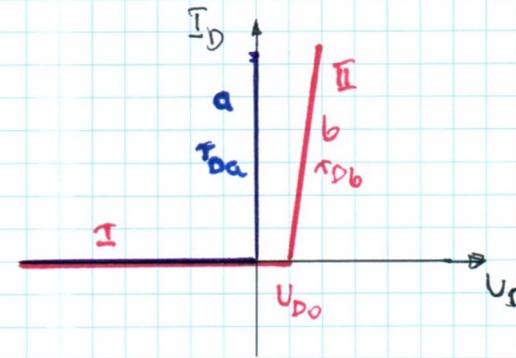
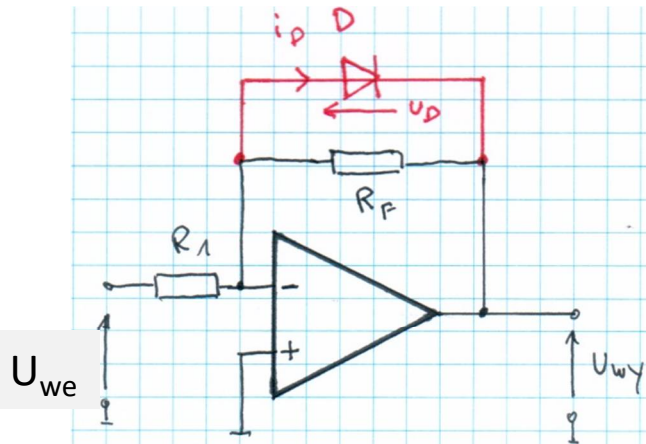


Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych  
do nieliniowych operacji matematycznych  
(w układach nieliniowych)

# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 1) Ogranicznik napięcia wyjściowego



- a) ch. idealna
- b) ch. rzeczywista (uproszczona)
- $\tau_{Da} \rightarrow 0$
- $\tau_{Db} > 0$  (mała)

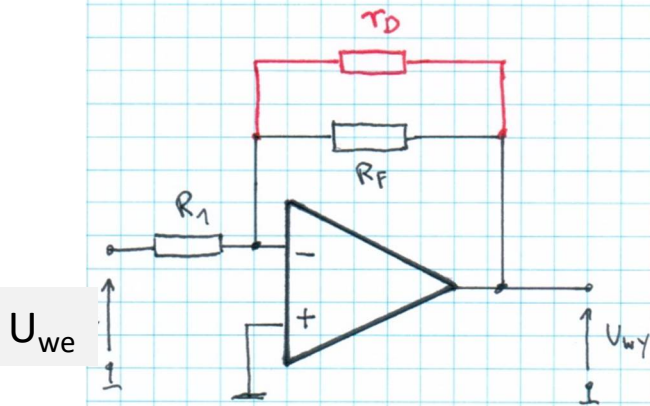
a) dioda idealna

I  $U_D \leq 0 \rightarrow \tau_D \rightarrow \infty$

$U_D = -U_{wy}$   
 $U_{wy} > 0 \Rightarrow U_D < 0$

II  $U_D > 0 \rightarrow \tau_D \approx 0$

$U_{wy} < 0$



$$K_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = - \frac{R_F \parallel \tau_D}{R_1}$$

I  $\tau_D \rightarrow \infty \quad R_F \parallel \tau_D = R_F$

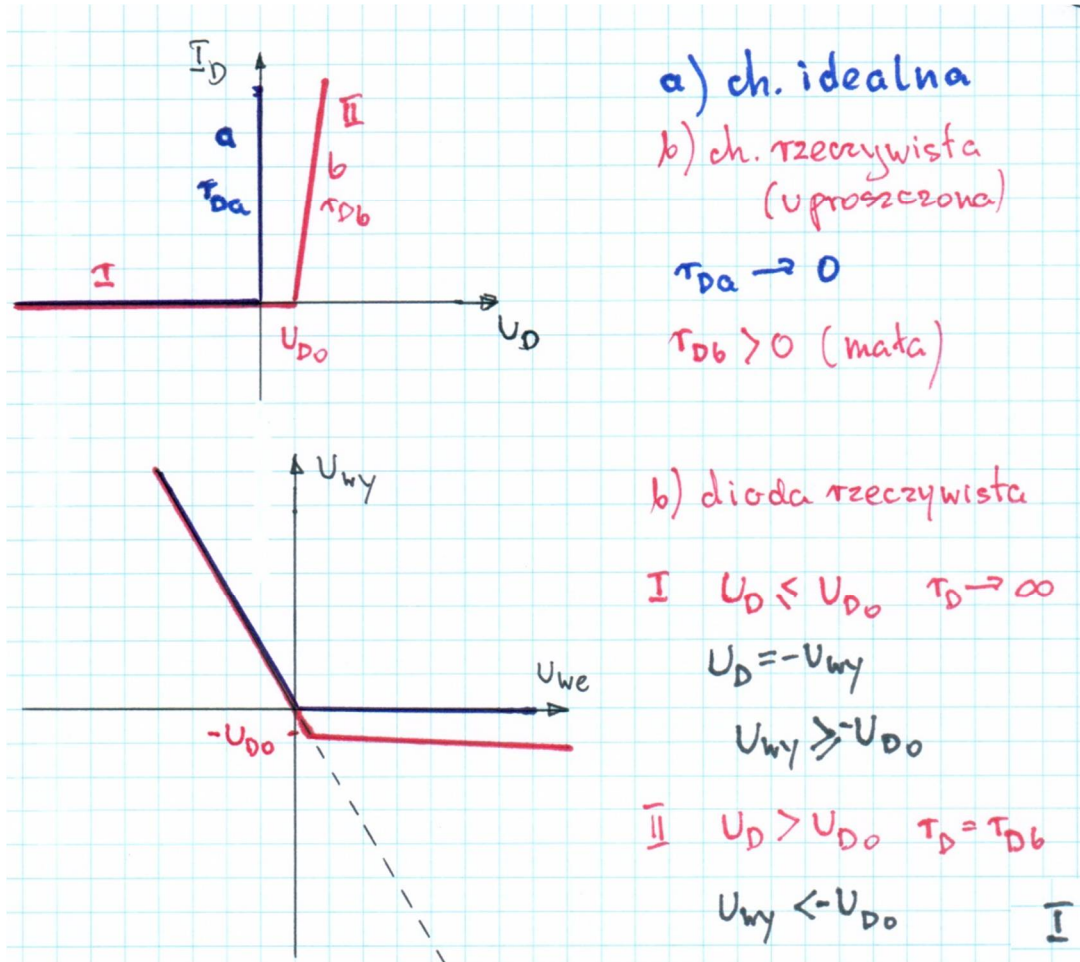
$$K_{UI} = - \frac{R_F}{R_1}$$

II  $\tau_D \approx 0 \quad R_F \parallel \tau_D \approx 0$

$$K_{UII} = - \frac{0}{R_1} = 0$$

# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 1) Ogranicznik napięcia wyjściowego



**I**  $\tau_D \rightarrow \infty$   $R_F \parallel \tau_D = R_F$

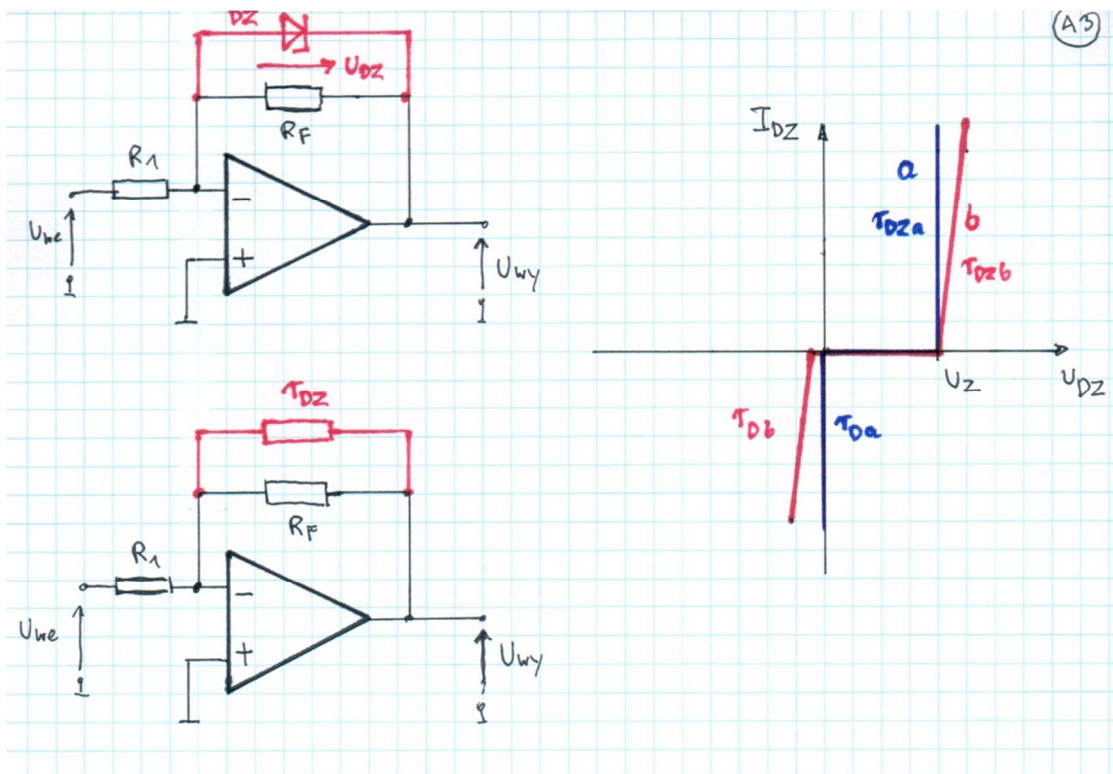
$$K_{U_I} = -\frac{R_F}{R_1}$$

**II**  $\tau_D = \tau_{Db}$   $R_F \parallel \tau_{Db} \approx \tau_{Db}$  ( $\tau_{Db} \ll R_F$ )

$$K_{U_{II}} = -\frac{\tau_{Db}}{R_1} \quad (\text{mate})$$

# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 1) Ogranicznik napięcia wyjściowego



a) DZ idealna

I  $U_{DZ} \geq U_Z \quad \tau_{DZa} \approx 0$

$$U_{wy} = U_{DZ}$$

$$U_{wy} \geq U_Z$$

$$R_F \parallel \tau_{DZa} \approx 0$$

$$K_{U_I} = -\frac{0}{R_1} = 0$$

ii  $0 < U_{DZ} < U_Z \quad \tau_{DZ} \rightarrow \infty$

$$U_{wy} = U_{DZ}$$

$$0 < U_{wy} < U_Z$$

$$R_F \parallel \tau_{DZ} \rightarrow R_F$$

$$K_{U_I} = -\frac{R_F}{R_1}$$

iii  $U_{DZ} \leq 0 \quad \tau_D \approx 0$

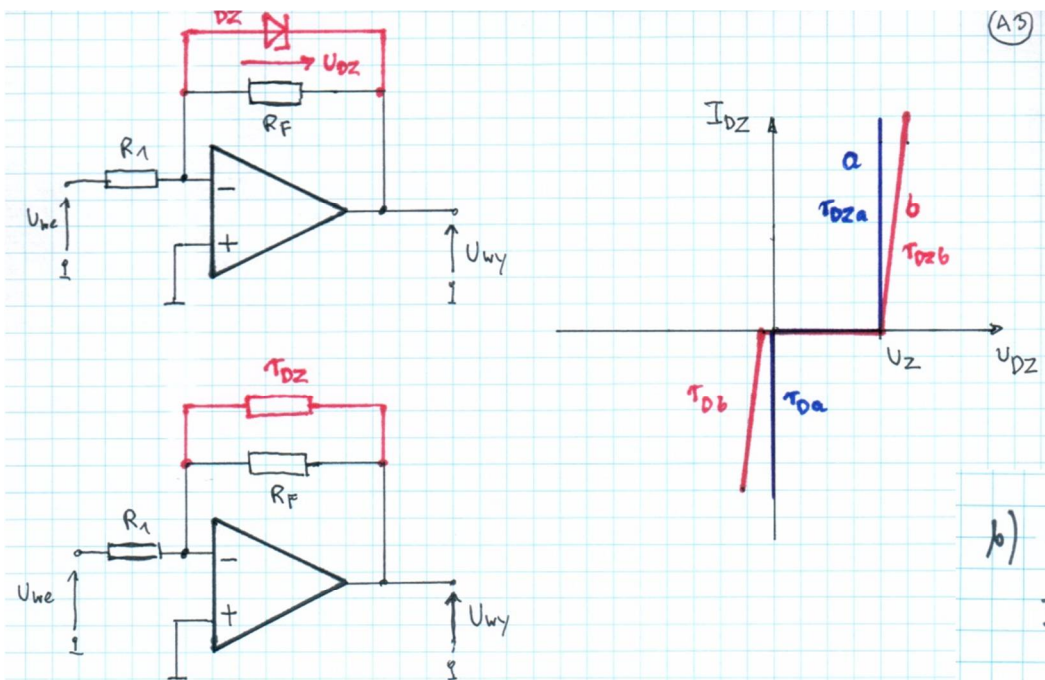
$$U_{wy} \leq 0$$

$$R_F \parallel \tau_{DZ} \approx 0$$

$$K_{U_{III}} = -\frac{0}{R_1} \approx 0$$

# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 1) Ogranicznik napięcia wyjściowego



b) DZ rzeczywista

I  $U_{DZ} \gg U_Z \quad r_{DZ} = r_{DZb}$

$U_{wy} = U_{DZ}$

$U_{wy} \gg U_Z$

$$K_{U3} = -\frac{R_F \parallel r_{DZb}}{R_1} \approx -\frac{r_{DZb}}{R_1} \quad (\text{male})$$

ii  $0 < U_{DZ} < U_Z \quad r_{DZ} \rightarrow \infty$

$0 < U_{wy} < U_Z$

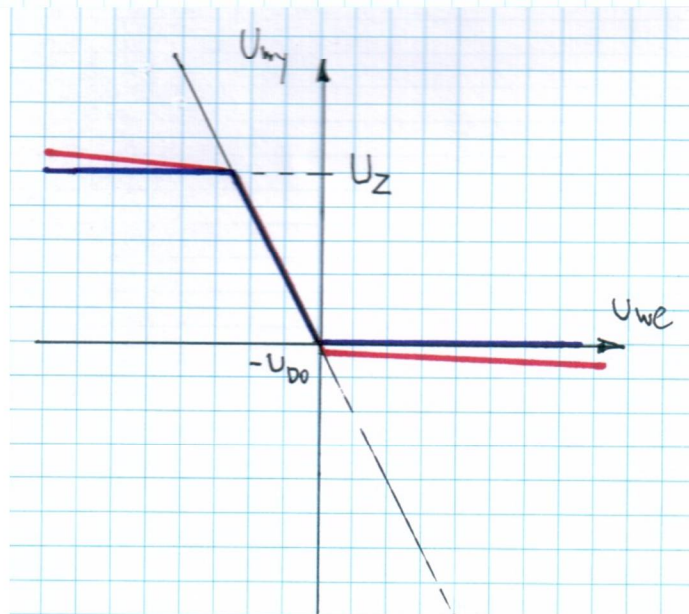
$$K_{U2} = -\frac{R_F \parallel \infty}{R_1} = -\frac{R_F}{R_1}$$

iii  $U_{DZ} \leq -U_{D0}$

$U_{wy} \leq -U_{D0}$

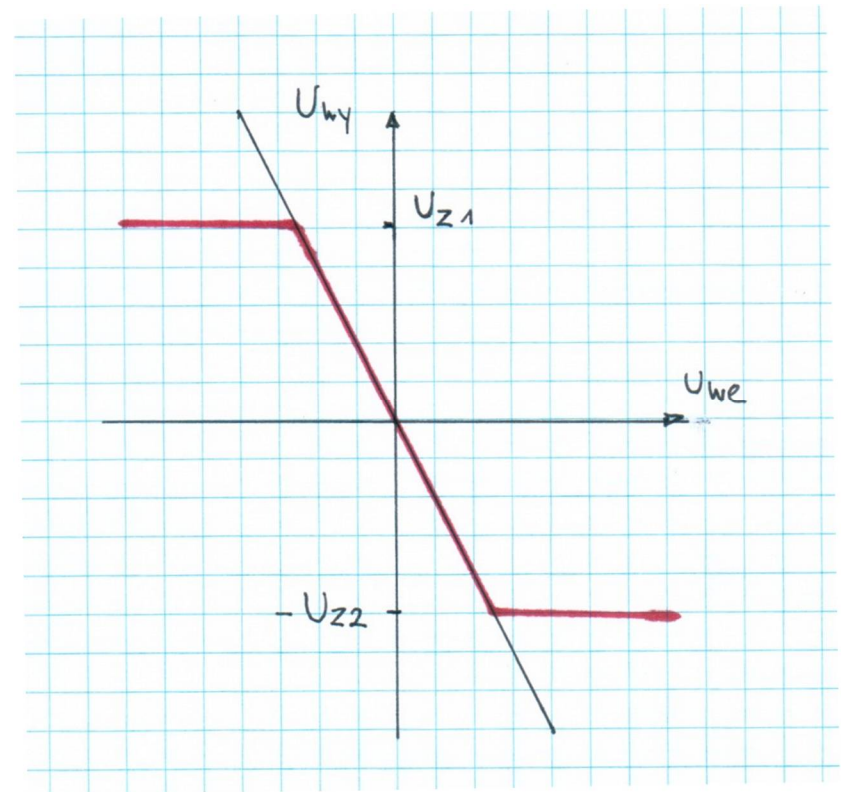
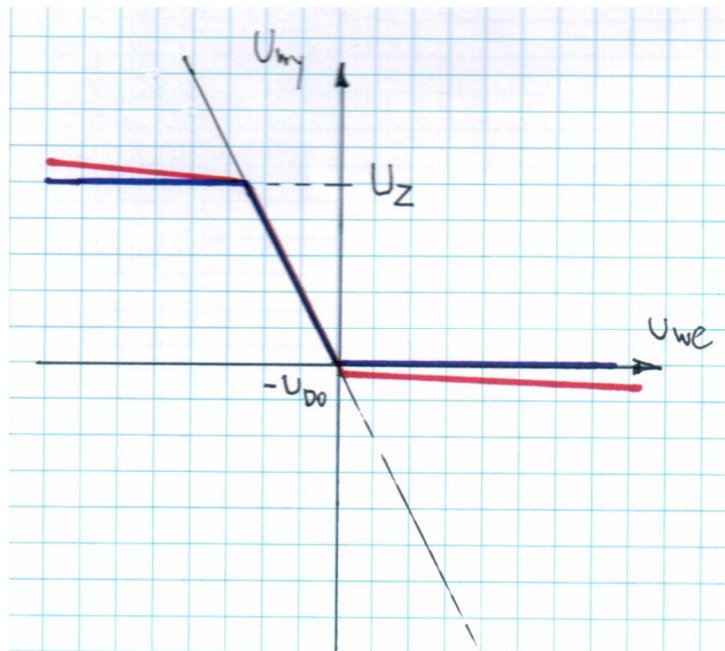
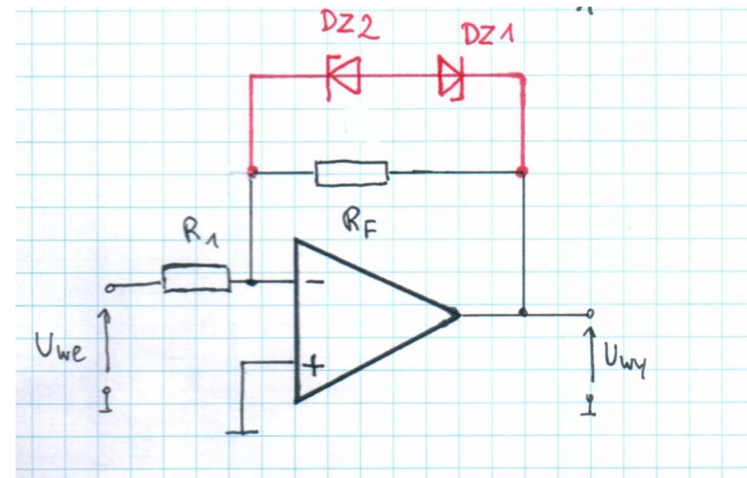
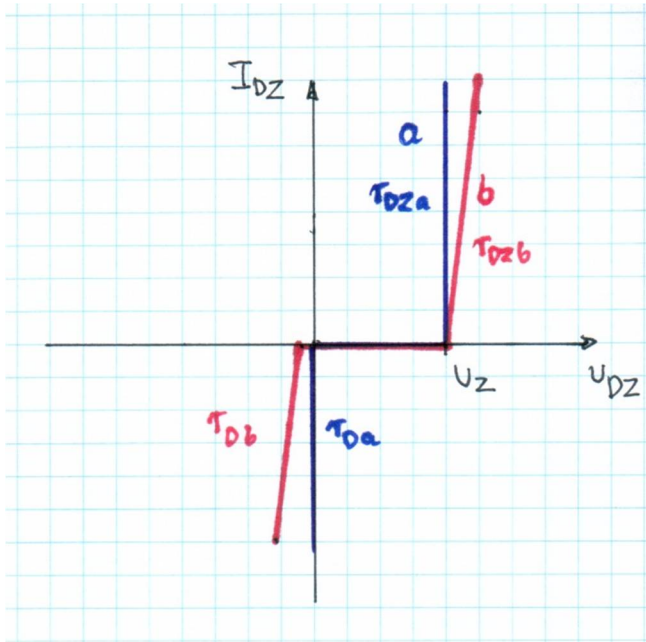
$r_{DZ} = r_{D0b}$

$$K_{U3} = -\frac{R_F \parallel r_{D0b}}{R_1} \approx -\frac{r_{D0b}}{R_1} \quad (\text{male})$$



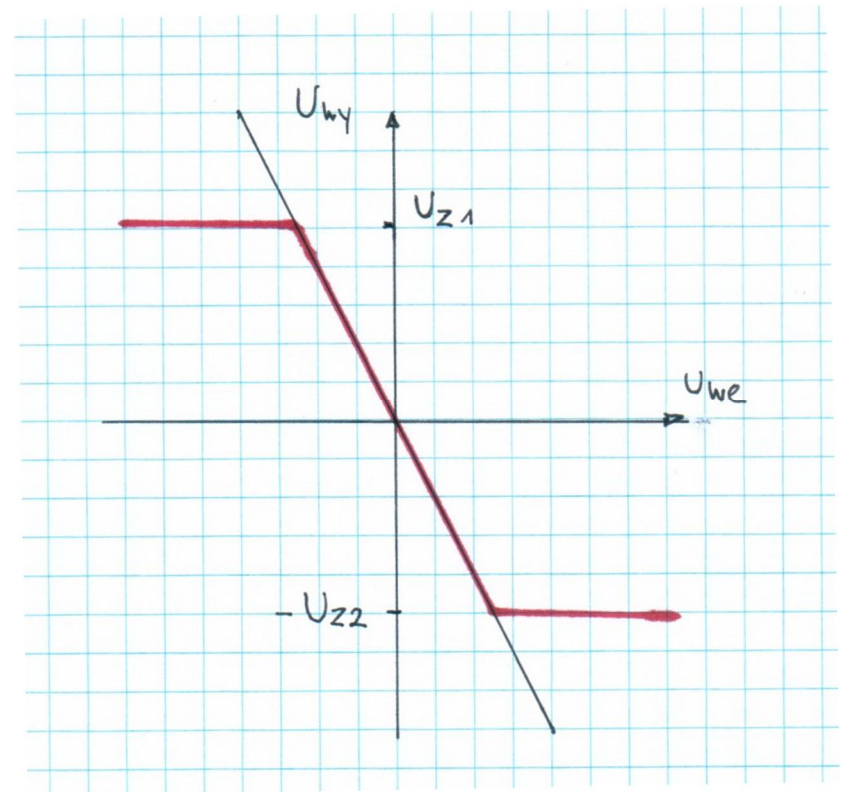
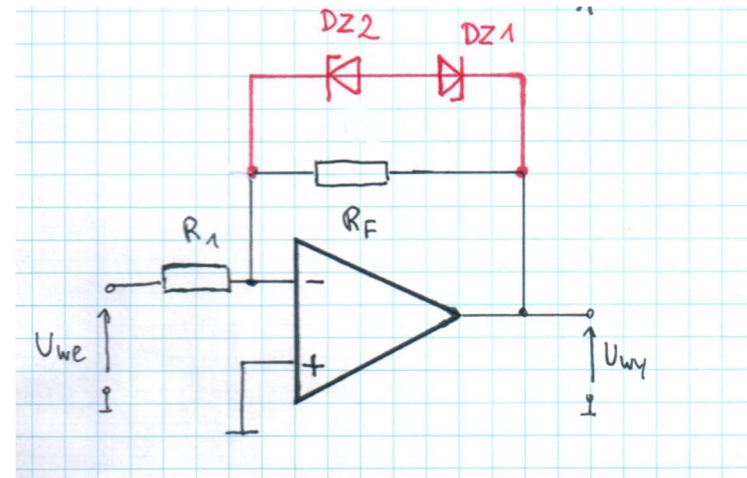
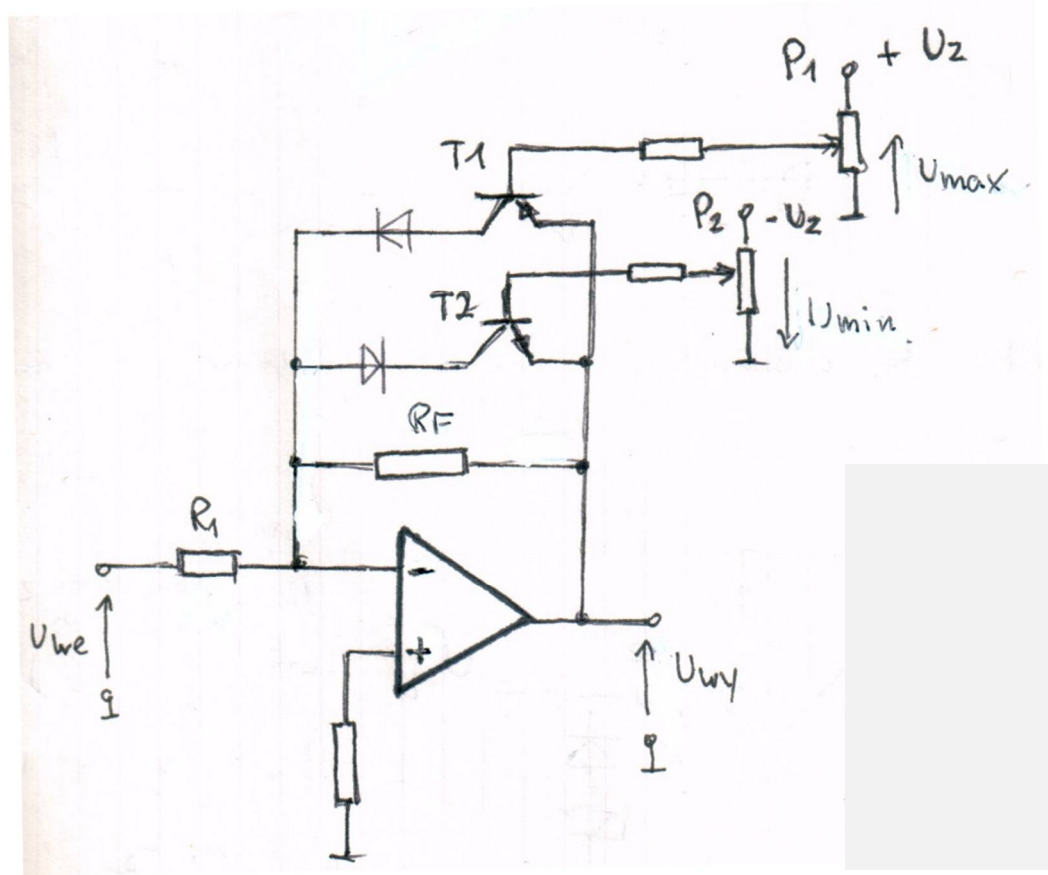
# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 1) Ogranicznik napięcia wyjściowego



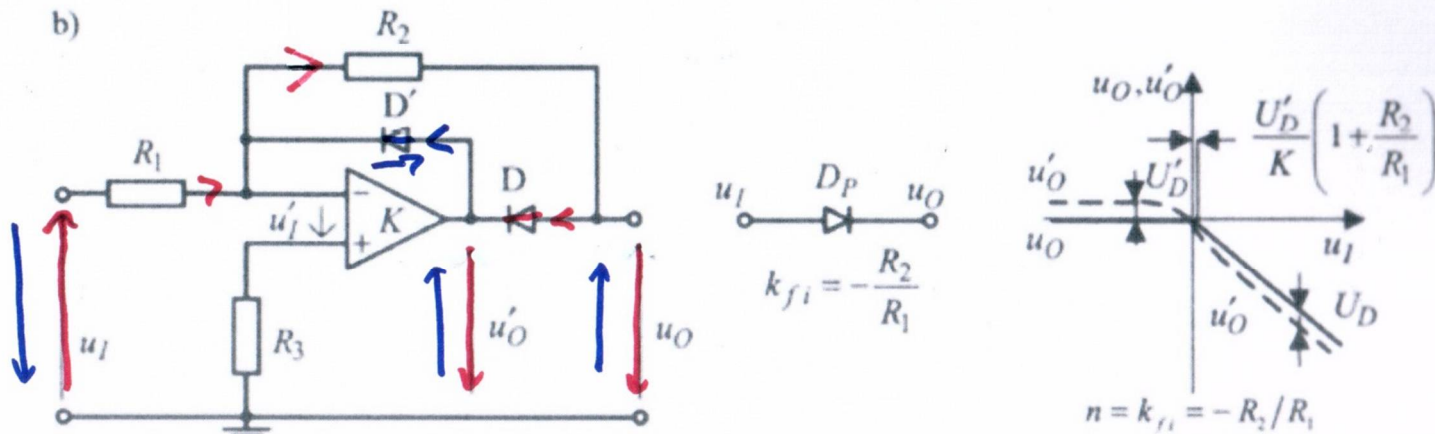
# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 1) Ogranicznik napięcia wyjściowego



# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## Dokładny ogranicznik ujemnego (dodatniego) napięcia wyjściowego



$U_0 > U_0'$   
 $U_0' > U_0$   
 $U_0 = -\frac{R_2}{R_1} U_1$



# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 2) Komparatory napięć

### Komparator różnicowy

$U_{we} < -\frac{R_1}{R_2} U_0$

$X < X_0$     TAK ?  
 NIE .

$U_{wy} = K_U \cdot \epsilon = K_{Uf}(U_0 - U_{we})$

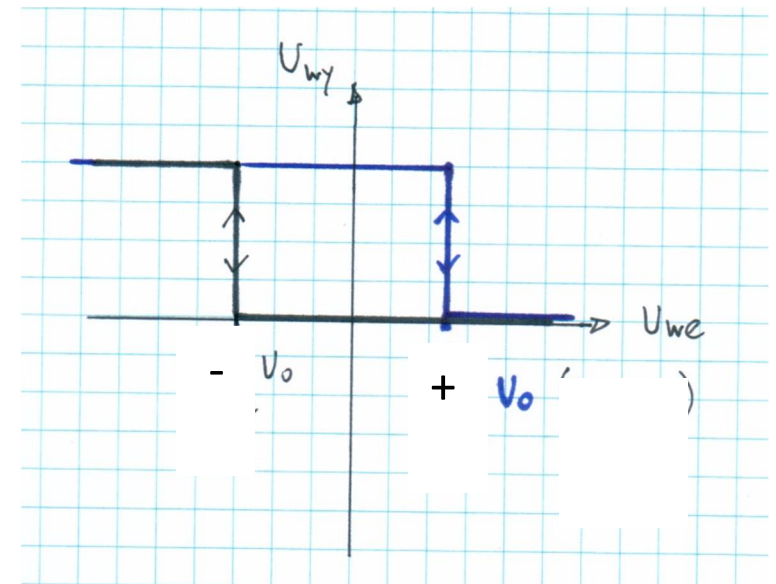
$K_{Uf} \rightarrow \infty$

$\epsilon > 0$      $U_{wy} > 0$

$U_0 - U_{we} > 0$      $U_{we} < U_0$

$\epsilon < 0$      $U_{wy} < 0$

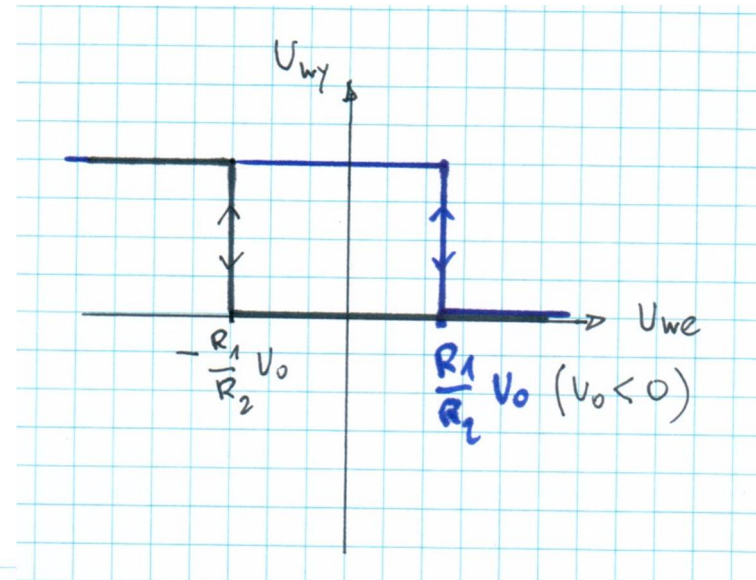
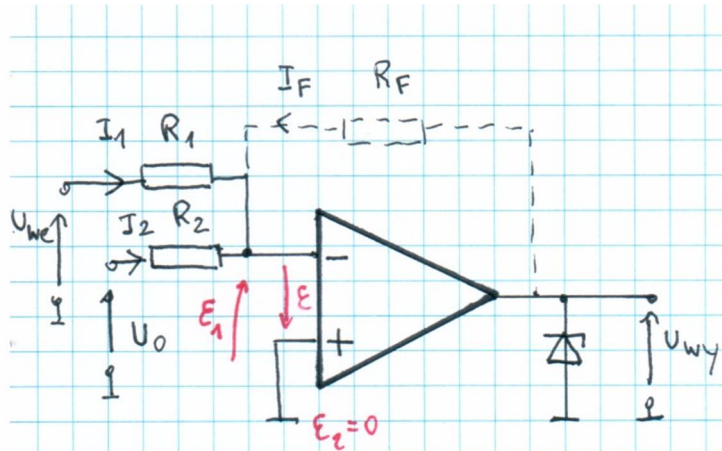
$U_0 - U_{we} < 0$      $U_{we} > U_0$



# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 2) Komparatory napięć

### Komparator sumujący



$$E_1 = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_F = 0$$

$$\frac{U_{we}}{R_1} + \frac{U_0}{R_2} + \frac{U_{wy}}{R_F} = 0$$

$$U_{wy} = -\frac{R_F}{R_1} U_{we} - \frac{R_F}{R_2} U_0$$

$$U_{wy} = -k_1 \cdot U_{we} - k_2 \cdot U_0$$

$$R_F \rightarrow \infty$$

$$k_1, k_2 \text{ b. duże } (\rightarrow \infty)$$

$$(-k_1 U_{we} - k_2 U_0) < 0 \quad U_{wy} \rightarrow -\infty \quad (-U_{zas})$$

$$(-k_1 U_{we} - k_2 U_0) > 0 \quad U_{wy} \rightarrow +\infty \quad (+U_{zas})$$

$$-k_2 \cdot U_0 > k_1 \cdot U_{we}$$

$$U_{we} < -\frac{k_2}{k_1} U_0$$

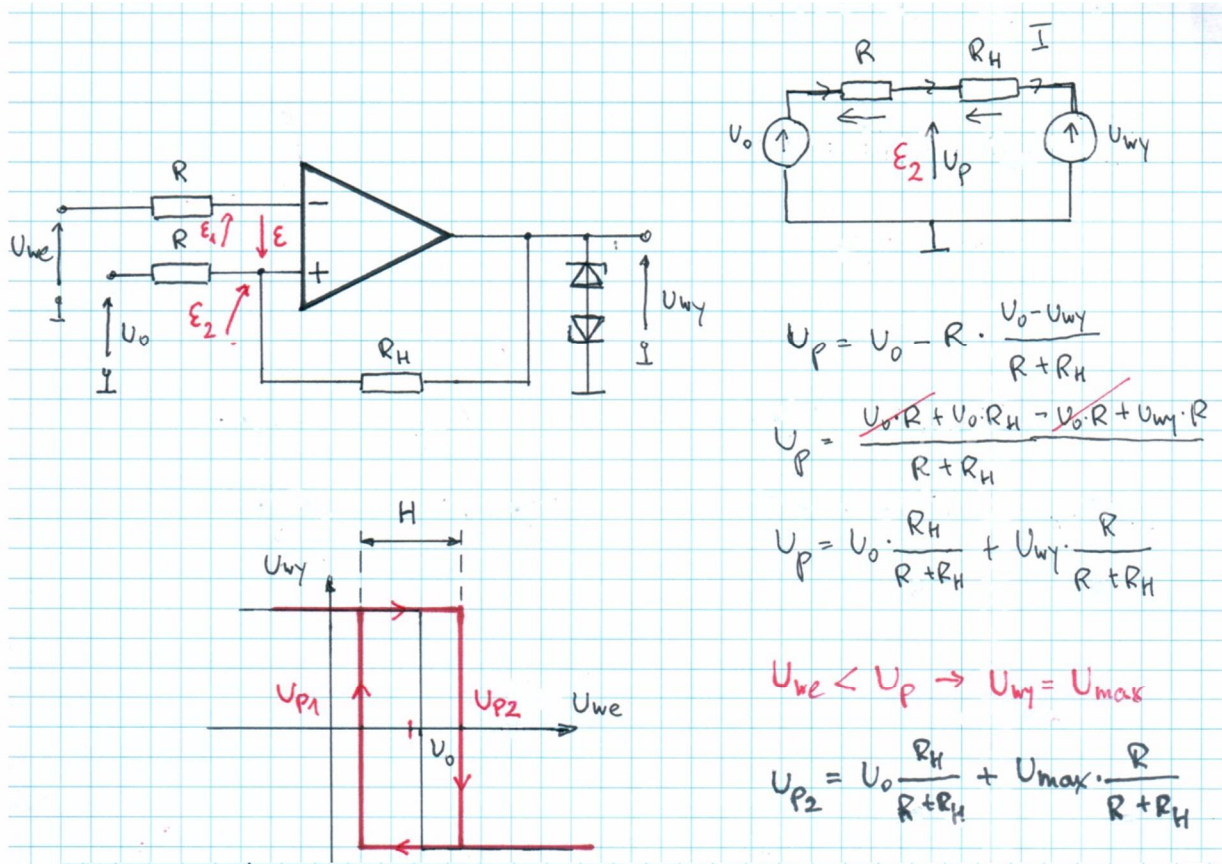
$$U_{we} < -\frac{R_1}{R_2} U_0$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{R_F/R_2}{R_F/R_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

# Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w układach nieliniowych

## 2) Komparatory napięć

### Komparator z histerezą



$$U_p = U_0 - R \cdot \frac{U_0 - U_{wy}}{R + R_H}$$

$$U_p = \frac{U_0 \cdot R + U_0 \cdot R_H - U_0 \cdot R + U_{wy} \cdot R}{R + R_H}$$

$$U_p = U_0 \cdot \frac{R_H}{R + R_H} + U_{wy} \cdot \frac{R}{R + R_H}$$

$U_{we} < U_p \rightarrow U_{wy} = U_{max}$

$$U_{p2} = U_0 \cdot \frac{R_H}{R + R_H} + U_{max} \cdot \frac{R}{R + R_H}$$

$U_{we} > U_p \rightarrow U_{wy} = -U_{max}$

$$U_{p1} = U_0 \cdot \frac{R_H}{R + R_H} - U_{max} \cdot \frac{R}{R + R_H}$$

$$H = U_{p2} - U_{p1} = 2 U_{max} \frac{R}{R + R_H}$$

dla  $R_H \rightarrow \infty \quad H = 0$

$R_H = 0 \quad H = 2 U_{max}$

$$U_{wy} = k_{Ur} \cdot E \quad k_{Ur} \rightarrow \infty$$

$E > 0 \quad U_{wy} > 0$

$$E = E_1 - E_2 \quad E_1 = U_1$$

$$E_2 = U_p$$

dla  $-U_{max} = 0$

$$H = U_{max} \frac{R}{R + R_H}$$

$$U_{p2} = U_0 \cdot \frac{R_H}{R + R_H}$$

# Generatory funkcji nieliniowych

Układy o charakterystykach  
nieliniowych aproksymowanych  
odcinkami prostoliniowymi

