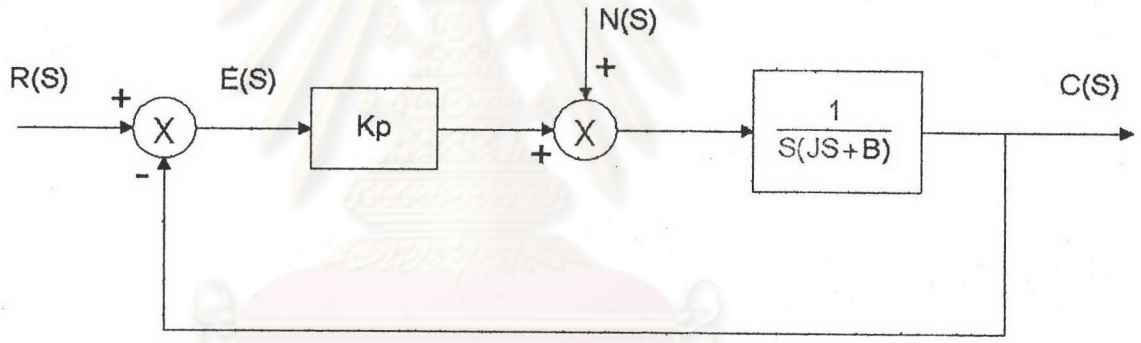
บทที่ 4

การควบคุมแบบ พี. ไอ. ดี.

สำหรับโครงการวิทยานิพนธ์นี้ใช้การควบคุมแบบ พี. ไอ. ดี. ควบคุมผลการตอบสนองของมอเตอร์ โดยการ ควบคุมแบบ พี. จะทำให้การตอบสนองของระบบเร็วขึ้น การควบคุมแบบ ดี. จะช่วยลดโอเวอร์ชู้ตของระบบ และ การควบคุมแบบ ไอ. ช่วยกำจัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ที่สภาวะคงที่

4.1 ผลการตอบสนองของระบบควบคุมแบบต่าง ๆ

4.1.1 การตอบสนองต่อแรงบิดรบกวนของระบบควบคุมแบบ พี พิจารณาระบบอันดับ 2 ภายใต้การควบคุมแบบพี. ตามรูปที่ 4.1 เนื่องจากระบบที่พิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นที่ไม่ขึ้นกับเวลา(LINEAR-TIME INDEPNDEENT SYSTEEM) จึงสามารถแยกการพิจารณาผลการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุท R(S) และ N(S) ได้



รูปที่ 4.1 ระบบควบคุมแบบ พี ที่มีแรงบิดรบกวน N(s)

พิจารณาผลการตอบสนองต่อแรงบิดรบกวน N(S) ของระบบอันดับ 2 ภายใต้การควบคุมแบบ พี

ให้ R(s) = 0 ; ฟังก์ชั่นถ่ายโอน (TRANSFER FUNCTION) ระหว่าง C(s)กับ N(s) คือ

$$\frac{C(S)}{N(S)} = \frac{1}{JS^2 + BS + K_p}$$

เนื่องจาก

$$\frac{E(S)}{N(S)} = \frac{-C(S)}{N(S)} = -\frac{1}{JS^2 + BS + K_p}$$

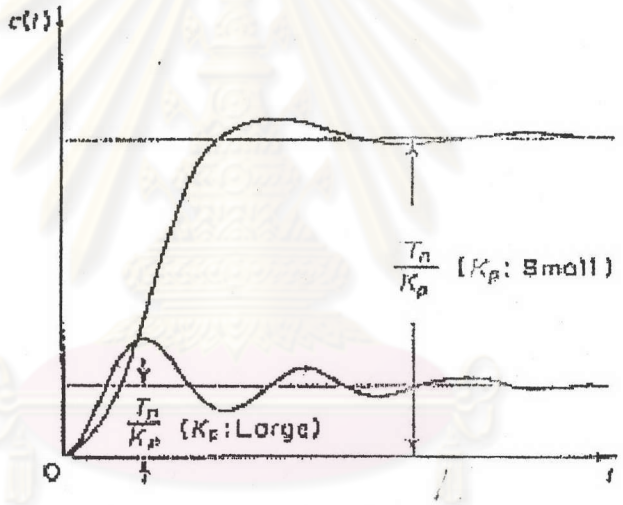
ความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ (STEADY STATE ERROR) เมื่อมีแรงบิดรบกวนแบบสเตป (STEP DISTURBANCE TORQUE) ขนาด T_n หาได้จาก

$$e_{ss} = \lim_{s \to 0} SE(S)$$

$$= \lim_{s \to 0} \frac{-S}{JS^2 + BS + K_p} \frac{T_n}{S}$$

$$lss = -\frac{T_n}{K_p}$$

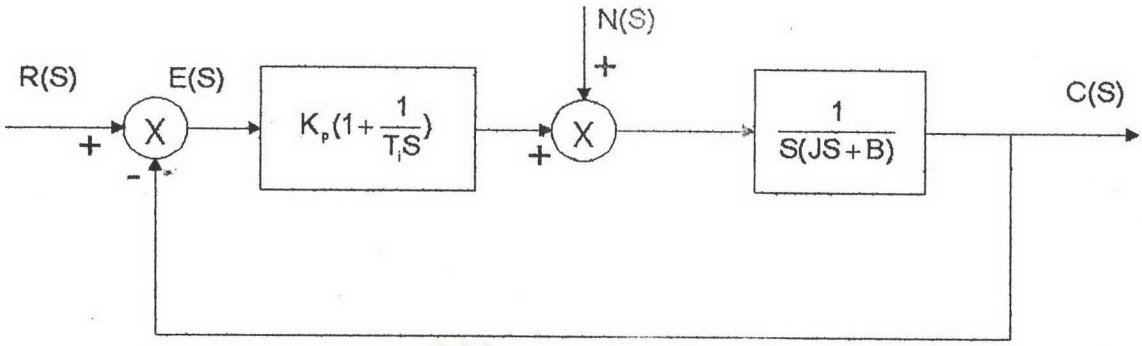
เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ได้โดยการเพิ่มค่าเกน KP แต่การเพิ่มค่าเกน KP จะทำให้ระบบตอบสนองได้ไม่ราบเรียบ (OSCILLATE) ดังรูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบตอบสนองระบบ เมื่อค่าเกน KP มีค่าต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 แสดงการตอบสนองของระบบควบคุมต่อแรงบิดรบกวนที่ค่าเกน KP ต่าง ๆ

4.1.2 <u>การตอบสนองต่อแรงบิดรบกวนของระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.</u> พิจารณาระบบอันดับ 2 ภายใต้การควบคุมแบบ พี. ไอ. ตามรูปที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ. ที่มีแรงบิดรบกวน

เช่นเดียวกับการพิจารณาระบบควบคุมแบบ พี. พิจารณาผลการตอบสนองต่อแรงบิดรบกวน N(S) ของระบบอันดับ 2 ภายใต้การควบคุมแบบ พี. ไอ

ให้ R(S) = 0 , ฟังก์ชั่นถ่ายโอนระหว่าง C(S) กับ N(S)เขียนได้เป็น

$$\frac{C(S)}{N(S)} = \frac{S}{JS^3 + BS^2 + K_pS + \frac{K_p}{T_i}}$$

$$\frac{E(S)}{N(S)} = -\frac{C(S)}{N(S)} = -\frac{S}{JS^3 + BS^2 + K_pS + \frac{K_p}{T_i}}$$

ถ้าระบบนี้เสถียร(STABLE) นั่นคือ รากของสมการลักษณะเฉพาะ (CHARACTERISTIC EQUATION)

$$JS^3 + BS^2 + K_pS + \frac{K_p}{T_i} = 0$$

มีส่วนจำนวนจริงที่ติดลบ (NEGATIVE REAL PART) เราสามารถหาความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ เมื่อมีแรงบิดรบกวนแบบสเตปขนาด T_n ได้จาก

$$e_{ss} = \lim_{s\to 0} SE(S)$$

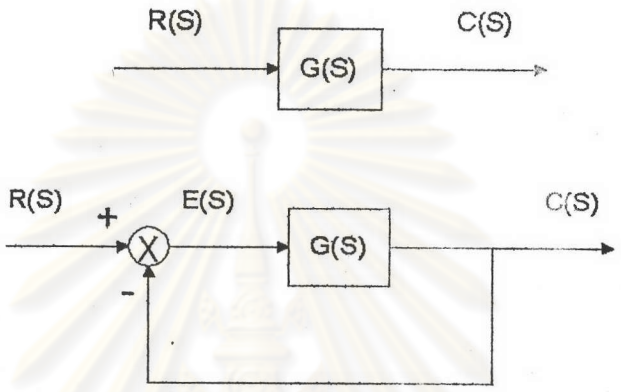
$$= \lim_{s\to 0} \frac{-S^2}{JS^3 + BS^2 + K_pS + \frac{K_p}{T_i}} \frac{T_n}{S}$$

$$= 0$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้นเราสามารถขจัดความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ ได้โดยการใช้ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ. แต่ในขณะเดียวกัน ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ. ก็เปลี่ยนระบบทั้งหมดจากระบบอันดับสอง (SECOND-ORDER SYSTEM) ไปเป็นระบบอันดับสาม (THIRD-ORDER SYSTEM) ถ้าเราเลือกค่าเกน K_p สูงมากเกินไป รากของสมการลักษณะเฉพาะ จะมีส่วนจำนวนจริงที่เป็นบวก (POSITIVE REAL PART) ทำให้ระบบไม่เสถียรได้

4.1.3 <u>การลดผลของความคลาดเคลื่อนของค่าพารามิเตอร์ของระบบ โดยใช้การควบคุมแบบ ป้อนกลับ</u> พิจารณาระบบควบคุมแบบเปิด และระบบควมคุมแบบปิดในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ระบบการควบคุมแบบเปิด และ ระบบการควบคุมแบบปิด

สมมติให้G(S) เป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอน ของระบบและ $\Delta G(S)$ เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงของฟังก์ชั่นถ่ายโอน เมื่อค่าพารามิเตอร์ของระบบมีการเปลี่ยนแปลง และให้ $|G(S)| >> |\Delta G(S)\ \Delta G(S)|$ และ $|G(S)| >> 1$ สำหรับระบบควบคุมแบบเปิด เอาท์พุทของระบบหาได้จาก

$$C(S) + \Delta C(S) = [\ G(S) + \Delta G(S)\ ].R(S)$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทคือ

$$\Delta C(S) = \Delta G(S)R(S)$$

แต่สำหรับระบบควบคุมแบบปิด

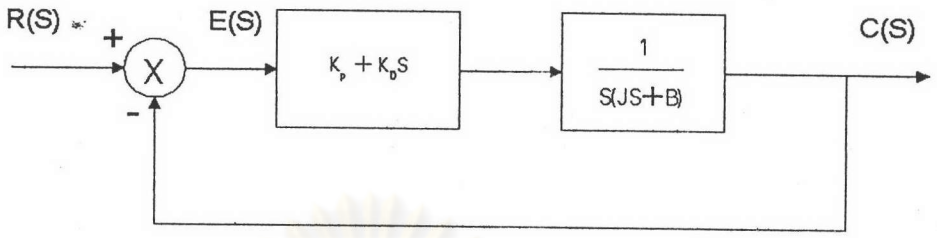
$$C(S) + \Delta C(S) = \frac{G(S) + \Delta G(S)}{1 + G(S) + \Delta G(S)} R(S)$$

หรือ

$$\Delta C(S) \equiv \frac{\Delta G(S)}{1 + G(S)} R(S)$$

จะเห็นว่าเมื่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบมีการเปลี่ยนแปลง หรือคลาดเคลื่อน เช่น ค่าเกนควบคุม ค่าโมเมนต์แรงเฉื่อยของมอเตอร์ ค่าแรงเสียดทานฯลฯ การเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทจะถูกลดลงด้วยแฟกเตอร์ 1+ G (S) ซึ่งในทางปฏิบัติส่วนมาก ค่าของ 1+G(S) จะมีค่ามากกว่า 1 มาก

4.1.4 <u>การควบคุมแบบ พี.ดี. สำหรับระบบอันดับสอง</u> พิจารณาบล็อกไดอะแกรม ของระบบอันดับสองที่ควบคุมด้วยการควบคุมแบบ พี. ดี.



รูปที่ 4.5 การควบคุมแบบ พี.ดี. สำหรับระบบอันดับสอง

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนระหว่าง C(S) และ R(S) คือ

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{K_P + K_D S}{JS^2 + (B + K_D)S + K_P}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคงที่ สำหรับสัญญาณอินพุทแบบแรมป์หนึ่งหน่วย(UNIT RAMP INPUT)

$$e_{ss} = \lim_{s \to 0} SE(S)$$

$$= \lim_{s \to 0} \frac{S^2(JS + B)}{JS^2 + (B + K_D)S + K_P} \cdot \frac{1}{S^2}$$

$$= \frac{B}{K_P}$$

สมการคาแรกเตอริสติก ของระบบคือ

$$JS^2 + (B + K_D)S + K_P = 0$$

ถ้าให้อัตราส่วนแดมปิ้ง(DAMPING RATIO)

$$\varsigma = \frac{B + K_D}{2\sqrt{K_P J}}$$

ความถี่ธรรมชาติที่ไม่มีการแดมป์ (UNDAMP NATURAL FREQUENCY)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_P}{J}}$$

ซีโร่ (ZERO) $Z = \frac{K_P}{K_D}$

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนระหว่าง C(S) และ R(S) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{\omega_n^2}{Z} \frac{S+Z}{S^2+2\zeta\omega_n S+\omega_n^2}$$

การควบคุมแบบพี. ดี. สามารถลดโอเวอร์ชู้ต(OVERSHOOT) และความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ โดยการทำให้ค่าเกน KP มีค่ามาก และปรับค่าเกน K_D ให้อัตราส่วนแดมปิ้งอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.7

4.2 <u>สรุปผลการควบคุมแบบ พี. ไอ. ดี.</u> จากการศึกษาระบบควบคุม และผลของการควบคุมแบบต่าง ๆ สรุปได้ว่า

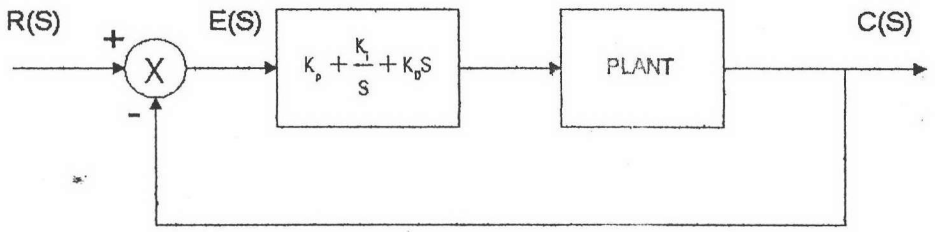
- การควบคุมแบบ พี. จะมีความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่เหลืออยู่ เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ได้ด้วยการเพิ่มค่าเกน K_P แต่จะทำให้ระบบสั่นมากขึ้น(OSCILLATE)

- เราสามารถขจัด ความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ได้โดยการเพิ่มการควบคุมแบบ ไอ.เข้าไป แต่การควบคุมแบบไอ. จะเพิ่มอันดับ(ORDER)ของระบบขึ้น 1 อันดับอาจทำให้ระบบไม่เสถียรได้ ถ้าค่าเกน K_I มีค่ามากเกินไป และต้องระวังการเกิด อินทิกรัล ไวด์อัพ(INTEGRAL WINDUP) ด้วย

- กรณีที่เราต้องการให้ระบบตอบสนองได้รวดเร็วขึ้น เราต้องเพิ่มค่า เกน K_P แต่ในขณะเดียวกันระบบก็จะมี โอเวอร์ชู้ต(OVERSHOOT) สูงมากเช่นเดียวกัน เราสามารถลดโอเวอร์ชู้ตได้โดยการเพิ่มการควบคุมแบบ ดี. เข้าไป เพื่อลดโอเวอร์ชู้ต

- ระบบการควบคุมแบบปิด(CLOSED LOOP)จะช่วยลดผลของสัญญาณรบกวน และผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบให้ลดลง

4.3 <u>บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม พี.ไอ.ดี</u> เมื่อรวมข้อดีของการควบคุมทั้งสามแบบ คือ พี. ไอ และดี เข้าด้วยกัน เป็นระบบควบคุมแบบ พี. ไอ.ดี ซึ่งบล็อกไดอะแกรมสามารถเขียนได้ ดังรูปที่ 4.6 การเพิ่มหรือลดผลของการควบคุมของการควบคุมแต่ละแบบ ทำได้โดยการปรับค่าเกน K_P ,K_I และ K_D ตามลำดับ เพื่อให้ผลการตอบสนองของระบบที่ถูกควบคุมเป็นไปตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบ พี. ไอ. ดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย