

Fakulta biomedicínského inženýrství

Elektronické obvody

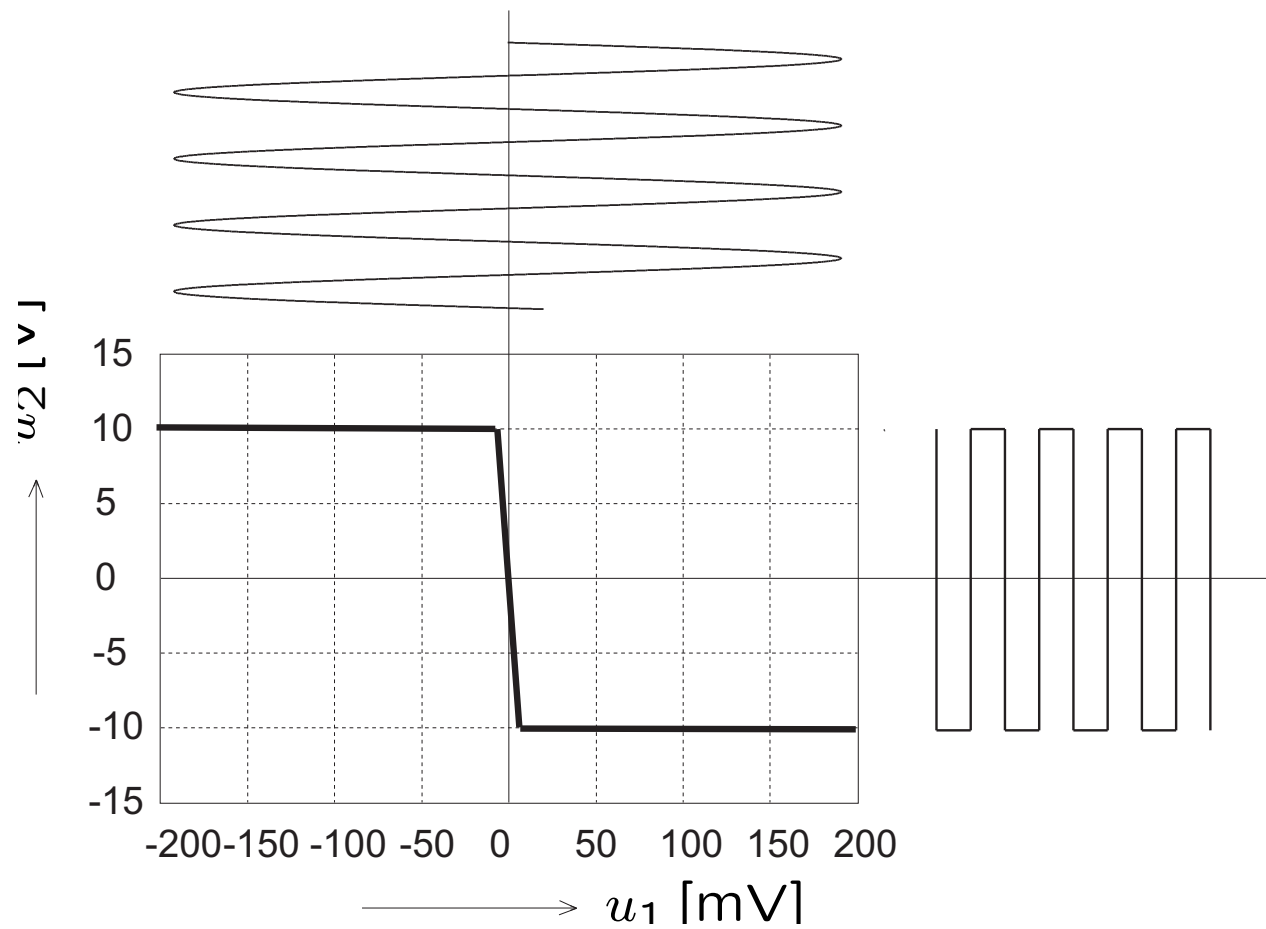
2019

prof. Ing. Jan Uhlíř, CSc.

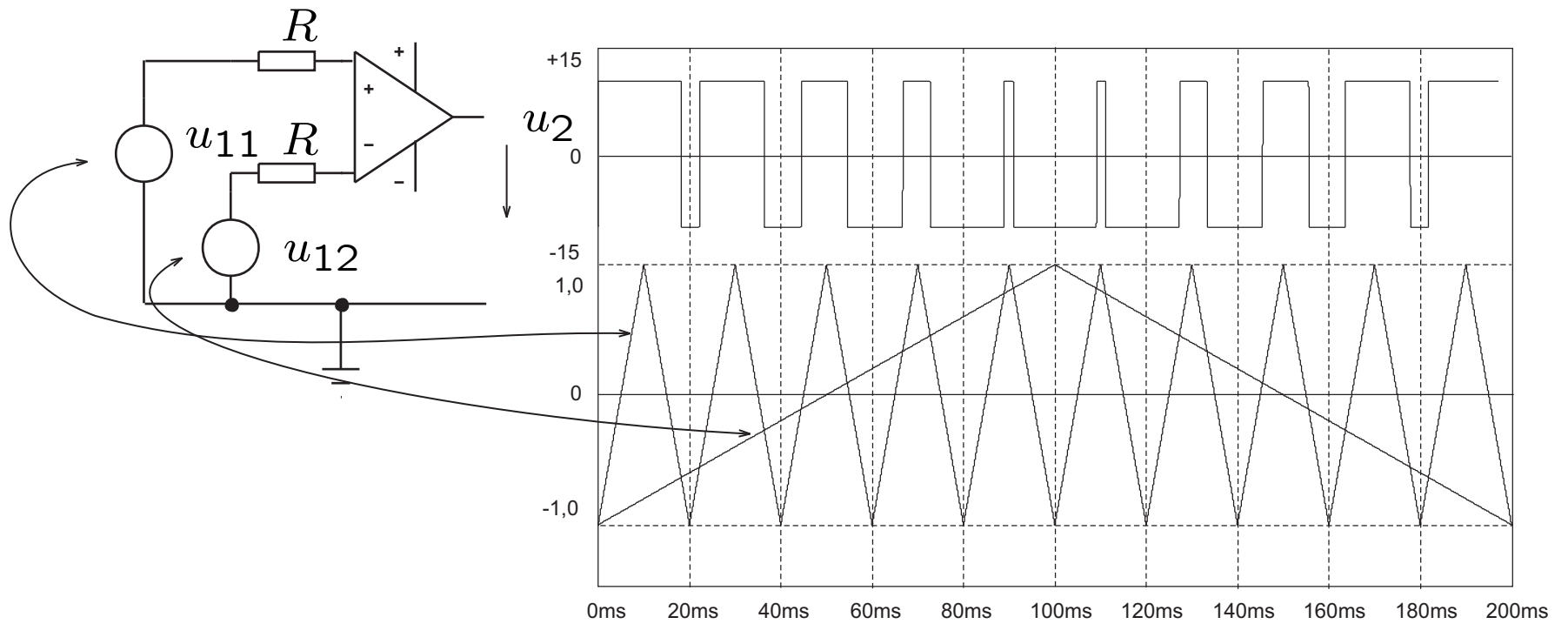
## 3. Nelineární a regenerativní obvody

- Komparátory
- Klopné obvody
- Multivibrátory
- Oscilátory

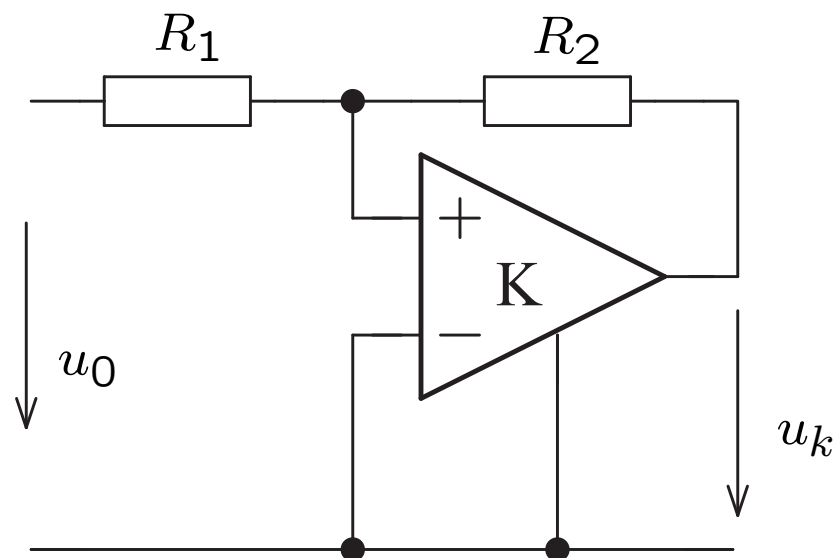
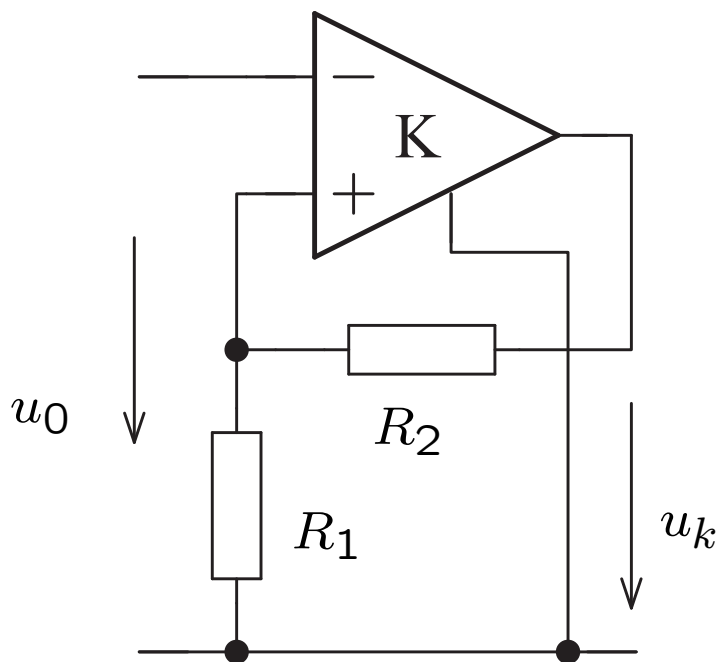
# Charakteristika vstup/výstup komparátoru



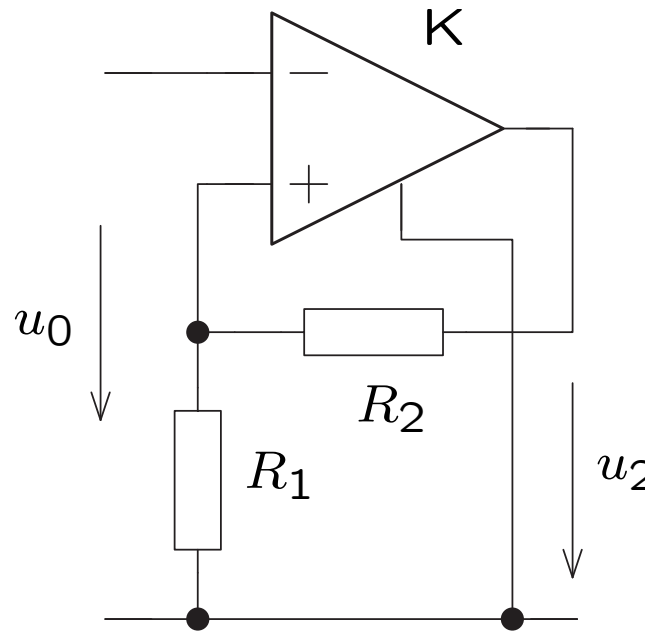
## Operační zesilovač jako komparátor



Bistabilní klopné obvody – komparátory s hysterezí (invertující a neinvertující)



## Bistabilní obvod – komparátor s hysterezí (invertující)

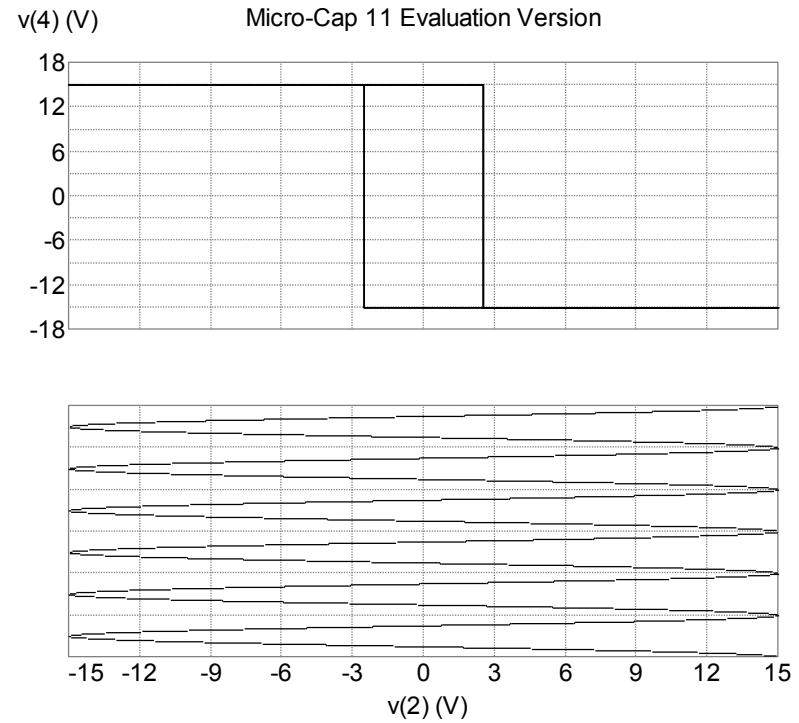
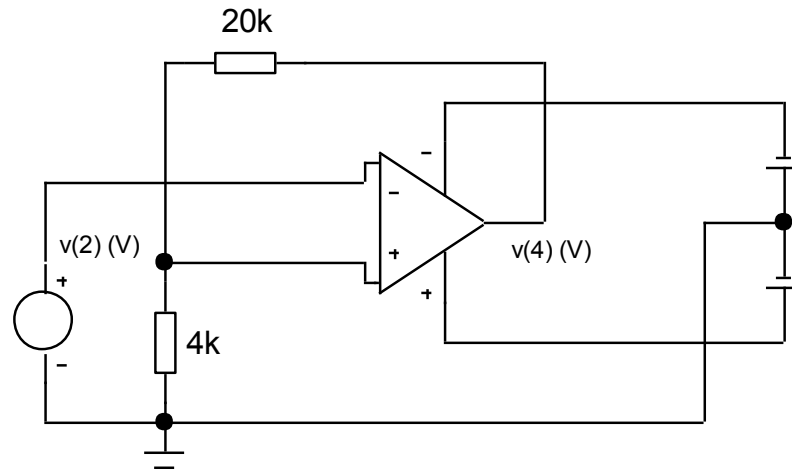


Rozkmit výstupního napětí  $u_2 = \pm u_{2max}$

Překlopení z  $+u_{2max}$  na  $-u_{2max}$  nastane, když  $u_0 > +u_{2max} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Překlopení z  $-u_{2max}$  na  $+u_{2max}$  nastane, když  $u_0 < -u_{2max} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

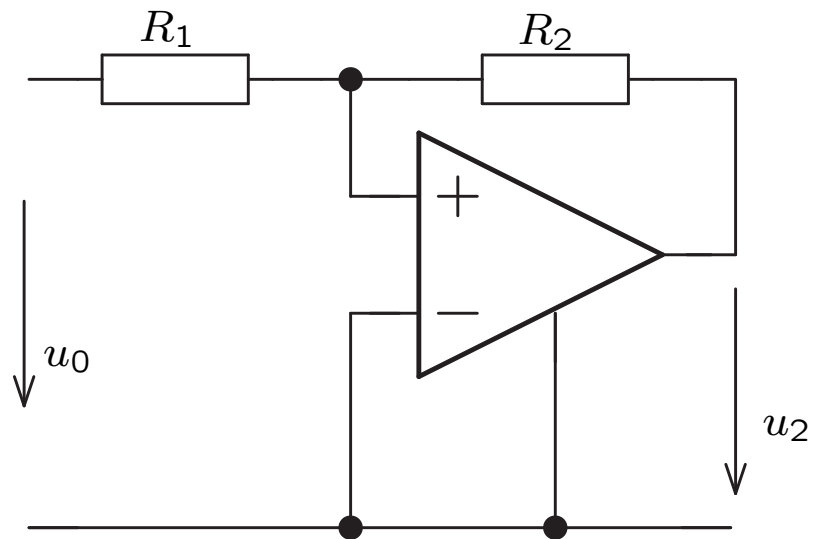
# Bistabilní obvod – komparátor s hysterezí, charakteristika vstup – výstup



## INVERTUJÍCÍ

$R_1 = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$   $u_2 = \pm 15 \text{ V}$   
pro skok výstupu na  $+u_{2max}$   $u_0 \leq -2,5 \text{ V}$   
pro skok výstupu na  $-u_{2max}$   $u_0 \geq +2,5 \text{ V}$

## Bistabilní obvod – komparátor s hysterezí (neinvertující)



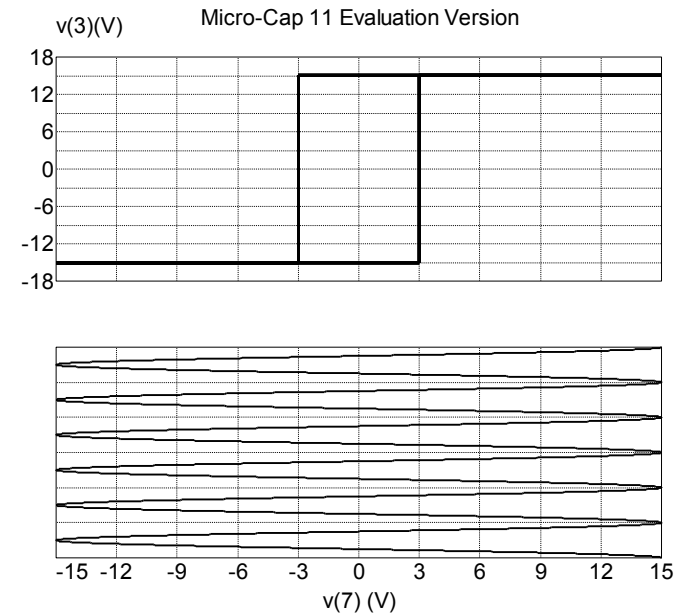
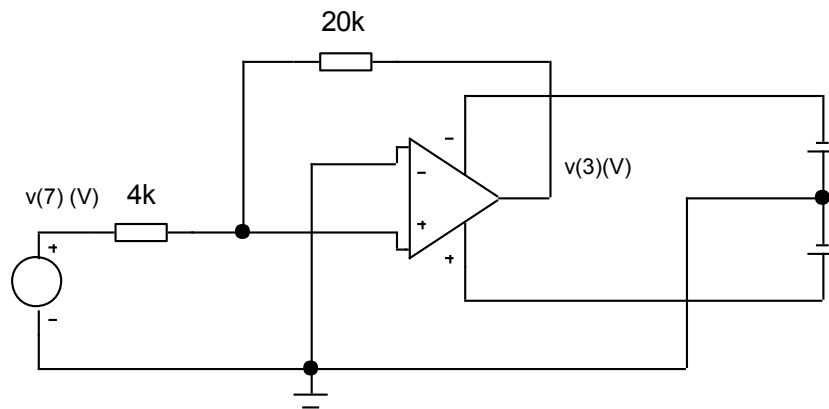
Rozkmit výstupního napětí  $u_2 = \pm u_{2max}$

Překlopení z  $+u_{2max}$  na  $-u_{2max}$  nastane, když  $u_0 < -u_{2max} \frac{R_1}{R_2}$

Překlopení z  $-u_{2max}$  na  $+u_{2max}$  nastane, když  $u_0 > +u_{2max} \frac{R_1}{R_2}$



# Bistabilní obvod – komparátor s hysterezí, charakteristika vstup – výstup



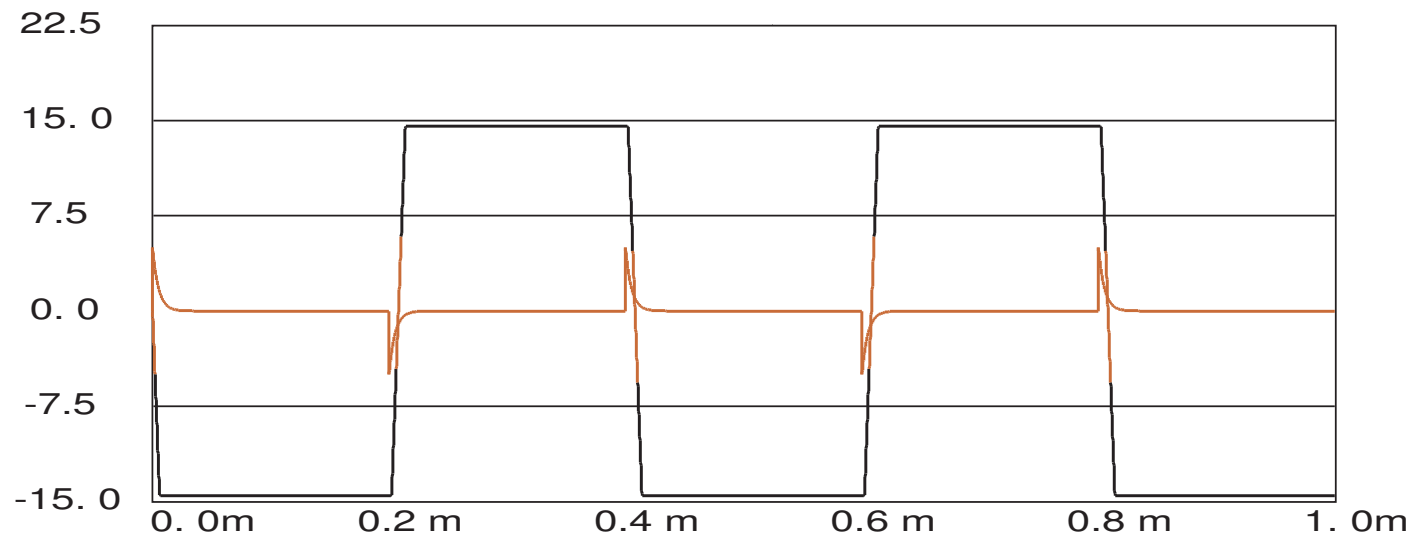
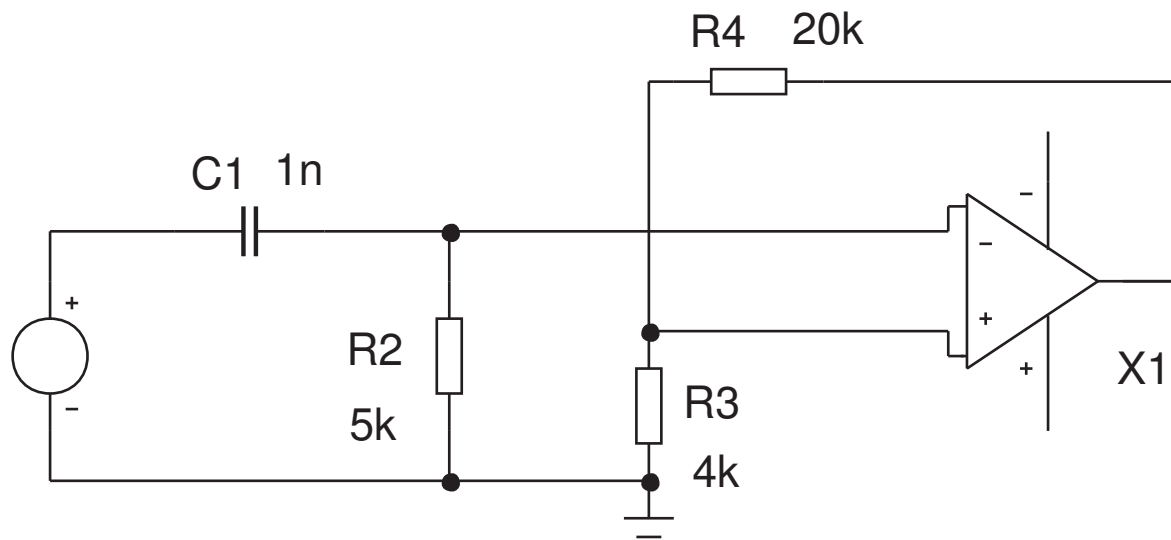
## NEINVERTUJÍCÍ

$$R_1 = 4 \text{ k}\Omega, R_2 = 20 \text{ k}\Omega \quad u_2 = \pm 15 \text{ V}$$

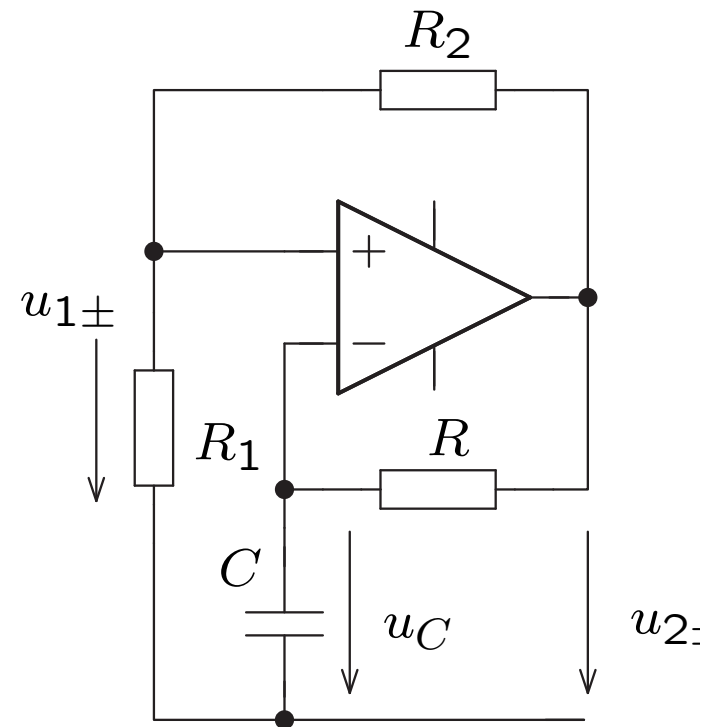
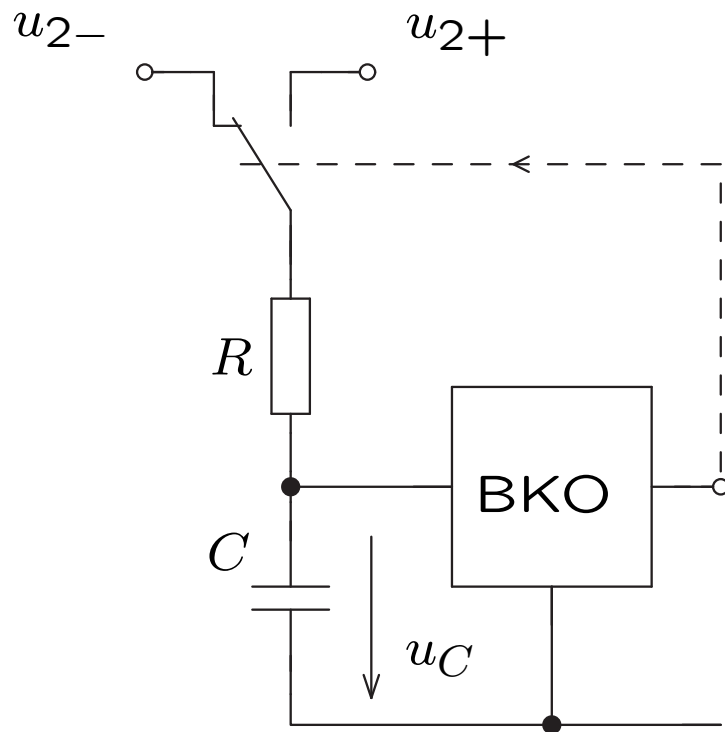
$$\text{pro skok výstupu na } +u_{2max} \quad u_0 \geq +3 \text{ V}$$

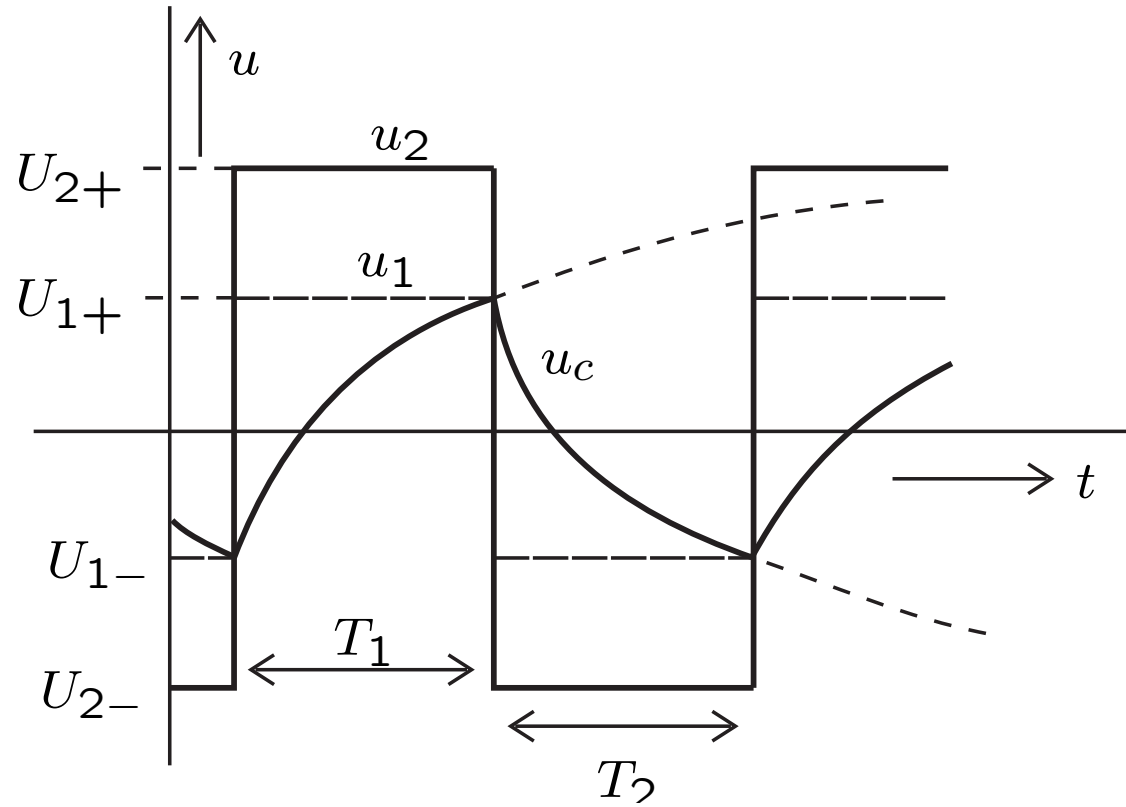
$$\text{pro skok výstupu na } -u_{2max} \quad u_0 \leq -3 \text{ V}$$

# Bistabilní obvod – překlápění impulsy střídavé polarity



## Astabilní klopné obvody – multivibrátory





$$U_{1+} = U_{2+} \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad U_{1-} = U_{2-} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$T_1 = RC \ln \frac{U_{2+} - U_{1-}}{U_{2+} - U_{1+}}, \quad T_2 = RC \ln \frac{U_{2-} - U_{1+}}{U_{2-} - U_{1-}}$$

## Astabilní obvod – výpočet

Máme:

Parametry obvodu – invertující komparátor s hysterezí

$$R = 5 \text{ k}\Omega, \quad C = 100 \text{ nF} \quad R_1 = 20 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 20 \text{ k}\Omega,$$

Rozkmit výstupního napětí komparátoru

$$U_{2+} = -U_{2-} = 15 \text{ V}$$

Šířka hysterezního okna

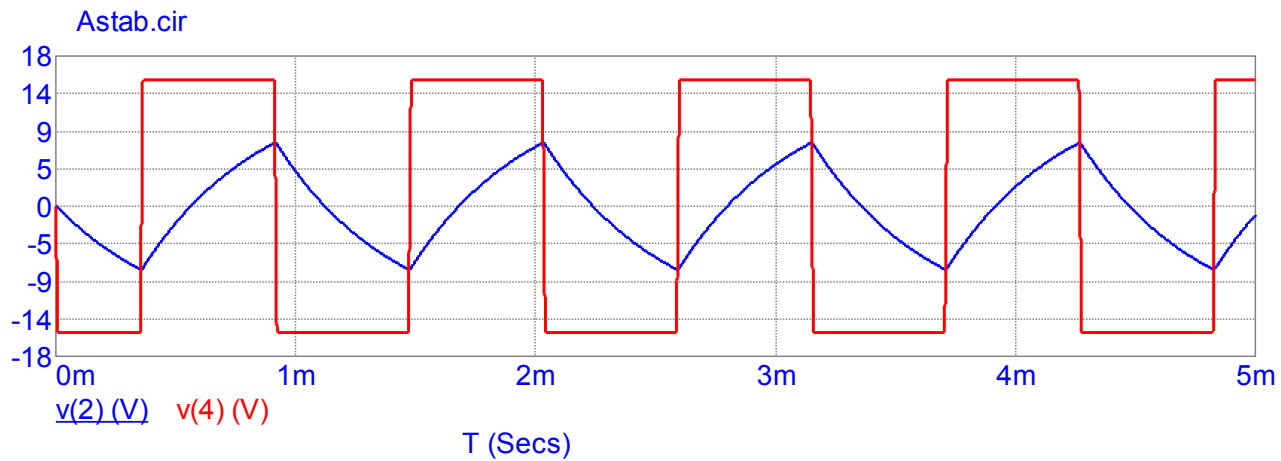
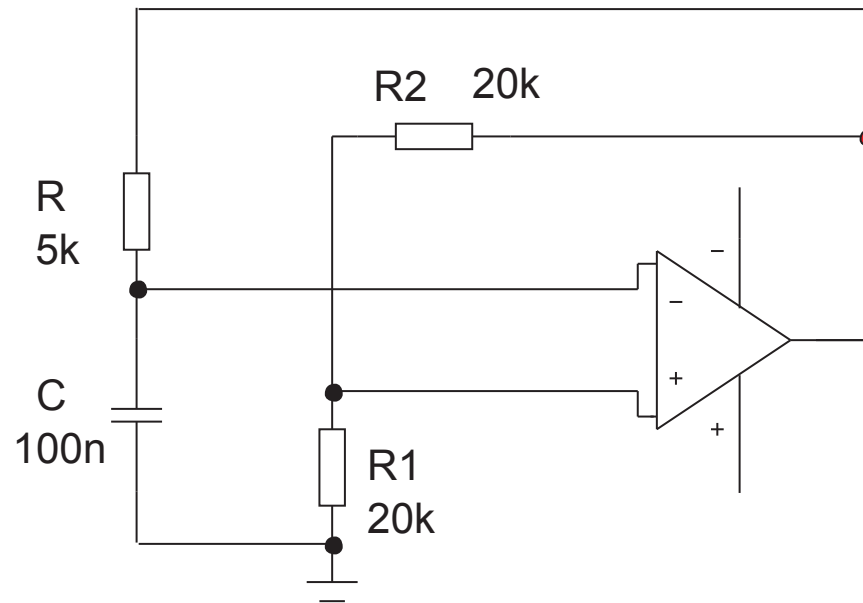
$$u_1^\pm = U_2^\pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \pm 7,5 \text{ V}$$

Doba půlperiody

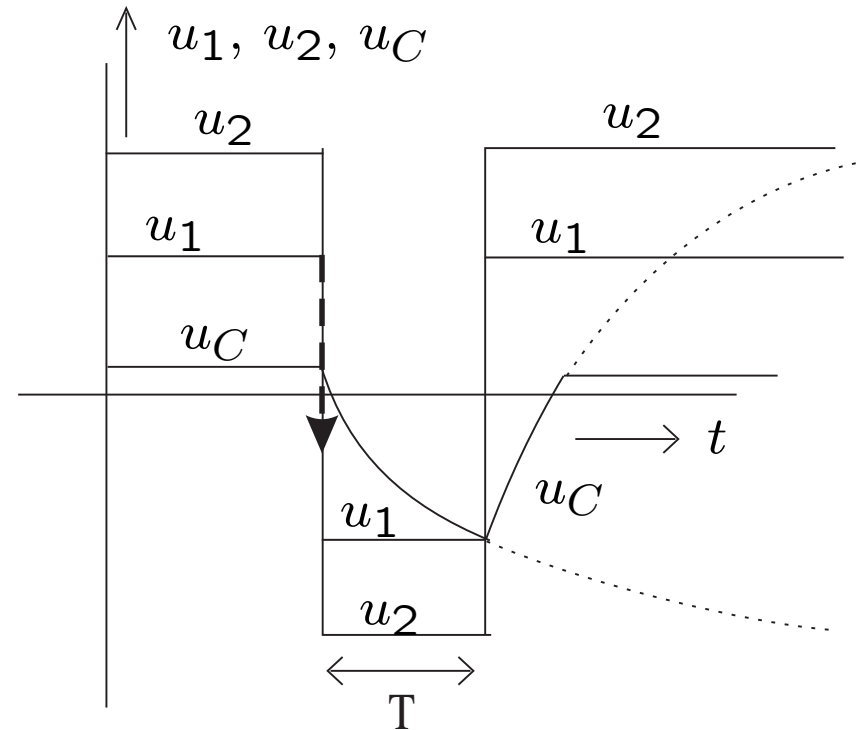
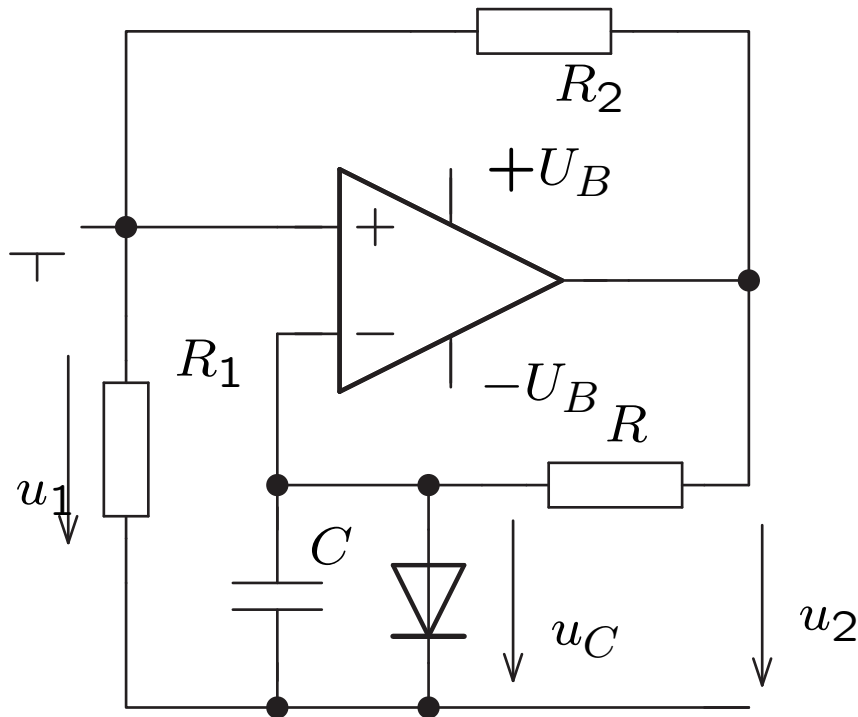
$$T_2 = T_1 = RC \ln \frac{22,5}{7,5} = 5 \text{e}3 * 1 \text{e} - 7 * \ln 3 = 5,5 \text{e} - 4$$

$$T_1 + T_2 = 1,1 \text{e} - 3$$

# Astabilní obvod – simulace



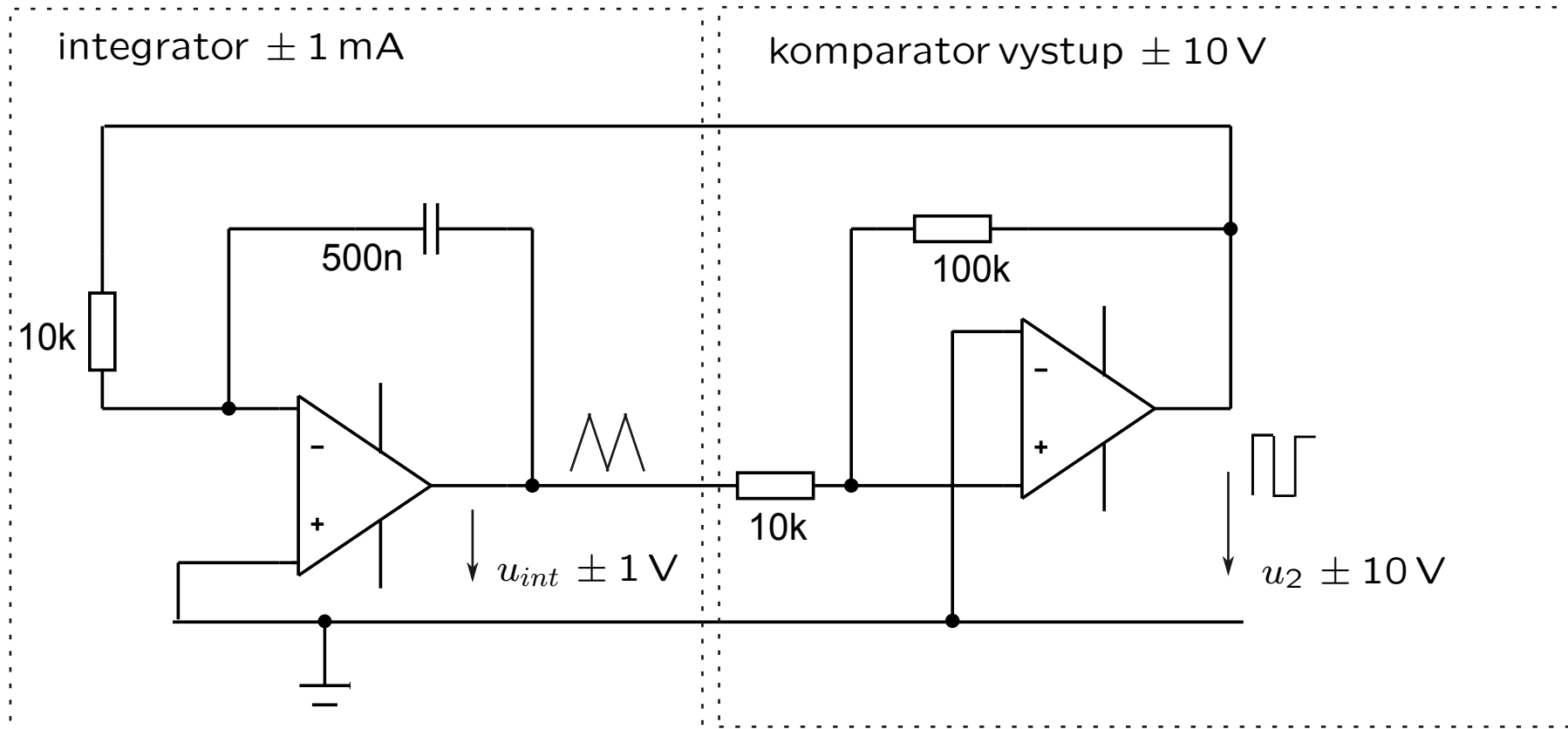
## Monostabilní klopné obvody



$$T_i = \tau \ln \frac{U_{2-} - 0,7}{U_{2-} - U_{1-}}$$

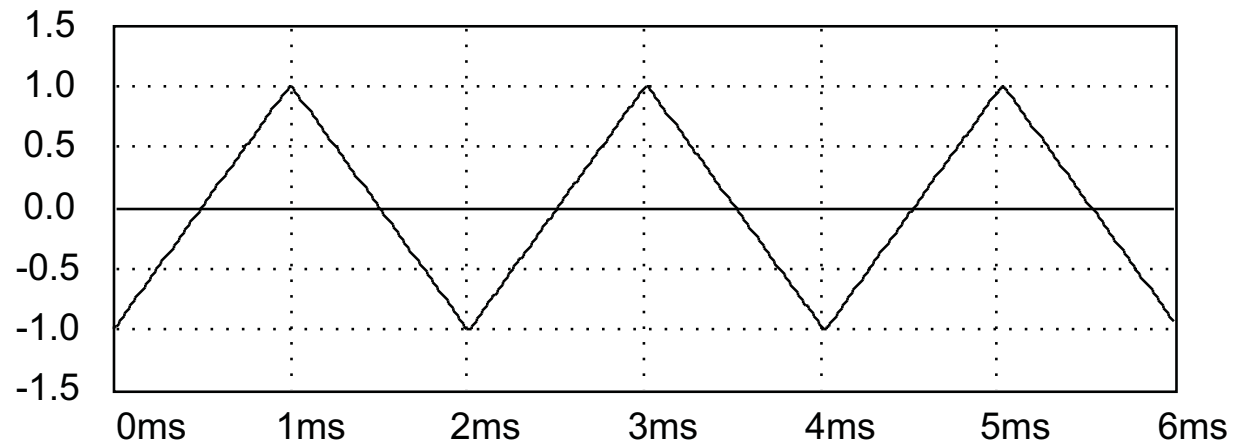
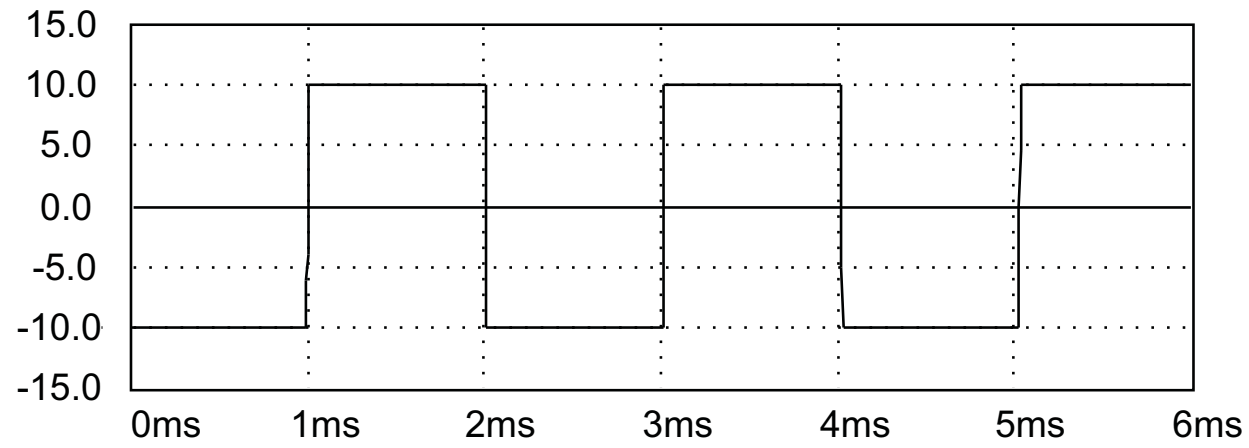
$$T_i \approx \tau \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

# Generátor tvarových kmitů





## Generátor tvarových kmitů – simulace



Amplitudová a fázová podmínka oscilací

$$A'_{ekv}(j\omega) = \frac{A_{ekv}(j\omega)}{1 - \beta_{ekv}(j\omega) A_{ekv}(j\omega)}$$

$$\beta_{ekv}(j\omega_0) A_{ekv}(j\omega_0) = 1,$$

$$\beta A = |\beta| |A| e^{j(\varphi_\beta + \varphi_A)},$$

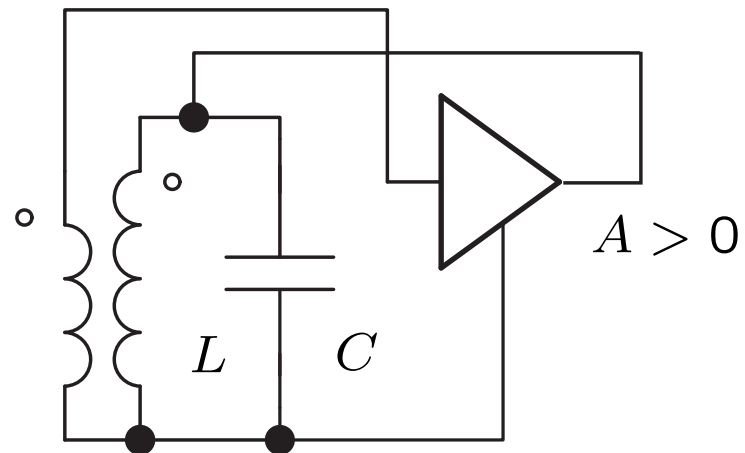
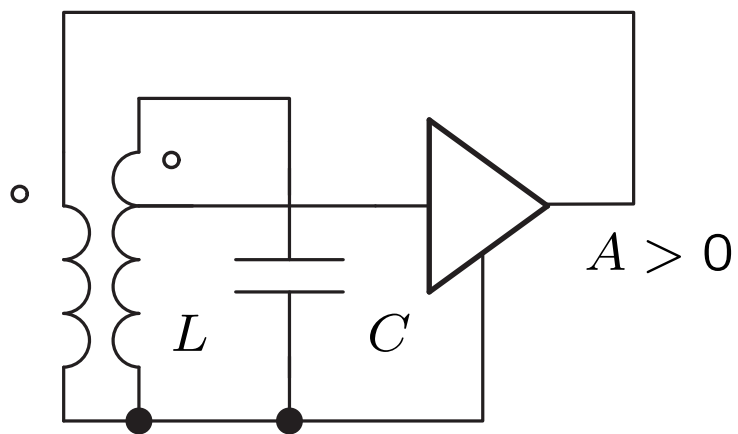
$$\varphi_\beta + \varphi_A = \varphi_{ZV} = 0,$$

$$|\beta_{ekv}(\omega_0) A_{ekv}(\omega_0)| = 1,$$

$$|\beta_{init}(\omega_0) A_{init}(\omega_0)| > 1.$$

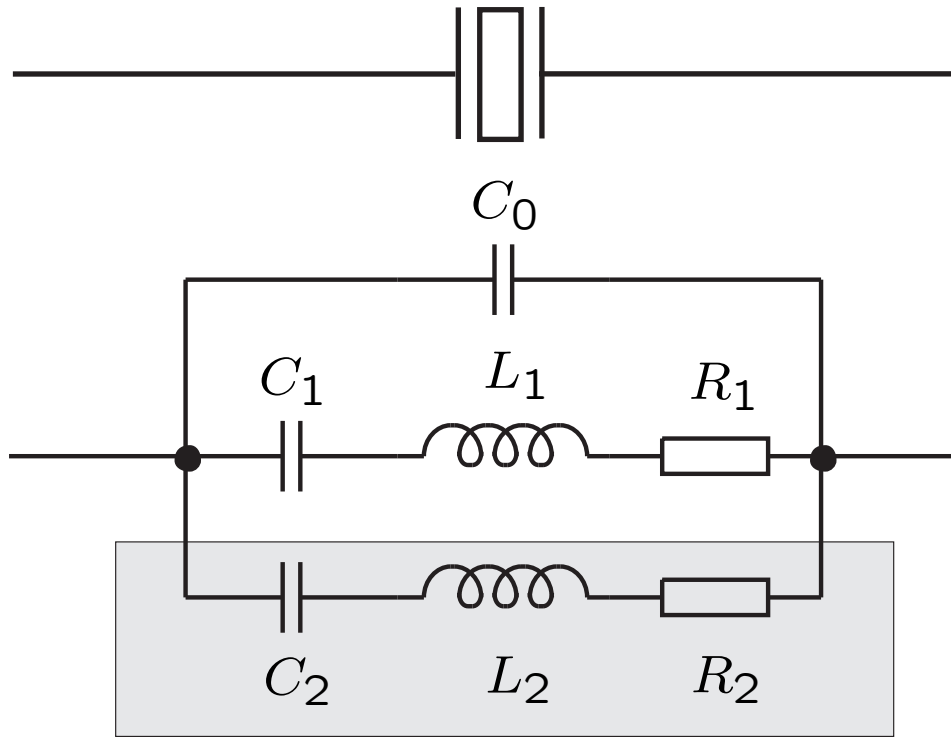
## Oscilátory LC – základní principy

$$\omega_0 \rightarrow \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



■

## Model krystalového rezonátoru

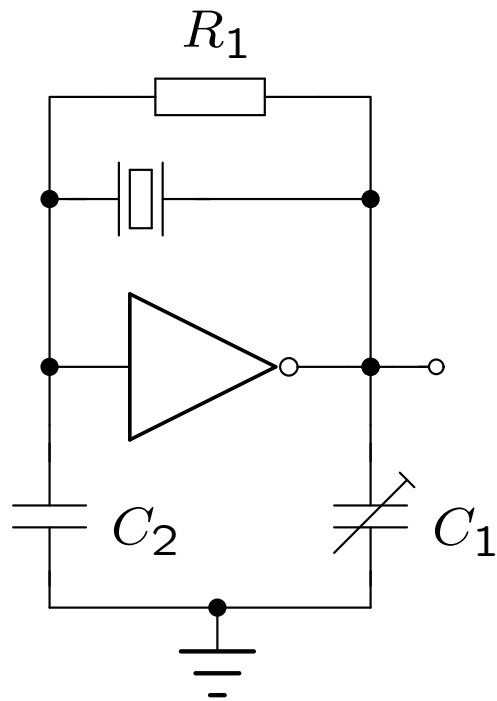


Základní harmonická frekvence sériové a paralelní rezonance

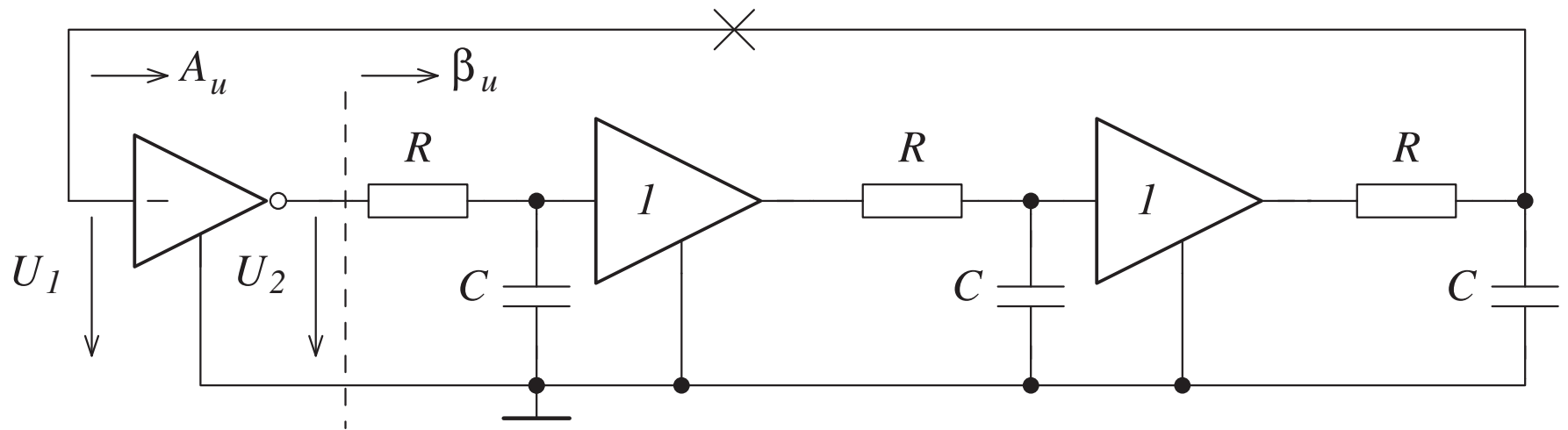
$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}, \quad \omega_p = \omega_s \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}}$$

Třetí harmonická frekvence s elementy  $L_2$  a  $C_2$

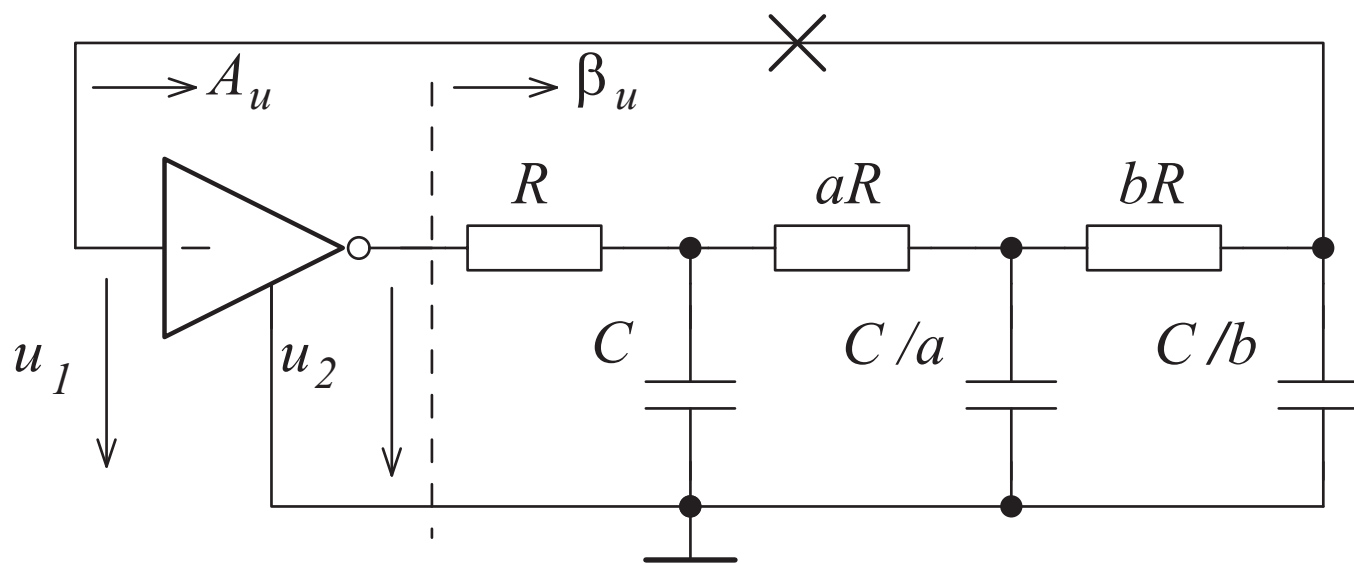
## Krystalem řízený oscilátor



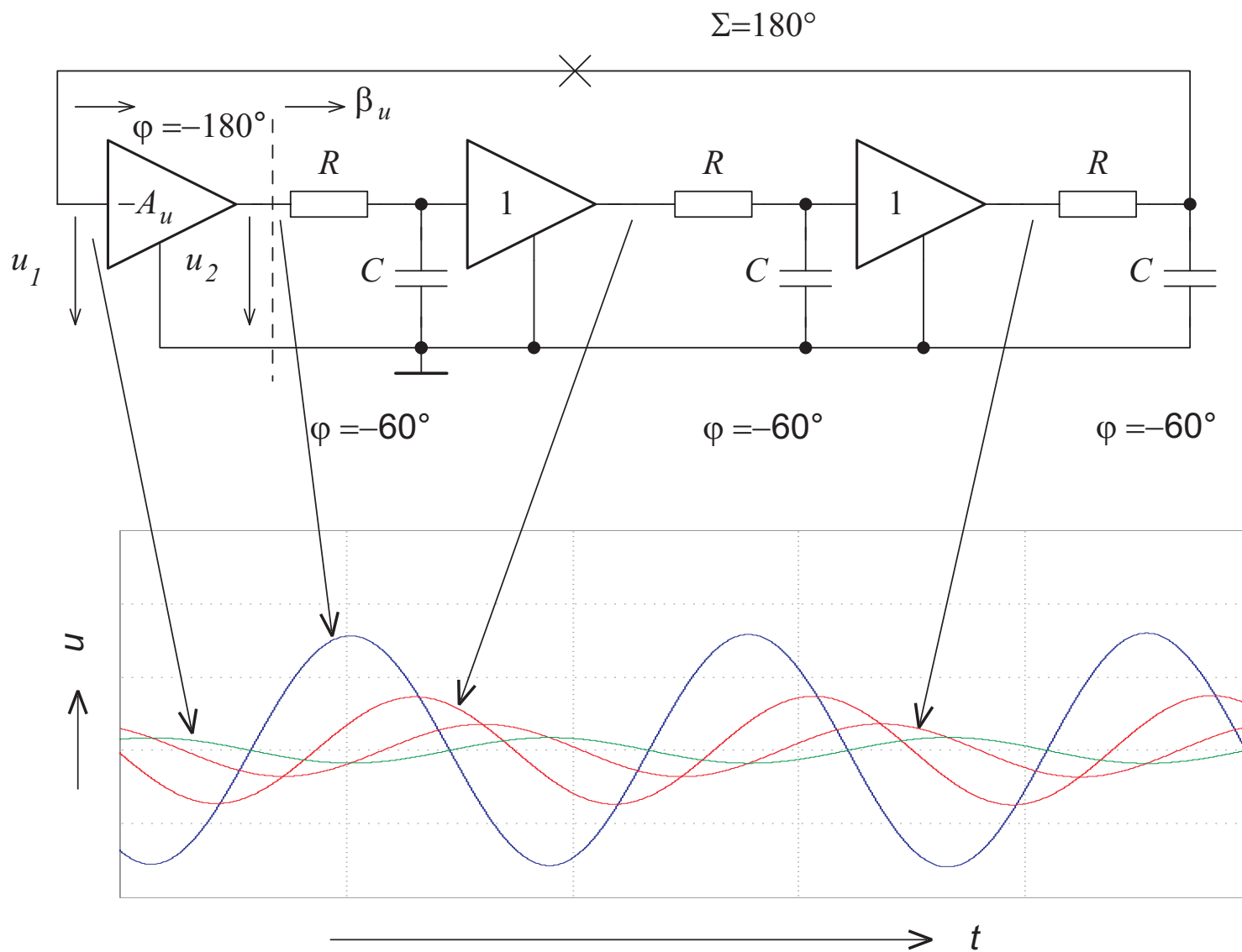
# Oscilátor RC s posouvanou fází s oddělenými RC obvody



Omezení vzájemného vlivu RC obvodů bez oddělovacích zesilovačů

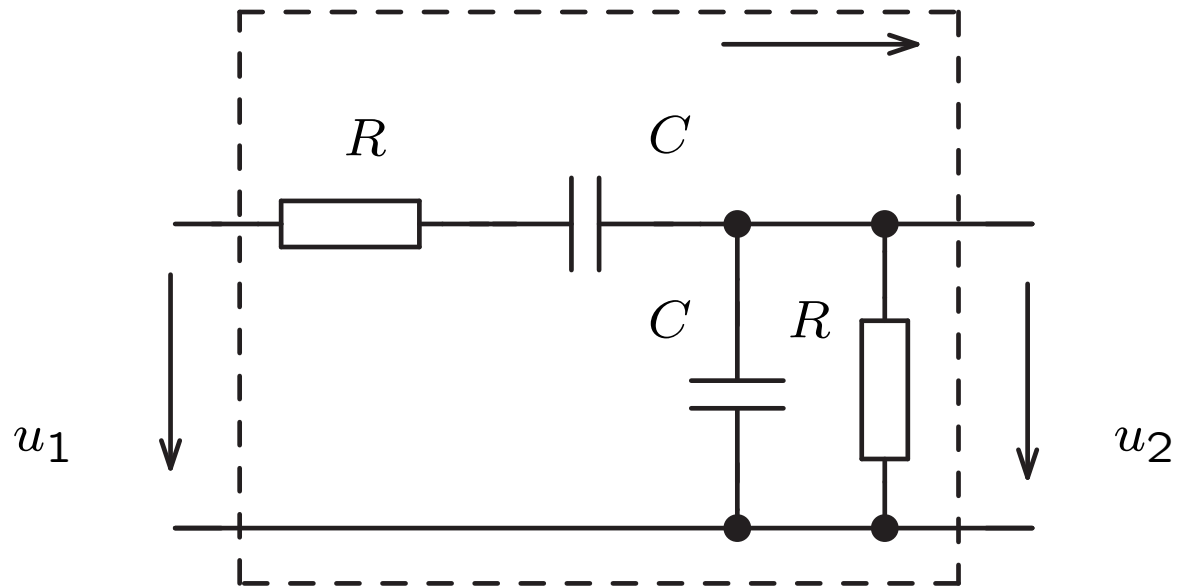


# Napětí na RC obvodech





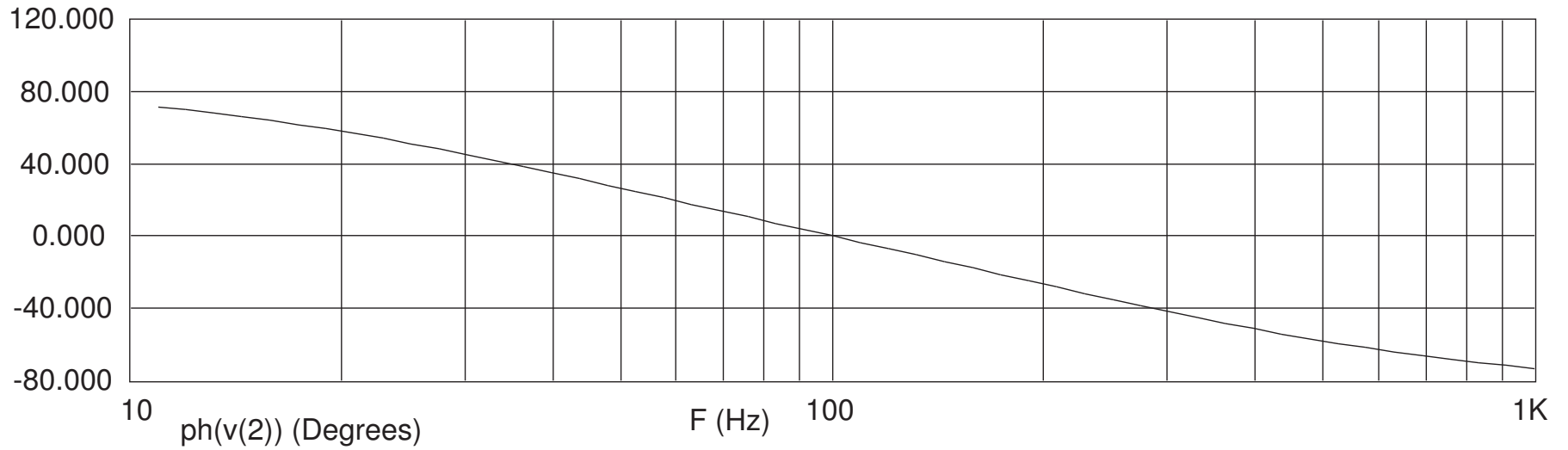
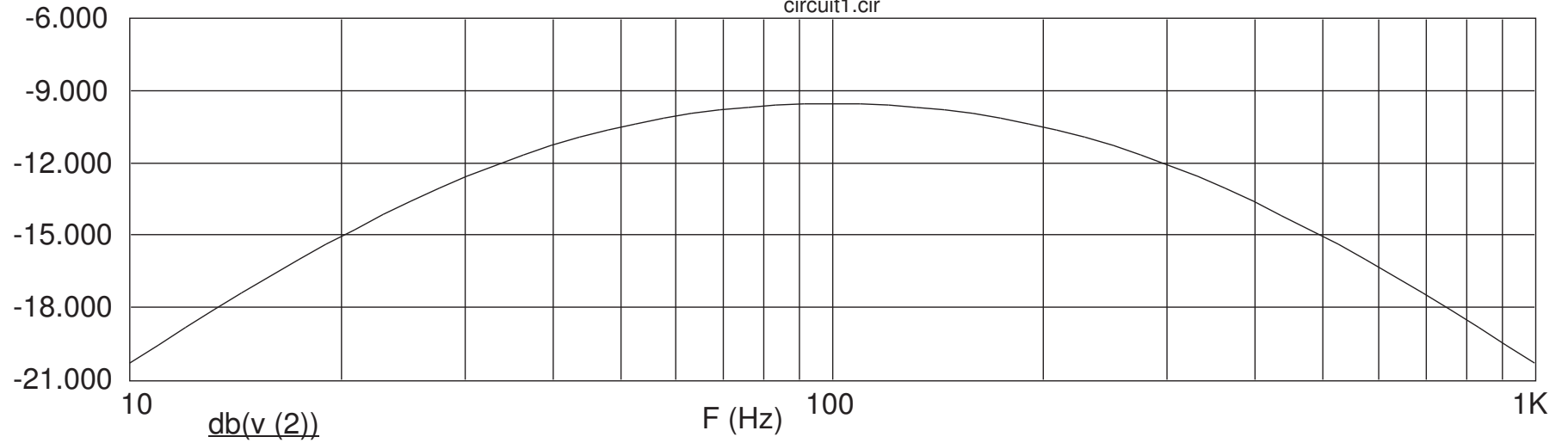
### Wienův člen



$$\varphi = 0, A_u = 1/3, \text{ když } \omega = 1/RC$$

# Frekvenční charakteristika Wienova členu

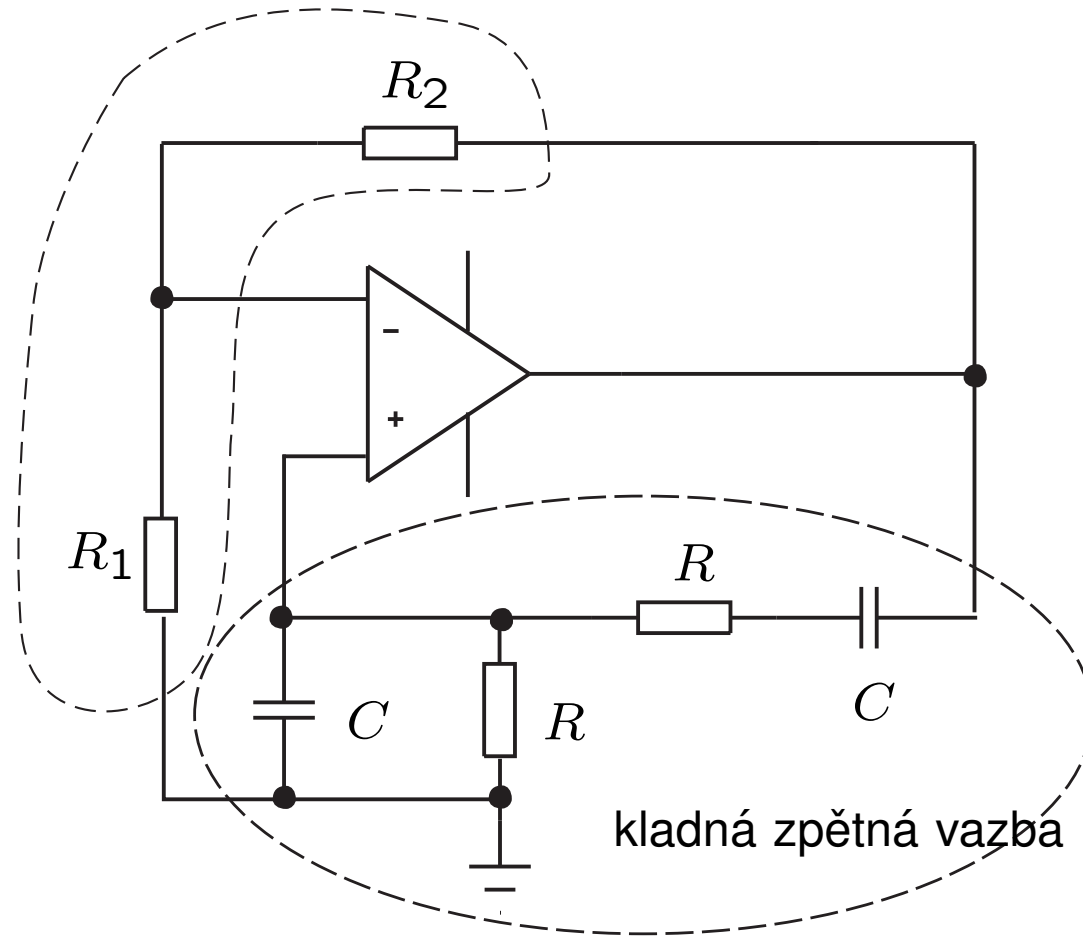
Micro-Cap 8 Evaluation Version  
circuit1.cir



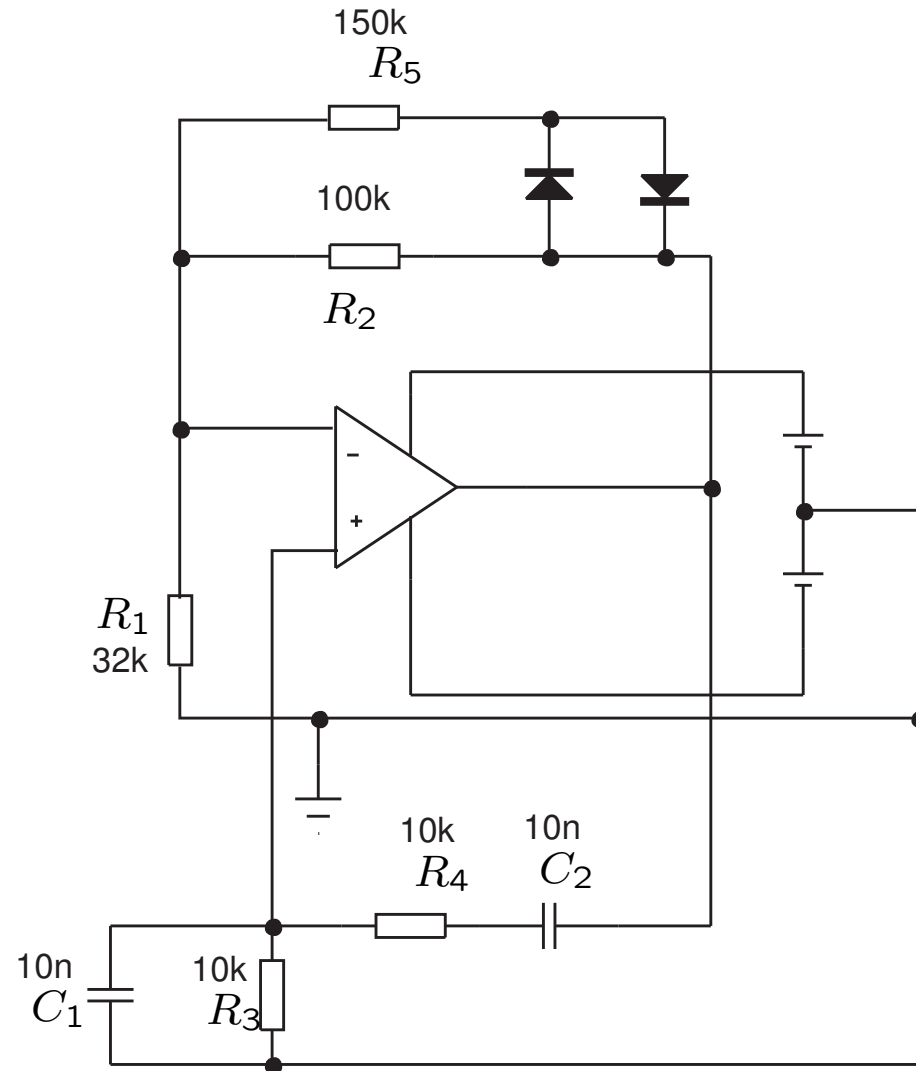
$$R = 1592 \Omega \quad C = 1 \mu\text{F}$$

# Princip Wienova oscilátoru

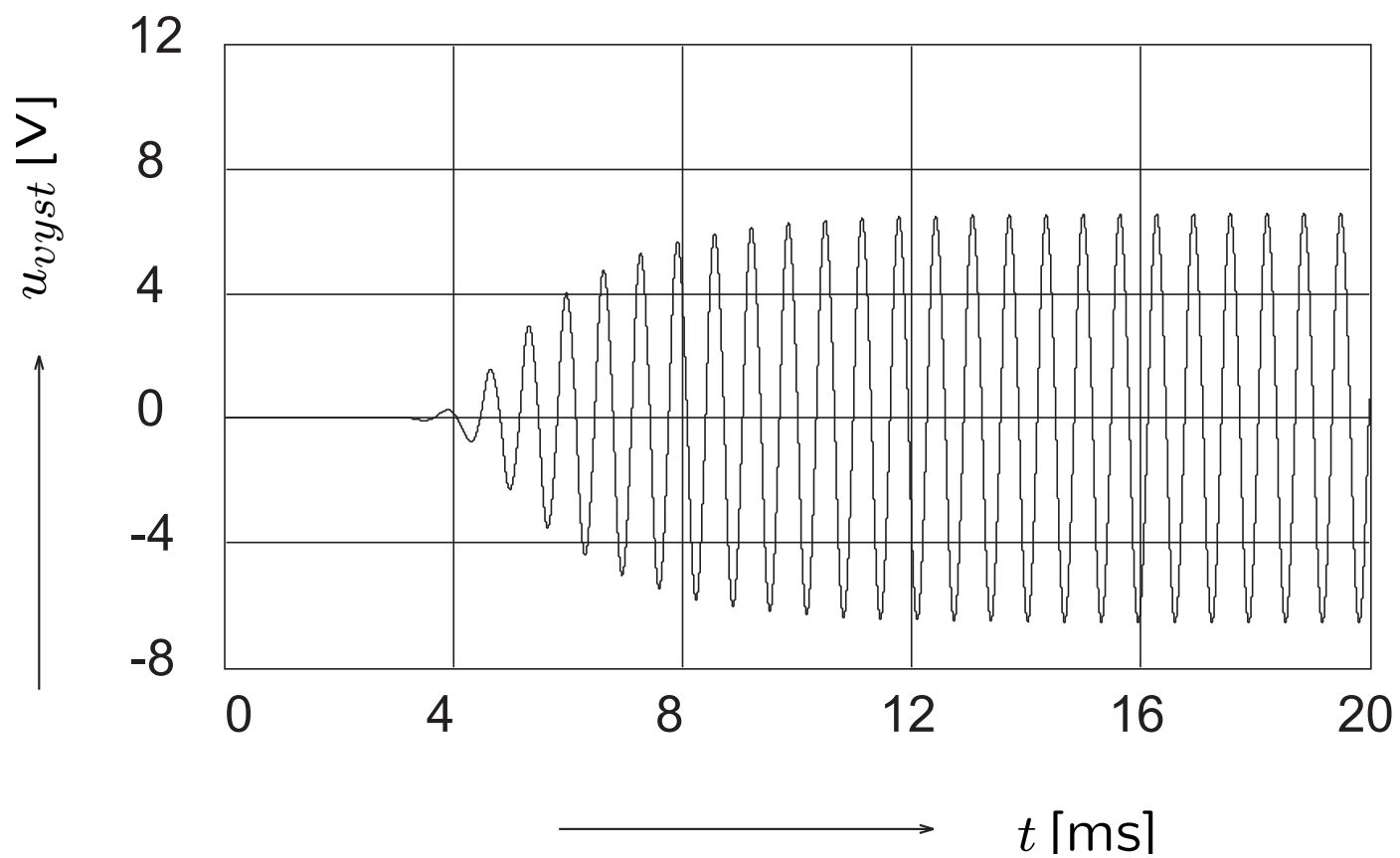
zaporna zpetna vazba



# Zapojení Wienova oscilátoru



## Simulace startu a omezení rozkmitu Wienova oscilátoru



## Stabilizace amplitudy

