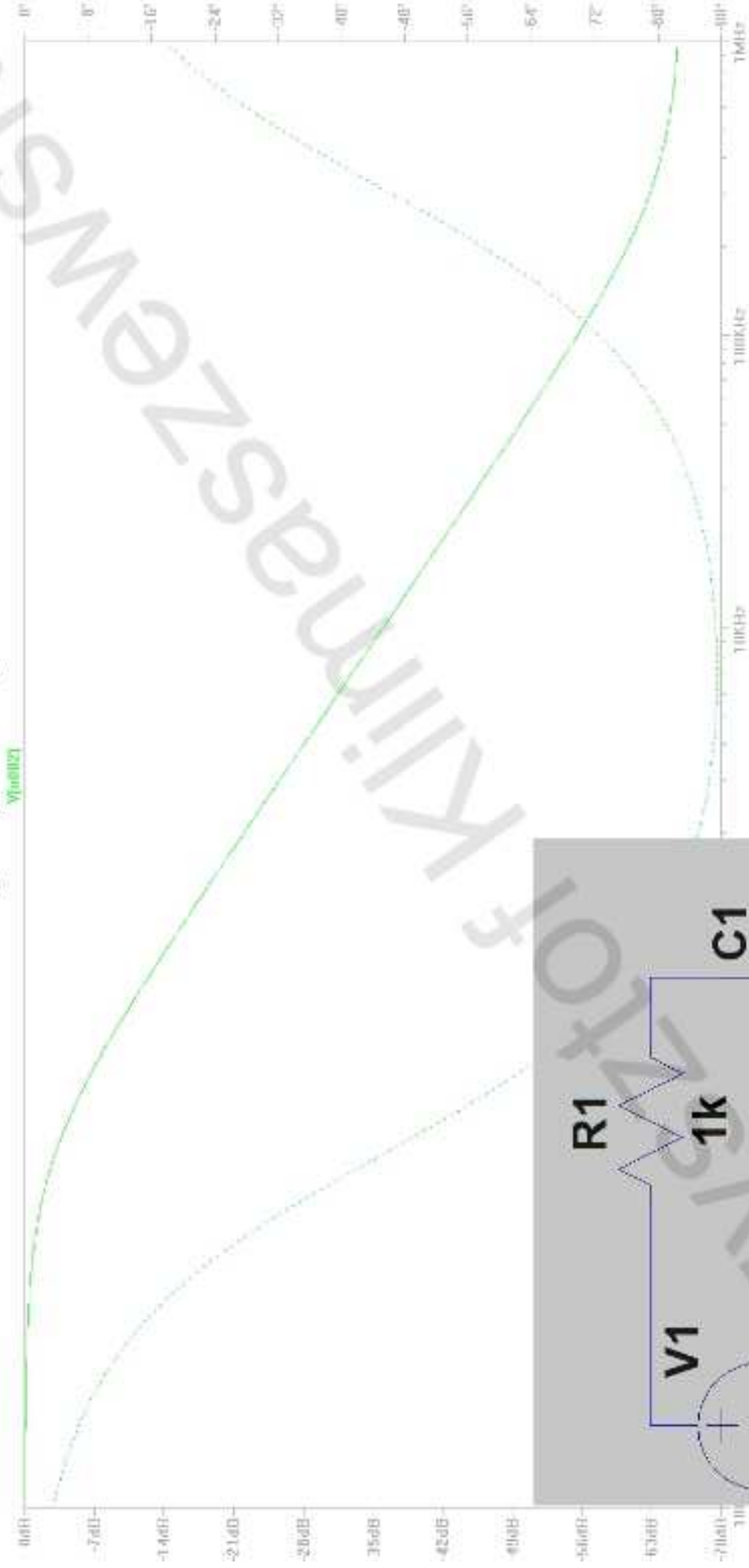


# Filtry pasywne



Idealny kondensator:  $R_s = 0\Omega$

# Filtry pasywne



Nieidealny kondensator:  $R_s = 0,5\Omega$

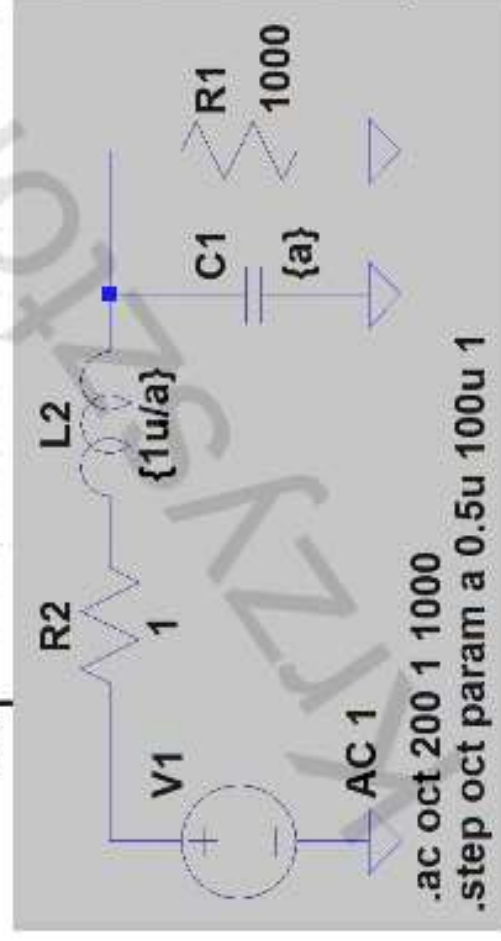
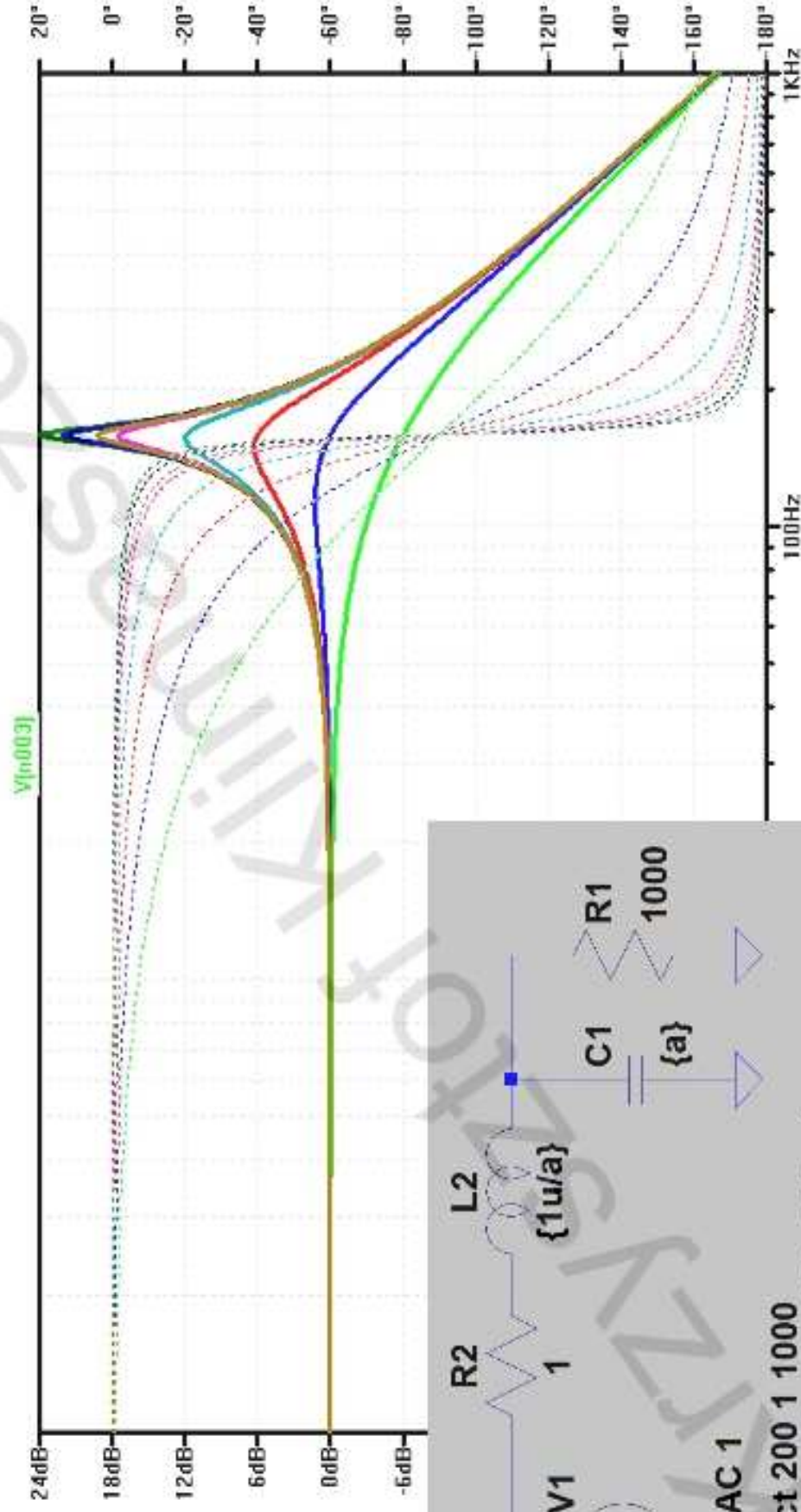
# Filtry pasywne

- Filtry LC
  - można otrzymać charakterystykę amplitudową o bardzo płaskim pasmie przepustowym i bardzo wąskim pasmie przejściowym
  - dużo elementów
  - duża wrażliwość na zmiany wartości elementów
  - możliwa bardzo niekorzystna charakterystyka fazowa
    - im lepsza (bardziej prostokątna) charakterystyka amplitudowa, tym mniej liniowa charakterystyka fazowa

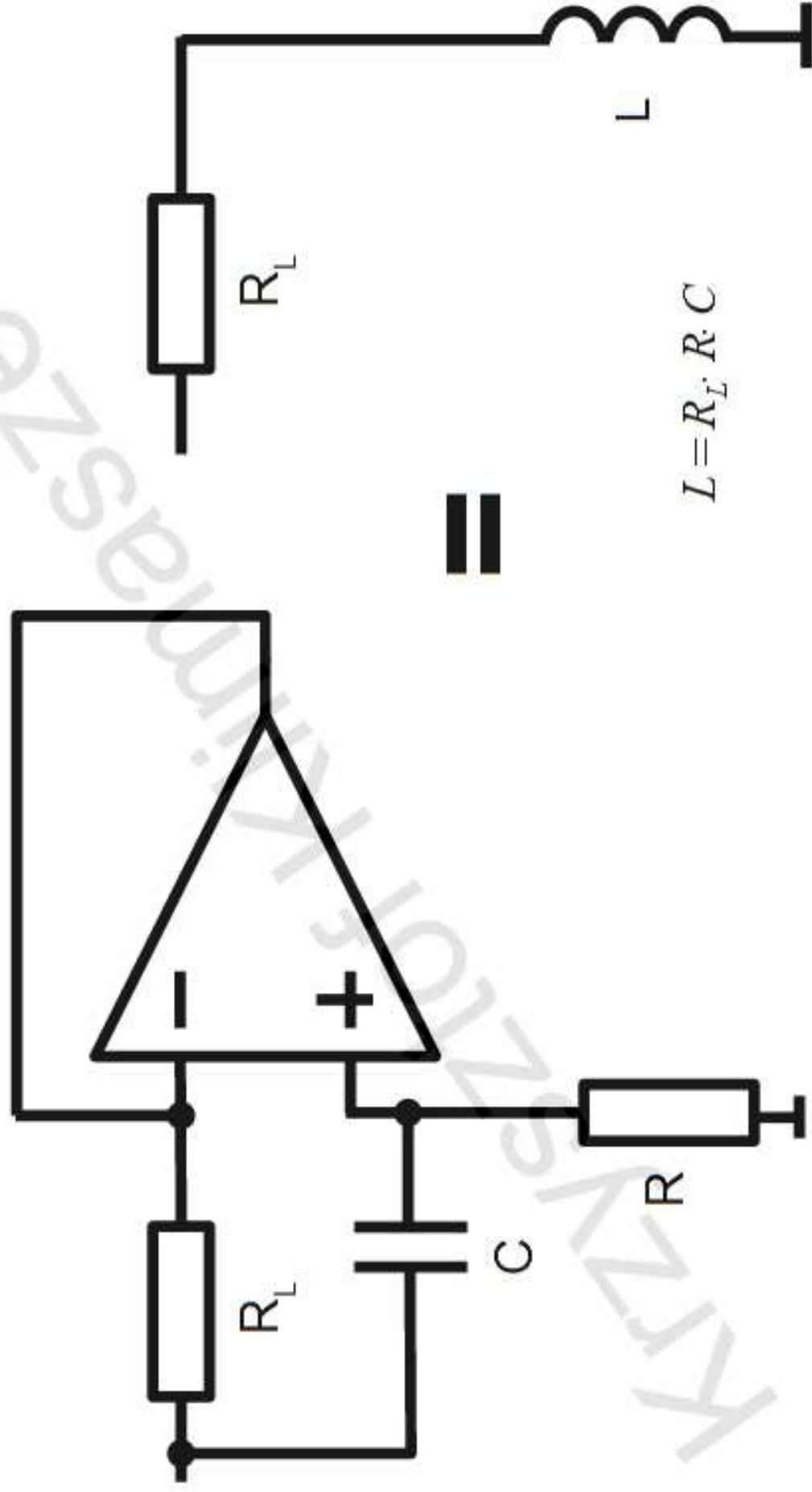


# Filtry pasywne

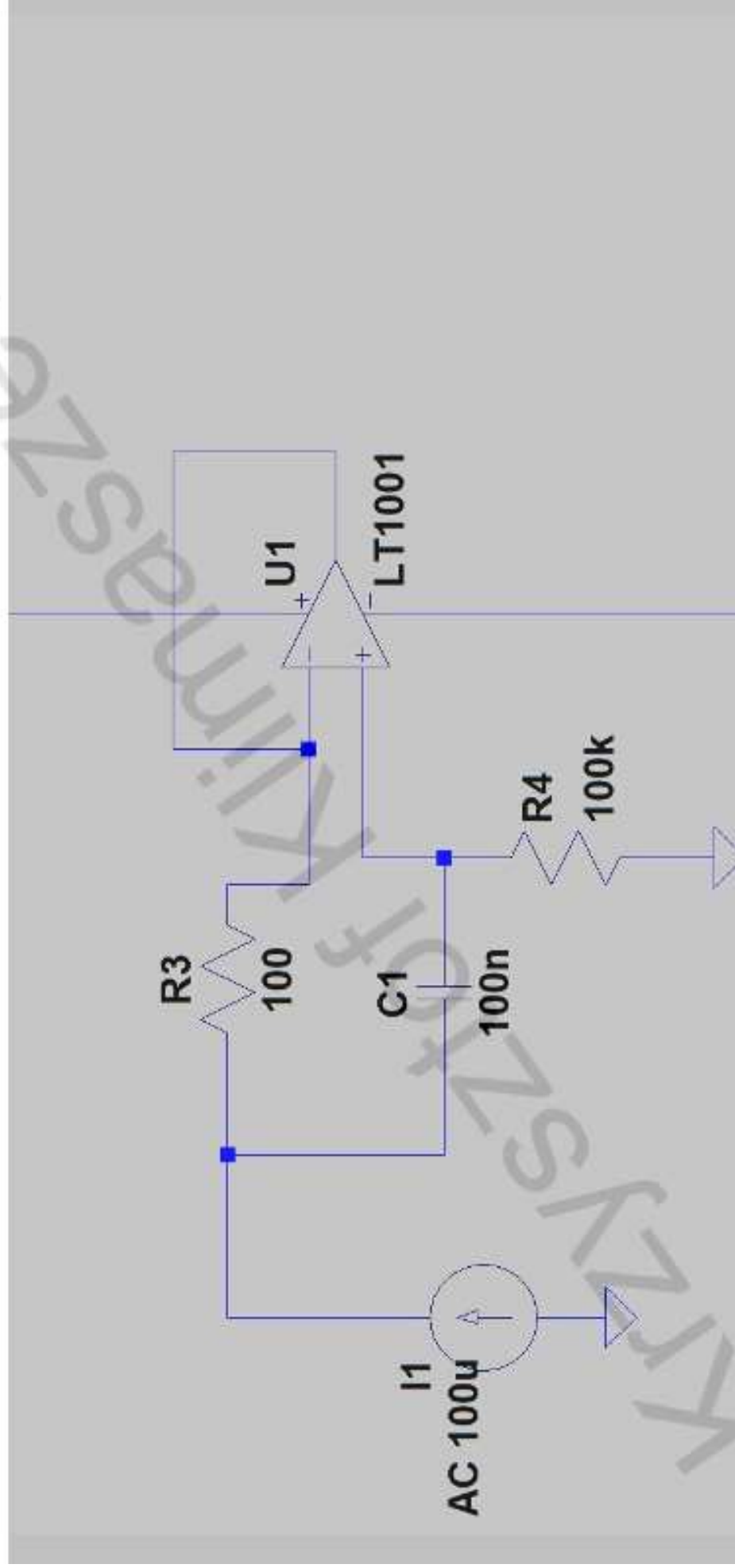
- różne dobroci filtrów, zależnie od proporcji L/C



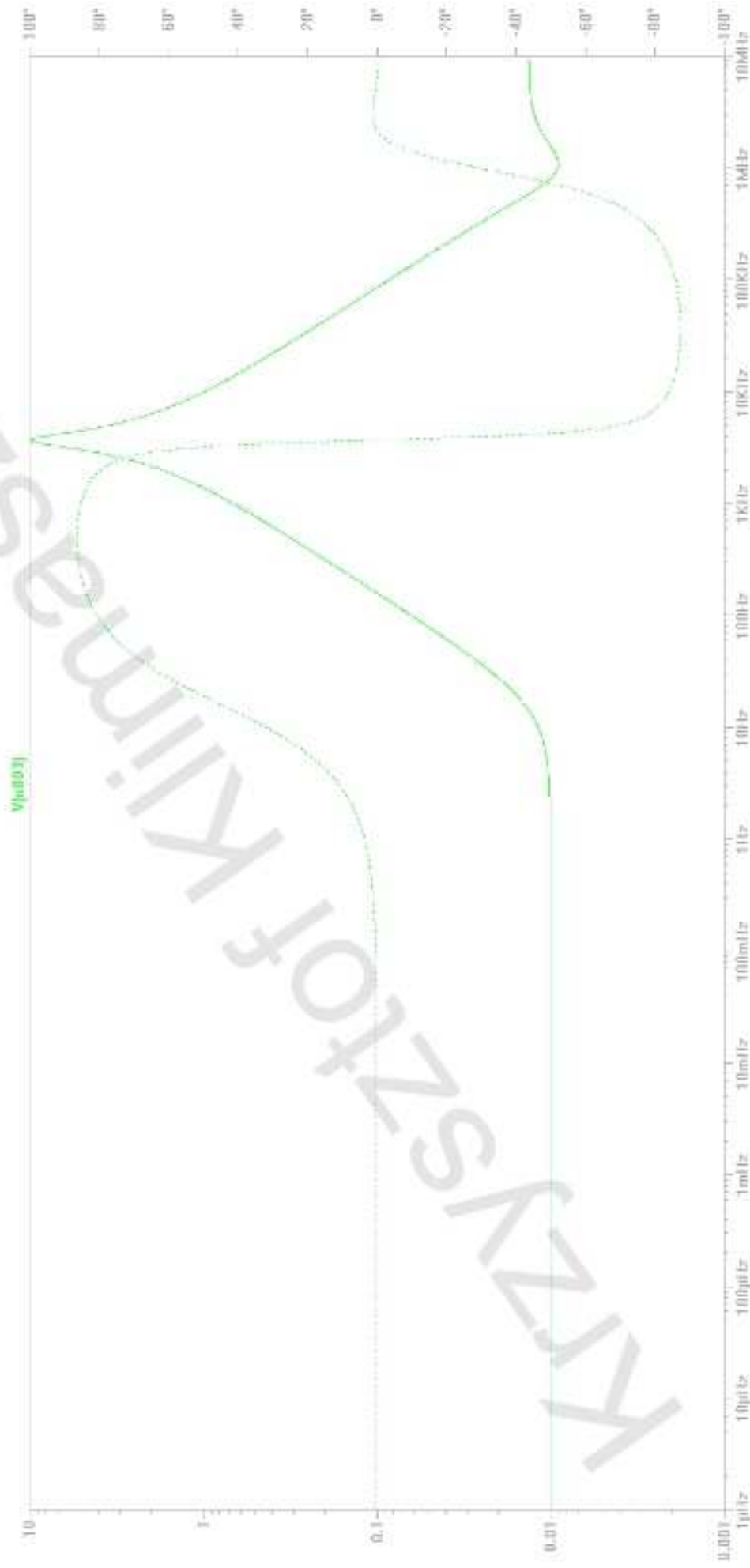
# Konverter impedancji



# Konwerter impedancji

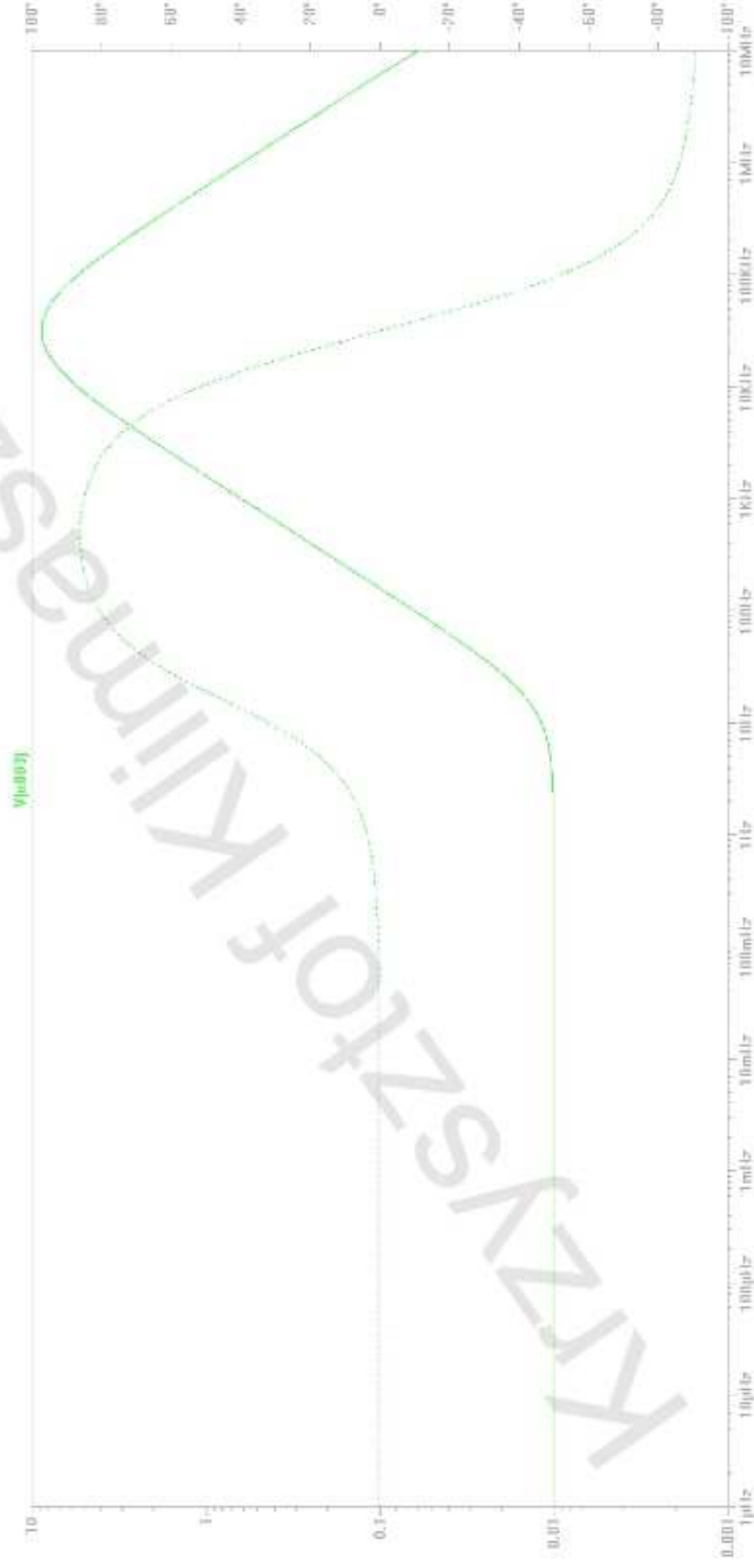


# Konwerter impedancji



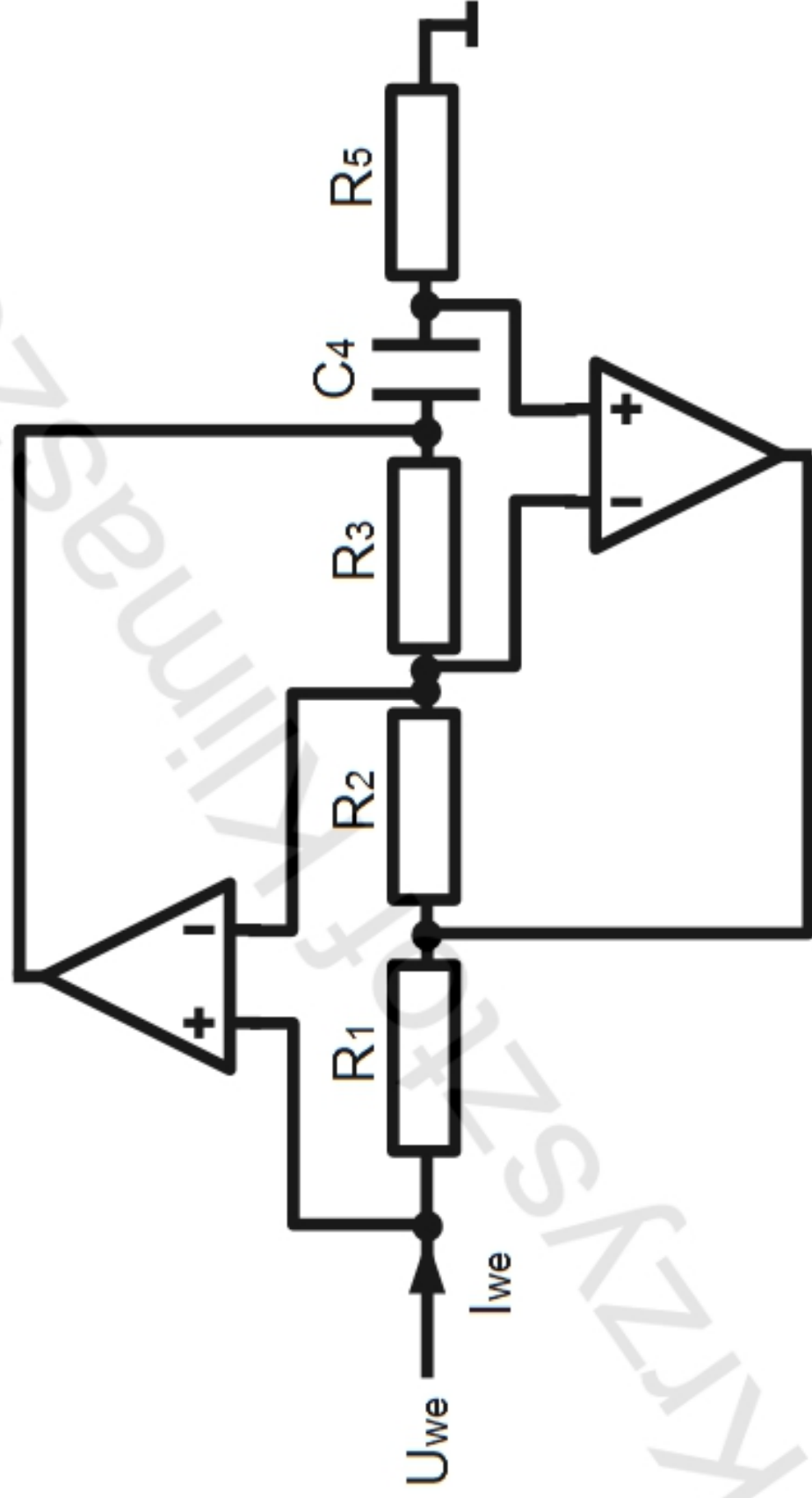
# Konwerter impedancji

- szybszy wzmacniacz

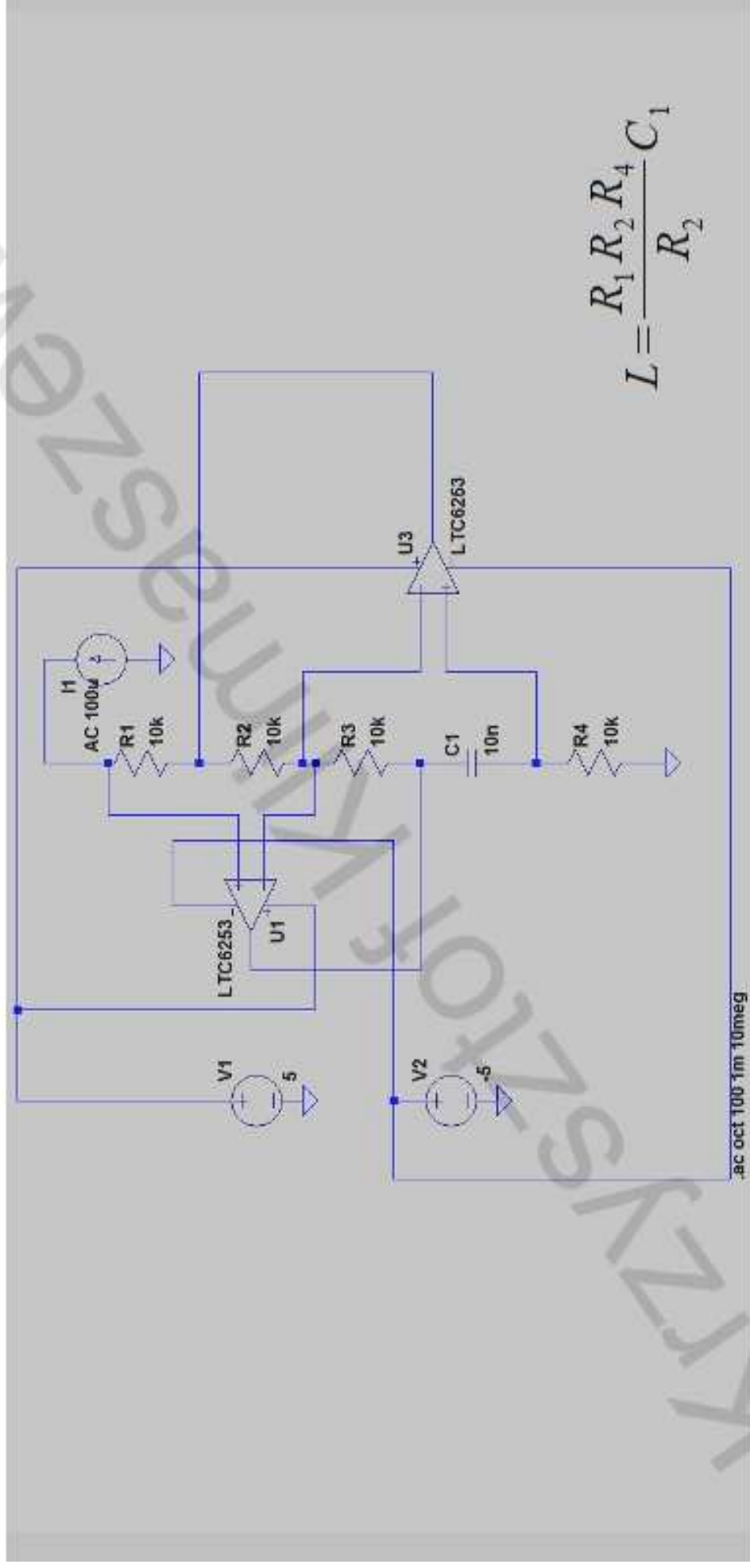




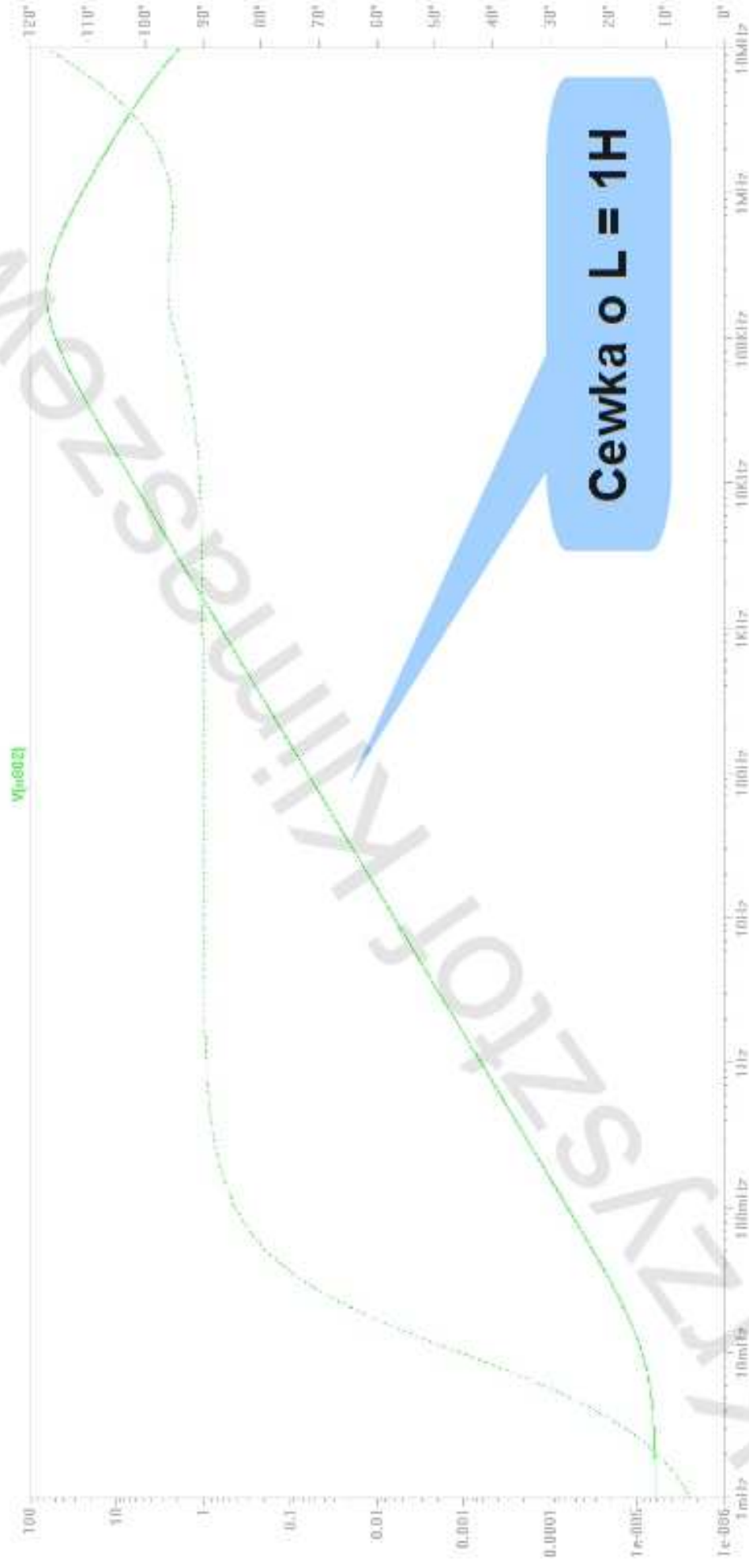
# ogólny konwerter impedancji



# ogólny konwerter impedancji



# ogólny konwerter impedancji

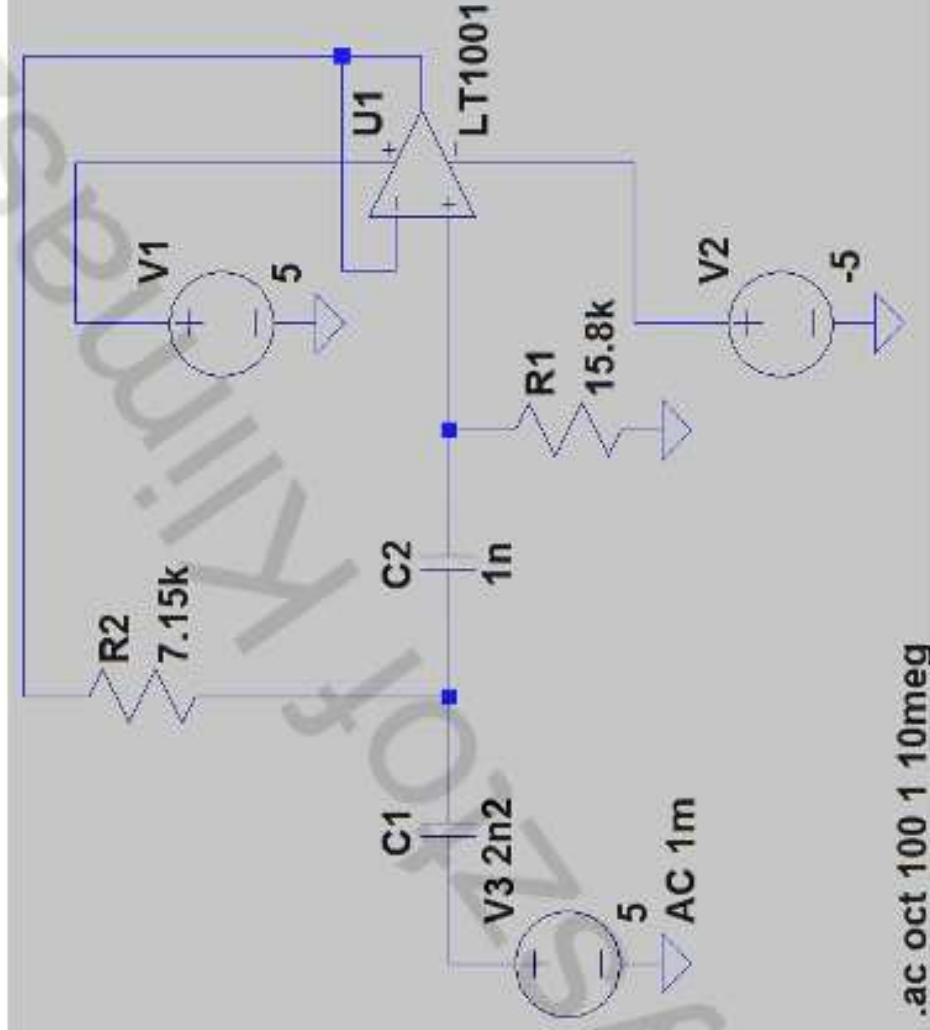


# Wpływ wzmacniacza operacyjnego

- filtr górnoprzepustowy
- $f_{gr} = 10 \text{ kHz}$
- aproksymacja Butterwortha

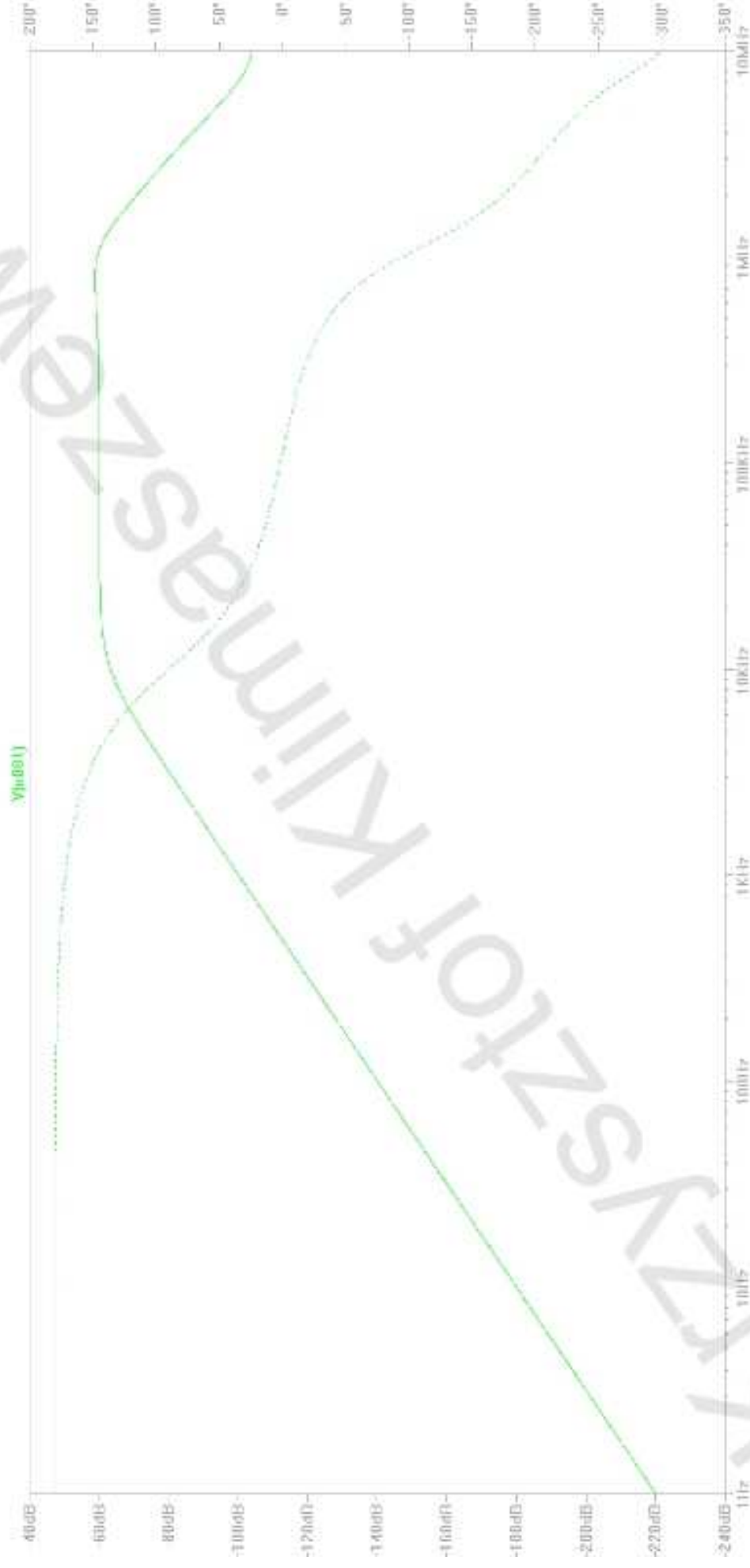
# Wpływ wzmacniacza operacyjnego

- realizacja SK (wolny wzmacniacz)



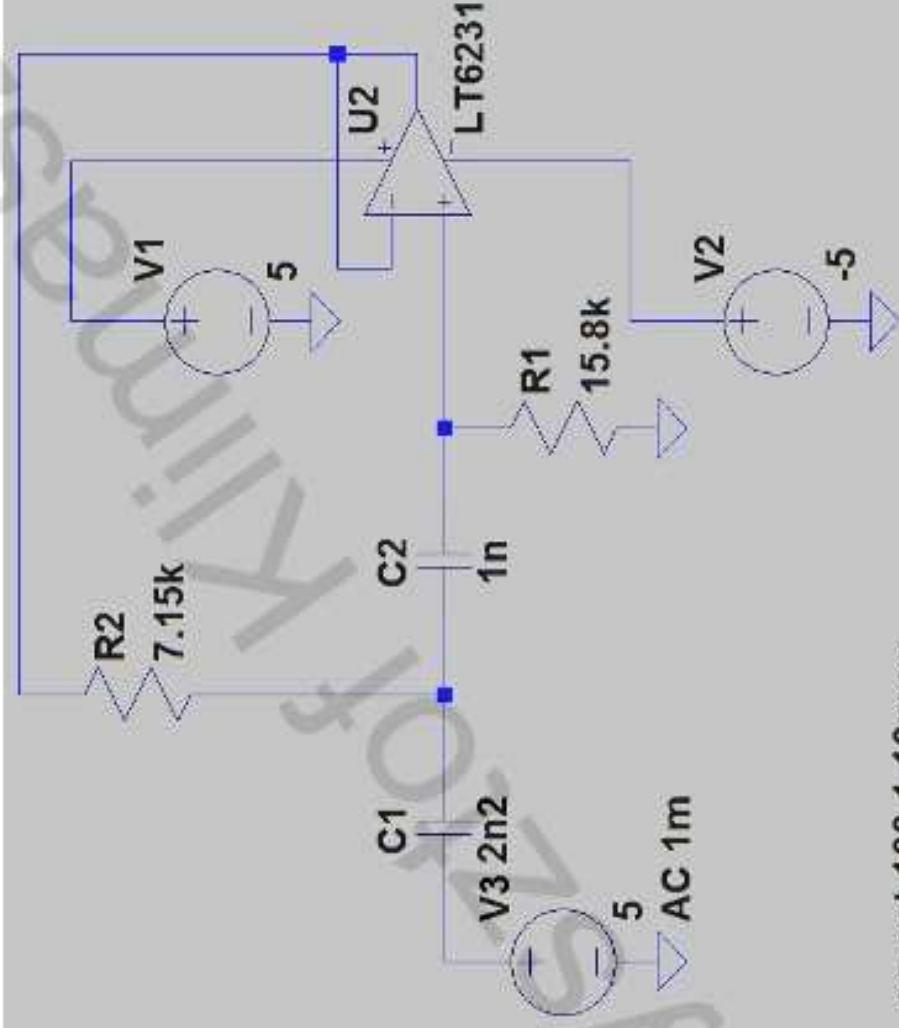


# Wpływ wzmacniacza operacyjnego



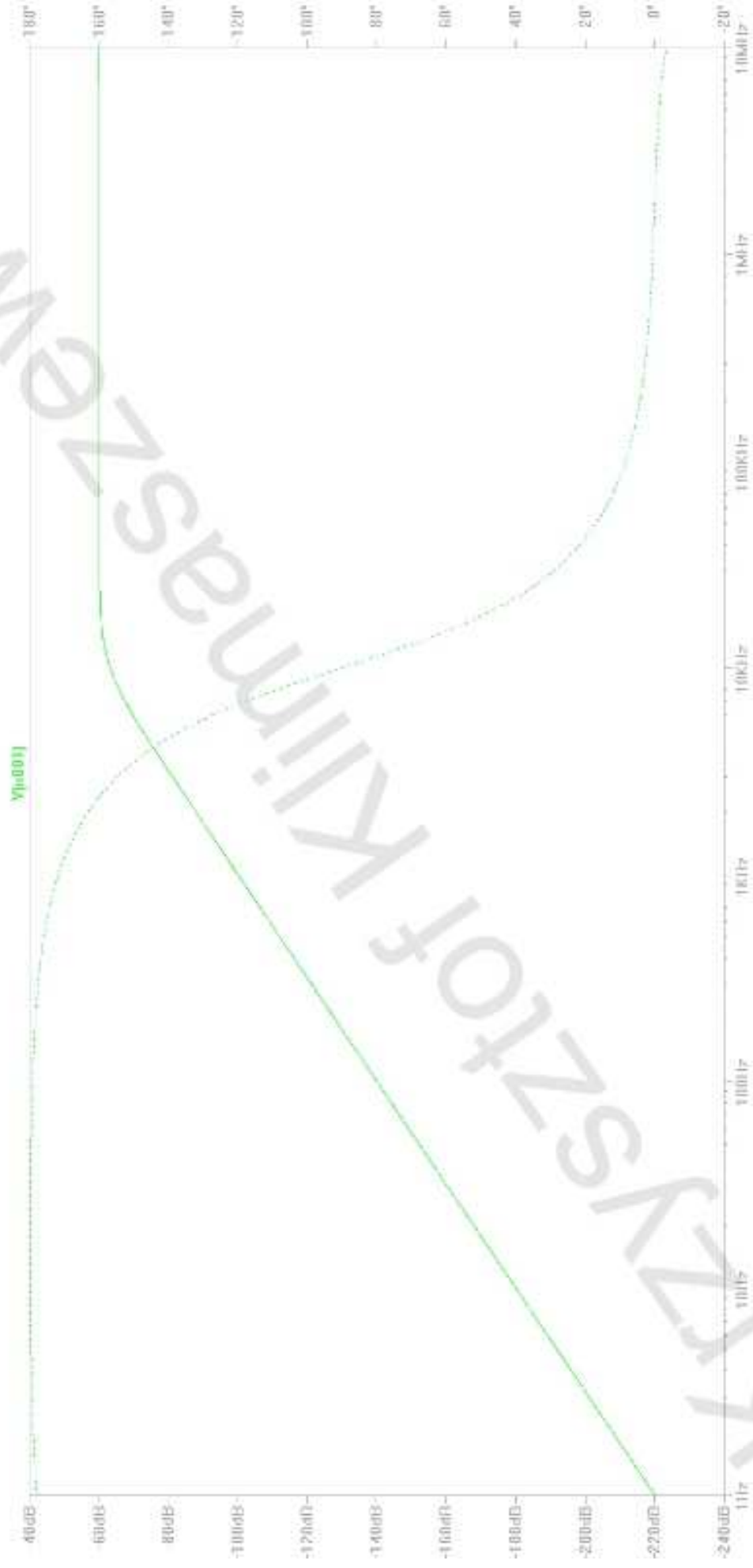
# Wpływ wzmacniacza operacyjnego

- realizacja SK (szybki wzmacniacz)



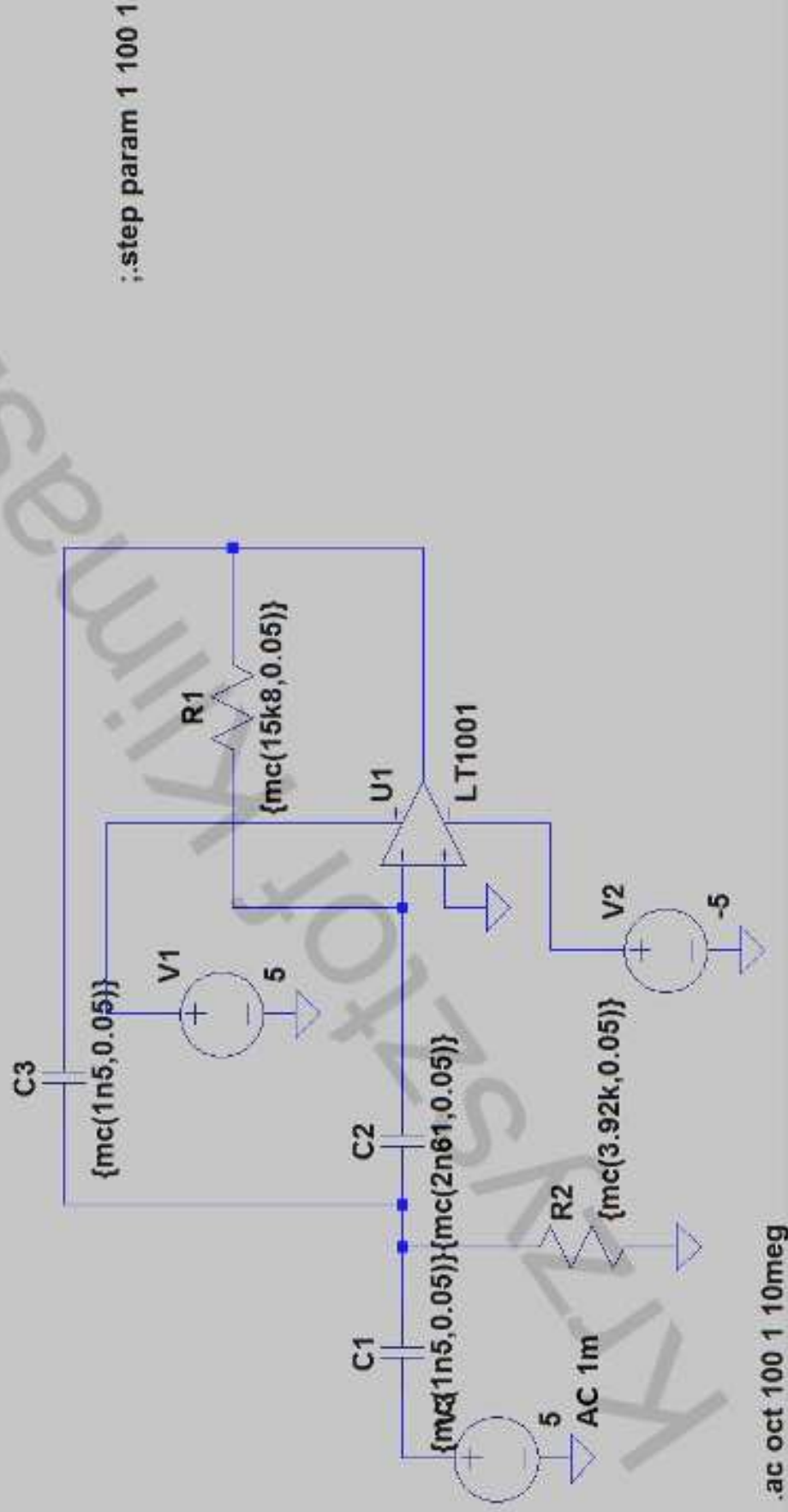
.ac oct 100 1 10meg

# Wpływ wzmacniacza operacyjnego

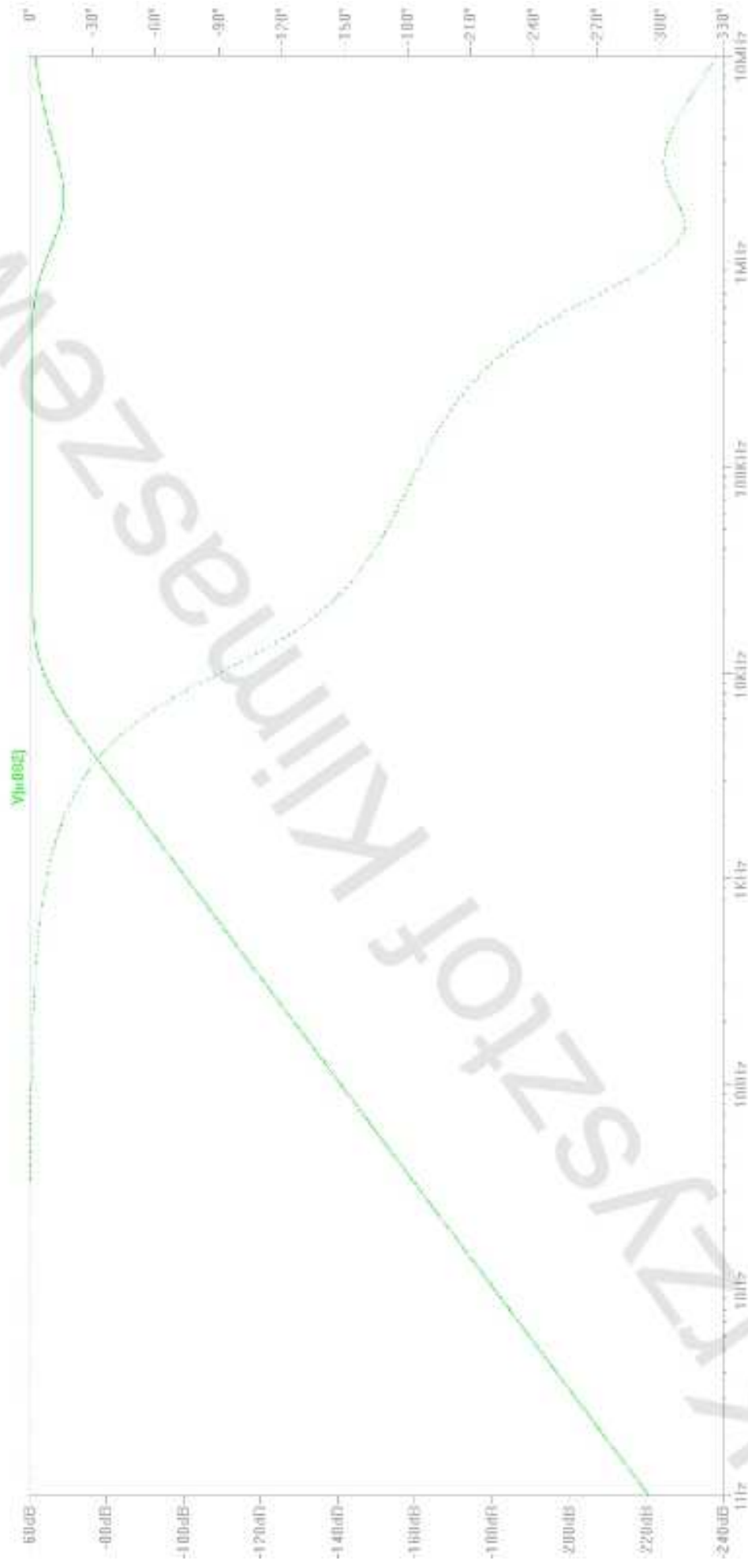


# Wpływ wzmacniacza operacyjnego

- realizacja MFB (1 kondensator więcej, wolny wzmacniacz)

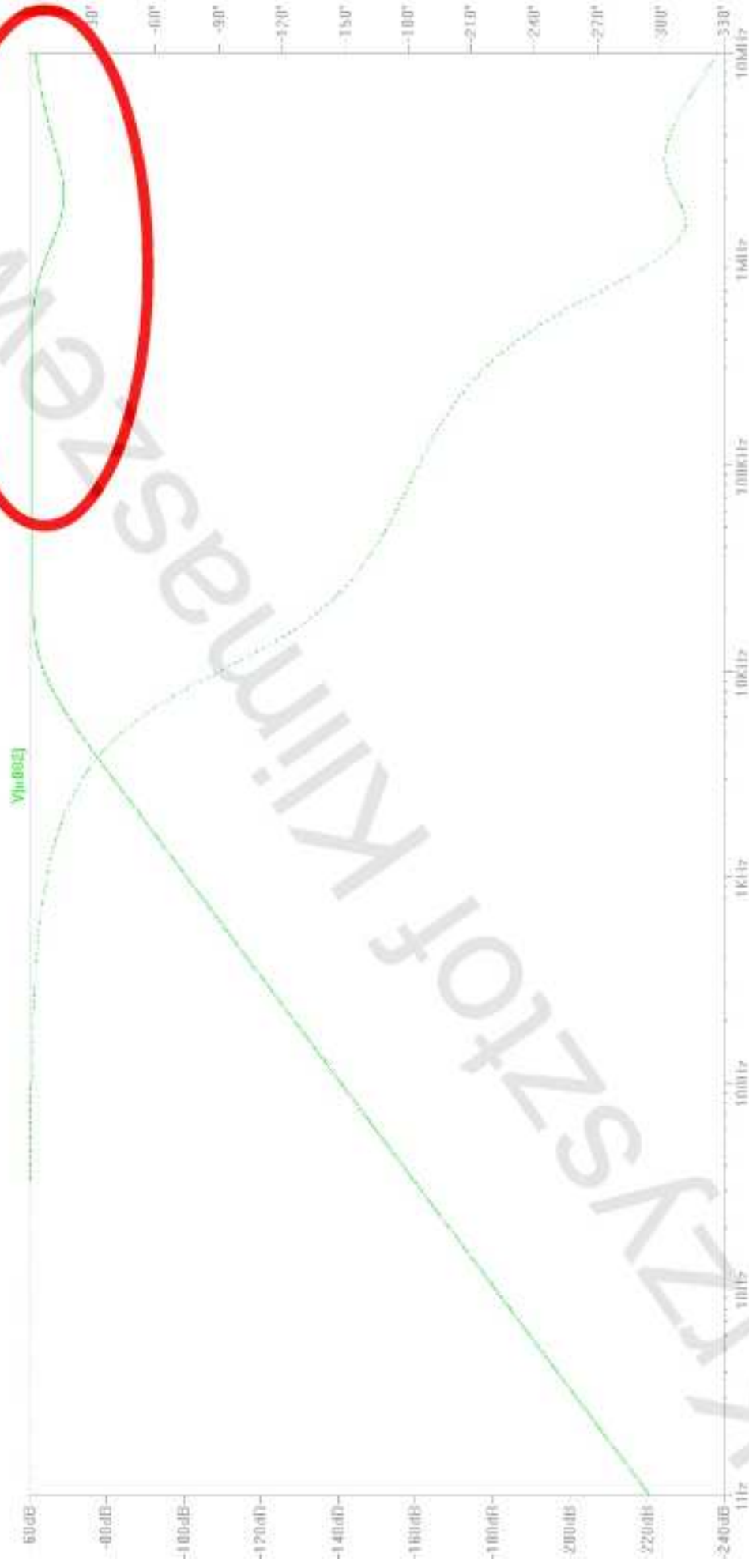


# Wpływ wzmacniacza operacyjnego



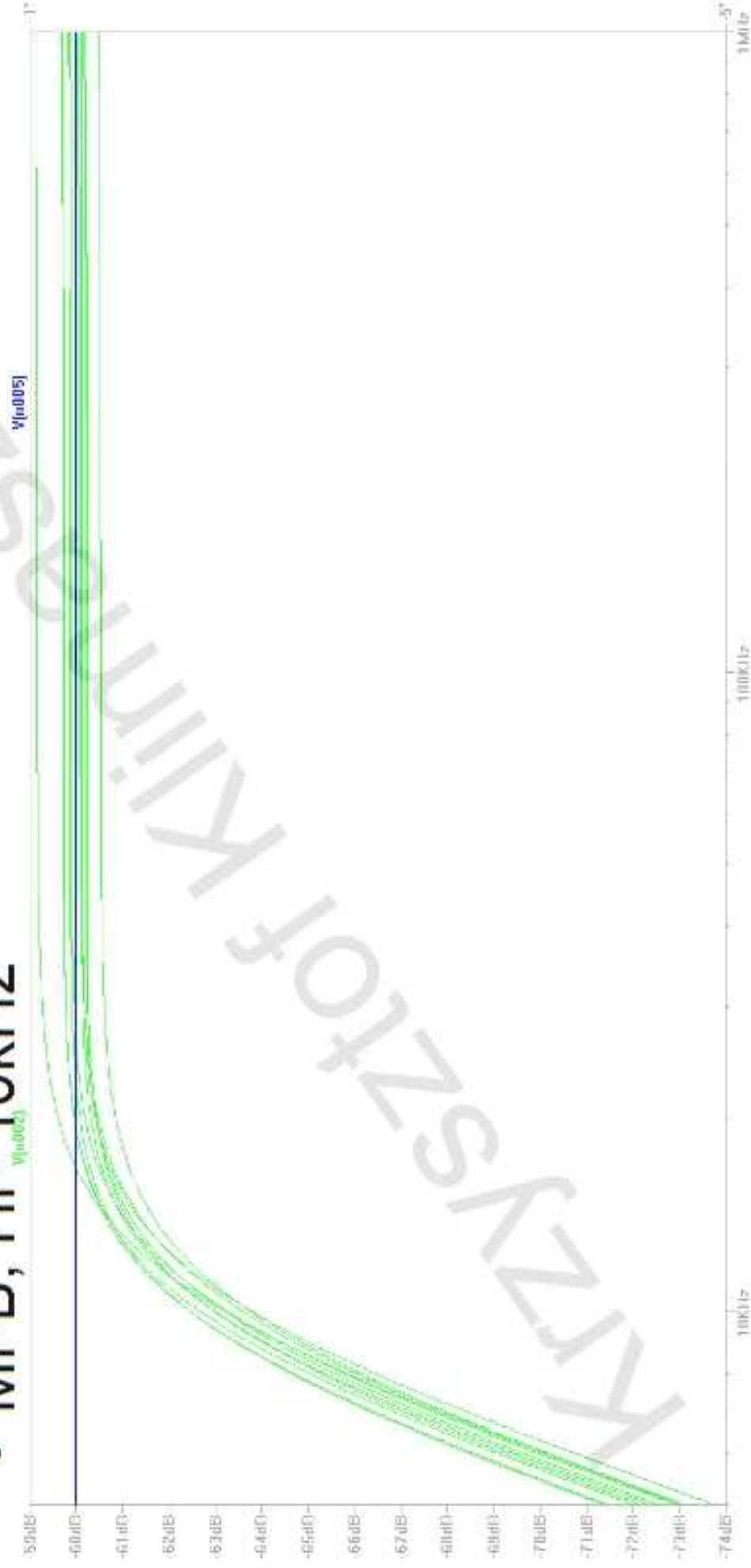


# Wpływ wzmacniacza operacyjnego

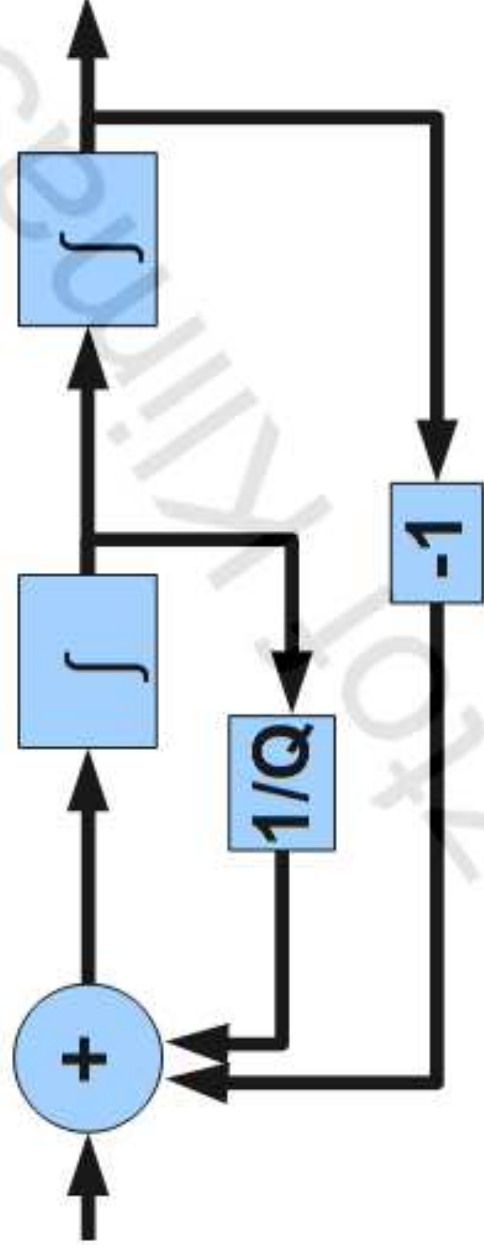


# Wrażliwość

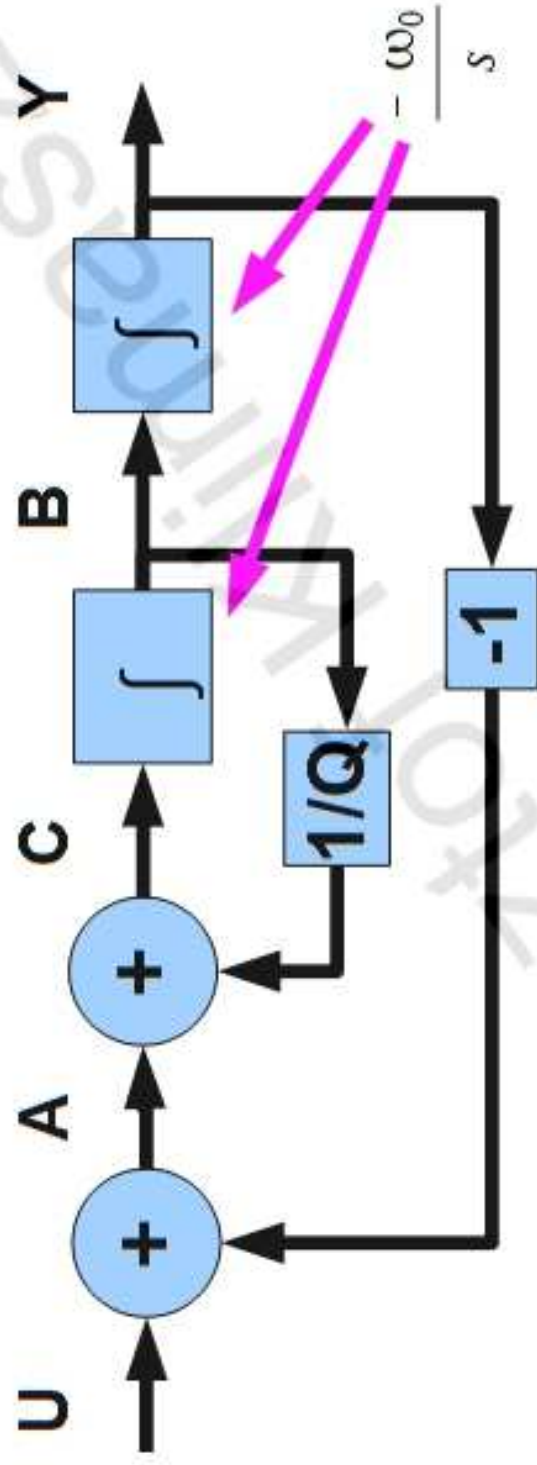
- tolerancja elementów 5%
- MFB, HP 10kHz



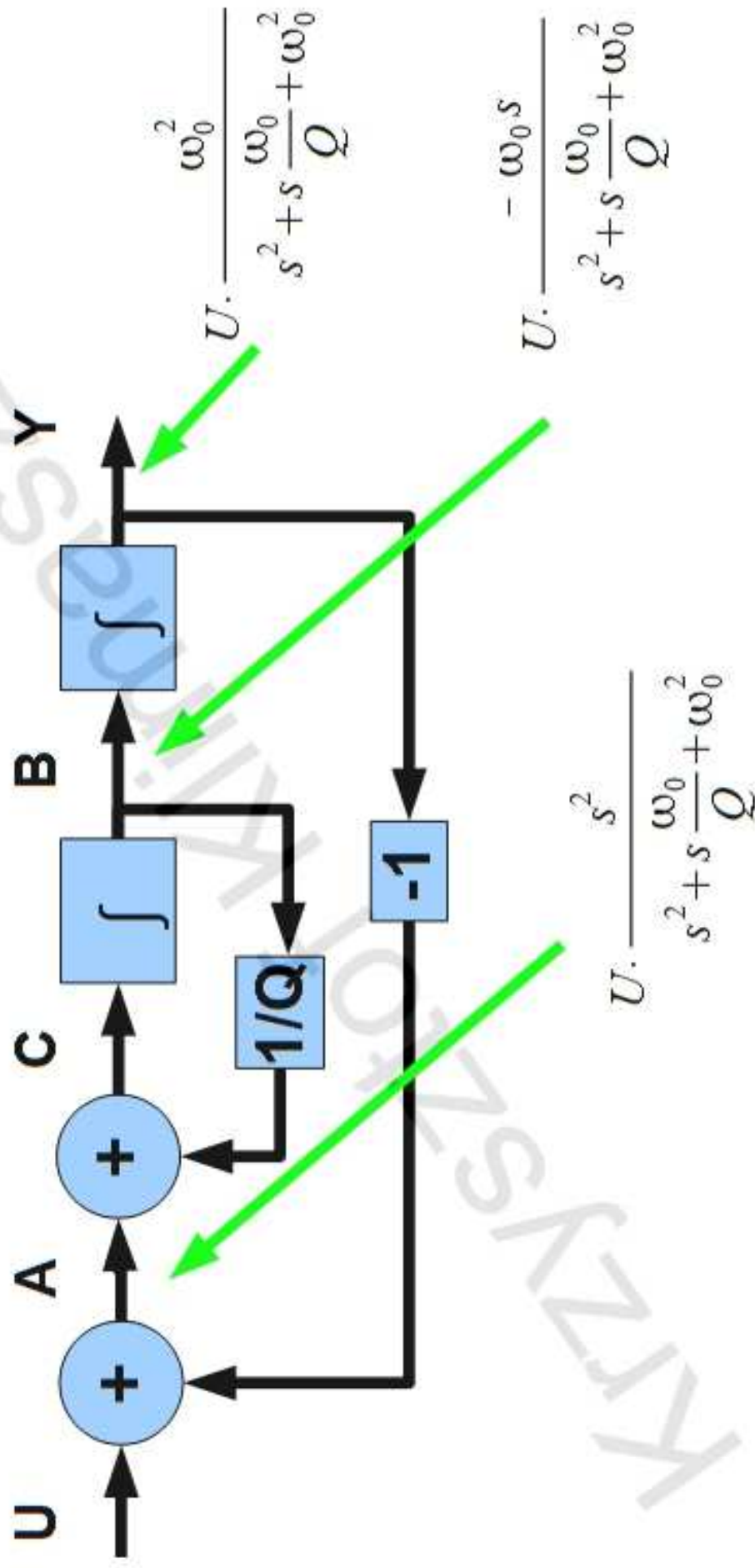
# Filtr modelujący zmiennę stanu



# Filtr modelujący zmiennę stanu



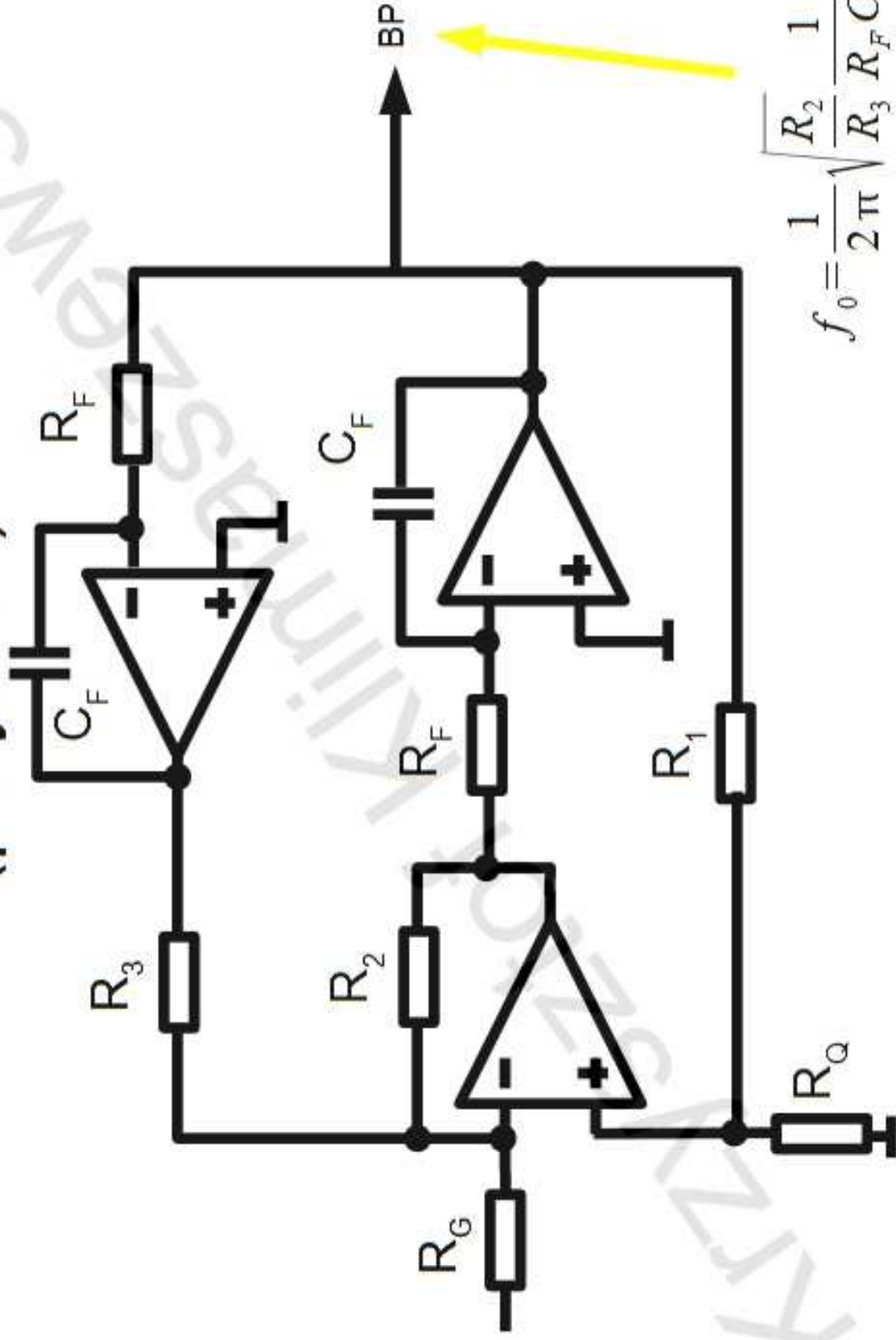
# Filtr modelujący zmiennę stanu





# Filtr modelujący zmiennne stanu

(przykład)



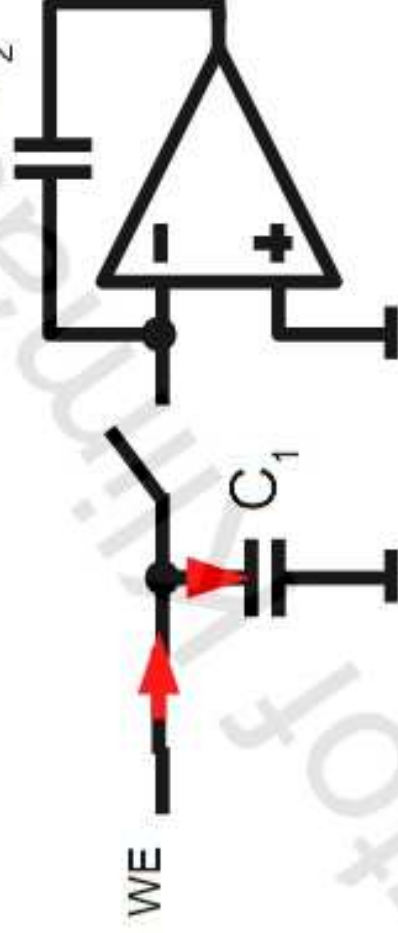
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_2}{R_3} \frac{1}{R_F C_F}}$$

# Filtr z przełącznymi pojemnościami



# Filtr z przełącznymi pojemnościami

- Faza 1

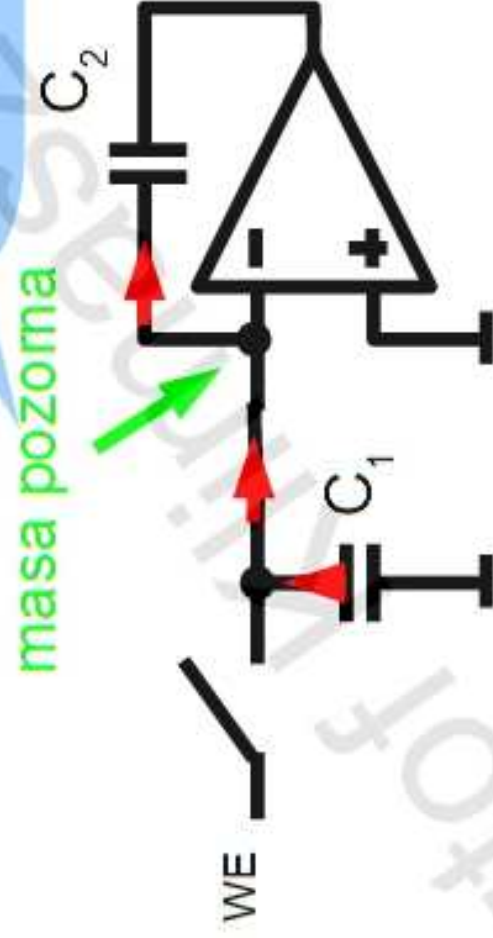


$$U_{C_1} = U_{WE}$$
$$Q_{C_1} = U_{C_1} \cdot C_1$$

# Filtr z przełącznymi pojemnościami

- Faza 2

zatem  $C_1$  rozładuje się całkowicie

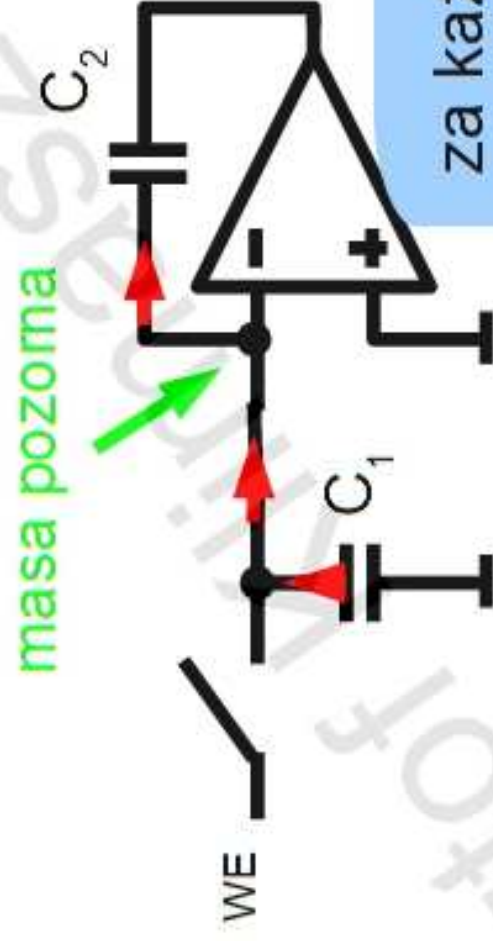


$$\Delta Q_{C_2} = Q_{C_1}$$

$$\Delta U_{WY} = - \Delta U_{C_2} = - \frac{C_1}{C_2} \cdot U_{WE}$$

# Filtr z przełącznymi pojemnościami

- Faza 2



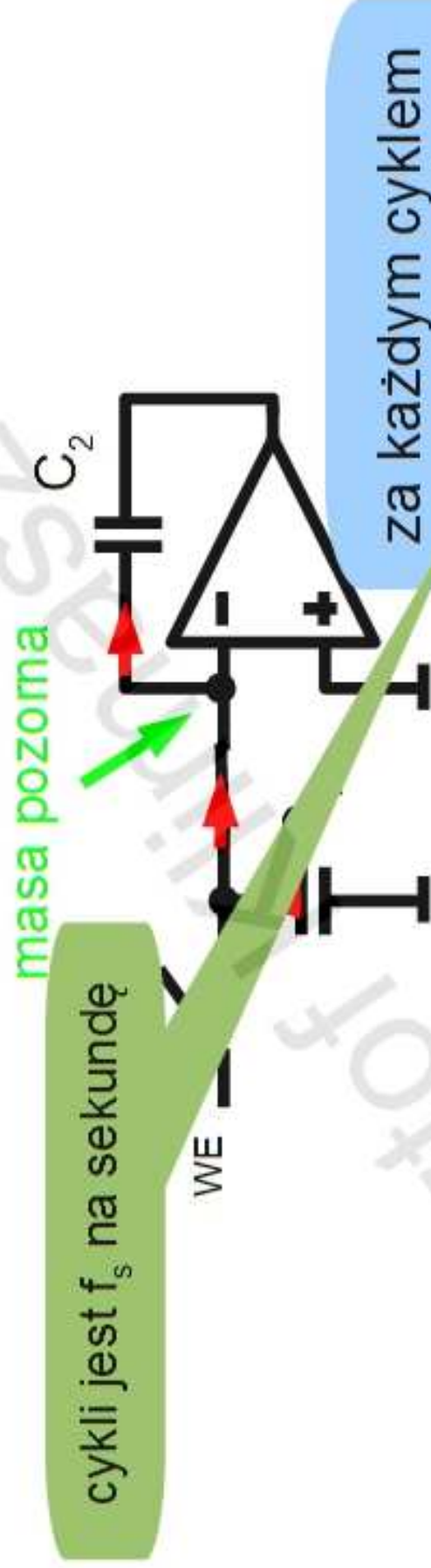
$$\Delta Q_{C_2} = Q_{C_1}$$

$$\Delta U_{WY} = - \Delta U_{C_2} = - \frac{C_1}{C_2} U_{WE}$$



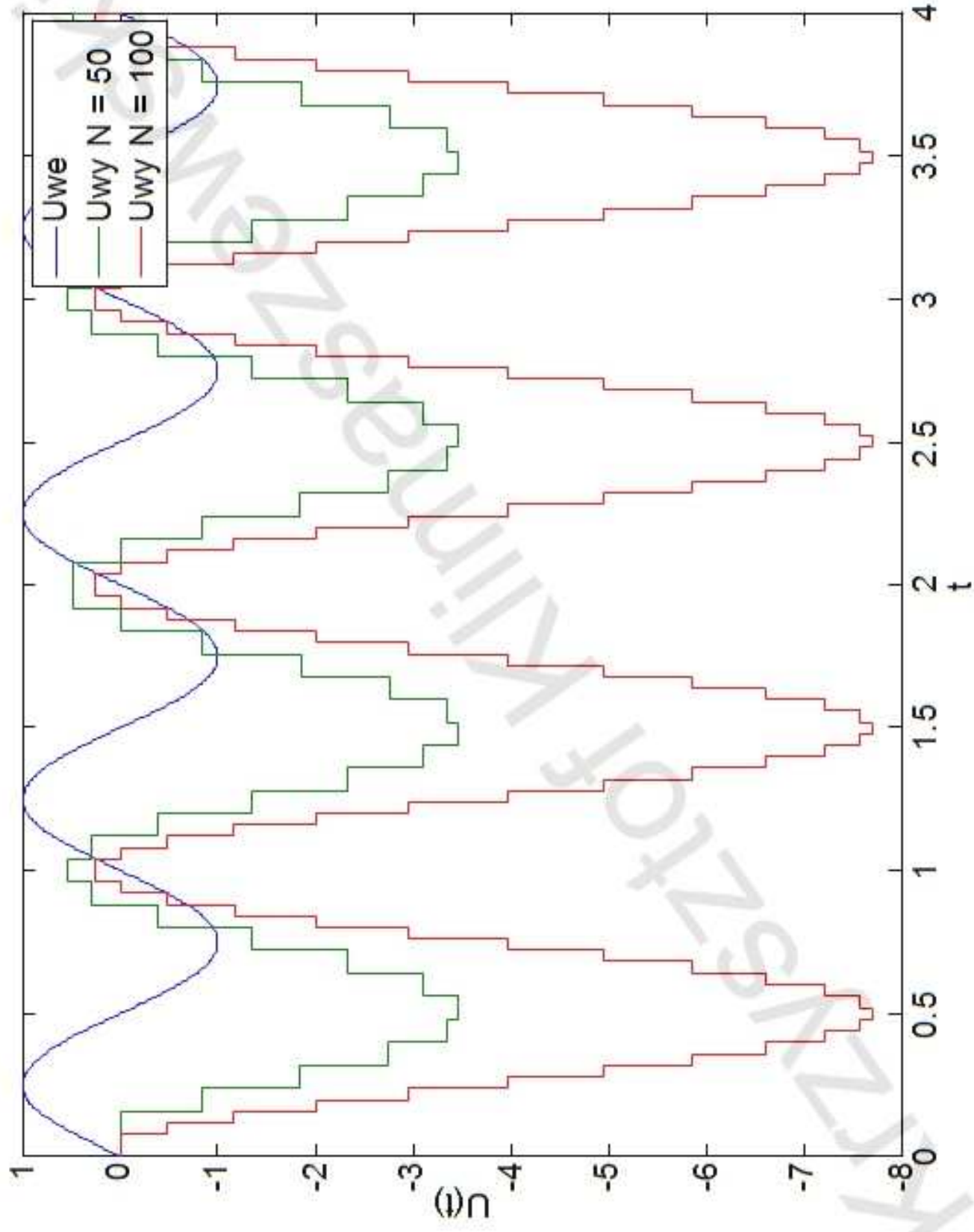
# Filtr z przełącznymi pojemnościami

- Faza 2



$$\Delta Q_{C_2} = Q_{C_1}$$

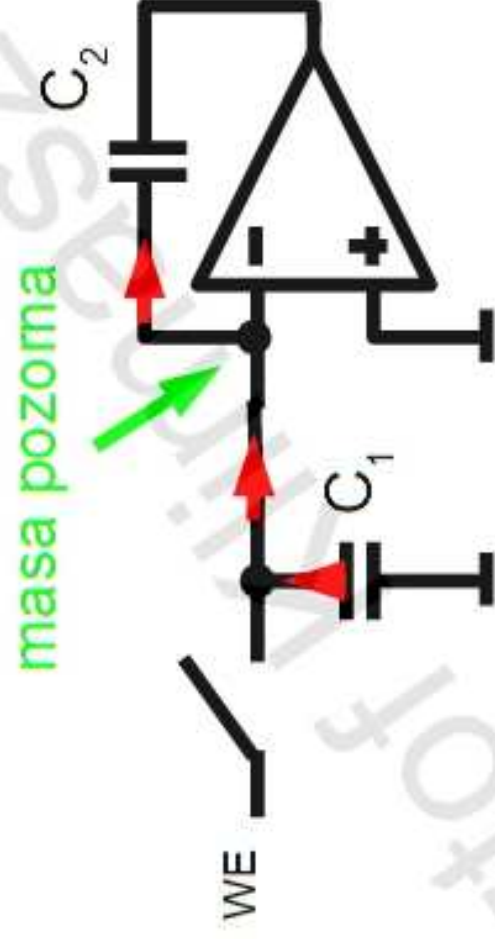
$$\Delta U_{WY} = - \Delta U_{C_2} = - \frac{C_1}{C_2} U_{WE}$$



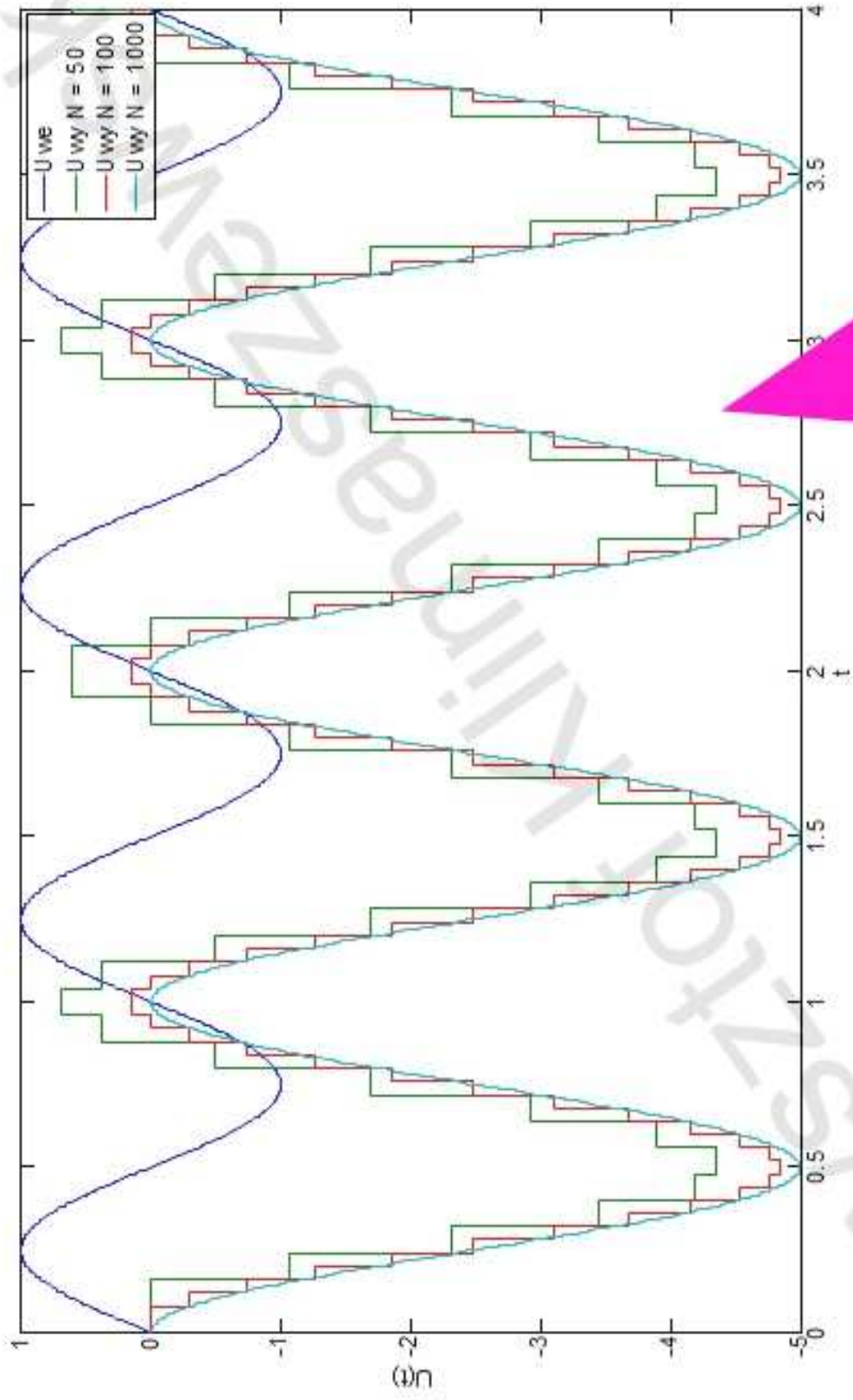
100000 próbek, próbkowanie co N próbek

# Filtr z przełącznymi pojemnościami

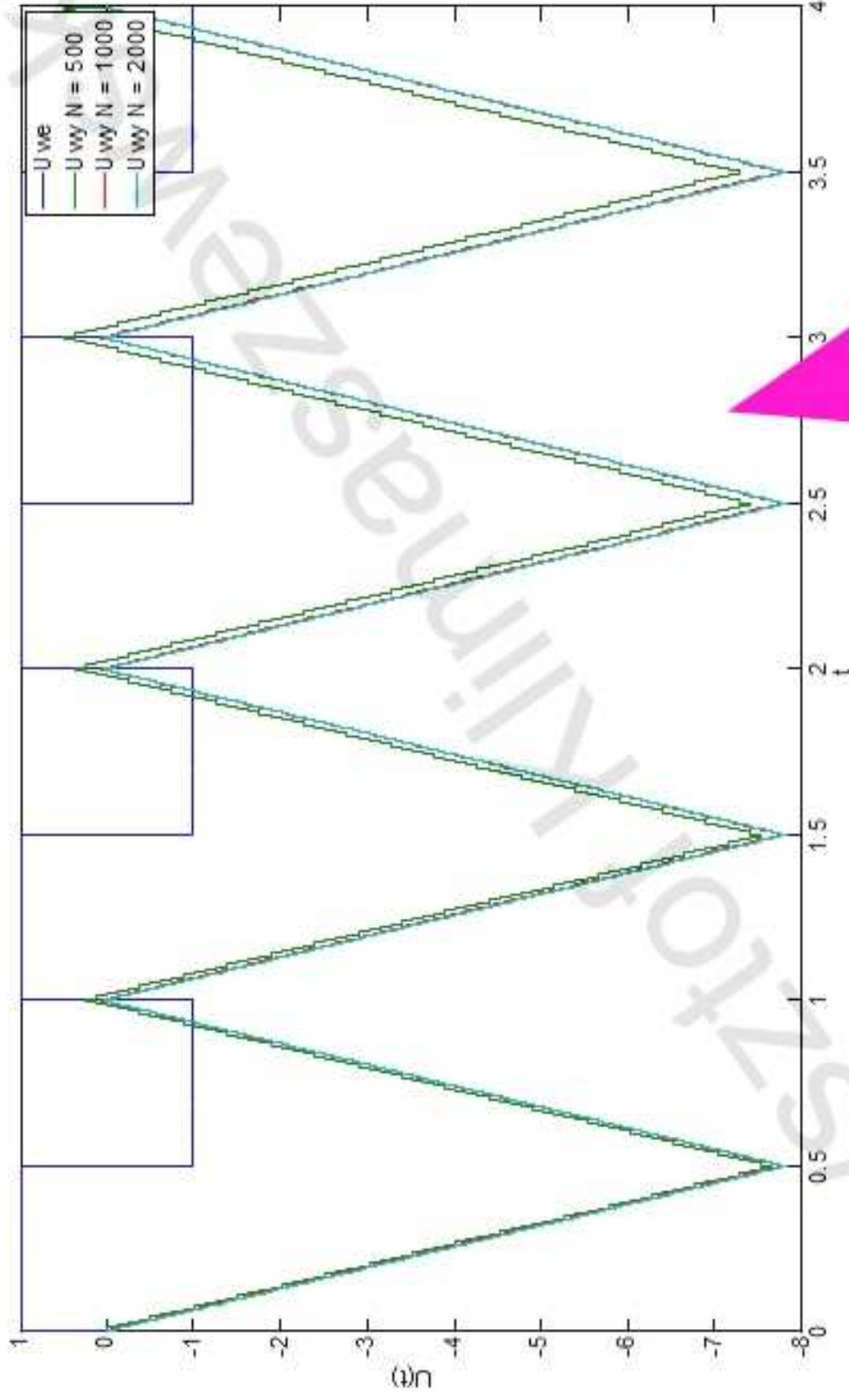
- Faza 2



$$U_{WY} = -f_s \frac{C_1}{C_2} \int U_{WE}$$



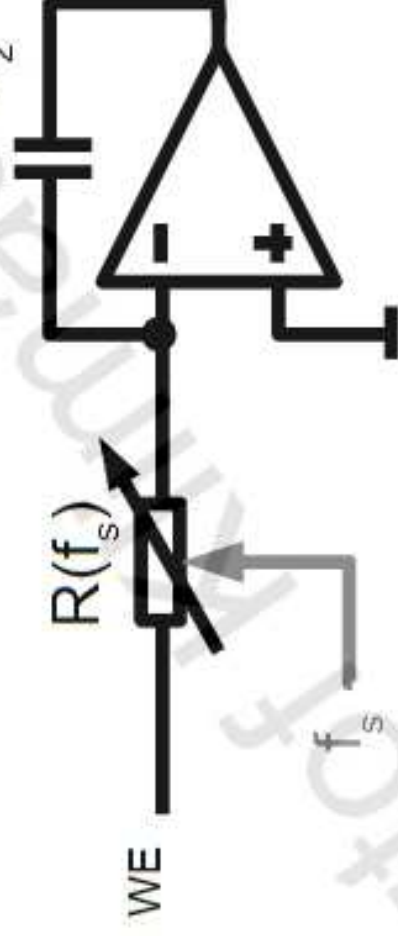
Znormalizowana amplituda przez  
podzielenie przez częstotliwość



Znormalizowana amplituda przez podzielenie przez częstotliwość



# Filtr z przełącznymi pojemnościami



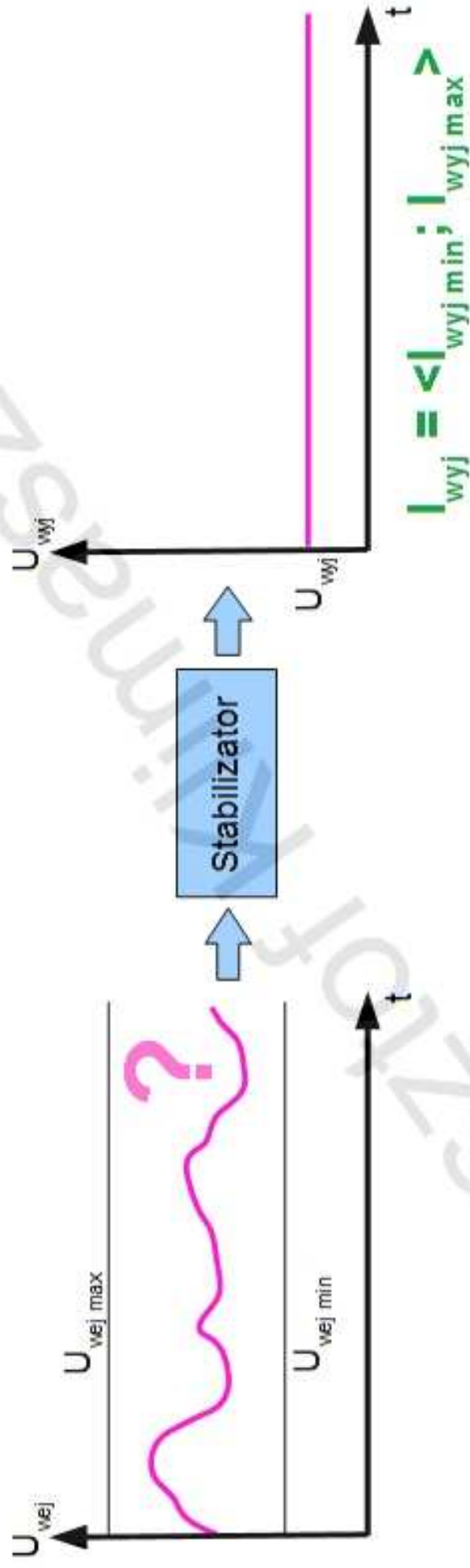
# Analogowe Układy Elektroniczne

Krzysztof Klimaszewski

[kklima@et.put.poznan.pl](mailto:kklima@et.put.poznan.pl)

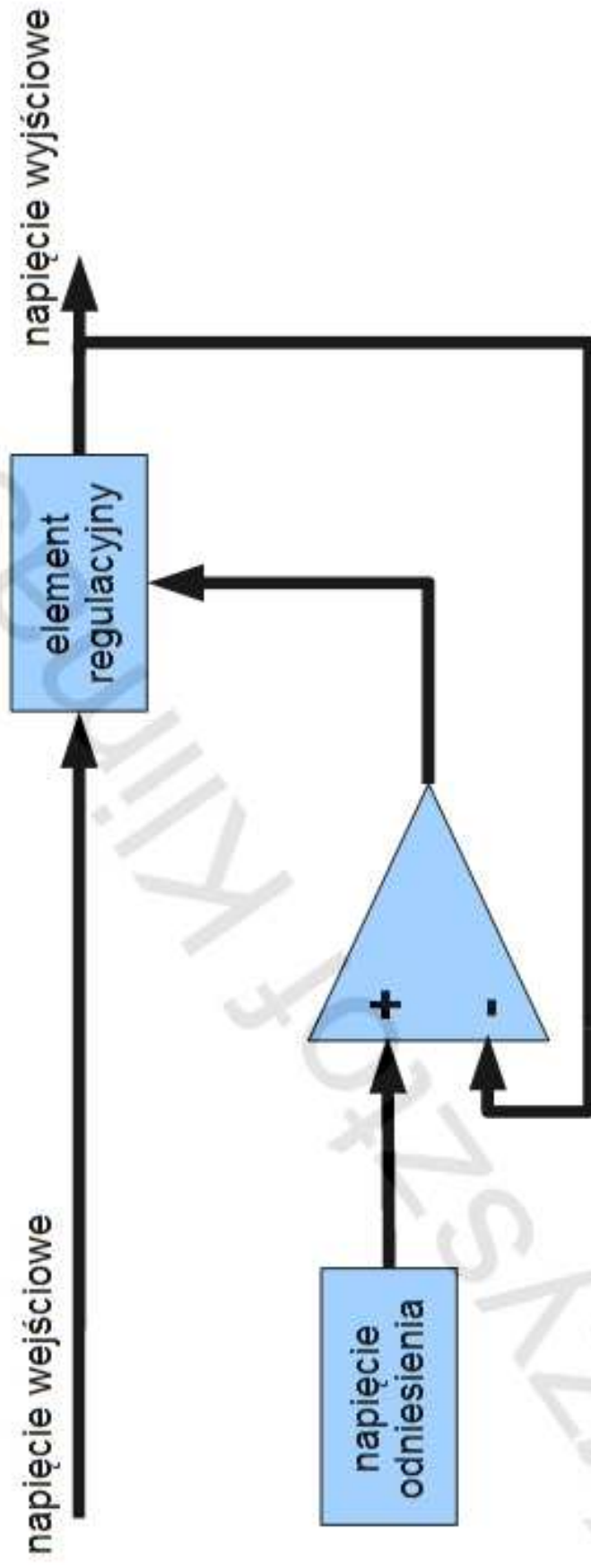
Polanka 3, pokój 118

# Zastosowanie stabilizatorów



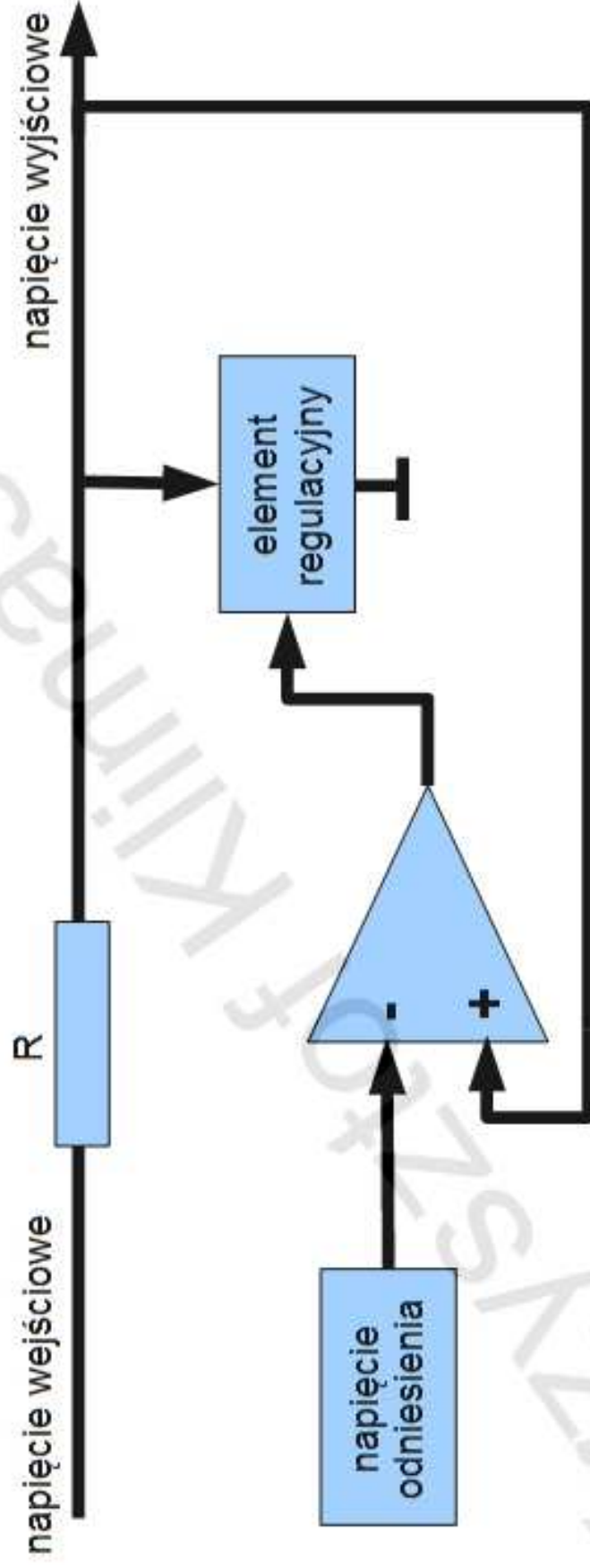
# Stabilizatory liniowe

- stabilizator szeregowy



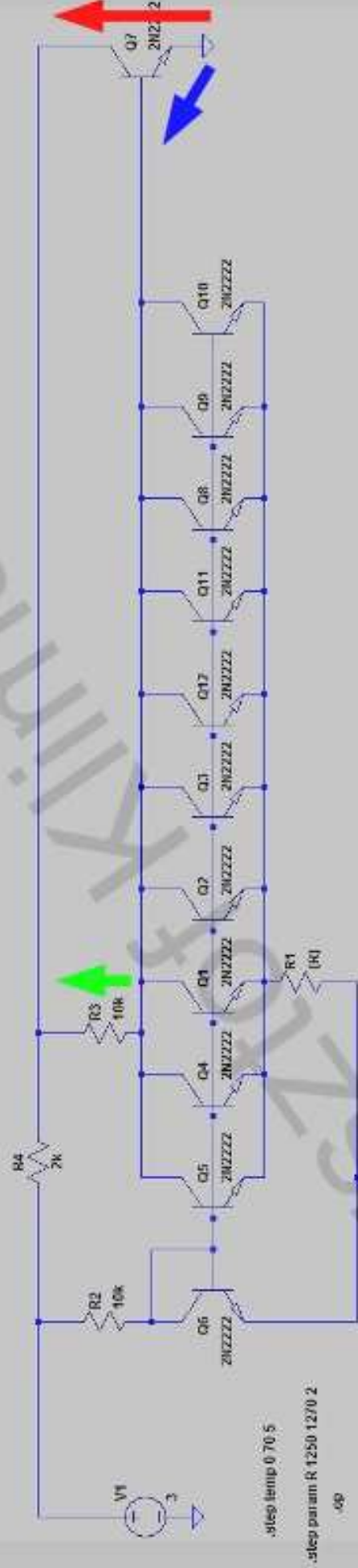
# Stabilizatory liniowe

- stabilizator równoległy

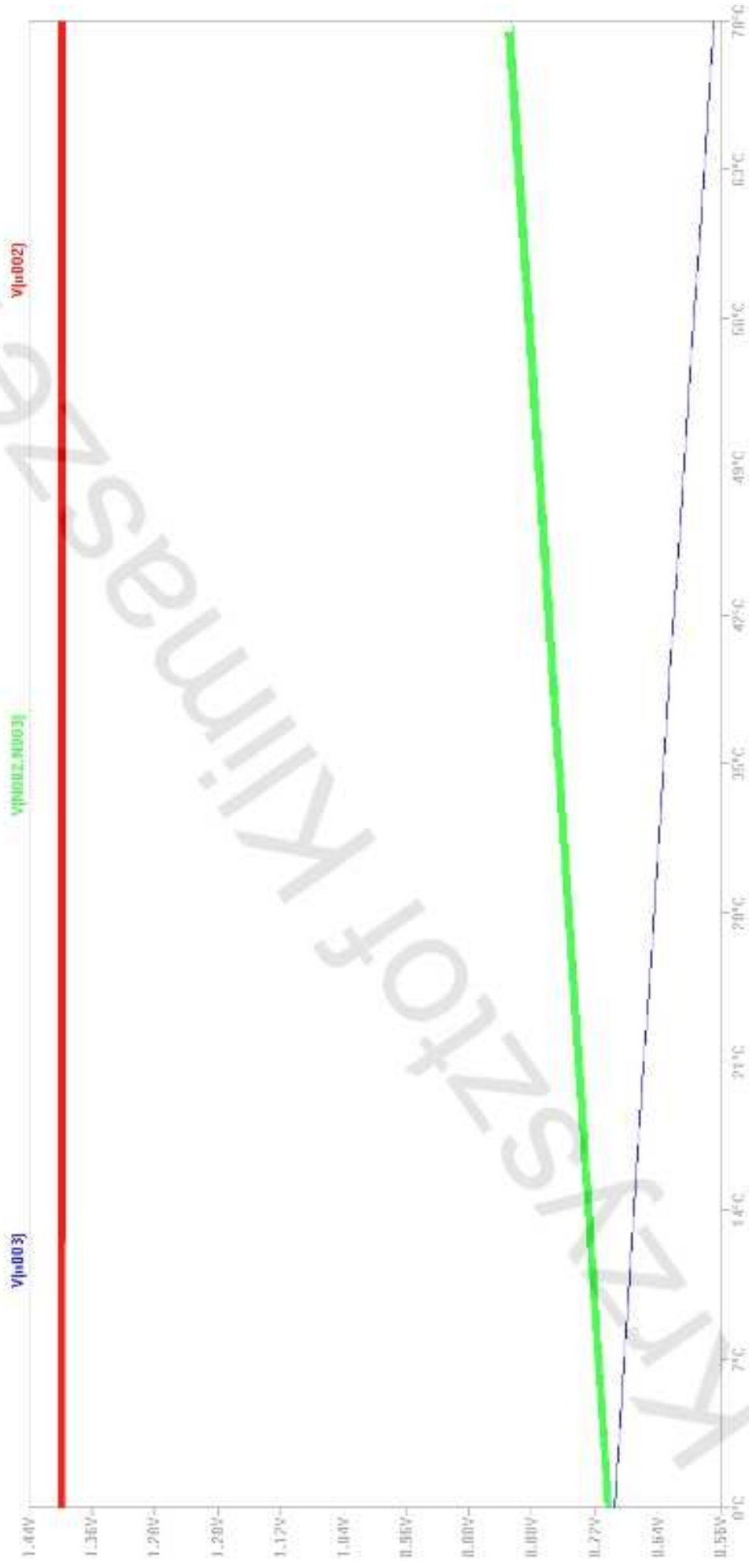




# Band gap reference

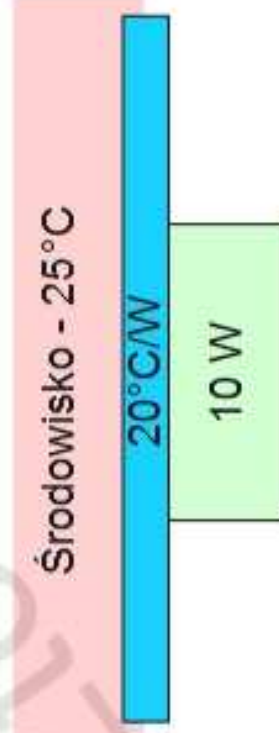


# Band gap reference



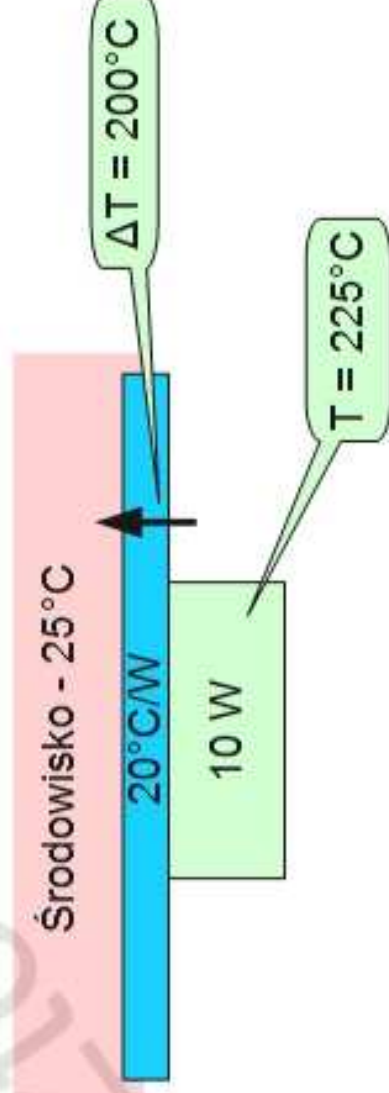
# Rezystancja termiczna

- Analogicznie jak dla prądu, napięcia i rezystancji
- przenoszona moc, różnica temperatur, rezystancja termiczna
- Rezystancja termiczna liczona w  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$



# Rezystancja termiczna

- Analogicznie jak dla prądu, napięcia i rezystancji
- przenoszona moc, różnica temperatur, rezystancja termiczna
- Rezystancja termiczna liczona w  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$



# Rezystancja termiczna

- Typowe skróty:
  - $R_{thJA}$  – Junction – Ambient (czasem też  $\Theta_{JA}$ ,  $R_{\Theta JA}$ )
  - $R_{thJC}$  – Junction – Case (czasem też  $\Theta_{JC}$ )
  - $R_{thCH}$  – Case – Heatsink (czasem też  $\Theta_{CH}$ )
  - $R_{thHA}$  – Heatsink – Ambient (czasem też  $\Theta_{HA}$ )
- Typowe ograniczenie:
  - Maksymalna temperatura pracy półprzewodników  
- Na przykład 150°C



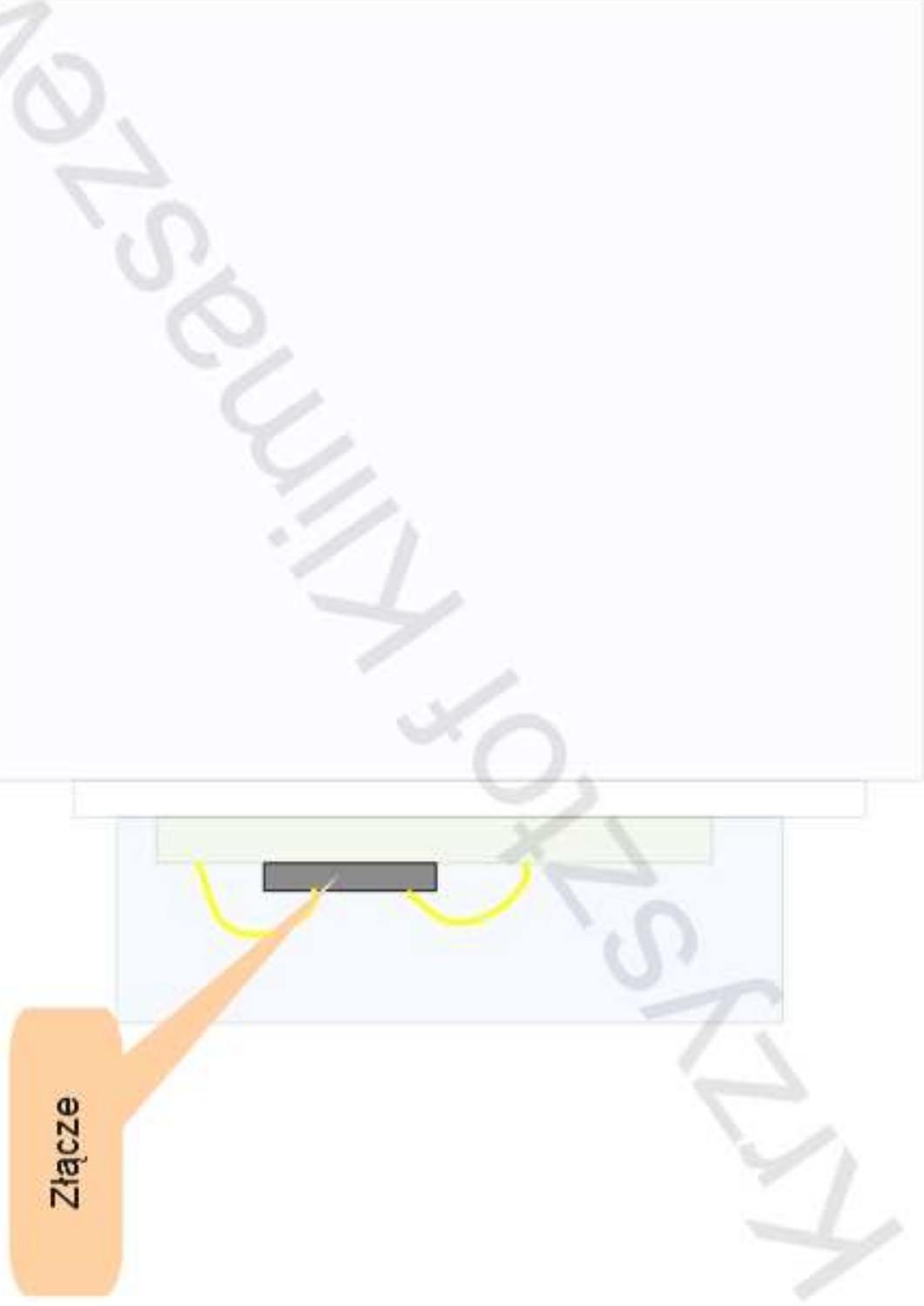
# Rezystancja termiczna

- Typowe skróty:
  - $R_{thJA}$  – Junction – Ambient (czasem też  $\Theta_{JA}$ ,  $R_{\Theta JA}$ )
  - $R_{thJC}$  – Junction – Case (czasem też  $\Theta_{JC}$ ,  $R_{\Theta JC}$ )  
Zależy od fizycznego ułożenia układu
  - $R_{thCH}$  – Case – Heatsink (czasem też  $\Theta_{CH}$ ,  $R_{\Theta CH}$ )
  - $R_{thHA}$  – Heatsink – Ambient (czasem też  $\Theta_{HA}$ ,  $R_{\Theta HA}$ )
- Typowe ograniczenie:
  - Maksymalna temperatura pracy półprzewodników – Na przykład 150°C

# Rezystancja termiczna

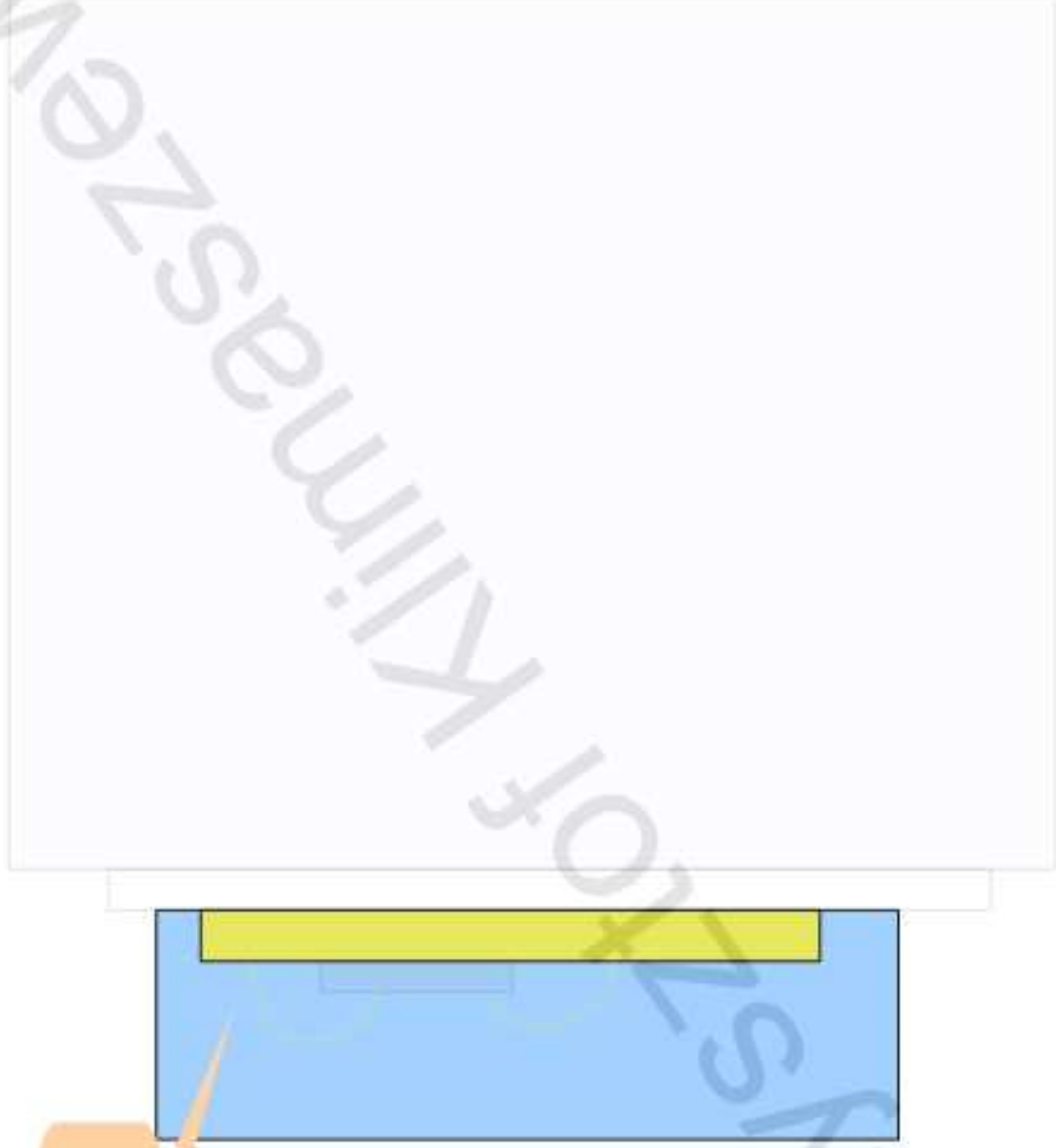
- Typowe skróty:
  - $R_{thJA}$  – Junction – Ambient (czasem też  $R_{\Theta JA}$ )
  - $R_{thJC}$  – Junction – Case
  - $R_{thCH}$  – Case – Heatsink (czasem też  $\Theta_{CH}$ )
  - $R_{thHA}$  – Heatsink – Ambient (czasem też  $\Theta_{HA}$ )
- Można bardzo mocno zredukować przez dodanie wentylatora
- Typowe ograniczenie:
  - Maksymalna temperatura pracy półprzewodników – Na przykład 150°C

# Rezystancja termiczna



# Rezystancja termiczna

Obudowa



# Rezystancja termiczna

podkładka lub  
pasta termoprzewodząca





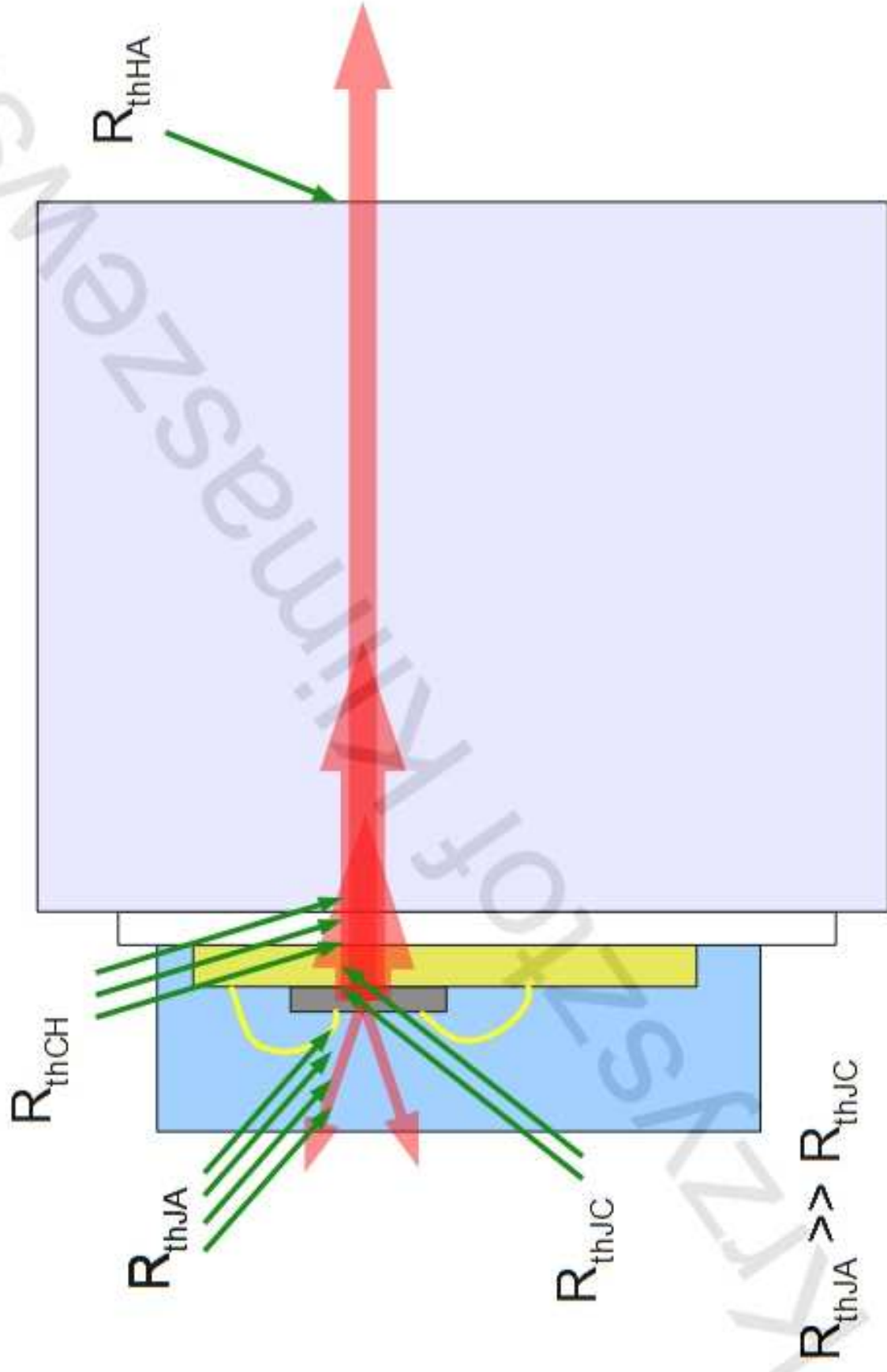
# Rezystancja termiczna

radiator



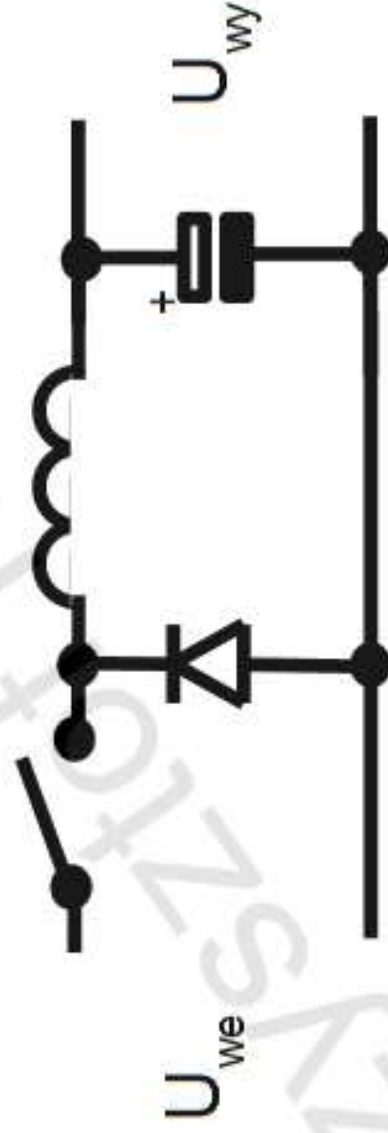
otoczenie

# Rezystancja termiczna



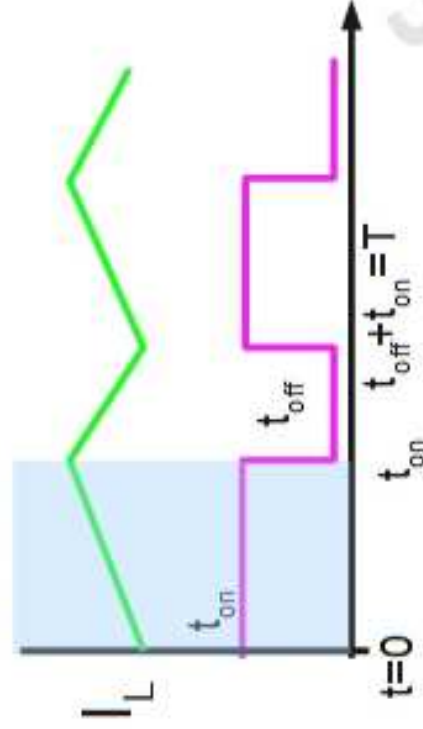
# Stabilizatory przełączające

- Konfiguracja obniżająca napięcie (*buck converter*)
- napięcie wyjściowe mniejsze niż napięcie wejściowe



# Stabilizatory przełączające

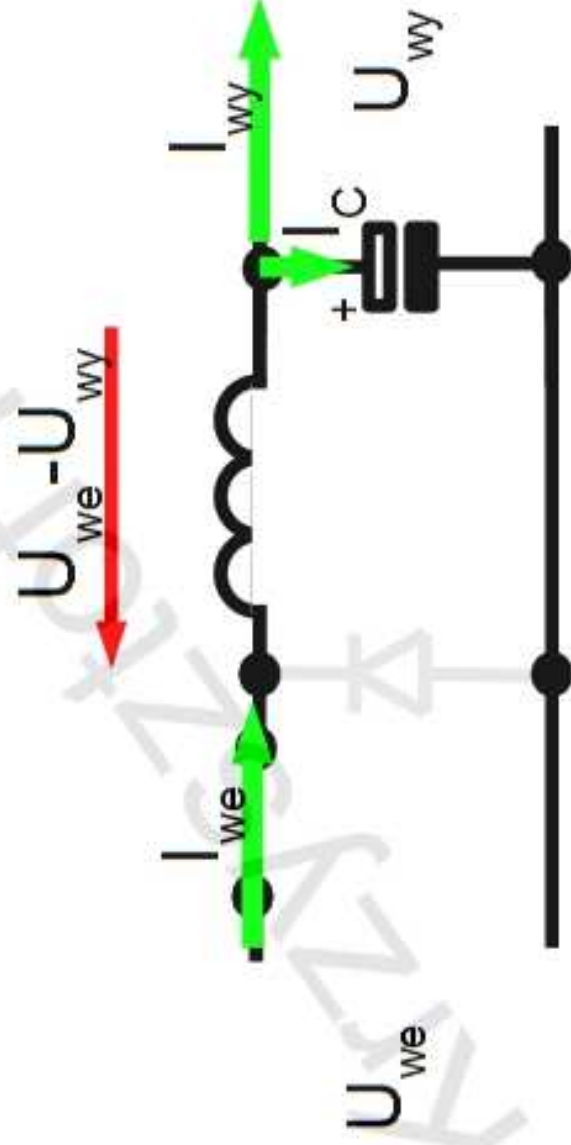
faza 1



$$I_L = \frac{1}{L} \int U_{we} - U_{wy} d\tau$$

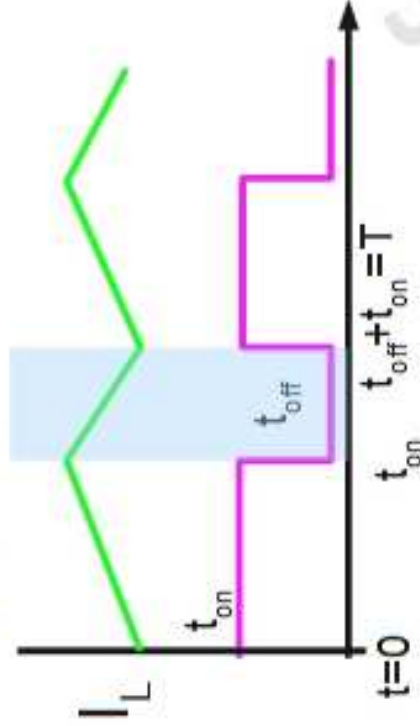
prąd cewki narasta do wartości

$$I_{LI} = I_{LO} + \frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) t_{on}$$



# Stabilizatory przełączające

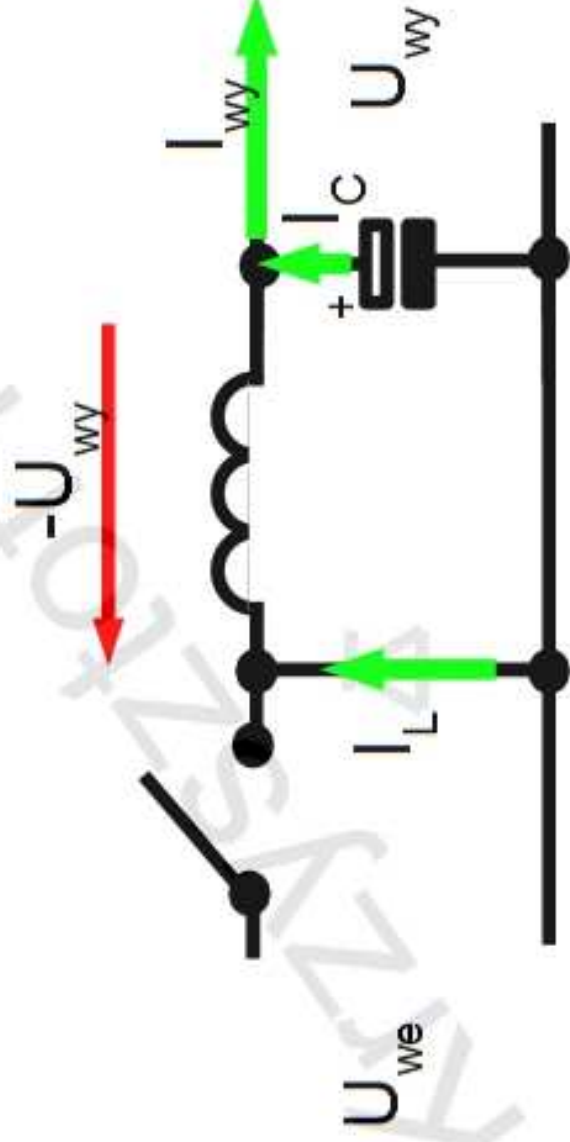
faza 2



$$I_L = \frac{1}{L} \int -U_{wy} d\tau$$

prąd cewki opada do wartości

$$I_{L2} = I_{L0} = I_{L1} - \frac{1}{L} (U_{wy}) t_{off}$$



cykl musi się zamknąć – prąd końcowy i początkowy kolejnego cyklu muszą się równać



# Przetwornica obniżająca

$$I_{LI} = I_{L0} + \frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) t_{on}$$

$$I_{L0} = I_{LI} - \frac{1}{L} U_{wy} t_{off}$$

$$I_{LI} = I_{LI} - \frac{1}{L} U_{wy} t_{off} + \frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) t_{on}$$

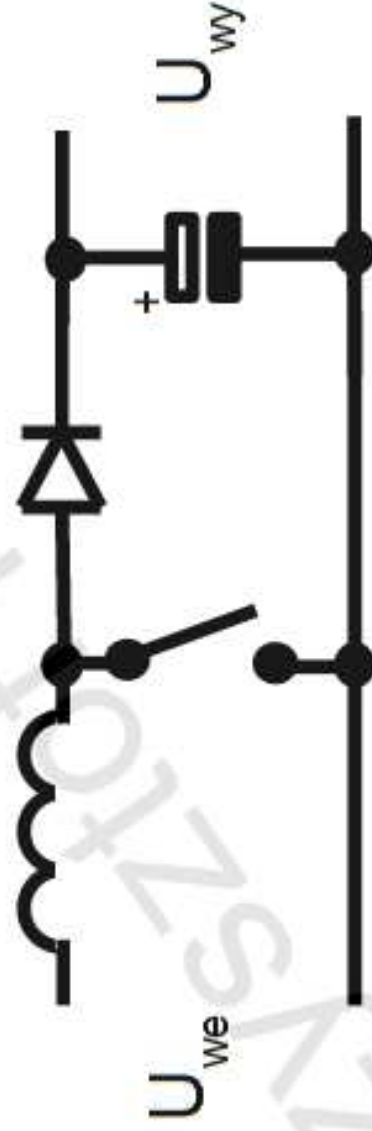
$$\frac{1}{L} U_{wy} t_{off} = \frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) t_{on}$$

$$U_{wy} = U_{we} \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

$$U_{wy} = U_{we} \frac{t_{on}}{T}$$

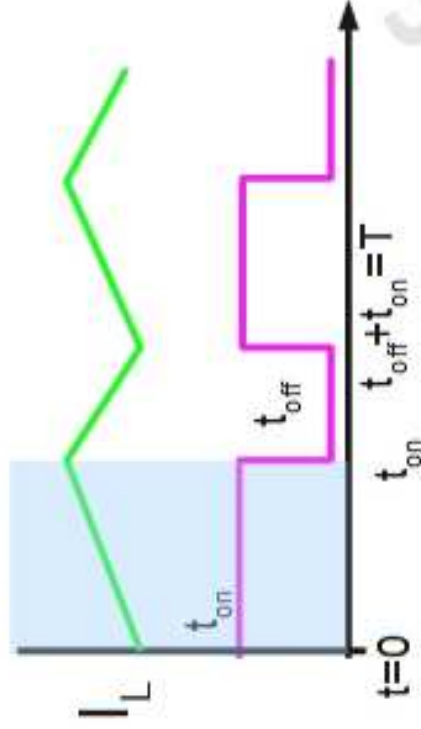
# Stabilizatory przełączające

- Konfiguracja podwyższająca napięcie (*boost converter*)
- napięcie wyjściowe większe (!) niż napięcie wejściowe



# Stabilizatory przełączające

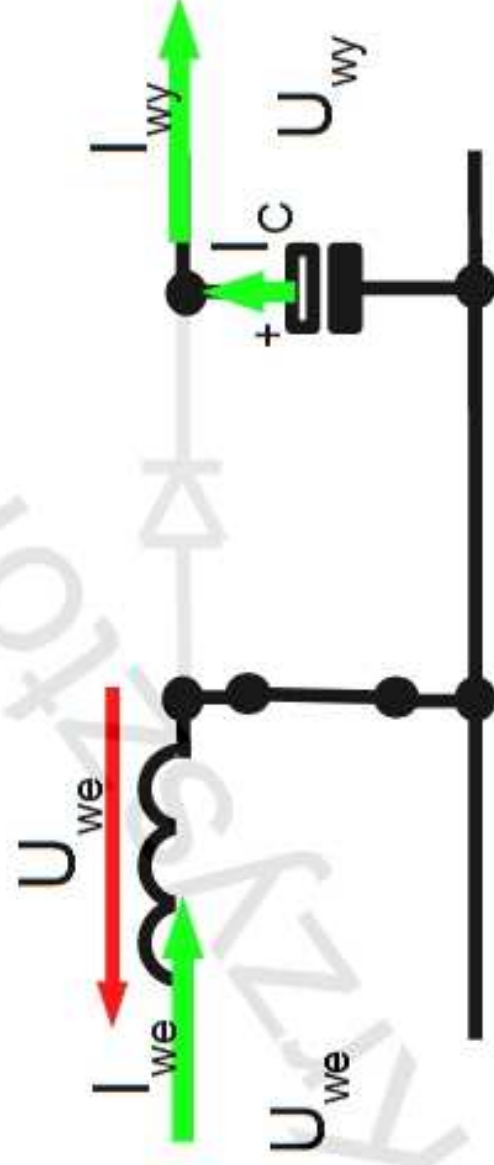
faza 1



$$I_L = \frac{1}{L} \int U_{we} d\tau$$

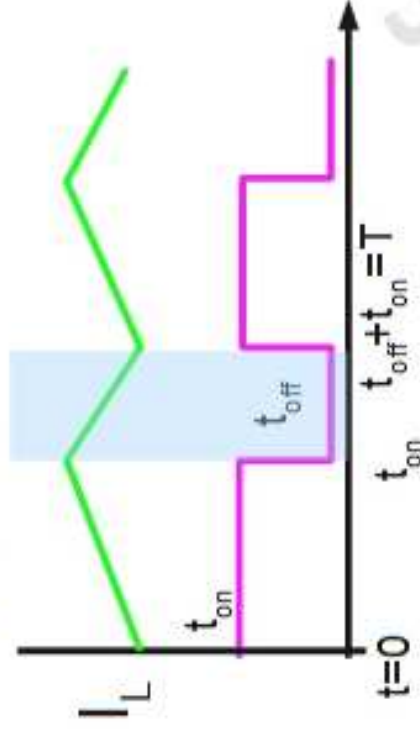
prąd cewki narasta do wartości

$$I_{LI} = I_{L0} + \frac{1}{L} (U_{we}) \cdot t_{on}$$



# Stabilizatory przełączające

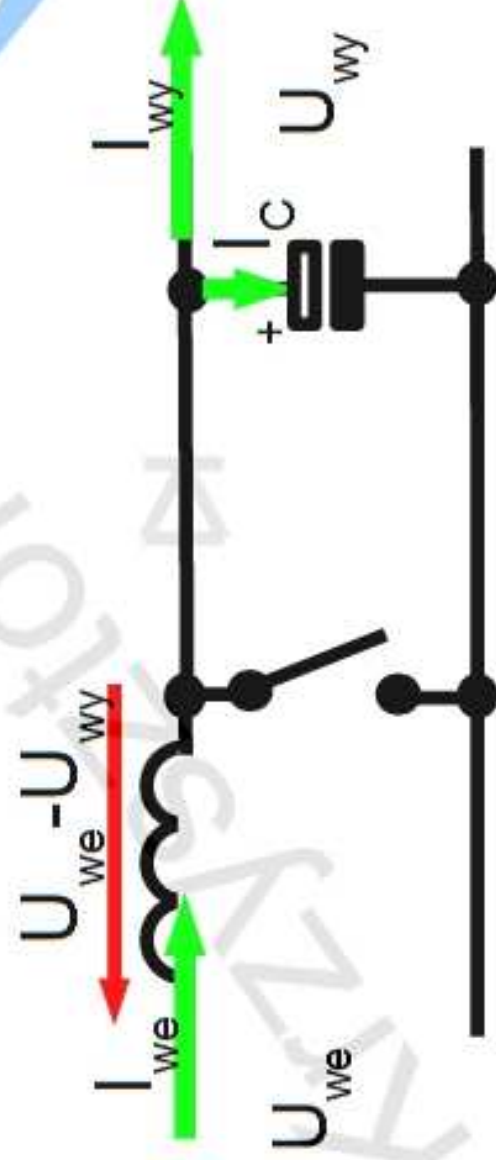
faza 2



$$I_L = \frac{1}{L} \int U_{we} - U_{wy} d\tau$$

prąd cewki opada do wartości

$$I_{L2} = I_{L0} = I_{L1} + \frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) t_{off}$$



cykl musi się zamknąć – prąd końcowy i początkowy kolejnego cyklu muszą się równać

# Przetwornica podwyższająca

$$I_{LI} = I_{L0} + \frac{1}{L} (U_{we}) \cdot t_{on}$$

$$I_{L0} = I_{LI} + \frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) \cdot t_{off}$$

$$I_{LI} = I_{LI} + \frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) \cdot t_{off} + \frac{1}{L} (U_{we}) \cdot t_{on}$$

$$\frac{1}{L} (U_{we} - U_{wy}) \cdot t_{off} = - \frac{1}{L} (U_{we}) \cdot t_{on}$$

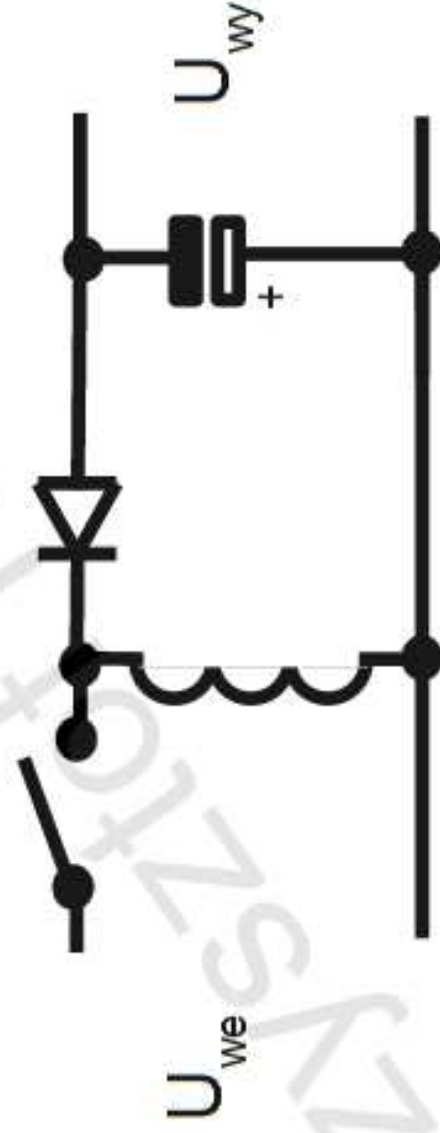
$$U_{wy} = U_{we} \cdot \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} = U_{we} \cdot \frac{T}{t_{off}}$$

$$U_{wy} = U_{we} \cdot \frac{T}{t_{off}}$$



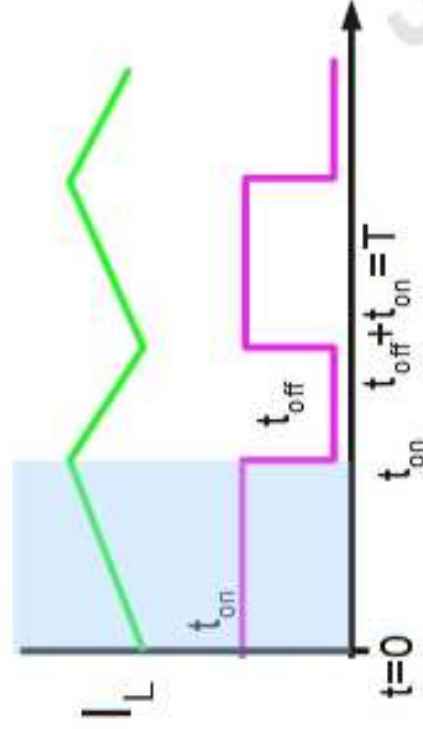
# Stabilizatory przełączające

- Konfiguracja odwracająca napięcie (*buck-boost converter*)
- wartość bezwzględna napięcia wyjściowego większa lub mniejsza niż napięcia wejściowego, ODWROTNA POLARYZACJA



# Stabilizatory przełączające

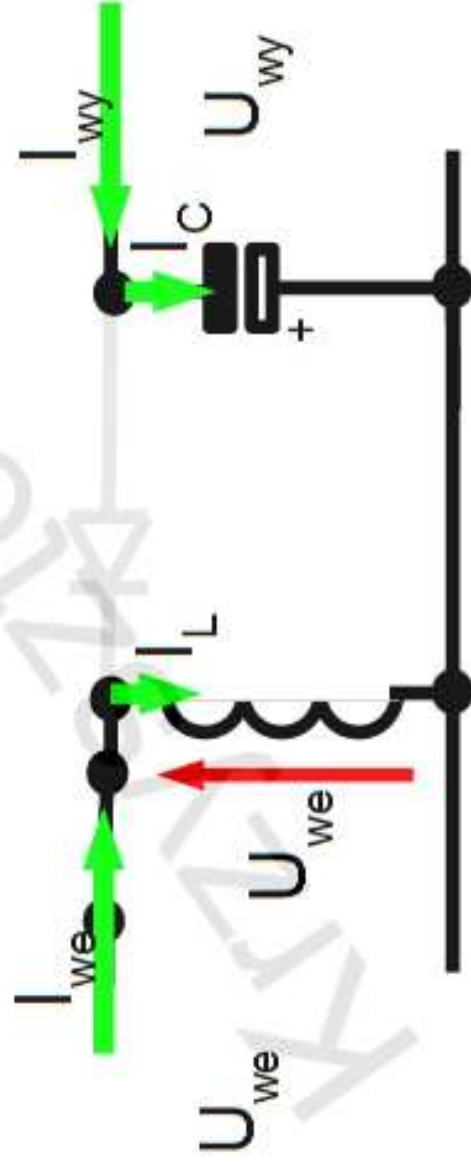
faza 1



$$I_L = \frac{1}{L} \int U_{we} d\tau$$

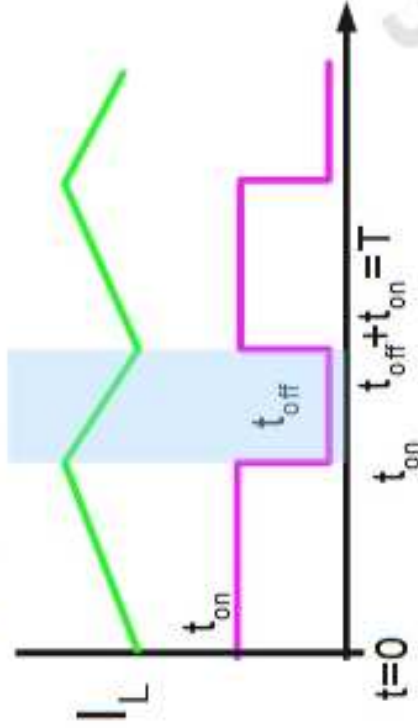
prąd cewki narasta do wartości

$$I_{LI} = I_{L0} + \frac{1}{L} (U_{we}) \cdot t_{on}$$



# Stabilizatory przełączające

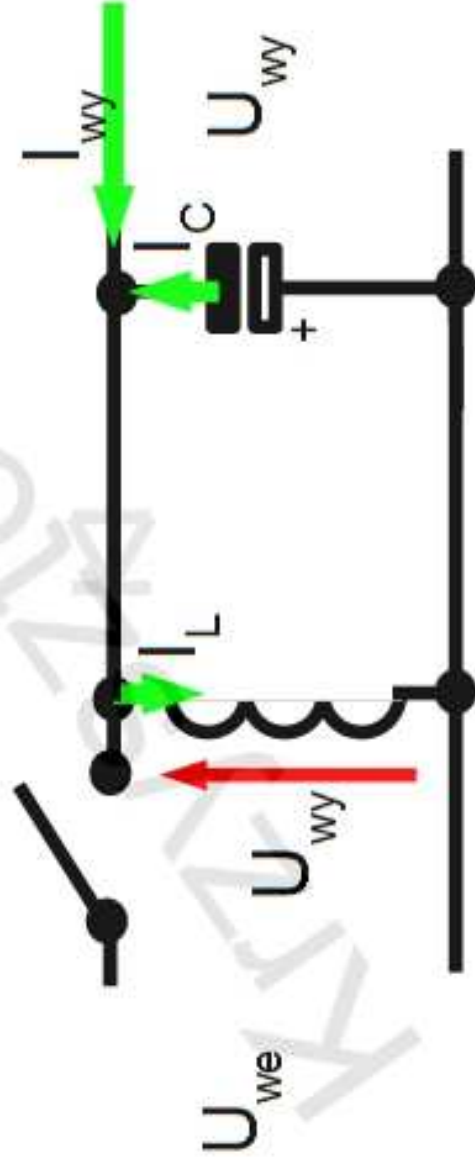
faza 2



$$I_L = \frac{1}{L} \int U_{wy} d\tau$$

prąd cewki opada do wartości

$$I_{L2} = I_{L0} = I_{L1} + \frac{1}{L} (U_{wy}) t_{off}$$



cykl musi się zamknąć – prąd końcowy i początkowy kolejnego cyklu muszą się równać

# Przetwornica odwracająca

$$I_{L1} = I_{L0} + \frac{1}{L} (U_{we}) t_{on}$$

$$I_{L0} = I_{L1} + \frac{1}{L} (U_{wy}) t_{off}$$

$$I_{L1} = I_{L1} + \frac{1}{L} (U_{wy}) t_{off} + \frac{1}{L} (U_{we}) t_{on}$$

$$\frac{1}{L} (U_{wy}) t_{off} = - \frac{1}{L} (U_{we}) t_{on}$$

$$U_{wy} = - U_{we} \frac{t_{on}}{t_{off}}$$

# Analogowe Układy Elektroniczne

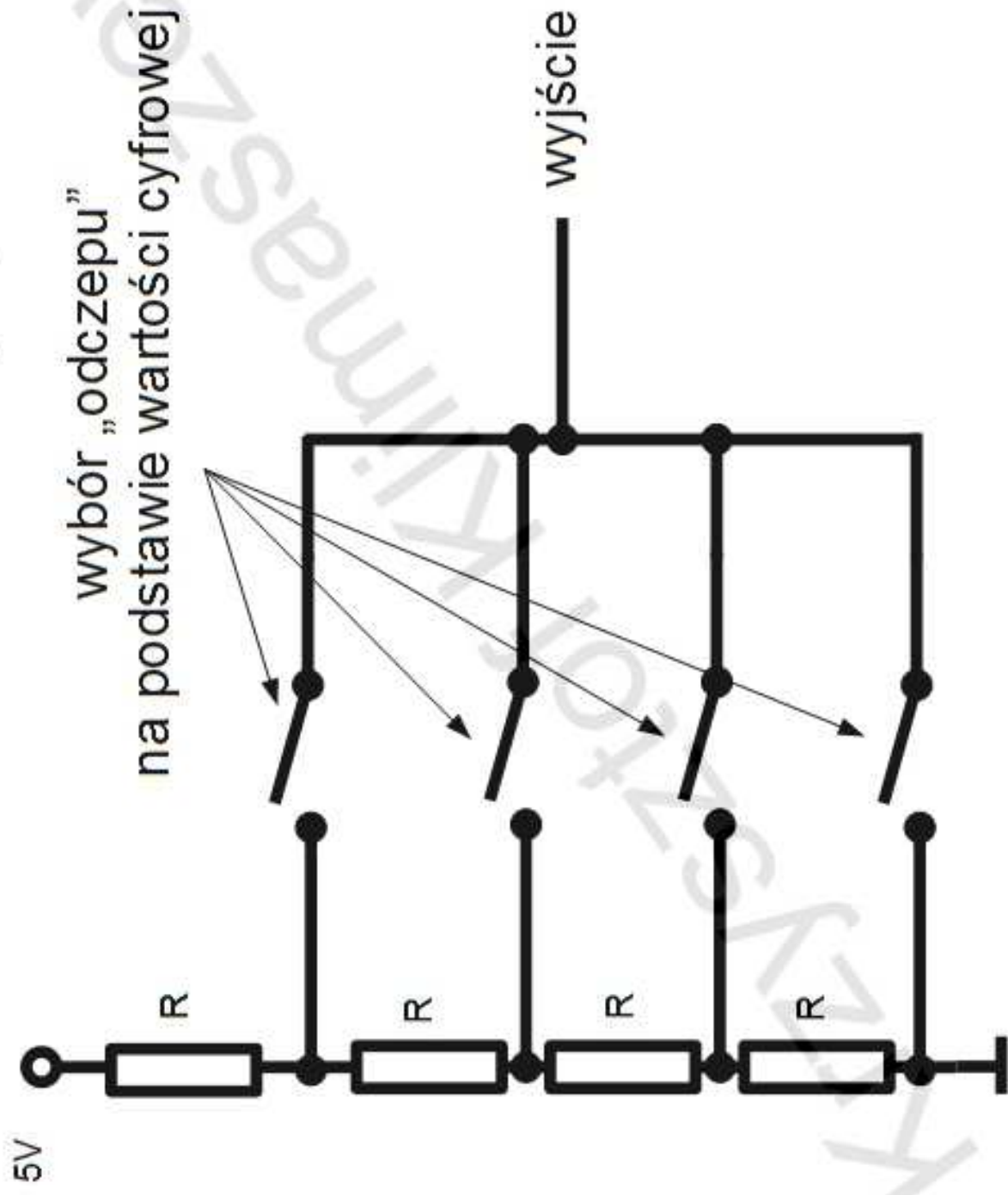
Krzysztof Klimaszewski

[kklima@et.put.poznan.pl](mailto:kklima@et.put.poznan.pl)

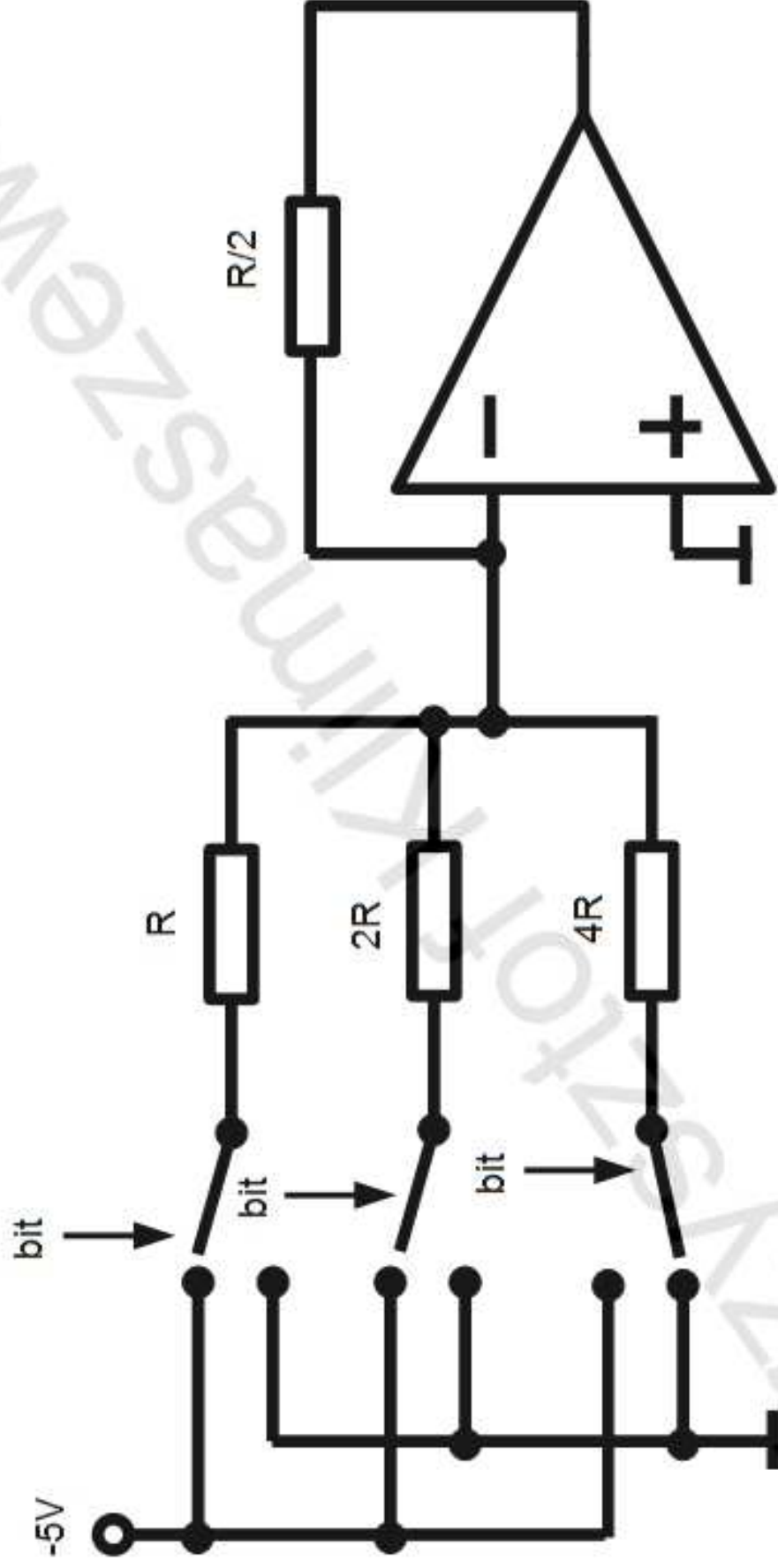
Polanka 3, pokój 118



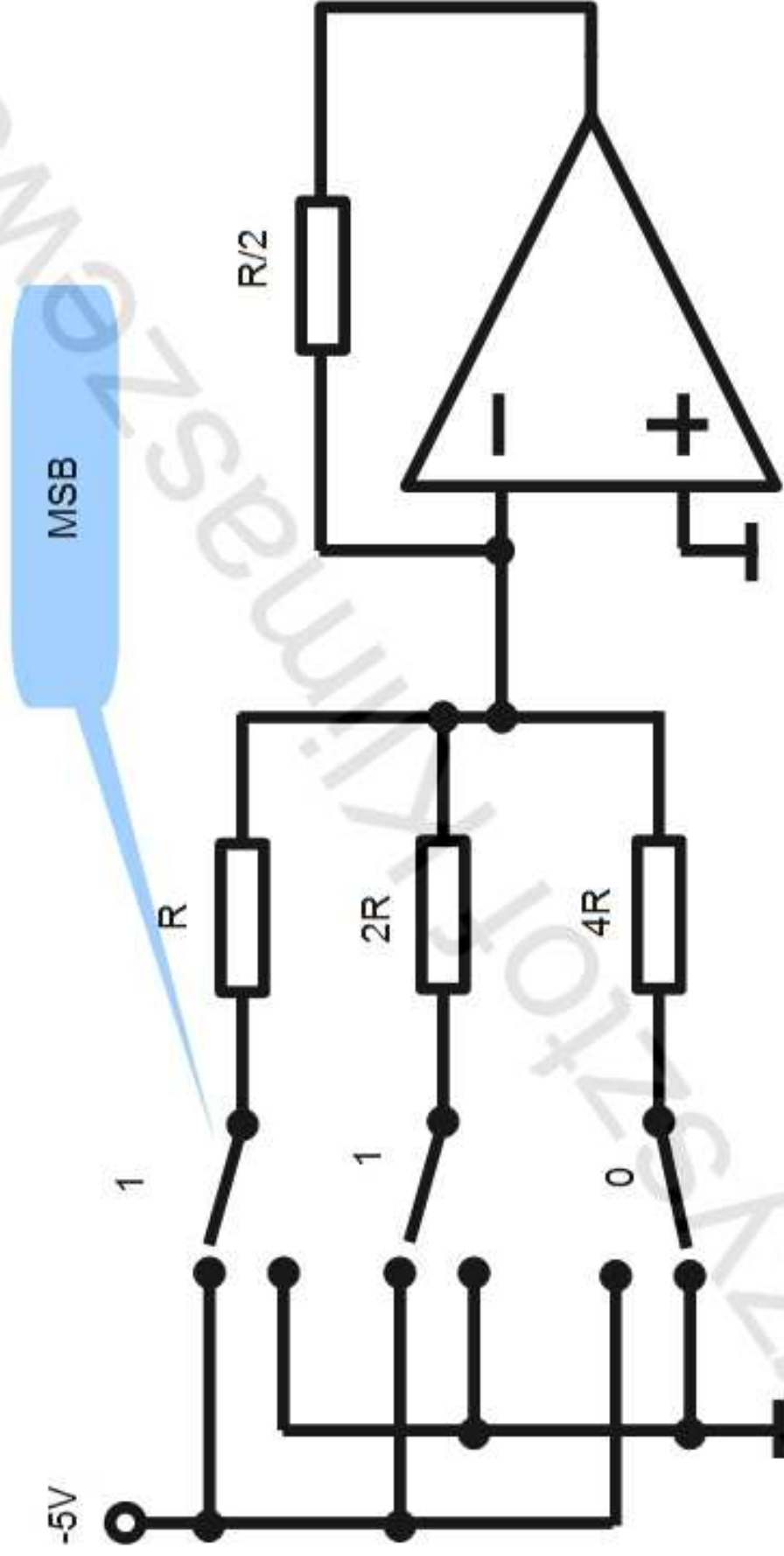
# Dzielnik napięcia



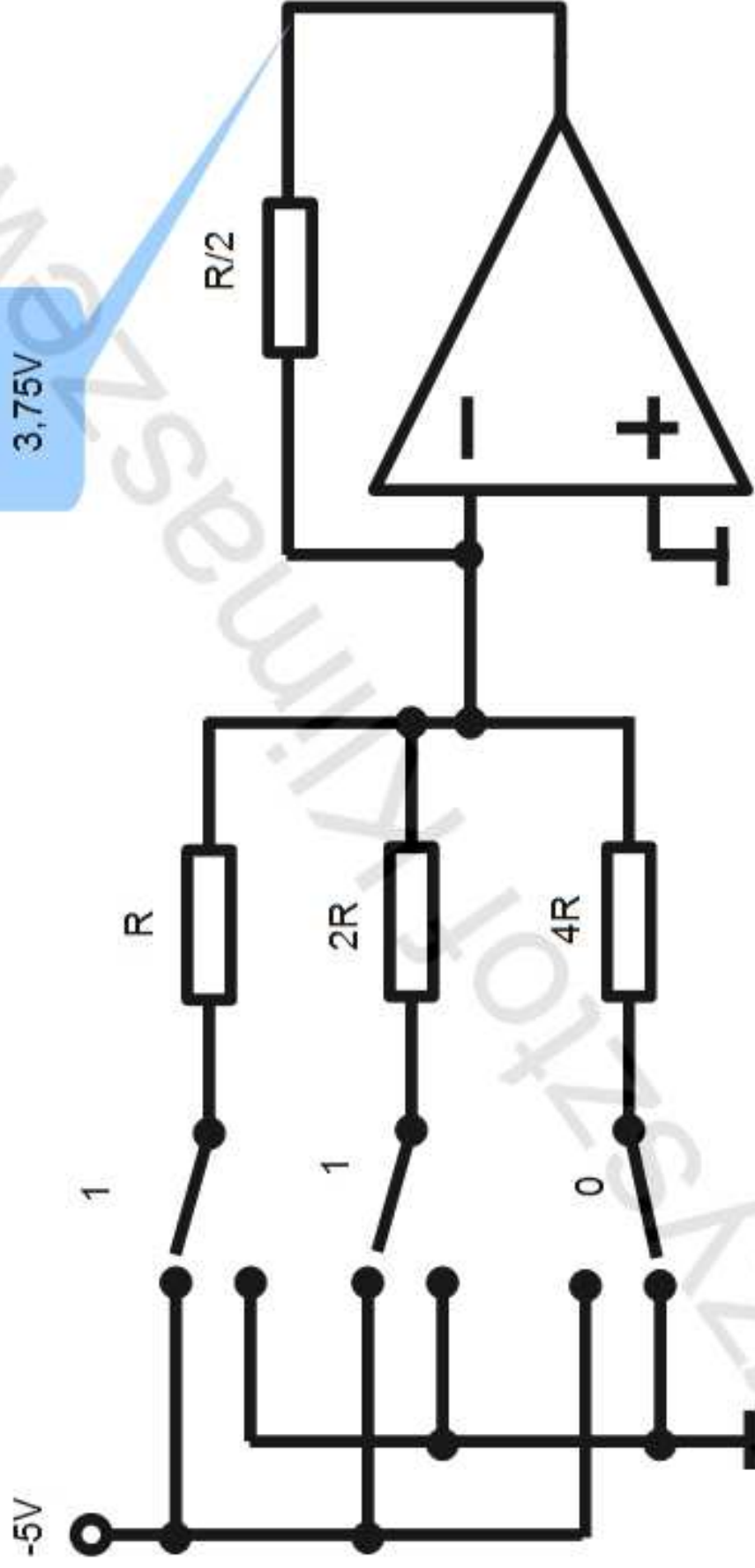
# Przetwornik z rezystorami wagowymi



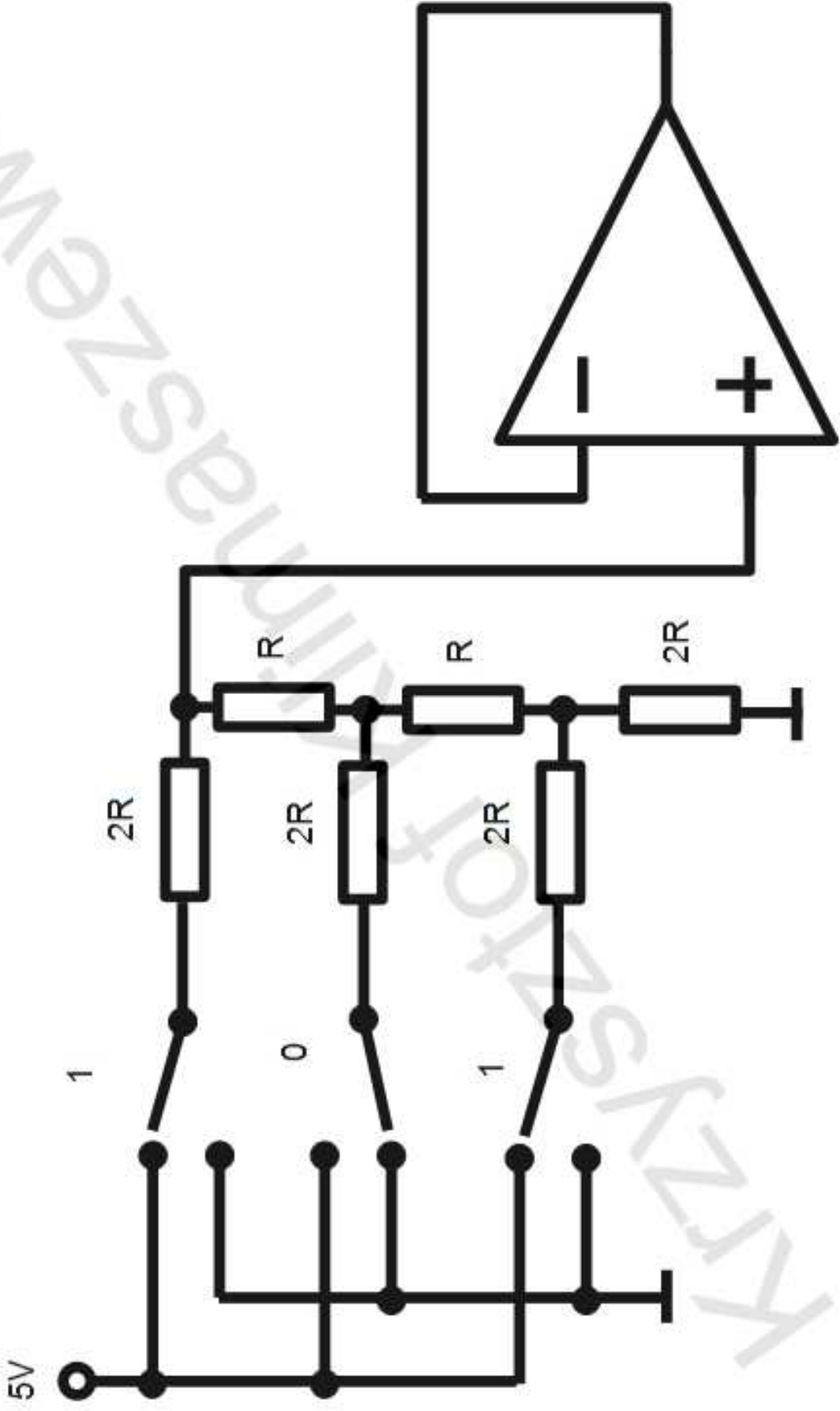
# Przetwornik z rezystorami wagowymi



# Przetwornik z rezystorami wagowymi

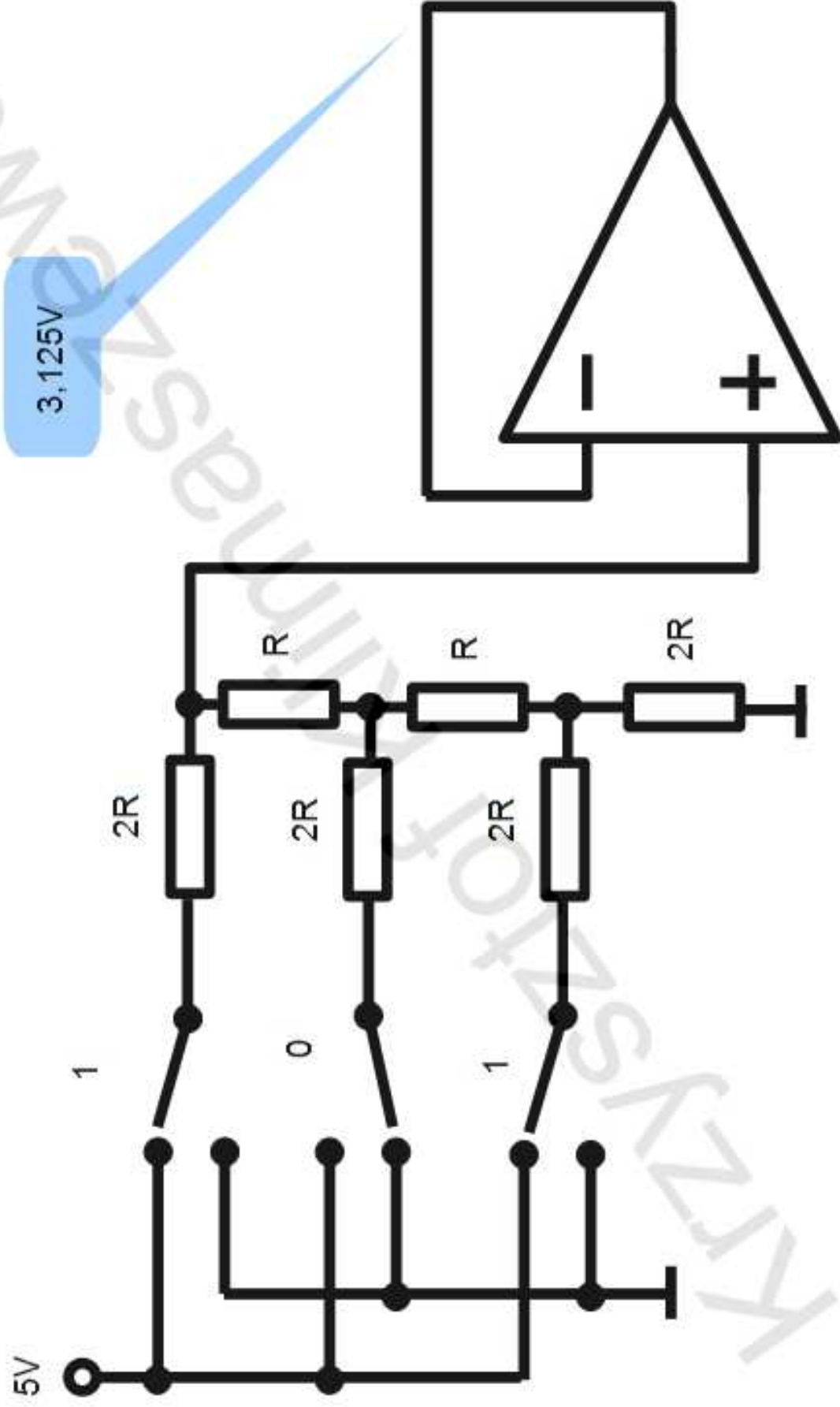


# Drabinka R-2R





# Drabinka R-2R

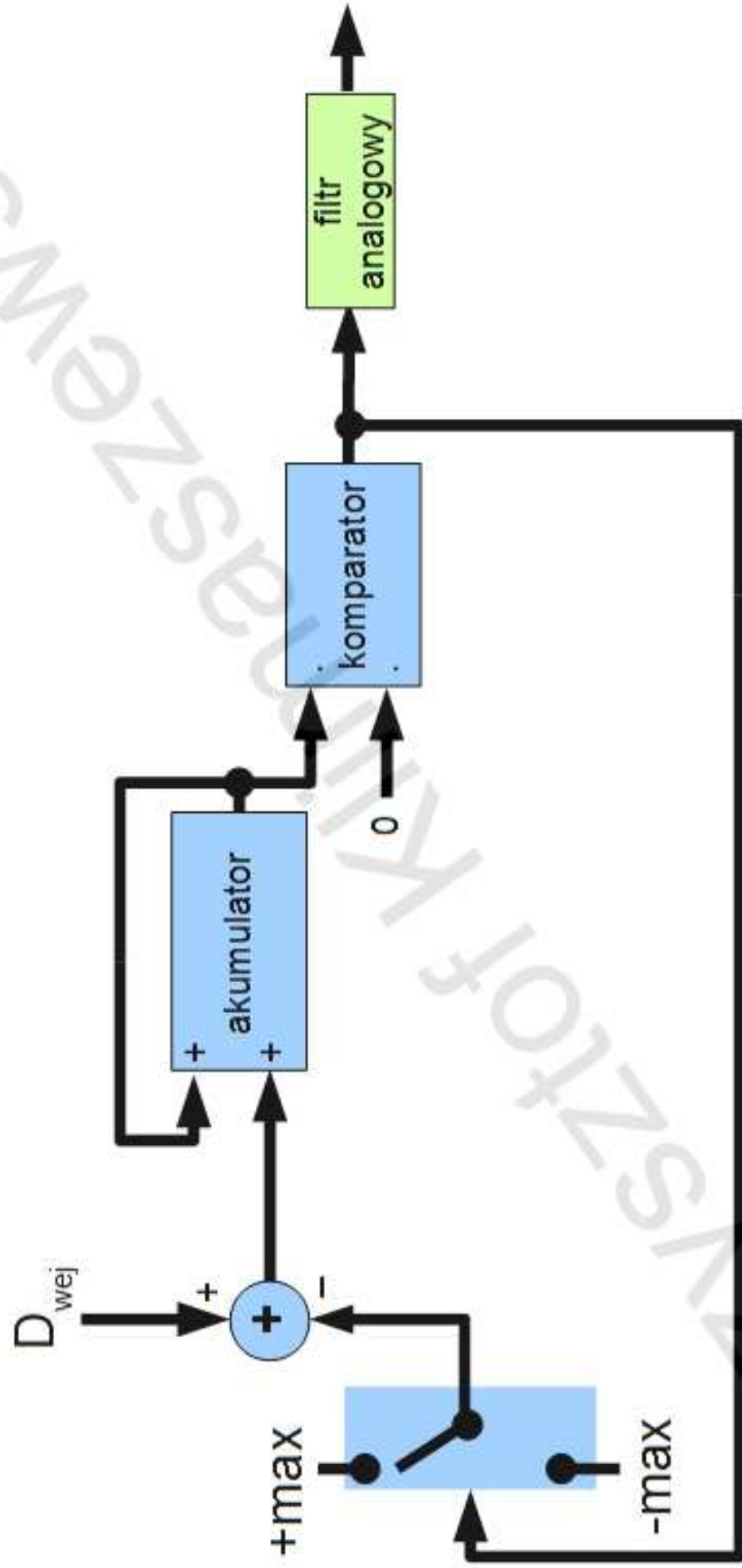


## układ PWM

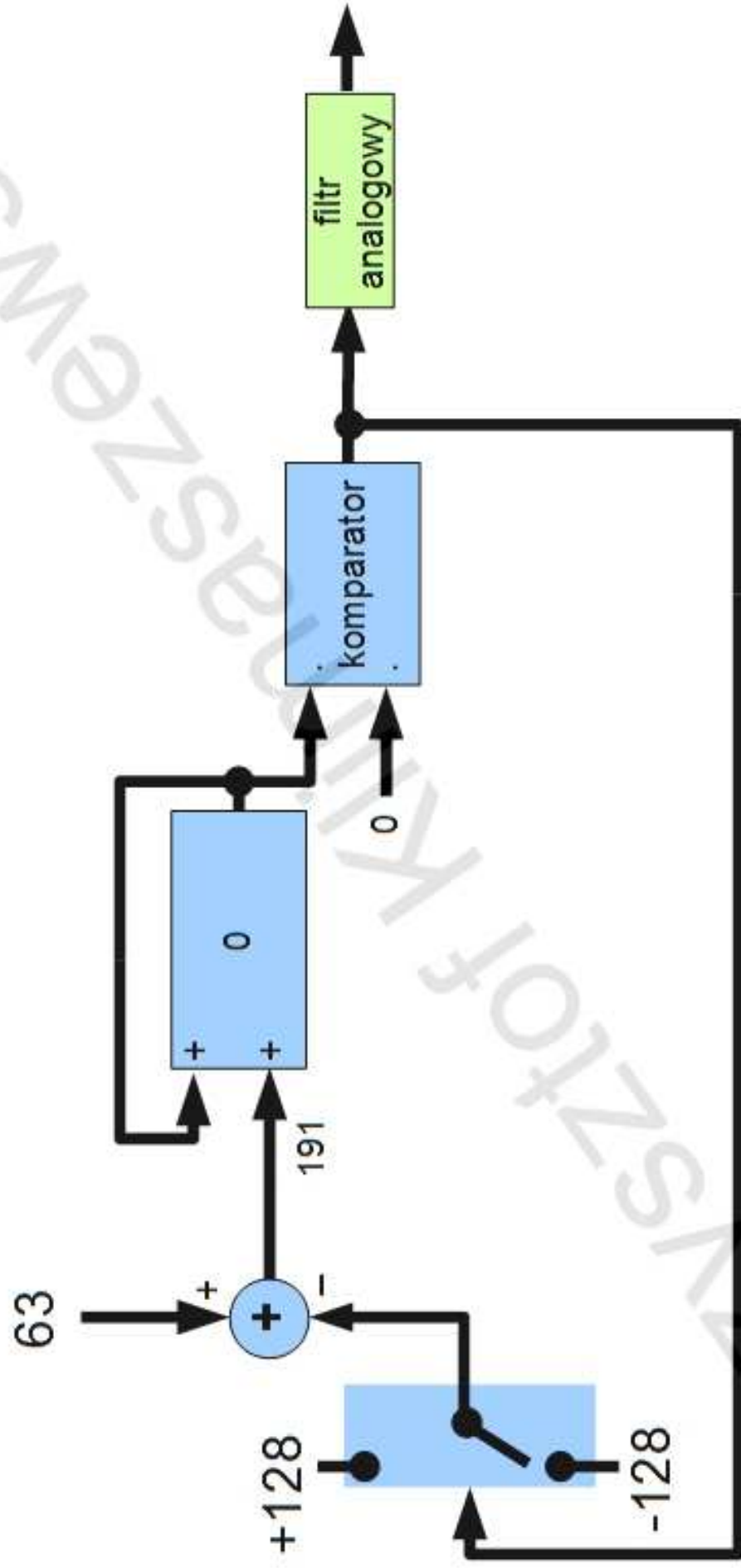
- podobnie, jak we wzmacniaczu klasy D



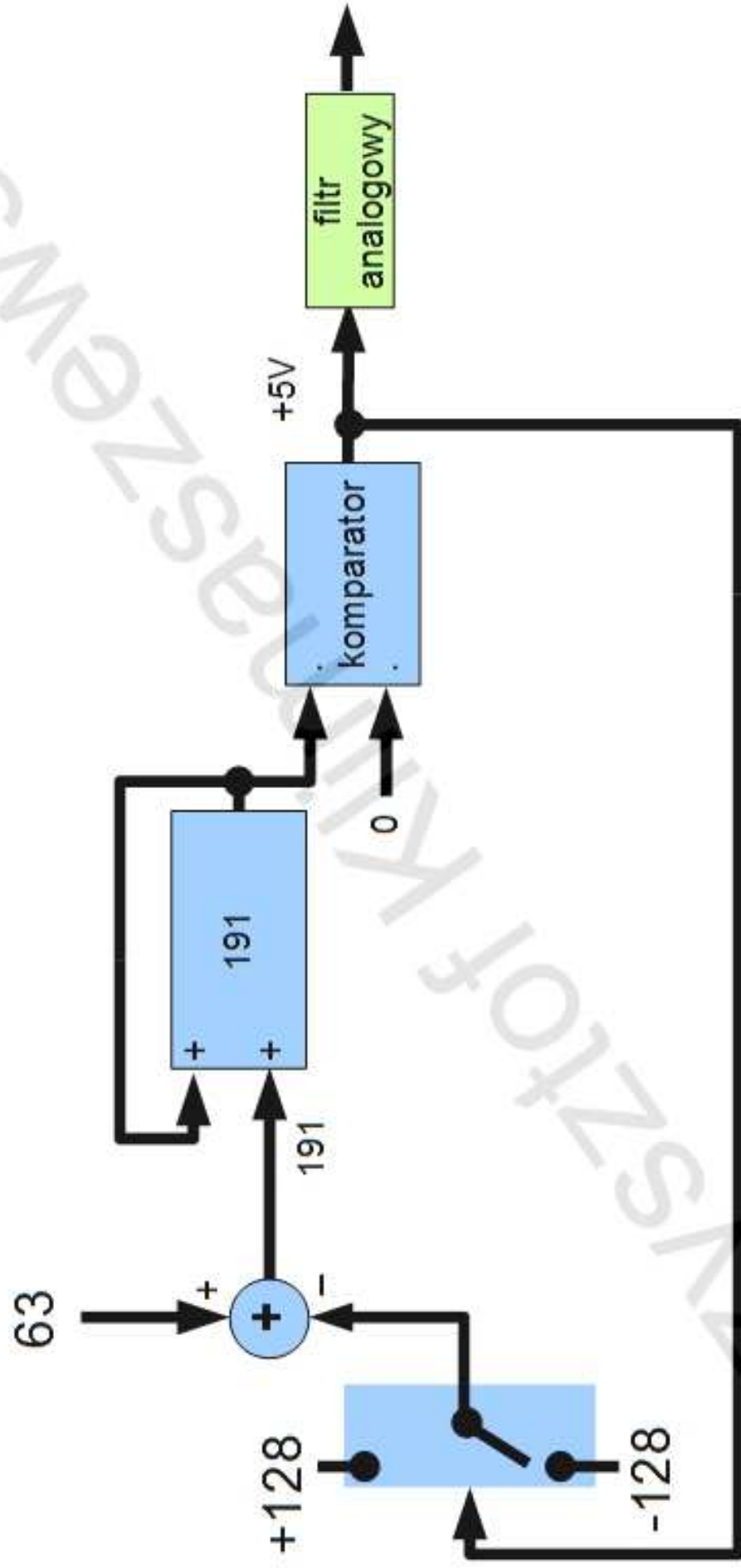
# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )



# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )

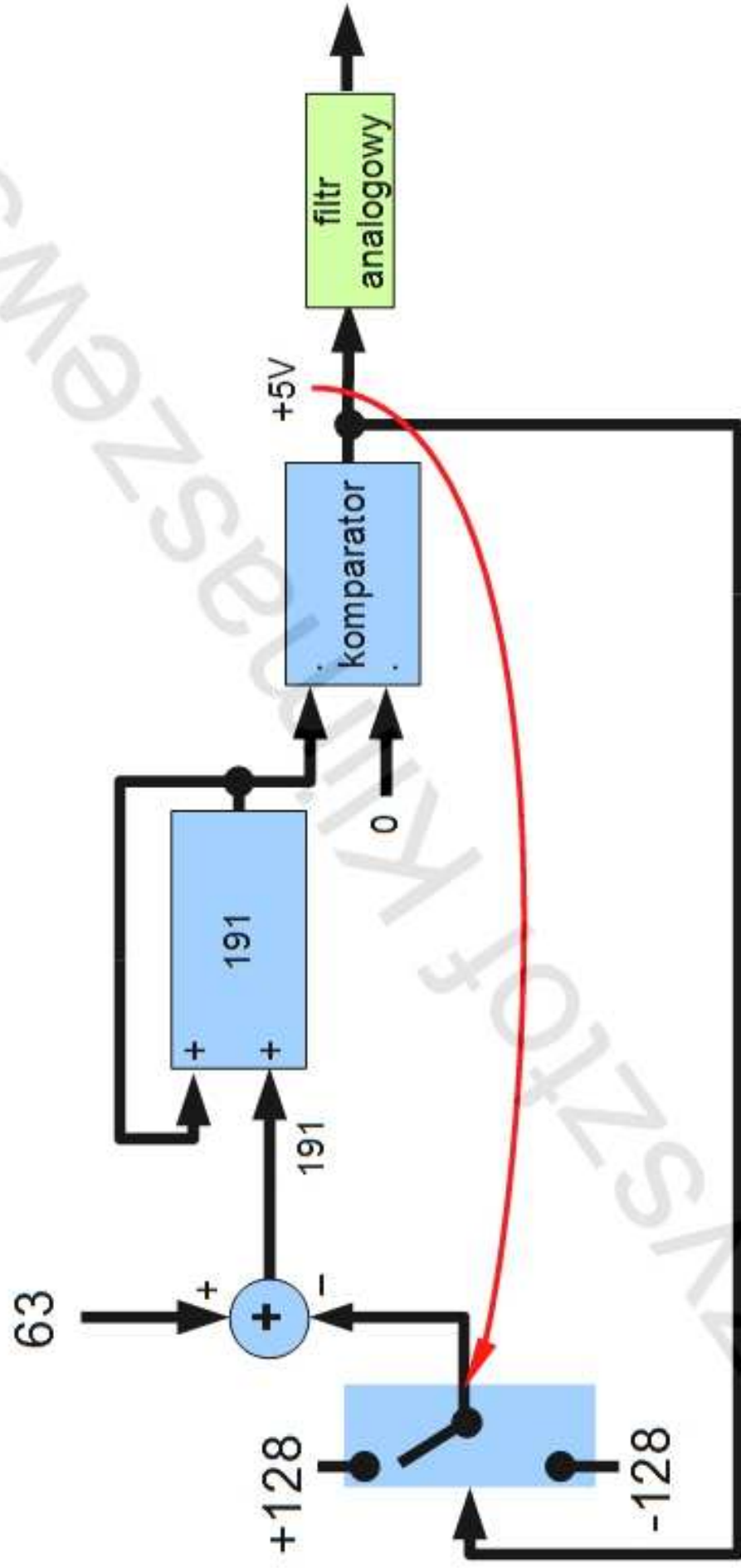


# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )

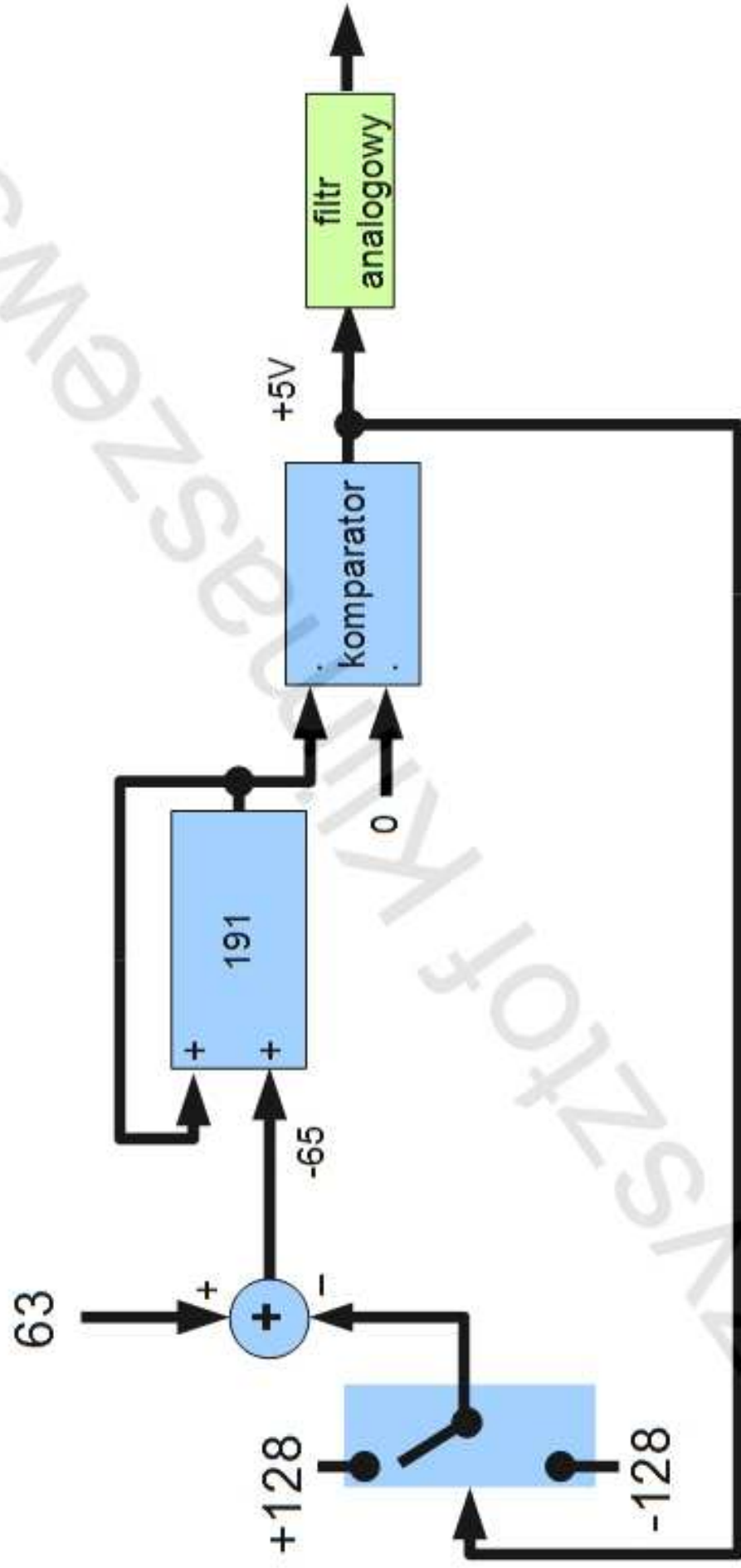




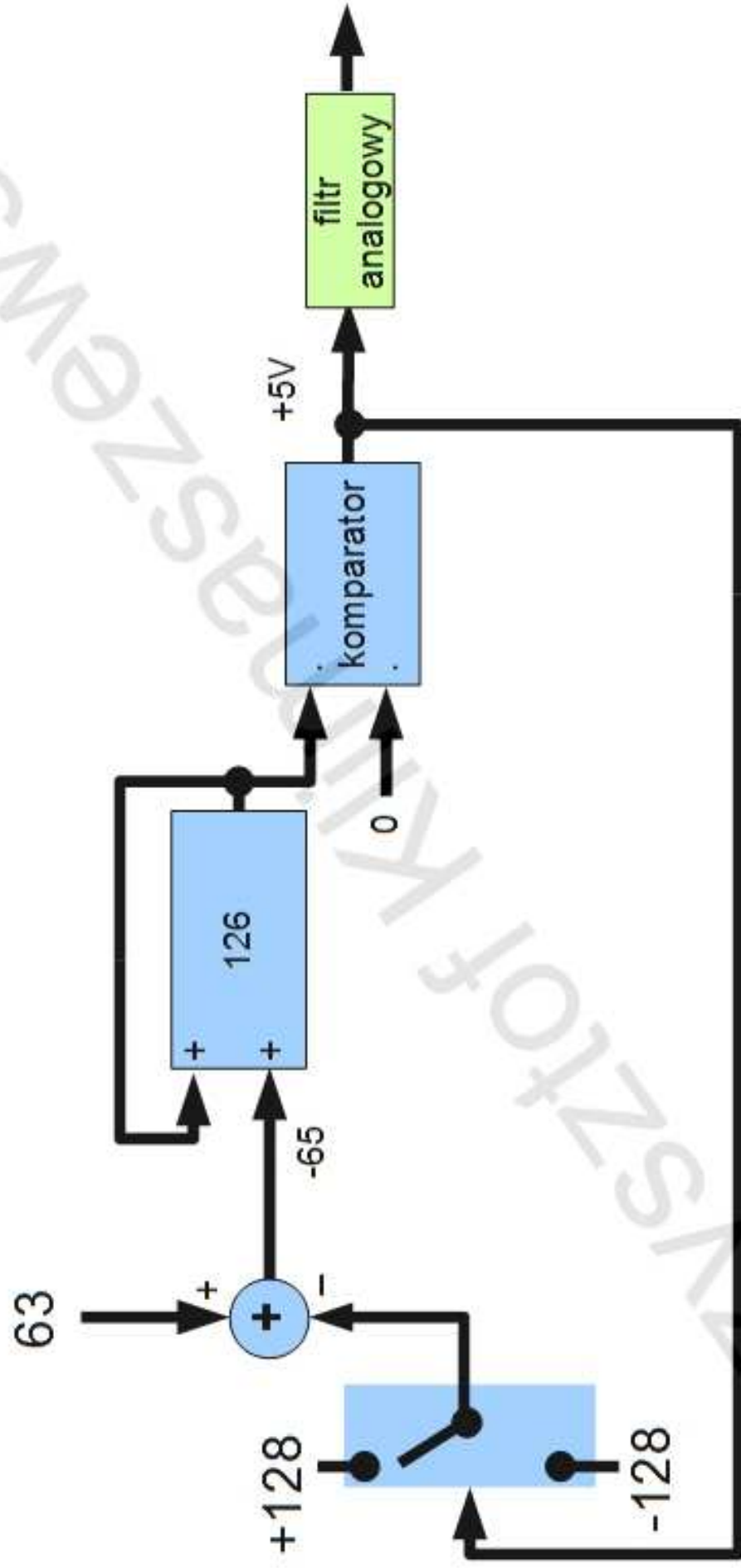
# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )



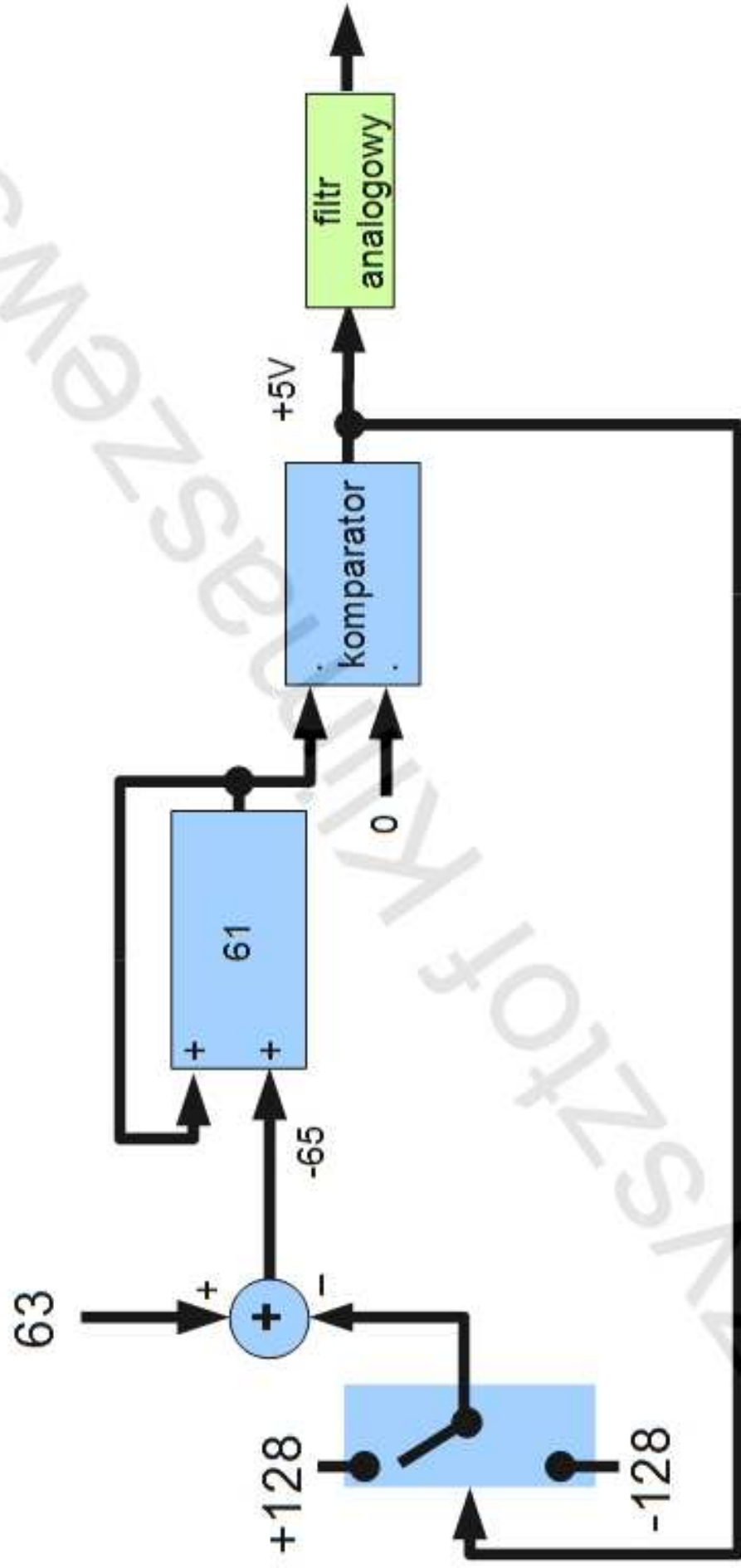
# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )



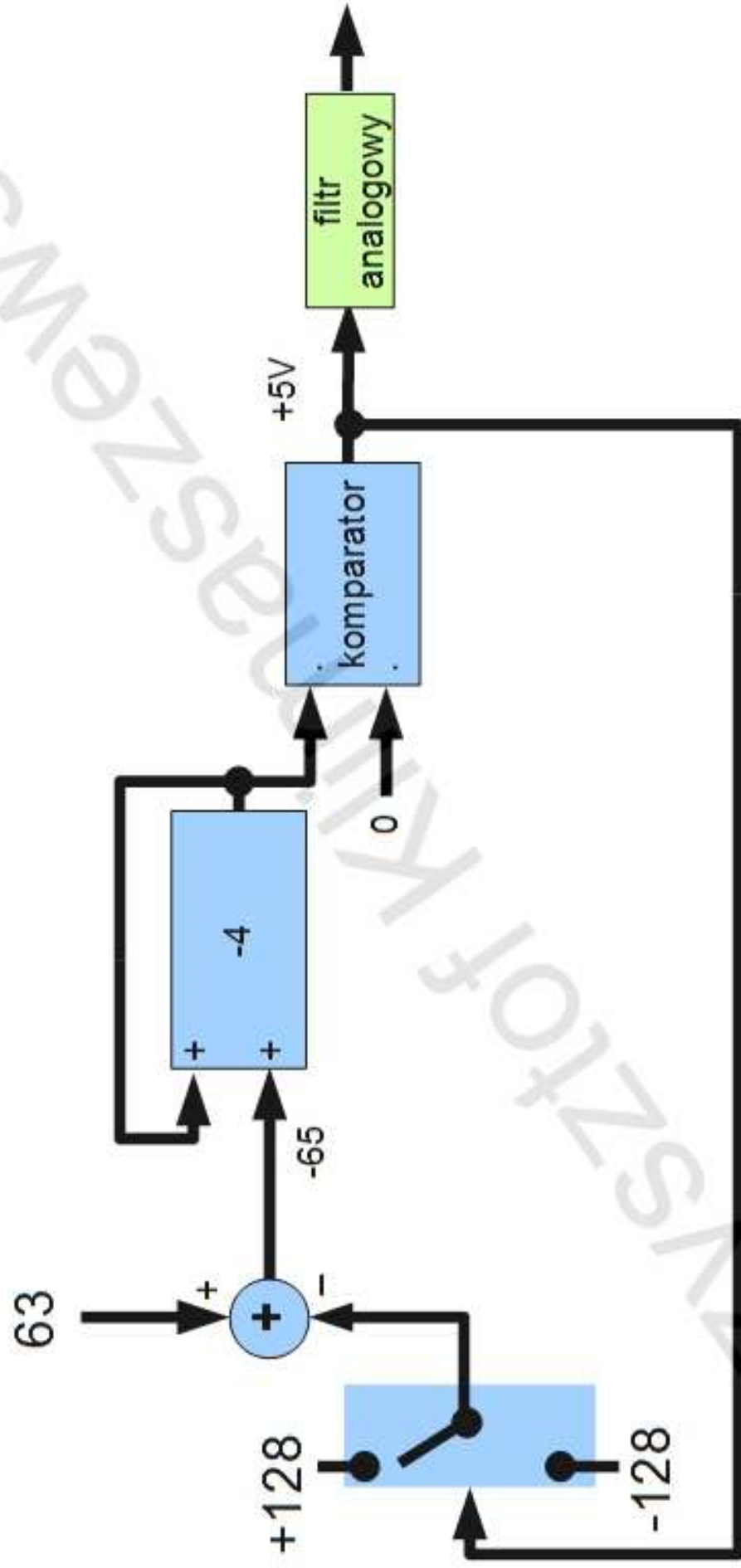
# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )



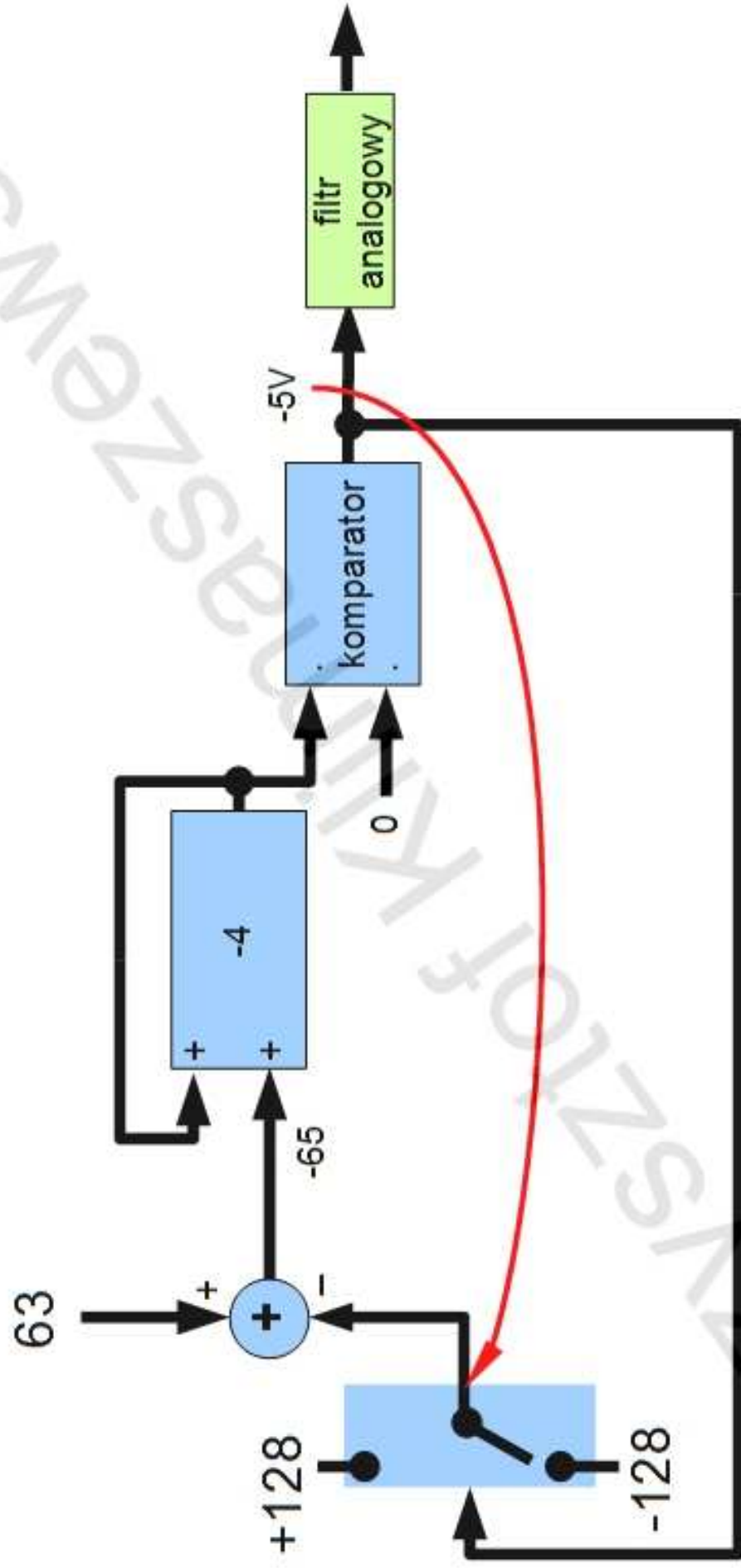
# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )



# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )



# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )



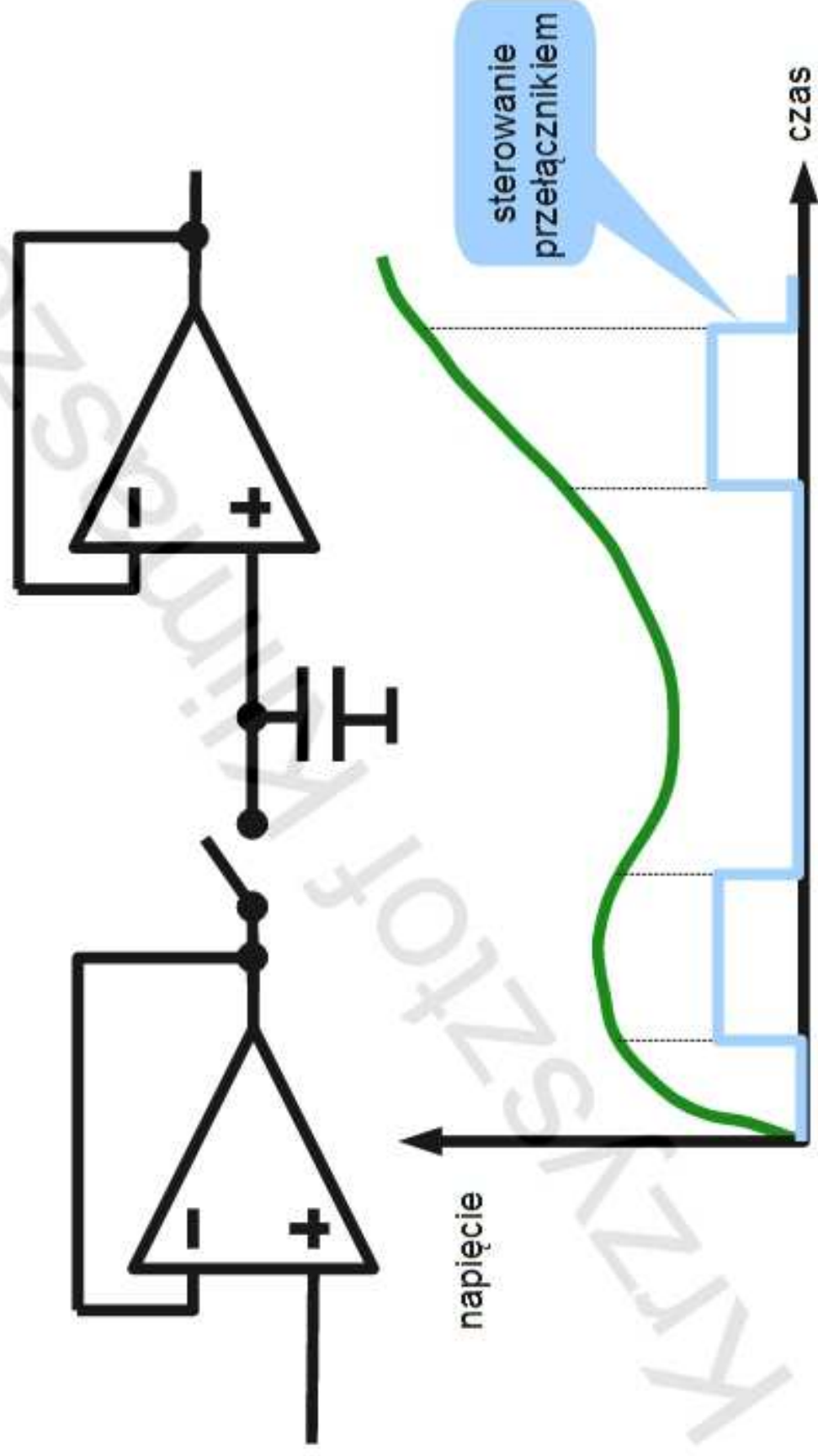


# układ delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ )

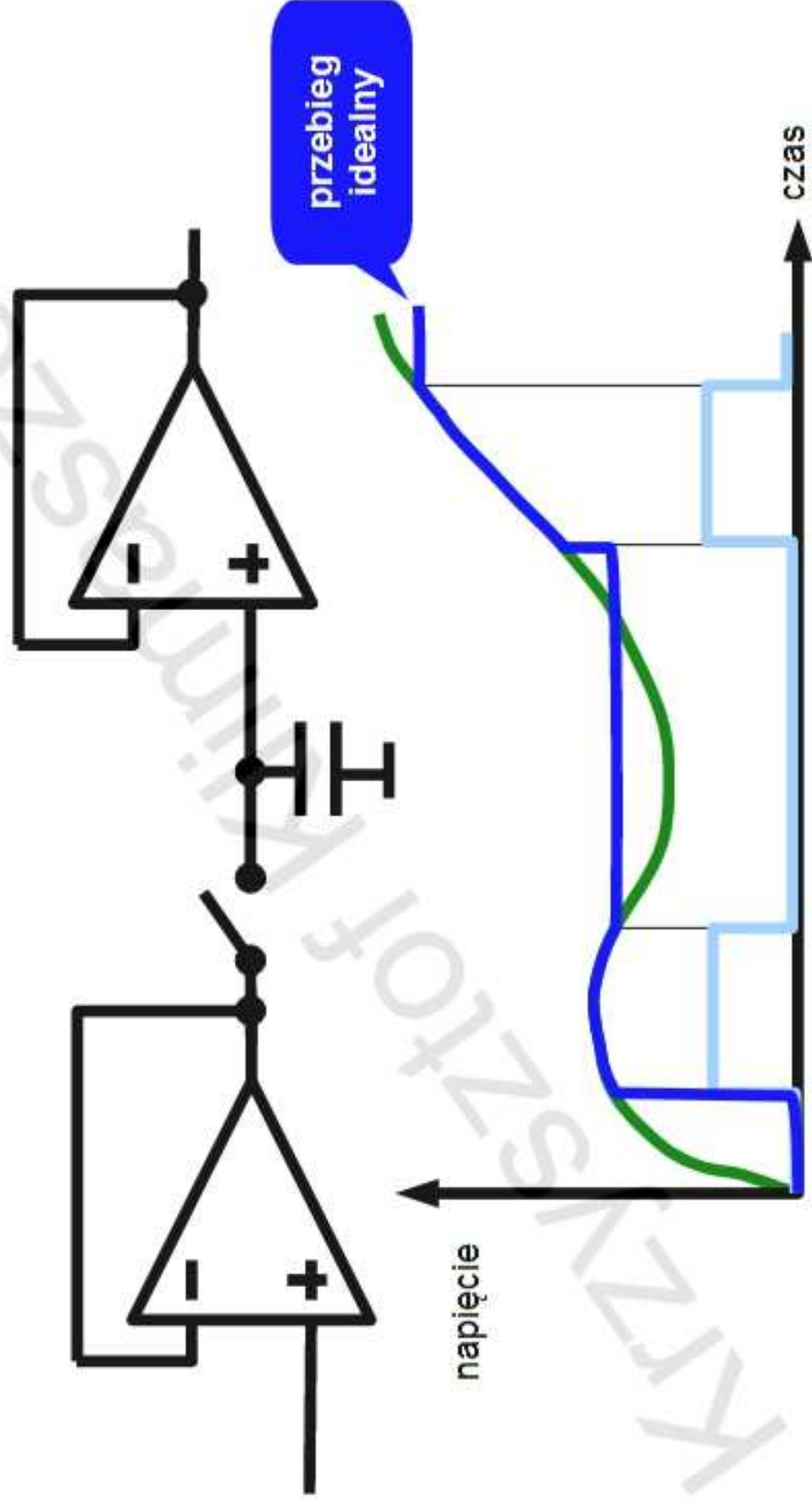
Uref	5 V	
wejście	63	← zakres od 0 do 127
Wartość wyjściowa	2,45 V	
wejście akumulatora	akumulator	wyjście komparatora
	0	-5
191	191	5
-65	126	5
-65	61	5
-65	-4	-5
191	187	5
-65	122	5
-65	57	5
-65	-8	-5
191	183	5
-65	118	5
-65	53	5
-65	-12	-5
191	179	5
-65	114	5
-65	49	5
-65	-16	-5

Po odfiltrowaniu filtrem  
dolnoprzepustowym otrzymujemy  
napięcie wyjściowe

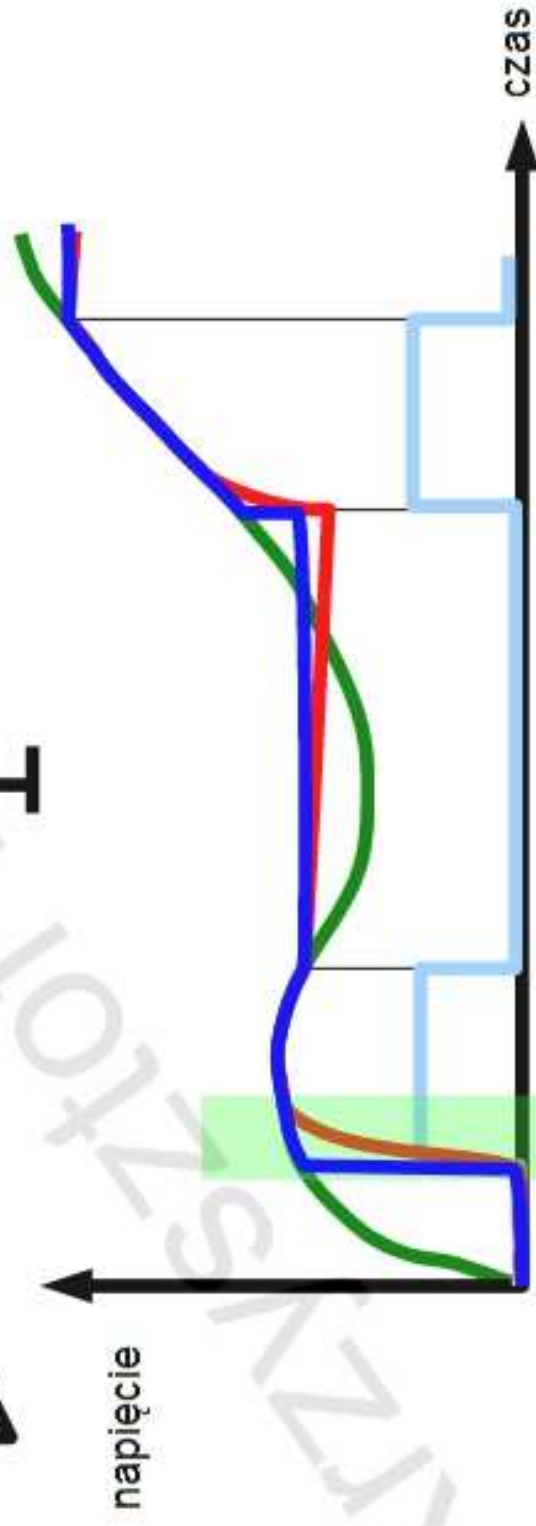
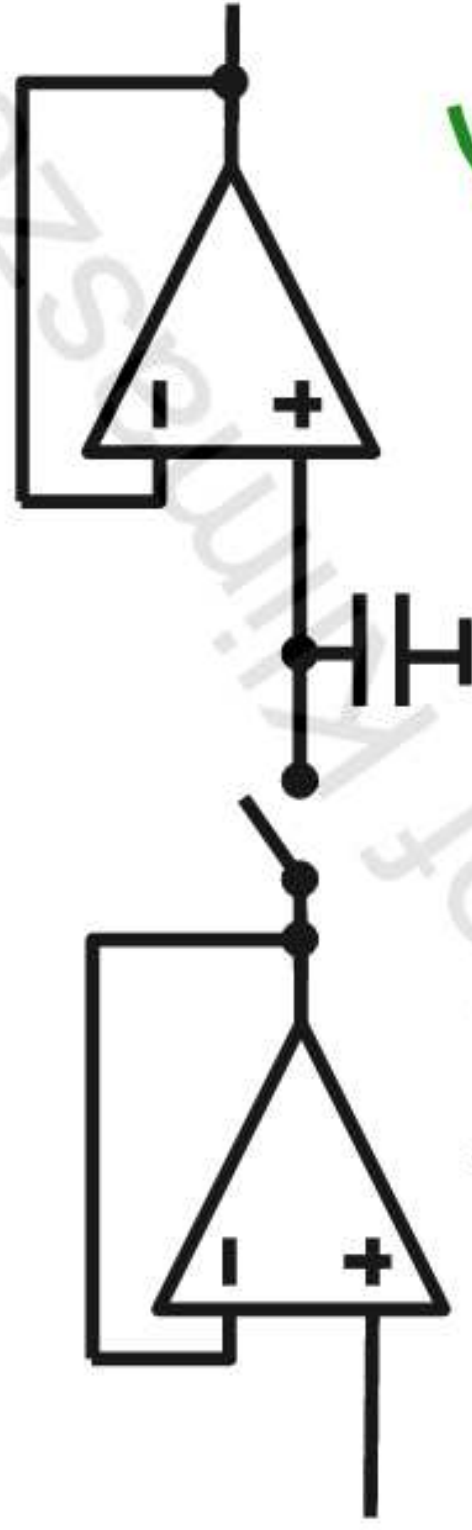
# Układ próbkująco-pamiętający



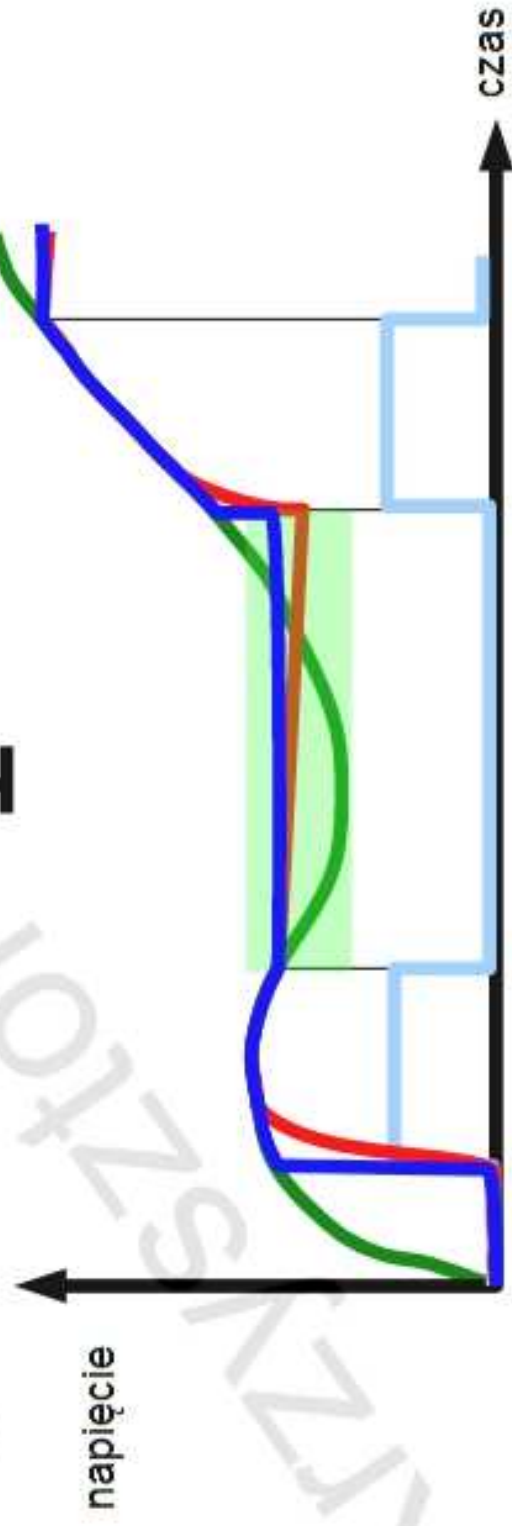
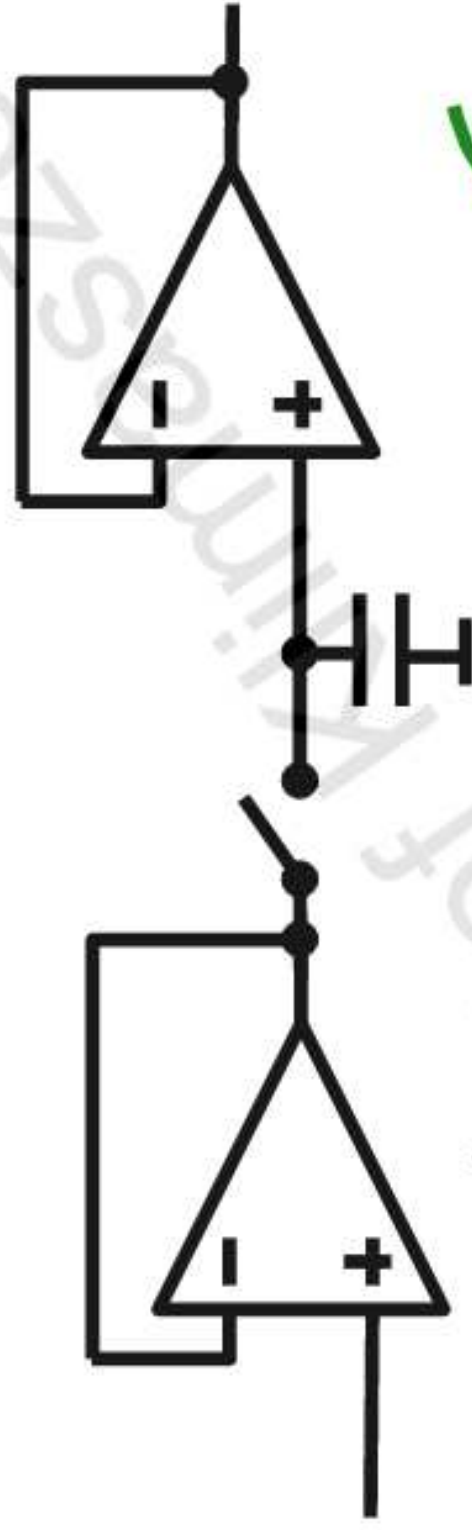
# Układ próbkująco-pamiętający



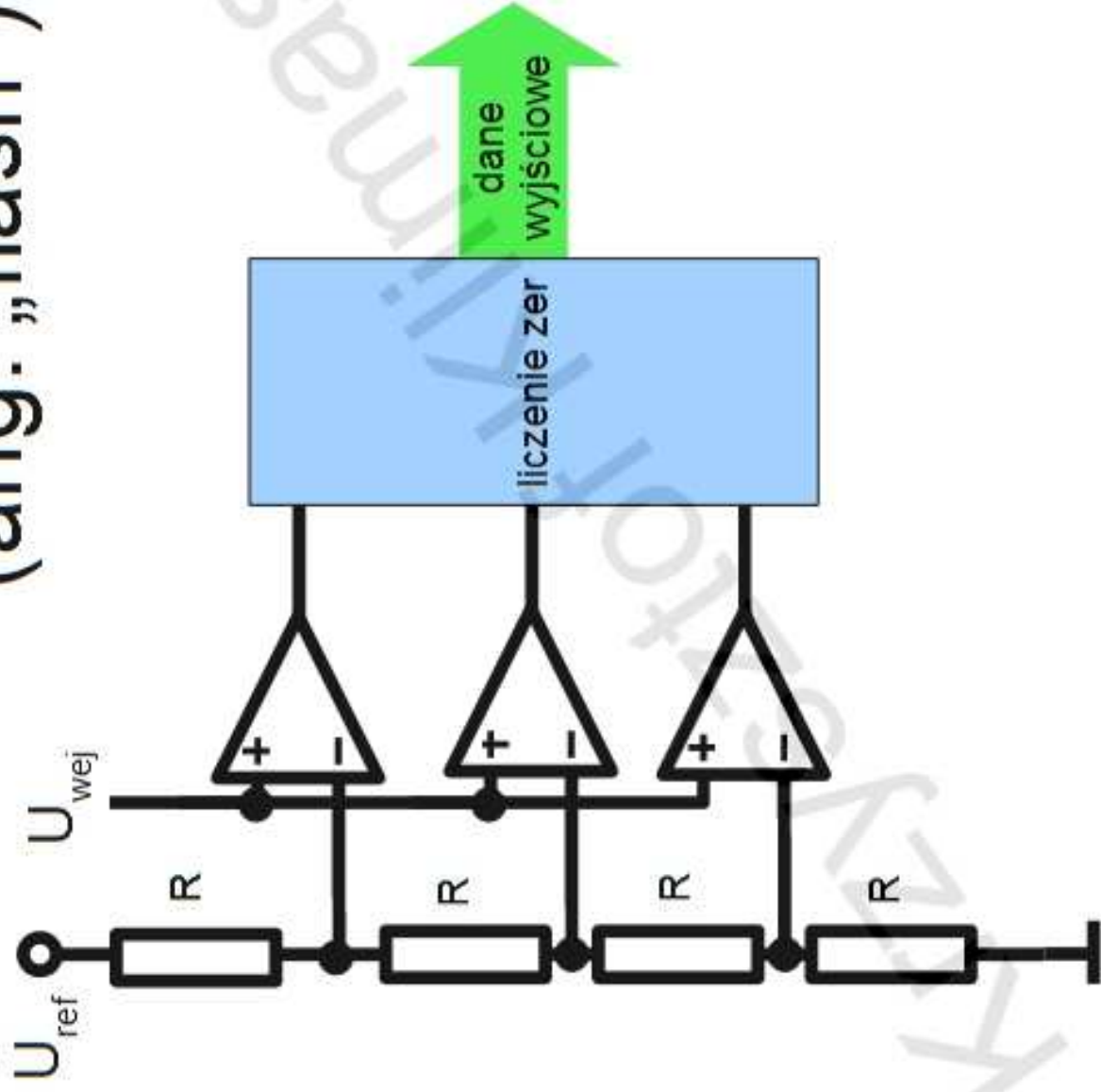
# Układ próbkująco-pamiętający



# Układ próbkująco-pamiętający

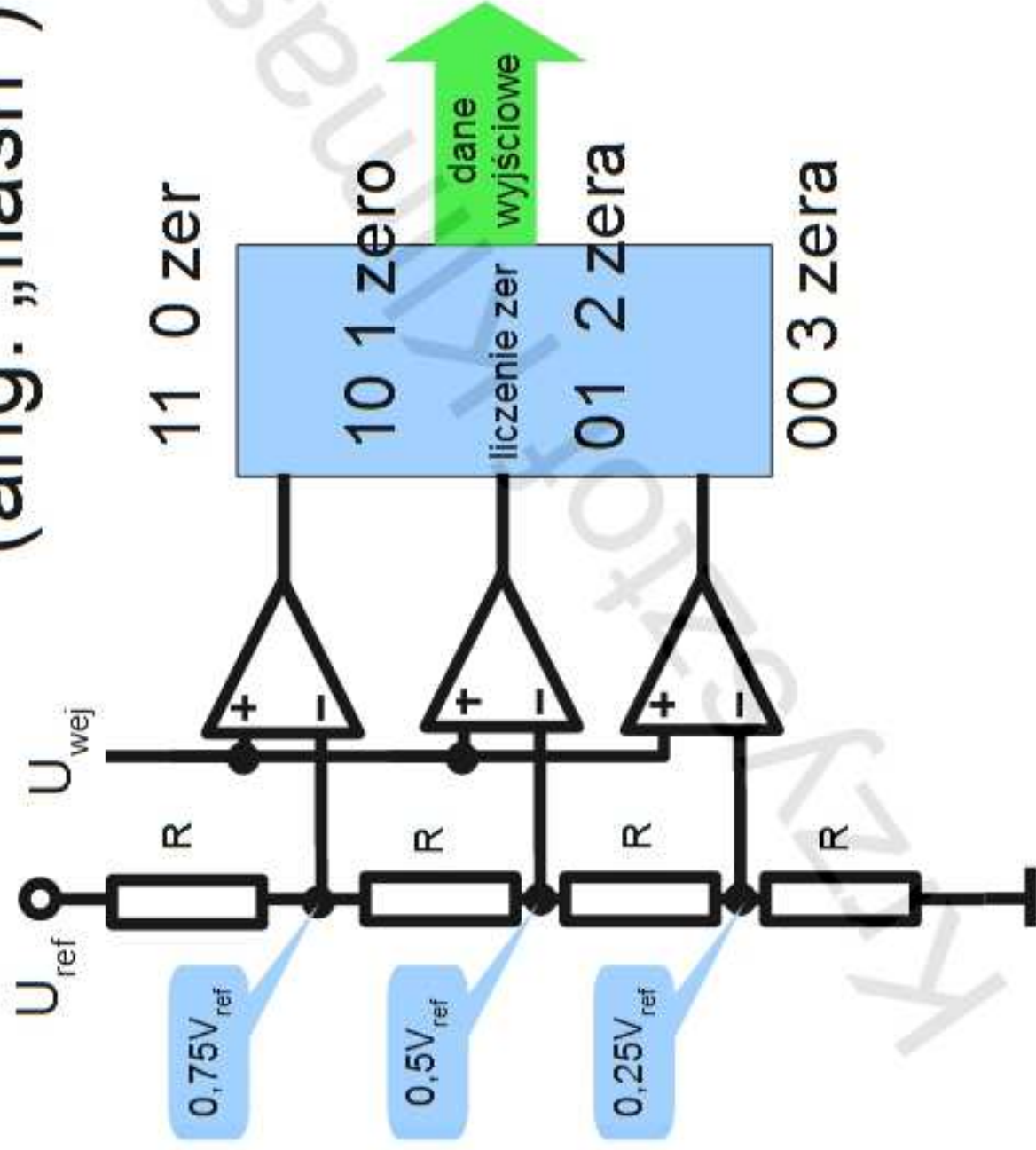


# Przetwornik równoległy (ang. „flash”)

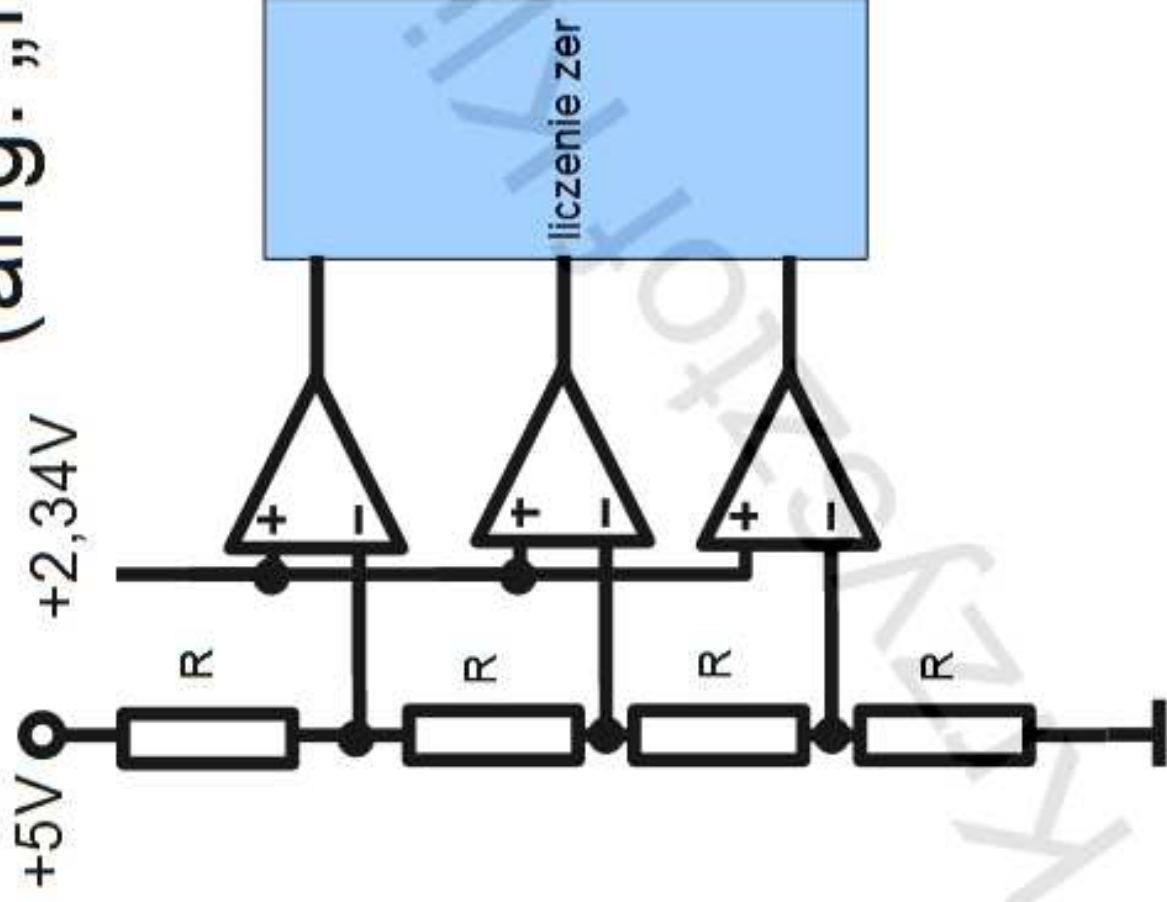




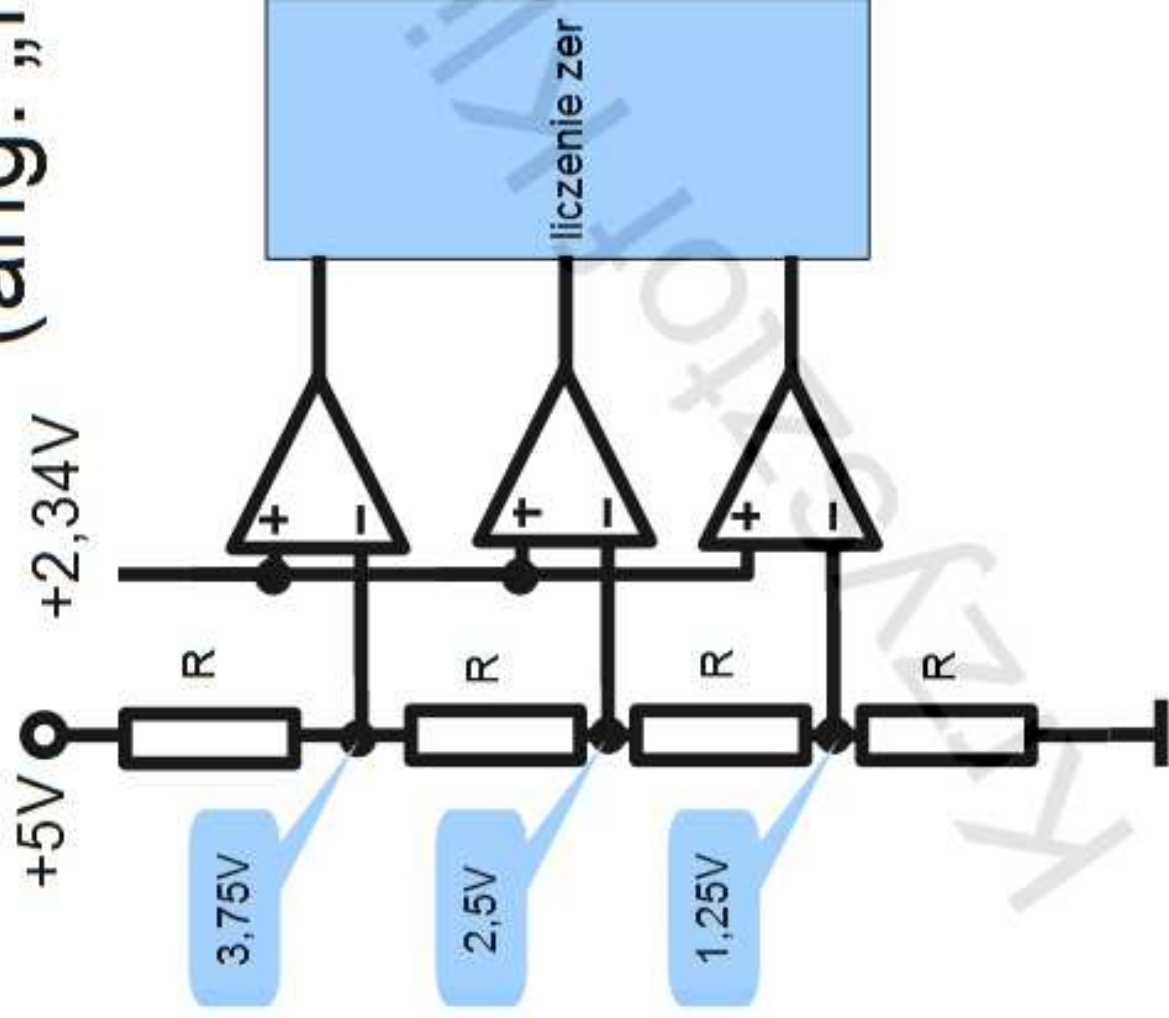
# Przetwornik równoległy (ang. „flash”)



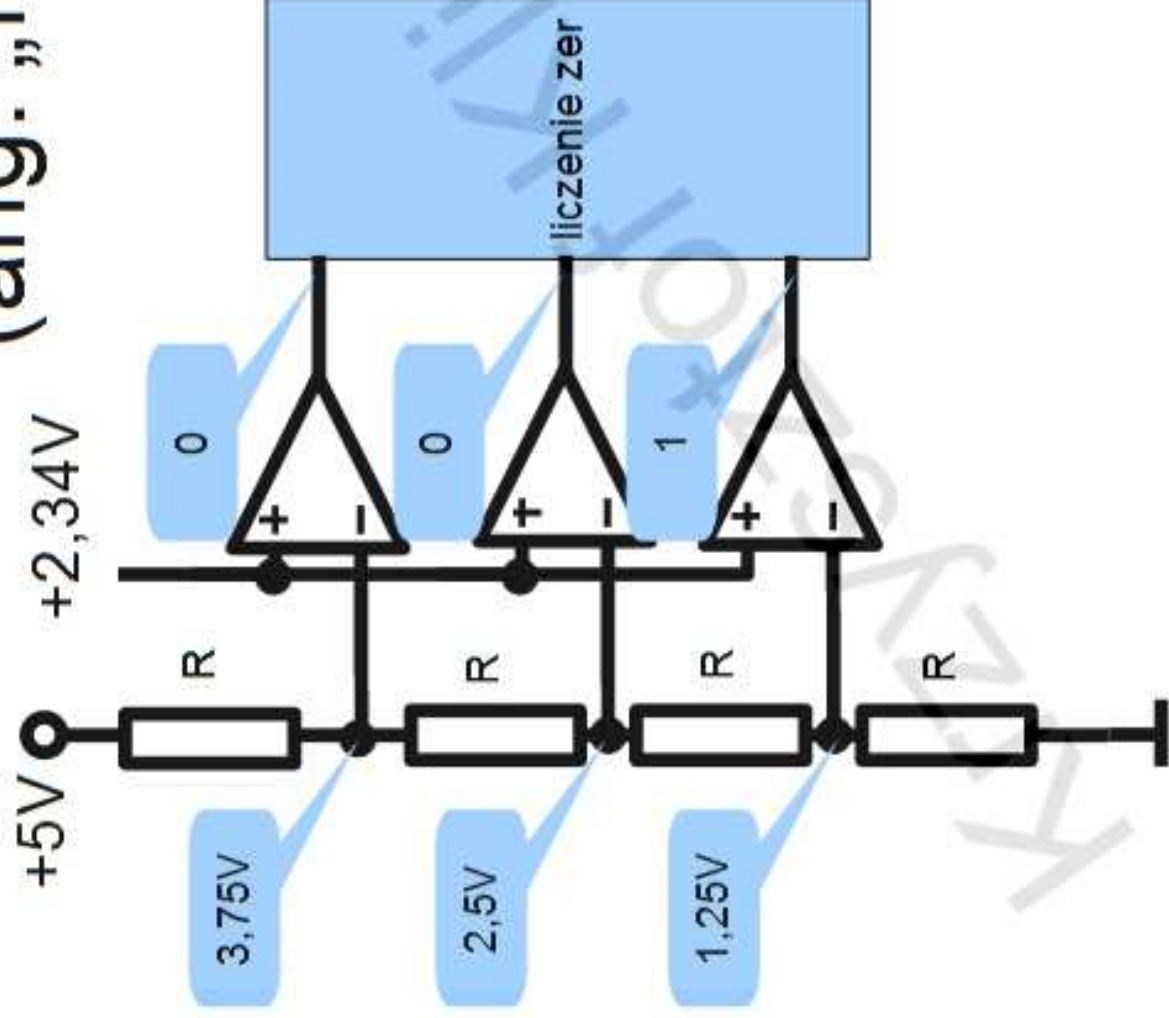
# Przetwornik równoległy (ang. „flash”)



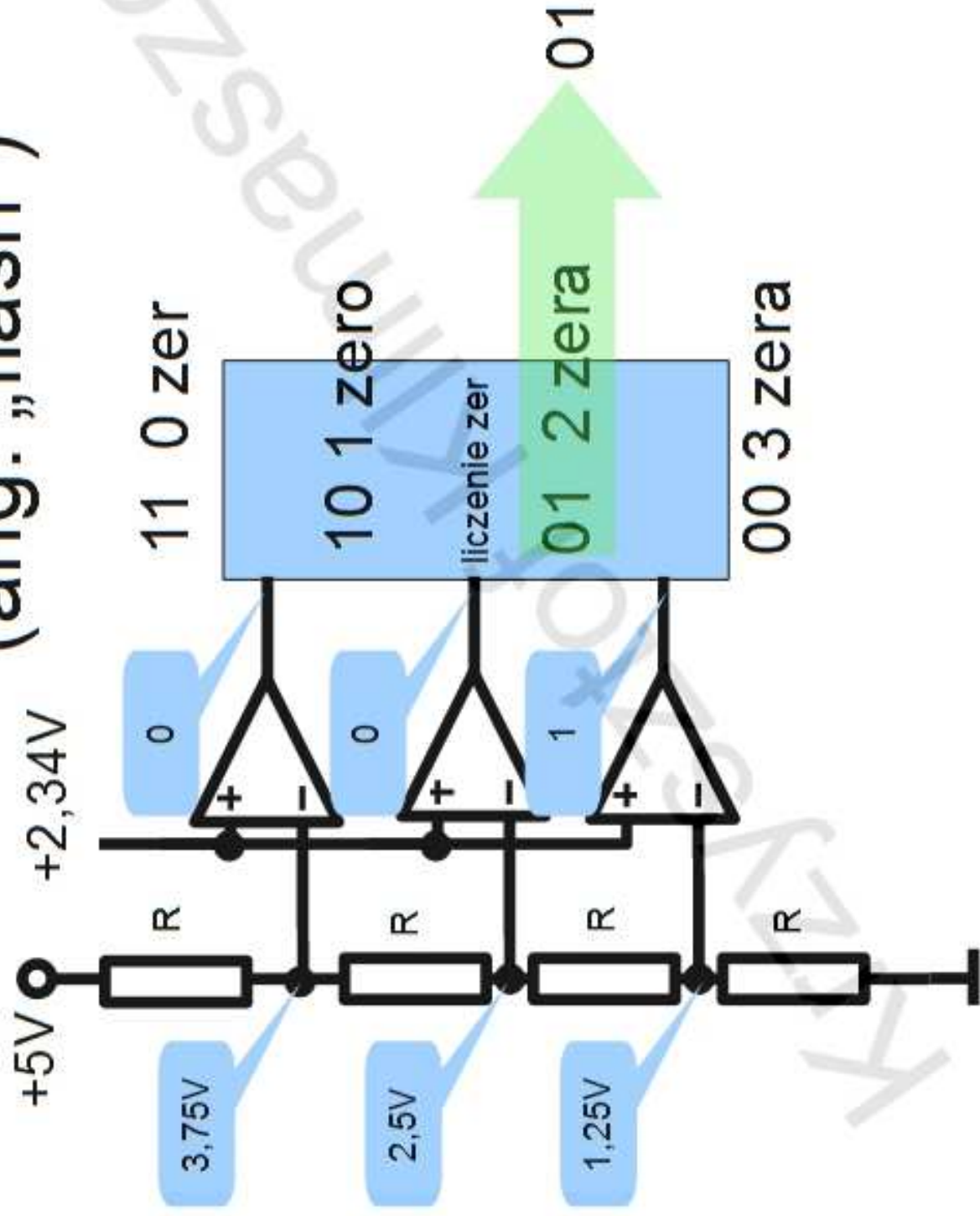
# Przetwornik równoległy (ang. „flash”)



# Przetwornik równoległy (ang. „flash”)



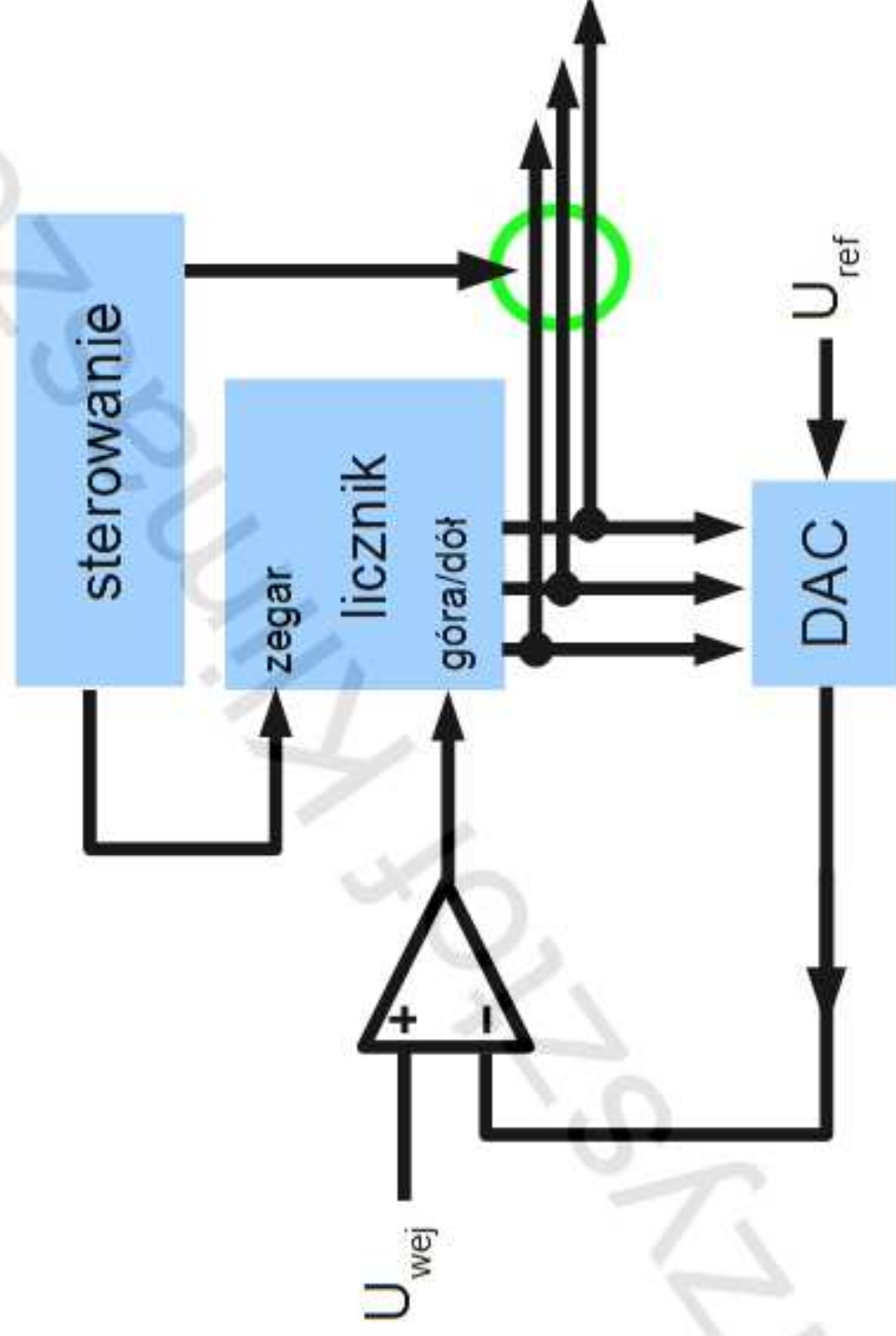
# Przetwornik równoległy (ang. „flash”)





# Przetwornik z sukcesywną aproxymacją

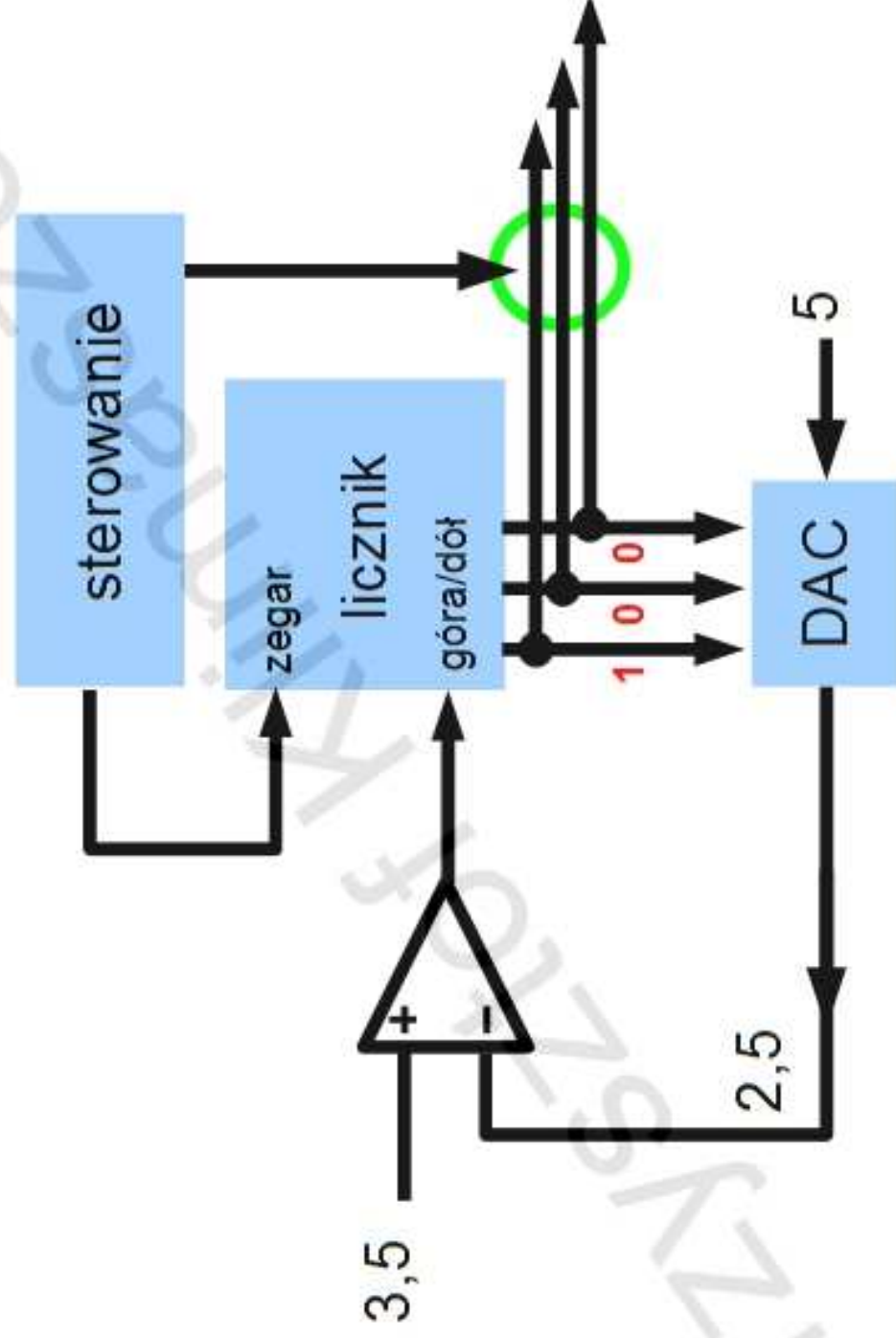
- SAR : *Successive Approximation Register*





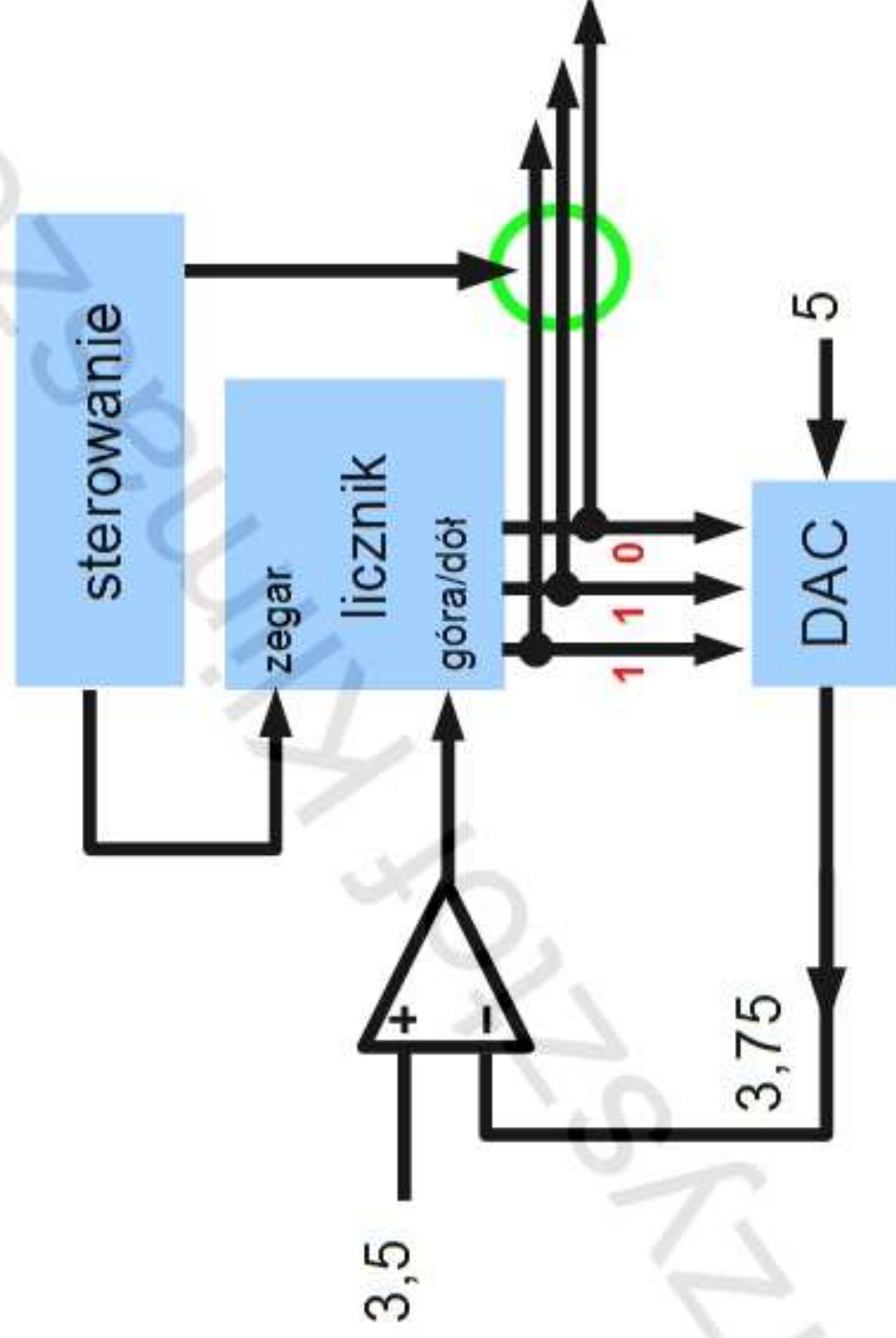
# Przetwornik z sukcesywną aproxymacją

- SAR : *Successive Approximation Register*



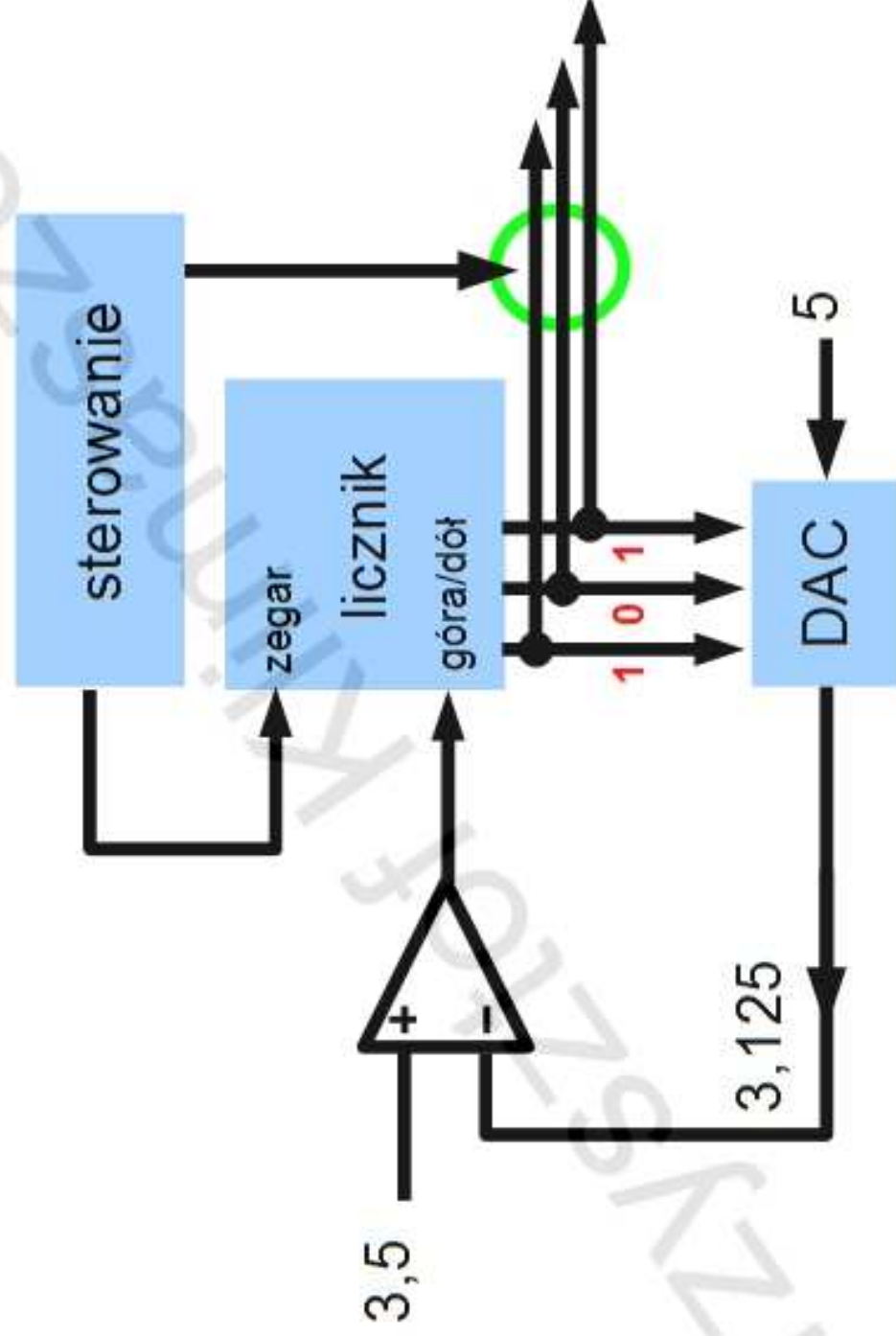
# Przetwornik z sukcesywną aproxymacją

- SAR : *Successive Approximation Register*



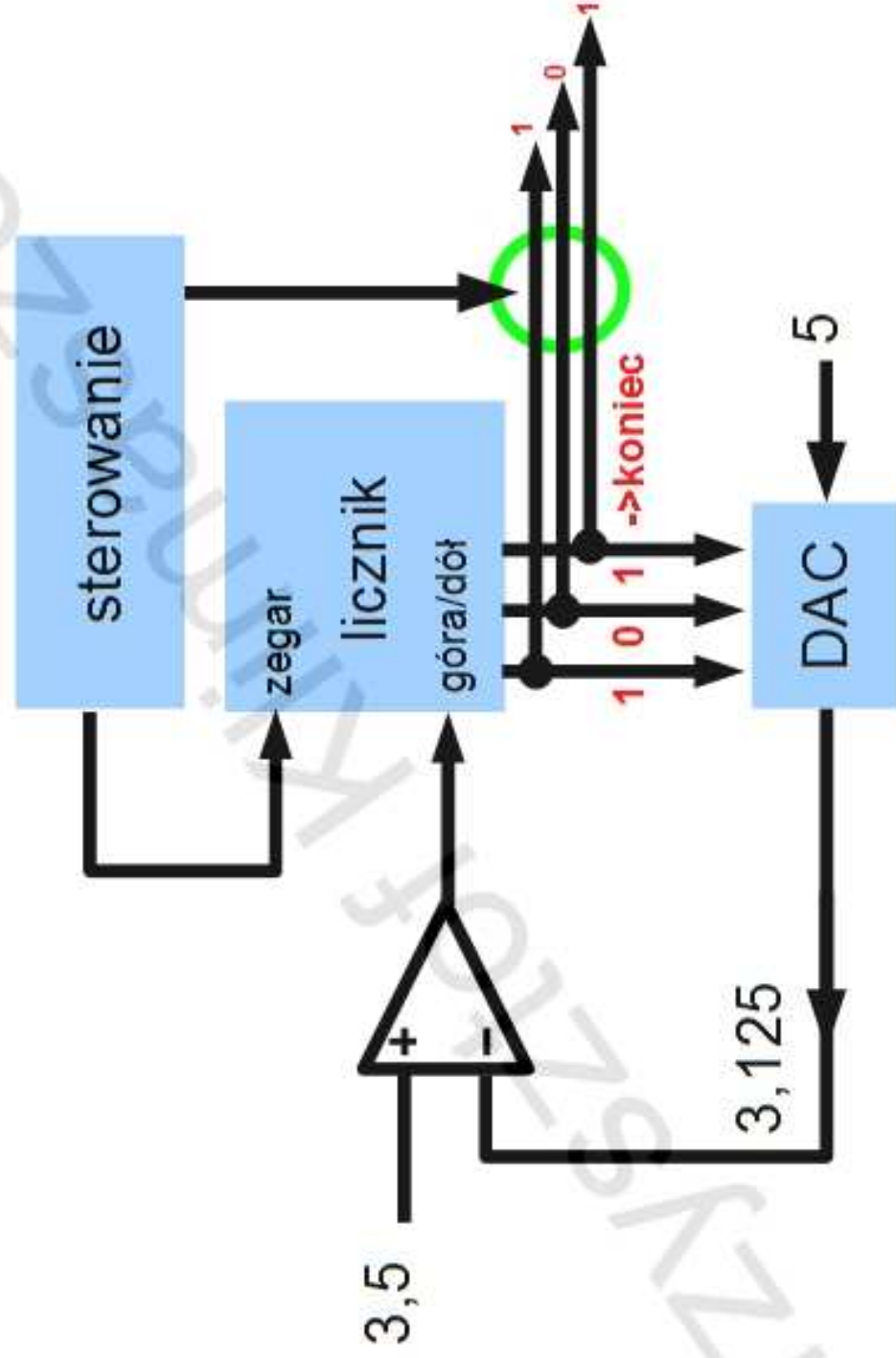
# Przetwornik z sukcesywną aproxymacją

- SAR : *Successive Approximation Register*



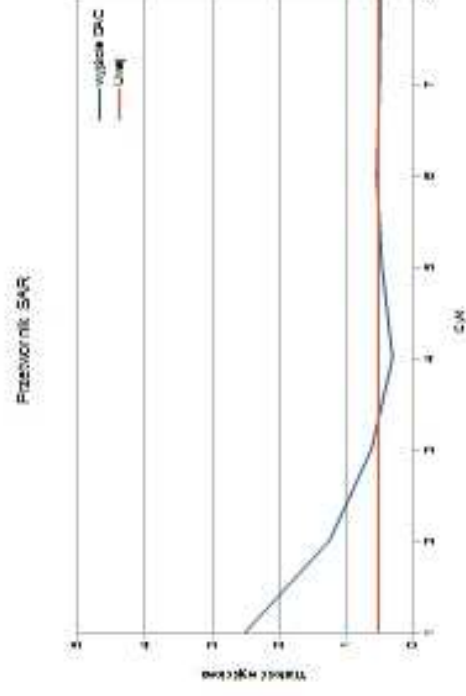
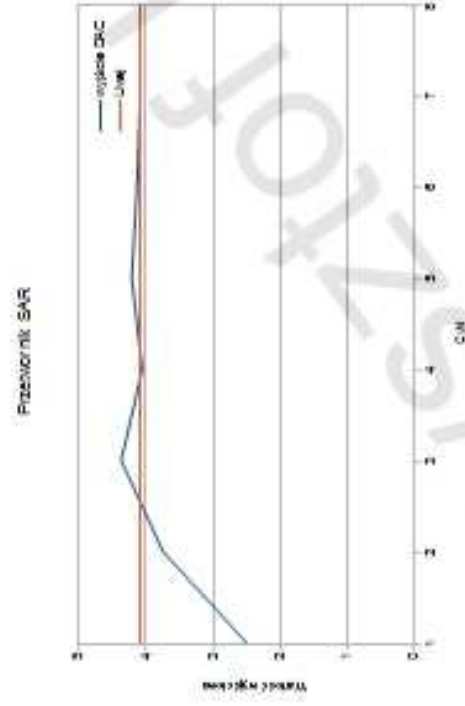
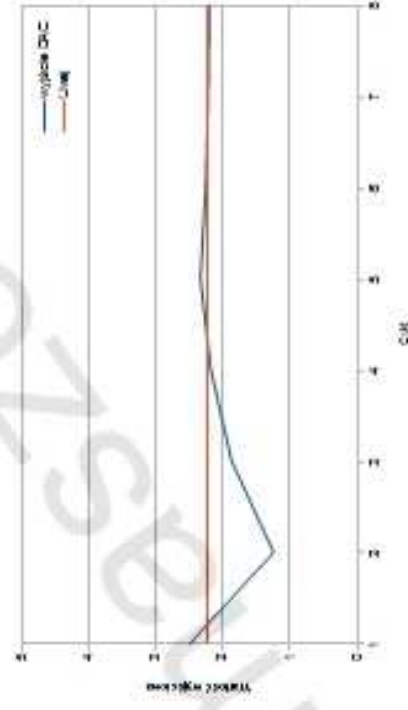
# Przetwornik z sukcesywną aproxymacją

- SAR : *Successive Approximation Register*



# Przetwornik z sukcesywną aproxymacją

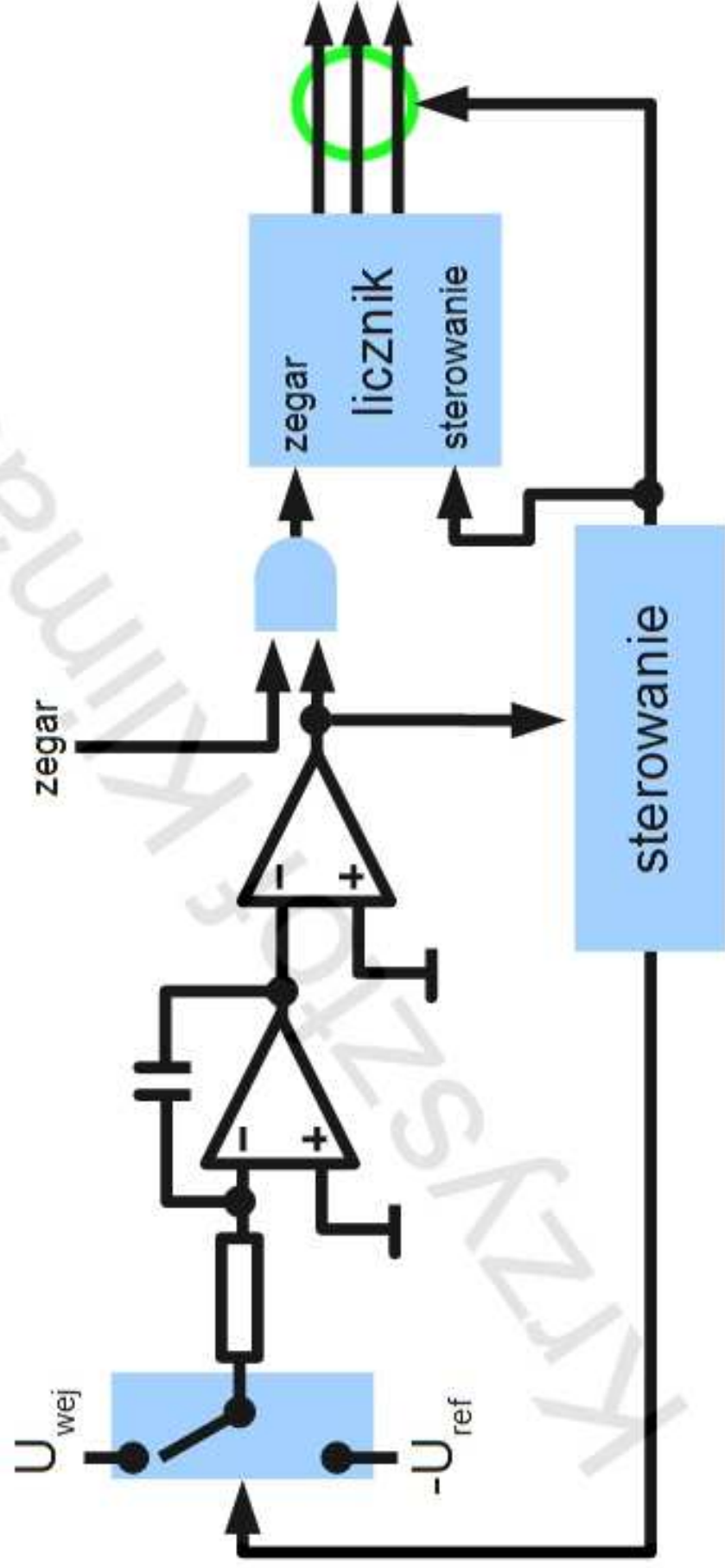
- SAR 8 bitowy, przykłady:





# Przetwornik całujący

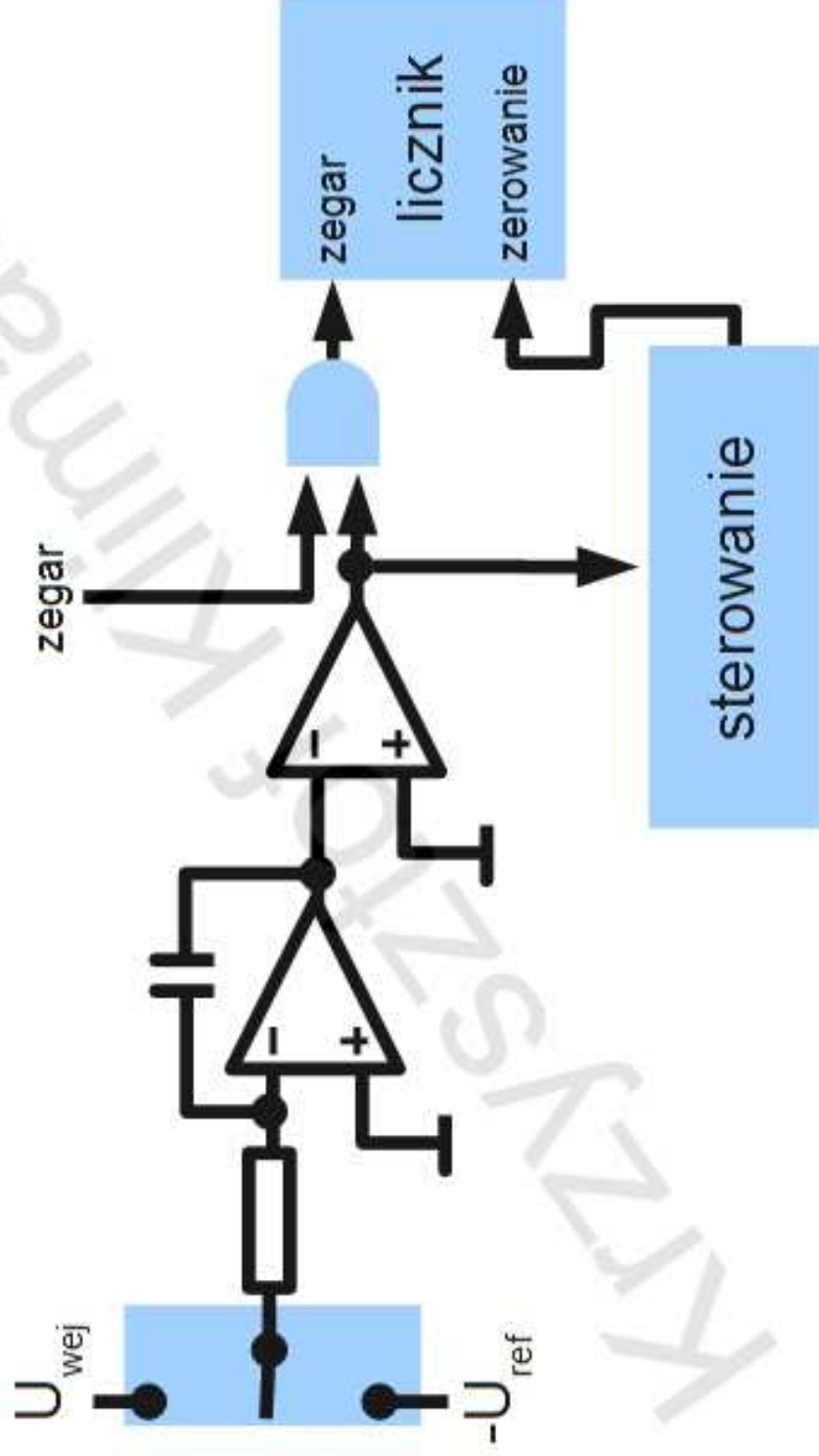
- Przetwornik z podwójnym całkowaniem





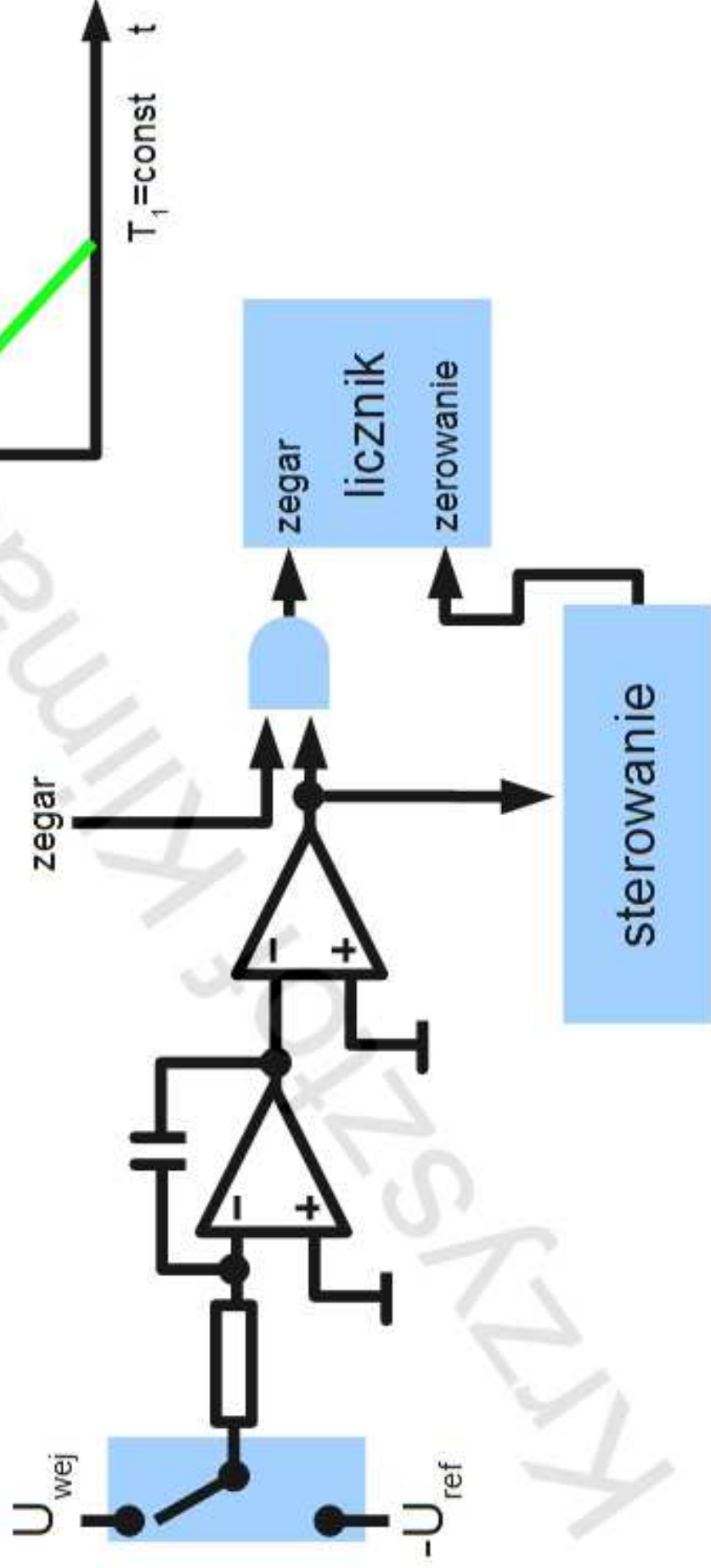
# Przetwornik z podwójnym całkowaniem

- Faza 1 Zerowanie licznika i integratora



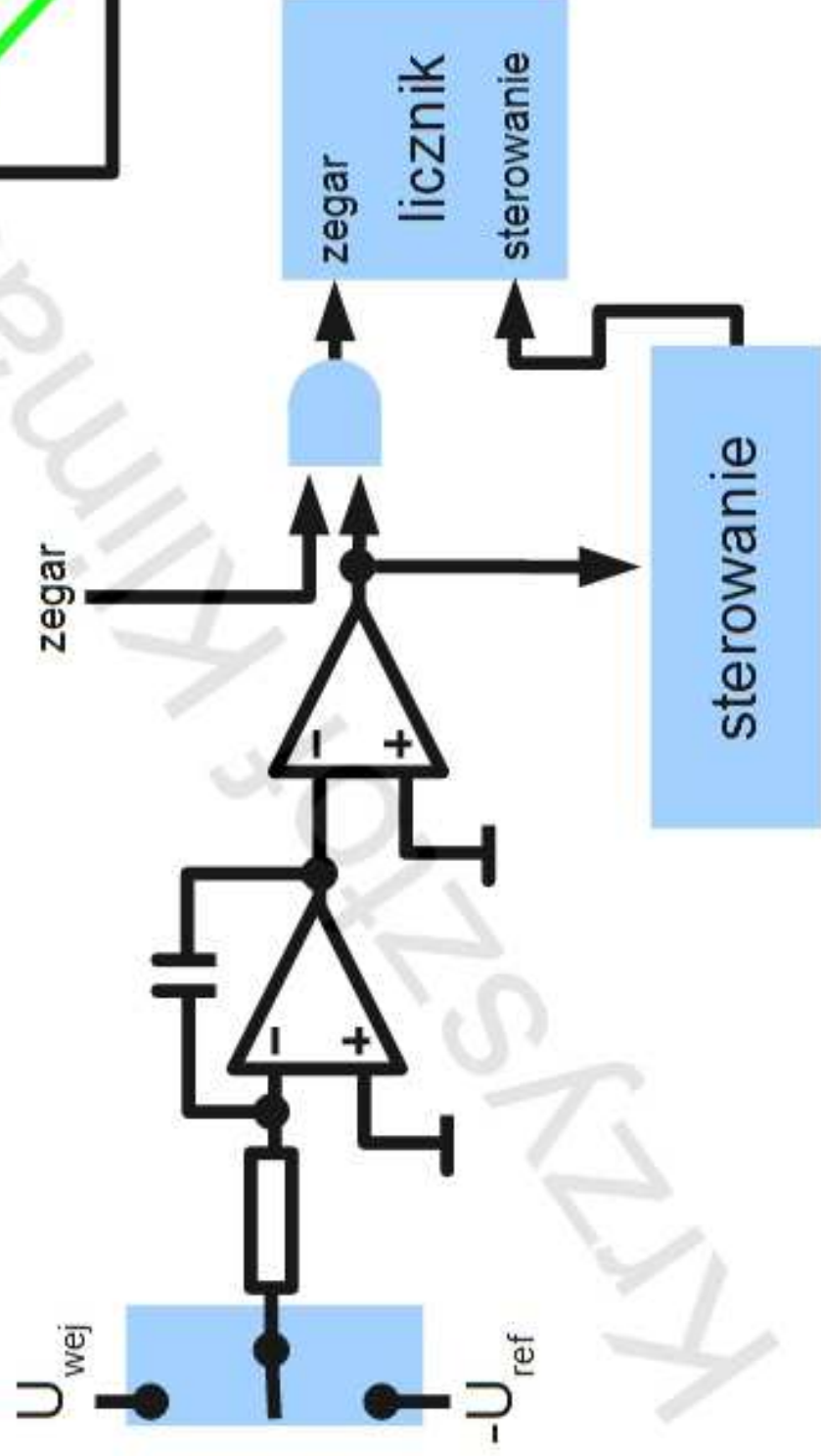
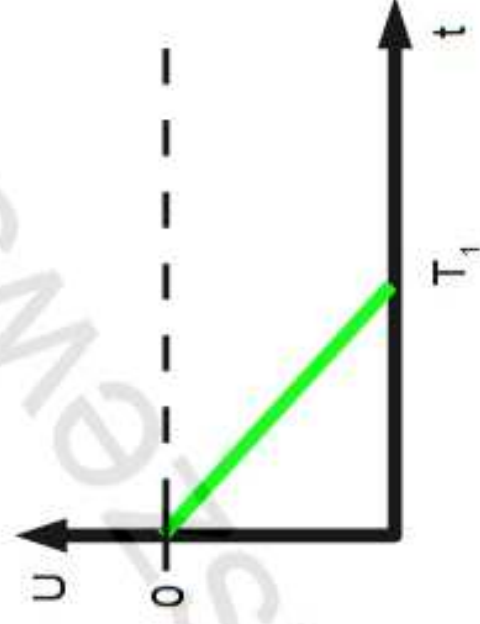
# Przetwornik z podwójnym całkowaniem

- Faza 2 Całkowanie przez pewien ustalony z góry czas



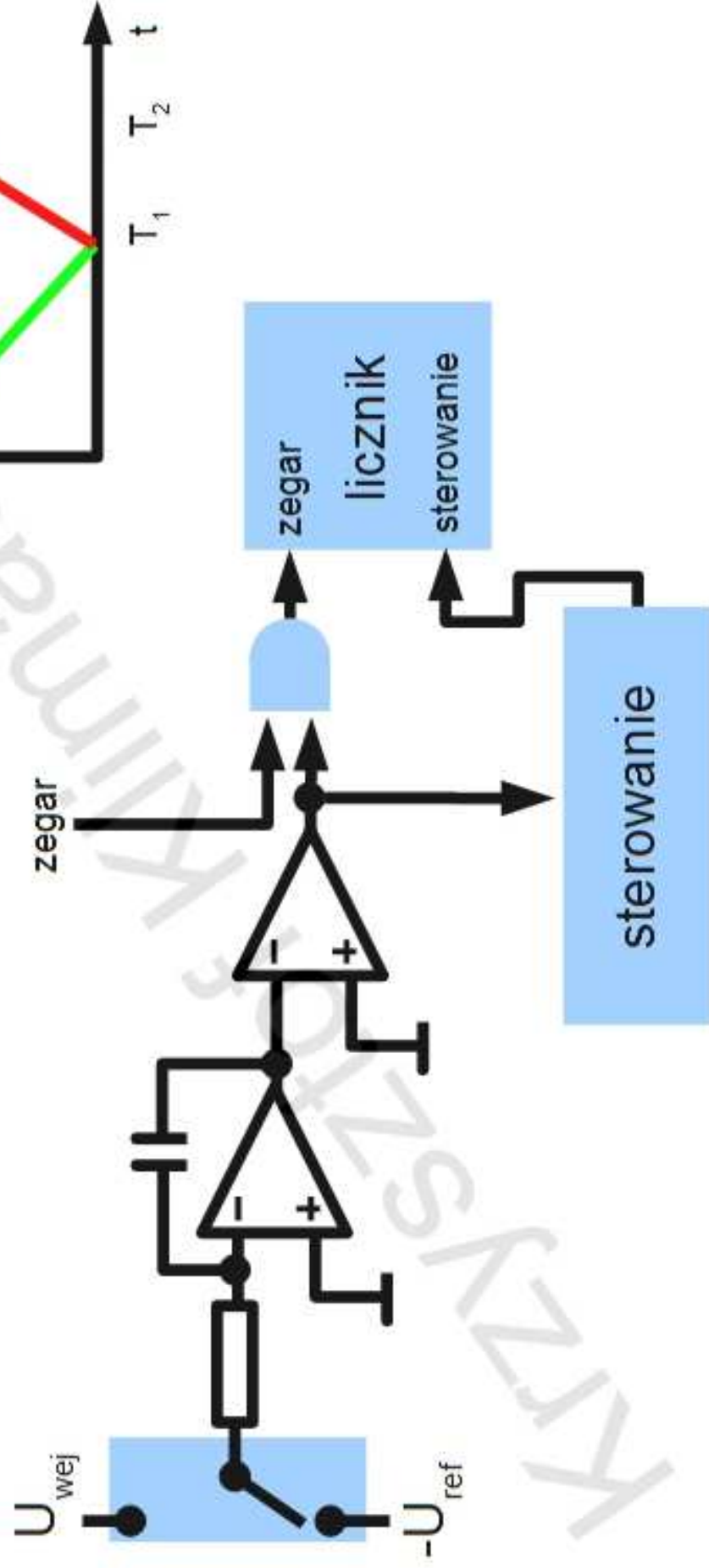
# Przetwornik z podwójnym całkowaniem

- Faza 3 Zerowanie licznika



# Przetwornik z podwójnym całkowaniem

- Faza 4 Całkowanie znanego napięcia  $U$  aż wyjście integratora nie wzrośnie do zera

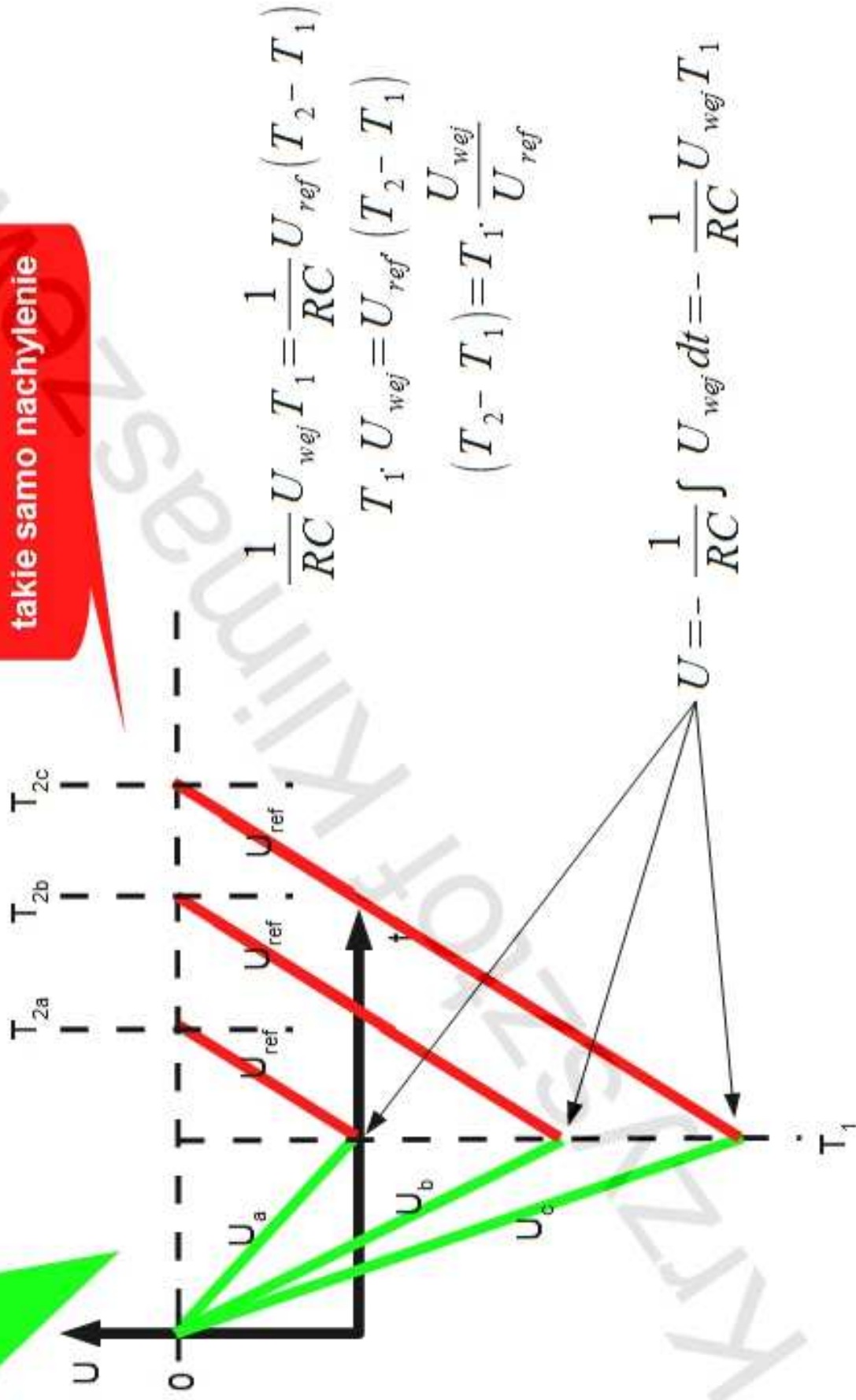




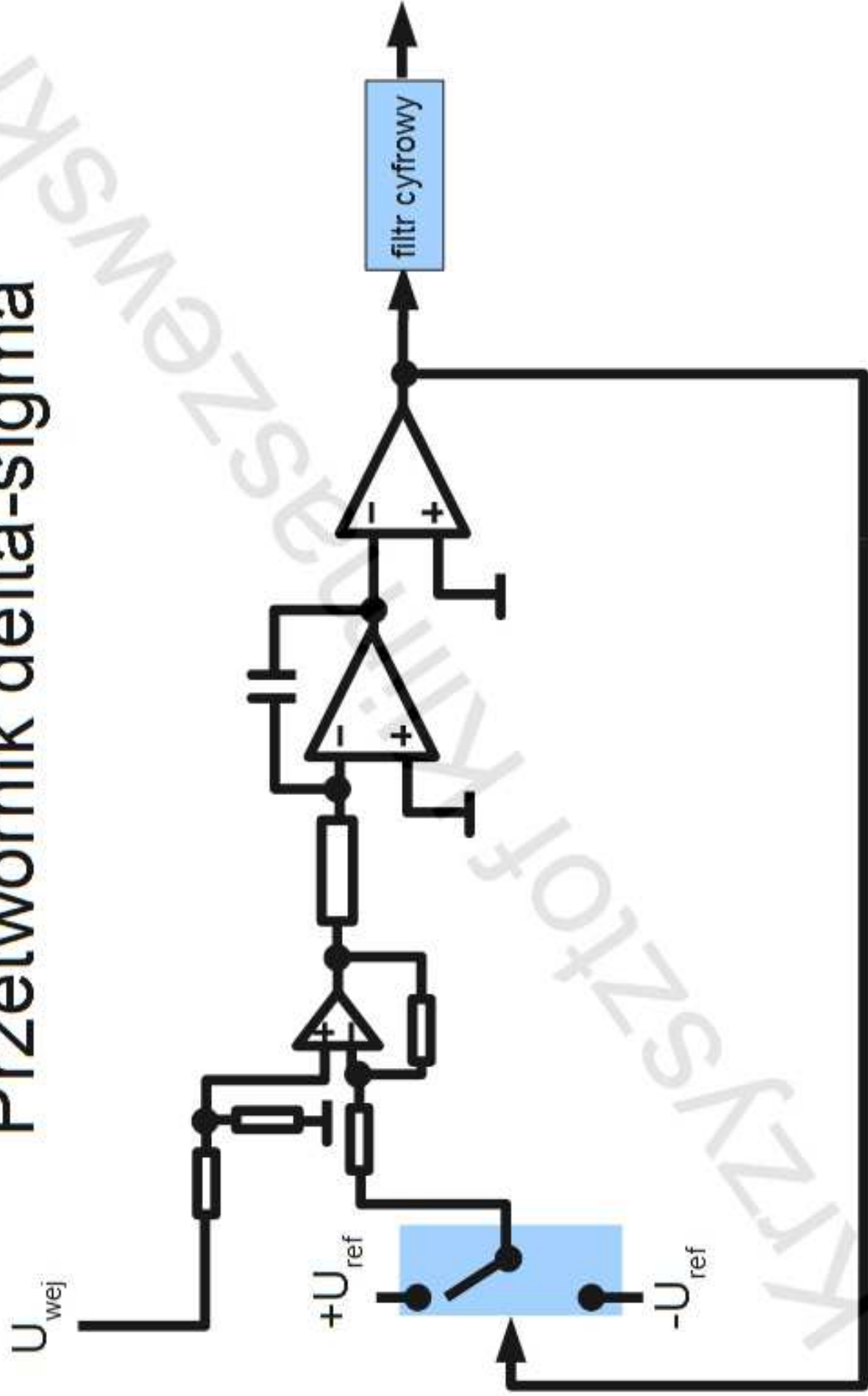
# Przetwornik z podwójnym całkowaniem

zmienne nachylenie

takie samo nachylenie

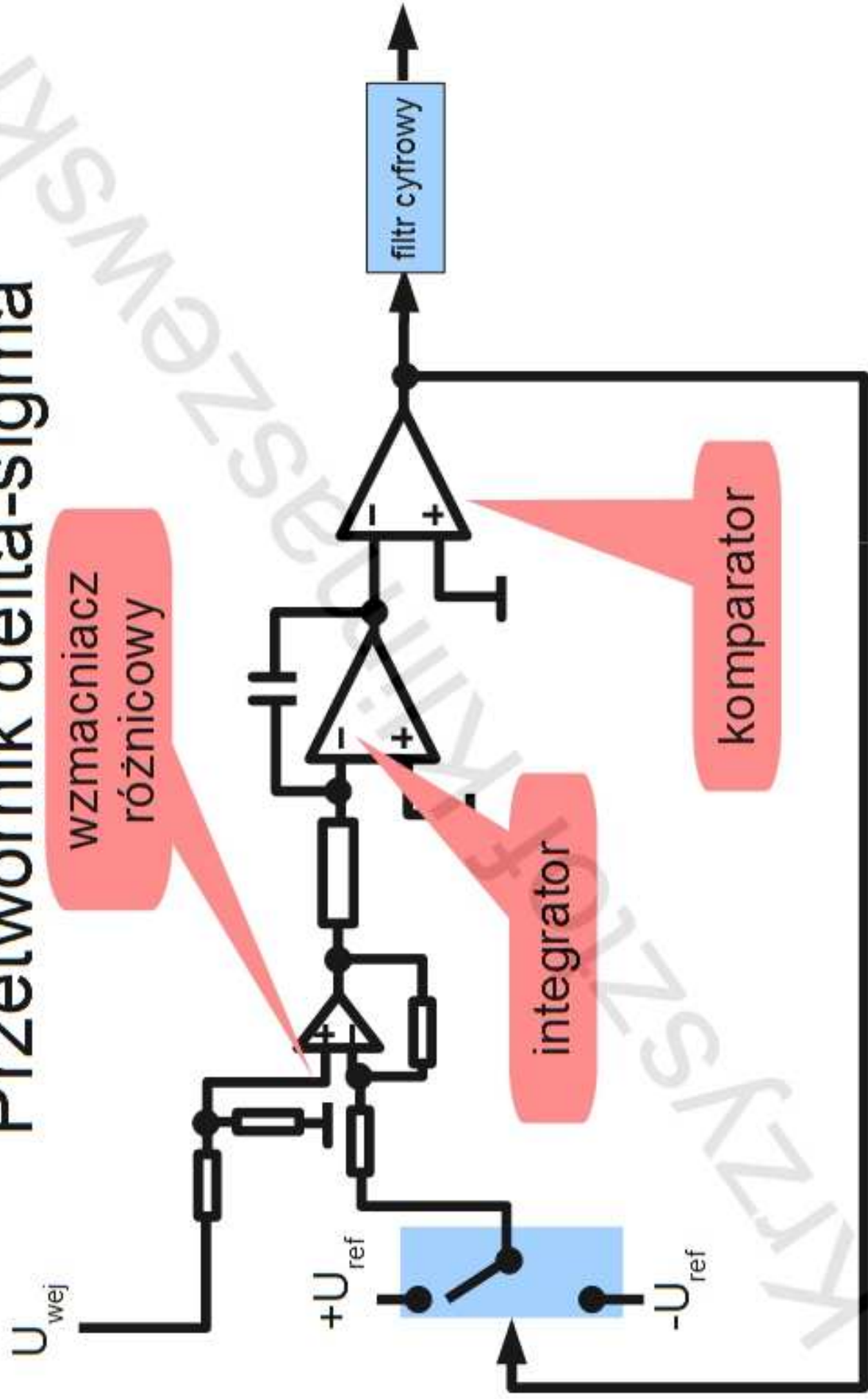


# Przetwornik delta-sigma

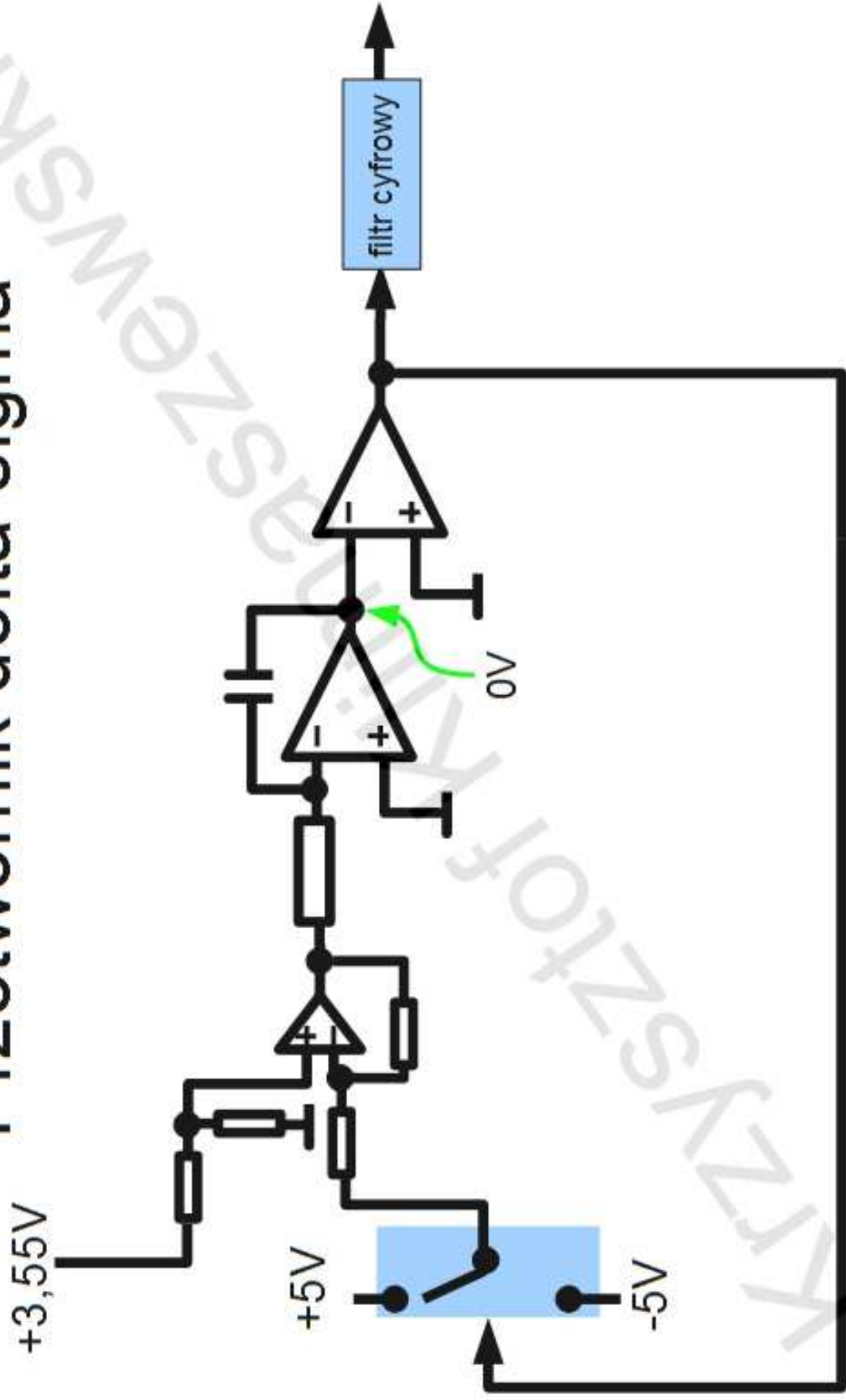




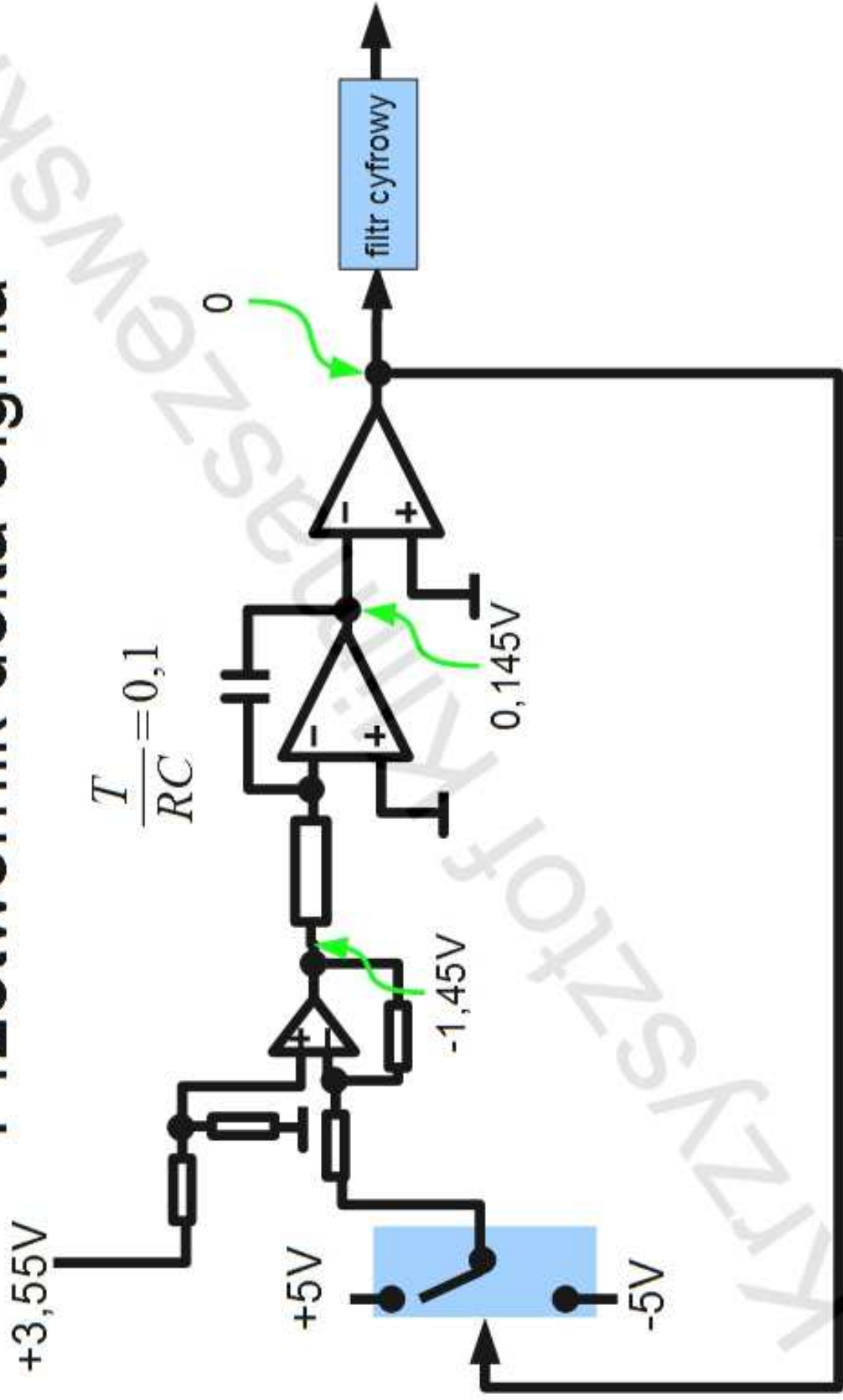
# Przetwornik delta-sigma



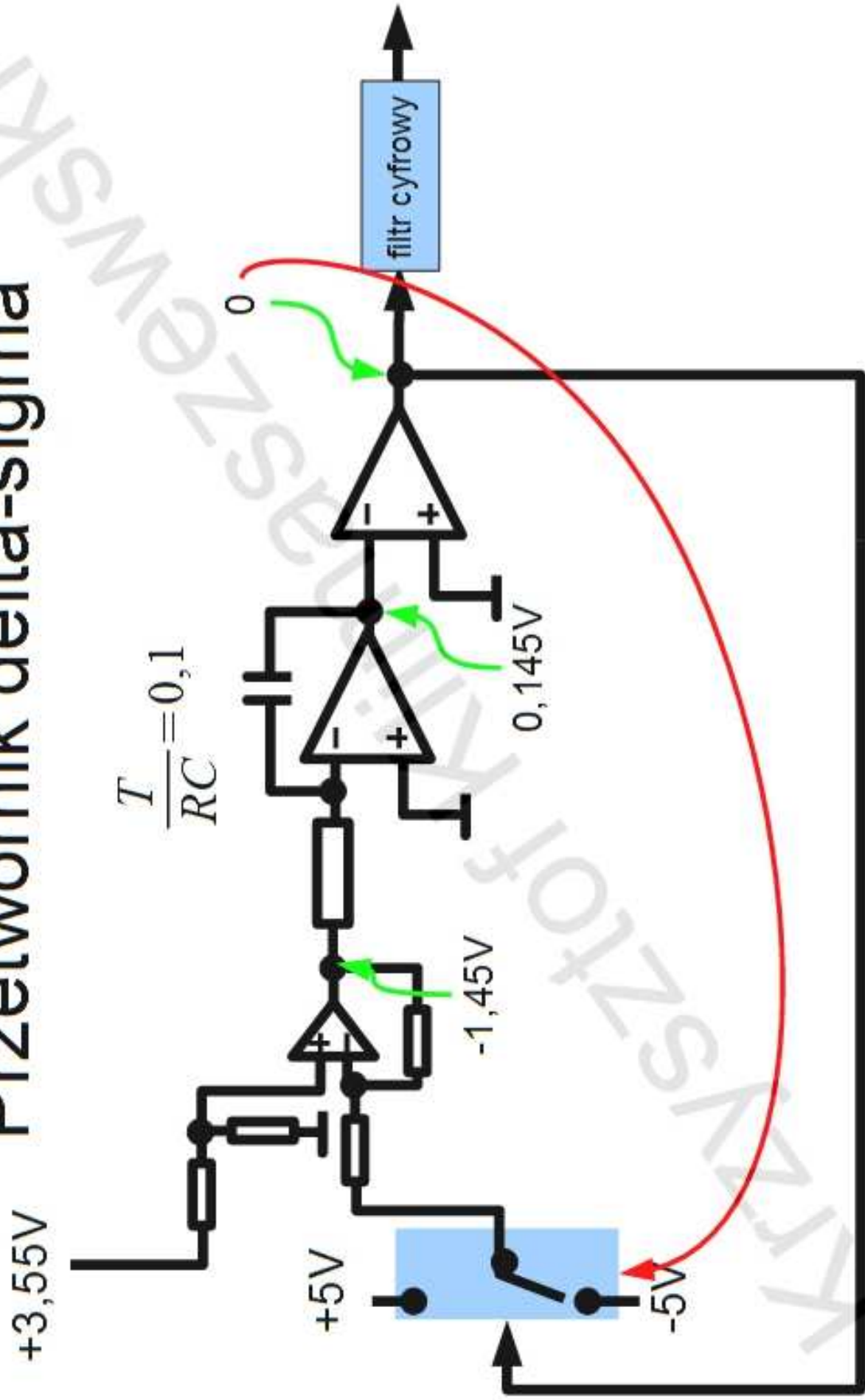
# Przetwornik delta-sigma



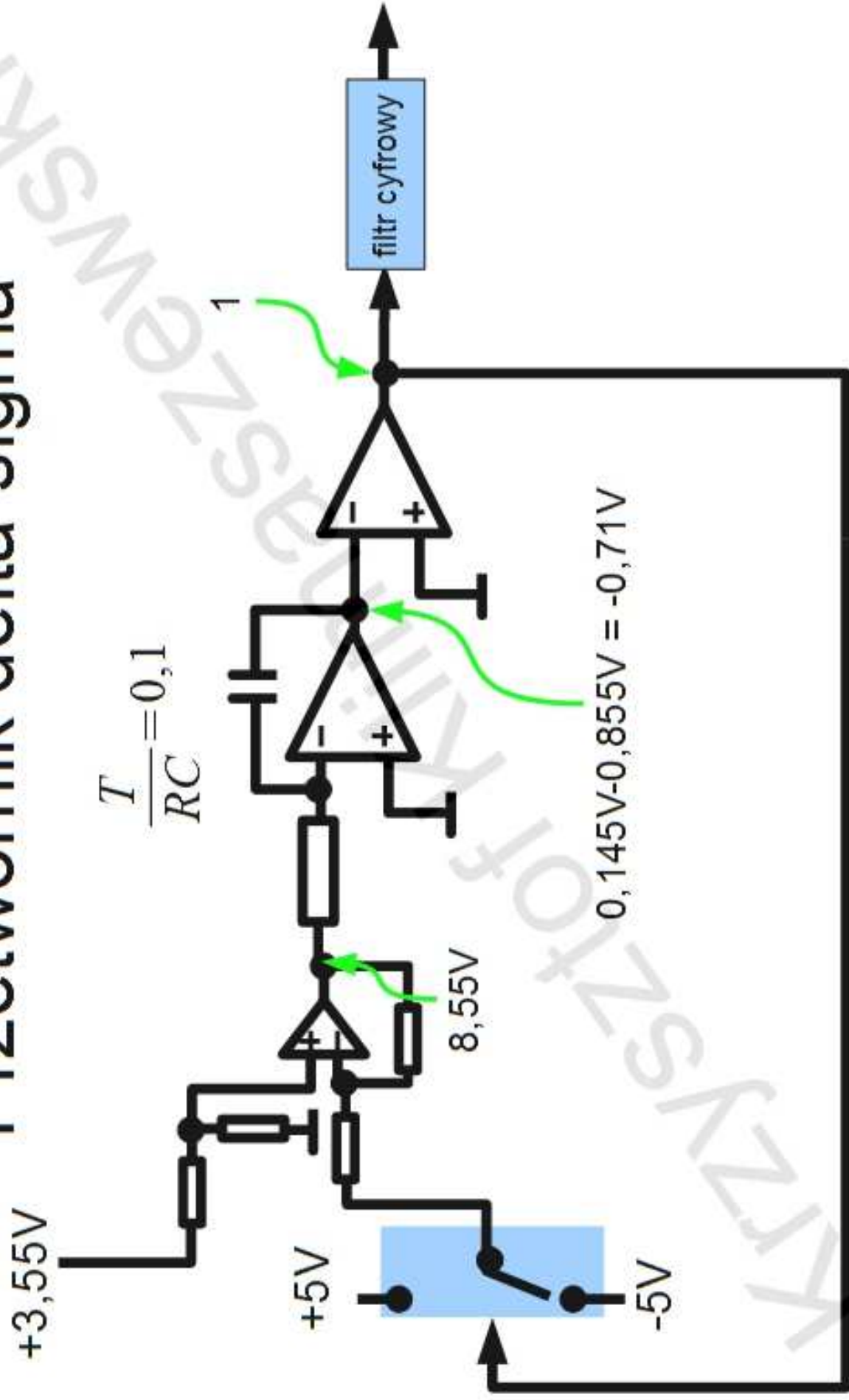
# Przetwornik delta-sigma



# Przetwornik delta-sigma

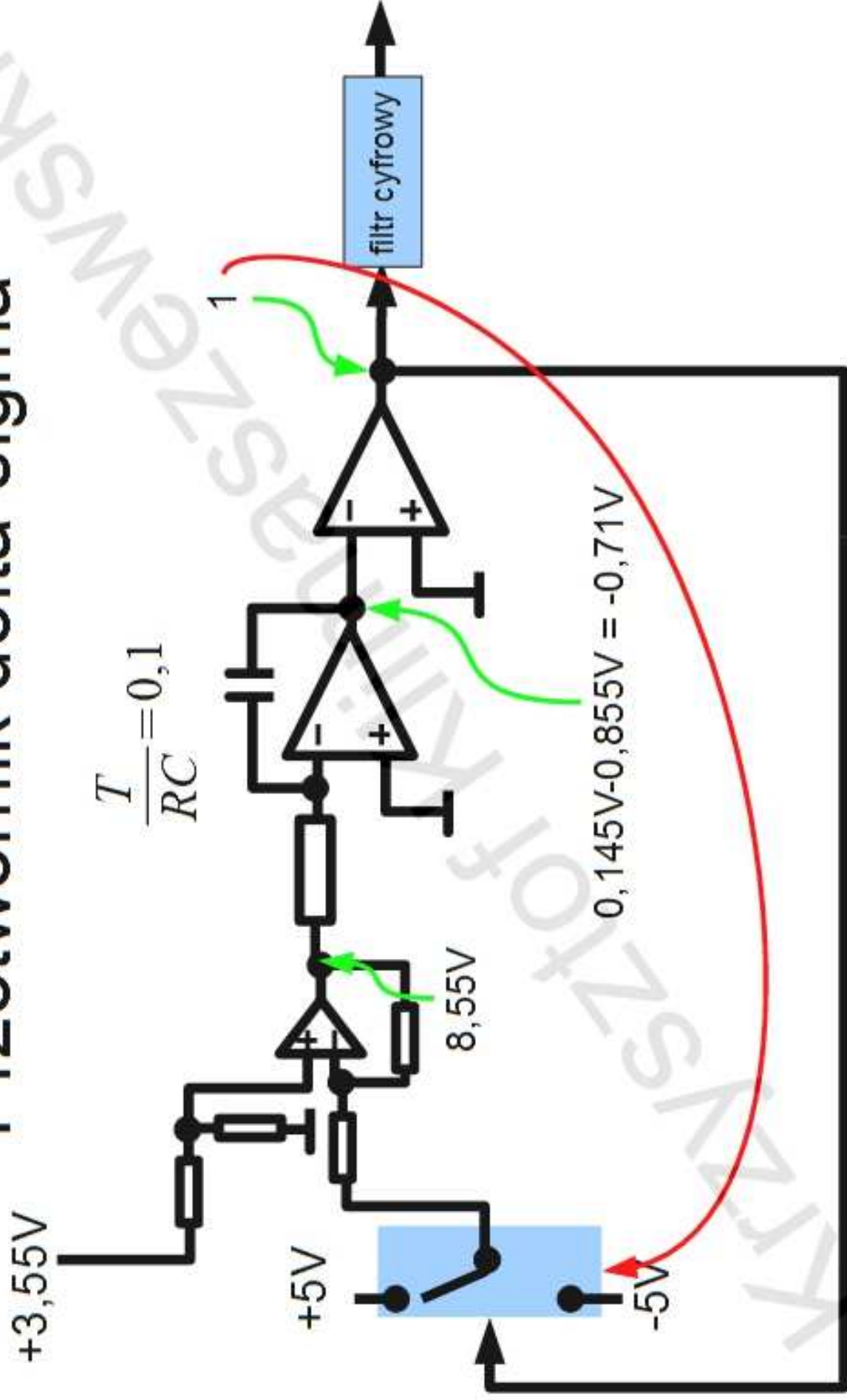


# Przetwornik delta-sigma

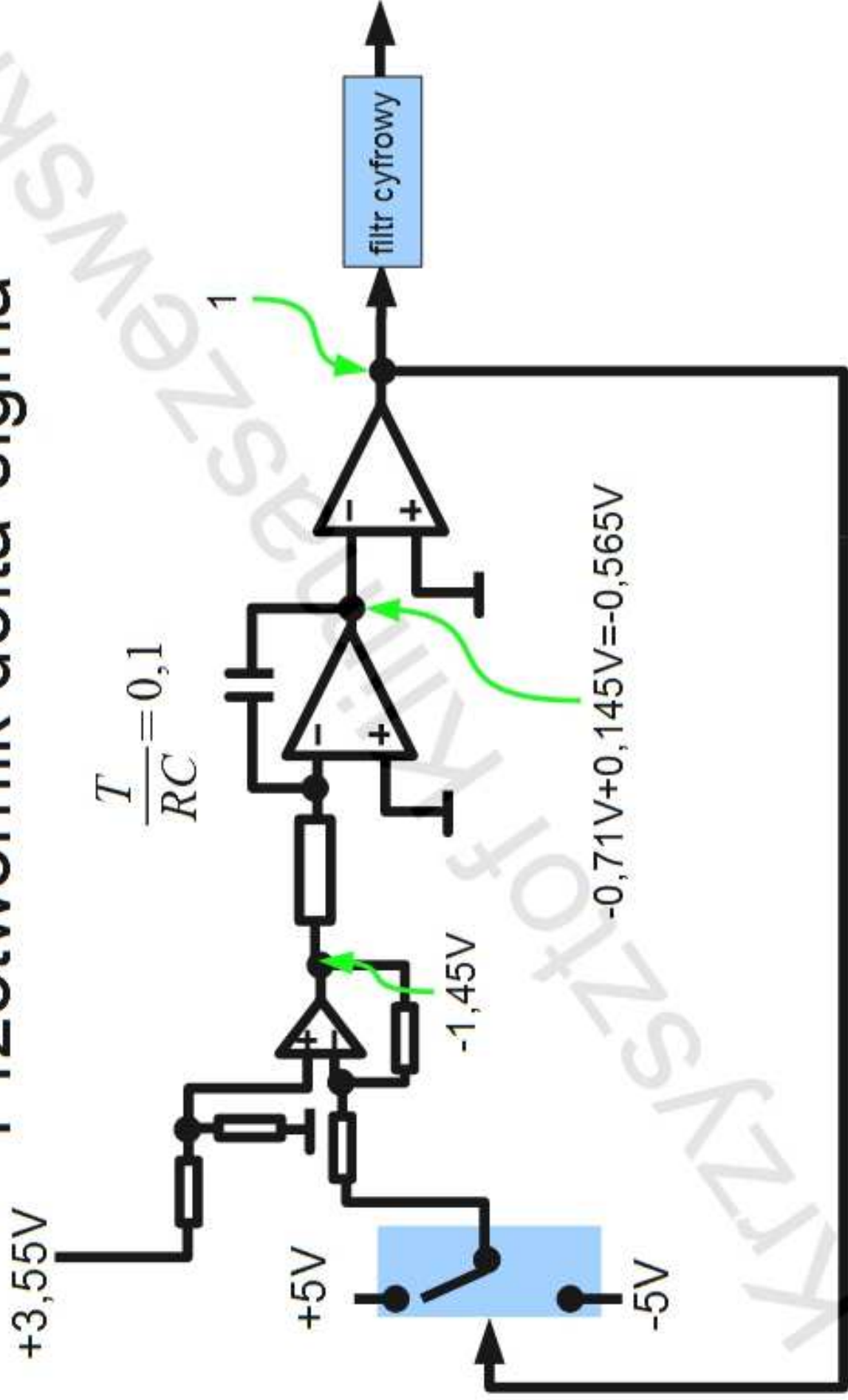




# Przetwornik delta-sigma



# Przetwornik delta-sigma



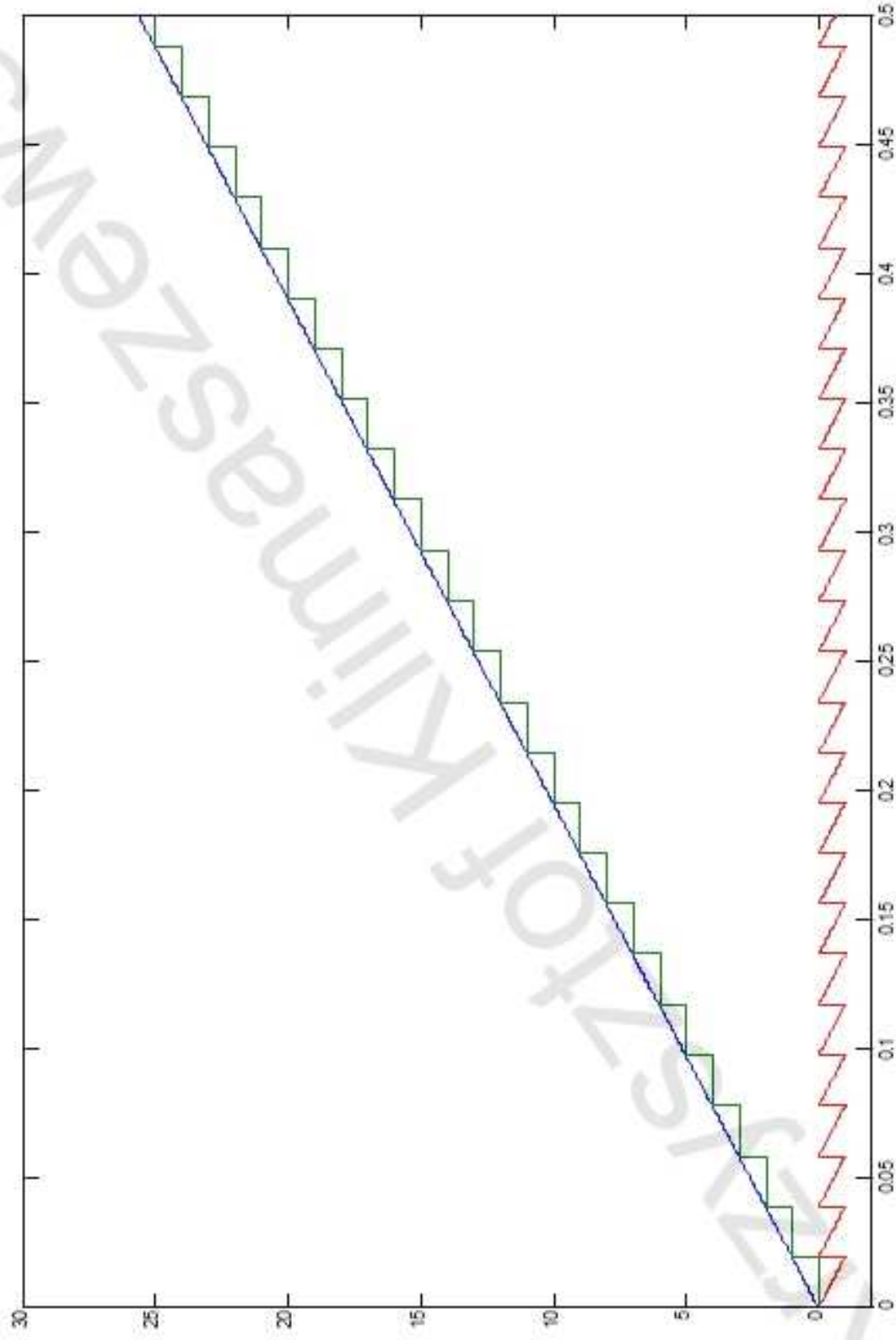
# Przetwornik delta-sigma

U wej =	3,55								
U ref =	5								
T/RC =	0,1								
U wejroz-	U wej	U wyjroz	U wyjint	komparator					WYNIK
5	3,55	-1,45	0,145	0				-1	3,550
-5	3,55	8,55	-0,710	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,565	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,420	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,275	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,130	1				1	
5	3,55	-1,45	0,015	0				-1	
-5	3,55	8,55	-0,840	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,695	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,550	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,405	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,260	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,115	1				1	
5	3,55	-1,45	0,030	0				-1	
-5	3,55	8,55	-0,825	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,680	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,535	1				1	
5	3,55	-1,45	-0,390	1				1	

# Przetwornik delta-sigma

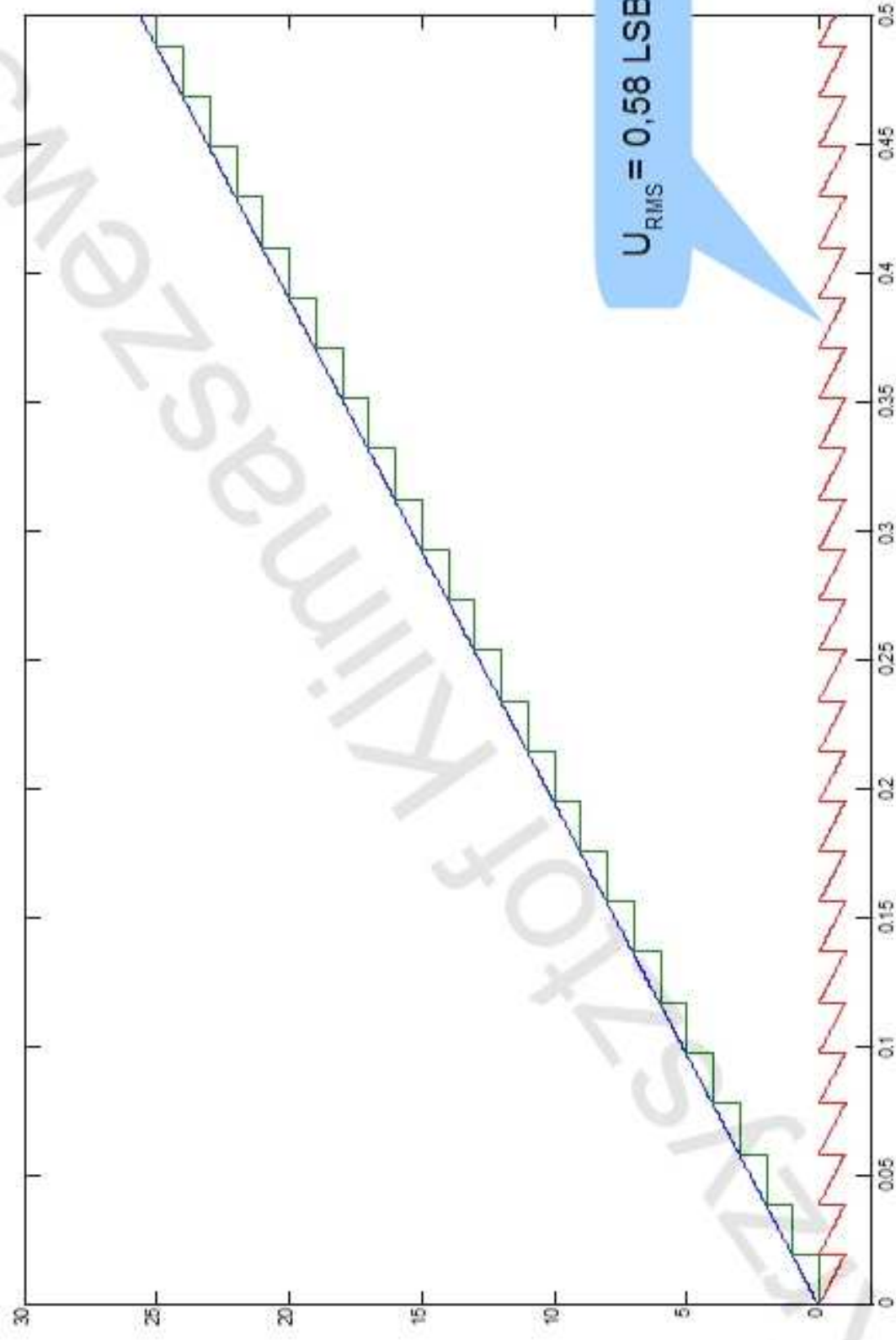


# Szum kwantowania

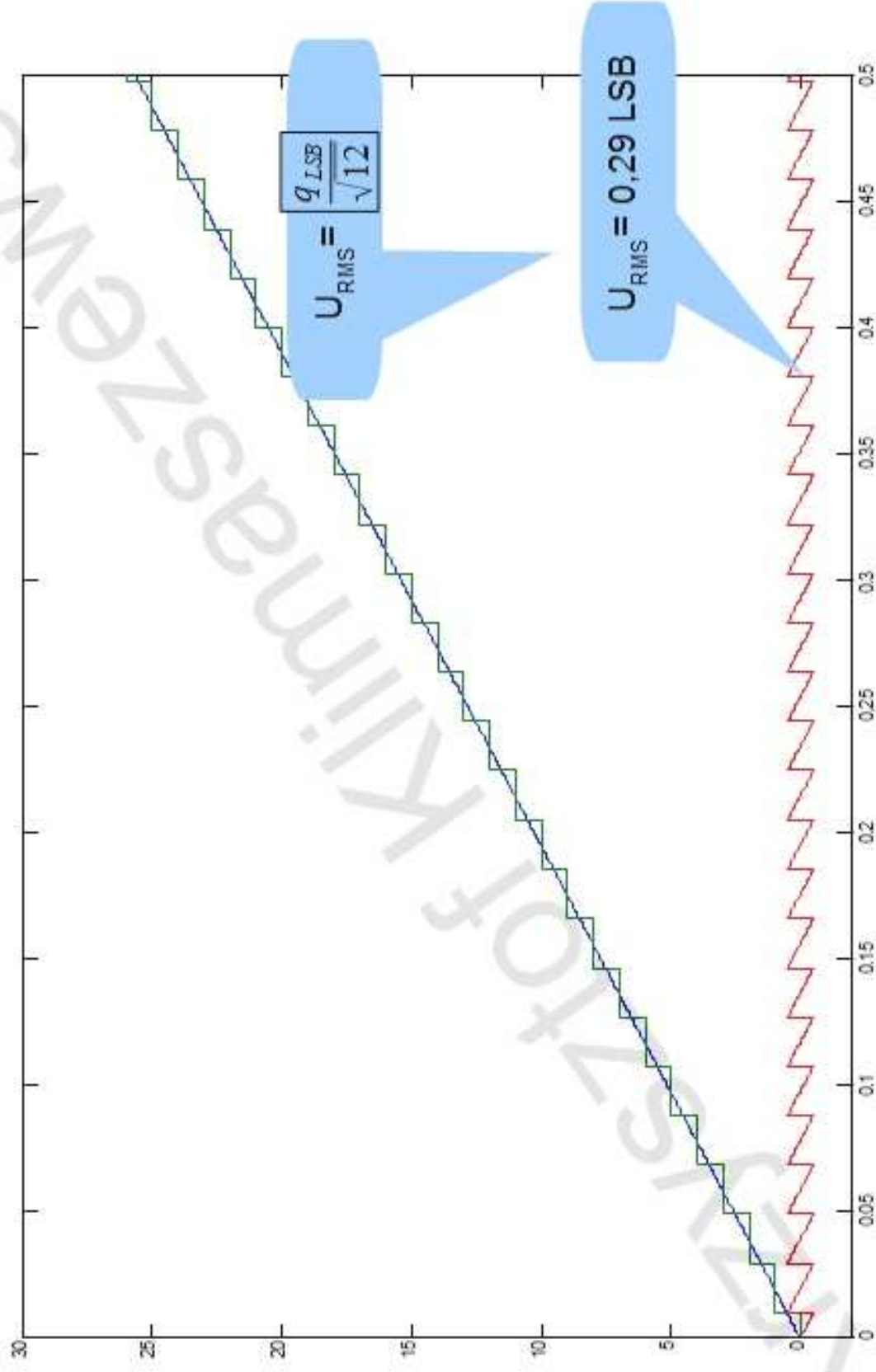




# Szum kwantowania



# Szum kwantowania



# Szum kwantowania

