



การควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.พี

ในระบบควบคุมอัตโนมัติ (automatic controller) นั้นจะมีการสร้างสัญญาณควบคุม (control signal) ที่สามารถเป็นตัวลดหรือปรับให้ค่าที่ได้ออกมาจริง (actual value) จากระบบ มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่เราต้องการ (desired value) ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ซึ่งเราสามารถแบ่งประเภทของสัญญาณควบคุม (control action) ที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในอุตสาหกรรม (industrial automatic controllers) ได้ 5 แบบ ดังนี้ (Ogata, 1984)

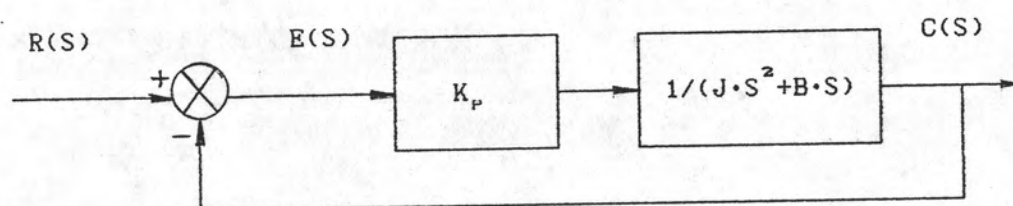
1. สัญญาณควบคุมแบบเปิดปิด (on-off controller)
2. สัญญาณควบคุมแบบ พี. (proportional controller)
3. สัญญาณควบคุมแบบ พี.ไอ. (proportional-plus-integral controller)
4. สัญญาณควบคุมแบบ พี.ดี. (proportional-plus-derivative controller)
5. สัญญาณควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี. (proportional-plus-integral-plus-derivative controller)

สำหรับโครงการวิทยานิพนธ์นี้จะนำเอาสัญญาณควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี. มาใช้ร่วมกับสัญญาณควบคุมแบบพีวีวี โดยที่สัญญาณควบคุมแบบ พี. จะทำให้การตอบสนองของระบบเร็วขึ้น สัญญาณควบคุมแบบ ไอ. จะช่วยกำจัด steady state error ให้หมดไป สัญญาณควบคุมแบบ ดี. จะทำหน้าที่คล้ายกับแดมปีงของระบบทำให้ระบบเสถียรมากขึ้น ส่วนสัญญาณควบคุมแบบพีวีวี จะช่วยแก้ไขค่าความผิดพลาดกรณีที่เกิดการหักมุมหรือเปลี่ยนทิศทาง

3.1 ผลของสัญญาณควบคุมแบบ พี.ไอ. กับ steady state error

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการใช้สัญญาณควบคุมแบบ ไอ. จะช่วยทำให้ steady state error หมดไป ซึ่งเราสามารถเปรียบเทียบผลของการควบคุมแบบ พี. และ พี.ไอ. กับ steady state error ได้ดังนี้

3.1.1 ผลของการควบคุมแบบ พี. กับ steady state error พิจารณาจากระบบอันดับ 2 ตามรูปที่ 3.1 ซึ่งใช้สัญญาณควบคุมแบบ พี.



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี. ของระบบอันดับ 2

จากรูปที่ 3.1 เราจะได้ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังนี้

$$C(S)/R(S) = K_p / (J \cdot S^2 + B \cdot S + K_p) \quad (3.1)$$

$$E(S)/R(S) = [R(S) - C(S)] / R(S)$$

$$E(S) = R(S) \cdot (J \cdot S^2 + B \cdot S) / (J \cdot S^2 + B \cdot S + K_p) \quad (3.2)$$

เนื่องจากสัญญาณอินพุตเป็นจุดอ้างอิงของทางเดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งมีลักษณะแบบเร่มป์ (ramp) ดังนั้นจะได้ว่า $R(S)$ มีค่าเท่ากับ $1/S^2$ แทนค่า $R(S)$ ลงในสมการที่ 3.2 จะได้ค่า $E(S)$ ตามสมการ 3.3

$$E(S) = (1/S^2) \cdot (J \cdot S^2 + B \cdot S) / (J \cdot S^2 + B \cdot S + K_p) \quad (3.3)$$

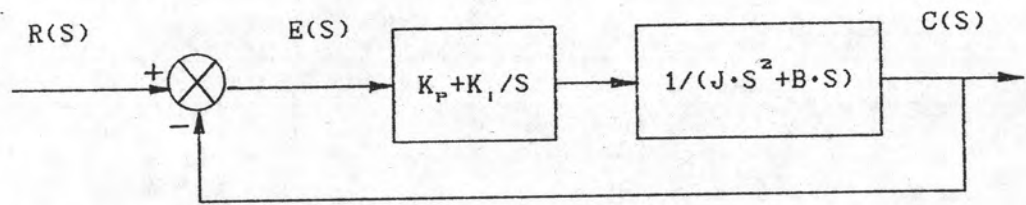
จากทฤษฎี Final Value (Kuo, 1987)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} S \cdot E(S) \quad (3.4)$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} (S/S^2) \cdot (J \cdot S^2 + B \cdot S) / (J \cdot S^2 + B \cdot S + K_p)$$

$$e_{ss} = B/K_p \quad (3.5)$$

3.1.2 ผลของการควบคุมแบบ พี. ไอ. กับ steady state error พิจารณาจากระบบอันดับ 2 ตามรูปที่ 3.2 ซึ่งใช้สัญญาณควบคุมแบบ พี. ไอ.



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี.ไอ. ของระบบอันดับ 2

จากรูปที่ 3.2 เราจะได้ความสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

$$C(S)/R(S) = (K_p \cdot S + K_i) / (J \cdot S^3 + B \cdot S^2 + K_p \cdot S + K_i) \quad (3.6)$$

$$E(S) = (1/S^2) \cdot (J \cdot S^3 + B \cdot S^2) / (J \cdot S^3 + B \cdot S^2 + K_p \cdot S + K_i) \quad (3.7)$$

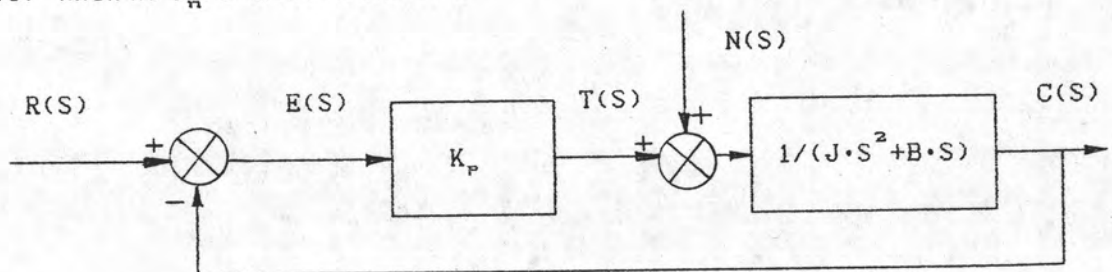
$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} S \cdot E(S)$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} (S/S^2) \cdot (J \cdot S^3 + B \cdot S^2) / (J \cdot S^3 + B \cdot S^2 + K_p \cdot S + K_i) = 0 \quad (3.8)$$

จากสมการที่ 3.5 เราจะเห็นได้ว่าในระบบควบคุมแบบ พี. เมื่ออินพุทเป็น ramp จะมี steady state error ซึ่งมีค่าเท่ากับ B/K_p ส่วนสมการที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบ พี.ไอ. จะมีค่า steady state error เป็น 0

3.2 ผลของสัญญาณควบคุม พี.ไอ. กับแรงภายนอก

3.2.1 ผลของการควบคุมแบบ พี. กับแรงภายนอก สำหรับแรงภายนอกที่มากกระทำกับระบบ อาจเกิดจากแรงโน้มถ่วง หรือเป็นผลมาจาก dynamic friction เป็นต้น พิจารณาระบบควบคุมอันดับ 2 ที่ใช้สัญญาณควบคุมแบบ พี. และมีแรงภายนอกแบบยูนิทเลสเตป N(S) ที่มีขนาด T_n/S มากกระทำกับระบบ



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี. ของระบบอันดับ 2 ที่มีแรงภายนอกมากกระทำ

จากรูปที่ 3.3 ถ้าให้สัญญาณอินพุท $R(S)$ มีค่าเท่ากับ 0 เราจะได้ความสัมพันธ์ตามสมการต่างๆดังนี้

$$C(S)/N(S) = 1/(J \cdot S^2 + B \cdot S + K_p) \quad (3.9)$$

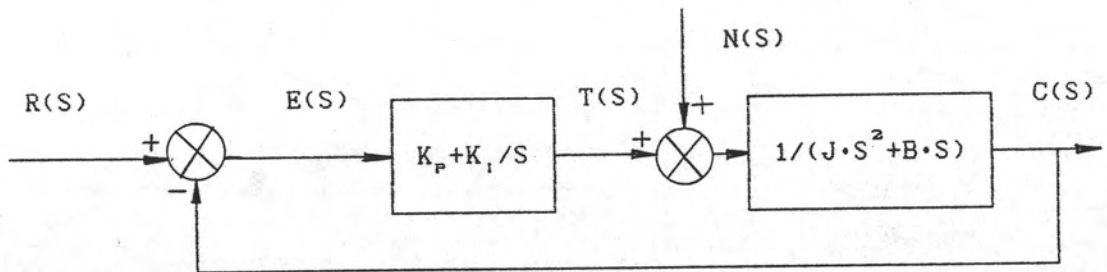
$$E(S)/N(S) = [R(S) - C(S)]/N(S)$$

$$E(S)/N(S) = -C(S)/N(S) \quad (3.10)$$

จากสมการที่ 3.10 แทนค่า $N(S)$ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ T_n/S และจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.4 เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} e_{\infty} &= \lim_{s \rightarrow 0} (-S \cdot T_n / S) / (J \cdot S^2 + B \cdot S + K_p) \\ e_{\infty} &= -T_n / K_p \end{aligned} \quad (3.11)$$

3.2.1 ผลของการควบคุมแบบ พี.ไอ. กับแรงภายนอก พิจารณาระบบควบคุมอันดับ 2 ที่ใช้สัญญาณควบคุมแบบ พี.ไอ. และมีแรงภายนอกแบบยูนิตสเตป $N(S)$ ที่มีขนาด T_n/S มากระทำกับระบบ



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ พี.ไอ. ของระบบอันดับ 2 ที่มีแรงภายนอกมากระทำ

จากรูปที่ 3.4 ถ้าให้สัญญาณอินพุท $R(S)$ มีค่าเท่ากับ 0 เราจะได้ความสัมพันธ์ตามสมการต่างๆดังนี้

$$C(S)/N(S) = S/(J \cdot S^3 + B \cdot S^2 + K_p \cdot S + K_i) \quad (3.12)$$

$$E(S)/N(S) = -S/(J \cdot S^3 + B \cdot S^2 + K_p \cdot S + K_i) \quad (3.13)$$

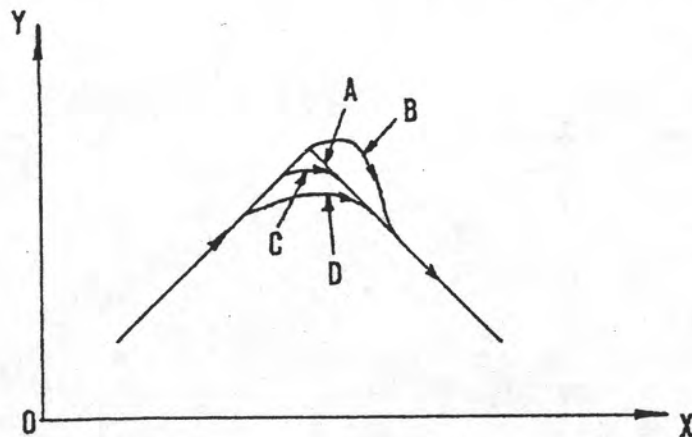
จากสมการที่ 3.13 แทนค่า $N(s)$ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ T_n/s และจากความล้มพันธ์ของสมการที่ 3.4 เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} (-S^2 \cdot T_n/S) / (J \cdot S^3 + B \cdot S^2 + K_p \cdot S + K_i) \\ e_{ss} &= 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

จากสมการที่ 3.11 และ 3.14 เราจะเห็นได้ว่าการใช้สัญญาณควบคุมแบบพี. ร่วมกับสัญญาณควบคุมแบบ ไอ. จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากแรงภายนอกมากกระทำให้หมดไป ซึ่งแรงภายนอกที่มากกระทำอาจเกิดจากผลของภาระที่เปลี่ยนไป แรงเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก ผลของแรงที่เกิดจาก dynamic friction หรือแรงภายนอกที่มีผลจากการเคลื่อนที่ของอีกแกนหนึ่ง เป็นต้น

3.3 ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.พี

สำหรับการควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.พี เป็นการนำเอาสัญญาณควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี. มาใช้ร่วมกับสัญญาณควบคุมแบบพีวีวี ซึ่งการนำเอาสัญญาณควบคุมแบบพีวีวีมาใช้จะช่วยลดค่าความผิดพลาดเมื่อการเคลื่อนที่มีภาระเปลี่ยนทิศทางหรือแนวการเคลื่อนที่มีภาระหักมุม



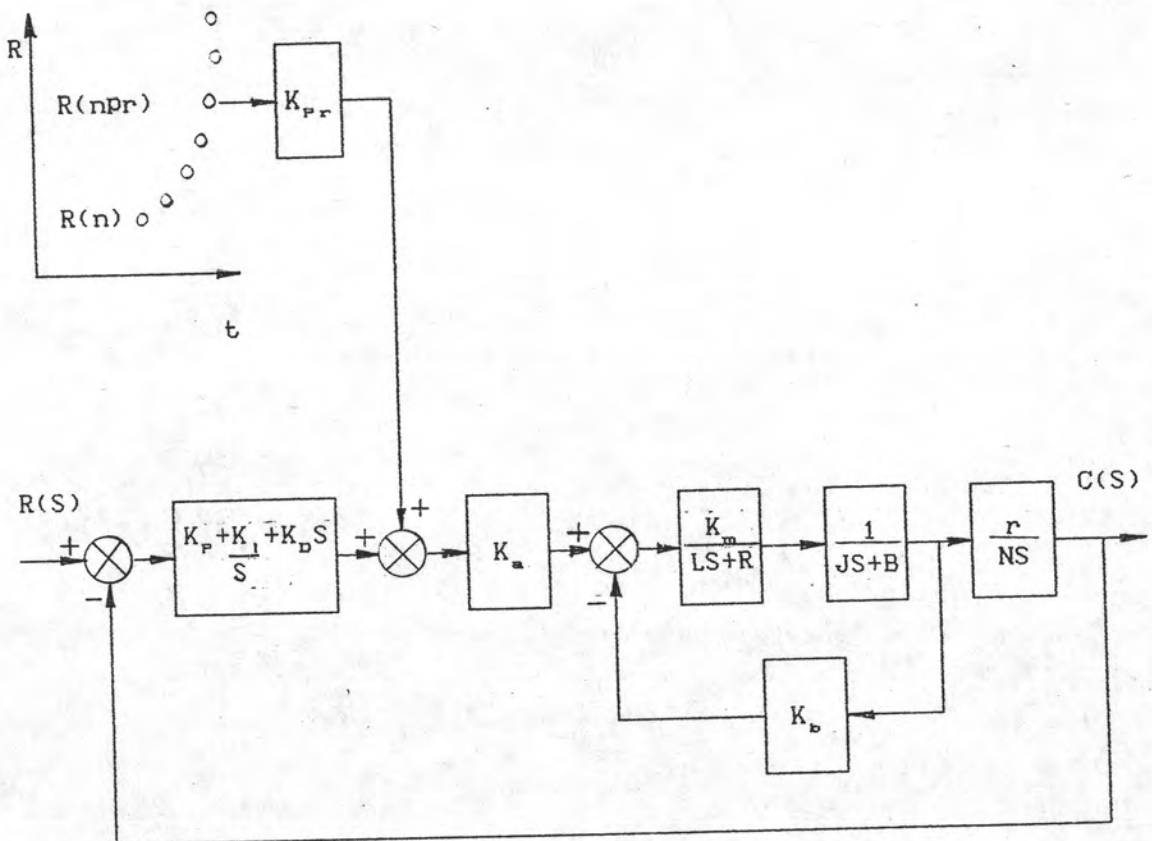
รูปที่ 3.5 แสดงผลของสัญญาณควบคุมพีวีวีในกรณีที่มีการเคลื่อนที่มีภาระหักมุม

จากรูปที่ 3.5 แสดงผลของสัญญาณควบคุมแบบพีวีวีในกรณีที่มีการเคลื่อนที่มีภาระหักมุม เส้น A แสดงแนวทางในการเคลื่อนที่ที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีการใช้สัญญาณควบคุมแบบพีวีวี เมื่อแนวทางการเคลื่อนที่มีภาระหักมุมระบบจะเคลื่อนที่มาจนถึงจุดที่มีการหักมุมจึงจะมองเห็นว่าการเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่ ทำให้ระบบเคลื่อนที่เลยจุดที่มีการหักมุมดังแสดงตามเส้น B ในรูปที่ 3.5

ในกรณีที่มีการนำเอาสัญญาณควบคุมแบบพรีวิวดมาใช้ เมื่อแนวทางการเคลื่อนที่มีการหักมุมสัญญาณควบคุมแบบพรีวิวซึ่งมีการมองแนวทางเดินไปล่วงหน้า จะมองเห็นจุดที่มีการหักมุมก่อนที่ระบบจะเคลื่อนที่ไปถึงจุดหักมุม ทำให้ระบบเริ่มเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ก่อนที่จะถึงจุดที่มีการหักมุมดังแสดงตามเส้น C และ D ในรูปที่ 3.5 สำหรับระยะทางในการมองไปล่วงหน้าถ้ามีการมองมองไปล่วงหน้าไกลมาก ระบบจะเริ่มเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ก่อนที่จะถึงจุดหักมุมเร็วขึ้นดังแสดงตามเส้น D เป็นกรณีที่ใช้ระยะทางในการมองล่วงหน้ามากกว่าระบบตามเส้น C ในรูปที่ 3.5

สำหรับการควบคุมโดยใช้สัญญาณควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.พี จะมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของสัญญาณควบคุม $m(t)$ กับค่าสัญญาณแตกต่างตามสมการที่ 3.15 ส่วนบล็อกไดอะแกรมของ ไต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ใช้ทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3.6

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) \cdot dt + K_d \cdot \dot{e}(t) + K_{pr} \cdot [R(n+nPr) - C(n)] \quad (3.15)$$



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของ ไต๊ะตัดแผ่นเหล็ก

กำหนดให้

$m(t)$ = สัญญาณควบคุมที่ได้จากตัวควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.พี ที่เวลา t

$e(t)$ = ค่าสัญญาณแตกต่างระหว่างจุดอ้างอิงกับค่าที่วัดได้ที่เวลา t

$R(n)$ = จุดอ้างอิงที่เวลา $t = n \cdot \Delta t$

$C(n)$ = ค่าตำแหน่งที่วัดได้ที่เวลา $t = n \cdot \Delta t$

n_{pr} = จุดอ้างอิงที่มองไปล่วงหน้าที่เกี่ยวข้องกับจุดอ้างอิงที่เวลา $t = n \cdot \Delta t$

K_p = ค่าเกน พี.

K_i = ค่าเกน ไอ.

K_d = ค่าเกน ดี.

K_{pr} = ค่าเกนพีรีวิว

K_u = อัตราขยายของเพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์

K_m = ค่าคงที่แรงบิดของมอเตอร์

L = ค่าอินดักแตนซ์ของมอเตอร์

R = ค่าความต้านทานของมอเตอร์

J = ค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และภาระ

B = สัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมป์บิงของมอเตอร์และภาระ

r = รัศมีของล้อสายพาน

N = อัตราทดของชุดเฟืองทด