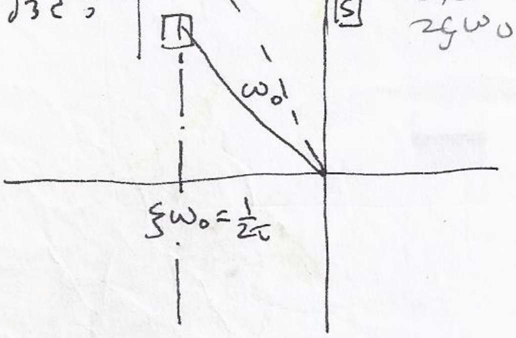
קטבים בחוג סגור:

$$\bar{G} = \frac{G}{1+GH} = \frac{\frac{KC}{s(\tau s+1)}}{1+\frac{KC}{s(\tau s+1)}} = \frac{KC}{\tau s^2 + s + KC}$$

$$\Delta(s) = s^2 + \underbrace{\tfrac{1}{\tau}}_{2\xi\omega_0} s + \underbrace{\tfrac{KC}{\tau}}_{\omega_0^2} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{KC}{\tau}}$$

הגבר $k_v \triangleq KC$



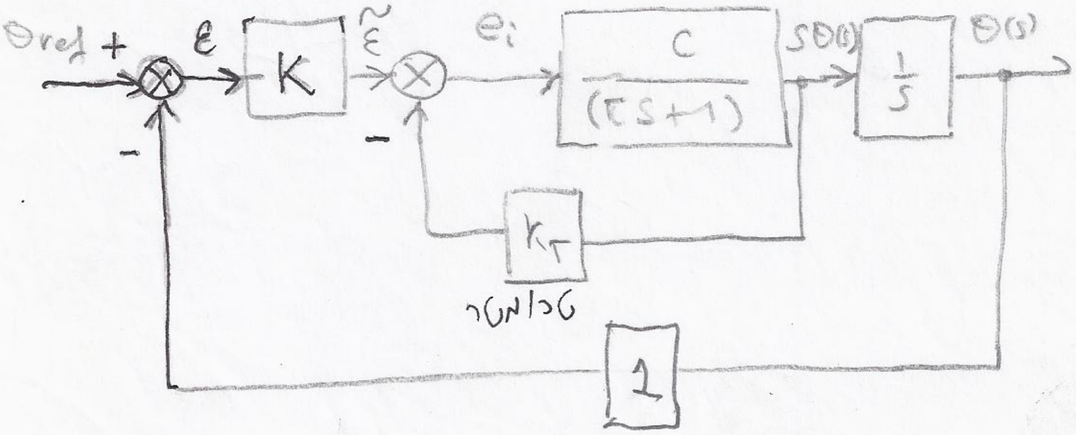
$$2\xi\omega_0 = \frac{1}{\tau} \Rightarrow \xi\omega = \frac{1}{2\tau}$$

$$\xi = \frac{1}{2\omega_0}\frac{1}{\tau} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{\tau KC}}$$

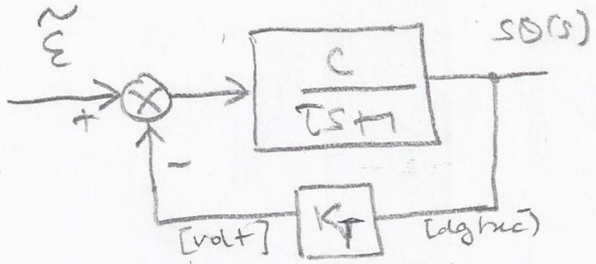
נניח ש- ξ לא מספיק טוב, ובגלל שאת K_v מעוניינים גדול

אזי KC גדול.

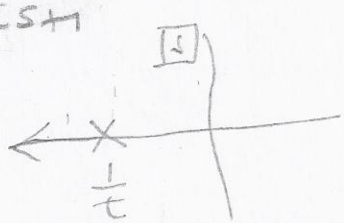
<u>נרכיב משוב</u> נגזרת, כדי לרסן את המערכת.



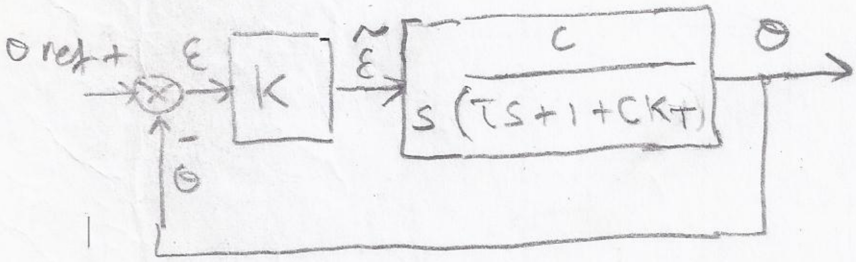
סוגרים חוג פנימי



$$\bar{\Theta}_{\tilde{\varepsilon}}^{s\Theta(s)}(s) = \frac{\frac{C}{\tau s+1}}{1+\frac{CK_T}{\tau s+1}} = \frac{C}{\tau s+1+CK_T}$$



סוגרים חוג חיצוני



$$K_p = \lim_{s\to 0} G(s) = \infty \Rightarrow \varepsilon_{ss}^{p} = 0$$

$$K_v = \lim_{s\to 0} sG(s) = \frac{KC}{1+CK_T} \Rightarrow \varepsilon_{ss}^{v} = \frac{1+CK_T}{KC} R_0 \rightarrow \text{גדל!!}$$

אם K_T גדל

$$K_a = 0 \Rightarrow \varepsilon_{ss}^{a} = \infty$$

מסקנה: ε_{ss}^{v} גדל עם K_T!! כלומר, משוב נגזרת צריך לשקלל בזהירות ולא להגדיל!

מה עם הריסון?

$$\bar{G}=\frac{G}{1+GH}=\frac{\frac{KC}{s(\tau s+1+CK_T)}}{1+\frac{KC}{s(\tau s+1+CK_T)}}=\frac{KC}{\tau s^2+(1+CK_T)s+KC}$$

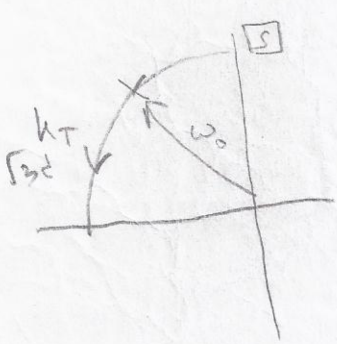
$$\bar{G}=\frac{KC/\tau}{s^2+\frac{(1+CK_T)}{\tau}s+\frac{KC}{\tau}}$$

(כאן קבוע) $\omega_0=\sqrt{\frac{KC}{\tau}}$

$$2\zeta\omega_0=\frac{(1+CK_T)}{\tau}\Rightarrow$$

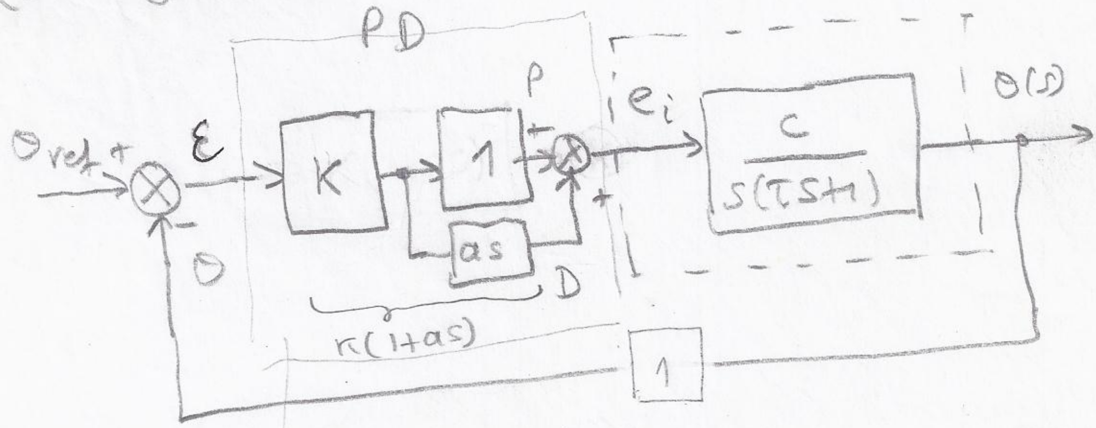
$$\zeta=\frac{1}{2}(1+CK_T)\sqrt{\frac{1}{\tau KC}}$$

ζ גדל!



פתרון:

בקר נגזרת (לדוגמ: משלב נגזרת)



גדל

$$K_v \triangleq \lim_{s\to 0} sG(s) = \lim_{s\to 0} s\cdot\frac{K(1+as)C}{s(\tau s+1)} = KC \;!$$

K_v לכן מושפע ע"י a

K:

$$\bar{G}^{\theta}_{\theta_{ref}}(s) = \frac{\dfrac{KC(1+as)}{s(\tau s+1)}}{1+\dfrac{KC(1+as)}{s(\tau s+1)}} = \frac{KC(1+as)}{\tau s^2 + \underbrace{(1+KCa)}\,s + KC}$$

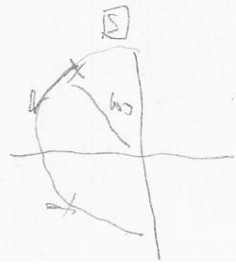
$$\bar{G} = \frac{\frac{KC}{\tau}(1+as)}{s^2 + \frac{(1+KC\cdot a)}{\tau}s + \frac{KC}{\tau}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{KC}{\tau}}$$ כמו קודם

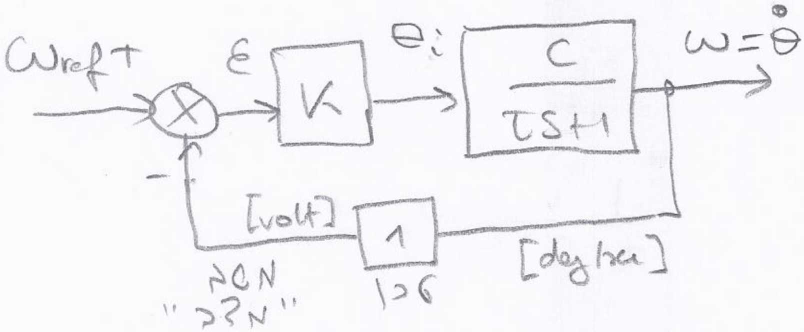
$$2\zeta\omega_0 = \frac{1+KC\cdot a}{\tau} \Rightarrow \zeta = \frac{1}{2\tau}\frac{1}{\omega_0}\cdot(1+KC\cdot a) =$$

$$\frac{1}{2}\cdot(1+KC\,a)\sqrt{\frac{1}{\tau KC}}$$

ζ גדל בלי לשנות את K_v!



דוגמה 2: בקרת מהירות של מנוע DC

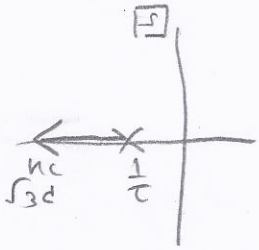


$$K_p \triangleq \lim_{s\to 0} G(s) = KC \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{p} = \frac{R_0}{1+KC}$$

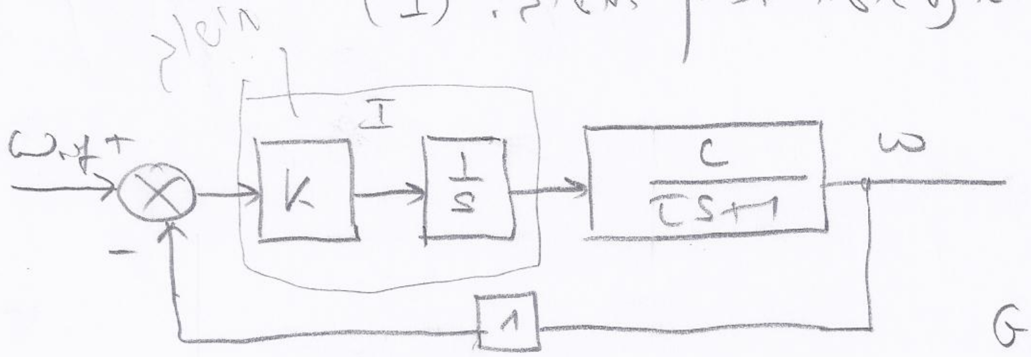
$$K_v \triangleq \lim_{s\to 0} s\cdot G(s) = 0 \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{v} = \infty$$

$$K_a \triangleq \lim_{s\to 0} s^2 G(s) = 0 \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{a} = \infty$$

$$\left.\frac{\omega}{\omega_{ref}}\right|_{c.l} = \frac{\frac{KC}{\tau s+1}}{1+\frac{KC}{\tau s+1}} = \frac{\frac{KC}{\tau}}{s+\underbrace{\frac{1}{\tau}+\frac{KC}{\tau}}}$$



מכניסים אינטגרטור בערוץ הישיר: (I)



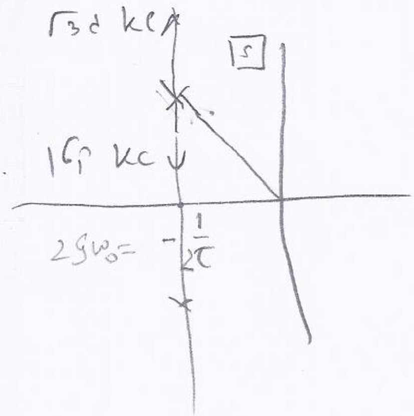
$$G(s) = \frac{KC}{s(\tau s+1)}$$

$$K_p \triangleq \lim_{s\to 0} G(s) = \infty \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{p} = 0$$

$$K_v \triangleq \lim_{s\to 0} s\,G(s) = KC \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{v} = \frac{R_0}{KC}$$

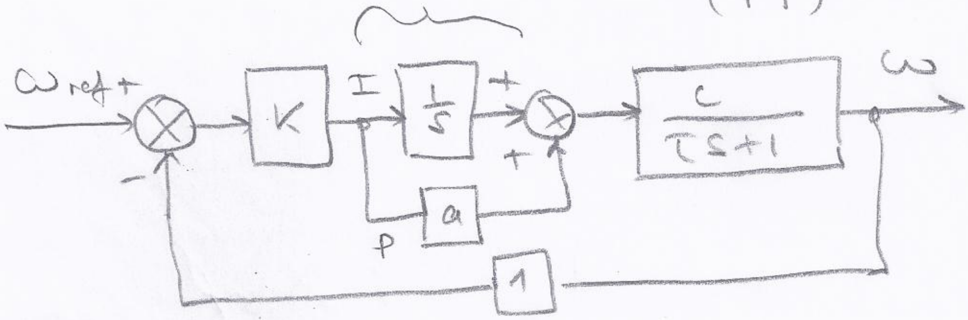
$$K_a \triangleq \lim_{s\to 0} s^2 G(s) = 0 \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{a} = \infty$$

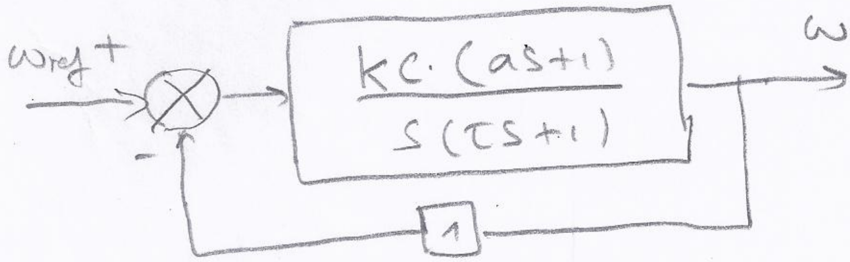
$$\left.\frac{\omega}{\omega_{ref}}\right|_{c.l} = \frac{\dfrac{kc}{s(\tau s+1)}}{1+\dfrac{kc}{s(\tau s+1)}} = \frac{\dfrac{kc}{\tau}}{s^2+\dfrac{1}{\tau}s+\dfrac{kc}{\tau}}$$

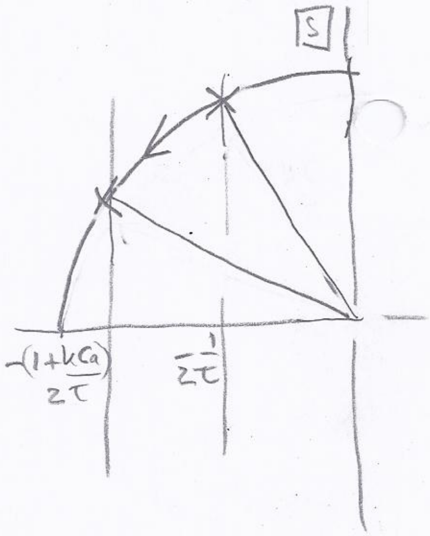


$$a+\frac{1}{s}=\frac{as+1}{s}$$

(PI) בקר אינטגרלי







$K_p = \infty \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{p} = 0$

$K_v = KC \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{v} = \dfrac{R_0}{K_C}$ כאן קיים

$K_a = 0 \longrightarrow \varepsilon_{ss}^{a} = \infty$

$$\left.\frac{\omega}{\omega_{ref}}\right|_{c.l} = \frac{\dfrac{kc(as+1)}{s(\tau s+1)}}{1+\dfrac{kc(as+1)}{s(\tau s+1)}} = \frac{\dfrac{kc}{\tau}(as+1)}{s^2+\underbrace{\dfrac{1+kca}{\tau}}_{\text{ריסון גדל!}}s+\dfrac{kc}{\tau}}$$

סיכום : "type"

נגדיר "סוג" המערכת הוא החזקה של
S ה אפסי ב מכנה של $G(s)$
להבדיל **סדר**!

סוג המערכת	K_p	K_v	K_a	ε_{ss}^{p}	ε_{ss}^{v}	ε_{ss}^{a}
0	α	0	0	$\frac{R_0}{1+\alpha}$	∞	∞
1	∞	α	0	0	$\frac{R_0}{\alpha}$	∞
2	∞	∞	α	0	0	$\frac{R_0}{\alpha}$
3	∞	∞	∞	0	0	0

נתון:

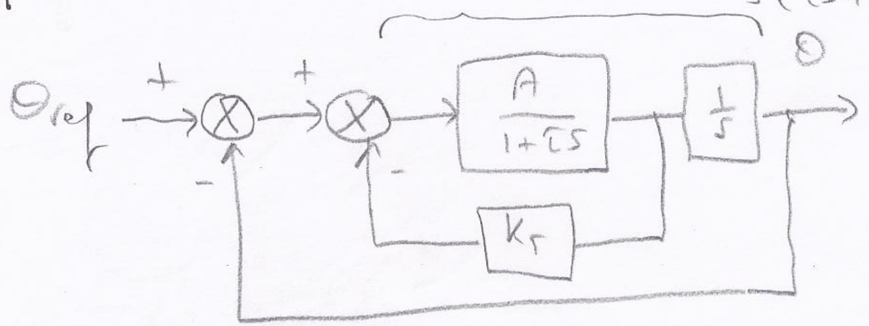
$$\boxed{A=16 \quad \tau=0.39 \quad \text{דרוש } \zeta=0.6}$$

$$\boxed{\text{דרוש } \xi=0.6}$$

משוב גנרטור

מציאת ε_{ss}^{v}, K_T

$$G(s)=\frac{A}{s(\tau s+1+AK_T)}$$



$$\omega_0=\sqrt{\frac{A}{\tau}}=\sqrt{\frac{16}{0.39}}=6.4\,rad/s$$

$$\bar{G}=\frac{\frac{A}{\tau}}{s^2+\frac{(1+AK_T)}{\tau}s+\frac{A}{\tau}}$$

$$2\zeta\omega_0=\frac{1+AK_T}{\tau}$$

$$K_T=\frac{2\zeta\omega_0\cdot\tau-1}{A}$$

$$G(s)=\frac{A}{s(\tau s+1+AK_T)}$$

$$K_T=\frac{2\cdot0.6\cdot6.4\cdot0.39-1}{16}=$$

$$\underline{\underline{K_T=0.125}}$$

$$K_p\triangleq\lim_{s\to0}G(s)=\infty \Rightarrow \varepsilon_{ss}^{p}=0$$

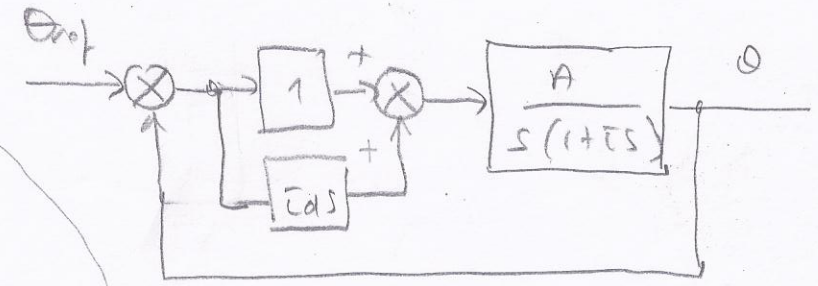
$$K_v=\lim_{s\to0}sG(s)=\frac{A}{1+AK_T}=\frac{16}{1+16\cdot0.125}=\underline{\underline{5.33}}\Rightarrow$$

$$\varepsilon_{ss}^{v}=\frac{R_{0v}}{K_v}=\frac{2}{5.33}=\underline{\underline{0.375}}$$

השגיאה קטנה פי 3 !

חשב את ε_{ss}^{v} ו τ_d

עם בקר PD



$$\omega_0=\sqrt{\frac{A}{\tau}}=6.4\,rad/s$$

$$\bar{G}=\frac{(1+\tau_d s)\frac{A}{\tau}}{s^2+\frac{(1+\tau_d A)}{\tau}s+\frac{A}{\tau}}$$

$$G(s)=\frac{(1+\tau_d s)A}{s(1+\tau s)}$$

$$2\zeta\omega_0=\frac{1+\tau_d A}{\tau}$$

$$\tau_d=\frac{2\zeta\omega_0\tau-1}{A}=\frac{2\cdot0.6\cdot6.4\cdot0.39-1}{16}=$$

$$\underline{\underline{\tau_d=0.125}}$$

$$K_p=\infty \quad \varepsilon_{ss}^{p}=0$$

$$K_v=A \Rightarrow \varepsilon_{ss}^{v}=\frac{R_0^{v}}{A}=\frac{2}{16}=\underline{\underline{0.125}}$$

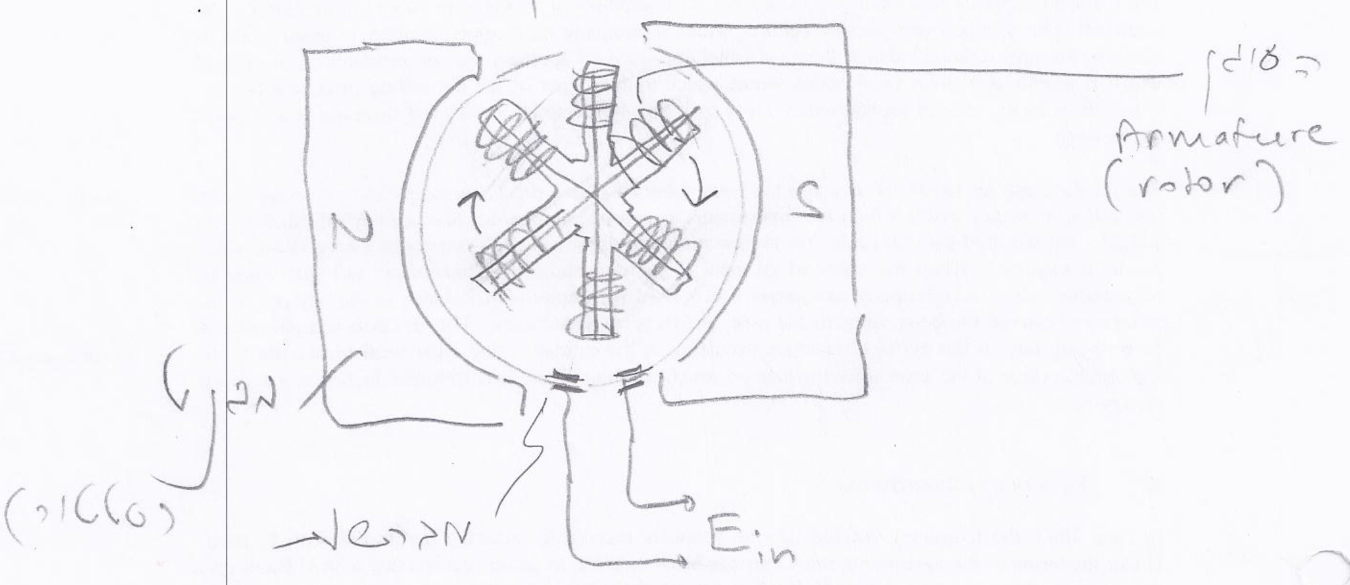
הניסוי :

בשני חלקים

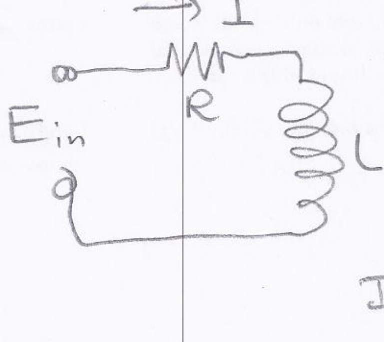
- [illegible] זיהוי המערכת — קפיצה → תגובת הזמן
- Bode

• בשני ניסויים ספציפיים לבקר:

מנוע — DC המגנט דרך העוגן



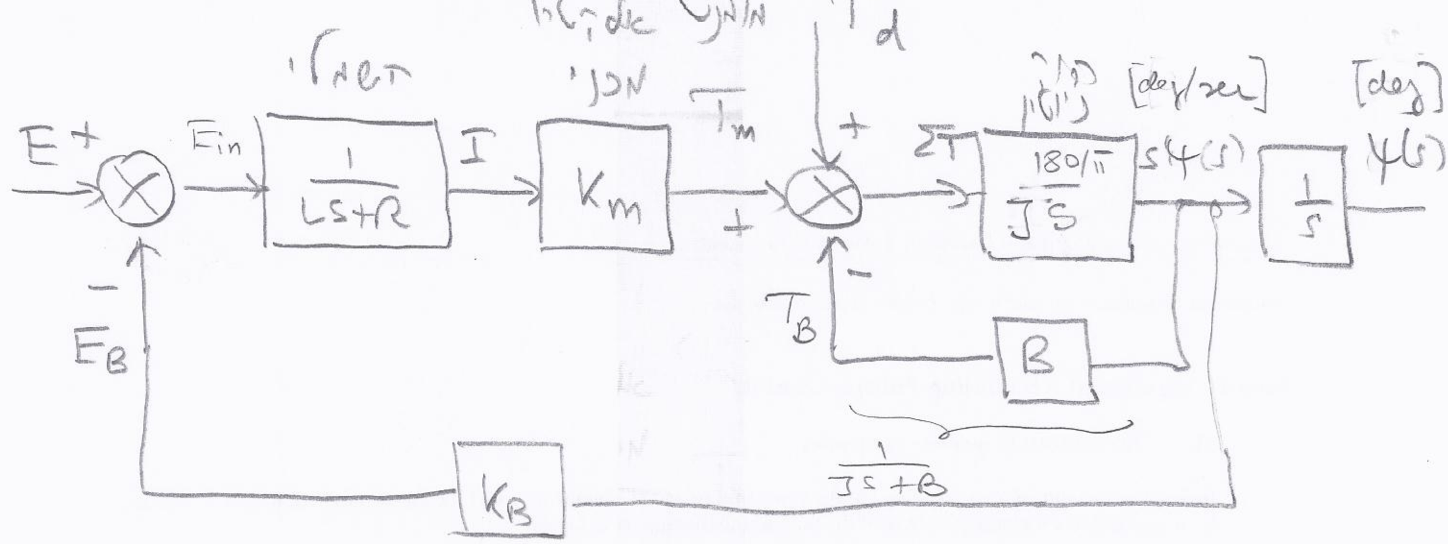
המודל החשמלי של המנוע:



$$IR + \frac{dI}{dt} \cdot L = E_{in}$$

$$E_{in}(s) = (Ls+R) \cdot I(s)$$

$$I(s) = \frac{1}{Ls+R} \cdot E_{in}(s)$$



$$\Sigma T = T_m + T_d - T_B = J\dot{\psi}$$

מקדם הזמן החשמלי:

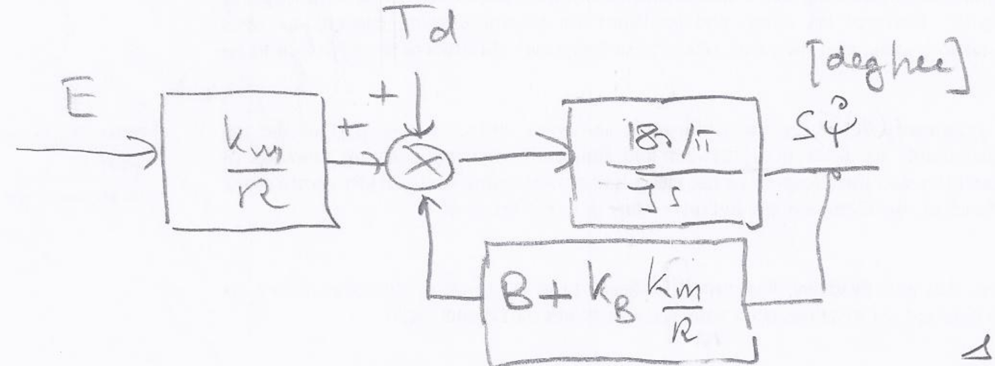
$$\tau_e = \frac{L}{R}$$

מקדם הזמן המכני:

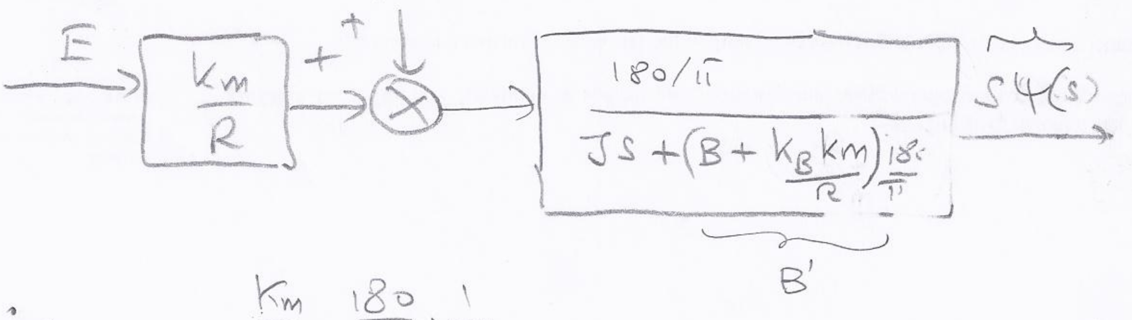
$$\tau_m = \frac{J}{B}$$

$\tau_e \ll \tau_m$ לכן

$L \approx 0$

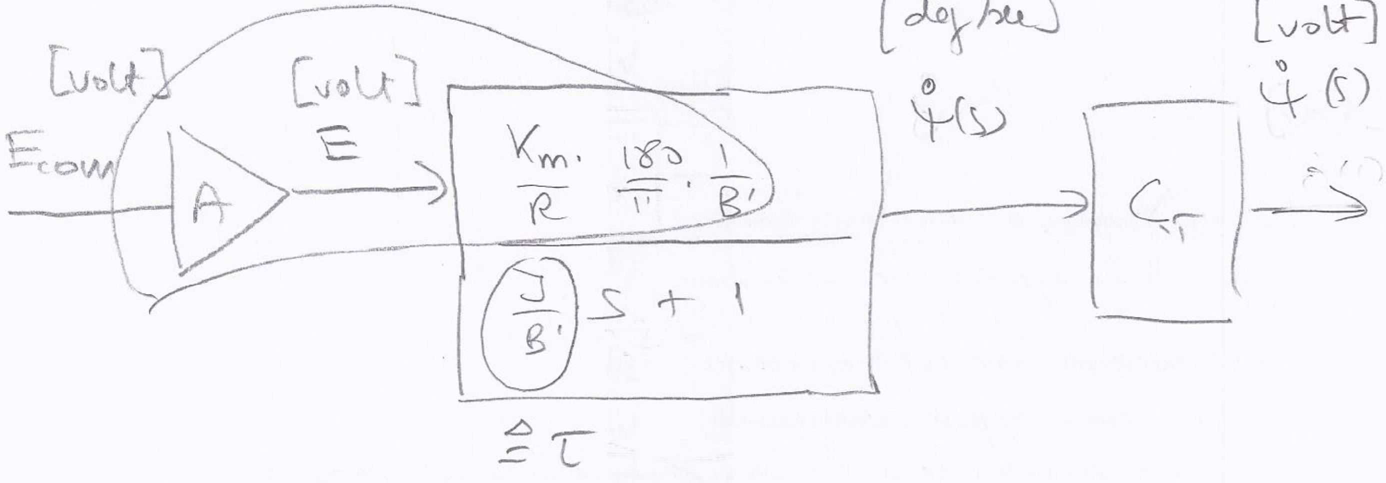


$\triangleq \dot{\psi}(S)$



$$\frac{\dot{\psi}(s)}{E(s)} = \frac{\frac{K_m}{R}\cdot\frac{180}{\pi}\cdot\frac{1}{B'}}{\frac{J}{B'}\cdot S + 1}$$

$$\frac{\dot{\psi}(s)}{T_d(s)} = \frac{\frac{180}{\pi}\cdot\frac{1}{B'}}{\frac{J}{B'}\cdot S + 1}$$



$$\frac{\dot{\varphi}(s)}{E_{com}(s)} = \frac{C \cdot C_T}{\tau s + 1}$$

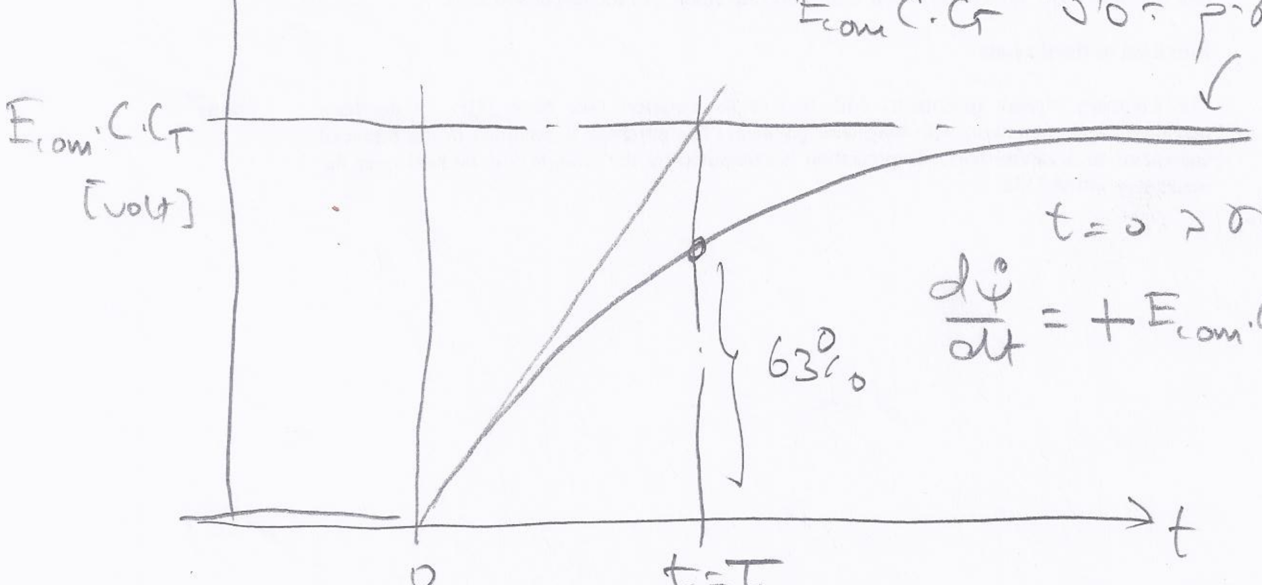
$$C \triangleq \frac{A K_m}{R} \cdot \frac{1}{B'} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\tau \triangleq \frac{J}{B'}$$

$$B' \triangleq \left[B + \frac{K_B \cdot K_m}{R} \cdot \frac{180}{\pi}\right]$$

תגובת הזמן של המערכת לכניסת מדרגה ב E_{com}

$$\underset{[volt]}{\dot{\varphi}(t)} = E_{com} \cdot C \cdot C_T \cdot \left[1 - e^{-\tau \cdot t}\right]$$



השיפוע ב $t=0$

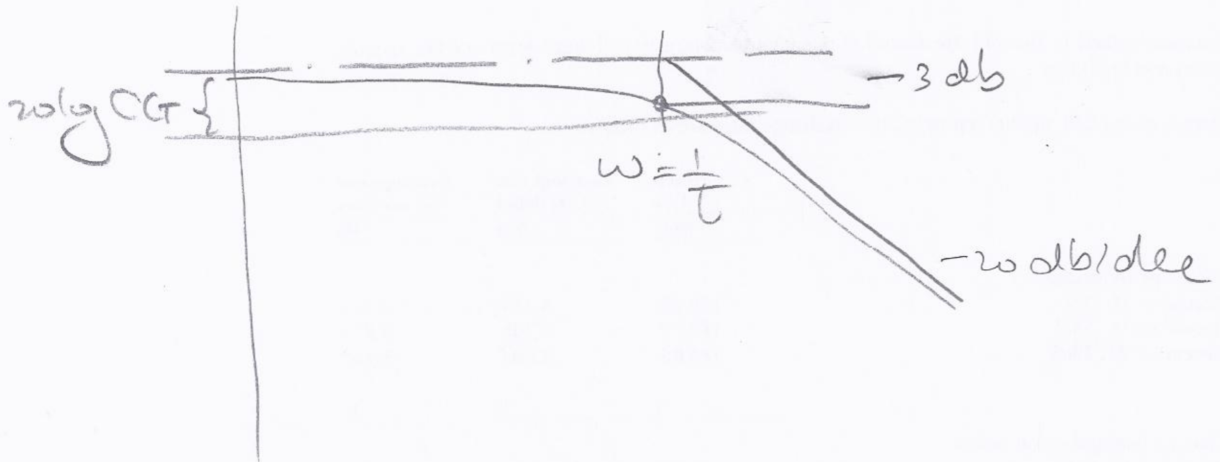
$$\frac{d\dot{\varphi}}{dt} = + E_{com} \cdot C \cdot C_T \, \tau \cdot \underbrace{e^{-\tau \cdot t}}_{1}$$

ב $t = \tau$ ⇐

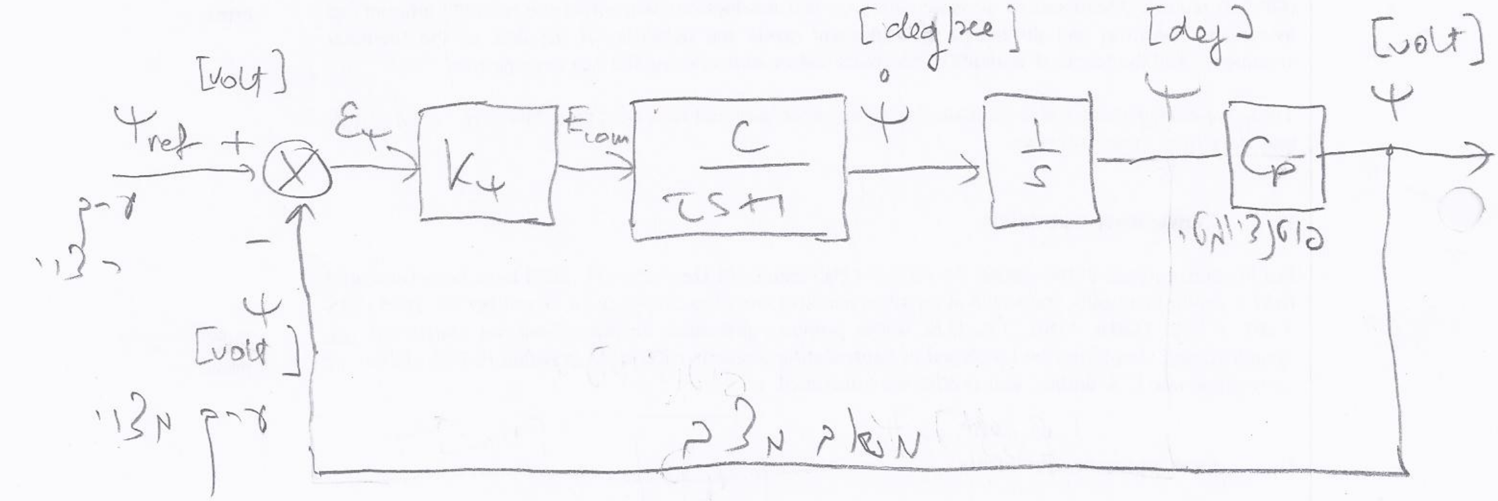
$$\dot{\varphi}(\tau) = E_{com} C \cdot C_T \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 0.63 \cdot E_{com} C \cdot C_T$$

תגובת התדר של המערכת

$$\frac{\dot{\psi}(s)}{E_{com}(s)} = \frac{C \cdot C_T}{\tau s + 1}$$



כאשר סוגרים את משוב המצב $K_\psi = 0.25$



$$\frac{\psi(s)}{\psi_{ref}(s)} = \frac{\dfrac{K_\psi \cdot C \cdot C_p}{s(\tau s+1)}}{1 + \dfrac{K_\psi \cdot C \cdot C_p}{s(\tau s+1)}} = \frac{K_\psi \cdot C \cdot C_p}{\tau s^2 + s + K_\psi \cdot C \cdot C_p}$$

$$= \frac{1}{\dfrac{\tau s^2}{\dots} + \dfrac{s}{\dots} + 1} = \frac{1}{\dfrac{s^2}{\omega_n^2} + \dfrac{2\zeta}{\omega_n} s + 1}$$

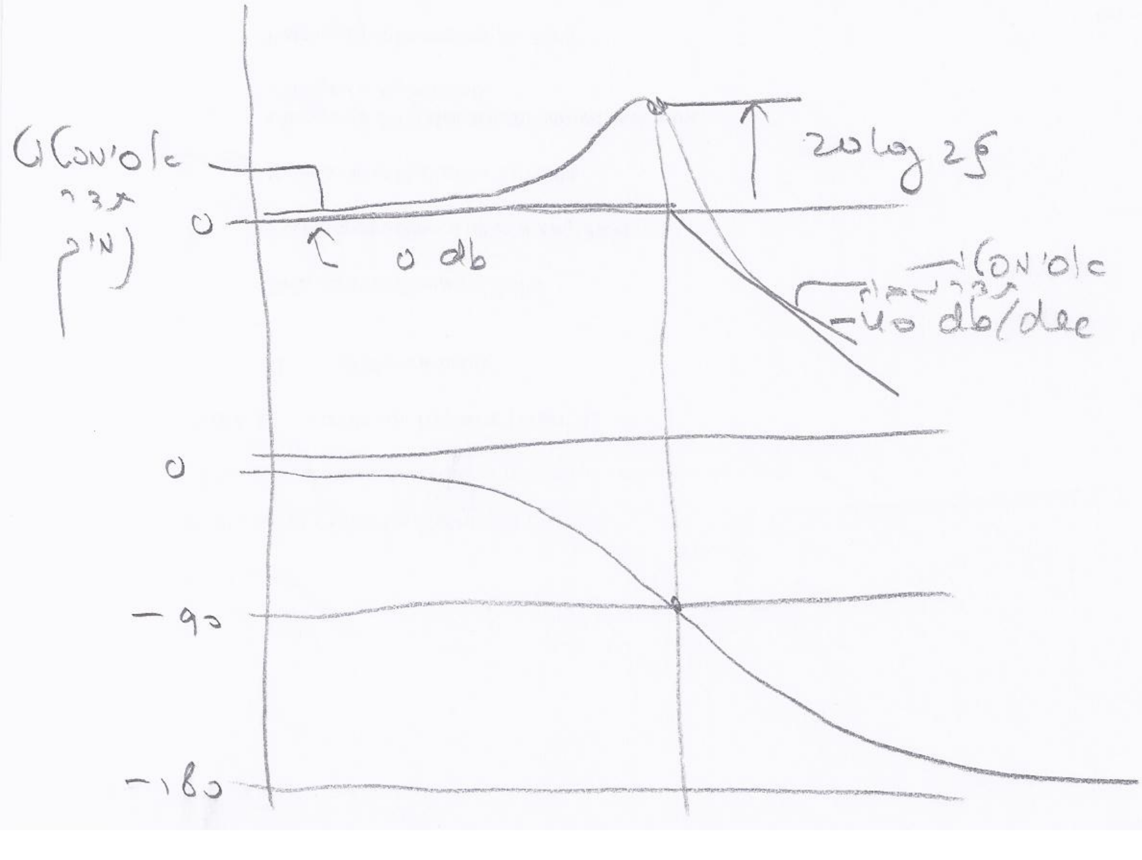
$$\frac{\psi}{\psi_{ref}} = \frac{1}{\frac{\tau s^2}{k_\psi \cdot C \cdot C_p} + \frac{1}{k_\psi \cdot C \cdot C_p} \cdot s + 1}$$

$$\frac{\psi}{\psi_{ref}} = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\xi}{\omega_n} \cdot s + 1}$$

$$\boxed{\omega_n \triangleq \sqrt{\frac{k_\psi \cdot C \cdot C_p}{\tau}}} \qquad \frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{1}{k_\psi \, C \cdot C_p}$$

$$\boxed{\xi = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{\tau k_\psi C \cdot C_p}}}$$

תגובת התדר של מערכת כזו:



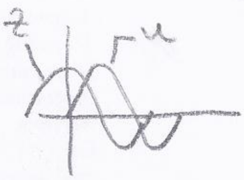
Lissajous פיגורות של

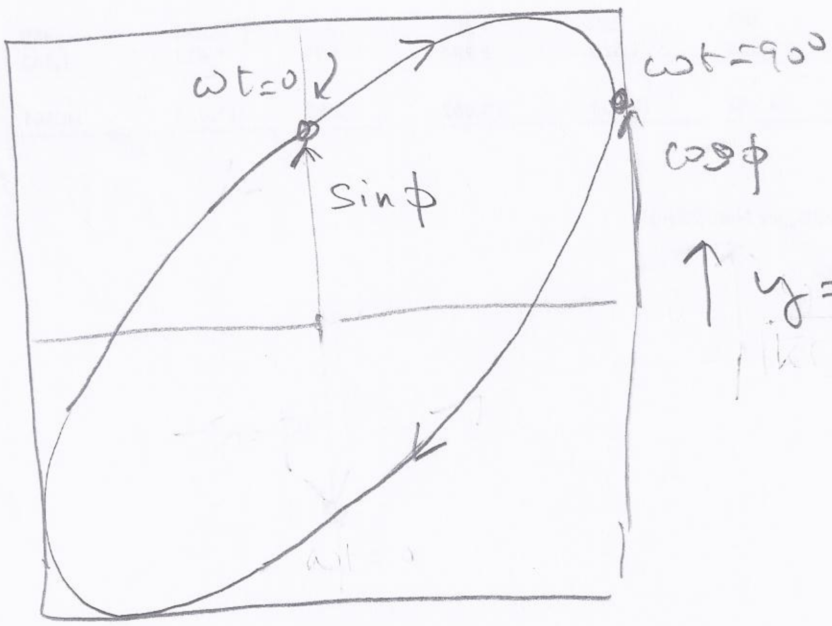
$$\frac{z}{u} = K(j\omega)$$

$$u = A \cdot \sin \omega t$$

$$z = \underbrace{|K(j\omega)|}_{\text{הגבר תלוי ב-}\omega} \cdot A \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

״קידום״ פזה:
z לפני u





$$\uparrow\ y = \frac{z}{|K(j\omega)|A}$$

$$\rightarrow\ x = \frac{u}{A}$$

$$x = \sin \omega t$$

$$y = \sin(\omega t + \phi) =$$

$$[\sin \omega t \cdot \cos \phi + \cos \omega t \sin \phi]$$

- $x = 0 \Rightarrow \sin \omega t = 0 \Rightarrow \omega t = 0$

$y = \sin \phi$

- $x = 1 \Rightarrow \sin \omega t = 1 \Rightarrow \omega t = 90^{0}$

$y = \cos \phi$

שימוש ב Interface

יש 2 תלויות:

א. רישום תצוגת הזמן + שמירה בקובץ

ב. הפעלת הניסוי

הפעלת הניסוי:

בדיאגרמה רואים ש:

- המנוע + מחבר בעולם
- המדידה קורה
- מערכת הבקרה בלחיצה

המנוע: מטרה של ניסוי הראשון; לשלוט את הפרמטרים

המדידה: למדוד את התצורה של האלמנט + פוטנציומטרים

מערכת הבקרה כוללת:

- משוב מצב ψ עם הגבר K_ψ
- משוב פרמטר ראשון $\dot{\psi}$ עם הגבר $K_{\dot{\psi}}$
- מערכת בקרה (רשת נוירון all network)

— סוגים של פולסים המשולבים S_1, S_2, S_3

— מגדירים על הגבר בחלון הזמני

— בוחרים ומפעילים Network

מתאם : chart יש 4 בלוקים

— מצב אתחול: הפעלה + הקלטה + הצגה

— בלוק יצירת האותות: (Source)

• בוחרים צורת האות

• בוחרים תחום תדרים להגדרתו ב Hz, rad/s

או עבר זמן מחזור

• בוחרים את נקודת הכניסה

• בוחרים על התדר או זמן מחזור

• בוחרים על העוצמה (peak-to-peak)

• בוחרים על : offset

— בלוק קליטת האותות (Sink)

פתרונות מ2 תגובת תדירות

.1

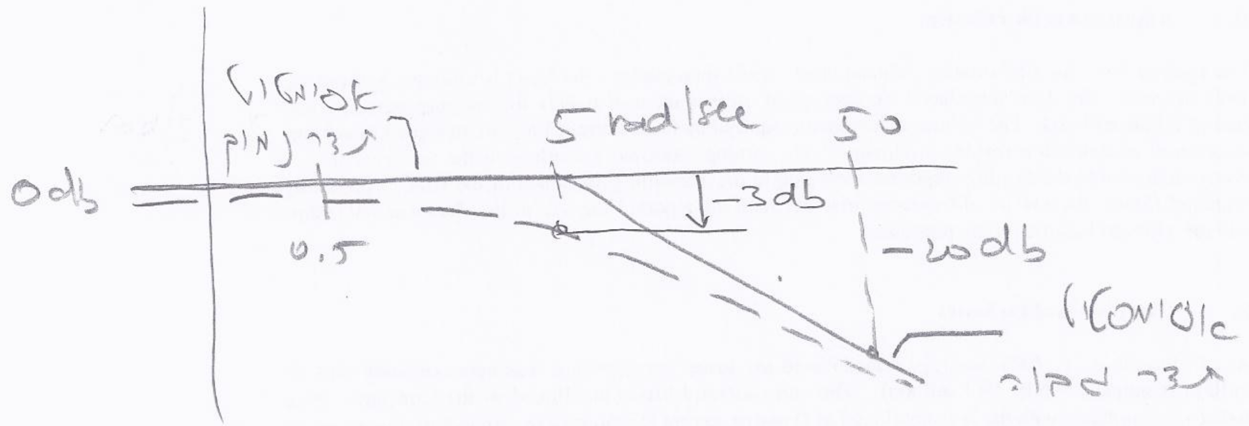
$$\frac{Z(s)}{U(s)} = \frac{5}{s+5}$$

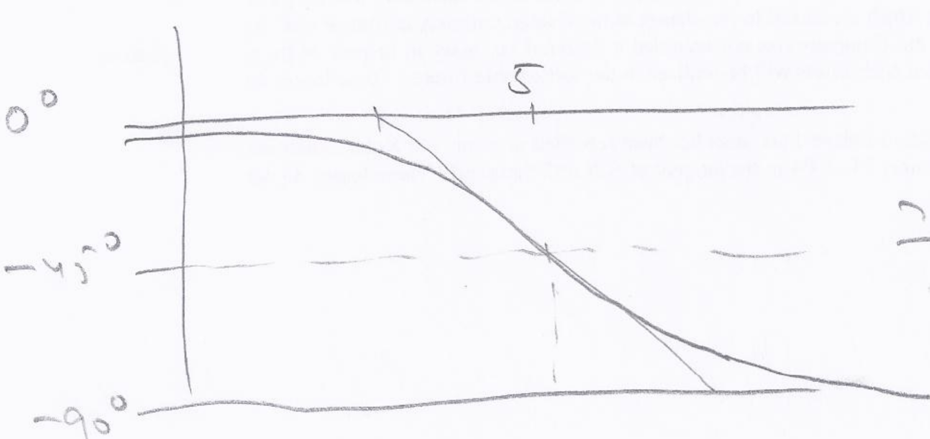
$$\dot{z} = -5z + 5u$$

$$x_1 \triangleq z \qquad \dot{x}_1 = \underbrace{-5}_{a} x_1 + \underbrace{5}_{b} \cdot u$$

$$y = z \qquad y = \underbrace{1}_{c} x_1$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5 & 5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$





תדר	ϕ	הגבר
5	-45	-3
50	-90	-20
0.5	0	0

.2 מערכת מסדר 2

$$\frac{z(s)}{u(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$\left[s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2\right] z(s) = \omega_n^2 u(s)$$

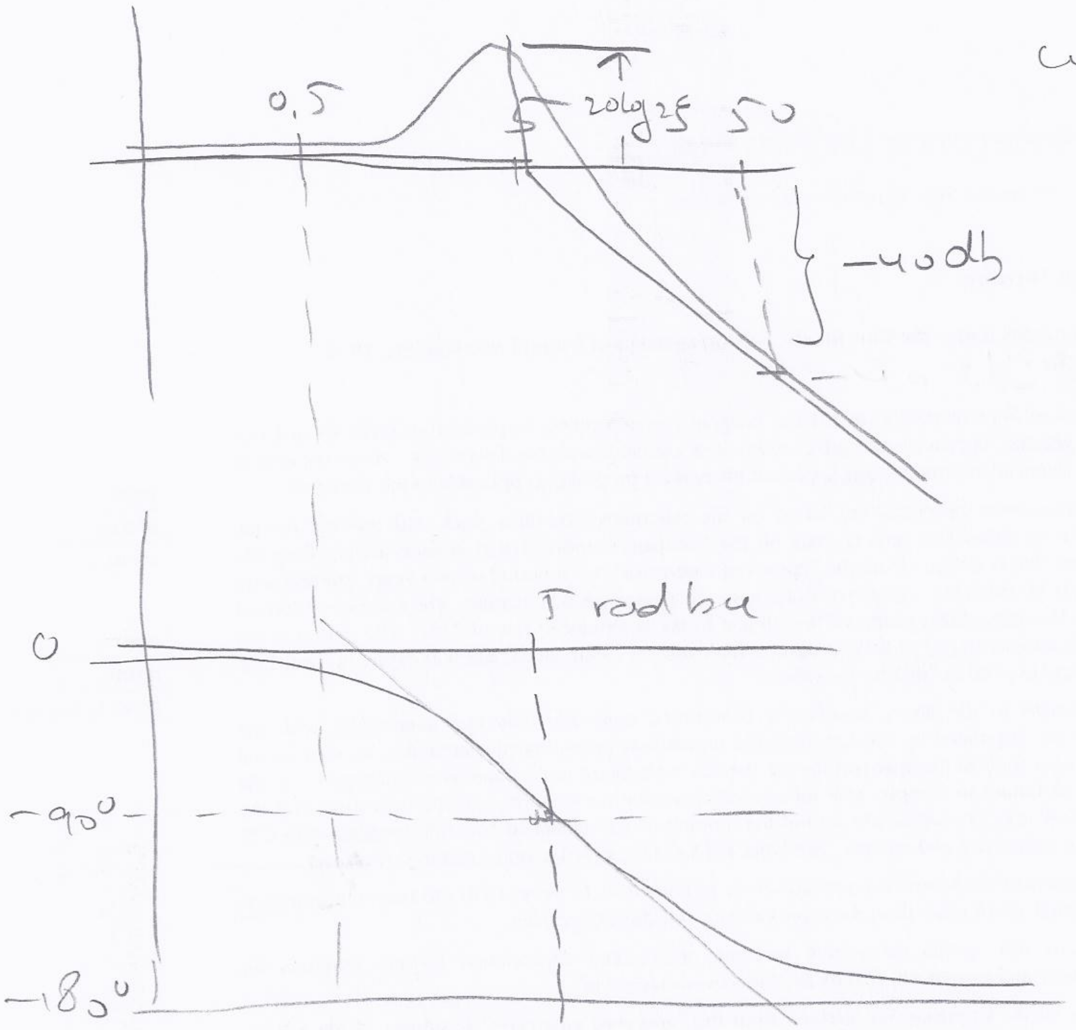
$$\ddot{z} = -2\zeta\omega_n \dot{z} - \omega_n^2 z + \omega_n^2 u$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \dot{z} \\ z \end{bmatrix}}_{\dot{\underline{x}}} = \underbrace{\begin{bmatrix} -2\zeta\omega_n & -\omega_n^2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{A} \underbrace{\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}}_{\underline{x}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \omega_n^2 \\ 0 \end{bmatrix}}_{B} \cdot \underbrace{u}_{\underline{u}}$$

$$y = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}}_{C} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \underbrace{0}_{D} \cdot u$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\zeta\omega_n & -\omega_n^2 & \omega_n^2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$\omega_n = 5$



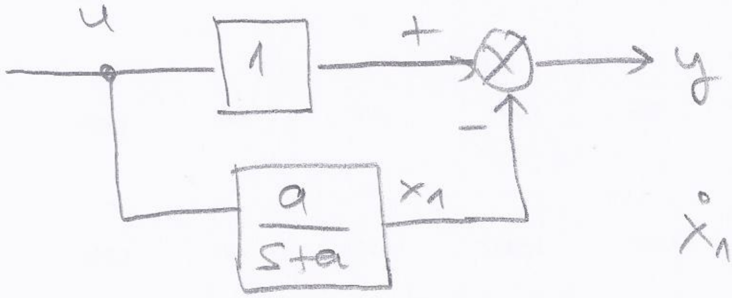
הגבר עבור
ζ

תדר	פזה	0.2	0.5	1
5	-90°	$-20\log 0.4$	$-20\log 1$	$-20\log 2$
		$+7.95$	0	-6
50	-180°		-40db	
0.5	0°	0°		

<u>חשוב</u> תגובה בזמן עבור $T = 10_{sec}$

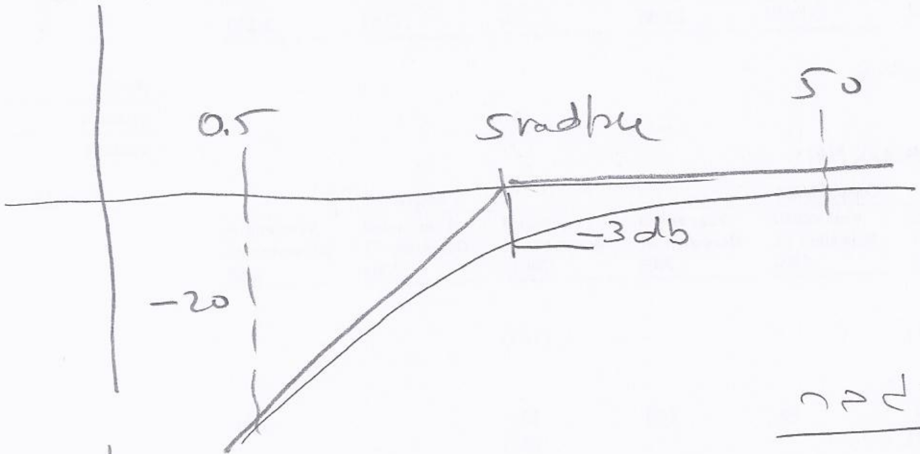
3. מסנן wash-out

$$\frac{z}{u}=\frac{s}{s+a}=\frac{s+a-a}{s+a}=1-\frac{a}{s+a}$$

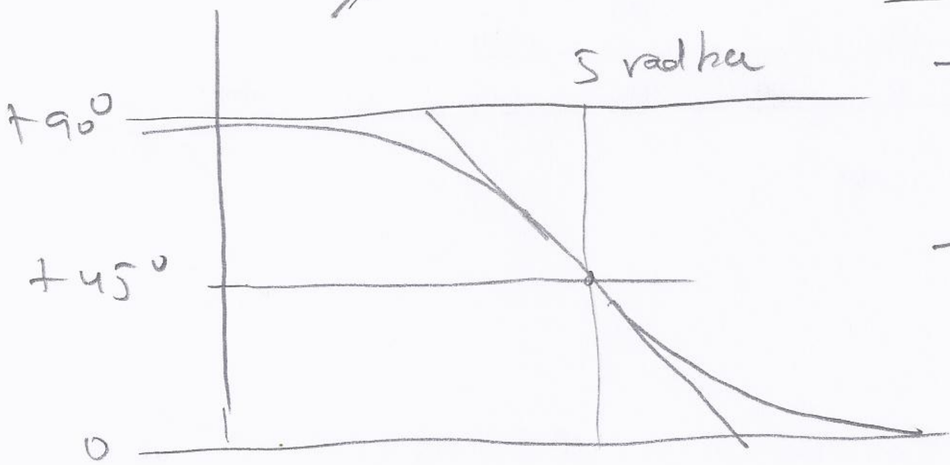


$$\dot{x}_1=-a x_1+a\cdot u$$
$$y=-x_1+u$$

$$\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-a & a\\ -1 & 1\end{bmatrix}$$



הגבר	Φ	תדר
$+45^0$	-3	5
0	0	50
-20	$+90$	0.5



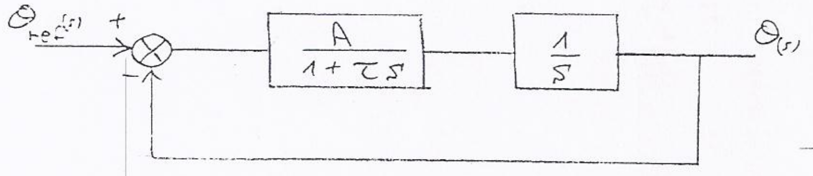
(1)

תירגול מס' 4

- שגיאות במצב המתמיד
- תגובת מערכת (סדר שני).
- סוג מערכת, משוב יחידתי.

נתונה מערכת עקיבה:

(למשל את תגובת המשוב למנוע)
(מתרגול מס' 2)



A, τ פרמטרים לא ידועים.

לפני שממשיך בהצגת הבעיה, נחשב את פונקציית התמסורת של המערכת בחוג סגור:

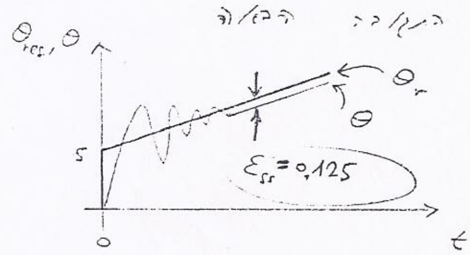
$$\frac{\theta}{\theta_{ref}} = \frac{\frac{A}{s(1+\tau s)}}{1+\frac{A}{s(1+\tau s)}} = \frac{A}{\tau s^2 + s + A} = \frac{A/\tau}{s^2+\frac{1}{\tau}s+\frac{A}{\tau}}$$

זו מערכת מסדר שני (הצורה הכללית $\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$)

נתון תוצאות ניסוי שבוצע לזיהוי המערכת:

- הכניסה מדרגת מצב. התקבלה תגובה עם ריסון של $\zeta=0.2$.
- לכניסה $\theta_r(t)=(5+2t)u(t)$ התקבלה התגובה הבאה

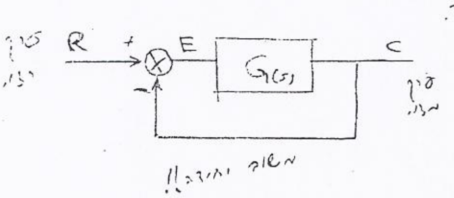
(נניח שהזווית נמדדת ב- deg)



יש לזהות את A ו- τ.

(I) קבלת הקשר בין A ו- τ לבין ζ ו- ε_{ss}.

(א) נחשב פונקציית התמסורת בין השגיאה לכניסה.



$$E = R - C = R - GE$$

$$E(1+G) = R$$

$$\frac{E_{(s)}}{R_{(s)}} = \frac{1}{1+G_{(s)}} \longrightarrow E_{(s)} = \frac{1}{1+G_{(s)}} R_{(s)}$$

$\varepsilon_{ss} = \lim (s E_{(s)})$ (...)

$$\boxed{G(s)=\frac{A}{s(1+\tau s)}} \longrightarrow \frac{1}{1+G(s)}=\frac{s(1+\tau s)}{s(1+\tau s)+A}$$ אופן ב

$$R(s)=\frac{5}{s}+\frac{2}{s^2}$$

$$\underline{\mathcal{E}_{ss}}=\lim_{s\to0} s\left[\left(\frac{5}{s}+\frac{2}{s^2}\right)\underbrace{\left(\frac{s(1+\tau s)}{s(1+\tau s)+A}\right)}_{\triangleq B(s)}\right]=\lim_{s\to0} 5B(s)+\lim_{s\to0}\frac{2}{s}B(s)=$$

$$=0+\frac{2}{A}=\underline{\frac{2}{A}}$$

(ג) עפ״י מקדמי השגיאה במצב המתמיד לכניסות הבוחן.

המערכת לינארית ← נסכם את השגיאות שנקבל מכל אחד מחלקי הכניסה.

$$\theta_r(t)=\underbrace{5u(t)}+\underbrace{2t\,u(t)}$$

מדרגת מצב	מדרגת מהירות
$R_{o_p}=5$	$R_{o_v}=2$
$K_p=\lim_{s\to0}G(s)=\infty$	$K_v=\lim_{s\to0}sG(s)=A$
$\mathcal{E}_{ss_p}=\frac{R_{o_p}}{1+K_p}=0$	$\mathcal{E}_{ss_v}=\frac{R_{o_v}}{K_v}=\frac{2}{A}$

בגלל כי המערכת מסוג 1

להדגיש:

(*) הקונסטנטות K_a, K_v, K_p נכונות עבור מערכת עם משוב יחידה.

(אחרת צריך לחשב $E(s)=R(s)-\left(\frac{C(s)}{R(s)}\right)_{CL}\cdot R(s)$)

(*) השגיאה כי ניתן היה ברמיזה הספרותית המבוקרת. למשל במקרה שלנו, התגובה תלך במהירות הקבועה הדרושה אך עם פיגור קבוע של 0.125

$$\underline{\underline{\mathcal{E}_{ss}}}=\mathcal{E}_{ss_p}+\mathcal{E}_{ss_v}=0+\frac{2}{A}=\underline{\underline{\frac{2}{A}}}$$

$$\frac{2}{A}=0.125$$ מדרישה

$$\boxed{A=16}$$

$(1/sec)$

II זיהוי τ ומשם ξ.

$$\frac{A}{\tau} = \omega_n^2 \longrightarrow \omega_n = \sqrt{\frac{A}{\tau}}$$

$$\frac{1}{\tau} = 2\xi\omega_n = 2\xi\sqrt{\frac{A}{\tau}}$$

$\xi = 0.2$

$A = 16$

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1.6}{\sqrt{\tau}}$$

$$\tau = 1.6^2\tau^2$$

$$0 = \tau(2.56\tau - 1)$$

המערכת אינה
מסדר שני ולא מעניין.

$\cancel{\tau = 0}$ $\boxed{\tau = 0.39}$

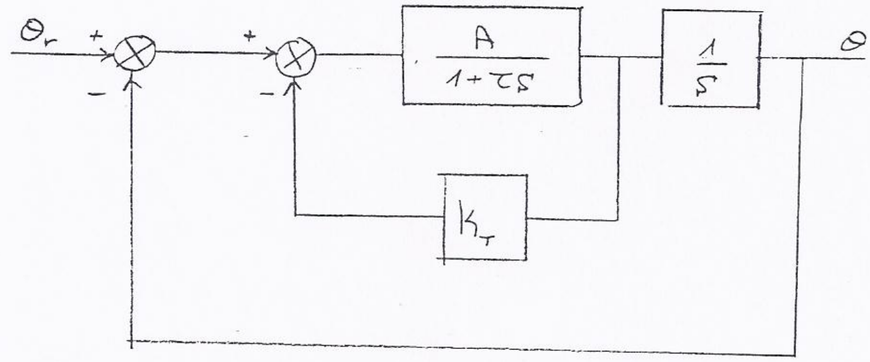
$$\boxed{\omega_n = \sqrt{\frac{A}{\tau}} = \sqrt{\frac{16}{0.39}} = 6.4\ \text{rad}/\text{sec}}$$

ננסה לשפר את המערכת (מקדם הריסון שלה נמוך מאוד)

מבלי לשנות את A ו- τ יש להגדיל את מקדם הריסון של המערכת

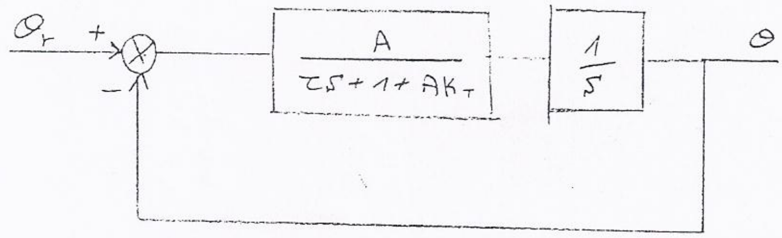
ל- $\zeta = 0{,}6$. נבחן שתי אפשרויות : (משוב נגזרת , בקר נגזרת)

1 משוב נגזרת



יש למצוא את הגבר K_T

$$\Downarrow$$



$$\bar{G} = \frac{\theta_{(s)}}{\theta_{r(s)}} = \frac{A}{\tau s^2 + (1+AK_T)s + A} = \frac{\frac{A}{\tau}}{s^2 + \frac{(1+AK_T)}{\tau}s + \frac{A}{\tau}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{A}{\tau}} = \sqrt{\frac{16}{0{,}39}} = 6{,}4 \left(\frac{rad}{sec}\right)$$

כבר למצוא המקדמות.

$$2\zeta\omega_n = \frac{1+AK_T}{\tau}$$

$$K_T = \frac{2\zeta\omega_n\tau - 1}{A} = \frac{2 \times 0{,}6 \times 6{,}4 \times 0{,}39 - 1}{16} \cong 0{,}125$$

ריסון המערכת שופר.

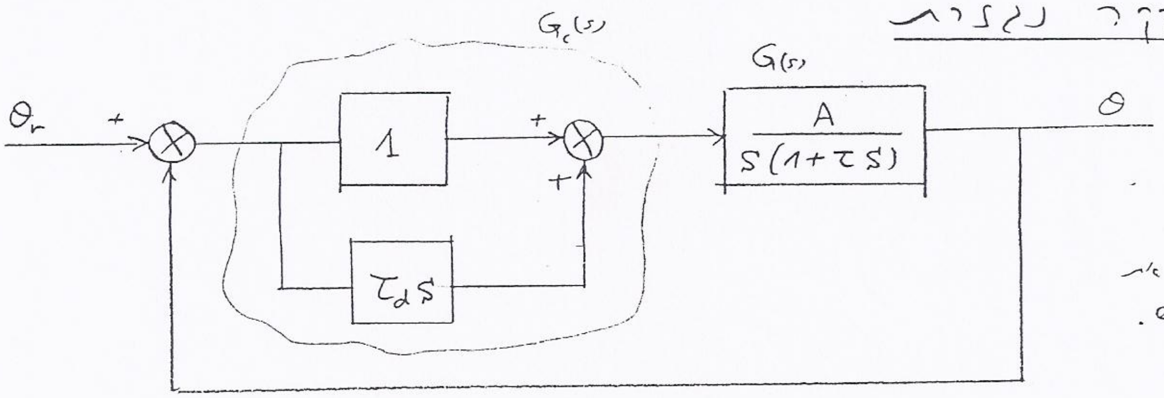
נבחן את השגיאות במצב המתמיד :
$$G_{(s)} = \frac{A}{s(\tau s + 1 + AK_T)}$$

המערכת מסוג 1 ולכן

$$K_p = \lim_{s\to 0} G_{(s)} = \infty \rightarrow \varepsilon_{ss}^{p} = 0$$

$$K_v = \lim_{s\to 0} sG_{(s)} = \frac{A}{1+AK_T} = \frac{16}{1+16 \cdot 0{,}125} = 5{,}33 \longrightarrow \varepsilon_{ss} = \varepsilon_{ss}^{v} = \frac{R_{0v}}{K_v} = \frac{2}{5{,}33} = 0{,}375$$

(2) בקר נגזרת



יש למצוא את τ_d הדרוש.

$$G_c(s) = 1+\tau_d s$$

$$\frac{\theta(s)}{\theta_r(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1+G_c(s)G(s)} = \frac{(1+\tau_d s)A}{s(1+\tau s)+(1+\tau_d s)A} = \frac{(1+\tau_d s)A}{\tau s^2+(1+\tau_d A)s+A} =$$

$$= \frac{\left(\frac{1+\tau_d s}{\tau}\right)A}{s^2+\underbrace{\frac{1+\tau_d A}{\tau}}s+\frac{A}{\tau}} \longrightarrow \underline{\omega_n} = \sqrt{\frac{A}{\tau}} = \underline{6.4\ \left(\frac{rad}{sec}\right)}$$

ללא שינוי

$$\longrightarrow 2\zeta\omega_n = \frac{1+\tau_d A}{\tau}$$

$$\underline{\tau_d} = \frac{2\zeta\omega_n\tau-1}{A} = \frac{2\times 0.6\times 6.4\times 0.39-1}{16} =$$

$$= \underline{0.125}$$

המשך הניתוח המשולב שנדרש.

נבחן את השגיאות במצב המתמיד.

$$G(s) = \frac{(1+\tau_d s)A}{s(1+\tau s)}$$

$$K_p = \lim_{s\to 0} G(s) = \infty \quad \hookrightarrow \varepsilon_{ss}^p = 0$$

המערכת מסוג 1 ולכן

נבדוק את ε_{ss}^v.

$$K_v = \lim_{s\to 0} sG(s) = A = 16$$

$$\varepsilon_{ss} = \varepsilon_{ss}^v = \frac{R_{ov}}{\ } = \frac{2}{\ } = 0.125$$

אין השפעה

בקר הנגזרת:
- משפר הריסון וכך מהירות (ללא השפעה על השגיאה)
- אין השפעה על ε.

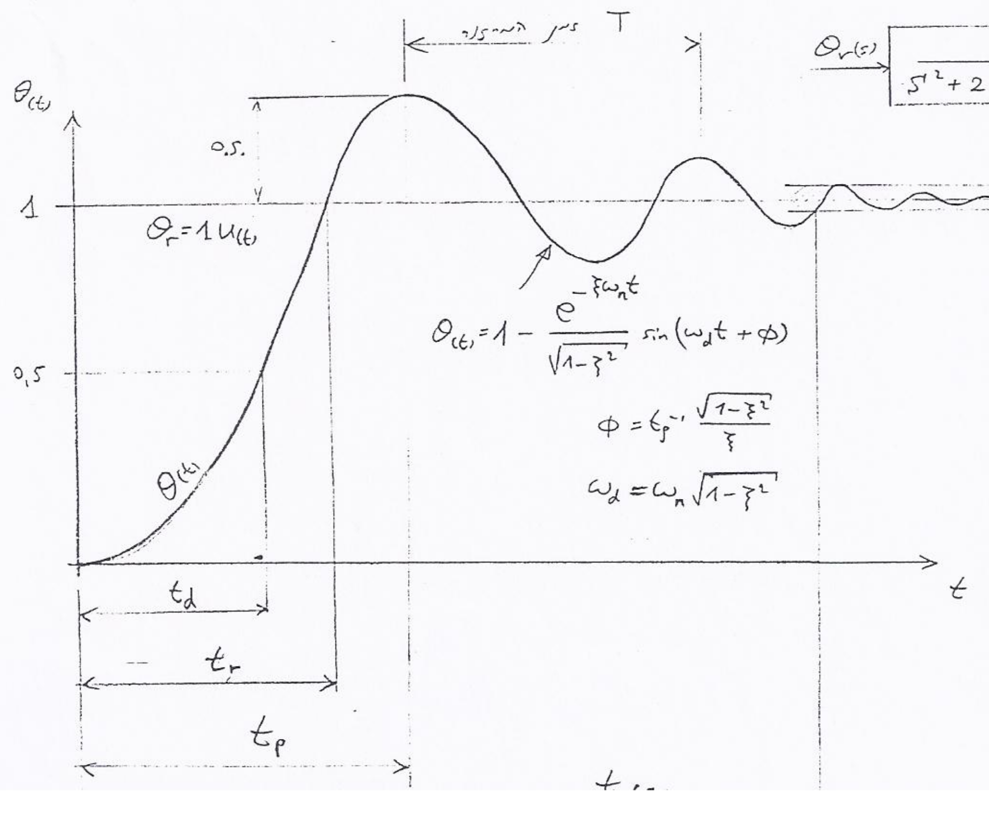
השוואה בין 3 המערכות -

		מערכת מקורית	עם משוב נגזרת	עם בקר נגזרת
ω_n		$6.4 \left(\frac{rad}{sec}\right)$	$6.4 \left(\frac{rad}{sec}\right)$	$6.4 \left(\frac{rad}{sec}\right)$
ζ		0.2	0.6	0.6
K_v	$\lim_{s\to 0} sG_{(s)}$	16	5.33	16
ε_{ss}^{v}	$\frac{R_{ov}}{K_v} = \frac{2}{K_v}$	0.125	0.375	0.125
t_p (sec)	$\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$	0.5 (sec)	0.61 (sec)	(*) 0.44 (sec)
O.S. %	$e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \times 100\%$	52.7 %	9.5 %	(*) 15.2 %
$t_{s(5\%)}$	$\frac{3}{\zeta\omega_n}$	2.34 (sec)	0.78 (sec)	(**) 0.711 (sec)
t_r	$\frac{\pi - tg^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$	0.283 (sec)	0.432 (sec)	(*) 0.26 (sec)

(*) אין לחשב עפ' הנוסחאות הללו כאן!!

(**) הערכה מקורבת.

$$\Theta_{r(s)} \rightarrow \boxed{\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}} \rightarrow \Theta_{(s)}$$



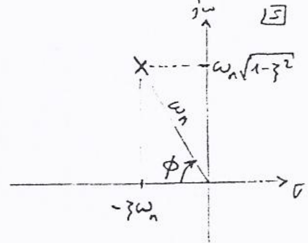
$$\theta_{(t)} = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin(\omega_d t+\phi)$$

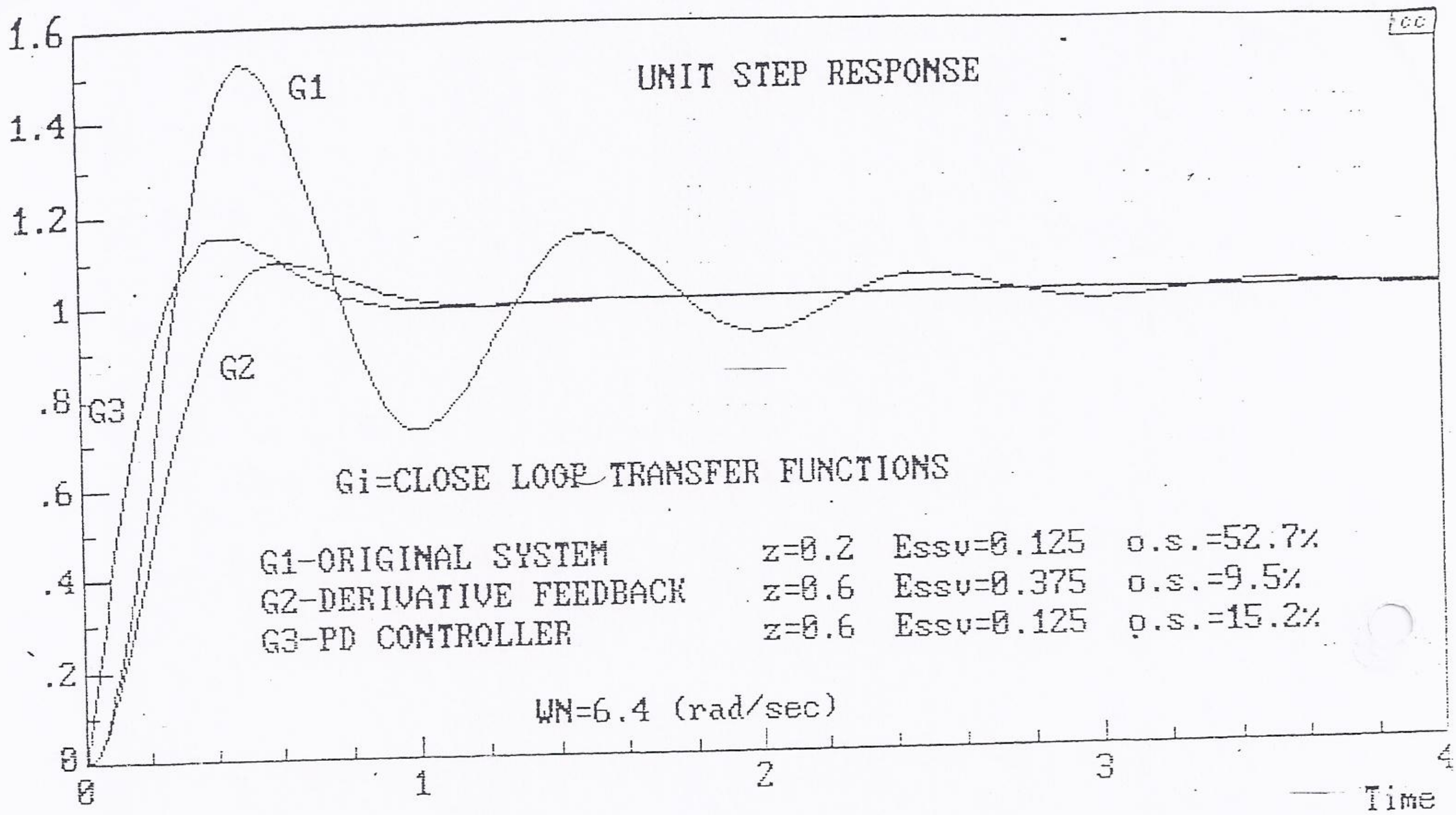
$$\phi = tg^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$

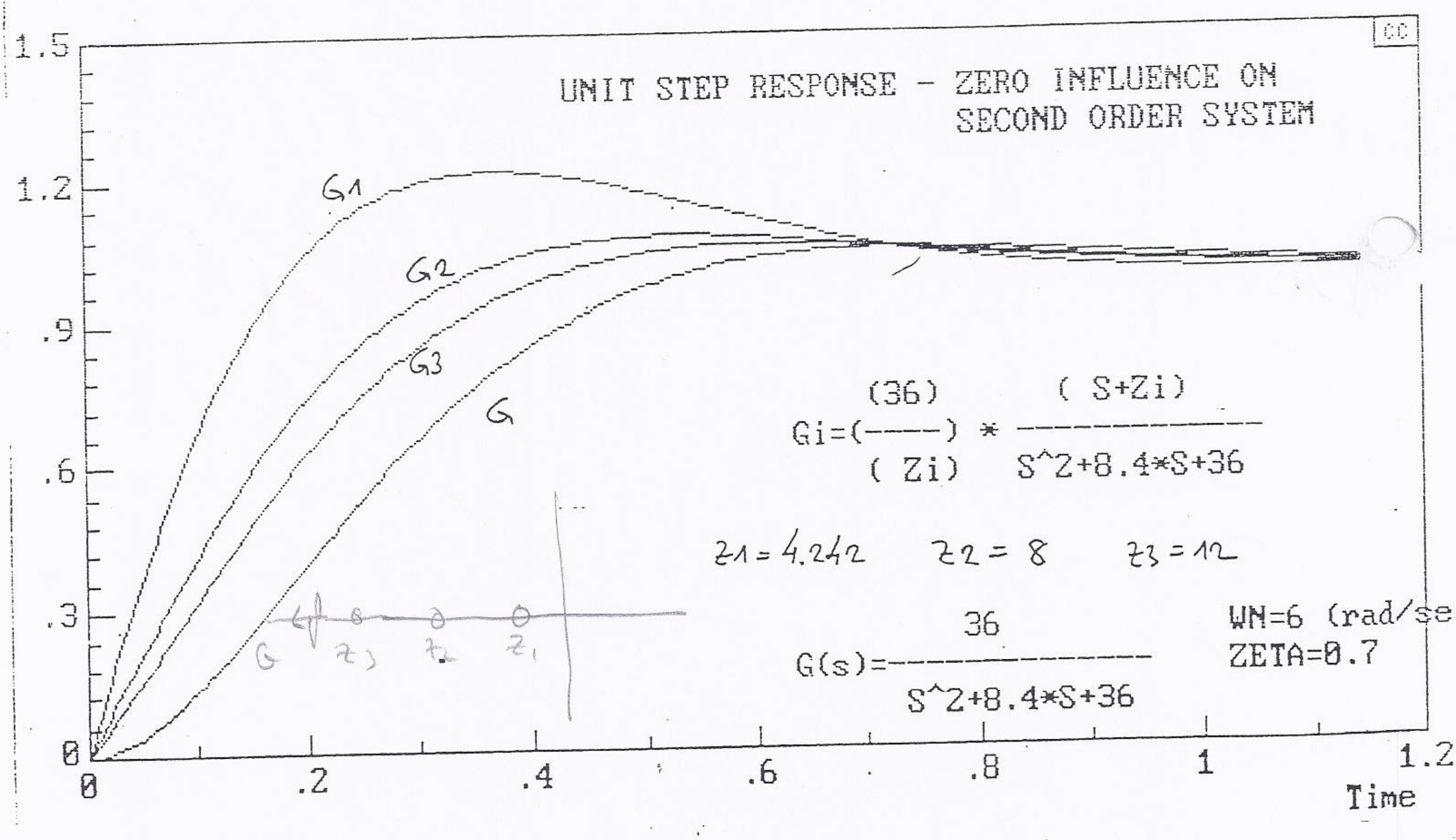
$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$\cos\phi = \zeta$$




UNIT STEP RESPONSE
G1
G2
G3
Gi=CLOSE LOOP TRANSFER FUNCTIONS
G1-ORIGINAL SYSTEM z=0.2 Essv=0.125 o.s.=52.7%
G2-DERIVATIVE FEEDBACK z=0.6 Essv=0.375 o.s.=9.5%
G3-PD CONTROLLER z=0.6 Essv=0.125 o.s.=15.2%
WN=6.4 (rad/sec)
Time


UNIT STEP RESPONSE - ZERO INFLUENCE ON SECOND ORDER SYSTEM
G1
G2
G3
G
Gi=(36/Zi) * (S+Zi)/(S^2+8.4*S+36)
z1 = 4.242 z2 = 8 z3 = 12
G(s)=36/(S^2+8.4*S+36)
WN=6 (rad/se
ZETA=0.7
Time

בחינה ותכנון התגובה הזמנית של מערכות בקרה

מחלקים את התגובה הזמנית לשני רכיבים עיקריים:

1) תגובת המעבר [Transient Response] (התגובה ההתחלתית)

2) התגובה במצב המתמיד [steady-state Response]

תגובת המעבר מעידה על ביצועי המערכת ועל התהליך בה היא מתייצבת בסביבת התגובה הסופית הרצויה בעוד שהתגובה במצב המתמיד מעידה על דיוק המערכת.

אותות מבחן.

במציאות, הכניסות למערכת הבקרה אינן ידועות מראש. הן יכולות להיות אקראיות, ועל כן לא ניתנות לתיאור מתמטי פשוט.

בתהליך התכנון והבדיקה של מערכת בקרה אנו בוחנים את תגובת המערכת לכניסות, הנפוצות, לתיאור מתמטי ואשר לשמש מקור (עד היום):

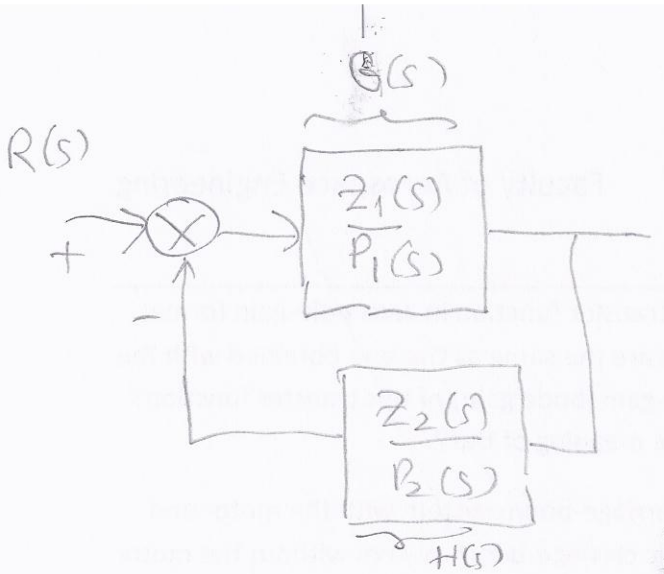
1. מדרגת מצב 2. מדרגת מהירות 3. מדרגת תאוצה.
4. הלם 5. אות [illegible]

ההצדקה לכך (מעבר לנוחות שבזה) נעוצה בעובדה כי יש התאמה (קורלציה) גבוהה בין תגובת המערכת לאותות המבחן הפשוטים לבין יכולתה להתמודד עם הכניסות האמיתיות.

<u>דוגמא</u>: [מטוס שמגיב טוב יותר לכניסת מדרגה והלם, יגיב טוב יותר בזמן עקיבה אחרי מטוס אויב בקרב אוויר (ובעקיבה הכניסות מורכבות הרבה יותר)]

חשיבות אותות הבחינה:

1. אנו מקבלים בסיס משותף להשוואה בין מערכות שונות.
2. ניתן לקבל מדד לטיב המערכת. למשל לקבוע קריטריונים לתכנון "מערכת טובה". [<u>דוגמא</u>: $\zeta = 0.707$, נחשב ריסון טוב].



$$G_R^C\Big|_{CLTF}(s) = G_R^C(s) = \frac{G}{1+GH} = \frac{\frac{Z_1}{P_1}}{\underbrace{1+\frac{Z_1}{P_1}\cdot\frac{Z_2}{P_2}}_{1+GH}}$$

$$G_R^C = \frac{\frac{Z_1}{P_1}}{\underbrace{\frac{P_1 \cdot P_2 + Z_1 \cdot Z_2}{P_1 P_2}}_{1+GH(s)}}$$

$\rightarrow$ 1+GH [illegible]

$\rightarrow$ GH [illegible]

$$= \frac{Z_1 \cdot P_2}{(P_1 P_2 + Z_1 Z_2)} \leftarrow$$

[illegible]

Nyquist tells something about the closed-loop poles by doing a check on GH

$GH \triangleq$ open loop TF