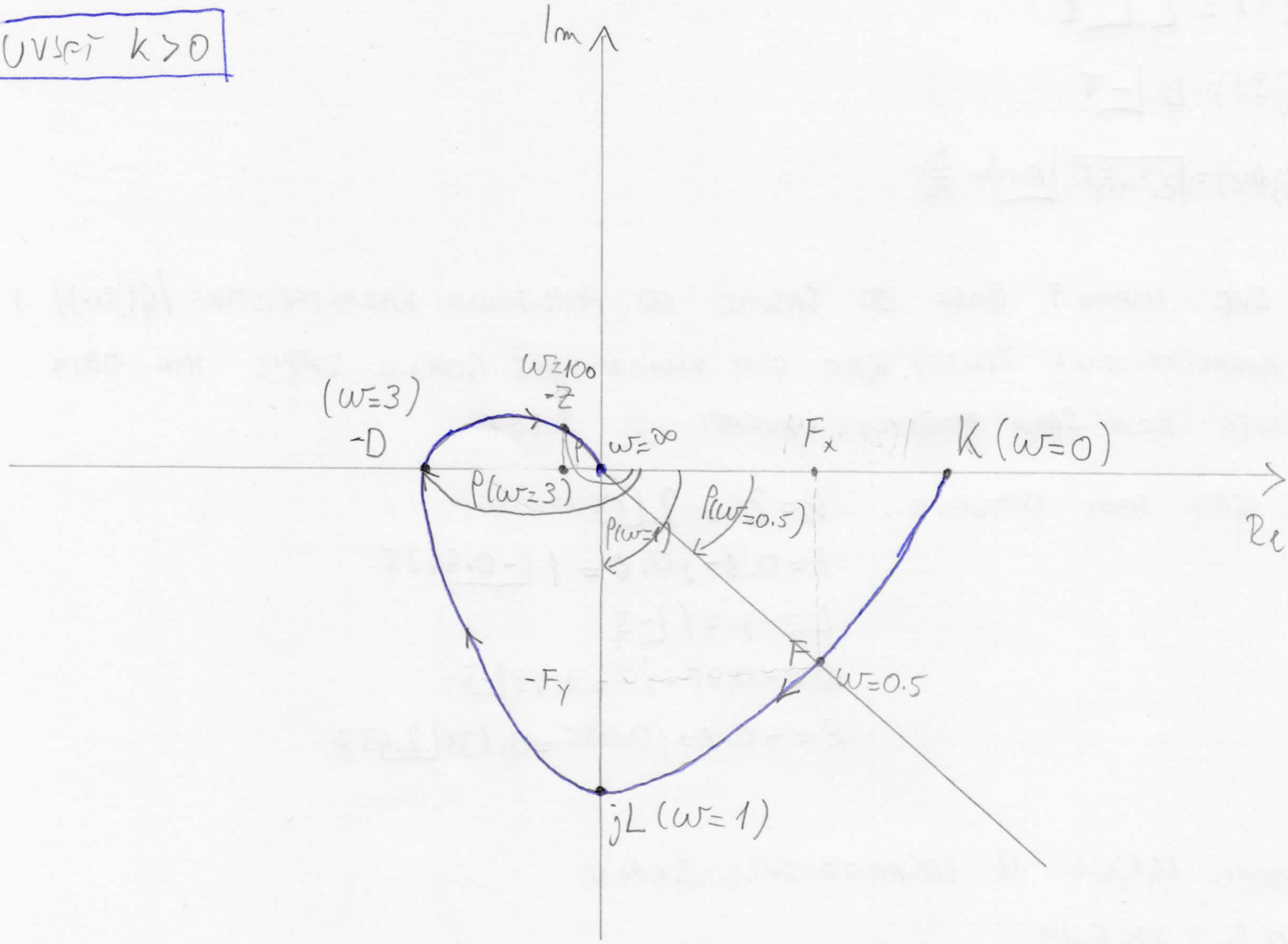
TUTORIAL

1 VEZA NYQUIST BODE

$\boxed{\text{UVJET } k>0}$



* MODIFICIRAO SAM ZADATAK KOJI JE BIO U ISPITU DA OBJASNIM VEZU IZMEĐU BODEA I NYQUIST A

- UZEO SAM 5 TOČAKA [k, F, L, D, Z] NA TIM TOČKAMA MI JE POZNATA FREKVENCIJA (ω) A IŠČITATI MOŽEMO NJEN REALNI I IMAGINARNI DIO IZ GRAFA. ZA SVE TOČKE VRIJEDI $G(j\omega) = Re + j\,Im$ } IŠČITAVAMO S GRAFA

1) K: $\omega=0$ [IŠČITAMO KORDINATE NA MJESTU TOČKE K] $G(j0) = k + j0$
2) F: $\omega=0.5$ $G(j0.5) = F_x - jF_y$ =>
3) L: $\omega=1$ $G(j1) = 0 + jL$
4) D: $\omega=3$ $G(j3) = -D + j0$
5) Z: $\omega=100$ $G(j100) = -Z_x + jZ_y$

SADA MIJENJAMO ZAPIS TIH KOMPLEKSNIH BROJEVA:

$$G(j\omega) = Re + jIm = |G(j\omega)| \angle \varphi(\omega)$$

1) K: $G(j0) = k \angle 0 \text{ RAD}$

2) F: $G(j0.5) = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \angle \arctan \frac{Im}{Re}$

3) L: $G(j1) = L \angle -\frac{\pi}{2}$

4) D: $G(j3) = D \angle -\pi$

5) Z: $G(j100) = \sqrt{Z_x^2 + F_y^2} \angle \arctan \frac{F_y}{F_x}$

* SADA SVE IMAMO! BODE SE SASTOJI OD AMPLITUDNE KARAKTERISTIKE $|G(j\omega)|$ I FAZNE KARAKTERISTIKE $\varphi(\omega_c)$. KAO ŠTO VIDIMO NAŠ GORNJI ZAPIS IMA OBJE KOMPONENTE KOJE SAMO MOŽEMO UKUCATI U BODEA

ZADAJEM SAM SEBI BROJEVE:

$$k = 2 = 2 \angle 0$$
$$F = 0.8 - j0.6 = 1 \angle -0.6435$$
$$L = -j = 1 \angle -\frac{\pi}{2}$$
$$D = -0.25 + j0 = 0.25 \angle -\pi$$
$$Z = -0.1 + j0.085 = 0.131 \angle 2.437$$

* PRETVARAM $|G(j\omega)|$ U LOGARITAMSKU SKALU

k $20 \lg 2) \approx 6 dB$

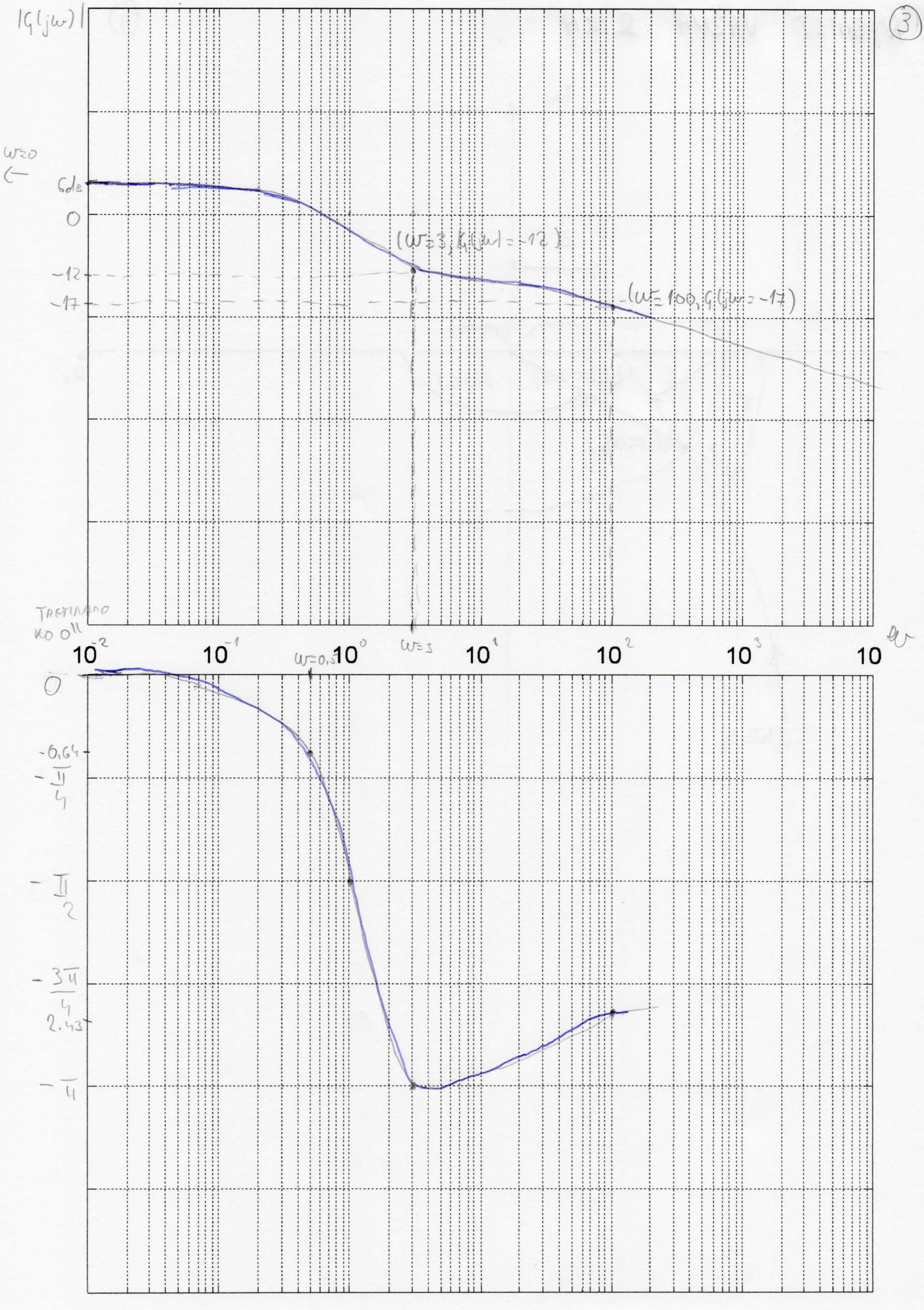
F $20 \lg 1 = 0$

L $20 \lg 1 = 0$

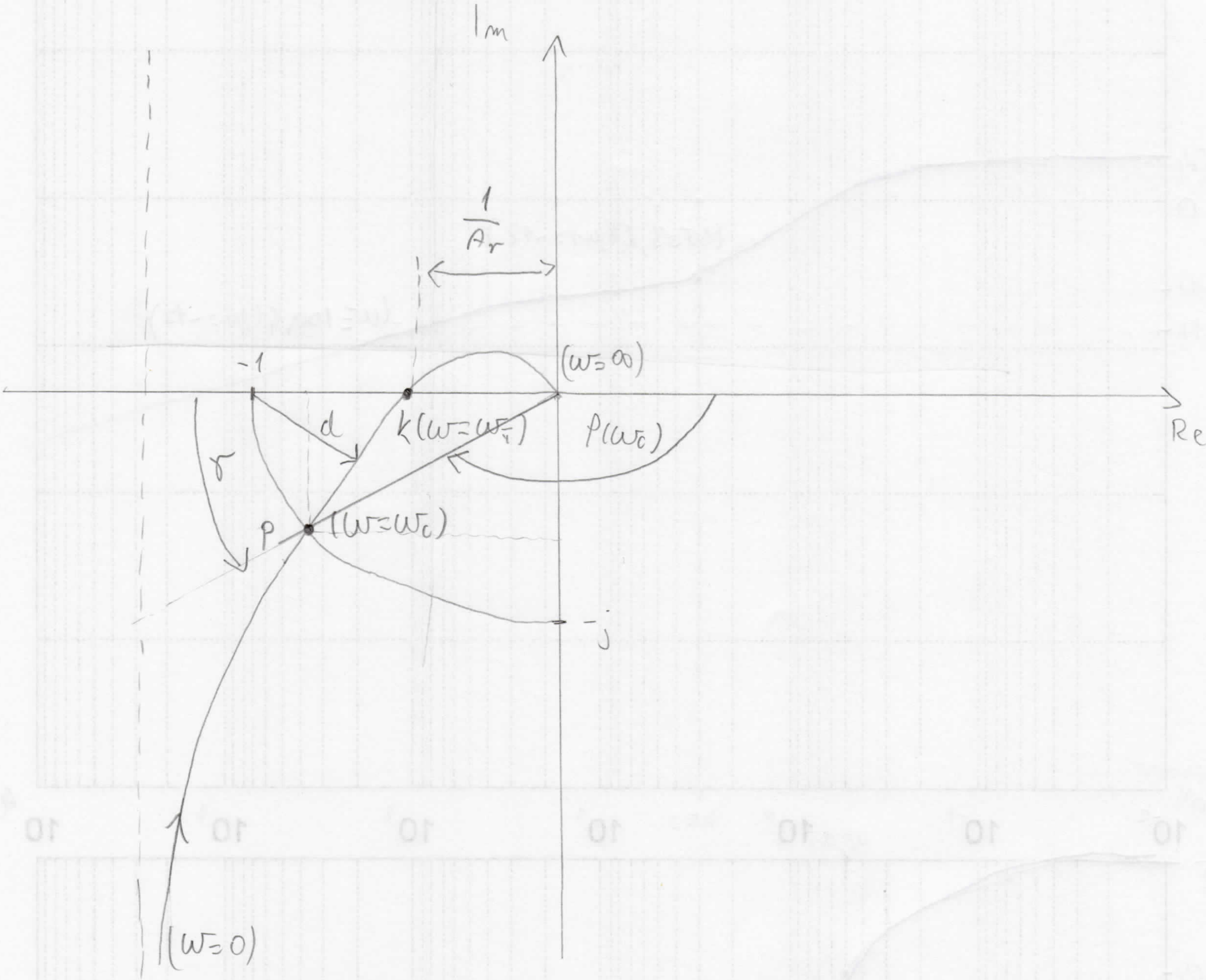
D $20 \lg 0.25 \approx -12$

Z $20 \lg 0.131 \approx -17.65$

* BODE NA LINIJU, MALO ČUDNO IZGLEDA, ALI TO JE JER SAM UZEO ČUDNE BROJEVE!

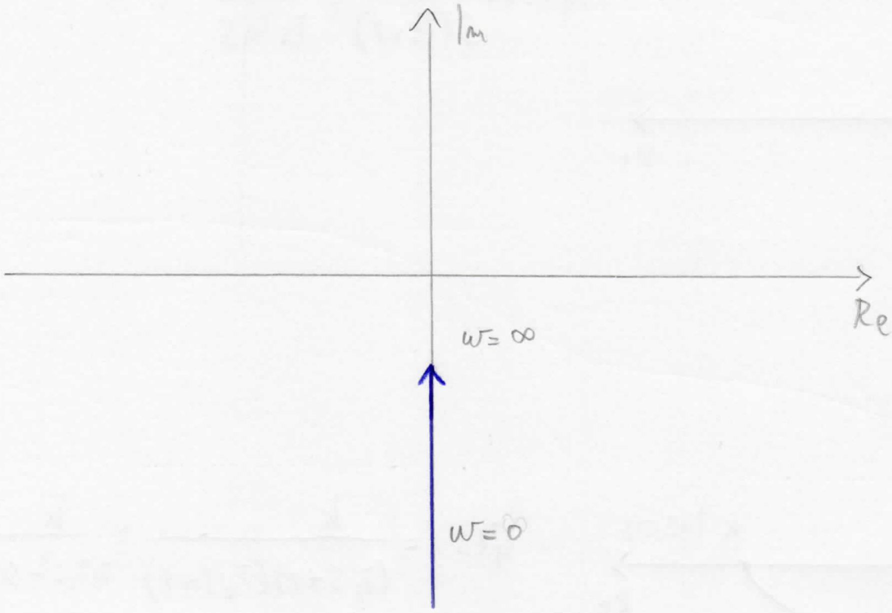

|G(jω)|
ω=0
6dB
0
-12
-17
(ω=3; G(jω)=-12)
(ω=100; G(jω)=-17)
TRETIRANO KO 0''
ω=3
ω=0.5
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10
ω
0
-0.64
-π/4
-π/2
-3π/4
2.43
-π

② NYQUIST VAŽNA SLIKA

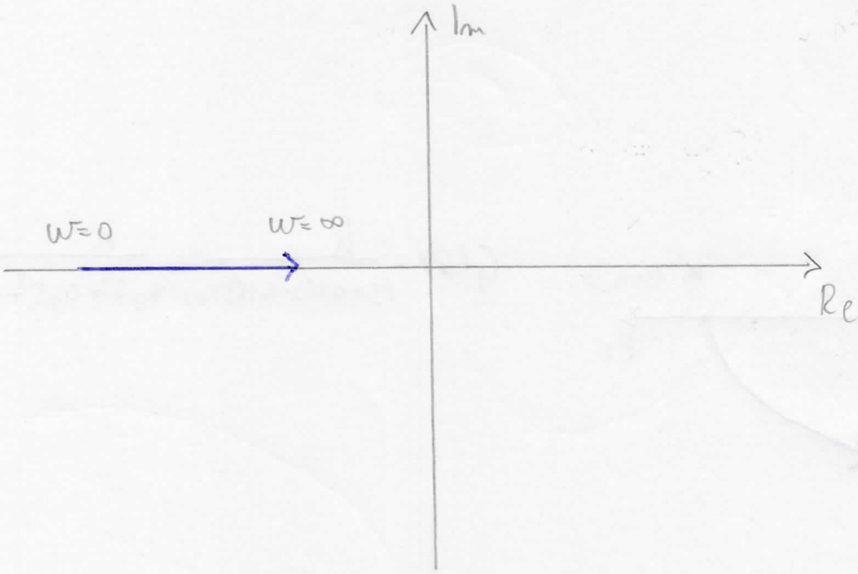


③ NYQUIST TIPIČNI ČLANOVI

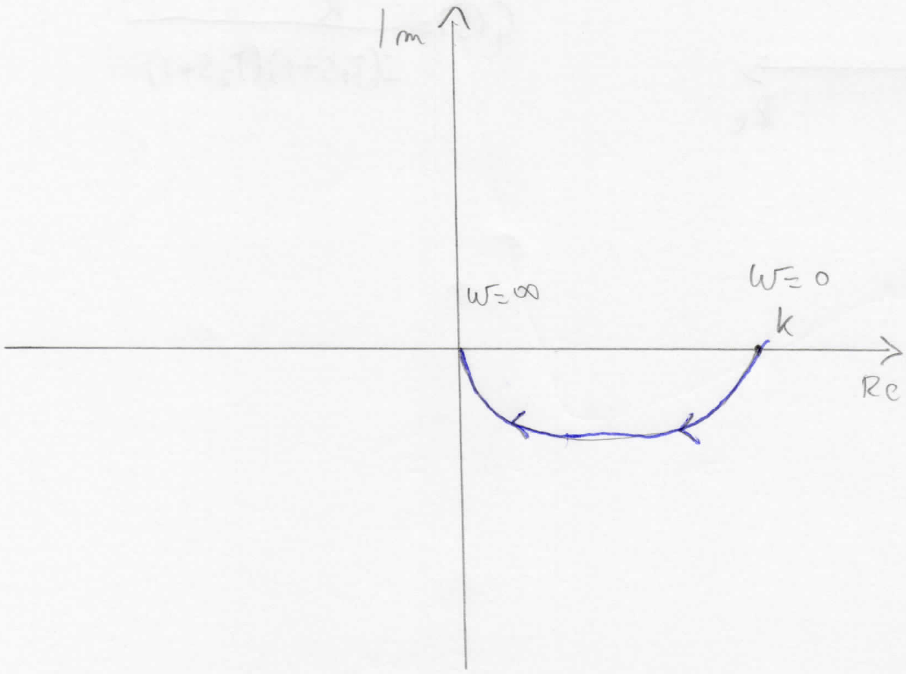
$G(s) = \frac{k}{s}$

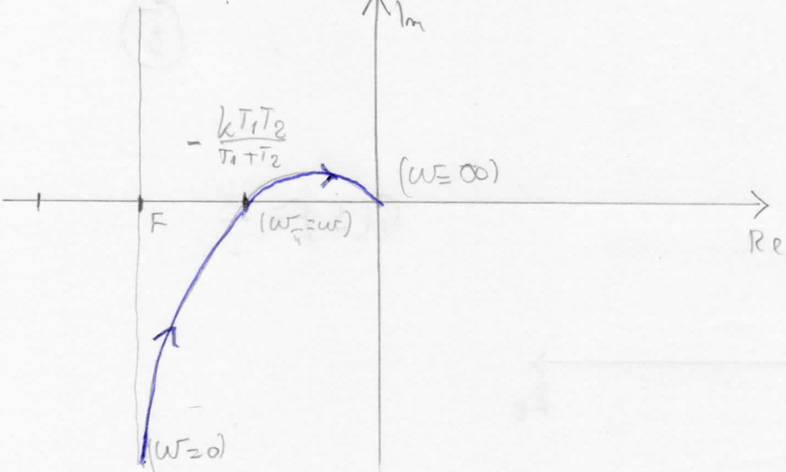


$G(s) = \frac{k}{s^2}$

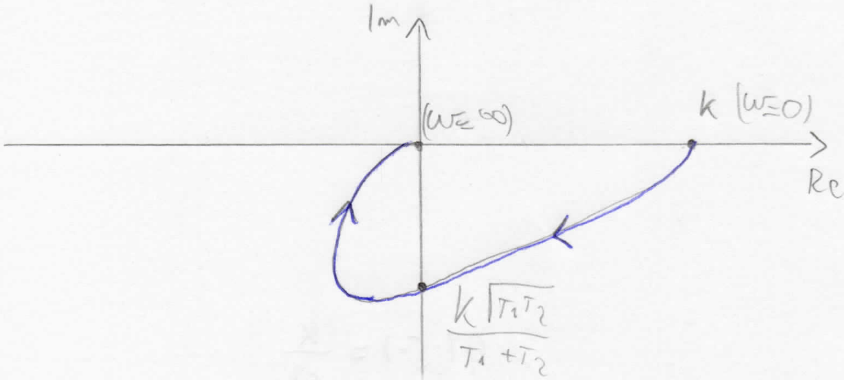


$G(s) = \frac{k}{Ts+1}$

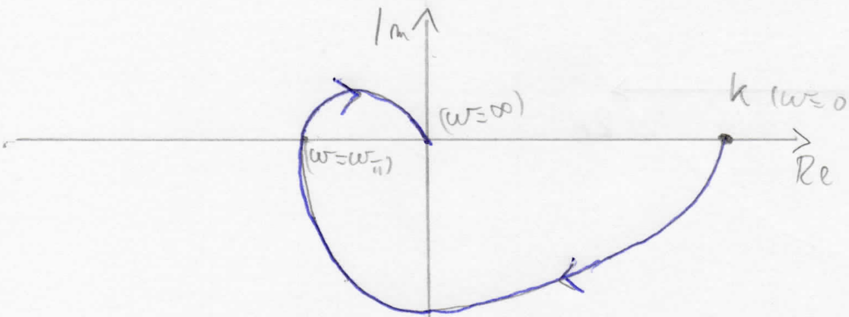




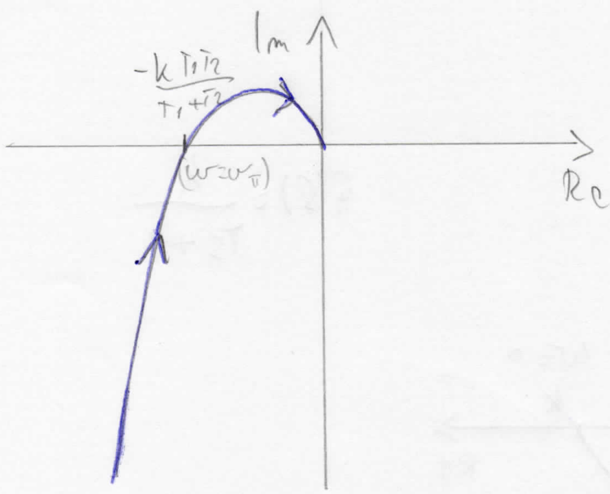
$$G(s)=\frac{k}{s(Ts+1)}=\frac{k}{Ts^2+s}$$



$$G(s)=\frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)}=\frac{k}{T_1T_2s^2+s(T_1+T_2)+1}$$



$$G(s)=\frac{k}{(s+a)(s+b)(s+c)}=\frac{k}{a_3s^3+a_2s^2+a_1s+1}$$



$$G(s)=\frac{k}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$$

4 PID REGULATORI

PID - PROPORCIONALNO - INTEGRALNO - DERIVACISKI REGULATOR

$$u(t) = \underbrace{K_r e(t)}_{P} + \underbrace{K_i \int_0^t e(\tau)\,d\tau}_{I} + \underbrace{K_d \frac{de(t)}{dt}}_{D}$$

$u(t)$ - UPRAVLJAČKI SIGNAL

$e(t)$ - REGULACISKO ODSTUPANJE

MOGUĆE KOMBINACIJE P, I, D, PI, PD, PID...

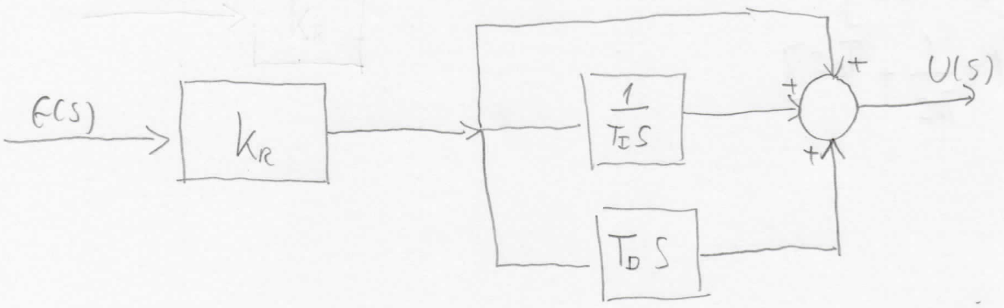
2 - IZVEDBE REGULATORA [SERIJSKA I PARALELNA]

PARALELNA IZVEDBA

$$G_{RP}(s) = K_r + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

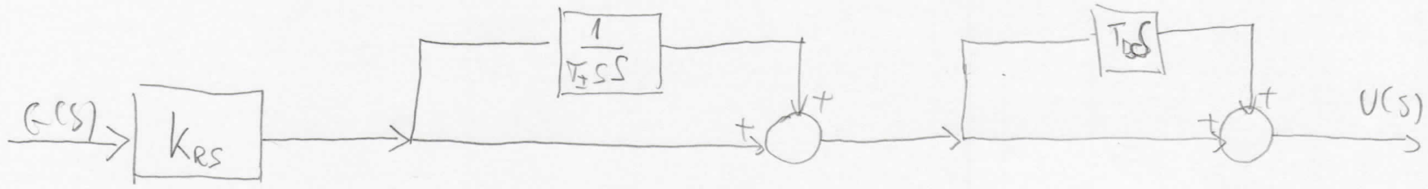
SUPSTITUCIJA $K_R = K_r$ $T_I = \frac{K_r}{K_i}$ $T_D = \frac{K_d}{K_r}$

$$G_{RP}(s) = K_R \left[1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right] \rightarrow \text{IDEALNI PID}$$



SERIJSKA IZVEDBA

$$G_{RS}(s) = K_{RS}\left[1 + \frac{1}{T_{IS} s}\right]\left[1 + T_{DS} s\right]$$



PARALELNO => SERIJSKA PRETVORBA

$$K_{RS} = \frac{C}{2} K_R \qquad T_{IS} = \frac{C}{2} T_I \qquad T_{DS} = \frac{C}{2} T_D$$

$$C = 1 + \sqrt{1 - \frac{4T_D}{T_I}}$$

SERIJSKO => PARALELNA PRETVORBA

UVJET: $T_I \geqslant 4 T_D$

$$K_R = K_{RS} \frac{T_{IS} + T_{DS}}{T_{IS}} \qquad T_{IS} = T_{IS} + T_{DS} \qquad T_D = \frac{T_{IS} \cdot T_{DS}}{T_{IS} + T_{DS}}$$

REALNI PID REGULATOR

$$G_{RR} = K_R \left[1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{1 + T_v s} \right] \qquad T_D = (5 \div 20) T_v$$

SERIJSKI REGULATORI [IDEALNI]

PI $\quad G_R(s) = K_R \left[1 + \frac{1}{T_{IS}} \right]$

PD $\quad G_R(s) = K_R \left[1 + T_D s \right]$

PID $\quad G_R(s) = K_R \left[1 + \frac{1}{T_{IS}} + T_D s \right]$

⋮

5 POSTUPCI PARAMETRIZIRANJA REGULATORA

1. ZIEGLER-NICHOLSONOVA METODA RUBA STABILNOSTI ZN1

– EKSPERIMENT U ZATVORENOM KRUGU

KUHARICA:

1. UGASIMO SVA DJELOVANJA OSIM PROPORCIONALNOG, NAŠ ZADANI PI, PID, P REGULATOR MIJENJAMO SA $G_R(s) = K_{KR}$
2. NAĐEMO RUB STABILNOSTI [NYQUIST, HURWITZ, BODE] OČITAMO K_{KR} I T_{KR}
3. PREMA TABLICI 12 FORMULA ODREDIMO PARAMETRE NAŠEG REGULATORA

PRIMJER PZI 2007 4.c) [NISAM RIJEŠIO U PRVOM SCANU]

* PRIJENOSNA FUNKCIJA DOBIVENA POD a)

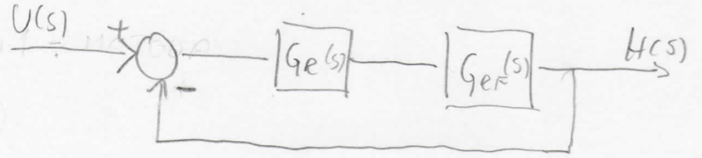
$$G_P(s) = \frac{H(s)}{X_v(s)} = \frac{5}{(1+0.1s)(1+125s)}$$

* ZADANA JE $G_{EMP}(s) = \dfrac{X_v(s)}{U(s)} = \dfrac{1}{T_i s} = \dfrac{1}{5s}$ $\quad T_i = 5$

* TRAŽI NAS REGULATOR RAZINE FLUIDA – REGULATOR JE P-TIPA

PRIJENOSNA ZA RAZINU FLUIDA $G_{RF}(s) = \dfrac{H(s)}{U(s)}$

$$H(s) = \frac{5 \cdot X_v(s)}{(1+0.1s)(1+125s)} = \frac{\frac{\cancel{5} \cdot 1 U(s)}{\cancel{5}s}}{(1+0.1s)(1+125s)} \Rightarrow \frac{H(s)}{U(s)} = G_{RF}(s) = \frac{1}{(1+0.1s)(1+125s)s}$$



$$\Rightarrow G_0(s) = \frac{K_{KR}}{s(1+0.1s)(1+125s)}$$

ZN1 – METODA

1. GASIMO SVE U REGULATORU OSIM $K_{KR} \Rightarrow G_R(s) = K_{KR}$
2. TRAŽIMO RUB STABILNOSTI [JA ĆU PREKO HURWITZA]

$$L = 1 + G_0 = 0$$

$$s\left[12.5s^2 + 125.1s + 1\right] + K_{KR} = 0$$

$$12.5s^3 + 125.1s^2 + s + K_{KR} = 0$$

I) $K_{KR} > 0$

II) $\begin{vmatrix} 1 & K_{KR} \\ 12.5 & 125.1 \end{vmatrix} = 125.1 - 12.5 K_{KR} > 0$

$K_{KR} \leq 10$

$k \in [0, 10]$

GLEDAMO GDJE SUSTAV DAJE OSCILACIJE $G_Z(S) = \dfrac{K_{KR}}{\underbrace{12.5S^3 + 125.1S^2 + S + K_{KR}}_{\text{GLEDAMO POLOVE ZA } K_{KR}=0}}$

$K_{KR} = 10$

K_{KR} - ZBOG POLOVA DAJE OSCILATORAN ODZIV

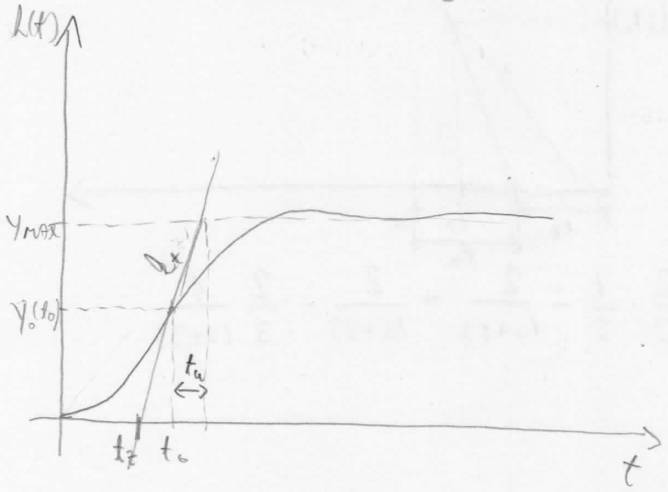
③ UZMEMO TABLICE

ZN1 -> P -> $K_R = 0.5 K_{KR} = \frac{10}{2} = 5$

$\boxed{K_R = 5}$

② ZN2-METODA - ZIEGLER NICHOLSOVA METODA PRIJELAZNE FUNKCIJE

- ZN2 METODA SE RADI OTVORENI REGULACIJSKI KRUG
- TOČKA INFLEKSIJE $h(t)$ JE MJESTO GDJE VRIJEDI $h_p''(t_0)=0$
- VRIJEME ZADRŽAVANJA t_z JE MJESTO GDJE TANGENTA SIJEČE t-OS



JED. TANGENTE

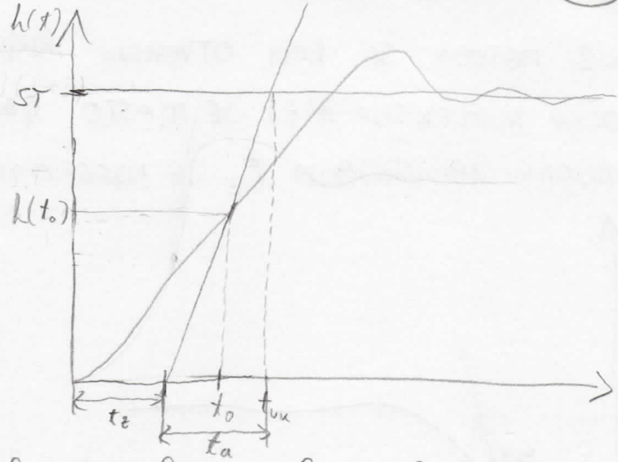
$$y-y_0(t_0)=h_t(t-t_0)$$

KUHARICA:

1. PRETVORITI $G_0(s)$ U $H(s)$ $\left[\frac{1}{s}\cdot G_0(s)=H(s)\right]$
2. VRATITI U VREMENSKU DOMENU $H(s) \circ\!\!-\!\!\bullet\, h(t)$
3. DERIVIRATI DVA PUTA $[h''(t_0)=0]$ IZ TOGA IZVUĆI t_0
4. UVRSTITI DOBIVENI t_0 U $h'(t)$ $[h'(t_0)=h_t]$
5. UVRSTITI t_0 U $h(t)$ $[h(t_0)=y_0(t_0)]$
6. NAPISATI JED. TANGENTE $[y-y_0(t)=h_t(t-t_0)]$
7. NAĆI STACIONARNO STANJE OD $H(s)$ PREKO LIMESA
8. NAĆI t_z KAO NULTOČKU PRAVCA TANGENTE
9. NAĆI t_a KAO $[y_{max}-y_0(t)=h_t[(t_z+t_a)-t_0]$
10. POMOĆU TABLICE ODREDITI PARAMETRE REGULATORA

PRIMJER - MIŠKOVIĆ AUDITORNE LJETO 2011

$$G_o(S) = \frac{4}{(S+1)(S+2)(S+3)}$$



(1) PRETVARAMO $G_o(S)$ U $H_o(S)$

$$H(S) = \frac{4}{S(S+1)(S+2)(S+3)}$$

(2) VRAĆAMO U VREMENSKU DOMENU

$$H(S) = \frac{C_{11}}{S} + \frac{C_{21}}{(S+1)} + \frac{C_{31}}{(S+2)} + \frac{C_{41}}{(S+3)} \Rightarrow H(S) = \frac{2}{3}\cdot\frac{1}{S} - \frac{2}{(S+1)} + \frac{2}{(S+2)} - \frac{2}{3}\frac{1}{(S+3)}$$

$$h(t) = \frac{2}{3} - 2e^{-t} + 2e^{-2t} - \frac{2}{3}e^{-3t}$$

(3) DERIVIRAMO DVA PUTA $h'(t)$ $h''(t)$ I TRAŽIMO t_0 IZ $h''(t_0)=0$

$$h'(t) = 2e^{-t} - 4e^{-2t} + 2e^{-3t}$$

$$h''(t) = -2e^{-t} + 8e^{-2t} - 6e^{-3t}$$

$$h''(t_0) = 0 \quad ; \quad e^{-t} = x$$

$$-2x + 8x^2 - 6x^3 = 0$$

$$x_1 = 1 \quad x_2 = \frac{1}{3} \quad x_3 = 0 \Rightarrow \quad 1)\ e^{-t} = 1 \quad 2)\ e^{-t} = \frac{1}{3} \quad 3)\ e^{-t} = 0$$

$$t_0 \cancel{=} 0 \qquad t_0 = \ln 3 \qquad e^{-t} \cancel{=} 0$$

(4) UVRŠTAVAMO t_0 U $h'(t)$

$$h'(t_0) = \frac{8}{27} = k_t$$

(5) UVRŠTAVAMO t_0 U $h(t)$

$$h(t_0) = \frac{16}{81}$$

(6) PIŠEMO JED. TANGENTE

$$h - h(t_0) = k_t(t - t_0) \Rightarrow h - \frac{16}{81} = \frac{8}{27}\left[t - \ln 3\right]$$

(7) TRAŽIMO STACIONARNO STANJE [S.T.]

$$\lim_{s\to 0} SH_o(S) = \lim_{s\to 0} G_o(S) = \frac{4}{\cancel{6}} = \frac{2}{3} = k_s$$

(8) TRAŽIMO t_z KAO NULTOČKU TANGENTE

$$0 - \frac{16}{81} = \frac{8}{27}\left[t_z - \ln 3\right] \Rightarrow t_z = 0{,}4319$$

(9) TRAŽIMO t_u KAO MJESTO GDJE TANGENTA SJEČE S.T.

$$\frac{2}{3} - \frac{16}{81} = \frac{8}{27}\left[(t_u + t_z) - \ln 3\right] \Rightarrow t_u = 2{,}25$$

(10) UVRŠTAVAMO BROJEVE U TABLICU

$$k_R = \frac{1{,}2\, t_u}{t_z\, k_s} = 9{,}377$$

$$T_I = 0{,}8638$$

$$T_D = 0{,}21595$$

$$G_R(S) = 9{,}37\left[1 + \frac{1}{0{,}86S} + 0{,}22 T_D S\right]$$

(3) INTEGRALNI KRITERIJI

ISE KRITERIJ

$$I = \int_0^\infty \left[e(t) - e_\infty\right]^2 dt = I\left[\tau_1, \tau_2 \ldots \tau_n\right]$$

(1) TREBAMO PRONAĆI REGULACIJSKO ODSTUPANJE U DONJEM PODRUČJU

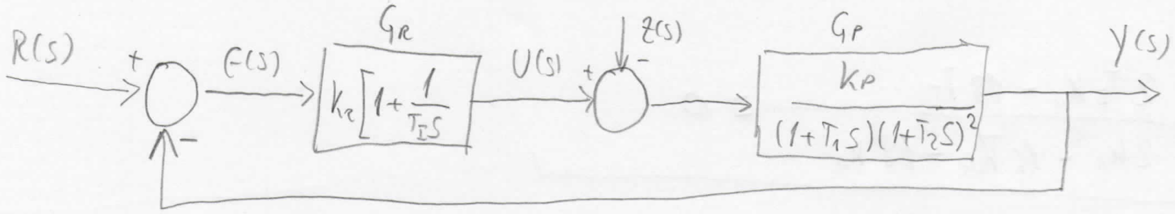
$$E(s) = \frac{C(s)}{D(s)} = \frac{c_0 + c_1 s + \ldots + c_{m-1} s^{m-1}}{d_0 + d_1 s + \ldots d_m s^m}$$

(2) ONDA FORMIRAMO I FUNKCIJU PREMA SLUŽBENOM ŠALIĆU

(3) TRAŽIMO PARCIJALNE DERIVACIJE

PRIMJER SKRIPTA MALBERT

ODREDI PI REGULATOR : $K_P = 1$; $T_1 = 0{,}5\,[s]$; $T_2 = 1\,[s]$



(1) ODREDI REGULACIJSKO ODSTUPANJE

$$E(s) = -Y(s)$$

$$E(s) = -\left[\left(E(s)\cdot G_R - Z(s)\right)\cdot G_P\right]$$

$$E(s) = \frac{Z(s)\cdot G_P(s)}{1 + \underbrace{G_R(s)\,G_P(s)}_{G_0}} = \frac{K_P T_i}{T_1 T_I T_2^2 s^4 + s^3\left[T_I T_2^2 + 2T_1 T_2 T_I\right] + s^2\left[2T_2 T_I + T_1 T_I\right] + s\left[T_I + K_R K_P T_I\right] + K_R K_P}$$

OČITO NAŠ E(s) IZGLEDA $E(s) = \dfrac{c_0 + c_1 s + c_2 s^2 + c_3 s^3}{d_0 + d_1 s + d_2 s^2 + d_3 s^3 + d_4 s^4}$

$c_0 = K_P T_i \quad c_1 = 0 \quad c_2 = 0 \quad c_3 = 0$

$d_0 = K_R K_P \quad d_1 = T_I K_R K_P + T_I \quad d_2 = T_1 T_I + 2T_2 T_I \quad d_3 = T_2^2 T_I + 2T_1 T_2 T_I \quad d_4 = T_1 T_I T_2^2$

(2) OČITAMO IZ TABLICE FORMULU ZA ISE KRITERIJ REDA $n=4$

$$I_{3,4} = \frac{(k_P T_I)^2 \left[-(T_I k_R k_P + T_I) \cdot (T_1 T_2^2 T_I)^2 + (T_1 T_I + 2 T_2 T_I)(T_2^2 T_I + 2 T_1 T_2 T_I)(T_1 T_I T_2^2) \right.}{2 \cdot k_R k_P \cdot T_1 T_I T_2^2 \left[-k_R k_P \cdot (T_2^2 T_1 + 2 T_1 T_2 T_1)^2 - (T_I k_R k_P + T_I)^2 T_1 T_I T_2^2 + \underbrace{d_1 d_2 d_3}_{\text{NE STANE ;)}} \right.}$$

UVRSTIMO BROJEVE I SREDIMO

$$I_{3,4} = \frac{(k_R - 9) T_I^2}{2 k_R \left[k_R^2 T_I + 8 k_R - 8 k_R T_I - 9 T_I \right]}$$

(3) PARCIJALNO DERIVIRAMO PO NEPOZNANICAMA I IZJEDNAČIMO SA 0

$$\frac{\partial I_{3,4}}{\partial k_R} = \frac{T_I^2}{6 k_R^2 T_I + 32 k_R - 32 k_R T_I - 18 T_I} = 0$$

$$\frac{\partial I_{3,4}}{\partial T_I} = \frac{2 T_I k_R - 18 T_I}{2 k_R^3 - 16 k_R - 18 k_R} = 0$$

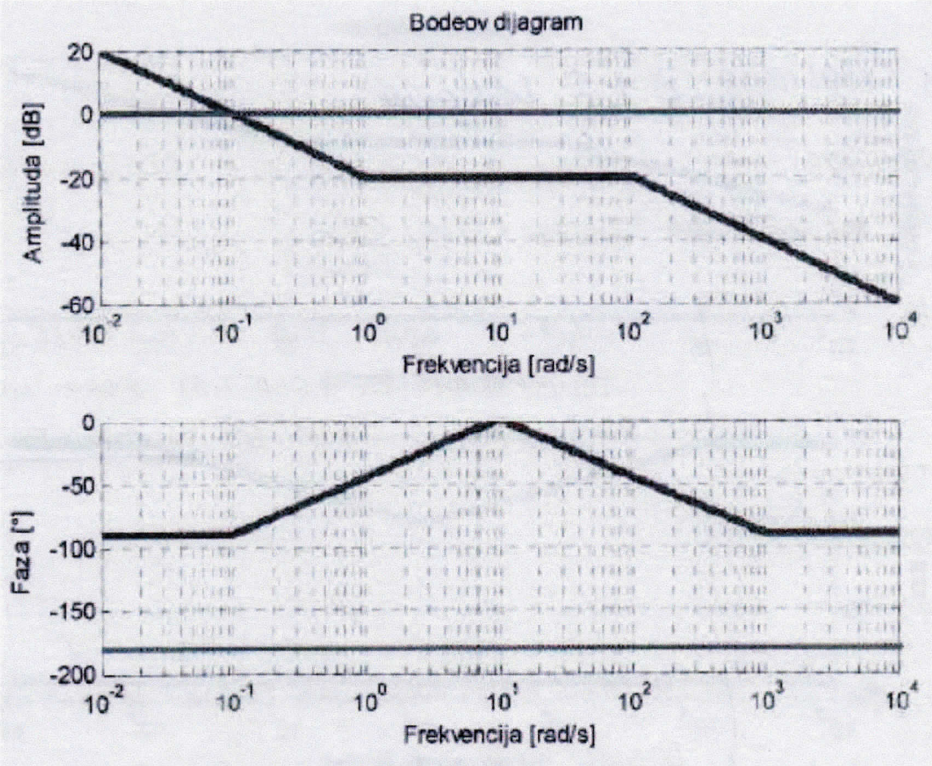
* RIJEŠIMO GORNJI SUSTAV S DVIJE JED. I DVIJE NEPOZNANICE

$k_R = 1.85 \quad T_I = 1.5$

$$G_R(s) = 1.85 \left[1 + \frac{1}{1.5} \right]$$

* PARAMETRIZIRALI SMO PI REGULATOR PO ISE KRITERIJU

6 ČITANJE PRIJENOSNE IZ BODEA



(1) GLEDAMO AMPLITUDNU KARAKTERISTIKU

- KOJI SVE OSNOVNI ČLANOVI DJELUJU
- DJELUJE $\frac{1}{S}$ JER BODE PADA OD BESKONAČNOSTI $[20 \log \omega]$
- DJELUJE $(1 \pm S)$ NULA JER SE U 10^0 PONIŠTAVA DJELOVANJE $\frac{1}{S}$ ČLANA $[20 \log \sqrt{1+\omega^2}]$
- DJELUJE $\left(1 \pm \frac{S}{100}\right)$ JER NAKON $\omega = 10^2$ BODE OPET PADA $\left[20 \log \sqrt{1+\frac{\omega^2}{100^2}}\right]$
- DJELUJE POJAČANJE OD -20dB JER JE CIJELI BODE SPUŠTEN ZA -20

PRIJENOSNA JE OBLIKA

$$G(S) = \frac{(1 \pm S)\,K}{S\left[1 \pm \frac{S}{100}\right]} \qquad 20 \log(k) = -20 \Rightarrow k = 0.1$$

(2) GLEDAMO SAMO FAZU

- $\frac{1}{S}$ PRIDONOSI DA FAZA POČINJE IZ $-\frac{\pi}{2}$ $[90°]$
- NA FREKVENCIJI 10^{-1} POČINJE DJELOVATI NULA I FAZA RASTE $\arctan \frac{\pm \omega}{1}$ POŠTO RASTE $\arctan$ JE POZITIVAN NAŠA NULA JE POZITIVNA +

= NA FREKVENCIJI 10^1 NULA SE GASI, ALI NAŠA FAZA SE NE IZRAVNAVA NEGO POČINJE PADATI JER SE UPALIO POL $-\arctan \frac{\omega}{100}$ PA ZAKLJUČUJEMO DA JE POL POZITIVAN +

3) NA KRAJU RJEŠA PRIJELAZNA FUNKCIJA IZGLEDA

$$G(s)=\frac{0.1(s+1)}{s\left[1+\frac{s}{100}\right]}=\frac{1+s}{s[100+s]}$$

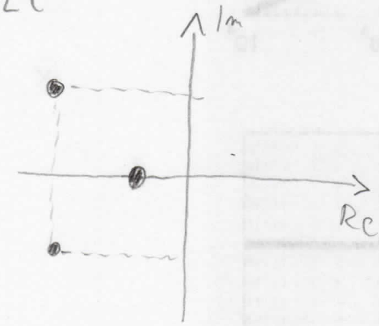
7) POKAZATELJI KVALITETE Z I S DOMENA

- POKAZATELJI KVALITETE NAM INDIREKTNO GOVORE O STABILNOSTI SUSTAVA

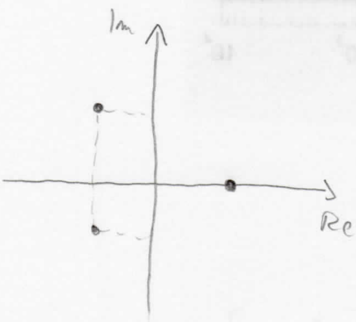
UTJECAJ NULA I POLOVA NA SUSTAV $G(s)=\frac{NULE}{POLOVI}$

1) NULE

I)



SUSTAV KOJI IMA SVE NULE U LIJEVOJ POLURAVNINI TJ. NEMA NITI JEDNU NULU U DESNOJ POLURAVNINI ZOVE SE MINIMALNO FAZNI SUSTAV



SUSTAV KOJI POSJEDUJE BAREM JEDNU NULU U DESNOJ POLURAVNINI ZOVE SE NEMINIMALNO FAZNI SUSTAV

- STABILAN NEMINIMALNO FAZNI SUSTAV IMA FAZNU KARAKTERISTIKU KOJA JE UVIJEK MANJA OD ODGOVARAJUĆE KARAKTERISTIKE MINIMALNO FAZNOG SUSTAVA

II) DOMINANTNOST

- DOMINANTNIJE SU ONE NULE KOJE SU BLIŽE IMAGINARNOJ OS-I. TO ZNAČI DA JE NJIHOV UTJECAJ NA SUSTAV VEĆI

III) UTJECAJ NA SUSTAV

NULA LIJEVO $+PT_2$

- NULA U LIJEVOJ POLURAVNINI UBRZAVA PRIJELAZNU POJAVU, STVARA NADVIŠENJE ŠTO JE BLIŽE POLU, NADVIŠENJE JE VEĆE, UDALJAVANJEM UTJECAJ NULE IŠČEZAVA

NULE DESNO $+PT_2$

- NEPARAN BROJ NULA U DESNOJ POLURAVNINI STVARA PODBAČAJ ŠTO JE NULA BLIŽE jw TO JE PODBAČAJ VEĆI

2) POLOVI

I) - SUSTAV JE STABILAN AKO SU MU SVI POLOVI U LIJEVOJ POLURAVNINI

- STABILNOST SUSTAVA UVJETOVANA JE POLOVIMA

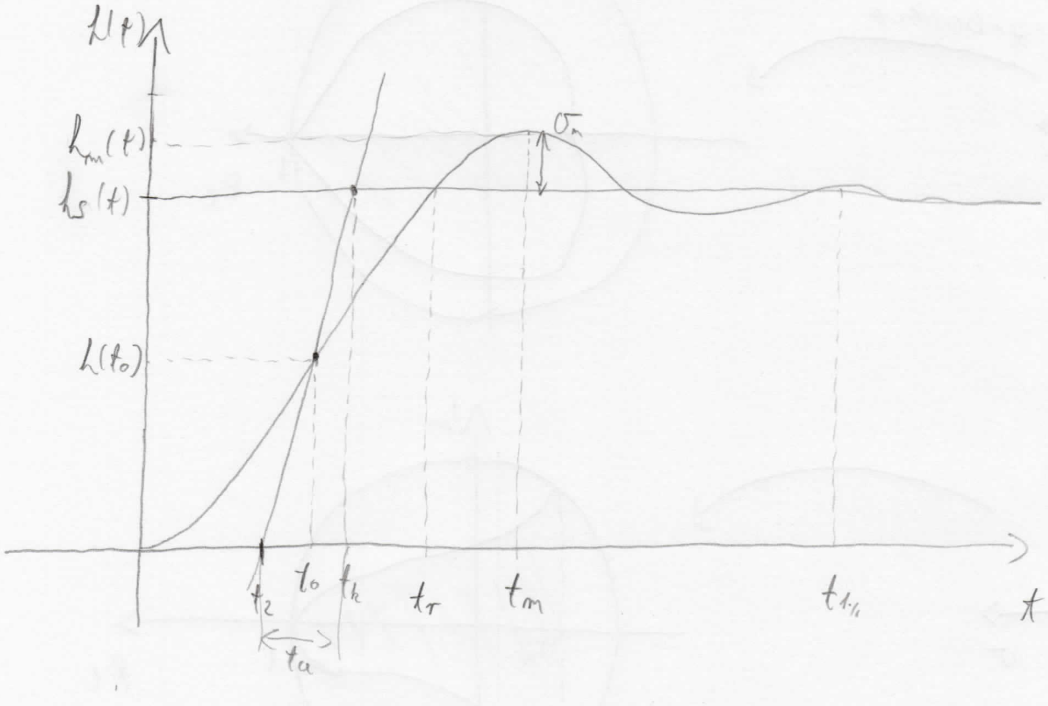
II) DOMINANTNOST

- ŠTO JE POL BLIŽE $j\omega$-OSI TO JAČE UTJEČE NA SUSTAV

III) UTJECAJ NA SUSTAV

- AKO JE POL REALAN ONDA UTJEČE NA VRIJEME DOSTIZANJA USTALJENOG STANJA [ŠTO JE BLIŽE $j\omega$ TO ODZIV SPORIJE RASTE]
- AKO SUSTAV IMA KONJUGIRANO-KOMPLEKSNI PAR POLOVA ONDA JE SUSTAV OSCILATORAN TJ. ODZIV MU IMA HARMONIČKA TITRANJA [PT_2S]

POKAZATELJI KVALITETE PT_2S ČLANA



σ_m - MAKSIMALNO NADVIŠENJE

t_m - VRIJEME PRVOG MAKSIMUMA

t_r - VRIJEME RASTA

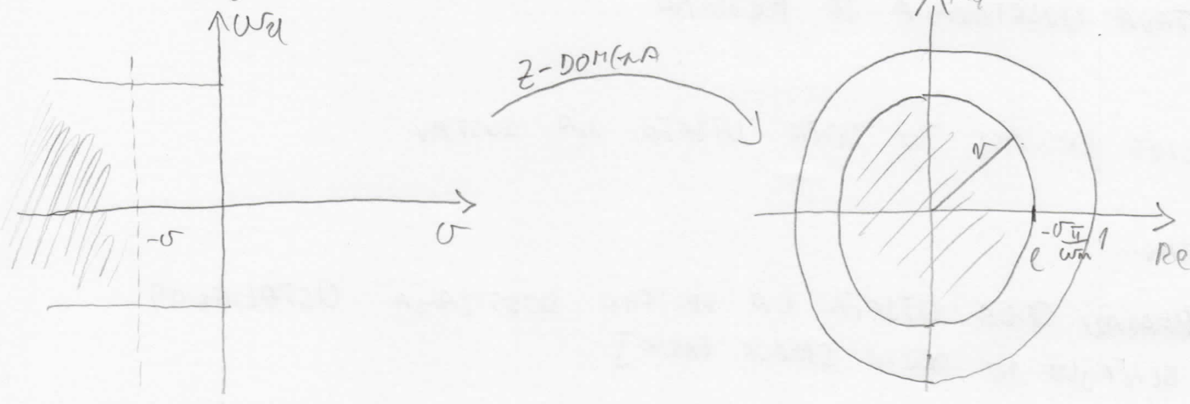
$t_{1\%}$ - VRIJEME USTALJIVANJA

t_a - VRIJEME PORASTA

t_z - VRIJEME ZADRŽAVANJA

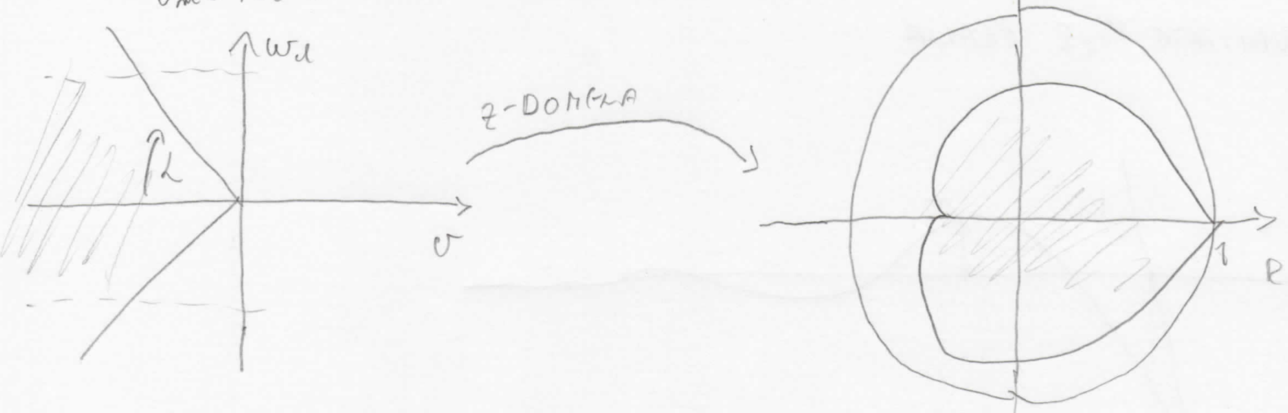
PARAMETRIZIRANJE POLOVA SUSTAVA S OBZIROM NA POKAZATELJE KVALITETE

$t_{1\%} = \frac{4.6}{\sigma}$ 1) VRIJEME USTALJIVANJA

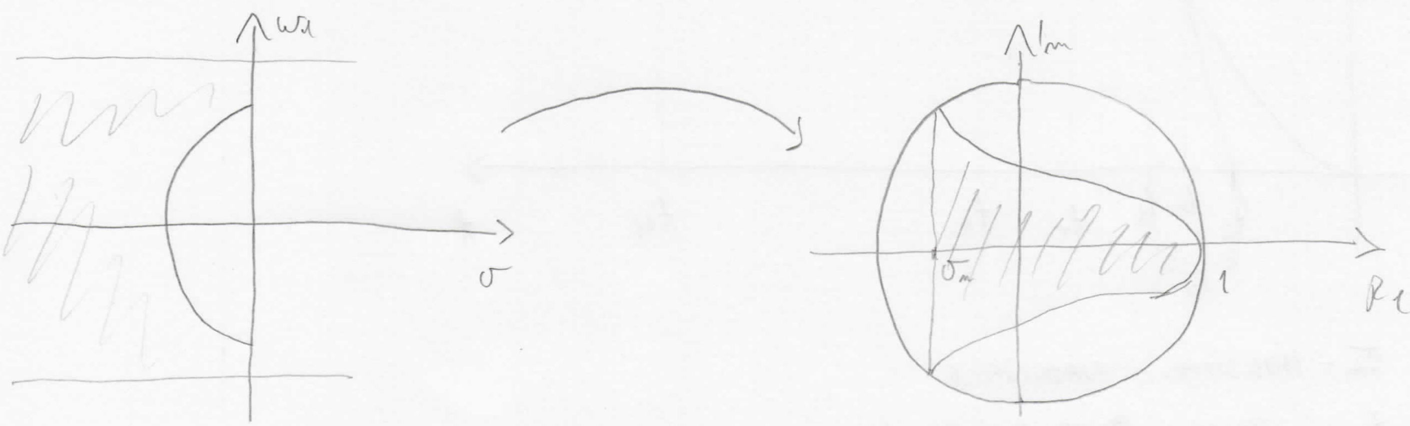


2) NADVIŠENJE

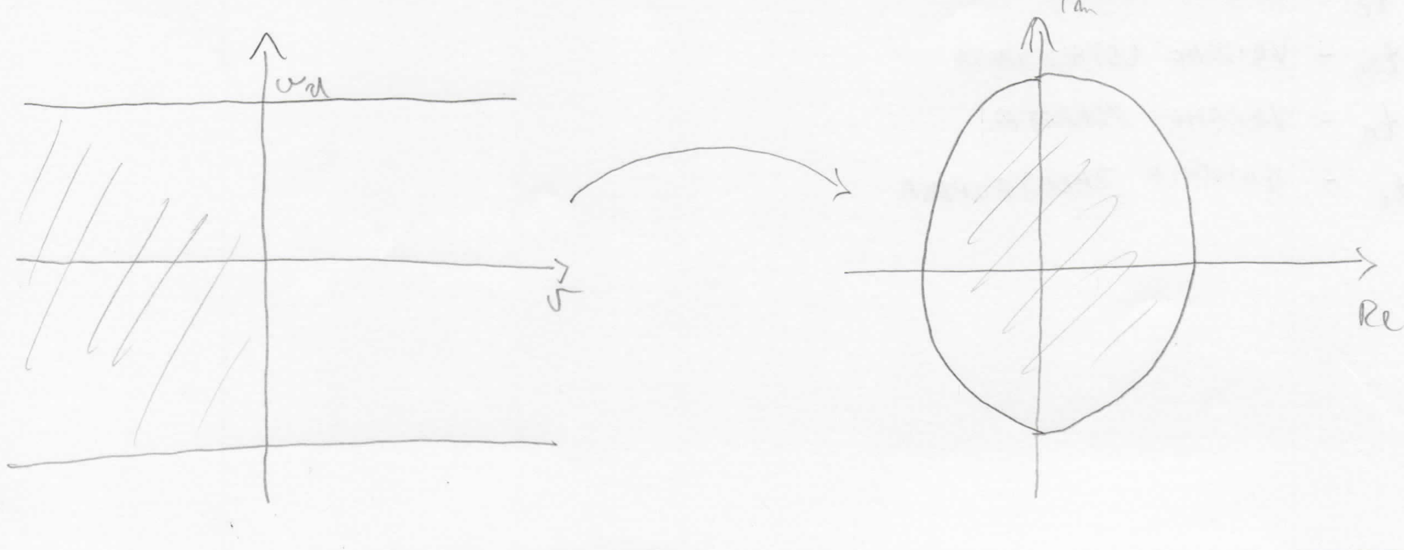
$\sigma_m = 100\, e^{-\frac{\pi \varepsilon}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}}$ $\angle = \arccos \varepsilon$



3) VRIJEME RASTA t_r



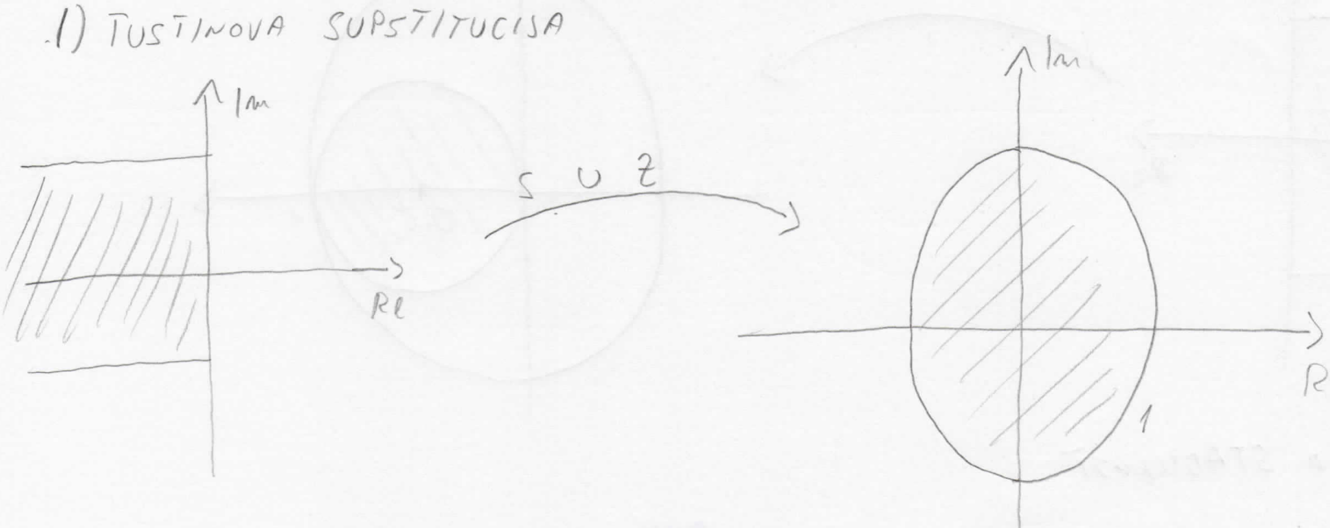
4) VRIJEME PRVOG MAKSIMUMA



8 DISKRETIZACIJA

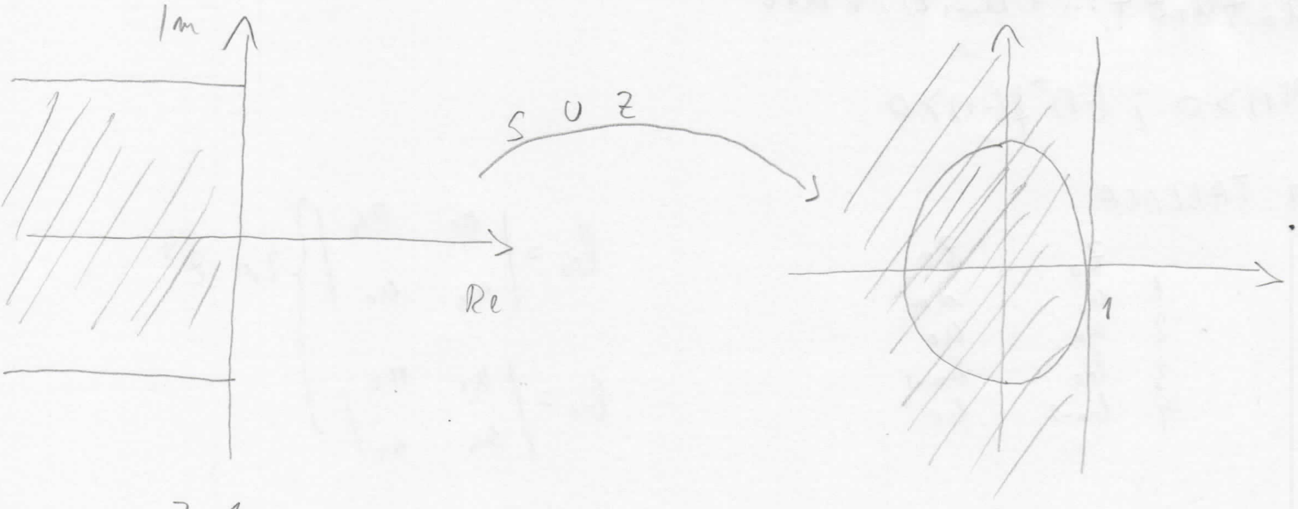
- SAMO ĆU POKAZATI KAKO SE PRESLIKAVAJU POLOVI S ODREĐENIM DISKRETIZACIJAMA

1) TUSTINOVA SUPSTITUCIJA



$$s = \frac{2}{T}\,\frac{z-1}{z+1}$$

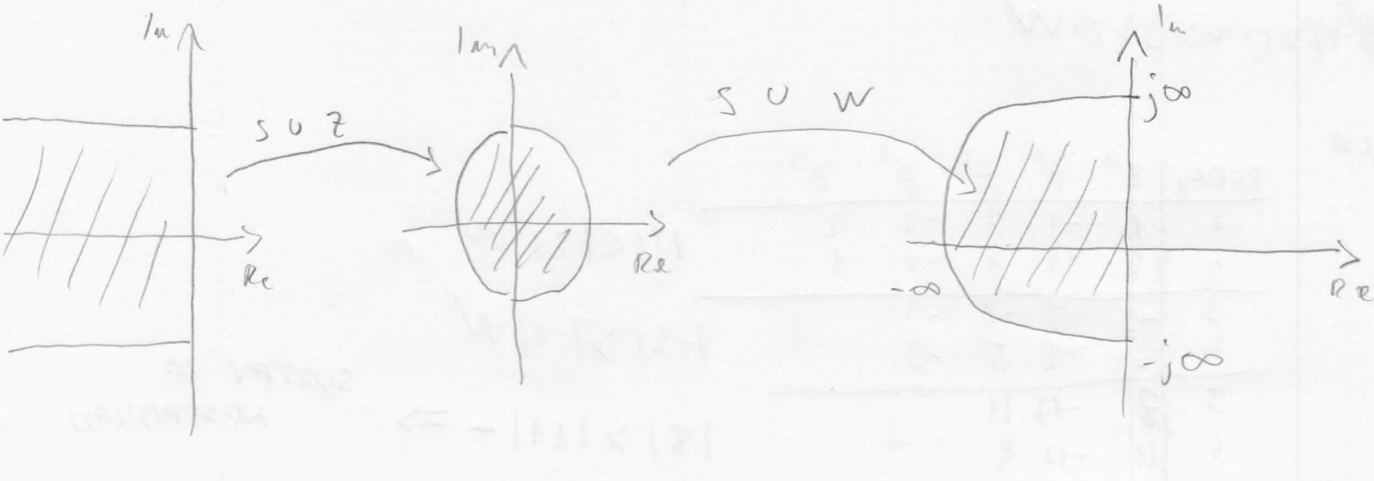
2) EULEROVA UNAPRIJEDNA DIFERENCIJA



$$s = \frac{z-1}{T}$$

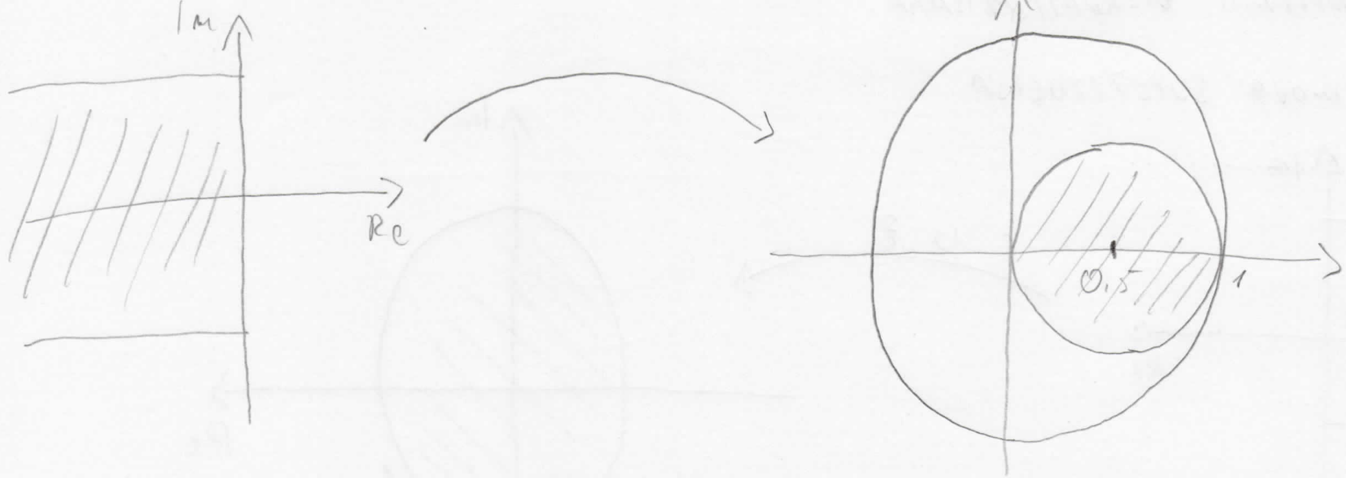
- NE ČUVA STABILNOST SUSTAVA

3) BILINEARNA TRANSFORMACIJA



4) EULEROVA UNAZADNA

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T}$$



– ZADRŽAVA STABILNOST

9 JURYEV KRITERIJ I HURWITZ U DISK.

1) $f(z) = 1 + G_0 = 0$; KAO KOD HURWITZA SAMO SA Z-OVIMA

$$f(z) = a_0 + a_1 z + \ldots + a_{m-1} z^{m-1} + a_m z^m$$

UVJETI: $f(1) > 0$; $(-1)^m f(-1) > 0$

2) JURYEVA TABLICA

	z_0	....	z_m
1	a_0	....	a_m
2	a_m		a_0
3	b_0		b_{m-1}
4	b_{m-1}		b_0
⋮			

$$\left.\begin{array}{l} b_0 = \begin{vmatrix} a_0 & a_4 \\ a_4 & a_0 \end{vmatrix} \\ b_1 = \begin{vmatrix} a_0 & a_3 \\ a_4 & a_1 \end{vmatrix} \end{array}\right\} \text{ZA } z^4$$

PRIMJER

$$f(z) = 1 - z + 2z^2 - 3z^3 + 2z^4$$

1) $f(1) > 0 \Rightarrow 1 > 0$ ✓

$(-1)^4 \cdot f(-1) > 0 \Rightarrow 9 > 0$ ✓

2) TABLICA

REDAK	z^0	z^1	z^2	z^3	z^4
1	1	-1	2	-3	2
2	2	-3	2	-1	1
3	-3	5	-2	-1	
4	-1	-2	5	-3	
5	8	-17	11		
6	11	-17	8		

$|1| < |2|$ ✓

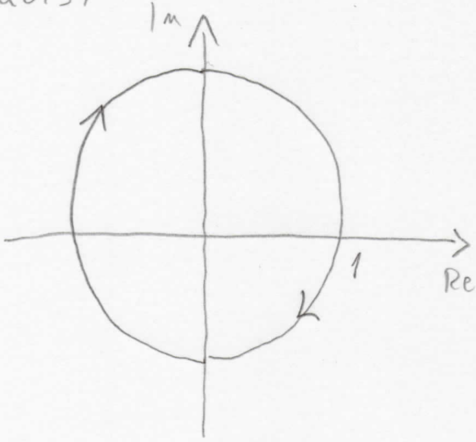
$|-3| > |-1|$ ✓

$|8| > |11| \Rightarrow$ SUSTAV JE NESTABILAN

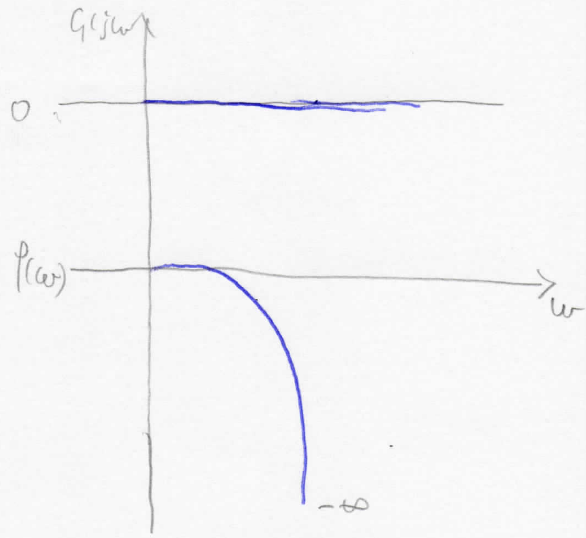
10 VRIJEME KAŠNJENJA

e^{sT_t}

NYQUIST

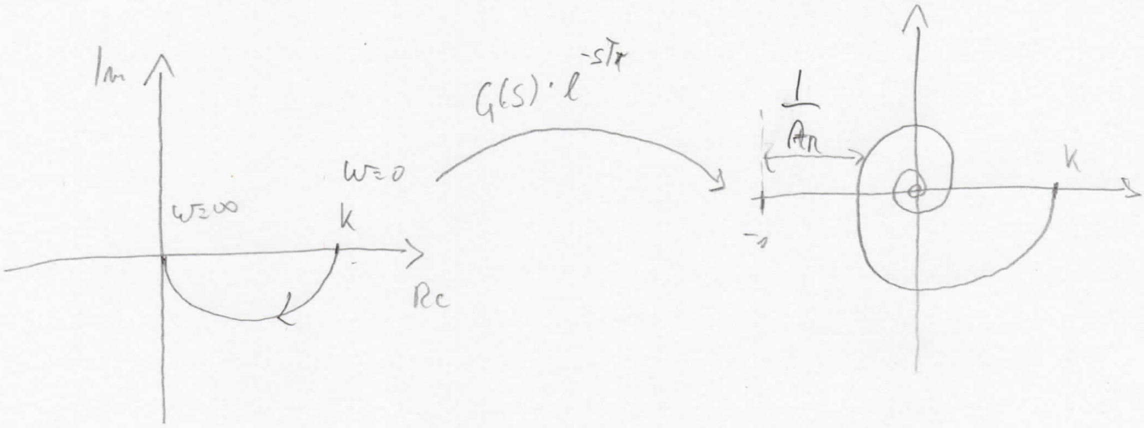


BODE



VRIJEME KAŠNJENJA POKUŠAVA NYQUISTA ZAVRTITI U KRUG

$$G(s)=K_R\,\frac{1}{Ts+1}\qquad\qquad G(s)=K_R\,\frac{e^{-sT_t}}{Ts+1}$$



11 STATIČKO PONAŠANJE DISKRETNIH SUSTAVA

$$\left.\lim_{z\to1}\frac{z-1}{z}\cdot H(z)=\lim_{z\to1}G(z)\right\}\ \text{STATIČKO PONAŠANJE}$$

ODSTUPANJE

$$\epsilon(z)=\lim_{z\to1}\frac{z-1}{z}\,E(z)$$

* KRAJ

SITNICE: