



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; nekje toleriramo prenehaje, drugje 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:

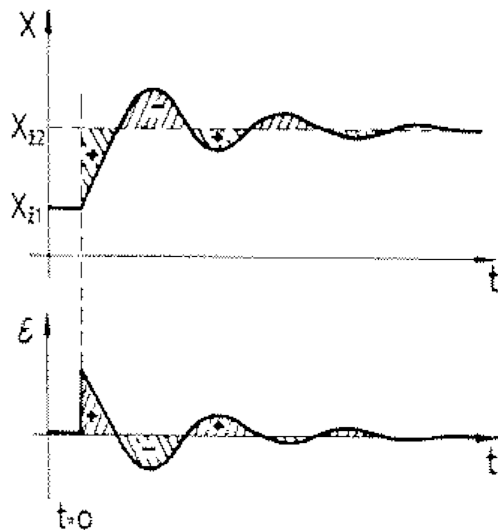
◆ Kriterij linearnega optimuma

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

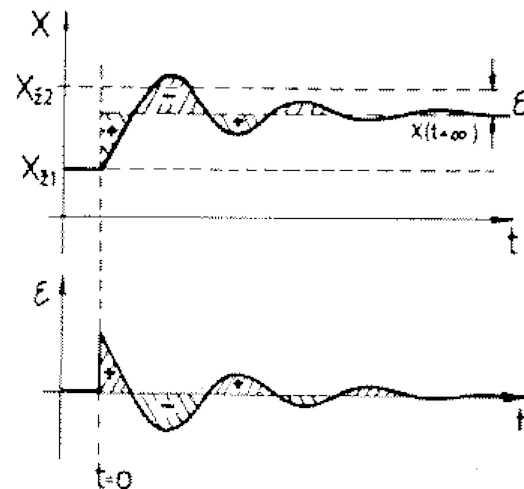
minimiziranje:
$$S = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt$$

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

Vodena regulacija:



S1. 5.3



S1. 5.4

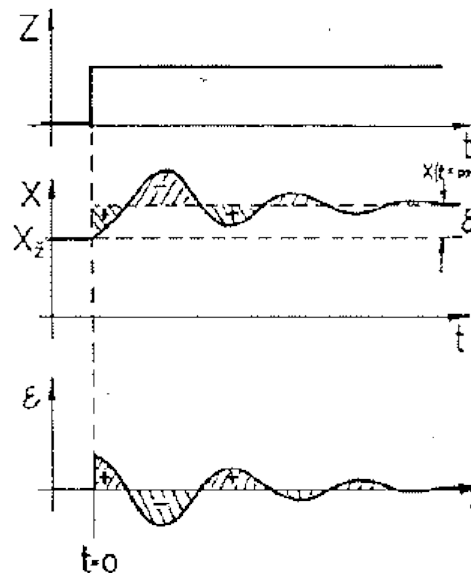
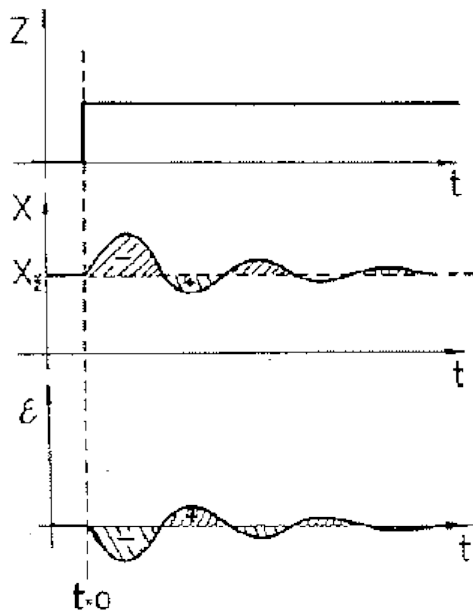


RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

◆ 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:

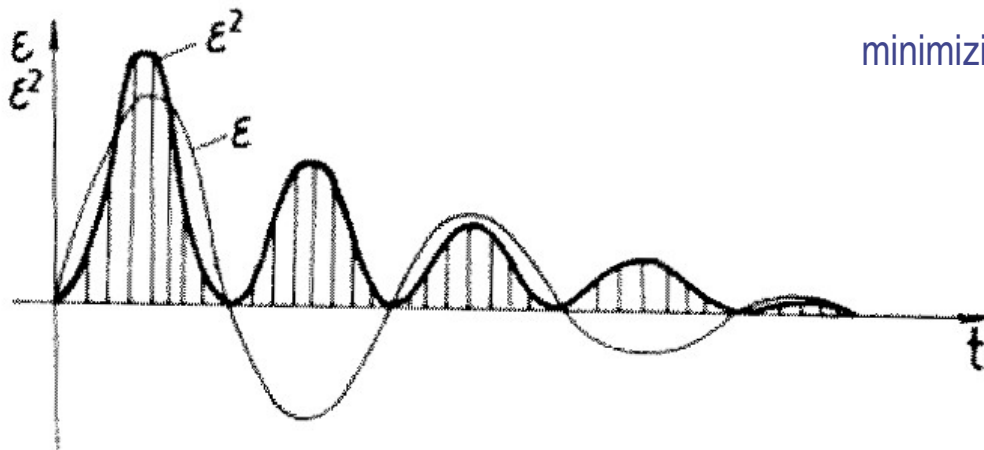
$$S = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt$$

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:

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

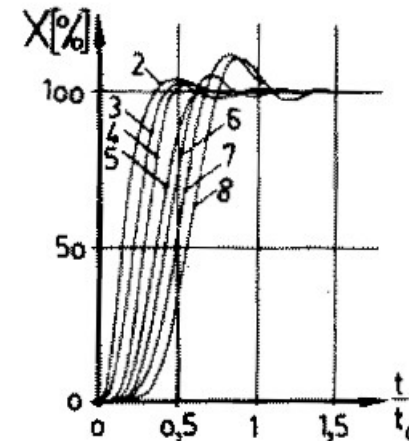
$$a + s$$

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

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

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

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





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

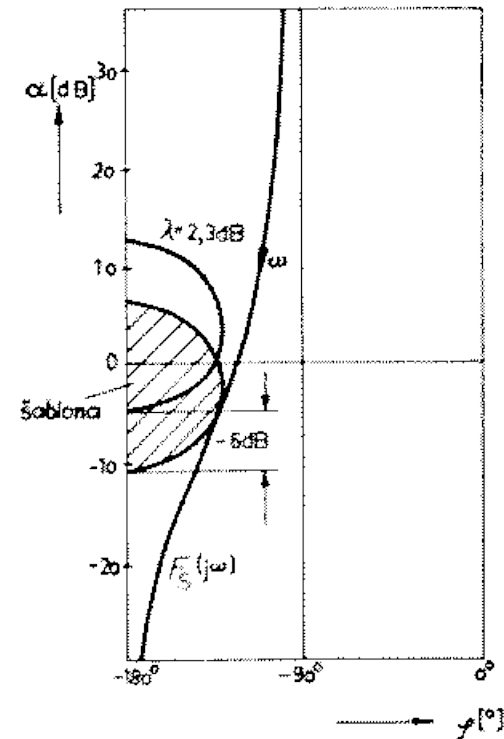
- matematični postopki
- grafični postopki
- tudi navodila (formule, diagrami)
- relativno preprosti

◆ Nicholsov diagram

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

◆ Bodejev diagram, Nyquistov diagram

- predpišemo amplitudno in fazno rezervo

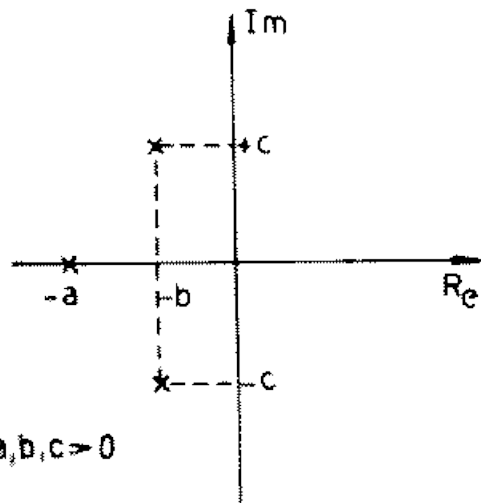




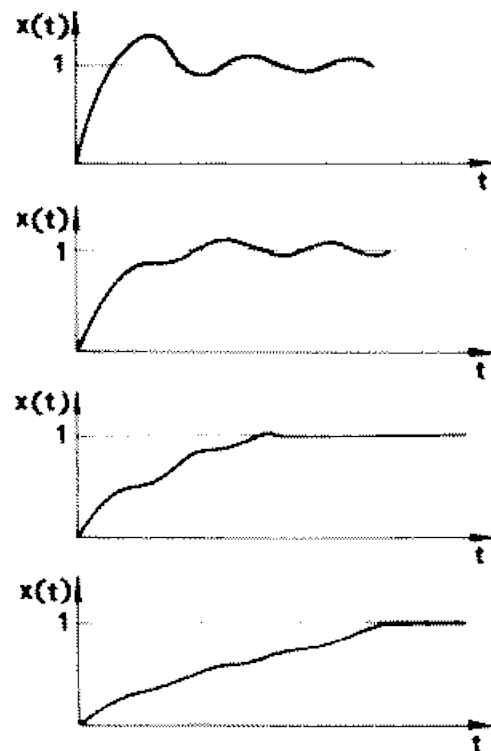
RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

Metoda lege korenov (karakteristične enačbe)

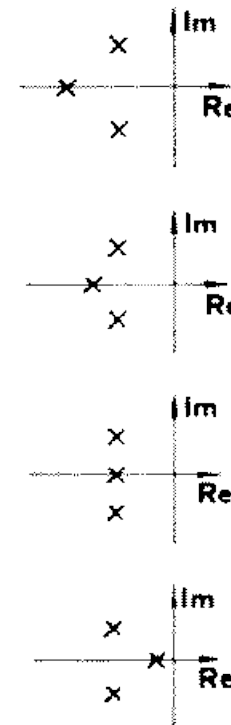
- Koreni določajo dinamično obnašanje sistema



Sl. 3.21a



Sl. 3.21b

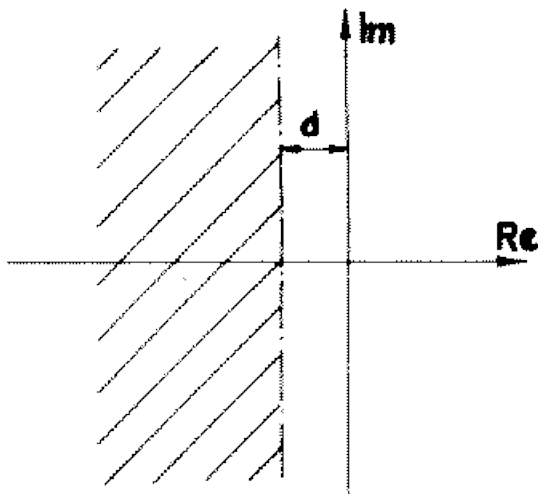




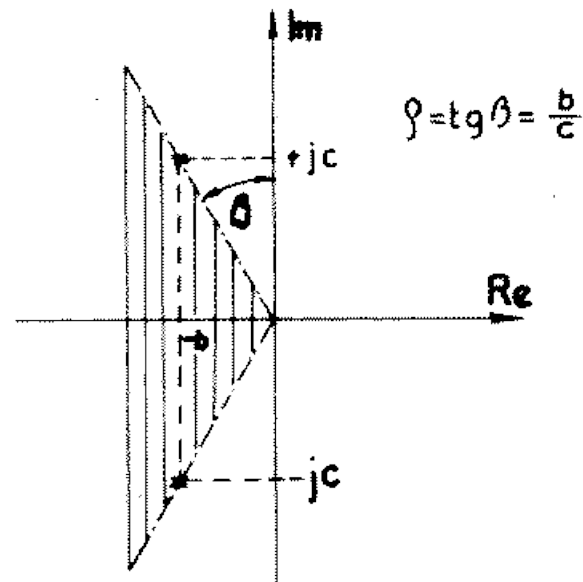
RT – Kriteriji za optimalno regulacijo

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:

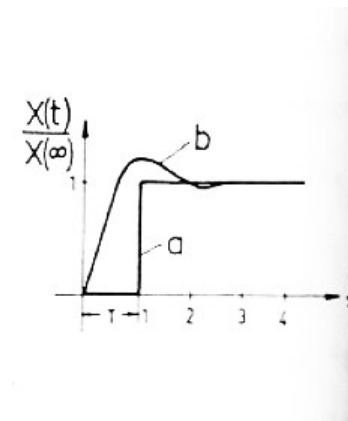
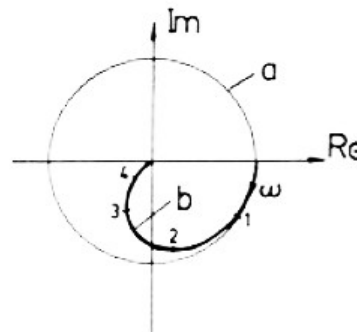
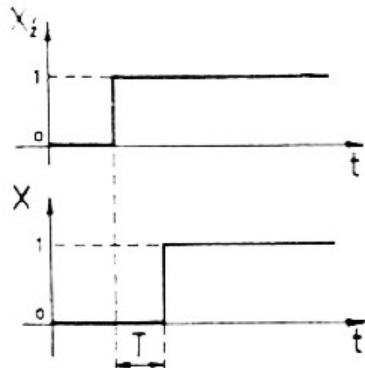
$$H(s) = \frac{F_o(s)}{1 + F_o(s)} \approx 1$$

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

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...