



# RT – Sinteza regulacijskih sistemov

## ◆ Postopki pri širši sintezi :

- Definicija zahtev, ki jih naj izpolnjuje regulacija
- Osnutek regulacijskega kroga
- Analiza reguliranca:
  - ◆ matematična, eksperimentalna
  - ◆ statične, dinamične lastnosti
  - ◆ delovni pogoji, zunanji vplivi (motnje)
- Izbira sestavnih delov regulacijskega kroga - kriteriji:
  - ◆ zmogljivosti
  - ◆ zanesljivost
  - ◆ obratovalni pogoji
  - ◆ CENA!!!
- Določitev podrobne strukture regul. kroga (blokovna shema):
  - ◆ parametri reguliranca
  - ◆ parametri regulatorjev (ožja sinteza)
- Projektiranje, gradnja in montaža regulacijskega sistema
- Fina nastavitve parametrov
- Poskusno obratovanje



# RT – Sinteza regulacijskih sistemov

## ◆ Problemi pri sintezi:

- nelinearnosti
- zapletenost regulacijskih krogov
- spreminjanje parametrov med obratovanjem

## ◆ Rešitev:

- poenostavitve
- simulacijski pristop

## ◆ Ožja sinteza:

- Določanje **parametrov regulatorjev** v regulacijskih sistemih z že znano strukturo, da dosežemo postavljene zahteve glede regulirane veličine  
(t.i. **OPTIMIRANJE**)
- Metode so dobro razvite, pri širši sintezi pa je lahko vsak problem poglavje zase



# RT – Sinteza regulacijskih sistemov

## ◆ Kaj sploh je **OPTIMALNA** regulacija:

- Ni splošno veljavnega kriterija
- Različne zahteve; nekatere toleriramo prenehajo, druge statični pogrešek...

## ◆ Časovni poteki vhodnih signalov:

- izračuni in simulacije za standardizirane oblike signalov
- v praksi so vhodni signali pogosto **drugačni** (motnje...)

Zato **ne smemo** optimirati samo za izbrane oblike signalov...

## ◆ Regulacija:

- **Vódena**  
(želena vrednost se spreminja)
- **S konstantno želeno vrednostjo**  
(vplivne veličine, ki se spreminjajo, so motnje)



# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Integralski kriteriji:

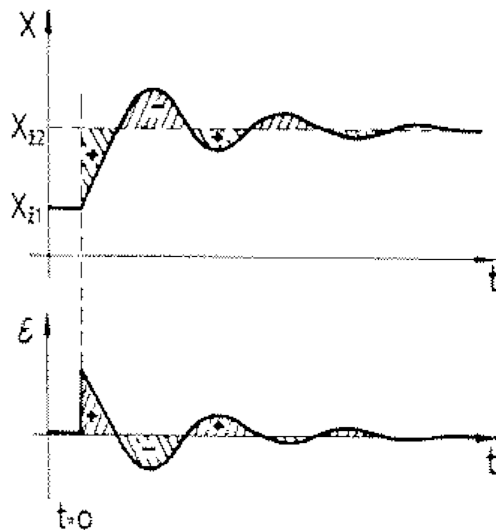
### ◆ Kriterij linearnega optimuma

$$\varepsilon = x^* - x \quad (\text{če } \varepsilon_s = 0)$$

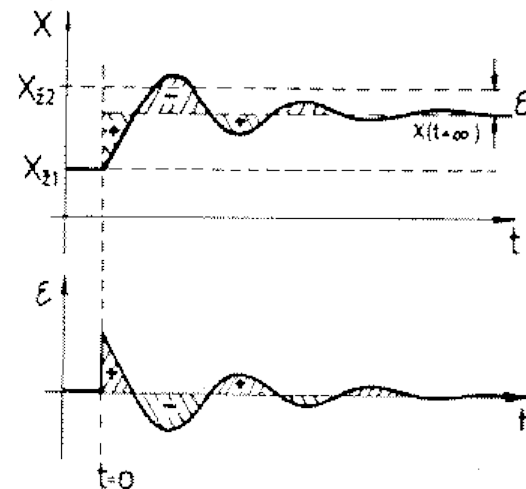
minimiziranje: 
$$S = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt$$

$$\varepsilon = x^* - x(t = \infty) \quad (\text{če } \varepsilon_s \neq 0)$$

Vodena regulacija:



S1. 5.3



S1. 5.4

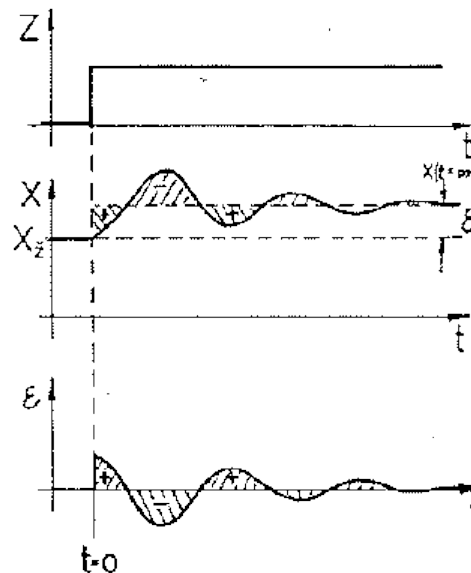
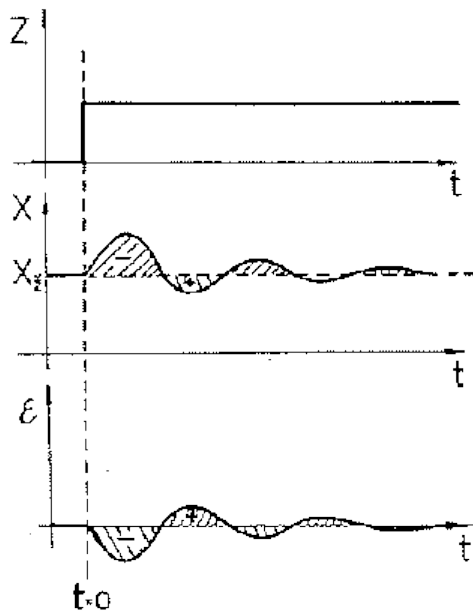


# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## ◆ Kriterij linearnega optimuma

minimiziranje: 
$$S = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt$$

Regulacija s konstantno želeno vrednostjo:



**težava** pri nedušenem nihanju:  $S = 0$

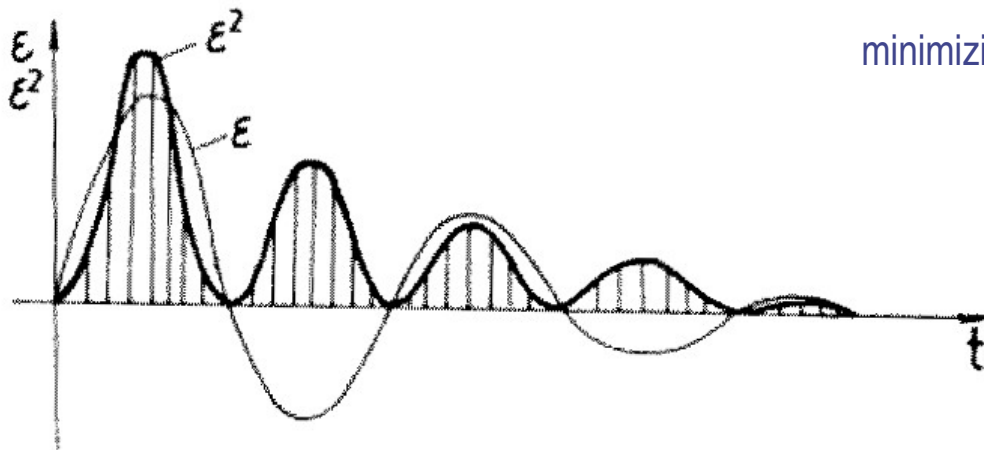
moramo predpisati še relativno dušenje ali pa:

$$S = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt$$

sistemi so običajno **premočno dušeni**

# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## ◆ Kriterij kvadratičnega optimuma



minimiziranje: 
$$S = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt$$

Kvadriranje poudarja velika odstopanja:

- majhno prenihanje
- **slabo dušenje**



# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

◆ **ITAE kriterij** (Integral of Time multiplied Absolute value of Error)

minimiziranje: 
$$S = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| t dt$$

tudi: 
$$S = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) t dt \quad S = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) t^2 dt$$

Zajamemo počasno upadanje pogreška

Uporaben za vodene regulacije

Že izračunane "standardne oblike prenosnih funkcij", npr:

$$H(s) = \frac{1}{1 + A_1 s + \dots + A_n s^n}$$

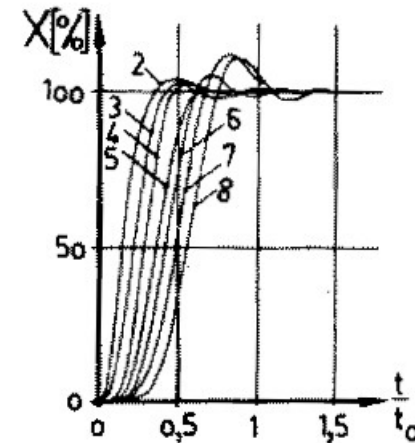
$$a + s$$

$$a^2 + 1,4 a s + s^2$$

$$a^3 + 2,15 a^2 s + 1,75 a s^2 + s^3$$

$$a^4 + 2,7 a^3 s + 3,4 a^2 s^2 + 2,1 a s^3 + s^4$$

$$a^5 + 3,4 a^4 s + 5,5 a^3 s^2 + 5,0 a^2 s^3 + 2,8 a s^4 + s^5$$





# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Integralni kriteriji

### ◆ Težave:

- parametri regulatorjev so neznanke, od katerih je odvisen potek veličine oziroma pogreška, posledično pa z integralom dobljena "ploščina"  $S$
- numerično zamuden postopek (tudi za računalnike), če ne poznamo reda velikosti optimalnih parametrov regulatorjev

### ◆ Postopek:

- za izbrane parametre regulatorjev izračunamo časovni potek pogreška in  $S$
- parametri regulatorja, za katere dobimo manjši  $S$ , so po tem kriteriju boljši



# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Kriteriji na osnovi poteka frekvenčne karakteristike

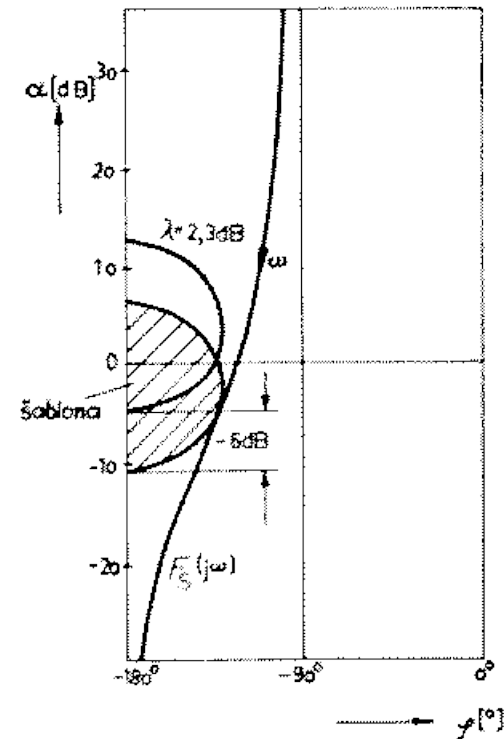
- matematični postopki
- grafični postopki
- tudi navodila (formule, diagrami)
- relativno preprosti

### ◆ Nicholsov diagram

- postopki za posamezne tipe regulatorjev
- alternativna koordinata  $\lambda_{\max} = 2,4 \text{ dB}$

### ◆ Bodejev diagram, Nyquistov diagram

- predpišemo amplitudno in fazno rezervo

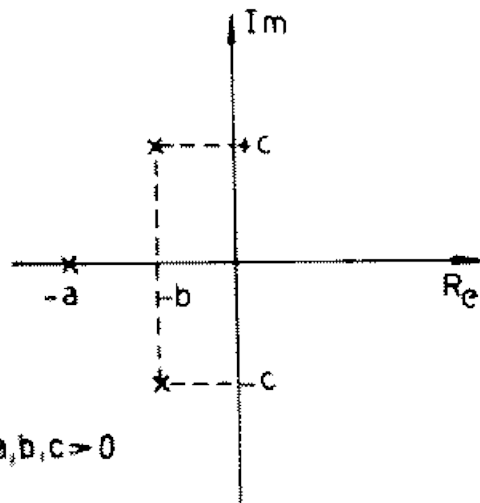




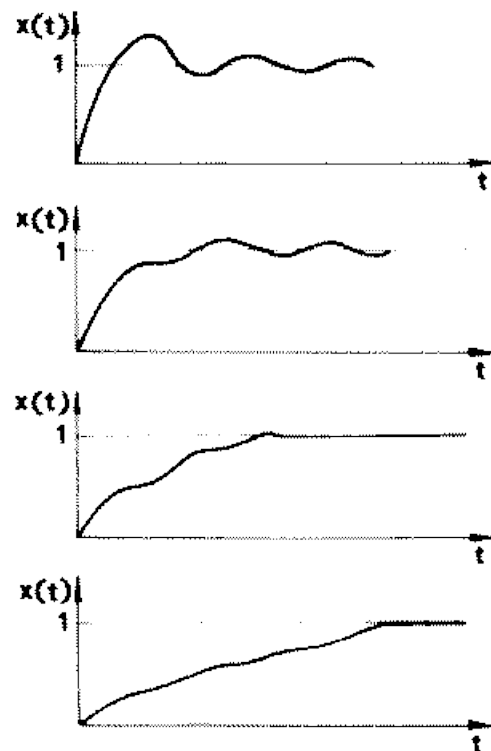
# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Metoda lege korenov (karakteristične enačbe)

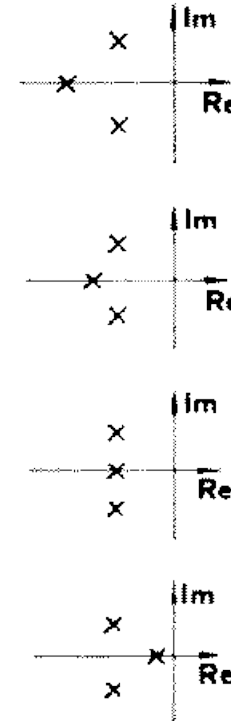
- Koreni določajo dinamično obnašanje sistema



Sl. 3.21a



Sl. 3.21b

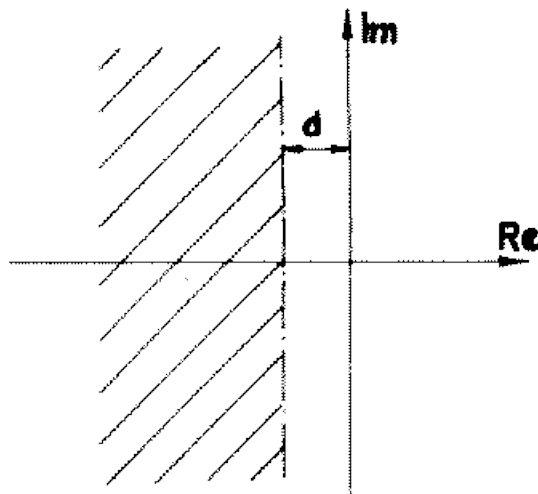




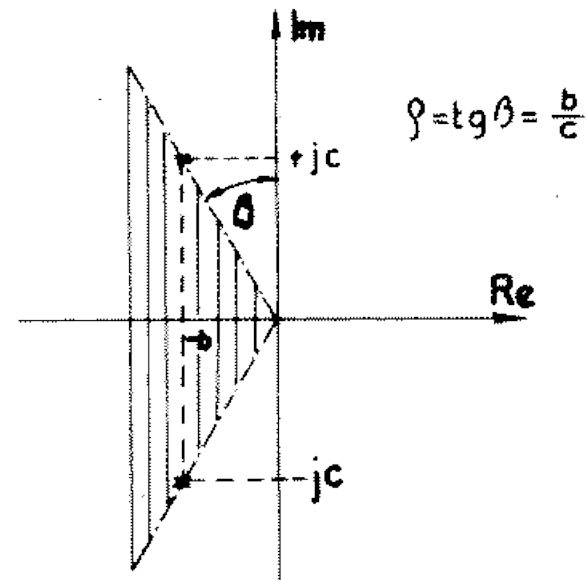
# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Metoda lege korenov (karakteristične enačbe)

- S spreminjanjem parametrov regulatorjev "peljemo" korene po pripadajočih trajektorijah v želeno področje



S1. 3.22



S1. 3.23



# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Optimum iznosa (OI)

- Primeren za **vodene** regulacije, npr. za elektromotorske pogone
- I-del v regulatorju

Idealno bi želeli doseči:

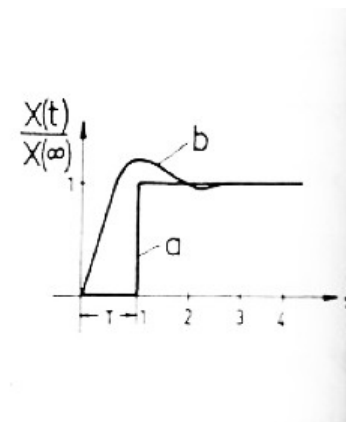
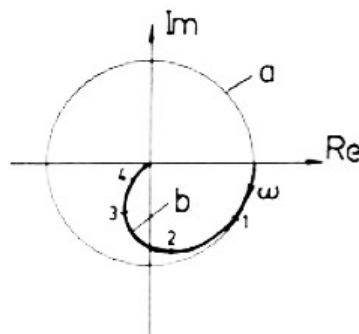
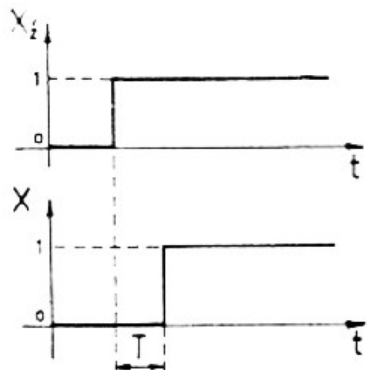
$$H(s) = \frac{F_o(s)}{1 + F_o(s)} \approx 1$$

$$F_o(s) = F_R(s) \cdot F_S(s)$$

Ker to ni mogoče, naj bo:

$$H(s) = \frac{x(s)}{x^*(s)} = e^{-sT}$$

iznos:  $|H(s)| = 1$





# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Optimum iznosa (OI)

- Izračunani izrazi za parametre regulatorjev (PI, I, PID)
- Izrazi so podani v obliki tabel za najpogostejše tipe regulirancev
- V izrazih nastopajo parametri **reguliranca**

## ◆ Značilnosti:

- Parametri regulatorja neposredno iz parametrov reguliranca
- Preprost izračun
- Ni treba računati korenov karakteristične enačbe
- Uporaben tudi za sisteme z mrtvim časom
- Prenihaj:  $\varepsilon_d = 4\%$ ; prvi prehod:  $t_d = 4,7t_\mu$ ; regulacijski čas:  $t_r = 10t_\mu$
- Za motnje - **slabše**: dolg regulacijski čas, premočno dušenje (odvisno od mesta delovanja motnje: čim prej, tem slabše!)



# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Simetrični optimum (SO)

- Primeren za regulacije **s konstantno želeno vrednostjo**
- "Simetričen" časovni potek signala (ploščine se kompenzirajo)...
- ... boljša razlaga: simetričen potek fazne karakteristike v Bodejevem diagramu...
- Podobno kot optimum iznosa: tabele in preproste enačbe
- Parametre regulatorja izračunamo neposredno iz parametrov reguliranca

### ◆ Značilnosti:

- Kratek regulacijski čas pri odzivu na skočno motnjo
- Pri **vodeni regulaciji** pričakujemo  $\varepsilon_0 = 43\%$ ; regulacijski čas:  $t_r = 17t_p$
- Za morebitne (občasne) spremembe želene vrednosti navadno dodamo pred primerjalni člen (takoj za želeno vrednostjo) še gladilni člen, da je prenihanje manjše; pri digitalni regulaciji je možna tudi rampa...



# RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

## Ostala priporočila:

- Oppelt
- Whiteley
- Ziegler Nichols (procesne regulacije)

**Ožja sinteza:** prirejena za "klasičen" regulacijski krog (blokovna shema)

## Drugi pristopi (po zasnovi spadajo pod širšo sintezo):

- Npr. paralelni korekcijski členi ipd.:
  - ♦ ni enotne teorije
  - ♦ različne pozicije korekcijskih elementov
  - ♦ optimiranje njihovih parametrov...