

2102333: ระบบควบคุมเชิงเส้น 1 และปฏิบัติการ  
ห้องปฏิบัติการพื้นฐานระบบควบคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 6 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีผลตอบสนองเชิงความถี่

หมายเลขกลุ่ม

ตอนเรียน

คะแนน

/20

- ชื่อ
- ชื่อ
- ชื่อ

- รหัสனிสิต
- รหัสனிสิต
- รหัสனிสิต

วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบตัวควบคุม PD โดยใช้วิธีผลตอบสนองเชิงความถี่

1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

ในการทดลองที่ผ่านมาเราอาศัยข้อมูลทางโดเมนเวลาในการออกแบบตัวควบคุม แต่สำหรับการทดลองนี้เราจะใช้ข้อมูลทางโดเมนความถี่ในการออกแบบตัวควบคุมแทน โดยข้อมูลในทางโดเมนเวลาและโดเมนความถี่สามารถเปรียบเทียบกันได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1: การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับดัชนีสมรรถนะ

ดัชนีสมรรถนะ	โดเมนเวลา	โดเมนความถี่
ค่าพ่วงเกินสูงสุด	$\zeta$	$PM, GM$
ความเร็วของผลตอบสนอง	$\zeta, \omega_n$	$\omega_{BW}$

โดย

$PM$  คือ Phase margin

$GM$  คือ Gain margin

$\omega_{BW}$  คือ Bandwidth

$\zeta$  คือ Damping ratio

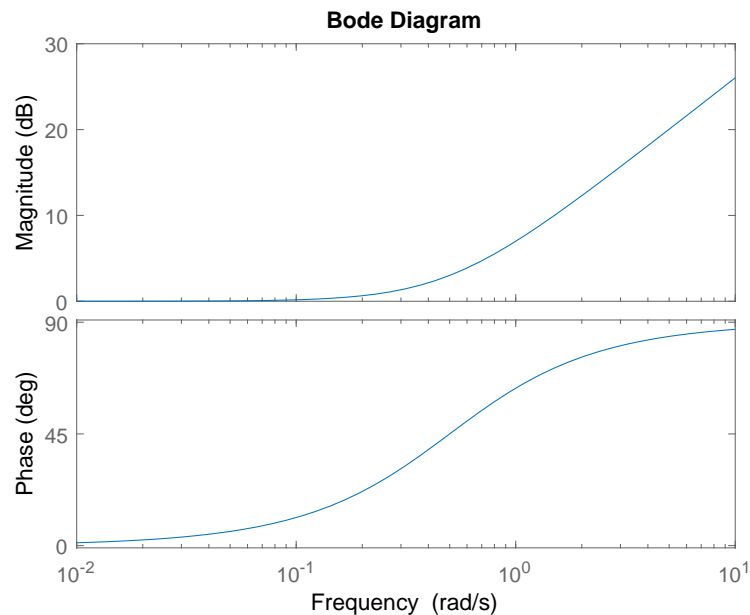
$\omega_n$  คือ Natural frequency

## 2 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของตัวควบคุมแบบ PD

ตัวควบคุมแบบ PD มีฟังก์ชันถ่ายโอน

$$C(s) = K_P(1 + T_D s)$$

มีลักษณะกราฟโพลเดตังในรูปที่ 1 จะสังเกตได้ว่า  $K_D$  จะใช้ในการเปลี่ยนจุดหักมุม และ  $K_P$  จะใช้ในการปรับขนาดของแผนภาพโพลเด



รูปที่ 1: แผนภาพโพลเดตังของตัวควบคุมแบบ PD เมื่อ  $K_P = 1$  และ  $T_D = 2$

## 3 ตัวอย่างการออกแบบตัวควบคุมแบบ PD ด้วยวิธีผลตอบสนองเชิงความถี่

$$G(s) = \frac{16}{s(0.2s + 1)}$$

ข้อกำหนดการออกแบบประกอบด้วย  $PM = 45^\circ$ ,  $BW = 20$  rad/s และ  $K_v = 64$  s<sup>-1</sup>

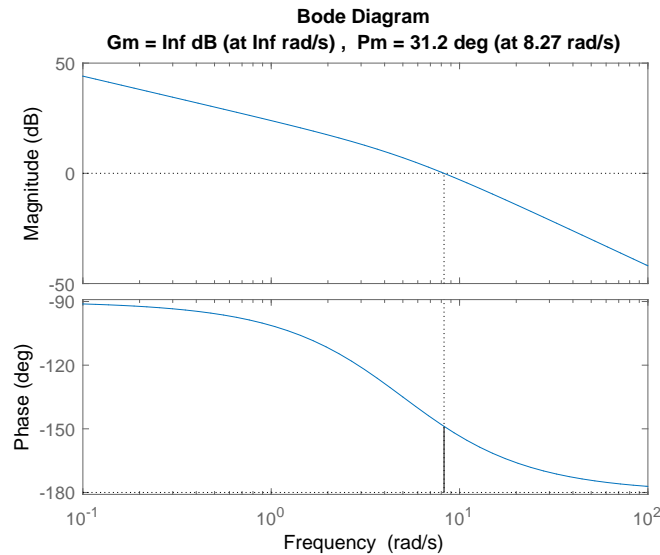
ขั้นตอนที่ 1 อาศัยค่า  $K_v$  สำหรับการเลือก  $K_P$

$$\begin{aligned} K_v &= \lim_{s \rightarrow 0} sC(s)G(s) \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} s(K_P(T_D s + 1))\left(\frac{16}{s(0.2s + 1)}\right) \\ &= 16K_P \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น  $K_P = \frac{K_v}{16} = 4$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่า PM เมื่อกำหนดให้  $C(s) = K_P$  แล้วหามุมชดเชยเพื่อหาค่า  $T_D$

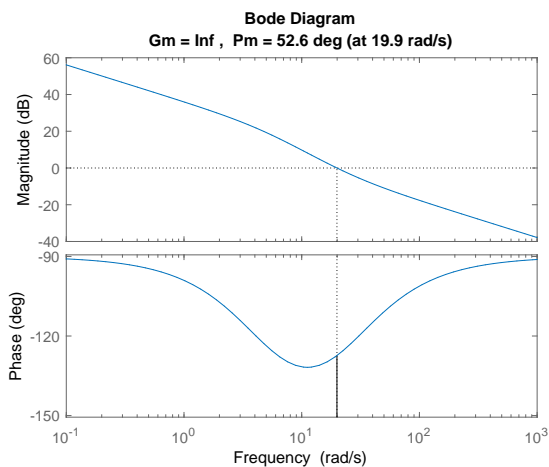
- จากรูป 2 จะทราบค่า  $PM = 22.3^\circ$  ดังนั้นมุมชดเชยจึงมีค่าเท่ากับ  $(45^\circ - 22.3^\circ) + 5^\circ = 27.7^\circ$



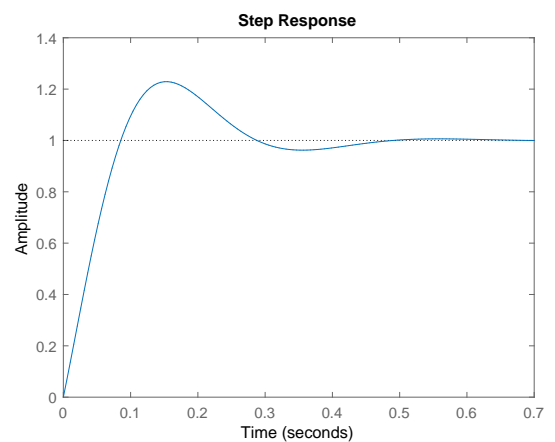
รูปที่ 2: แผนภาพโบเดของระบบวงเปิด เมื่อ  $C(s) = 1$

- เลือกค่า  $T_D$  เพื่อให้  $\omega_{gc}$  มีค่าสอดคล้องกับเงื่อนไขของ  $BW$

จากทั้งสองขั้นตอน เลือก  $K_P = 4$  และ  $K_D = 0.16$  ได้ผลตอบสนองเชิงความถี่ของ  $C(s)G(s)$  แสดงในรูปที่ 3(a) <sup>1</sup>ผลตอบสนองของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมต่อสัญญาณขั้นบันได แสดงในรูปที่ 3(b)



(a)



(b)

รูปที่ 3: รูปซ้ำ แผนภาพโบเดของระบบวงเปิด เมื่อ  $C(s) = 4 + 0.16s$ , รูปขวา ผลตอบสนองขั้นบันได เมื่อ  $C(s) = 4 + 0.16s$

<sup>1</sup>ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงปิดสำหรับ  $PM_{\text{closed-loop}}$  สามารถประมาณได้จาก  $PM_{\text{opened-loop}}$  และ  $BW$  สามารถประมาณได้จาก  $\omega_{gc}$  ของผลตอบสนองวงเปิด

## การทดลองที่ 6 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีผลตอบสนองเชิงความถี่

หมายเลขกลุ่ม

ตอนเรียน

คะแนน

/20

1. ชื่อ
2. ชื่อ
3. ชื่อ

1. รหัสนิสิต
2. รหัสนิสิต
3. รหัสนิสิต

### ขั้นตอนการทดลอง

1. ออกแบบค่า  $K_P$  และ  $K_D$  เพื่อควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ สำหรับแต่ละข้อด้วยวิธีผลตอบสนองเชิงความถี่
2. แสดงผลตอบสนองด้วย Simscape จากระบบที่เคยทำไว้ในไฟล์ก่อนหน้า โดยเชื่อมต่อบล็อกควบคุมตำแหน่งวงปิดแบบ PID เพื่อควบคุมตำแหน่ง
3. ใช้ค่า  $K_P$  และ  $K_D$  ที่ได้จากการออกแบบเพื่อหาผลตอบสนอง บนแบบจำลอง Simscape และให้ควบคุมตำแหน่งโดยเริ่มจาก 0 ไปยัง  $\pi/2$
4. แสดงผลการทดลองลงในกราฟของแต่ละข้อ โดยตั้งชื่อกราฟ ระบุชื่อแกนให้ถูกต้อง

### ผลการทดลอง

1. เขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมตำแหน่ง

- $K =$  [rad/sV]
- $\tau =$  [s]
- ฟังก์ชันถ่ายโอนของชุดทดลอง  $G(s) =$  /

2. (8 คะแนน) ออกแบบตัวควบคุม PD ด้วยวิธีผลตอบสนองเชิงความถี่ โดยมีข้อกำหนดการออกแบบดังนี้

- (a)  $PM$  สำหรับระบบวงเปิดอย่างน้อย 45 deg
- (b)  $K_v$  สำหรับวงเปิดอย่างน้อย 50  $s^{-1}$
- (c) Bandwidth สำหรับระบบวงปิดอย่างน้อย 20 rad/s  
แนะนำให้ประมาณ Bandwidth ด้วย  $\omega_{gc}$  (gain crossover frequency)

การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีผลตอบสนองเชิงความถี่ ได้ตัวควบคุม

$$C(s) =$$

3. เปรียบเทียบแผนภาพโพลเดระหว่าง  $G(s)$  และ  $C(s)G(s)$  โดยแผนภาพของทั้ง 3 พังก์ชันต้องอยู่ในรูปเดียวกัน แนะนำให้คำสั่ง `margin` ใน Matlab หลังจากนั้น คำนวณ steady state error เมื่อป้อนสัญญาณอ้างอิงเป็น unit ramp แนะนำจำลองผลตอบสนองด้วย Matlab แล้วเติมค่าสมรรถนะในตาราง 2

ตารางที่ 2: เปรียบเทียบผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบวงเปิด

ฟังก์ชันถ่ายโอน	$PM$ (deg)	$\omega_{gc}$ (rad/s)	$e_{ss}$ deg (ramp)
$G(s)$			
$C(s)G(s)$			

4. เปรียบเทียบผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดใน *Simscape* เมื่อใช้ตัวควบคุม  $C(s)$  ทั้งสองกราฟจะต้องอยู่ในรูปเดียวกัน แล้วเติมค่าสมรรถนะในตาราง 3

ตารางที่ 3: เปรียบเทียบผลตอบสนองขั้นบันได

การควบคุม	$M_p$ (%)	$t_s$ (s)	$t_r$ (s)
$C(s)$			

5. (2 คะแนน) พล็อตสัญญาณควบคุม (Voltage Input) เมื่อใช้ตัวควบคุม  $C(s)$
6. (2 คะแนน) จงวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง