

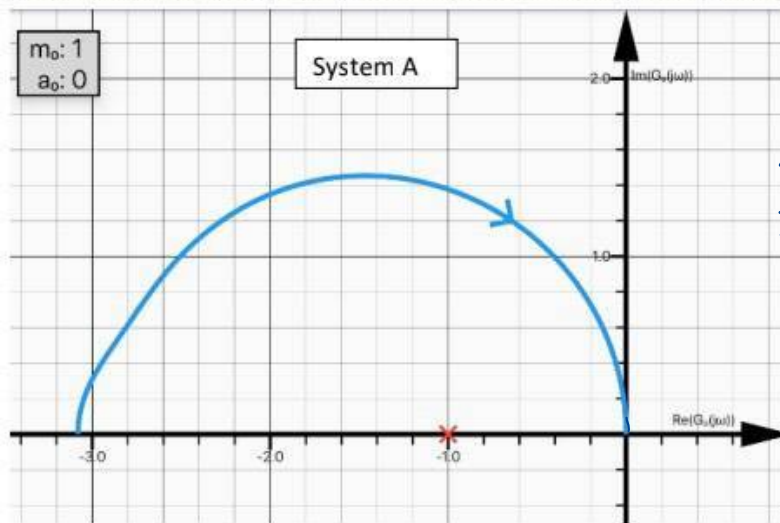
# Final 63\_2

1. จาก open loop function คือ  $\frac{(s+12)}{s(s+2)(s+6)}$  จงเขียน Root Locus ในกระดาษกราฟ (10คะแนน)

2. จาก Nyquist Diagram เมื่อ open loop function คือ  $KG(s)H(s)$  โดยที่  $m_0$  คือจำนวน Pole ของ open loop function ใน RHP และ  $a_0$  คือจำนวน Pole บนแกนจินตภาพของ open loop function ขอให้นักศึกษาให้เติมคำตอบโดยสังเขปลงในช่องว่างของแต่ละคำถาม

a. จงพิจารณาว่าระบบปิดมีเสถียรภาพหรือไม่ *unstable* และการเพิ่มหรือลดค่า  $K$  มีผลอย่างไรต่อเสถียรภาพของระบบปิด.....

(5คะแนน)



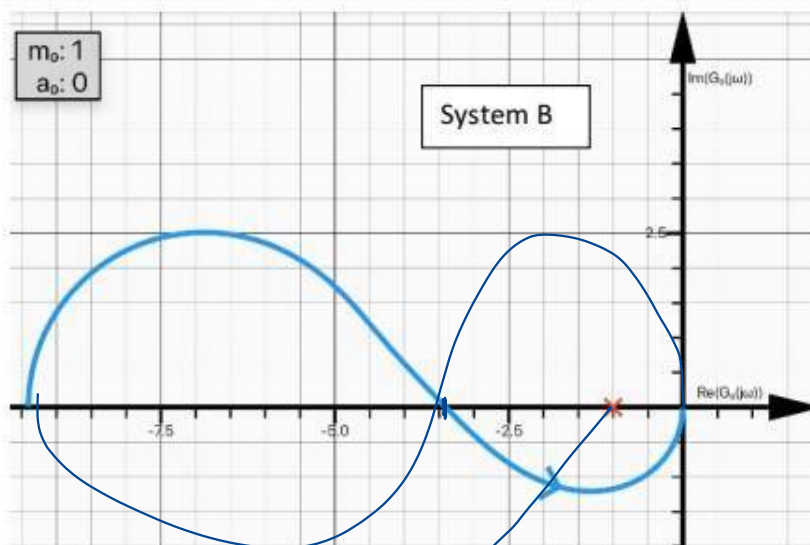
$$Z = N + P$$

$$Z = 1 + 1 = 2$$

$$K > \frac{1}{3.1}$$

b. จงพิจารณาว่าระบบปิดมีเสถียรภาพหรือไม่ *stable* และการเพิ่มหรือลดค่า  $K$  มีผลอย่างไรต่อเสถียรภาพของระบบปิด..... *เพิ่มและลดค่า K ยังคง stable*

(5คะแนน)



$$Z = N + P$$

$$Z = -1 + 1 = 0$$

$$\begin{array}{r} 10 \ 3 \quad 20 \\ \hline s(s+1)(s+10) \end{array}$$

วาด bode

4. ทำลงในกระดาษคำตอบหรือกระดาษกราฟที่เตรียมมา เมื่อกำหนดให้ open loop function คือ

$$\frac{10}{(s+20)s}$$

จงใช้ Root Locus ออกแบบตัวควบคุม ให้ระบบควบคุมแบบวงรอบปิดมีคุณสมบัติดังนี้  
percent overshoot = 0%, settling time 0.2 second (10คะแนน)

5. ทำลงในกระดาษคำตอบหรือกระดาษกราฟที่เตรียมมา เมื่อกำหนดให้ open loop function คือ

$$\frac{K(s+1)}{(s+8)(s+6)}$$

จงใช้ Root Locus ออกแบบตัวควบคุม ให้ระบบควบคุมแบบวงรอบปิดมีคุณสมบัติดังนี้  
percent overshoot = 10%, settling time 0.5 second และ  $1/(1+K_p) = 0$  (10คะแนน)

6. ทำลงในกระดาษคำตอบหรือกระดาษกราฟที่เตรียมมา เมื่อกำหนดให้  $G(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+4)}$  ให้

ออกแบบ Lag-Lead Compensator โดยใช้ Bode Diagram ที่ทำให้ระบบ closed loop มีคุณสมบัติ  
ต่อไปนี้ ค่า percent overshoot = 10 % , ค่า  $T_s = 1$  วินาที และ  $K_v = 20$  [10คะแนน]

901

$$\frac{(s+12)}{s(s+2)(s+6)}$$

Pole = 0, -2, -6<sup>3</sup>  
Zero = -12<sup>2</sup>

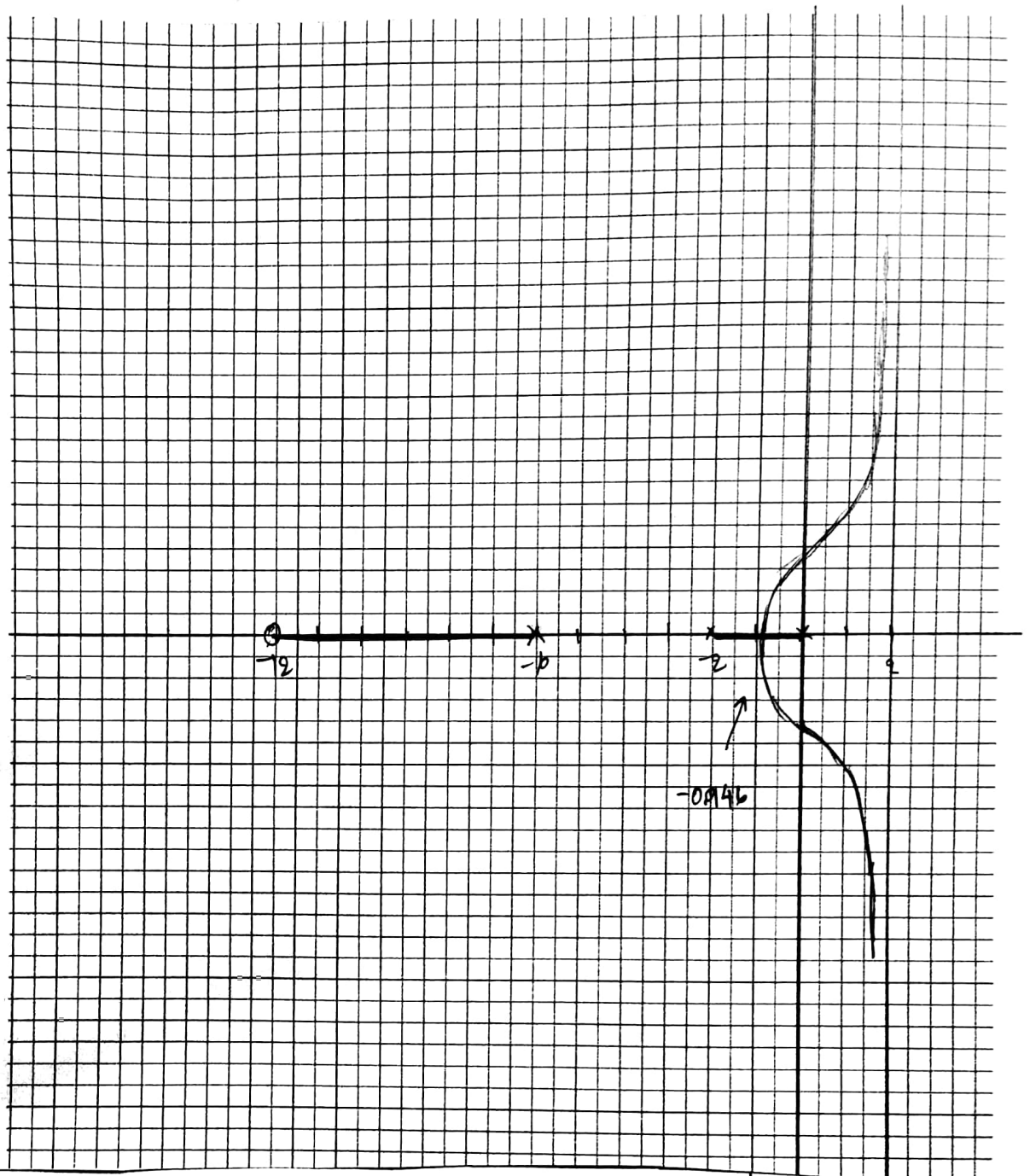
Control

6101011621060

วิศวะกร

21210

$\alpha = 2$



$$\sigma = \frac{\sum P - \sum Z}{2} = 2$$

Break away

$$s^2 + 8s + 12$$

$$\frac{d}{ds} \left( \frac{(s+12)}{s(s+2)(s+6)} \right) = 0$$

$$-2s^3 - 44s^2 - 192s - 144 = 0$$

$$s = -16, -0.946, -4.632$$

$$\frac{d}{ds} \frac{s+12}{s^3 + 8s^2 + 12s} = 0$$

$$s^3 + 8s^2 + 12s - (s+12)(3s^2 + 16s + 12) = 0$$

$$s^3 + 8s^2 + 12s - (3s^3 + 16s^2 + 12s + 36s^2 + 192s + 144) = 0$$

SUBJECT :

NO :

DATE :

Control

6101011621060

จิรภัทร

ลาภ

q02

a

stable

เปลี่ยนค่า k ระบบ จะยัง เสถียร

ลดค่า k ได้ถึง 0.322 ค่าคงที่มาก ขึ้น จะไม่เสถียร

$$1 \frac{1}{3.1}$$

-3.1

b

ไม่ stable

เปลี่ยนค่า k ระบบ จะยัง ไม่เสถียร

ลดค่า k คงที่  $\frac{1}{9.5}$  จะทำให้ ระบบ stable



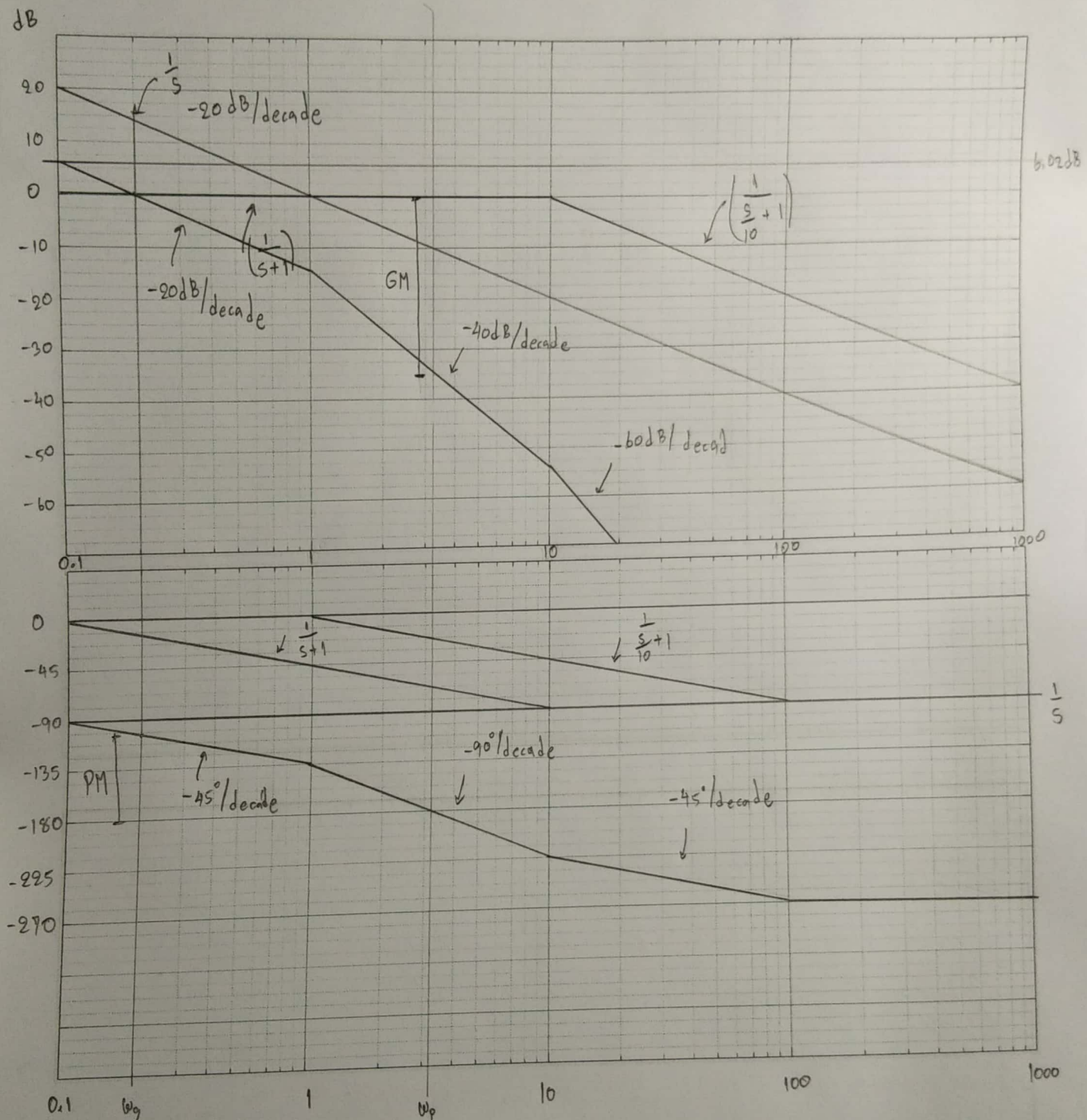
Control

6101011621060

ผู้สมัคร เลข

ข้อ 3

$$\frac{20}{s(s+1)(s+10)} = \frac{20}{10} \left( \frac{1}{s} \right) \left( \frac{1}{s+1} \right) \left( \frac{1}{\frac{s}{10} + 1} \right)$$



$$GM = +35 \text{ dB}$$

$$PM = 78.75^\circ$$

Control

25.11.15 11:20  
6101011621060

40 4  $\frac{10}{(s+20)s}$

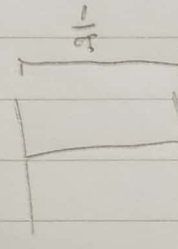
PO = 0

$T_s \leq 0.2 \text{ s}$

$4\tau = 0.2 \text{ s}$

$\tau = \frac{0.2}{4} \text{ s}$

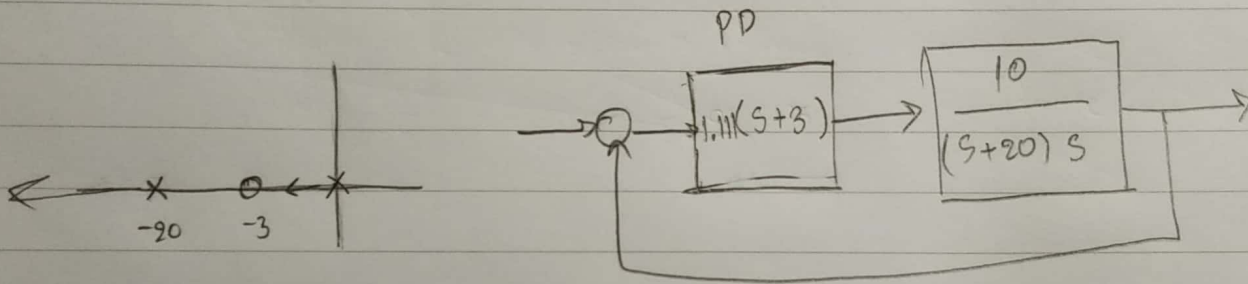
$\frac{1}{\tau} = 20$



$PO = e^{-\frac{\pi \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \times 100$

$\zeta = 1$

Pole at -30



9.1 PD  $k(s+z)$   $P=10Z$

9.1 Z at -3

$k = \frac{1}{\left| \frac{(s+3)10}{(s+20)s} \right|_{s=-30}}$

$k = 1.111$

Q10 5

$$\frac{K(s+1)}{(s+8)(s+b)}$$

$$p_0 = 10$$

$$ess = 0$$

$$4\% = 0.55$$

$$10 = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \times 100$$

$$\zeta = 0.591$$

$$\frac{1}{\sigma_b} = 8$$

$$\omega_n = 53.772^\circ$$

$$6101011621060$$

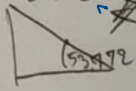
$$\text{poles} \quad \text{zeros}$$

Q10 PI

$$\frac{(s+2)}{s}$$

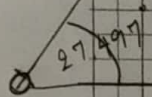
$$K_p = \frac{1}{0} = \infty$$

$$ess = 0$$

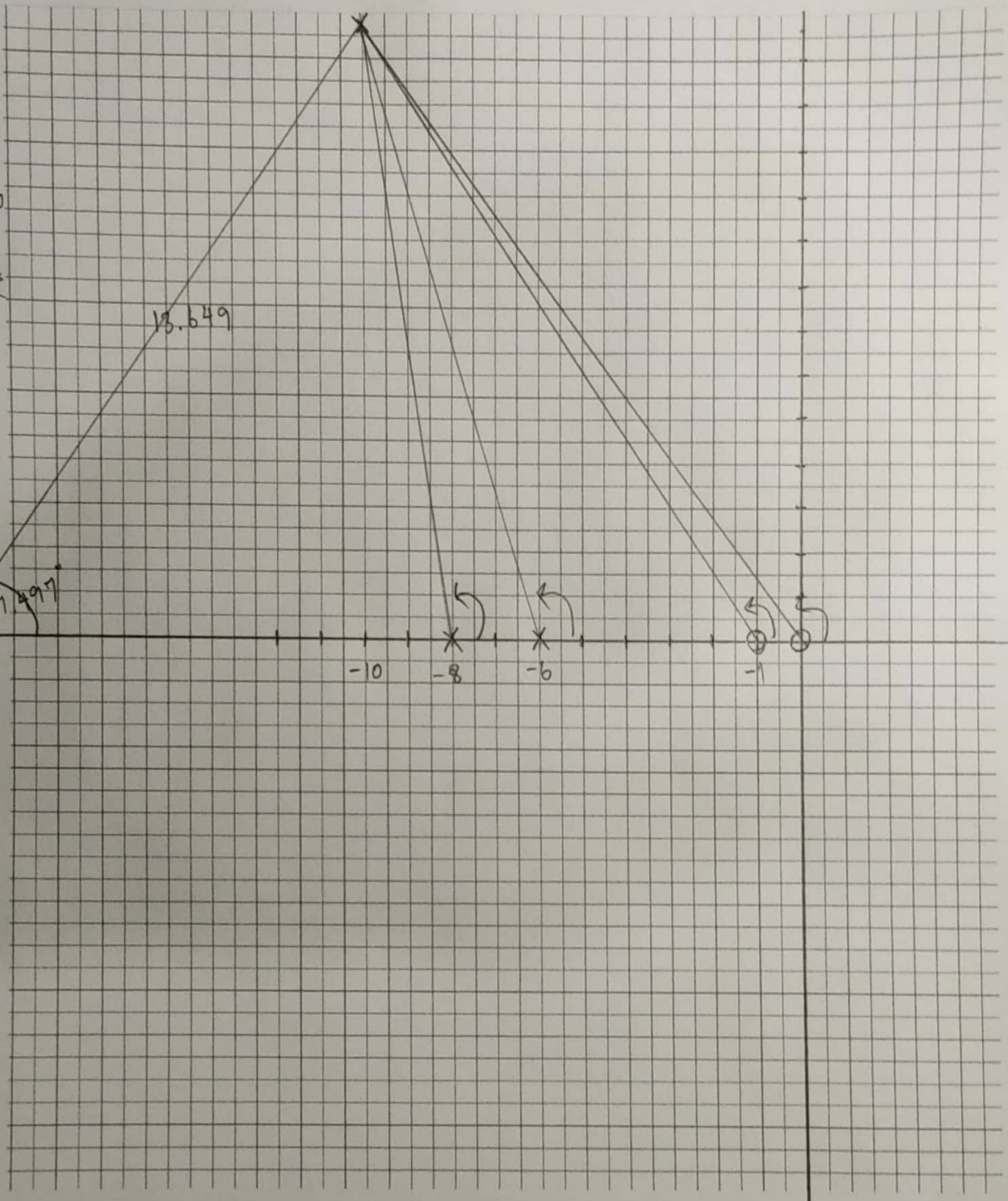


10

$$-10 \pm j13.649$$



27.497

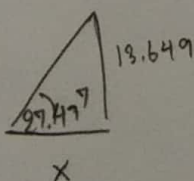


$$-\theta_0 + \theta_1 - \theta_6 - \theta_8 + \theta_z = -180$$

$$-126.228 + 123.400 - 106.333 - 98.336 + \theta_z = 0$$

$$\theta_z = 27.497^\circ$$

$$z = -36.222$$



x

$$x = 26.222$$

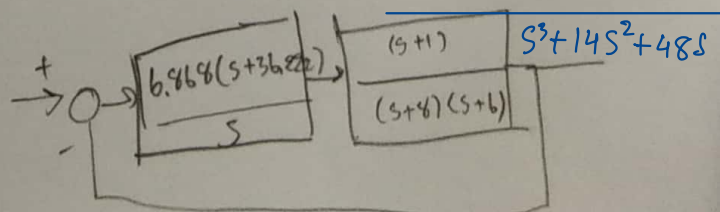
$$k = \frac{1}{\left| \frac{(s+36.222)(s+1)}{s(s+8)(s+6)} \right|}$$

$$\text{where } s = -10 + j13.649$$

$$6.868 \frac{(s^2 + 37.222s + 36.222)}{s(s^2 + 14s + 48)}$$

$$k = 6.868$$

$$6.868s^2 + 255.64s + 248.77$$





$\zeta = 0.591$        $P.O. = 10\%$        $T_s = 1 \text{ s}$   
 $\sigma_b = 0.591$        $K_v = 20$

$PM = \tan^{-1} \frac{2\zeta}{\sqrt{4\zeta^4 + 1 - 2\zeta^2}}$       lag

$PM = 58.542^\circ$

$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s G_c G_p$

$20 = \frac{18.311 \times 10}{(1)(4)} K_{c2}$   
 $K_{c2} = 0.437 = \beta$

$\sigma_b = 0.591$        $T_s = 1 \text{ s}$        $\sigma_b = 0.25 \text{ s}$

$\omega_n = \frac{1}{\sigma_b \zeta} = \frac{1}{0.25(0.591)} = 6.768 \text{ rad/s}$

$K_{c2} = 0.437 = \beta$

$\omega_g = \omega_n \sqrt{4\zeta^4 + 1 - 2\zeta^2}$

$\omega_g = 4.886 \text{ rad/s}$

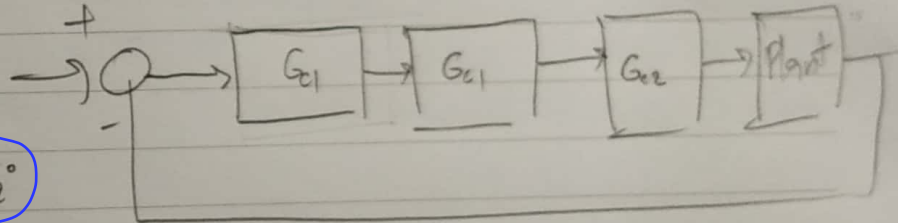
$\sigma_b = \frac{10}{\omega_g} = 2.046$

$PM' = 180 + (-90 - \tan^{-1} \frac{\omega_g}{1} - \tan^{-1} \frac{\omega_g}{4})$

$PM' = -39.127$

$G_{c2} = 0.437 \frac{(2.046s + 1)}{(0.437 \times 2.046s + 1)}$

$\phi_m = 58.542 - (-39.127) + \epsilon$   
 $\phi_m = 104^\circ$



$\phi_m = 104^\circ$  (circled in blue)

$\alpha = \frac{1 - \sin \phi_m}{1 + \sin \phi_m} = 0.119$

$20 \log |k G_p(j\omega_p)| = -20 \log \frac{1}{\sqrt{0.119}}$   
 $20 \log |k G_p(j\omega_p)| = -18.489$

$k = \frac{1}{|G_c G_p|}$

$= \frac{1}{8.403 \left( \frac{1}{(\omega_g \sqrt{\omega_g^2 + 1} \sqrt{\omega_g^2 + 4})} \right)}$   
 $k = 18.311$

$|k G_p(j\omega_p)| = 8.403$

$G_{c1}(s) = 18.311 \frac{(0.593s + 1)}{(0.119 \times 0.593s + 1)}$   
 $G_{c1}(s) = 153 \frac{(s + 1.696)}{(s + 14.17)}$

$\omega_m = \omega_g = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}}$        $\sigma_b = \frac{1}{\omega_g \sqrt{\alpha}} = 0.593$



4. ทำลงในกระดาษคำตอบหรือกระดาษกราฟที่เตรียมมา เมื่อกำหนดให้ open loop function คือ

$$\frac{10}{(s+20)s} \text{ จงใช้ Root Locus ออกแบบตัวควบคุม ให้ระบบควบคุมแบบวงรอบปิดมีคุณสมบัติดังนี้}$$

percent overshoot = 0%, settling time 0.2 second (10คะแนน)

$$PO > 0\% \rightarrow \xi = 1$$

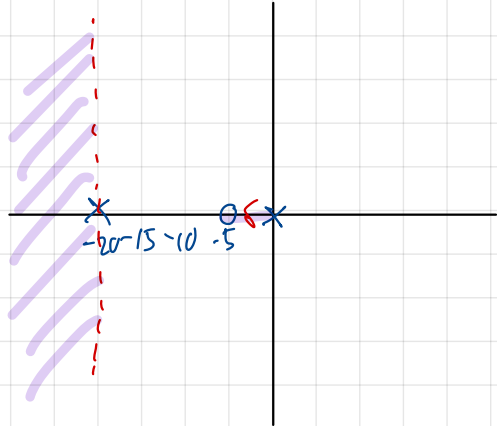
$$T_s = 0.2$$

$$4\tau = 0.2$$

$$\frac{1}{\tau} = -20$$

$$\cos(\phi) = \xi$$

$$\phi = 0^\circ$$



$$\theta_z - \theta_p = \theta_0 - \theta_{20} = r(180^\circ)$$

$$PD \text{ Controller } G_c(s) = K(s+2)$$

$$K = \frac{1}{|G(s)H(s)|} = \frac{1}{\left| \frac{(s+5)10}{s(s+20)} \right|_{s=-50}} = 6.3636$$

$$\therefore K G(s) H(s) = 6.3636 \left( \frac{10(s+5)}{s(s+20)} \right)$$



5. ทำลงในกระดานคำตอบหรือกระดาษกราฟที่เตรียมมา เมื่อกำหนดให้ open loop function คือ

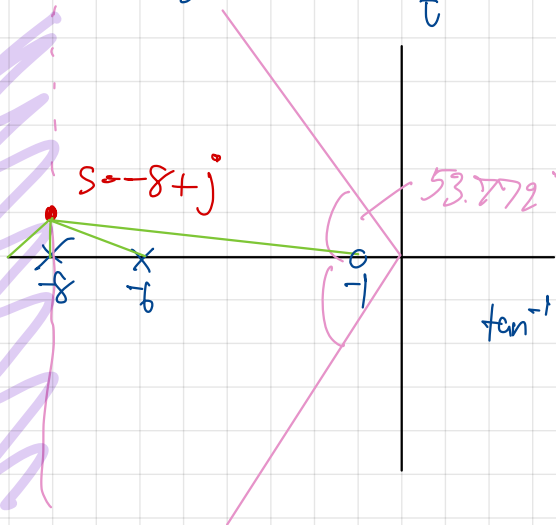
$$\frac{K(s+1)}{(s+8)(s+6)}$$

จงใช้ Root Locus ออกแบบตัวควบคุม ให้ระบบควบคุมแบบวงรอบปิดมีคุณสมบัติดังนี้

percent overshoot = 10%, settling time 0.5 second และ  $1/(1+K_p) = 0$  (10คะแนน)

$$PO = 10\% \rightarrow \xi = 0.591 \rightarrow \phi = 53.772^\circ$$

$$T_s = 0.5 \rightarrow \frac{1}{\tau} = -8$$



$$PD \text{ Controller} : K(s+z_1)$$

$$\theta_z + \theta_1 - \theta_b - \theta_8 = \pi (180^\circ)$$

$$\arg(s+z_1) + \arg(s+1) - \arg(s+6) - \arg(s+8) = -180^\circ$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{1}{z-8}\right) + (180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{1}{z}\right)) - (180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\right)) - 90^\circ = -180^\circ$$

$171.87^\circ$        $153.435^\circ$

$$z_1 = 8.333$$

$$K = \frac{1}{|G(s)H(s)|} = \frac{1}{\left| \frac{(s+8.333)(s+1)}{(s+8)(s+6)} \right|_{s=-8+j}}$$

0.3

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} K G(s) H(s) = \frac{0.3(8.333)(1)}{(8)(6)} = 0.052$$

$$e_{ss} = \frac{1}{1+K_p} = 0.951 \neq 0$$

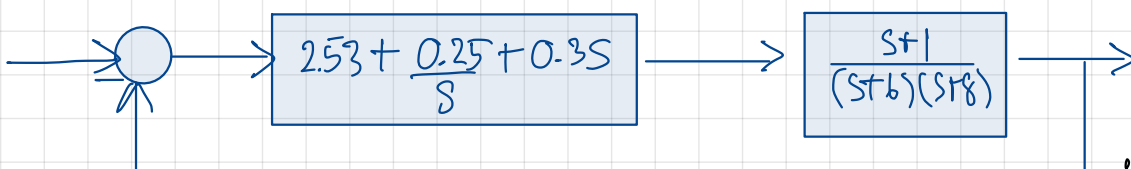
$$PI ; \frac{(s+z_2)}{s} = \frac{(s+0.1)}{s}$$

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} K G(s) H(s) = \frac{0.3(8.333)(1)(0.1)}{8 \cdot 6 \cdot 50} = \infty$$

$$\therefore e_{ss} = \frac{1}{1+K_p} = 0$$

$$K G_c(s) = 0.3(s+8.333) \left( \frac{s+0.1}{s} \right) = 0.3 \left( \frac{s^2 + 8.4333s + 0.8333}{s} \right)$$

$$= \underbrace{0.3s}_D + \underbrace{2.53}_P + \underbrace{\frac{0.25}{s}}_I$$



$$G(s)H(s) = \frac{0.3(s^2 + 8.4333s + 0.8333)(s+1)}{s(s+6)(s+8)}$$

$$= \frac{0.3(s^3 + 8.4333s^2 + 0.8333s + s^2 + 14s + 48)}{s(s^2 + 14s + 48)}$$

$$= \frac{0.3s^3 + 2.83s^2 + 2.78s + 0.25}{s^3 + 14s^2 + 48s}$$

ทำในแผ่น

5. ทำลงในกระดาษคำตอบหรือกระดาษกราฟที่เตรียมมา เมื่อกำหนดให้ open loop function คือ

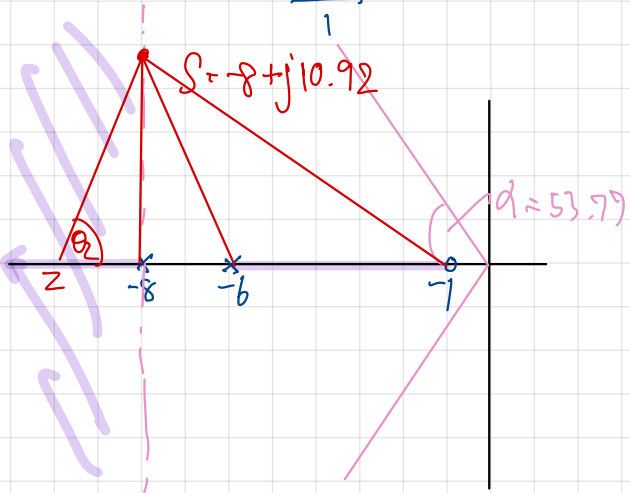
$$\frac{K(s+1)}{(s+8)(s+6)}$$

จงใช้ Root Locus ออกแบบตัวควบคุม ให้ระบบควบคุมแบบวงรอบปิดมีคุณสมบัติดังนี้  
percent overshoot = 10%, settling time 0.5 second และ  $\frac{1}{1+K_p} = 0$  (10 คะแนน) PI

P.O = 10%  $\rightarrow \zeta = 0.591 \rightarrow d = 53.97^\circ$

(2) pole : -6, -8, zero : -1

(3)  $d = 1$   
 $\sigma = \frac{-1+1}{2} = -13$



$T_s = 0.5$   
 $\frac{1}{\zeta} = -8$

$\tan d = \frac{h}{8}$   
 $h = 10.92$

PD Controller :  $G_{C1}(s) = K(s+Z_1)$

$\theta_z - \theta_8 - \theta_6 + \theta_1 = 180^\circ$

$\arg(s+Z) - \arg(s+8) - \arg(s+6) + \arg(s+1) = -180^\circ ; s = -8 + j10.92$

$\tan^{-1}\left(\frac{10.92}{-2-8}\right) = -111.99^\circ$   
 $Z = 12.41$

$K = \frac{1}{|G(s)H(s)|} = \frac{1}{\left|\frac{(s+12.41)(s+1)}{(s+6)(s+8)}\right|_{s=-8+j10.92}} = 0.795$

$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} K(s)H(s) = \frac{0.795(12.41)(1)}{6 \cdot 8} = 0.2055 \rightarrow e_{ss} = 0.8295 \neq 0 \quad \times$

ถ้า PI Controller  $\frac{s+Z_2}{s}$  เลือก  $Z_2 = -0.1 \therefore \frac{s+0.1}{s}$

$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} K(s)H(s) = \infty$

$e_{ss} = 0$

$G(s) = K(s+Z_1)\left(\frac{s+Z_2}{s}\right) = 0.795(s+12.41)\left(\frac{s+0.1}{s}\right) = 0.795s + 9.95 + \frac{0.987}{s}$

