



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za elektrotehniko*

# NELINEARNE REGULACIJE

- Nelinearni sistemi
- Metode za analizo nelinearnih sistemov
  - Opisna funkcija
  - **Fazna ravnina**
- Integralski pobeg

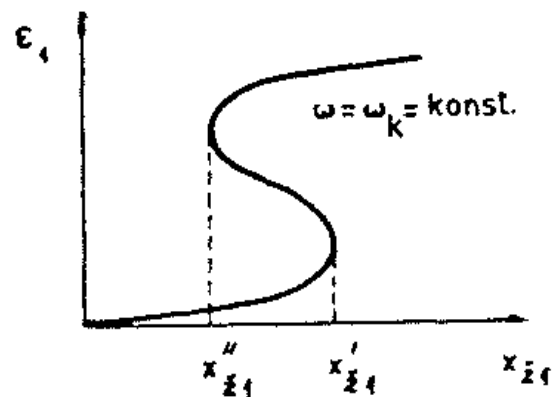
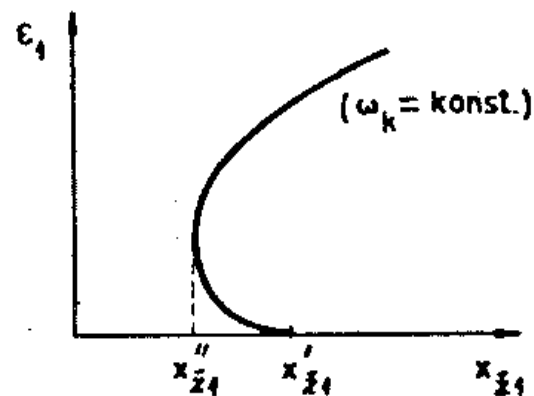


# Opisna funkcija

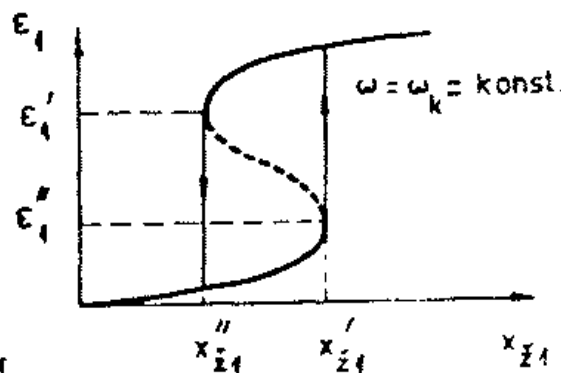
## ◆ Nihanja neavtonomnih sistemov

Pri sinusnem vzbujanju...

$$x_{\check{z}} = x_{\check{z}1} \sin(\omega t)$$



a.



b.

Amplitudni skok  
(resonančni skok)



# Fazna ravnina

◆ Tudi "ravnina stanja", "fazni prostor" pri višjih redih...

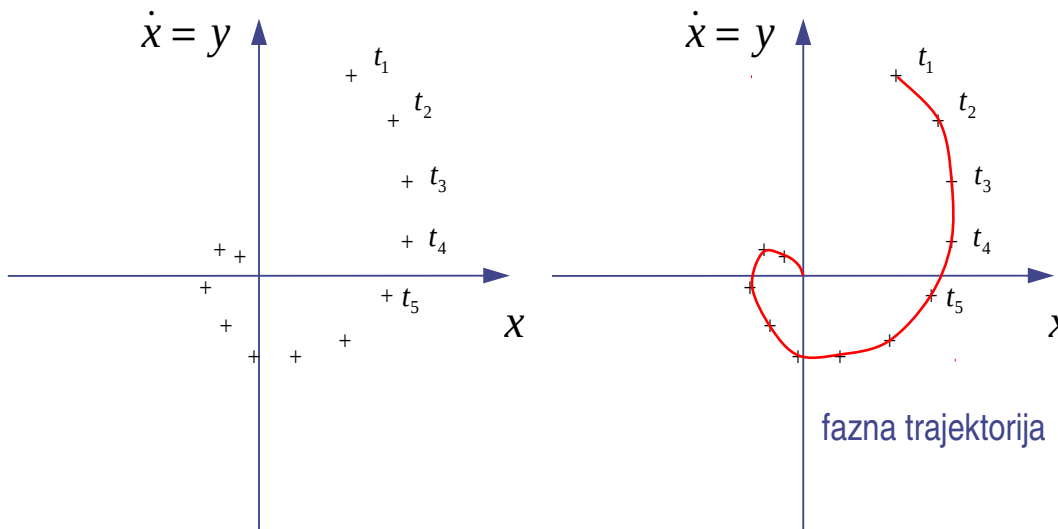
Za linearni sistem 2. reda: povsem eksaktna metoda...

Stanje sistema v posameznem trenutku je *natančno* določeno z vrednostma  $x$  in  $y$  (veličina in njen odvod)

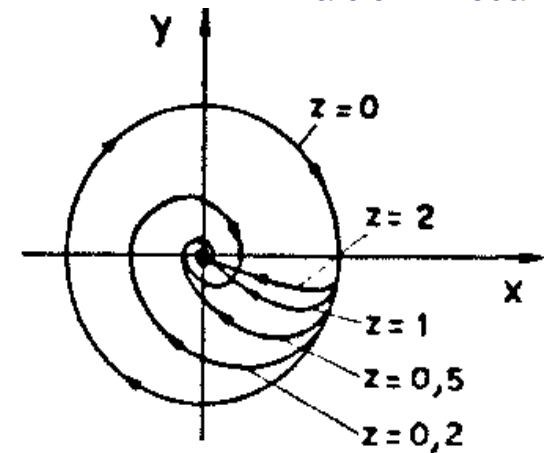
$$\ddot{x} = f(\dot{x}, x) \quad \dot{x} = y$$

$$\dot{y} = f(y, x)$$

"faza" = stanje



za člen 2. reda

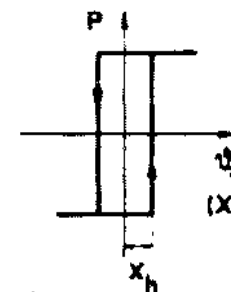
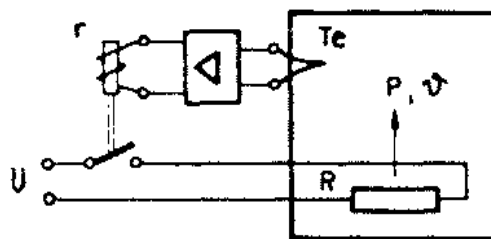


$$\ddot{x}T^2 + \dot{x}2zT + x = 0 \quad 3$$



# Fazna ravnina

◆ Zgled: regulacija temperature z dvopoložajnim regulatorjem s histerezo



$$\vartheta_1 = \vartheta - \vartheta_o$$

$$T \frac{d\vartheta_1}{dt} + \vartheta_1 = \pm \vartheta_m$$

$$y + x = \pm K$$

$$\vartheta_1 = x, \quad T \frac{d\vartheta_1}{dt} = y, \quad K = \vartheta_m = konst.$$

a.

r = rele s histerezo

R = grelo

P = moč

b.

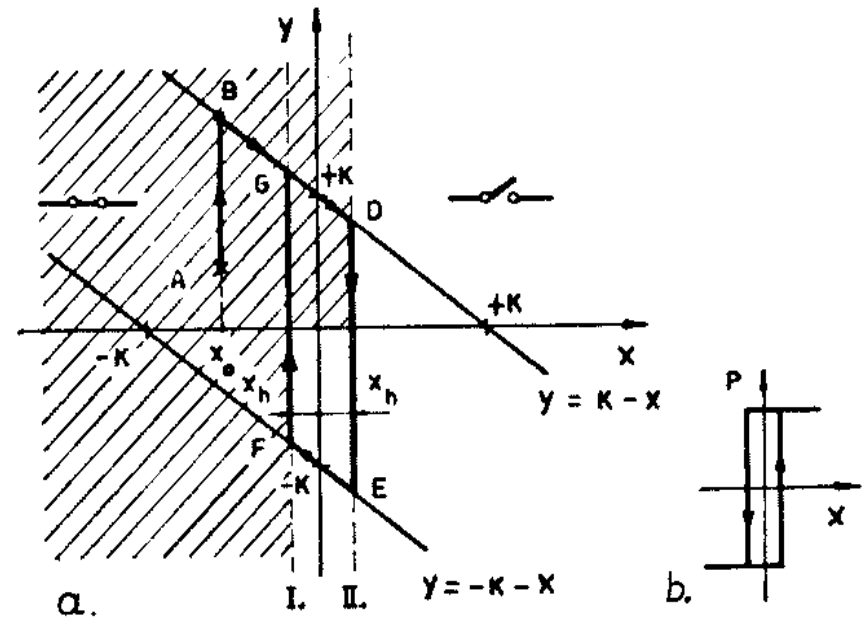
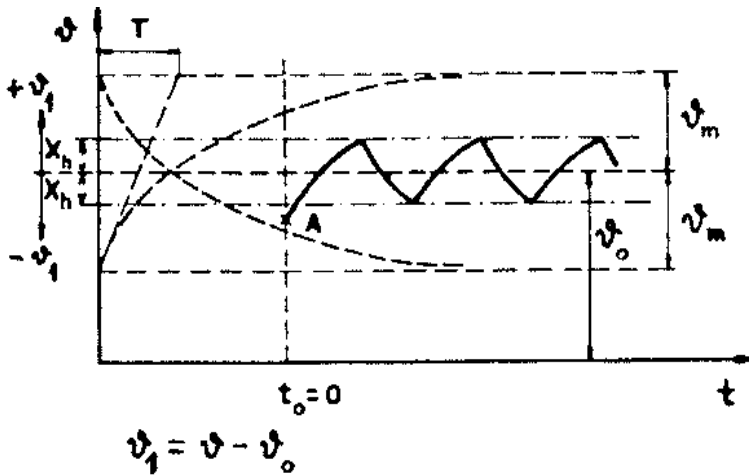
$\vartheta$  = temperatura

Te = termočlen



# Fazna ravnina

◆ Zgled: regulacija temperature z dvopoložajnim regulatorjem s histerezo



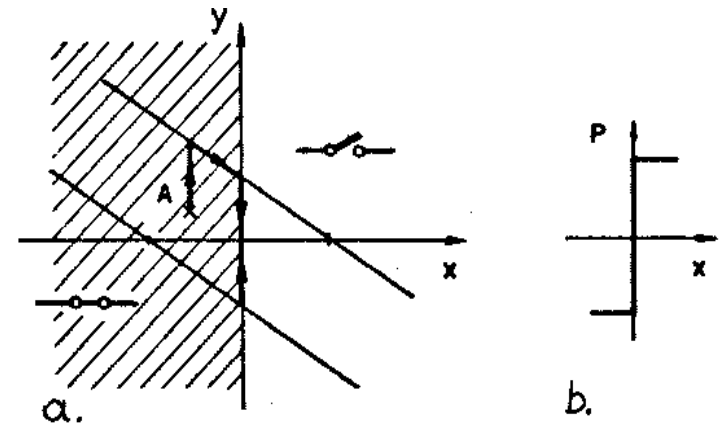
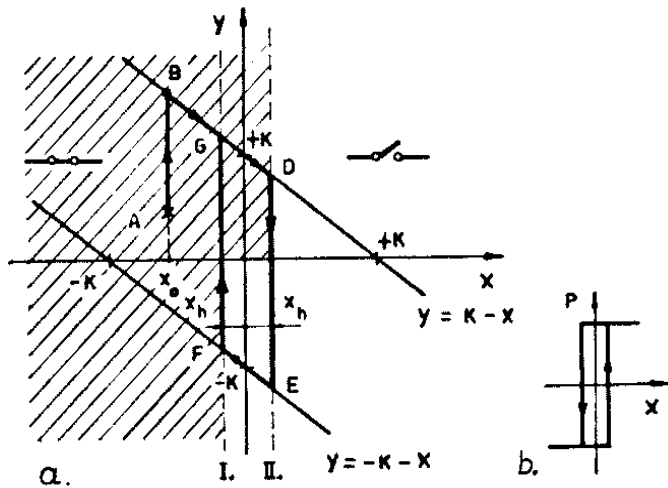
$y + x = \pm K$  fazne trajektorije

$x = \pm x_h$  preklone krivulje (premic)



# Fazna ravnina

◆ Zgled: regulacija temperature z dvopoložajnim regulatorjem s histerezo

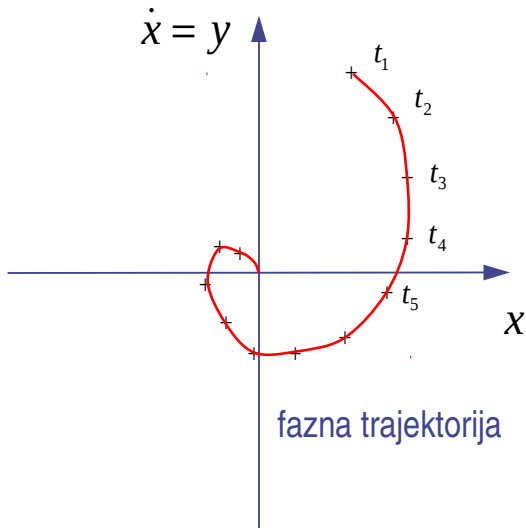


Zmanjšanje histereze: višja frekvenca nihanja, nižja amplituda



# Fazna ravnina

## Čas v fazni ravnini



čas je parameter;

enake razdalje med točkama na fazni trajektoriji NE pomenijo enakega časovnega intervala!!!

$$t_2 - t_1 = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{y}$$

hitrost gibanja točke po fazni trajektoriji: "fazna hitrost"

$$v_f = \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2}$$

to ni fizikalna hitrost sistema ( $y=dx/dt$ )

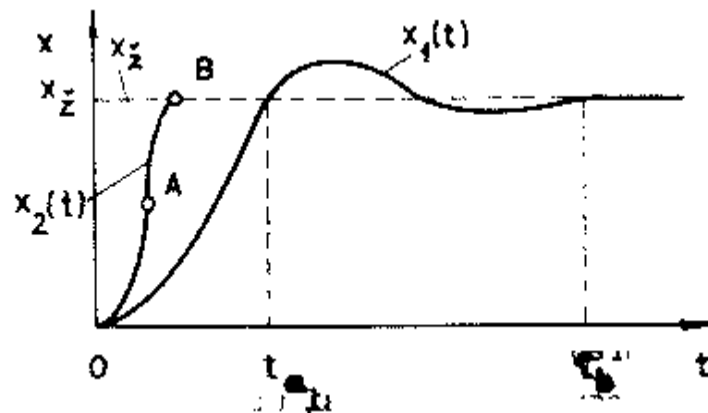


# Fazna ravnina

## ◆ Optimalne regulacije

pogosta zahteva:

čim hitrejši prehod iz enega stacionarnega stanja v drugo



linearni sistemi: samo en potek

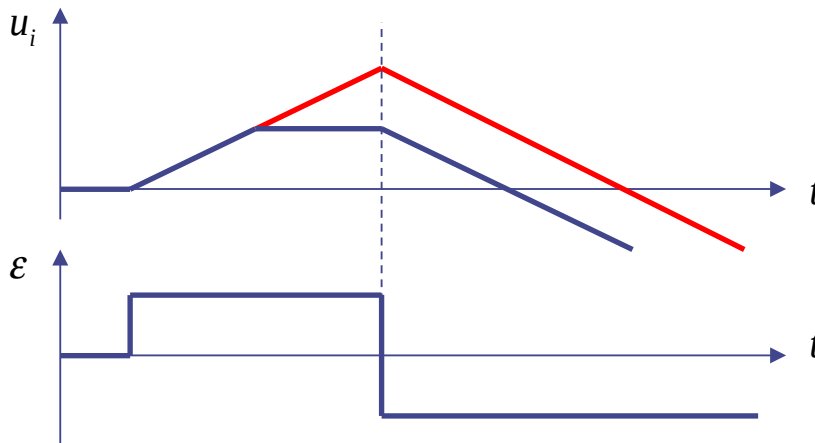
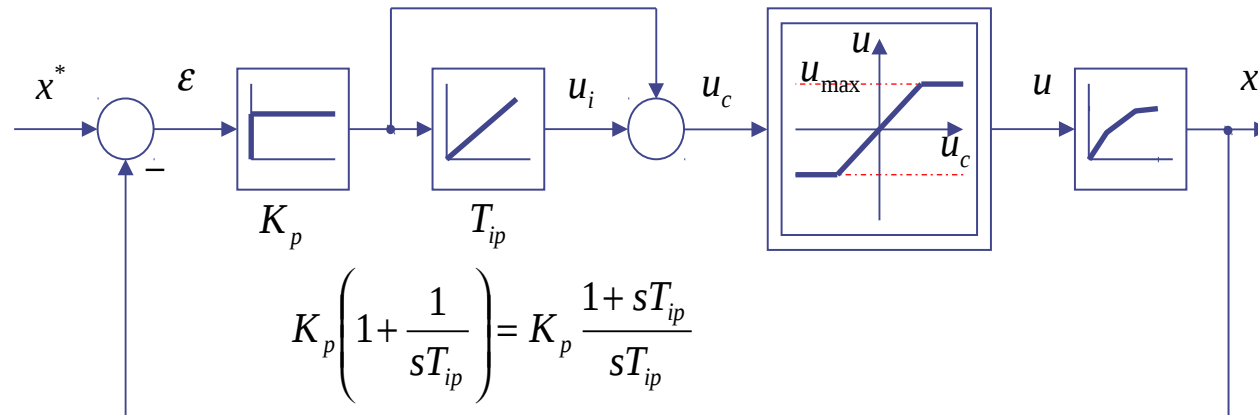
nelinearni sistemi: "preklapljam" med več različnimi poteki





# Integralski pobeg (Integrator Windup)

◆ Nasičenje na strani reguliranca (nelinearnost!), PI-reg. (I-del ...  $\epsilon_s$ )



$u_c > u_{max}$ : integrator integrira  $\epsilon$ , posledično zahteva še večji  $u_c$ , temu pa  $u$  zaradi nasičenja ne sledi

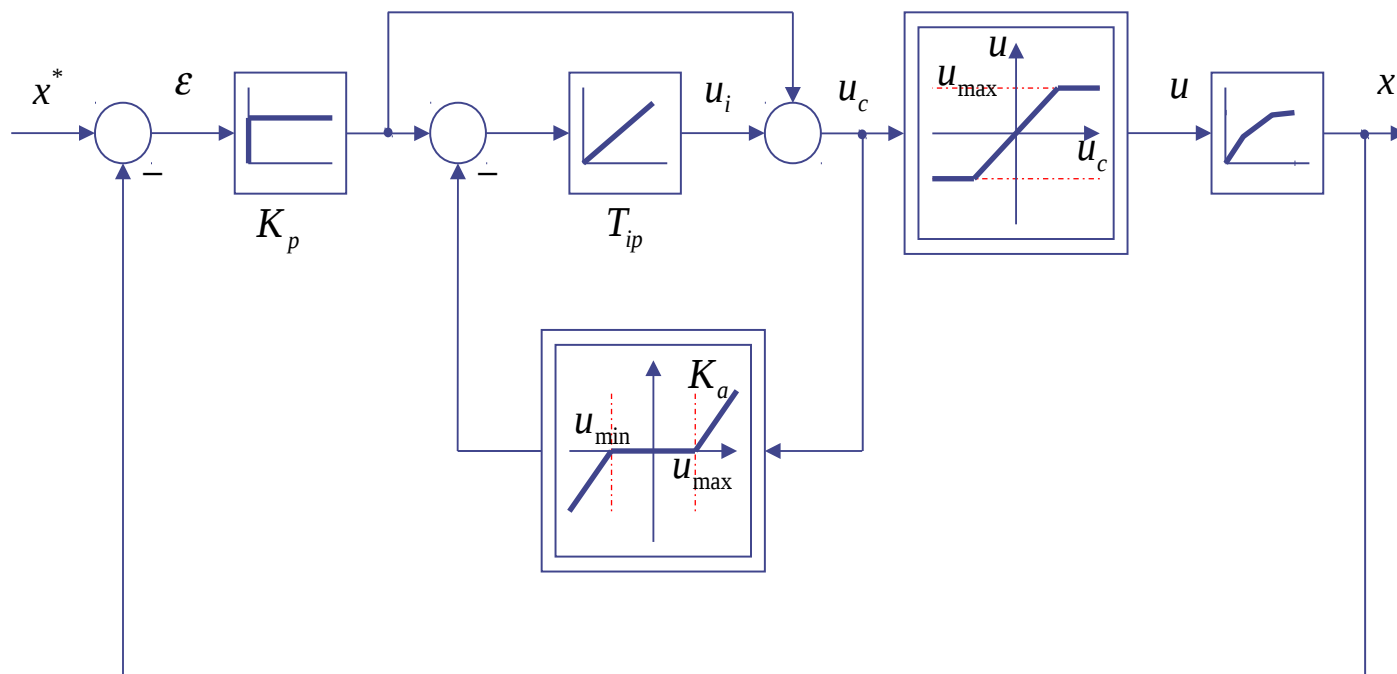
integrator brez potrebe "uide", ko pa bi kasneje moral učinkovati, je še daleč...



# Integralski pobeg

◆ Rešitev: preprečimo integriranje, ko je reguliraneec v nasičenju

Preprosto izvedljivo pri digitalnih regulatorjih, sicer pa:

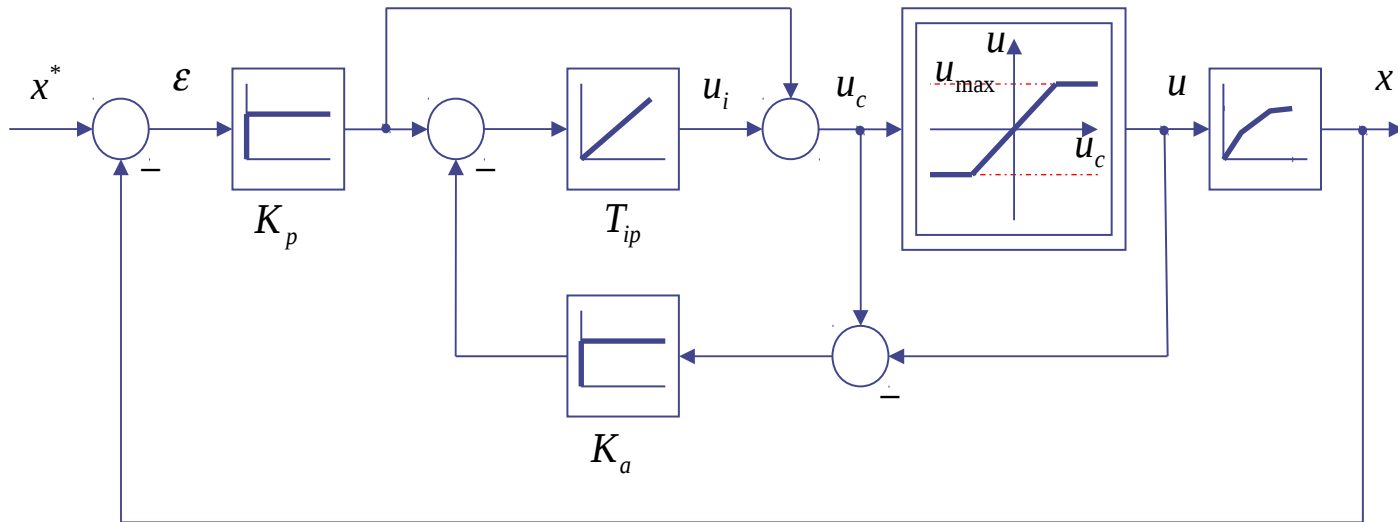


"regulacija" vhoda v integrator na vrednost 0, ko je reguliraneec v nasičenju



# Integralski pobeg

◆ Preprostejša realizacija:



Ko je reguliraneec v nasičenju, se integrator v regulatorju obnaša kot člen 1. reda