

บทที่ 3

อุปกรณ์ควบคุมและระบบควบคุม

จากบทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิคต 3 มิติ ซึ่งหลักการการทำงานของตัวควบคุมก็จะมีวิธีการต่างๆ มากมาย อันได้แก่การควบคุมแบบพีไอดี, แบบอะแดปทีฟ(Adaptive) เป็นต้น ซึ่งการออกแบบตัวควบคุมแต่ละประเภทก็จะมีวิธีการที่แตกต่างกัน สำหรับเครื่องวัดพิคต 3 มิติที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการควบคุมแบบ PIV&F และ PID&feedforward ดังจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไปสำหรับตัวควบคุม PIV&F ได้ประยุกต์อยู่ในอุปกรณ์ควบคุมคือตัวควบคุม 2 แกน 6250 (2 Axis Servo Controller) และตัวควบคุม BLX30 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวควบคุมการทำงานของแกนหลักทั้ง 3 แกน ส่วนตัวควบคุม PID&feedforward ใช้กับแกนที่ 4 ซึ่งเป็นแกนหมุนมีโพลคือแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งทำให้ต้องมีการเพิ่มส่วนของ feedforward ดังจะได้เห็นในตอนท้ายของบท

ในบทนี้เริ่มจากการกล่าวถึงมอเตอร์แบบ Brushless DC motor ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนแกนหลักทั้ง 3 แกน จากนั้นจะกล่าวถึงอุปกรณ์ควบคุม 6250 และ BLX30 และในหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงวิธีการควบคุมของแกนที่ 4

3.1 Brushless DC servomotor

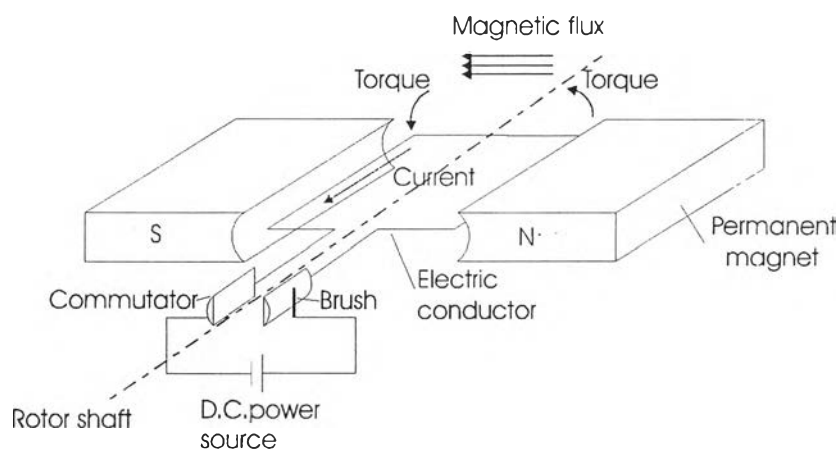
เซอร์โวมอเตอร์มีการใช้งานกันในระบบอัตโนมัติอย่างกว้างขวางเพราะสามารถให้ความถูกต้องของตำแหน่งสูง สามารถปรับความเร็วได้ถูกต้อง และควบคุมแรงได้ดี เซอร์โวมอเตอร์แบ่งออกเป็น DC servomotor และ AC servomotor เซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless จัดอยู่ในประเภท AC servomotor แต่ที่เรียกว่า DC เพราะคุณลักษณะ(characteristic)ของมันคล้ายกับของ DC motor และสามารถถูกมองเป็น DC motor ที่มีขดลวดสนาม(field winding)พันอยู่บนแกนหมุนมีขดลวด armature อยู่รอบๆ และ ถูกสวิตช์ให้เหนี่ยวนำแกนหมุนด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวก ทรานซิสเตอร์, ไทริสเตอร์ เป็นต้น

เพื่อให้เข้าใจการทำงานของมอเตอร์ซึ่งจะเกี่ยวพันกับการทำงานของตัวขับเคลื่อนนั้นจึงขอกล่าวถึงหลักการการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless โดยจะเปรียบเทียบกับหลักการของมอเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับดังนี้

3.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เมื่อกระแสไหลผ่านแปรงถ่าน (Brush) และตัวเหนี่ยวนำ (Commutator) ไปยังขดลวดซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กที่สร้างจากแม่เหล็กถาวร ขั้ว N และ S ก็จะก่อให้เกิดทอร์กในทิศทางของกฎมือซ้ายดังรูป ทอร์กที่เกิดจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนน้อยที่สุดเมื่อแกนหมุนหมุนไป 90° แต่เนื่องจากแรงเฉื่อยของแกนหมุนจะทำให้แกนหมุนยังหมุนต่อไปได้อีกเล็กน้อยแต่เมื่อแกนหมุนหมุนผ่านตำแหน่ง 90° ไปแล้วก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดทอร์กเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อีกครั้ง

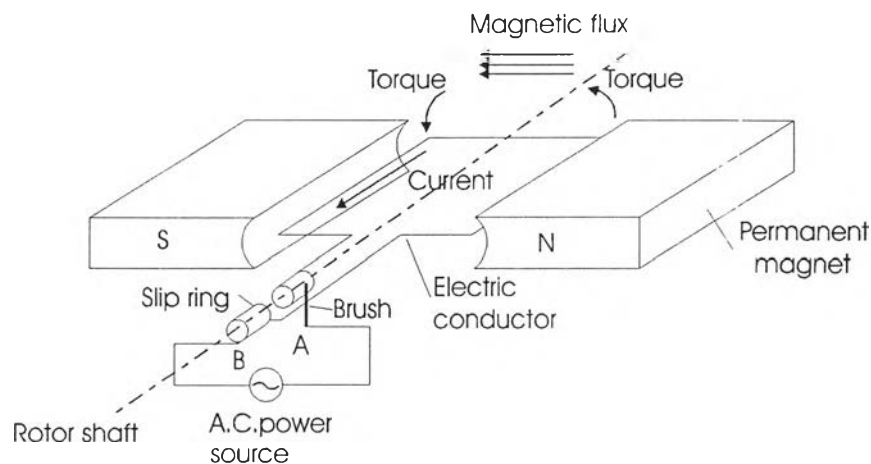
มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้งานจริงๆ จะมีตัวเหนี่ยวนำ (Commutator) หลายตัว ซึ่งทำให้ทอร์กที่ได้มีค่าคงที่ที่กระแสคงที่ค่าหนึ่ง หรือทอร์กที่ได้มีค่าแปรผันกับกระแสตัวเอง



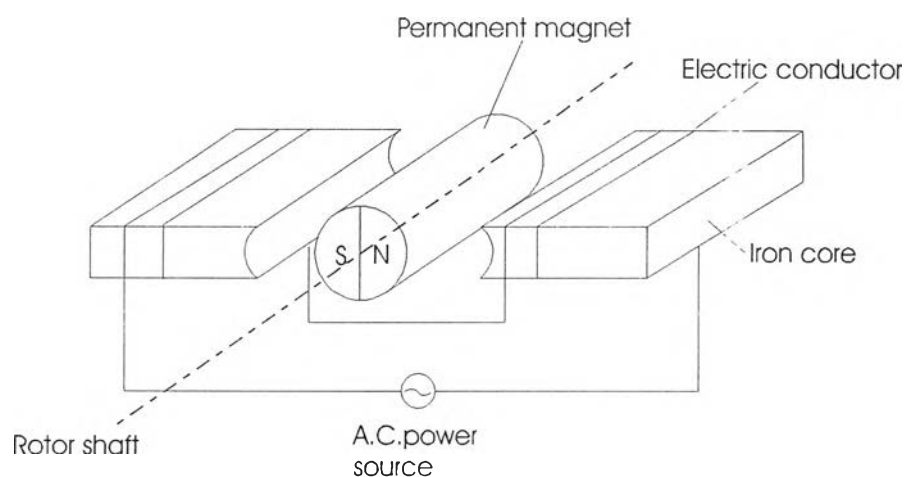
รูปที่ 3.1 หลักการของ DC motor

3.1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ

รูปที่ 3.2 แสดงรูปมอเตอร์กระแสสลับและหลักการทำงาน จากรูปตัวเหนี่ยวนำ (Commutator) ถูกแทนด้วย Slip ring เมื่อมอเตอร์เริ่มทำงาน ที่แปรงถ่าน A มีศักย์ไฟฟ้าเป็น + ที่แปรงถ่าน B มีศักย์ไฟฟ้าเป็น - ทำให้เกิดทอร์กกระทำกับขดลวดเช่นเดียวกับในกรณีมอเตอร์กระแสตรง แต่แกนหมุนจะหยุดหมุนในตำแหน่งต่อไป การจะทำให้แกนหมุนเคลื่อนที่ต่อทำได้โดยการเปลี่ยนขั้วของแหล่งกำเนิด ซึ่งแหล่งกำเนิดแบบกระแสสลับจะทำให้แกนหมุนของมอเตอร์หมุนอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วที่แปรผันกับความถี่ที่แหล่งกำเนิดป้อนให้ ในกรณีของมอเตอร์แบบ Brushless จะกำหนดให้การกลับขั้วของแหล่งกำเนิดเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของแกนหมุน รูปที่ 3.3 และ 3.2 ใช้หลักการและโครงสร้างเดียวกันเพียงแต่รูปแรกประกอบด้วยอุปกรณ์แปรงถ่าน (Brush) และ Slip ring ส่วนในแบบที่ 2 ไม่มีอุปกรณ์ทั้ง 2 ในแบบแรกเราจะเรียกว่าแบบอาร์เมเจอร์หมุน (Revolving-armature type) ส่วนแบบที่ 2 เรียกแบบขดลวดสนามหมุน (Revolving-field type) ส่วนใหญ่แล้วมอเตอร์แบบ Brushless จะเป็นแบบขดลวดสนามหมุน



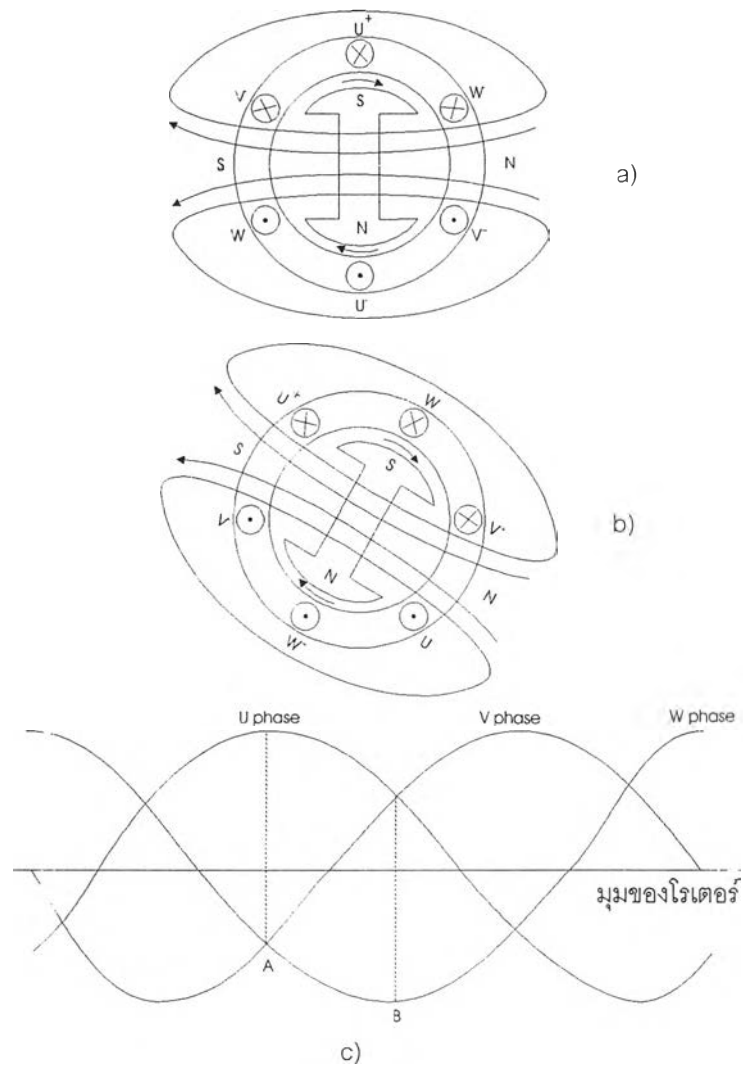
รูปที่ 3.2 หลักการของ AC motor -1



รูปที่ 3.3 หลักการของ AC motor -2

3.1.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless

จากที่ได้ทราบแล้วว่าเซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless เป็นมอเตอร์แบบ AC ต่อไปจะกล่าวถึงการทำงานของมอเตอร์ดังกล่าว เซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless จะไม่มีอุปกรณ์จำพวกแปรงถ่าน (Brush) แต่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ควบคุมการไหลของกระแสให้เฟสและขนาดตรงกับตำแหน่งของเพลลาหมุน คุณลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือความราบเรียบของทอร์คที่ถูกเหนี่ยวนำในกรณีของ D.C. motor หากเราเพิ่มจำนวนของตัวเหนี่ยวนำ (Commutator) จะทำให้ทอร์คที่ได้ราบเรียบขึ้น ส่วนกรณีของเซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless ทอร์คที่ได้จะราบเรียบขึ้นเมื่อแบ่งขดลวดเหนี่ยวนำเป็น 3 เฟส และแปลงกระแสของแต่ละเฟสให้เป็นรูปคลื่นไซน์ ดังในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสในมอเตอร์แบบ Brushless

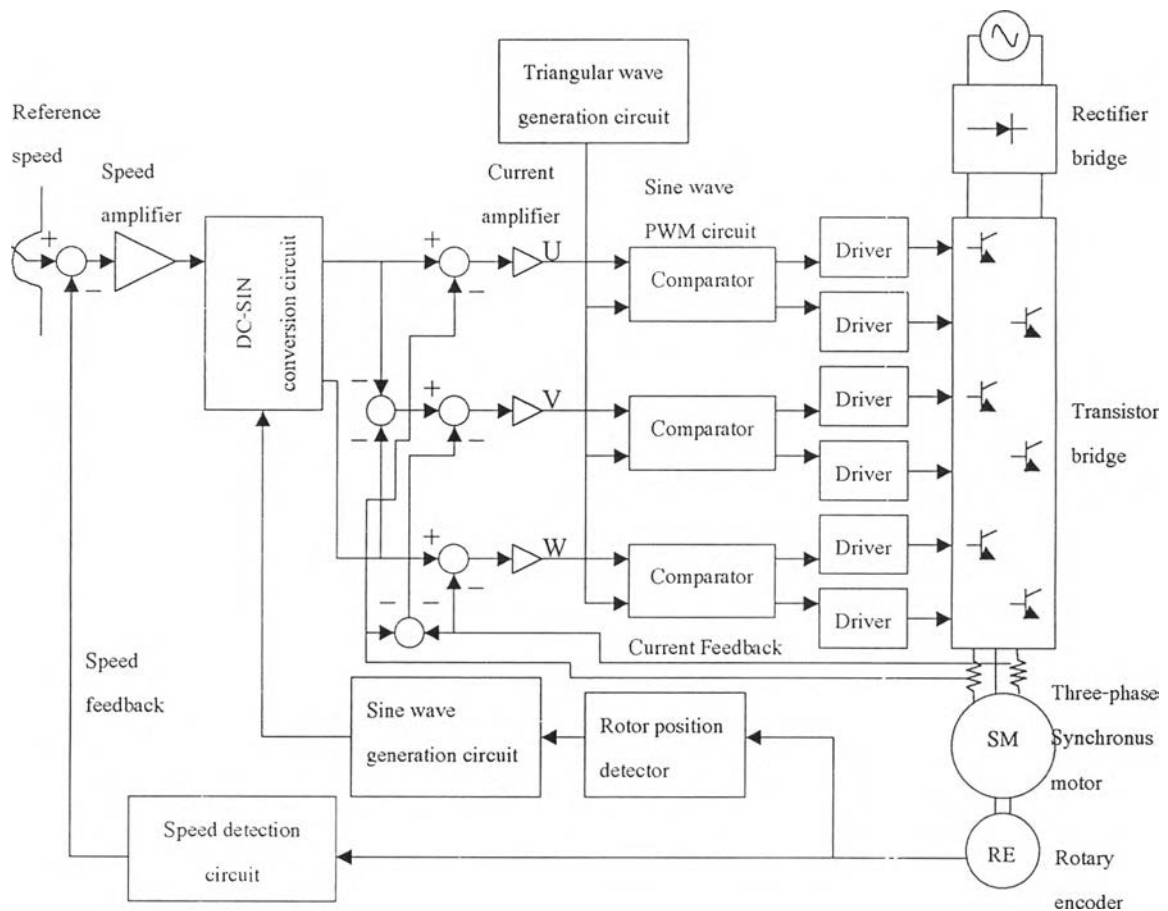
รูปที่ 3.4a) และ 3.4b) เป็นภาพหน้าตัดของมอเตอร์แบบ 3 เฟสซิงโครนัส มี U^+, U^-, V^+, V^-, W^+ และ W^- แสดงจุดเริ่ม(จุด)และปลาย(กากบาท)ของขดลวด ส่วนรูปที่ 3.4c) เป็นรูปกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดทั้ง 3 เฟสภายในมอเตอร์ แกนนอนเป็นตำแหน่งของแกนหมุนของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ได้รับกระแสไฟ 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 3.4c) ที่จุด A มีเพียงเฟส U เท่านั้นที่เป็น + ในขณะที่เฟส V และ W เป็น - ทั้งคู่ เมื่อใช้กฎมือขวาในการหาทิศทางของกระแสในขดลวดจะเป็นดังรูป 3.4a) และเวดเตอร์ของสนามแม่เหล็กที่ถูกเหนี่ยวนำมีทิศทางจาก N ไป S ตามหัวลูกศร เมื่อสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแกนหมุนตัดกับฟลักซ์แม่เหล็กที่ได้จากการเหนี่ยวนำเป็นมุมฉาก จะก่อให้เกิดแรงในการหมุนแกนของมอเตอร์ขึ้น ที่ตำแหน่ง B ฟลักซ์แม่เหล็กจะทำมุม 60 องศาับตำแหน่ง A

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าถ้าเราป้อนกระแส 3 เฟสให้ไหลผ่านขดลวดทั้ง 3 จะทำให้ได้สนามแม่เหล็กที่หมุนอย่างต่อเนื่อง ถ้าเฟสของคลื่นไซน์และตำแหน่งของการหมุนทำมุมกันอย่างถูกต้องตลอด จะทำให้ได้ทอร์คที่ราบเรียบมากขึ้นและมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นหลักการงานและโครงสร้างของมอเตอร์แบบ Brushless ต่อไปจะกล่าวถึงวงจรที่ทำหน้าที่สร้างกระแสที่มีเฟสตรงกับตำแหน่งของแกนหมุนตามต้องการ

3.1.4 วงจรขับเซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless

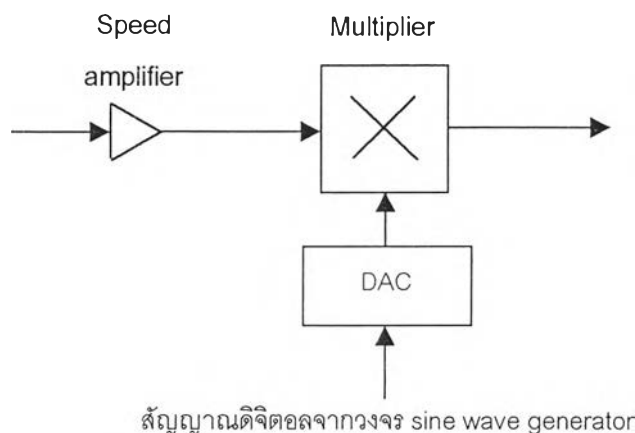
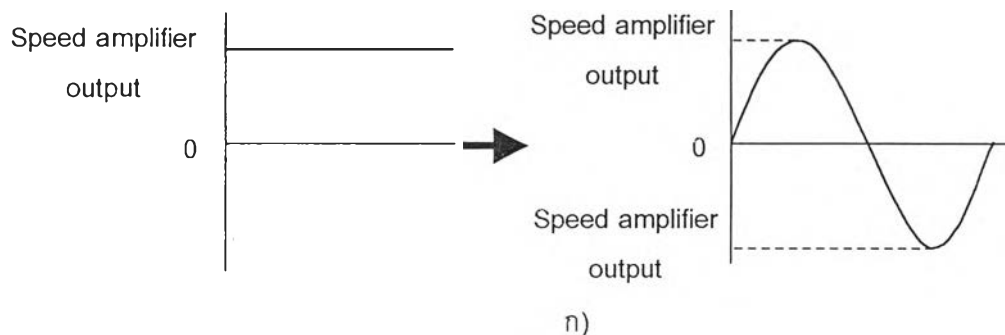
ในรูปที่ 3.5 เป็นรูปของระบบสำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แบบ Brushless โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับกระแสตลอดเวลาที่มอเตอร์หมุน



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพการทำงานของวงจรควบคุมแบบ Brushless

3.1.4.1 Rotor position detector เป็นวงจรที่รับสัญญาณจากตัววัดตำแหน่งของโรเตอร์มอเตอร์ ได้แก่ เอนโคดเดอร์ (Rotary encoder) แล้วแปลงสัญญาณดังกล่าวให้อยู่ในรูปที่วงจรสร้างคลื่นไซน์ (Sine wave generation circuit) สามารถรับได้

3.1.4.2 Sine wave generation circuit เนื่องจากเป้าหมายของวงจรขับเคลื่อน Brushless servo motor ต้องการที่จะสร้างสัญญาณ sine ดังแสดงในรูป 3.4c) เพื่อที่จะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำตั้งฉากกับแกนแม่เหล็กซึ่งเป็นแกนหมุน ดังในรูปที่ 3.4a) และ 3.4b) ดังนั้น ค่าตำแหน่งของแกนหมุนใดๆที่เราทราบเราก็จะสามารถกำหนดสัญญาณที่จะต้องป้อนให้กับขดลวด 3 เฟสภายในตัวมอเตอร์ได้เพื่อที่จะให้เกิดสภาวะที่เราต้องการโดยใช้กราฟของคลื่นรูป sine ในรูป 3.4c) เป็นตัวกำหนด เอาท์พุทของวงจรส่วนนี้จะเป็นสัญญาณดิจิทัลบอกขนาดของ sine wave ที่สอดคล้องกับตำแหน่งของแกนหมุน โดยมีอินพุทคือตำแหน่งของแกนหมุนจากวงจรก่อนหน้านี้

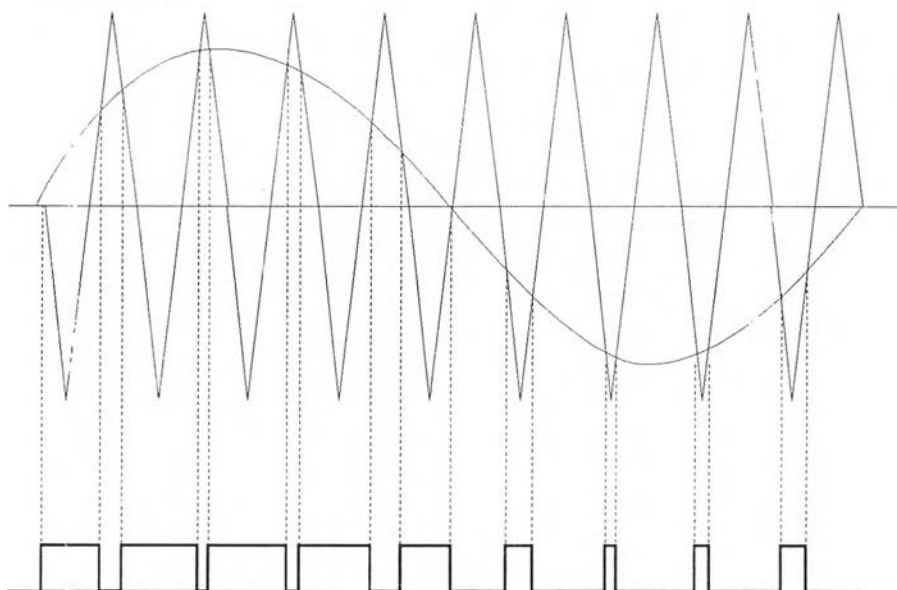


ข)

รูปที่ 3.6 ก) วัตถุประสงค์ของวงจร DC-SIN conversion circuit ข) วงจร DC-SIN conversion circuit

3.1.4.3 DC-SIN conversion circuit จากรูปที่ 3.5 ความแตกต่างระหว่างสัญญาณ Reference speed กับ Speed feedback จะถูกขยายด้วย Speed amplifier หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่ได้ไปยังวงจร DC-SIN conversion เพื่อที่จะทำการสร้างคลื่นรูป sine ดังแสดงในรูป 3.6ก) โดยใช้วงจรในรูป 3.6ข) ซึ่งจะใช้ตัว Multiplier เป็นตัวแปลงสัญญาณ ซึ่งตัว Multiplier นี้จะใช้หลักการคูณของสัญญาณซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

3.1.4.4 Sine wave PM circuit เมื่อเราได้กระแสคลื่นรูปไซน์ หากเราขยายขนาดของกระแส แล้วป้อนเข้ามอเตอร์โดยตรงจะเกิดปัญหาเมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์สูงขึ้นเนื่องจากใน วงจรขยายสัญญาณอื่น ๆ จะใช้ทรานซิสเตอร์ซึ่งทำงานในช่วง Linear เป็นตัวทำงาน เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์นาน ๆ เข้าความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้คุณสมบัติ ของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไป จุดทำงานของ ทรานซิสเตอร์ก็จะเปลี่ยนไปทำให้การทำงานของวงจรผิดไปจากที่กำหนดไว้ วิธีแก้ ไขวิธีการหนึ่งคือการแปลงสัญญาณรูปไซน์เป็นพัลส์หลาย ๆ ลูกที่มีความกว้างแปรผัน กับขนาดของคลื่นไซน์ ดังรูปที่ 3.7 คลื่นรูปฟันเลื่อยเป็นคลื่นที่สร้างขึ้นมีความถี่เดียว หรือใกล้เคียงกับความถี่ในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ ผลของความถี่ดังกล่าวที่มีต่อ ระบบคือหากความถี่ดังกล่าวมีค่าต่ำจะทำให้การตอบสนองของระบบช้า หากมีค่าสูง จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟมาก วิธีการนี้จะใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานในช่วง ON-OFF (เปิด-ปิด) ซึ่งจะไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของจุดทำงานของ ทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3.7 รูปคลื่นสัญญาณจากวงจร Sine wave PWM

3.2 อุปกรณ์ควบคุม 2 แกน 6250

เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ขับเคลื่อนระบบที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแบบอนาลอกขนาด ± 10 V ตัวควบคุม 6250 ใช้ตัวประมวลผล 2 ตัว ตัวหนึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ใช้ประมวลผลโปรแกรมการเคลื่อนที่ระดับสูงซึ่งเป็นโปรแกรมการเคลื่อนที่ที่ติดต่อกับผู้ใช้และอีกตัวเป็นตัวประมวลผลดิจิทัล (Digital signal processing, DSP) ใช้สำหรับทำงานกับอุปกรณ์ซึ่งจะประมวลผลโปรแกรมที่เป็นภาษาเครื่องซึ่งมนุษย์ไม่เข้าใจ สำหรับการควบคุมที่ซับซ้อนและใช้ความเร็วสูง การใช้ตัวประมวลผล 2 ตัว ช่วยให้ปฏิบัติตามคำสั่งได้เร็วขึ้น การโปรแกรม 6250

สามารถทำได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ทสื่อสาร RS232C หรือผ่านทางตัวเชื่อมต่อเฉพาะสำหรับ 6250 แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การเชื่อมต่อโดย RS232C โดยเซตค่าพารามิเตอร์ของพอร์ทเป็นดังนี้คือ

Baud Rate	Data Bits	Parity	Stop Bits	Full Duplex	XON/XOFF
9600	8	None	1	/	Enabled

3.2.1 การควบคุมเซอร์โว

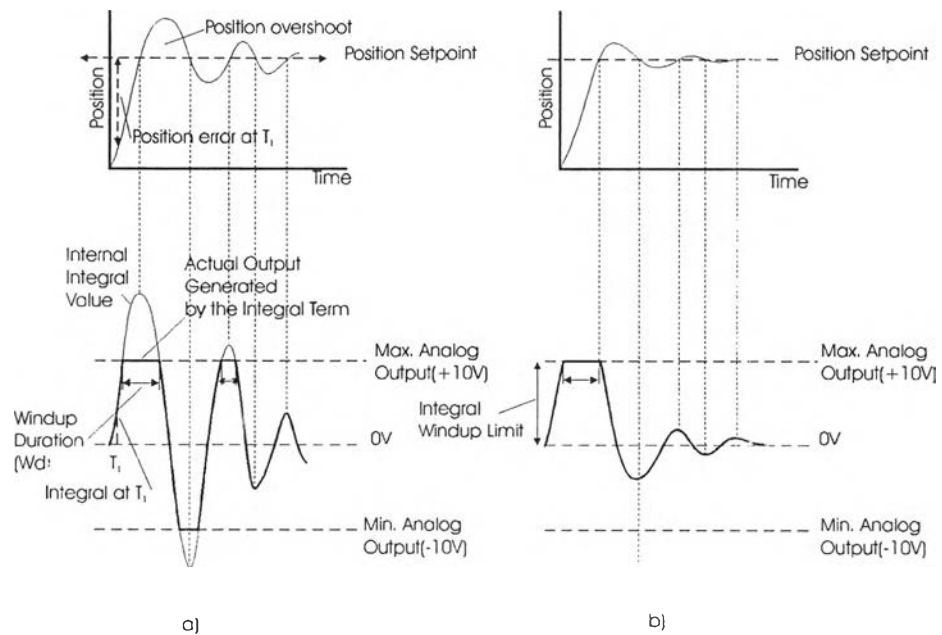
ตัวควบคุม 6250 ใช้วิธีการควบคุมแบบดิจิทัลในการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว การควบคุมใช้สมการในการคำนวณสัญญาณควบคุม ในสมการจะประกอบด้วยตัวแปรของคำสั่ง, ตำแหน่งปัจจุบัน, ตำแหน่งในอดีต, และค่าเกณฑ์ต่าง ๆ สำหรับวิธีการควบคุมที่ใช้คือวิธี PIV&F พิจารณารูปที่ 3.9 แสดงวิธีการควบคุมดังกล่าว ในรูปส่วนที่เป็นการควบคุมจะมีบล็อกที่เป็นพารามิเตอร์ของตัวควบคุมคือ Velocity Feedforward(SGVF), Acceleration Feedforward(SGAF), Integral Feedback (SGI), Proportional Feedback(SGP), Velocity Feedback(SGV) ในรูปบล็อก Drive คือตัวขับมอเตอร์ที่ได้กล่าวถึงในตอนที่ผ่านมา

3.2.1.1 Proportional Feedback Control(SGP) ใช้ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งกับคำสั่ง ในการคำนวณสัญญาณควบคุม ค่าเกณฑ์ที่ใช้คือ SGP หน้าที่ของการควบคุมแบบนี้ อย่างหนึ่งคือการกำจัดสัญญาณรบกวนเพราะเมื่อมีสิ่งรบกวนระบบทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งขึ้น ระบบก็จะทำการปรับตัวเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิด แต่ค่าเกณฑ์ที่ใช้หากปรับให้มีค่ามากเกินไป จะทำให้ระบบเกิดการสั่นและไม่เสถียรได้

3.2.1.2 Integral Feedback Control(SGI) สัญญาณควบคุมได้จากการอินทิเกรตค่าความผิดพลาดของตำแหน่งอัตราเร็วของการอินทิเกรตกำหนดได้จากค่า SGI หน้าที่หลักของการควบคุมแบบอินทิกรัลคือการเอาชนะความเสียดทานหรือแรงโน้มถ่วงเพื่อลดความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady State Error) ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย การทำงานของการควบคุมแบบนี้จะต่างจากแบบ Proportional คือเมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้นระบบจะเพิ่มสัญญาณควบคุมตามการสะสมของความผิดพลาดเมื่อค่าสัญญาณควบคุมมีค่ามากพอก็จะขับเคลื่อนระบบให้ลดค่าความผิดพลาดดังกล่าว หลักการดังกล่าวสามารถใช้ได้กับการติดตามเส้นทาง (tracking) ด้วยอัตราเร็วคงที่ได้

แต่การควบคุมแบบอินทิกรัลนี้มีข้อควรระวังคือเมื่อความผิดพลาดสะสมจนเกินความสามารถที่อุปกรณ์ควบคุมสามารถให้ได้สัญญาณควบคุมก็จะมีค่าอิมพัลส์ที่ระดับใดระดับหนึ่ง ซึ่งเราเรียกว่า Integrator windup เมื่อเกิด Integrator windup จะต้องใช้เวลาชั่วขณะกว่าที่ค่าสัญญาณควบคุมจะลดลงมาอยู่ในช่วงที่ตัวควบคุมสามารถทำได้ แต่ในขณะที่เกิดการอิมพัลส์นี้ก็จะเกิด Overshoot และมีการสั่นสะเทือนมาก ดังนั้นเมื่อค่าสัญญาณควบคุมถึงขีดจำกัดแล้วจึงควรหยุดการอินทิเกรต

พลาด จนกระทั่งค่าสัญญาณควบคุมจะกลับเข้าสู่ช่วงที่ทำงานได้ รูปที่ 3.8 แสดงการเกิด Integrator windup และการแก้ไขที่ได้กล่าวมา

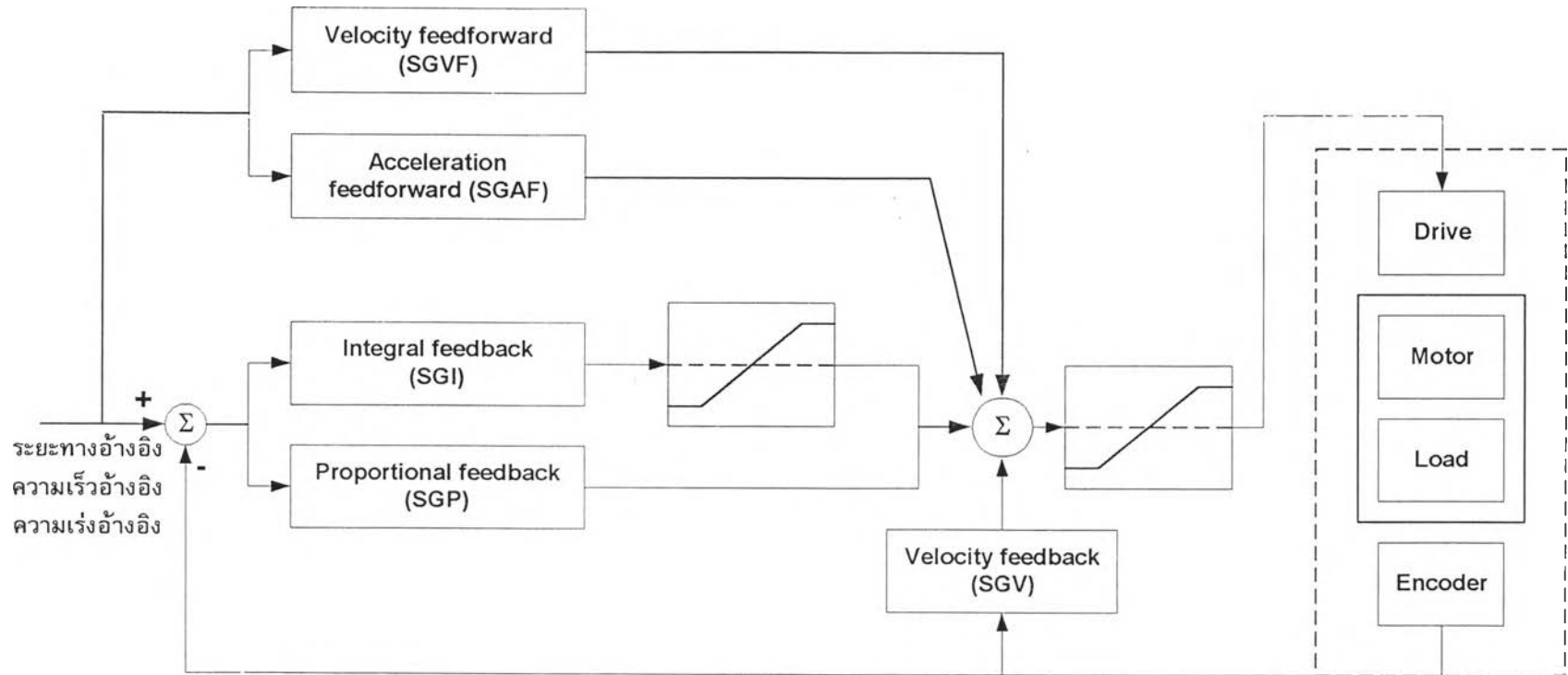


รูปที่ 3.8 a) แสดง Integrator windup b) แสดงผลเมื่อใช้การจำกัดการอินทิเกรต

3.2.1.3 Velocity Feedback Control (SGV) สัญญาณควบคุมจะแปรตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง ค่าเกณฑ์ที่ใช้คือ SGV การควบคุมแบบนี้ทำหน้าที่ปรับความผิดพลาดของตำแหน่งก่อนที่จะมีค่ามาก มันจะช่วยเพิ่มค่าความหน่วง (Damping) และเพิ่มเสถียรภาพของระบบด้วย ค่าเกณฑ์ SGV เมื่อมีค่ามากจะทำให้ความผิดพลาดของการติดตามเส้นทาง (tracking) ด้วยความเร็วคงที่มากไปด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ระบบช้าลงด้วย

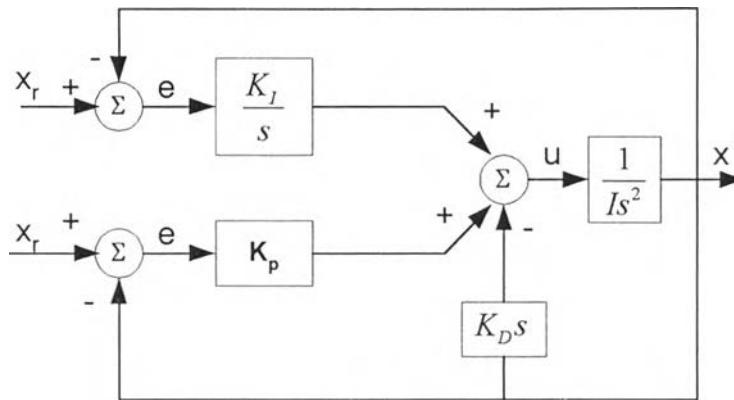
3.2.1.4 Velocity Feedforward Control (SGVF) วัตถุประสงค์ของการควบคุมแบบ Velocity Feedforward Control คือเพื่อลดความผิดพลาดของตำแหน่งเมื่อระบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดมีสาเหตุมาจาก แรงเสียดทาน, ภาระแรงบิด, และการควบคุม Velocity feedback control สัญญาณควบคุมจะได้จากผลคูณของความเร็วของคำสั่งกับค่าเกณฑ์ SGVF ในกรณีที่ใช้งานแบบติดตาม (tracking) การควบคุมแบบนี้มีประโยชน์มากแต่ถ้าเป็นการทำงานแบบ Point-to-point ก็ไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบนี้ การควบคุมแบบนี้จะไม่มีผลกระทบกับเสถียรภาพของระบบเลย

3.2.1.5 Acceleration Feedforward Control (SGAF) การควบคุมแบบนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามตำแหน่ง เมื่อมีการเพิ่มหรือลดความเร็ว แต่เช่นเดียวกับการควบคุมแบบ SGVF ในงานที่เป็นแบบ Point-to-point ไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้การควบคุมแบบนี้



รูปที่ 3.9 แสดงวิธีการควบคุมแบบ PIV&F

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจเราสามารถเขียนรูป Block diagram ในรูปที่ 3.9 ได้ใหม่ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของการควบคุม Feedback และละทิ้งในส่วนของการ Feedforward ซึ่งไม่ได้ใช้ในกรณีของการควบคุมการเคลื่อนที่เพื่อการวัดซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบ Point-to-point



รูปที่ 3.10 แสดง Block diagram ของระบบควบคุม PIV

จากรูปที่ 3.10 เราสามารถสรุปได้ว่า

$$\frac{X(s)}{X_r(s)} = \frac{K_p s + K_I}{Is^3 + K_D s^2 + K_p s + K_I}$$

จากสมการ Transfer function นี้ตัวควบคุมจะเป็นแบบ PID โดยจัดอยู่ในรูปที่เรียกว่า Pseudo-Derivative Feedback (PDF) ค่าเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ปรากฏที่สมการ characteristic นั้นเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการปรับหาค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม จากการปรับหาค่าเกณฑ์พบว่าค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมที่ใช้คือ เกน X ค่า $K_p=300$, $K_D=7$ ส่วน K_I เราตั้งไว้ให้เป็นศูนย์เนื่องจากผลกระทบจากแรงโน้มถ่วงและแรงเสียดทานมีค่าไม่มากในแนวทิศทางการเคลื่อนที่ดังกล่าว ส่วนเกน Y และเกน Z นั้นจะถูกควบคุมโดยตัวควบคุม 6250 โดยใช้เฉพาะค่า Proportion control เท่านั้น ตั้งค่าเกน K_p ในตัวควบคุม 6250 ให้มีค่าเท่ากับ 0.5 ค่าเกณฑ์นี้ยังไม่รวมค่าเกณฑ์เนื่องจากตัวขยายสัญญาณของตัวควบคุม 6250

3.2.2 คำสั่งของตัวควบคุม 6250

คำสั่งที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ควบคุม 6250 เป็นคำสั่งภาษา 6000 Series ที่ทาง Compumotor ได้พัฒนาขึ้นเป็นภาษาระดับสูง(high-level)ประกอบด้วยรหัสที่เป็น ASCII ตัวอย่างคำสั่งภาษา 6000 Series ได้แก่

คำสั่ง	คำอธิบาย
Dx,x	ใช้กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่
Vx,x	ใช้กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่
Ax x	ใช้กำหนดความเร่งในการเคลื่อนที่
GOxx	คำสั่งให้เริ่มการเคลื่อนที่

3.3 อุปกรณ์ควบคุม BLX30

เช่นเดียวกับตัวควบคุม 6250 ตัวควบคุม BLX30 เป็นอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่งของอุปกรณ์สามารถโปรแกรมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม RS232C แต่ต่างจากตัวควบคุม 6250 ตรงที่ใช้ภาษา X-code

3.3.1 การควบคุมเซอร์โว

ใช้วิธีการเดียวกับตัวควบคุม 6250 โดยตัวแปรที่ใช้กับค่าเกณฑ์แต่ละตัวคือ

CPG Proportional Gain

CVG Velocity Gain

CIG Integral Gain

CFG Feedforward Gain

CTG Filter time constant ตัวแปรนี้เป็นตัวแปรที่เพิ่มเติม ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนก่อนที่จะป้อนให้แก่ตัวขยาย (Amplifier) ค่าของตัวแปรนี้ควรมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

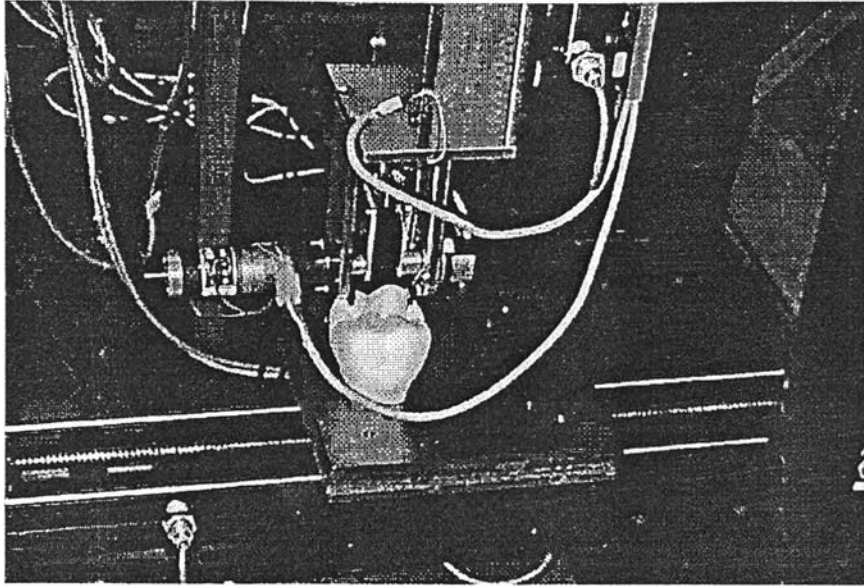
3.3.2 คำสั่งของ BLX30

คำสั่งที่ใช้เป็นคำสั่งภาษา X-code ตัวอย่างของคำสั่งเป็นดังนี้

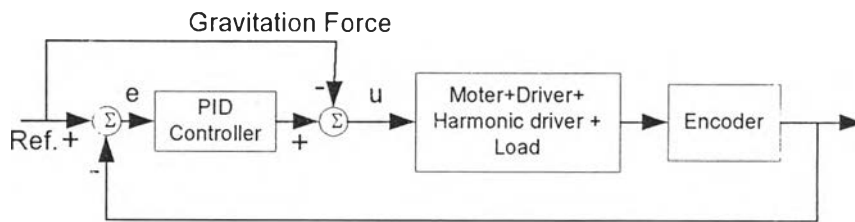
<u>คำสั่ง</u>	<u>คำอธิบาย</u>
1Ax	ใช้กำหนดความเร่งในการเคลื่อนที่
1Vx	ใช้กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่
1Dx	ใช้กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่
G	ใช้กำหนดการเริ่มเคลื่อนที่

3.4 ระบบควบคุมของแกนที่ 4

สำหรับแกนที่ 4 ใช้การควบคุมแบบ PID รูปที่ 3.11ก) แสดงรูปของแกนที่สี่ ซึ่งเป็นแกนเสริมที่นำมาติดตั้งเข้ากับแกนที่สามารถ เป็นแกนหมุนใช้สำหรับวัดชิ้นงานที่มีความชันสูง รูปที่ 3.11ข) แสดงแผนภาพของระบบควบคุมที่ใช้

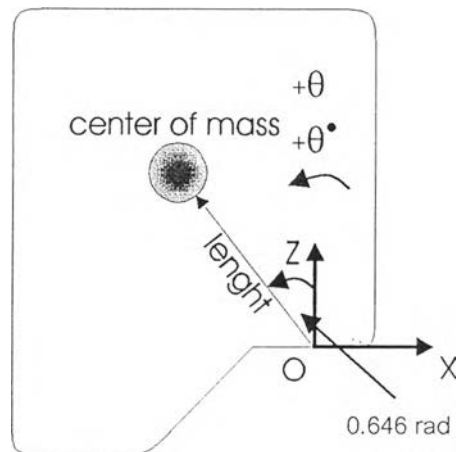


ก)



ข)

รูปที่ 3.11 แสดงระบบควบคุมของแกนที่ 4



รูปที่ 3.12 แสดงโครงร่างของอุปกรณ์วัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์โดยจุดกำเนิดของแกน X-Z แทนจุดหมุนของแกนที่ 4 พร้อมทั้งแสดงจุดศูนย์กลางมวลด้วย

พิจารณารูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นภาพวาดแสดงโครงร่างของจะเห็นว่าตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลไม่ได้อยู่ที่จุดหมุนดังนั้นจึงมีผลเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำกับจุดศูนย์กลางมวลทำให้เกิดโมเมนต์รอบจุด O มีขนาดเท่ากับ

$$T_l = mgl \cdot \sin(\alpha)$$

T_l คือโมเมนต์รอบจุดหมุน O

m คือมวลของอุปกรณ์วัดระยะทางด้วยแสง

g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/sec^2

l คือแขนของโมเมนต์มีขนาดเท่ากับระยะจากจุดหมุน O ไปยัง จุดศูนย์กลางมวล

α คือมุมที่แขนของโมเมนต์ที่ทำกับแกน z

โมเมนต์ดังกล่าวเป็นภาระของมอเตอร์ในการขับเคลื่อนมีค่าเพิ่มตามมุม α ที่เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นไม่ได้เป็นการเพิ่มแบบเชิงเส้นเนื่องจากเทอมของไซน์ที่ปรากฏเป็นเทอมของความไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinear term) แต่ขนาดของภาระดังกล่าวมีขนาดไม่มากเนื่องจาก

- 1) มวลของแกนที่ 4 มีค่าน้อย
- 2) แขนของโมเมนต์ (length) ที่ทำให้เกิดโมเมนต์มีค่าน้อย
- 3) เราจำกัดช่วงของการเคลื่อนที่ให้อยู่ในช่วง -20° ถึง 20° เนื่องจากป้องกันการชนของแกนที่ 4 กับชิ้นงานในบางกรณี ค่าของโมเมนต์ที่มากที่สุดที่จะเกิดขึ้นจึงมีค่าไม่มาก

แต่ระบบควบคุมที่ใช้ก็ได้คำนึงถึงส่วนของภาระนี้ด้วยโดยได้เพิ่มส่วนที่เป็น feedforward เพื่อลดทอนผลของภาระอันนี้ให้น้อยลงดังจะเห็นได้จากสมการของตัวควบคุมข้างล่าง ข้างล่างนี้เป็น การอธิบายส่วนประกอบต่างๆของรูปที่ 3.9 ดังนี้

ก. ตัวควบคุม PID (Proportional-Integral-Derivative Controller) ใช้สมการควบคุม

$$u = K_p e + K_D \frac{de}{dt} + K_I \int edt - \text{sgn}(\dot{\theta})mgl(\theta + 0.646) \quad (3.1)$$

$$\text{sgn}(\dot{\theta}) = + \text{ for CCW, } - \text{ for CW} \quad 90^\circ \geq \theta \geq -90^\circ$$

โดย	u	คือสัญญาณควบคุม
	e	คือความผิดพลาดระหว่าง θ_r กับ θ
	$\frac{de}{dt}$	คืออัตราความผิดพลาดเทียบกับเวลา
	$\int edt$	คือค่าความผิดพลาดสะสม (Cumulative error)
	K_p, K_D, K_I	คือค่าเกนของการควบคุม
	θ, θ^*	คือมุมและความเร็วเชิงมุมทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็น + ตามเข็มนาฬิกาเป็น -
	$-\text{sgn}(\dot{\theta}^*)mgl(\theta + 0.646)$	คือส่วนของ feedforward ที่ทำหน้าที่ชดเชยผลของโมเมนต์เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยสมมุติว่าค่ามุมที่เคลื่อนที่มีค่าน้อยจึง

ประมาณ $\sin(\theta) = \theta$ และที่ตำแหน่ง $\theta = 0$ แชนของโมเมนต์จะ
ทำมุม 0.646 เรเดียน กับแกน z

ข. ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) คือตัวขยายสัญญาณควบคุมที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.5.12

ค. Motor&Encoder ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.5.7-2.5.9