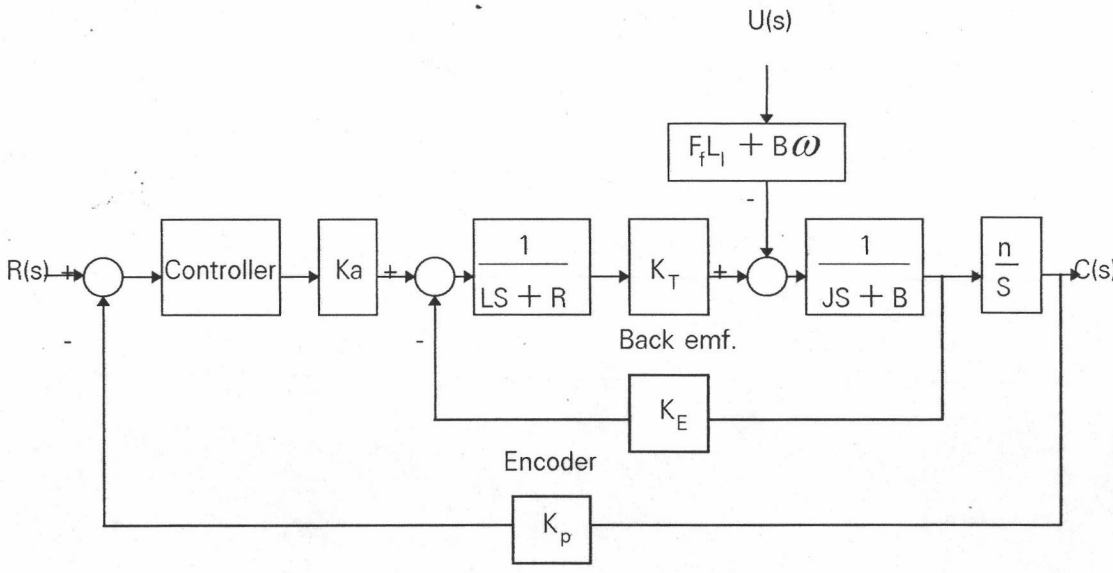
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์ในหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์

(A four bar linkage walking robot apparatus)

เนื่องจากการควบคุมในที่นี้เป็นการควบคุมตำแหน่งแบบลูปปิด ดังนั้นก่อนที่จะกล่าวถึงอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบควบคุมหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์นี้จะขอแสดงแผนภาพการทำงานโดยรวมของอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบควบคุมนี้ เพื่อจะได้มองเห็นภาพโดยรวมของหลักการทำงานและการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนของหลักการทำงานและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แต่ละตัวต่อไป ซึ่งแผนภาพดังกล่าวเป็นไปตามรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์

คำอธิบายความหมายในแต่ละส่วนของแผนภาพในรูปที่ 3.1 มีดังนี้

R(s) = เป็นคำสั่งอ้างอิงในการสั่ง

Controller = คอนโทรลเลอร์ในที่นี้หมายถึง พี.ไอ. คอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ในการควบคุมตำแหน่ง

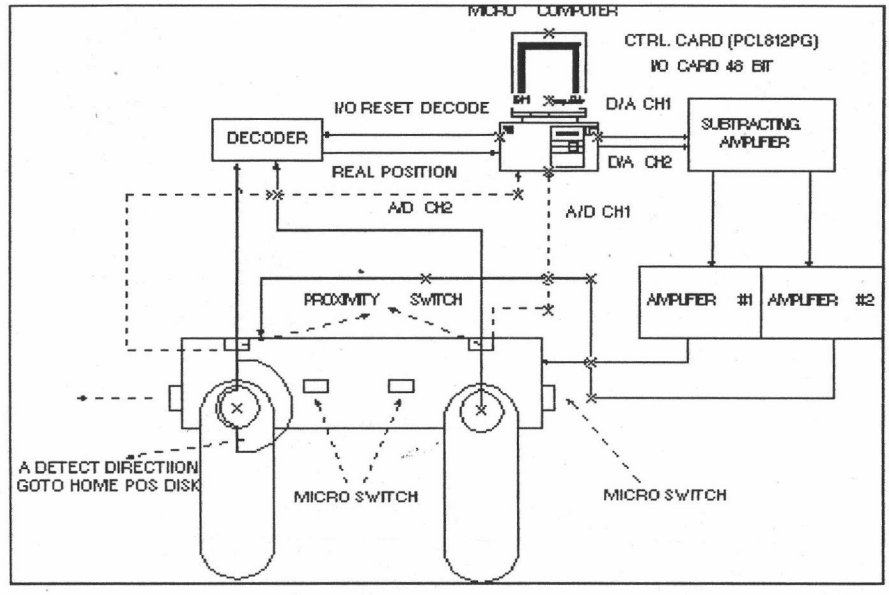
Ka = คือเกนของเซอร์โวแอมปลิฟายเออร์ซึ่งมีค่าประมาณ 3.3

$\frac{1}{LS+R}$ = เป็นฟังค์ชั่นถ่ายโอนของกระแสอาร์เมเจอร์ต่อโวลต์เตจอาร์เมเจอร์

$F_f.L_l + B\omega$ = เป็นสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบอันเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างขากับพื้น และความเสียดทานหนืดของระบบเกียร์ทดซึ่งในระบบนี้มีการเปลี่ยนแปลงค่าตลอด

$\frac{1}{JS + B}$ = ฟังค์ชันถ่ายโอนของความเร็วรอบมอเตอร์ต่อแรงบิดในอาร์เมเจอร์ดีซีมอเตอร์

$\frac{n}{S}$ = ฟังค์ชันถ่ายโอนของตำแหน่งต่อความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ซึ่งมีเกียร์ทด



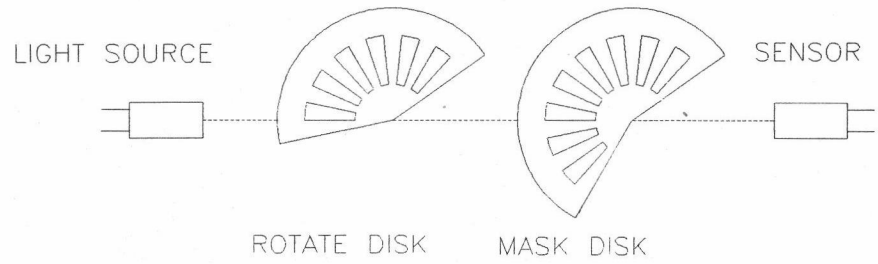
รูปที่ 3.2 แสดงการเชื่อมโยงของอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบควบคุม

เซ็นเซอร์หรือเอ็นโคดเดอร์ของเพลามอเตอร์ (sensor and shaft encoders)

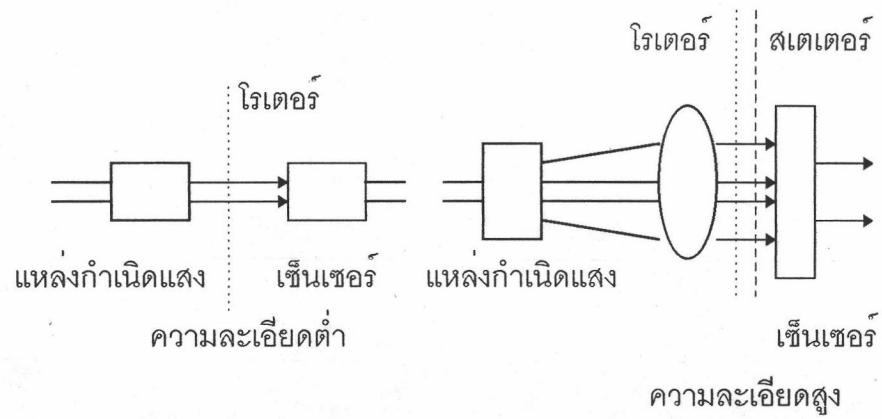
เซ็นเซอร์หรือเอนโคดเดอร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับในระบบควบคุมแบบลูปปิด มักจะใช้สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติการทำงานของระบบควบคุมแบบลูปปิด ซึ่งเซ็นเซอร์หรือเอนโคดเดอร์นี้ใช้เป็นตัวป้อนสัญญาณกลับเพื่อการควบคุม นอกจากนั้นส่วนประกอบเหล่านี้ยังใช้สำหรับพิสูจน์ความเหมือนกันของกระบวนการที่ไม่รู้ค่า หรือกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานและการนำไปใช้งานของเอนโคดเดอร์ที่ใช้กันมากในระบบควบคุม

ในระบบการบังคับตำแหน่งหรือ ความเร็วของมอเตอร์ ต้องใช้อุปกรณ์ในการวัดคือ อินครีเมนท์เอนโคดเดอร์ หรือ เอนโคดเดอร์สำหรับรักษาตำแหน่งและสำหรับสร้างสัญญาณ

ป้อนกลับโดยที่ตัวเอนโคดเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของเพลามอเตอร์ในรูปของจำนวนพัลส์ได้ ในรูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงรูปหลักการทำงานของอินคริเมนท์เอนโคดเดอร์แบบโรตารี่และแบบลิเนียร์



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างกลไกของออฟโตอินครีเมนท์



รูปที่ 3.4 แสดงถึงตัวเซ็นเซอร์แบบมีช่องปิดเปิดให้แสงผ่านได้ช่องเดียวและแบบมีหลายช่อง

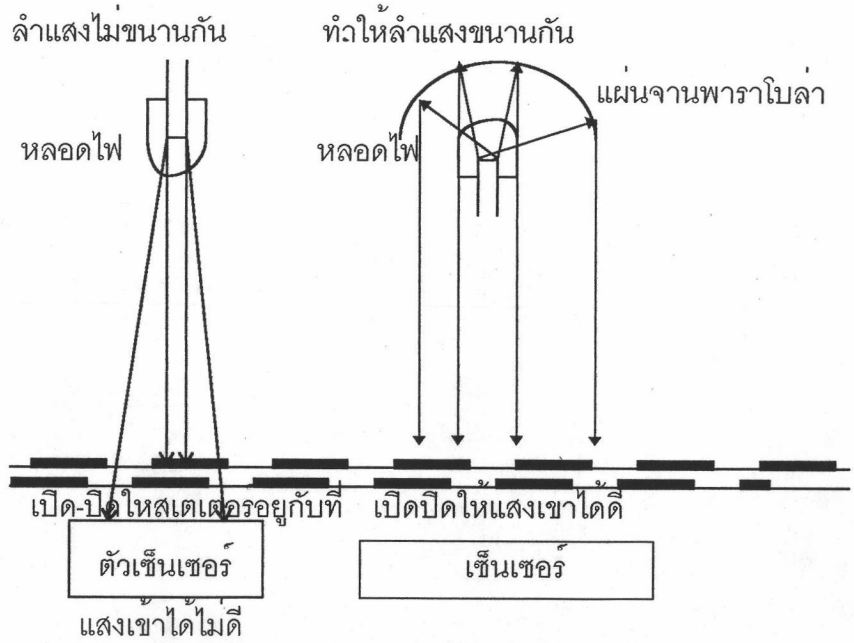
อินคริเม้นท์เอนโคดเดอร์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ ตัวกำเนิดแสง , จานหมุน(rotary disc) , จานอยู่กับที่(mask disc) และตัวเซ็นเซอร์บนแผงจานหมุนทำเป็นช่องโดยรอบดังแสดงในรูปที่ 3.3 และบนแผ่นอยู่กับที่จะมีช่องสำหรับให้แสงผ่านตรงเข้าไปยังตัวเซ็นเซอร์ ถ้าเป็นเอนโคดเดอร์ที่ใช้วัดความเร็วต่ำไม่ต้องมีแผ่นอยู่กับที่ได้ ส่วนตัวกำเนิดแสงอาจจะเป็นหลอดไฟ หรือ ลีด(LED) ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

1. ความละเอียดของอินคริเม้นท์เอนโคดเดอร์ ความละเอียดของเอนโคดเดอร์ คือ จำนวนคาบเวลาของสัญญาเอาท์พุทต่อการหมุนของเพลา 1 รอบ ซึ่งบวกจำนวนพัลส์ต่อรอบหรือจำนวนไซเกิลต่อ 360 องศา มุมทางเชิงกล หรือไซเกิลต่อองศา เอนโคดเดอร์ที่ใช้กันทั่วไปมีค่า

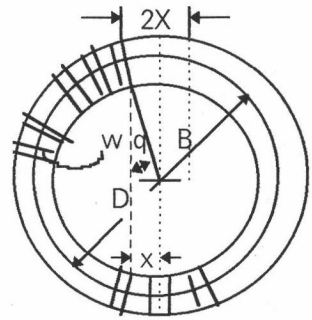
ความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง10,000 พัลส์ต่อรอบในทางปฏิบัติเนื่องจากแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นลำแสงเดียว ถ้าเราต้องการให้แสงที่ผ่านช่องไปยังเซ็นเซอร์เป็นเส้นตรงพร้อมๆกันก็ทำได้โดยใช้เลนส์หรือพาราโบลิครีแฟลคเตอร์ ดังแสดงในรูป 3.5

จำนวนพัลส์ต่อ 1 รอบของสัญญาณที่เอนโคดเดอร์สร้างออกมาจะเท่ากับจำนวนช่องว่างบนแผ่นจานหมุน และ ความกว้างของช่องว่างกับกว้างของแถบทึบระหว่างช่องว่างจะเท่ากัน เพราะฉะนั้นเราสารถคำนวณหาความกว้างของช่องว่าง (ω) ได้จาก

$$\omega = \frac{\pi D}{2N} \qquad (3\text{-}1)$$



รูปที่ 3.5 แสดงถึงผลของแสงที่เดินในแนวเดียวกันและที่แสงที่แตกกระจาย



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นเชิงเส้นกับความไม่ได้ศูนย์กลาง

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของแผ่นจาน

N = จำนวนของความละเอียดเป็นพัลส์ต่อรอบ

ω = ความกว้างของช่องว่าง

ความผิดพลาดจะเป็นเชิงเส้น 2X=w

เมื่อ W = π/D ความละเอียด = ความกว้างของพัลส์

X = ความแตกต่างไปจากศูนย์กลาง (ดูจากรูปที่ 3.6)

2X = ผลรวมคาบเวลาของความผิดพลาดในช่วงการหมุน 180

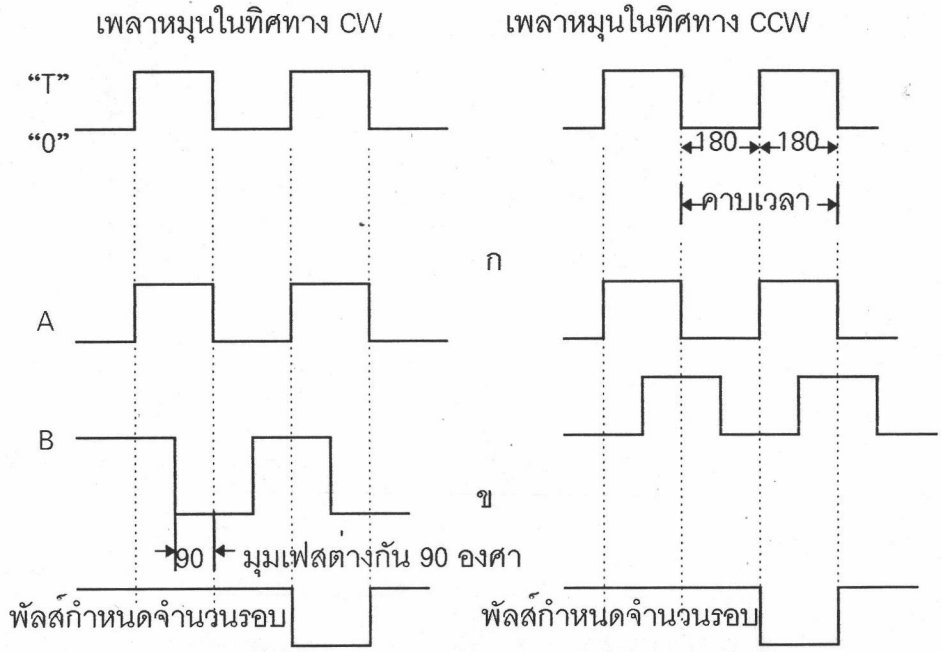
ค่าของตัวแปรของสมการ (3.1) นี้หาได้จากรูป 3.6 ถ้าให้ D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นหมุนของเอนโคดเดอร์ ค่าประมาณที่ใกล้เคียงมากของค่าความกว้างของช่องว่าง แสดงได้ดังนี้

$$\omega = \frac{0.75\pi D}{2N} \qquad (3\text{-}2)$$

ตัวอย่าง ถ้าแผ่นหมุนของเอนโคดเดอร์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ต้องการค่าความละเอียด 200 พัลส์ต่อรอบ จะได้ความกว้างของช่องว่างเท่ากับ 0.002356 นิ้ว

2. เอาท์พุทของเอนโคดเดอร์ โดยทั่วๆไปแล้วสัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากเซนเซอร์คือเอนโคดเดอร์โดยตรงจะมีระดับไม่เพียงพอในการควบคุมหรือสำหรับการประมวลสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยายและแปลงรูปร่างลูกคลื่นสัญญาณต่อไว้ในตัวเอนโคดเดอร์ด้วยเสมอ สัญญาณลูกคลื่นที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ปกติแล้วจะเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมหรือรูปสัญญาณซายน์ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ รูปสัญญาณเหล่านี้สามารถทำให้เป็นสัญญาณรูป

สี่เหลี่ยมได้โดยการต่อตัวคอมพาราเตอร์เข้ากับลิเนียร์แอมปลิฟายเออร์ของเอนโคดเดอร์ก็จะได้เอาท์พุทเป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมตามต้องการดังรูปที่ 3.7 ก แสดงถึงลูกคลื่นสัญญาณ 1 ช่องไม่ว่าเพลาจะหมุนในทิศทางใดก็ได้สัญญาณออกมาเหมือนกัน และจากเอนโคดเดอร์ชนิด 2 ช่องเฟสของสัญญาณ 2 ช่องนี้จะต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า เราเรียกสัญญาณ 2 ช่องนี้ว่าควอดราเจอร์ (quadrature)กันซึ่งเหมาะที่จะใช้ในการรับรู้ทิศทางการหมุนของเพลาหรือใช้ควบคุมระบบที่ซับซ้อนอื่นๆ จากสัญญาณในรูป 3.7 ข จะเห็นว่าสัญญาณทั้งสองช่องเริ่มจาก 0 ถึง 1 และ 1ถึง 0 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของแผ่นหมุนเอนโคดเดอร์



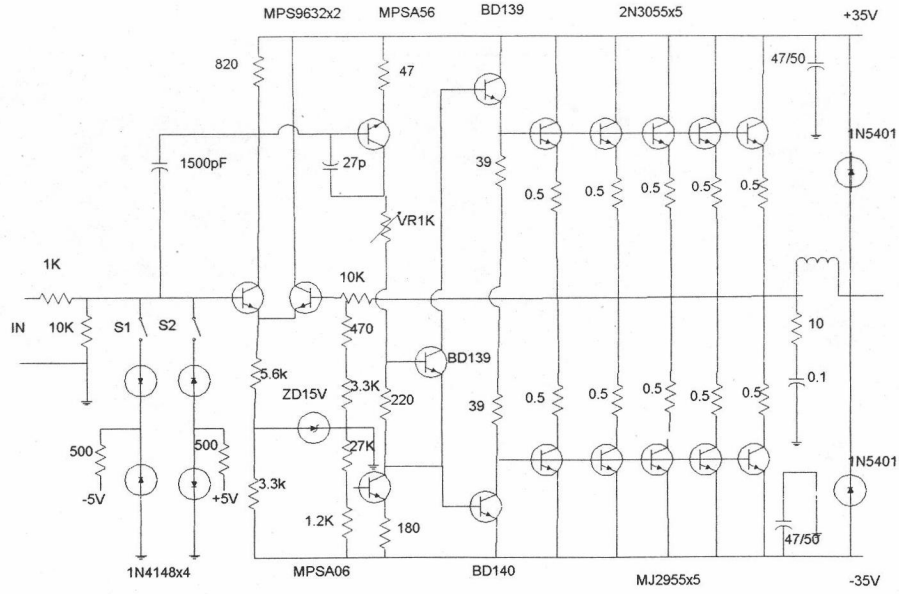
รูปที่ 3.7 ก ตัวอย่างลูกคลื่นสี่เหลี่ยมของอุปกรณ์เอนโคดเดอร์ช่องเดียว(ไบไดเรคชั่น)
ข ตัวอย่างสัญญาณเอนโคดเดอร์ 2 ช่องมีมุมเฟสต่างกัน 90° (สองทิศทาง)

ในอินคริเมนท์เอนโคดเดอร์บางชนิดจะมีพัลส์ที่แสดงถึงจำนวนรอบของการหมุนสำหรับใช้เป็นศูนย์ในการอ้างอิงพัลส์ที่ใช้แสดงจำนวนรอบนี้จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ต่อ 1 รอบ โดยทั่วไปแล้วใช้บอกถึงตำแหน่งเชิงกลหรือใช้เป็นสัญญาณเคลียร์จำนวนที่นับไว้ในหน่วยเก็บข้อมูล โดยเอนโคดเดอร์ที่ใช้มีความละเอียด 800 พัลส์ต่อ 1 รอบ นั่นหมายถึง 0.45 องศาต่อหนึ่งพัลส์

ลิเนียร์พาวเวอร์แอมปลิฟายเออร์ (Linear power amplifier)

วงจรพาวเวอร์แอมปลิฟายเออร์ที่ใช้เป็นการนำเอาวงจรเครื่องเสียงมาดัดแปลงให้เป็นเซอร์โวแอมปลิฟายเออร์ โดยนำมาเปลี่ยนอุปกรณ์และปรับค่าเกน สำหรับพาวเวอร์แอมปลิฟายเออร์ที่ดัดแปลงมาจากเครื่องเสียงจะมีข้อเสียคือไม่สามารถทนแรงกระชากของกระแสขณะที่มอเตอร์สตาร์ทหรือขณะที่มอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเซอร์โวแอมปลิฟายเออร์คือ โดยทั่วไปวงจรเครื่องเสียงที่มี

กำลังขยายสูงจะใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีค่าความต่างศักย์(Voltage) สูงประมาณ 60-90 โวลต์ แต่การใช้งานมอเตอร์ในที่นี้อยู่ในช่วงประมาณ 24 โวลต์ ซึ่งต่ำกว่ามากทำให้มีกำลังสูญเสีย(power loss) ที่ตัวพาวเวอร์ทรานซิสเตอร์สูงและทำให้พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์วงจรขาดหรือลัดวงจรระหว่างขาคอเลคเตอร์ (Colector) และอีมิเตอร์(Emitter) ดังนั้นการนำเอาวงจรเครื่องเสียงมาใช้จึงควรจะมีการต่อพาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ ขนานกันกันกับชุดวงจรเดิมเพื่อเป็นการแชร์กระแสที่ไหลผ่านตัวพาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ ให้มีค่าน้อยลงเพื่อลดกำลังสูญเสีย (power loss) ที่จะเกิดขึ้นให้น้อยลง และควรจะมีการลดแรงดันของภาคจ่ายไฟให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันสูงสุดที่ต้องใช้ในการขับมอเตอร์สำหรับวงจรเครื่องเสียงที่นำมาดัดแปลงเป็นวงจรขยายของไมอามี่ 40 วัตต์ ใช้พาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2N3055 และ MJ2955 มีวงจรจำกัดกระแส (current limit) แต่ในการนำมาใช้งานได้ตัดส่วนของการจำกัดกระแส(current limit) ทิ้งเพื่อให้การจ่ายกระแสเป็นไปอย่างอิสระ และมีการเพิ่มพาวเวอร์ทรานซิสเตอร์(power transister) ให้เป็น 5 ตัวต่อขนานกันและเนื่องจากวงจรมีภาคจ่ายไฟที่มีค่าต่ำอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องใช้วงจรลดแรงดัน



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรเซอร์โวแอมปลิฟายเออร์ของไมอามี่ (ว.ไมอามี่)

สำหรับรูปที่ 3.8 เป็นรูปแสดงวงจรที่ดัดแปลงแล้ว โดยปรับค่าเกนของวงจรให้มีค่าเป็น 3.3 และมีการเพิ่มวงจรป้องกันการลัดวงจร (Protection) ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนได้ในทิศทางเดียวโดยที่มอเตอร์จะหมุนในทิศทางลบได้ทางเดียวถ้ามีการปิดวงจร S1 และหมุนได้ทิศทางเดียวถ้ามีการปิดวงจร S2

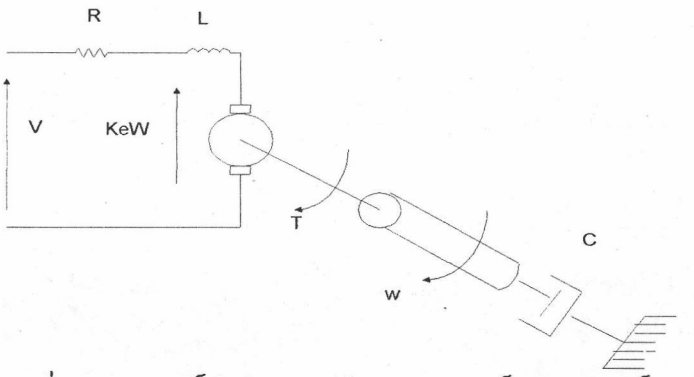
ระบบมอเตอร์และแอมปลิไฟเออร์ (Motor and Amplifier)

มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนนี้จะเป็นมอเตอร์แบบกระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet D.C.motor) การควบคุมมอเตอร์เป็นแบบอาร์เมเจอร์ควบคุม (armature control) ซึ่งมีสมการที่แทนการทำงานของตัวมอเตอร์ดังนี้

$$V_a - K_e\omega = L\frac{di}{dt} + iR \qquad (3\text{-}3)$$

$$T_m = K_i i \qquad (3\text{-}4)$$

$$T_m = J\dot{\omega} + C\omega \qquad (3\text{-}5)$$



รูปที่ 3.9 มอเตอร์กับโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์

โดยที่

V_a = โวลต์เตจที่ป้อนเข้าหรือเรียกว่าอาร์เมเจอร์โวลต์เตจ

i = กระแสอาร์เมเจอร์

K_e = Back e.m.f. constant

K_i = ค่าคงที่ของทอร์ค

T_m = แรงบิดหรือทอร์คของมอเตอร์

ω = ความเร็วเชิงมุม

และสมการฯ เคลื่อนที่ของมอเตอร์สามารถเขียนอยู่ในรูปของทรานสเฟอร์ฟังค์ชันได้ดังนี้คือ

$$G_m(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{\dfrac{K_t}{(RC + K_eK_t)}}{\left[\dfrac{RJ}{(RC + K_eK_t)}\right] * S + 1} \qquad (3\text{-}6)$$

$$Gm(s) = \frac{K}{\tau_m S + 1} \qquad (3\text{-}7)$$

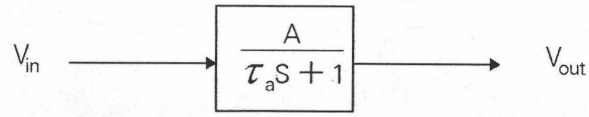
$$\tau_m = \frac{RJ}{RC + K_eK_t} \quad \text{(mechanical time constant)}$$

$$K = \frac{K_t}{RC + K_eK_t}$$

ส่วนแอมปลิฟายเออร์(Amplifier) นั้น การควบคุมการทำงานนั้นทำได้ 2 แบบด้วยกันคือ

1. แบบควบคุมแรงดัน (Voltage amplifier control)
2. แบบควบคุมกระแส (Current amplifier control)

แต่ในที่นี้แอมปลิฟายเออร์เป็นแบบควบคุมแรงดัน ซึ่งการทำงานของเครื่องขยายแบบควบคุมแรงดัน (Voltage amplifier control) นี้นั้นส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้กันมากกรณีควบคุมความเร็วแต่อย่างเดียว ซึ่งเครื่องขยายสัญญาณแบบนี้จะได้สัญญาณออกเป็นสัญญาณโวลต์เตจ ที่มีขนาดเป็นสัดส่วนกับสัญญาณแรงดันขาเข้าดังแสดงในแผนภาพ (block diagram) ข้างล่างนี้



รูปที่ 3.10 แผนภาพของแอมปลิฟายเออร์ (Amplifier)

และสมการฟังค์ชันถ่ายโอน (Transfer function)ของเครื่องขยายสัญญาณแบบควบคุมแรงดัน (Voltage amplifier) ก็สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A}{\tau_a S + 1} \qquad (3\text{-}8)$$

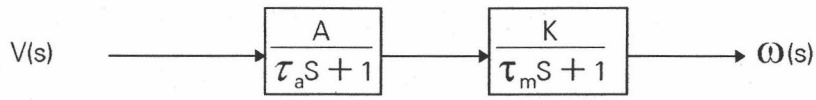
โดยที่

τ_a = amplifier time constant

A = D.C. gain

ดังนั้นสมการรวมของมอเตอร์และเครื่องขยายแบบควบคุมแรงดัน (Voltage amplifier) จึงสามารถ

แสดงในแผนภาพ(Block diagram) ดังรูปที่ 3.11



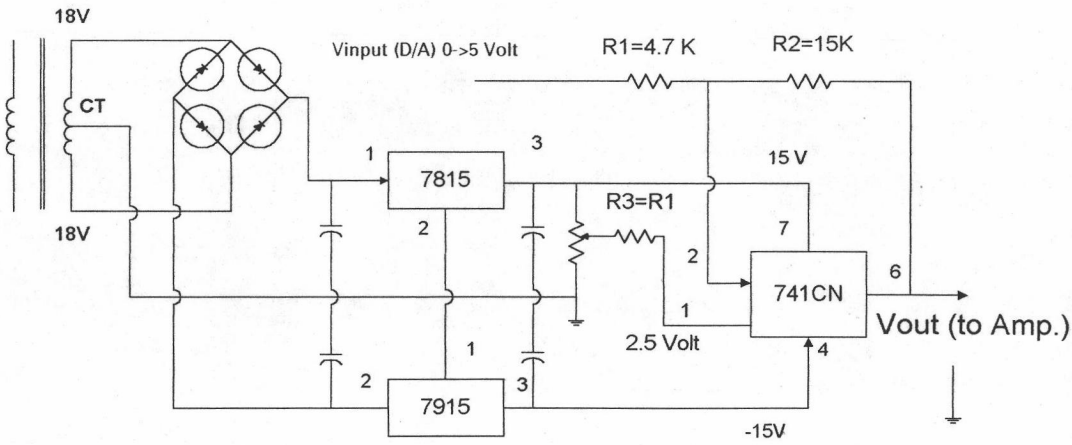
รูปที่ 3.11 แผนภาพของระบบมอเตอร์และแอมปลิฟายเออร์

และสมการฟังค์ชันถ่ายโอน (Transfer funcfion) รวมคือ

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{A}{(\tau_a S + 1)} \cdot \frac{K}{(\tau_m S + 1)} \qquad (3\text{-}9)$$

วงจรบวกลบสัญญาณจากพีซีเล็ปคาร์ด (subtracting amplifier)

เนื่องจากสัญญาณควบคุมจากพีซีเล็บคาร์ดให้สัญญาณได้เฉพาะด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้นซึ่งในการควบคุมจริงๆ สัญญาณที่ได้จะมีทั้งสัญญาณที่เป็นทางด้านบวกและลบแต่ในขณะที่คาร์ดที่ใช้ในการควบคุมให้สัญญาณได้เฉพาะทางด้านบวกเท่านั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสร้างวงจรที่ช่วยในการแบ่งสัญญาณจากคาร์ดจากเดิมที่ให้เอาท์พุทออกมาเป็น 0-5 โวลต์ให้ผ่านวงจรดังในรูปที่ 3.12



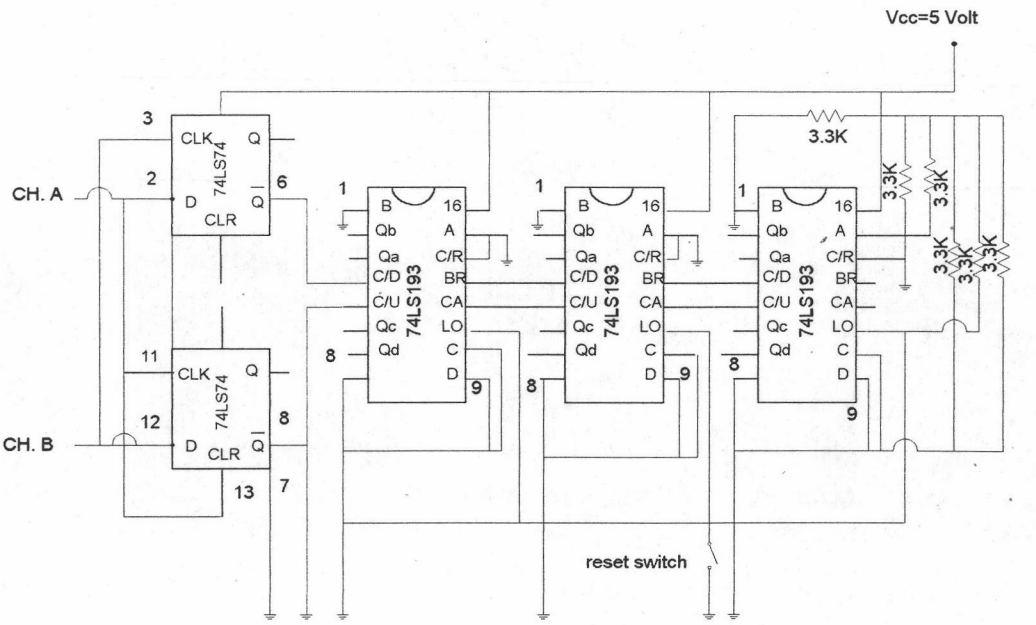
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรที่ใช้ในการแบ่งสัญญาณและขยายสัญญาณ

จากรูปได้เอาท์พุทออกมาอยู่ในช่วง+/-2.50 โวลต์ และมีเกนในการขยายสัญญาณในวงจรดังกล่าวก่อนที่จะเข้าแอมปลิฟายเออร์ให้เป็นสัญญาณที่เต็มความสามารถของโวลต์เตจแอมปลิฟายเออร์ที่จะจ่ายให้กับระบบได้เพื่อเพิ่มกำลังในการขับมอเตอร์และโหลดโดยในที่นี้วงจรแบ่งสัญญาณดังกล่าวมีเกนการขยายคืออัตราส่วนระหว่าง R2/R1 ซึ่งเท่ากับ 15/4.7คือประมาณ 3.19 เท่าจากวงจรดังกล่าวเราสามารถหาเอาท์พุทของสัญญาณได้จากสมการความสัมพันธ์ในสมการที่3.10 (เมื่อ R1=R3 และ R2=R4)

$$V_{out} = (V_{in} - 2.50) * \frac{R2}{R1} \qquad (3\text{-}10)$$

ตัวแปลงสัญญาณเอ็นโคดเดอร์ (Decoder)

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ในการวัดตำแหน่งเพื่อใช้ในกระบวนการป้อนกลับสำหรับการควบคุมแบบลูปปิดในที่นี้คือเอนโคดเดอร์ (Encoder) ซึ่งให้สัญญาณออกมาในรูปของสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณที่ได้จากช่อง AและB ในขณะที่เราต้องการวัดค่าความแตกต่างของเฟสในสัญญาณทั้งสองดังนั้นเราจึงต้องมีตัวดีโคด(Decode) สัญญาณให้อยู่ในรูปของไบนารีด้วยวงจรดีโคดเดอร์ดังรูปที่ 3.13



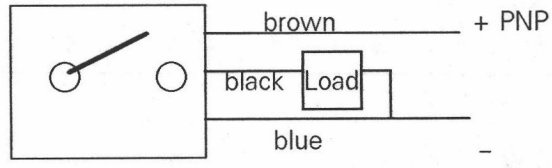
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรดีโคดเดอร์(Decoder)ขนาด 12 บิท

จากวงจรดีโคดเดอร์นี้เราสามารถนำสัญญาณที่ออกจากวงจรนี้ผ่านเข้าคาร์ดดิจิตอลอินพุทและเอาท์พุท (I/O CARD) เพื่อประมวลผลออกมาในรูปของดิจิตอลหรือตัวเลขในลักษณะของตำแหน่งซึ่งอยู่ในหน่วยเดียวกันกับคำสั่งอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบผลเป็นค่าความแตกต่างหรือความผิดพลาดที่จะนำไปปรับขนาดและทิศทางของสัญญาณควบคุมในแต่ละลูปของการควบคุมต่อไปโดยทั้งหมดนี้กระทำโดยคอมพิวเตอร์

พรอกซิมิตี้สวิทช์และไมโครสวิทช์ (Proximity and Micro switch)

สวิทช์ดังกล่าวทั้งสองตัวนี้ล้วนเป็นสวิทช์ปิดและเปิดแต่มีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงโดยตัวพรอกซิมิตี้สวิทช์เป็นการทำงานในเชิงไฟฟ้าซึ่งเหมาะกับการปิดเปิดหรือตรวจจับสิ่งที่มีการเคลื่อนผ่านด้วยความถี่สูงกว่าไมโครสวิทช์ซึ่งมีการทำงานในระบบเชิงกลมาก

1. พรอกซิมิตี้สวิทช์ (Proximity switch) โดยทั่วไปมีอยู่2 ชนิดด้วยกันคือ พีเอ็นพี และ เอ็นพีเอ็นซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สวิทช์ชนิดพีเอ็นพีจำนวน 2 ตัวด้วยกัน ซึ่งสวิทช์ดังกล่าวนี้ใช้สำหรับตรวจจับตำแหน่งเริ่มต้นหรือตำแหน่งศูนย์ (home position) ซึ่งที่ใช้นี้ประกอบด้วยสายไฟ 3 เส้นด้วยกันในซีรีส์ 922 ของยี่ห้อฮันนี่เวลล์ซึ่งมีแผนภาพและข้อมูลทางเทคนิคดังรูปที่ 3.14 ซึ่งการทำงานอาศัยการตรวจจับโลหะซึ่งวิ่งผ่านในระยะหรือแนวตรวจจับก็จะทำให้เปิดปิด



รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงพรอกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity sensor)

Proximity Thechnical data			
Repaetability(R max.)	1%/3%	Hysteresis(H)	3to15% SrMax.
Operating frequency(f)	0,05to2KHz	Supply voltage (Ub)	6to30V-,9,6,to55V-
Voltage drop(Ud)	1to2,2V-max	Max ripple	10 %
Max. Current consumption	10mA(20mA with LED)	Operating temperature	-25to+85 องศา
Max. Load current	100to200mA	Leakage current	10to50μA

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของพรอกซิมิตี้สวิทช์

T 17012247

2. ไมโครสวิทช์ ในที่นี้เป็นแบบ 3 ขาซึ่งจะมีขาหนึ่งเป็นปกติปิดอีกขาหนึ่งเป็นปกติเปิดนั่นหมายถึงเมื่อมีการเตะสวิทช์ขาที่เป็นปกติเปิดก็จะปิดซึ่งในที่นี้ใช้สวิทช์ดังกล่าวสำหรับป้องกันการขับของมอเตอร์เกินตำแหน่งหรือมุมที่จำกัดไว้ทั้งขาคู่หน้าและขาคู่หลังโดยสัญญาณที่เกิดจากขาคู่หน้าหรือคู่หลังที่เคลื่อนที่เกินตำแหน่งจำกัดก็จะไปเตะให้ขาไมโครสวิทช์ที่เดิมเป็นปกติเปิดก็จะ ปิดทำให้สัญญาณผ่านไปยังสวิทช์ของแอมปลิฟายเออร์เออร์เพื่อทำการเปิดไม่ให้มีการส่งสัญญาณไปขับมอเตอร์ซึ่งในที่นี้ใช้ทั้งหมด 4 ตัวสำหรับป้องกันการเคลื่อนที่เกินขีดจำกัดในทิศทางตามเข็มและทวนเข็มและอีก 2 ตัวสำหรับเป็นตัวตรวจสอบตำแหน่งของขาในการบอกทิศทางที่จะเคลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้น (Home position) ก่อนการเดินของขาคู่หน้าและขาคู่หลัง

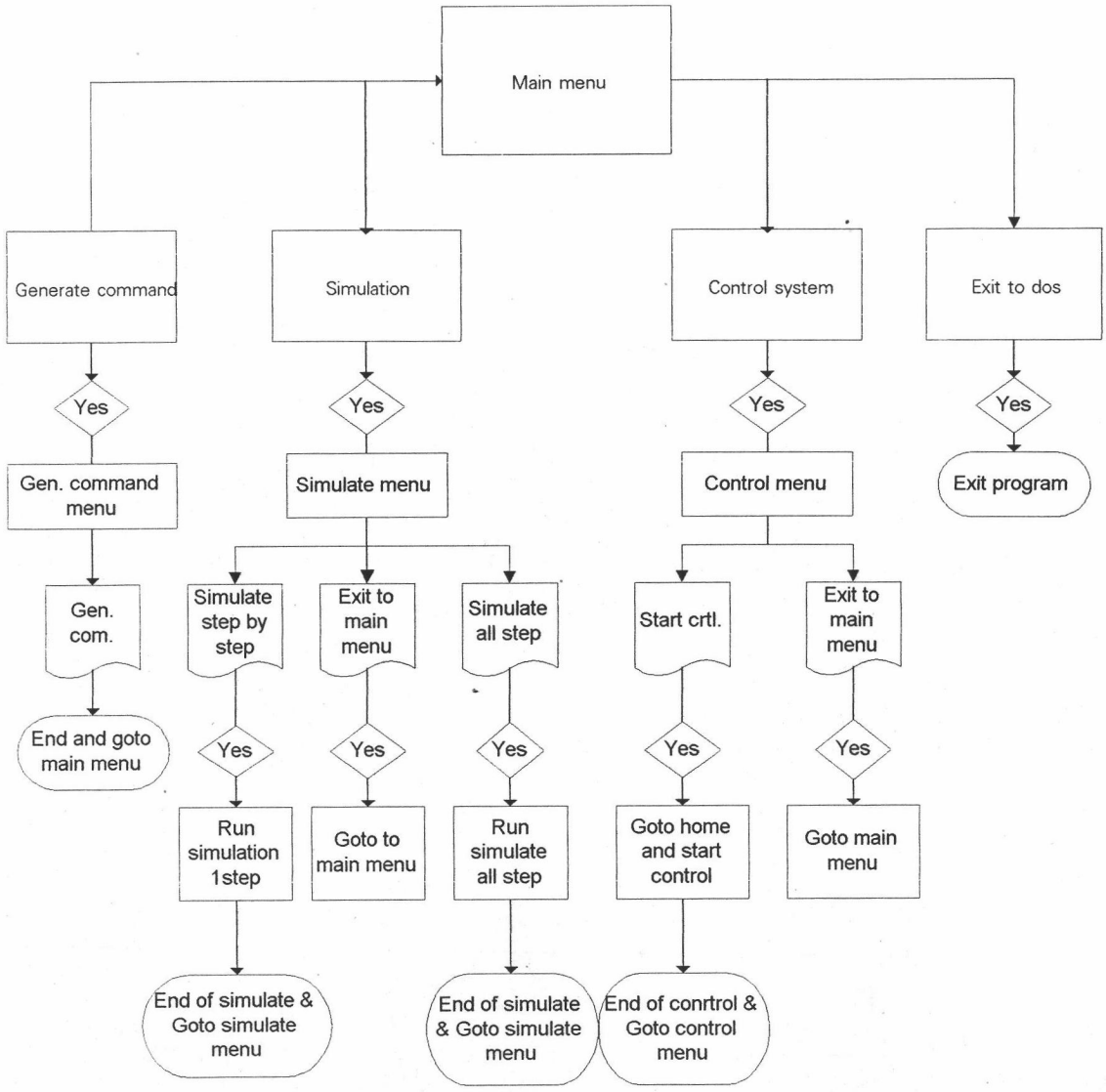
คาร์ดที่ใช้ในการควบคุม

คาร์ดที่ใช้ในการควบคุมเป็นพีซีเล็ปคาร์ดชื่อรุ่น PCL812-PG ซึ่งในตัวคาร์ดประกอบด้วยส่วนสำคัญในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกและควบคุมซึ่งแยกออกได้เป็นส่วนๆ ดังนี้

1. มีช่องสัญญาณสำหรับดิจิตอลอินพุทท์หรือเอาท์พุททั้งหมด 16 ช่อง
2. มีความละเอียดที่ 12 บิทที่ส่วนของการรับสัญญาณอนาลอกเข้ามา โดยมีอัตราการแซมปลิ้งของการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล(Analog to digital converter) ที่อัตราสูงสุดเป็น 30 กิโลเฮิร์ต ในโหมดของ DMA โดยมีทั้งหมด 16 ช่องสัญญาณ
3. การส่งสัญญาณออกหรือ การแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอนาลอก(Digital to analog converter)เป็นไปได้ทางเดียวคือไม่บวกก็ลบซึ่งโดยคาร์ดเองให้สัญญาณออกในการควบคุมที่ 0 ถึง 5 โวลต์ หรือ 0 ถึง 10 โวลต์แต่นั่นหมายถึงความละเอียดของสัญญาณการควบคุมก็จะแตกต่างกันไปโดยในส่วนของคาร์ดที่ใช้นี้มีทั้งหมด 2 ช่องสัญญาณสำหรับ D/A
4. มีนาฬิกาในการควบคุมอัตราการสุ่มสัญญาณคือ INTEL 8253 ซึ่งสามารถที่จะตั้งได้ตั้งแต่ 35 นาที/พัลส์ ถึง 0.5 Mhz.

คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมเป็นคอมพิวเตอร์รุ่น 486DX4-100 โดยผลการควบคุมทั้งหมดกระทำโดยคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการที่จะประมวลผลเพื่อสั่งการทำงานของหุ่นยนต์ให้มีลำดับการเดินเป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์กลไก และการสร้างโปรไฟล์ของคำสั่งในการควบคุมซึ่งมีโฟล์ชาร์ทแสดงการทำงานดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงโฟล์ชาร์ทของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าเราแบ่งโปรแกรมออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนของการสร้างไฟล์คำสั่งของการก้าวเดิน

ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนของการสร้างคำสั่งควบคุมท่าทางในการเดินให้เป็นการเดินแบบไถลดังรูปที่ 3.16 โดยลำดับของการเดินในแต่ละลำดับอ้างอิงจากสมการทางพลศาสตร์ของกลไกหุ่นยนต์ในบทที่ 2 ภายใต้ความหมายของตัวแปรและค่าของตัวแปรดังต่อไปนี้

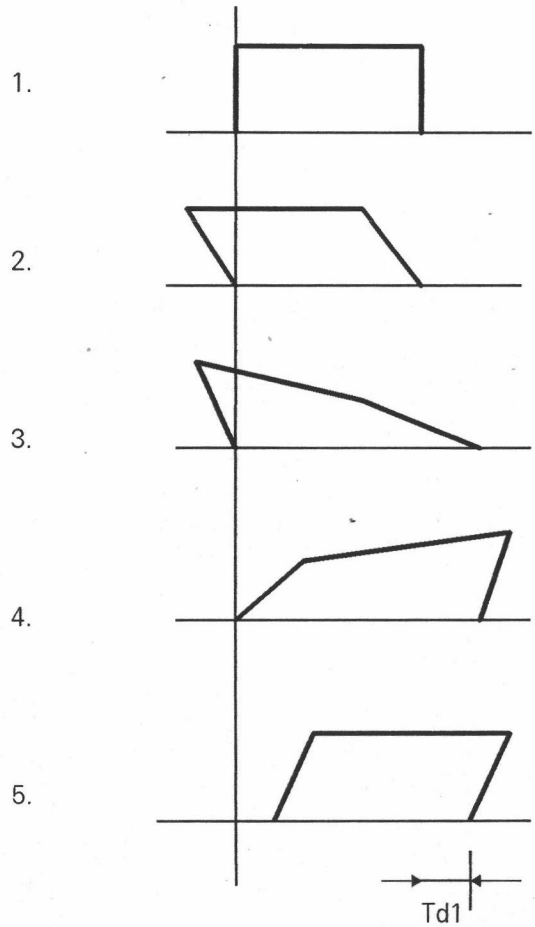
L_b = ความยาวของลำตัวมีค่าเท่ากับ 26 เซนติเมตร

m_l = มวลของขาคู่หน้าหรือคู่หลังมีค่าเท่ากับ 0.7 กิโลกรัม

m_b = มวลของลำตัวมีค่าเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม

m_m = มวลของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 2.1 กิโลกรัม/ตัว

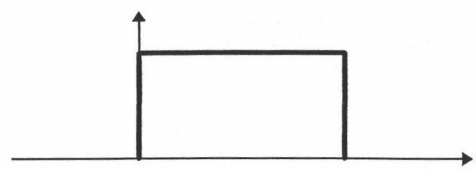
L_l = ความยาวของขามีค่าเท่ากับ 18 เซนติเมตร



รูปที่ 3.16 แสดงลำดับการเดินของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์

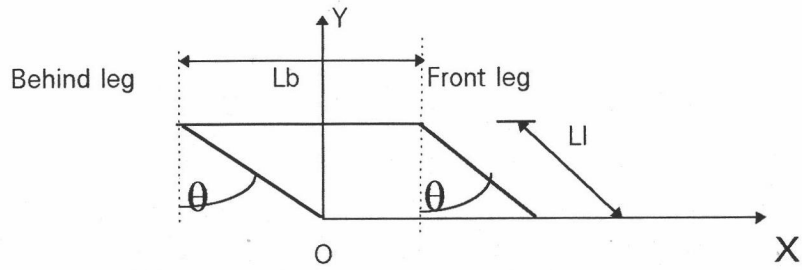
1.1 แสดงการหาคำสั่งในการควบคุมลำดับในการเดินของหุ่นยนต์

ลำดับที่1 ระบบวิ่งเข้าสู่ตำแหน่งโฮมซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้นในท่ายืนเหยียดตรงของระบบ



รูปที่ 3.17 แสดงลำดับที่1 ของการเดินของหุ่นยนต์

ลำดับที่2 เป็นการโน้มตัวมาด้านหลังก่อนการก้าวเดินเพื่อเป็นการย้ายจุดศูนย์ถ่วงของระบบมาลงบนเท้าหลังเพื่อลดแรงเสียดทานในการก้าวเดินดังรูปที่ โดยมุมองศาที่ทำให้จุดศูนย์ถ่วงตกอยู่ที่เท้าด้านหลังเป็นไปตามสมการการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์ถ่วง



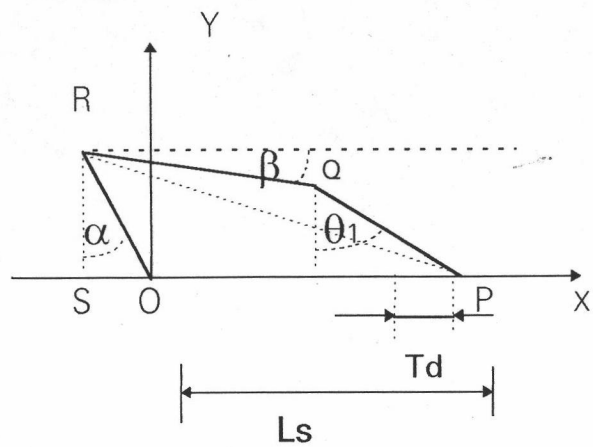
รูปที่ 3.18 แสดงลำดับที่2 ของการเดินของหุ่นยนต์

จากสมการพิจารณาหามุม θ ที่ทำให้ค่าของสมการ X_gมีค่าเท่ากับศูนย์

$$Xg = \frac{1}{2m_l + m_b}\left[\begin{array}{l} m_{l_f}(L_b - \frac{L_l}{2}\sin\theta) - m_{l_b}\frac{L_l}{2}\sin\theta \\ +m_b(L_b - L_l\sin\theta - \frac{L_b}{2}) \end{array}\right]$$

นั่นคือมุมที่ใช้ในการขับของลำดับที่2 ก่อนทำการก้าวเดินในลำดับที่3

ลำดับที่ 3 เป็นการขับเคลื่อนขาหน้าเพื่อทำการก้าวเท้าเดินเป็นระยะทางที่กำหนดโดยมุมที่ขับกับระยะทางที่ก้าวเดินมีความสัมพันธ์กัน



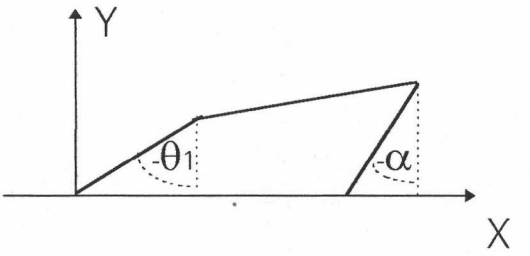
รูปที่ 3.19 แสดงลำดับที่3 ของการเดินของหุ่นยนต์

$$\sin\beta = (L_l / L_b) * (\cos\alpha - \cos\theta_1),$$

$$\cos\beta = [(Ls + L_l)\sin\alpha - L_l \sin\theta_1] / L_b$$

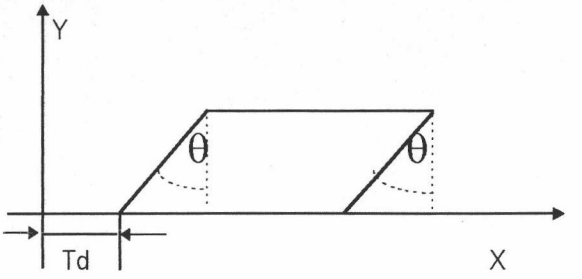
$1 = \sin^2\beta + \cos^2\beta$: จากสมการแทนค่าθ_1ที่ทำให้สมการเป็นจริง
เมื่อ Td คือค่าระยะทางที่เรากำหนดและ L_bมีค่าคงที่ เท่ากับ 26 เซนติเมตร โดยที่ตำมุมของขาหลังยังคงเดิมจากลำดับที่2 และ $L_s = L_b + Td$ นั่นคือเมื่อเราก้าวเท้าหน้าด้วยมุมθ_1 เราก็จะได้ระยะทางเท่ากับ Td

ลำดับที่ 4 เป็นการขับเคลื่อนด้วยขนาของมุมที่เท่ากันกับในลำดับที่2 แต่ตรงกันข้ามคือมุมขับของเท้าหน้าในลำดับที่3 เป็นมุมขับของเท้าหลังในลำดับที่4 ในทิศทางตรงข้ามกัน ส่วนมุมขับของเท้าหลังในลำดับที่3 ก็เป็นมุมขับของเท้าหน้าในลำดับที่4 ในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งก็จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.20 ซึ่งเป็นการถ่ายเทน้ำหนักหรือเปลี่ยนจุดศูนย์กลางโน้มถ่วงของระบบมาลงที่เท้าหน้าก่อนที่จะทำการลากเท้าหลังเข้ามาด้วยแรงเสียดทานน้อยๆ



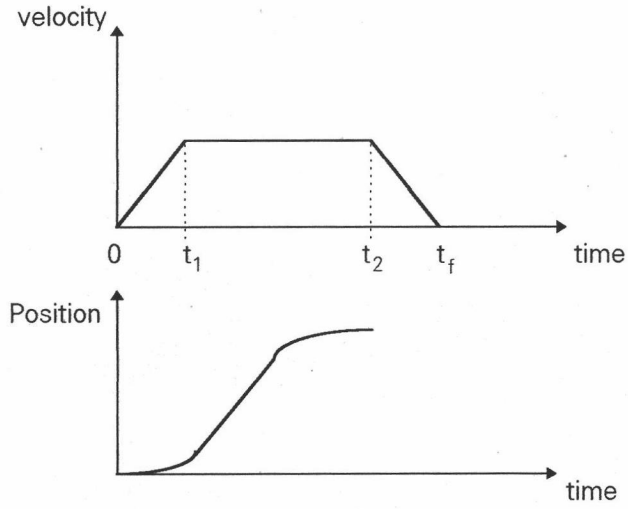
รูปที่ 3.20 แสดงลำดับที่4 ของการเดินของหุ่นยนต์

ลำดับที่5 เป็นการลากเท้าหลังเข้ามาเพื่อให้มุมของเท้าหน้าและเท้าหลังเท่าๆ กันภายใต้คำสั่งขนาดของมุมขับเป็นไปตามลำดับที่2 ของการก้าวเดินก่อนที่จะเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.21 แสดงลำดับที่5 ของการเดินของหุ่นยนต์

1.2 การนำค่าของมุมลำดับการเดินมาสร้างเป็นคำสั่งควบคุมการเดินแบบจุดต่อจุด อ้างอิงจากสมการความสัมพันธ์ในบทที่2 ให้คำสั่งเป็นไปตามโปรไฟล์ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 โปรไฟล์ความเร็วที่ประกอบด้วยช่วงความเร็วและความเร่งคงที่ของโวลตเตจแอมปลิฟายเออร์

ซึ่งโปรไฟล์ต่างๆ ที่ค่าความเร็วสูงสุดหรือที่ช่วงความเร็วคงที่และที่ความเร่งคงที่ถูกกำหนดโดยการป้อนคำสั่ง ซึ่งคำสั่งแต่ละจุดของช่วงเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

ช่วงแรกของวิถีทางการเคลื่อนที่ (ช่วงความเร่งคงที่) สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

จากการกำหนดค่าω_mและα จากสมการแรกนี้เราจะได้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมดของช่วงความเร่งคงที่คือ t_1

$$\omega_m = \alpha t_1$$

$$t_1 = \frac{\omega_m}{\alpha}$$

หลังจากได้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของช่วงแรกเราก็สามารถหาตำแหน่งปลายทางที่ช่วงความเร่งคงที่ได้คือ

$$\theta(t) = \frac{\alpha t_1^2}{2}$$

พิจารณาช่วงที่สอง (ช่วงความเร็วคงที่)เมื่อเรารู้ค่า ω_m, t_1 และตำแหน่งที่ปลายช่วงความเร็วคงที่จาก $\theta_2(t)=\theta_f(t) - \theta_1(t)$ จากสมการที่ความเร็วคงที่นี้จะได้ค่าเวลาที่ใช้ t_2

$$\theta_2(t) = \theta_1(t) + \omega_m(t_2 - t_1)$$
$$t_2 = \left(\frac{\theta_2(t) - \theta_1(t)}{\omega_m}\right) + t_1$$

จากนั้นไปพิจารณาที่ช่วงความหน่วงคงที่เนื่องจากที่ช่วงความหน่วงคงที่เรารู้ค่าตำแหน่งที่ปลายทางหรือ θ_f กับรู้ตำแหน่งที่เริ่มต้น$\theta_2(t)$ และรู้ค่าความเร็วเริ่มต้นในช่วงดังกล่าวคือ ω_m จากการกำหนดความเร็วสูงสุดของการควบคุมซึ่งก็คือความเร็วเริ่มต้นของช่วงความหน่วงคงที่นั่นเอง ดังนั้นที่ช่วงที่สามเราสามารถหาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ได้จาก

$$t_f(t) = t_1 + t_2$$

และตำแหน่งของแต่ละจุดหรือคาบการสุ่มในช่วงดังกล่าวจากความสัมพันธุ์ดังนี้ (เมื่อ $t \geq t_2$)

$$\theta(t) = \theta_2(t) + \omega_m(t - t_2) - \frac{\alpha(t - t_2)^2}{2}$$

$$\theta_f = \theta_2 + \omega_m(t - t_2) - \frac{\alpha_m t_2^2}{2} = \omega_m t_2$$

เมื่อ θ_f คือมุมขับที่ลำดับต่างๆ ของการเดิน และภายใต้การป้อนคำสั่งหรือค่าของความเร็วเชิงมุมเวลาทั้งหมดคือ $t_f = t_1 + t_2$ จากค่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละช่วงทำการแบ่งย่อยที่มุมองศาที่เวลาต่างๆ คือที่ t_1, t_2 และ t_f ภายใต้สมการความเร่งคงที่ความเร็งคงที่และความหน่วงคงที่ภายใต้เวลาที่แปรเปลี่ยนซึ่งก็คือแต่ละคาบของการสุ่มนั่นเอง โดยกระทำในลักษณะดังกล่าวนี้กับที่แต่ละลำดับการเดินโดยที่จำนวนลูปของแต่ละโปรไฟล์ขึ้นอยู่กับเวลาในช่วงดังกล่าวหารด้วยเวลาในการการสุ่ม เราก็จะได้โปรไฟล์ของคำสั่งในรูปของตำแหน่งกับเวลาดังรูปที่ 3.22

2. ส่วนของการแสดงผลทางหน้าจอ เป็นการนำค่าคำสั่งที่ได้จากหัวข้อ 1. มาทำการแสดงผลทางหน้าจอเพื่อแสดงผลว่ามีความผิดปกติของโปรไฟล์หรือไม่ โดยการแสดงแบ่งออกได้เป็น 2 โหมดคือโหมดของการแสดงผลทีละลำดับของการเดินหรืออีกโหมดคือทำการเดินจนกระทั่งคบกระบวนการคือระยะทางที่กำหนด

3. ส่วนของการควบคุมระบบ ภายหลังจากการตรวจสอบไฟล์ของคำสั่งโดยการแสดงผลทางหน้าจอแล้วไม่เห็นสิ่งผิดปกติก็ทำการสั่งควบคุมระบบจริงซึ่งลักษณะของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมโดยย่อของพี.ไอ. ควบคุมมีดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ของการควบคุมแบบพี.ไอ

```
Ef=E1f=E2f=0;
Eb=E1b=E2b=0;
Mf=M1f=Pf=0;
Mb=M1b=Pb=0;
K0f=Kpf+(Kif*T);
K1f=-Kpf;
K0b=Kpb+(Kib*T);
K1b=-Kpb;
```

ส่วนที่สอง เป็นการกำหนดคาบของการสุ่ม(Sampling time)ให้นาฬิกาเริ่มทำการนับ

```
dat[0]=0;
fun=10;
er=pcl812 (fun,&dat[0],&ary1[0],&ary2[0]);
dat[0]=count;
fun=11;
er=pcl812 (fun,&dat[0],&ary1[0],&ary2[0]);
```

ส่วนที่สาม เป็นการอ่านค่าคำสั่งจากไฟล์ทางเดินที่สร้างไว้ตามชื่อและลำดับการควบคุม

```
infile=fopen("d:\step__.xls","r");
fseek(infile,0,0);
j=1;
while(!feof(infile))
{
        fscanf(infile,"%f\t%f\n",&Rf,&Rb);
        RFF[j]=Rf;   RBB[j]=Rb;
        j++;
}
fclose(infile);
```

ส่วนที่สี่ เป็นการเริ่มทำการควบคุมของโปรแกรมตามจำนวนลูปและค่าเป้าหมายในแต่ละคาบของการสุ่ม ที่ได้จากการคำนวณในการสร้างไฟล์ของคำสั่ง

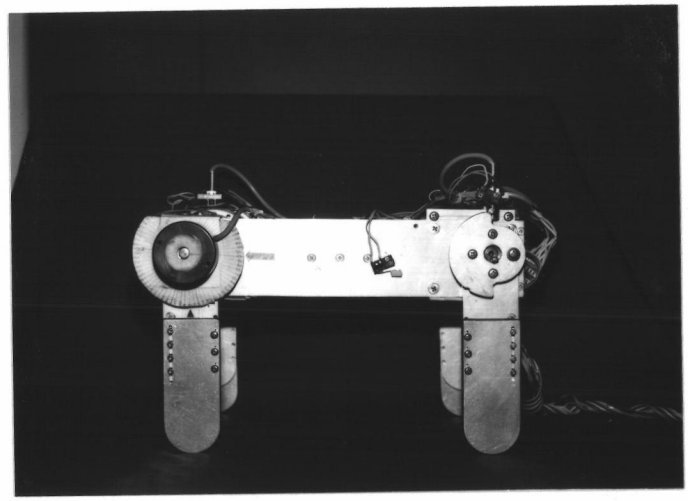
```
k=1;
```

```
while(k<=P[i] && !kbhit() )
{
        Rf=RFF[k];   Rb=RBB[k];                          คำสั่งอ้างอิงที่แต่ละลูป
        read_pos(&Cf0,&Cb0);                             อ่านค่าตำแหน่งจริงระบบ
        Cf=Cf0; Cb=Cb0;
        Graphics_show();                                 แสดงภาพการเคลื่อนที่จากระบบจริง
        Ef=Rf-Cf;                                        หาค่าความผิดพลาดที่ขาหน้า
        Eb=Rb-Cb;                                        หาค่าความผิดพลาดที่ขาหลัง
        Mf=Pf+ K0f*Ef;                    คำนวณหาขนาดของสัญญาณพี ควบคุมที่ขาหน้า
        Mb=Pb+ K0b*Eb;                    คำนวณหาขนาดของสัญญาณพี ควบคุมที่ขาหลัง
        vf=Mf;                           จำกัดขนาดของสัญญาณขาหน้าที่ควบคุมตามคาร์ด
        if(fabs(vf)>2.5) vf=(2.5*vf)/fabs(vf);
              vb=Mb;                     จำกัดขนาดของสัญญาณขาหลังที่ควบคุมตามคาร์ด
        if(fabs(vb)>2.5) vb=(2.5*vb)/fabs(vb);
        do                                ทำการนับสัญญาณนาฬิกาตามคาบการสุ่มที่กำหนด
        {
                dat[0]=1;
                fun=12;
                er=pcl812 (fun,&dat[0],&ary1[0],&ary2[0]);
          }while(dat[1]<0);
          write_pos(vf,vb);                              ส่งสัญญาณควบคุมระบบ
          dat[0]=count;                  กำหนดคาบเวลาการสุ่มให้นาฬิกาในลูปต่อไป
          fun=11;
          er=pcl812 (fun,&dat[0],&ary1[0],&ary2[0]);
          E2f=E1f;E1f=Ef;                  นำค่าสัญญาณความผิดพลาดที่สะสมในลูปนี้
          E2b=E1b;E1b=Eb;                   ไปเพิ่มสัญญาณการควบคุมให้กับลูปถัดไป
          M1f=Mf;
          M1b=Mb;
          Pf=M1f+ K1f*E1f;
```

```
        Pb=M1b+K1b*E1b;
        k++
}การสิ้นสุดลูปการควบคุมของโปรแกรม
```

แสดงรูปหุ่นยนต์และโครงสร้าง

จากรูปแสดงลักษณะทางโครงสร้างของหุ่นยนต์เดินด้วยกลไกสี่ลิงค์โดยรวม



รูปที่ 3.33 แสดงโครงสร้างของหุ่นยนต์และตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ บนตัวหุ่นยนต์