สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

ต้นแบบแขนกล

Prototype Robot Arm

ผู้วิจัย 1. รศ. ไสว พงศ์สวัสดิ์
2. อ. ธีรวัฒน์ เทพมณี
3. อ. กฤษณ์ เสมอพิทักษ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2551
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TJ
211
ส 996 ต

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105789
วัน,เดือน,ปี.....2 S.A. 2552

b.....1216995.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ โครงการ	(ภาษาไทย)	ต้นแบบแขนกล
	(ภาษาอังกฤษ)	Prototype Robot Arm
ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จาก		เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปี		2551
เป็นจำนวนเงิน		79,100 บาท
ระยะเวลาในการทำวิจัย		1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2550 ถึง กันยายน 2551
ผู้ดำเนินการวิจัย		รศ.ไสว พงศ์สวัสดิ์
		อ.ธีรวัฒน์ เทพมณี
		อ. กฤษณ์ เสมอพิทักษ์
		คณะวิศวกรรมศาสตร์ Tel. 02-7392407

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอเทคนิค การสร้างสัญญาณขับเคลื่อนแขนกล 4 แกนพร้อมกับคลิปหนีบให้สามารถเคลื่อนที่และทำงานได้ตามที่ต้องการ หลักการสร้างสัญญาณขับเคลื่อนจะใช้สัญญาณ PWM แบบ 5 ช่องสัญญาณที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรการทำงานได้พร้อมกันจากบอร์ด FPGA เพื่อควบคุมตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งในการหมุนดีซีเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละแกนและคลิปของตัวแขนกล โดยใช้ภาษา Verilog HDL ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการสั่งงาน การกำหนดความเร็ว ความเร่ง ตำแหน่งและรูปแบบการเคลื่อนที่ของแขนกลลงในบอร์ด FPGA โดยตรง จากการทดลองปรากฏว่าแขนกลสามารถเคลื่อนที่และทำงานได้ตามที่ต้องการ ด้วยการสั่งงานผ่านสวิตซ์ปุ่มกดและคอมพิวเตอร์

คำสำคัญ: แขนกล, PWM, FPGA, เซอร์โวมอเตอร์, คลิป

ABSTRACT

This research presents technique, generated and development of a Pulse Width Modulation (PWM) signal to control the 4-axis robot arm with grip. Principle of PWM with Five-channel PWM signal which is generated and development from Field Programmable Gate Arrays (FPGA) to control the independence position, speed, and acceleration of dc servo motor at each axis and its grip by using program written in Verilog Hardware Description Language (HDL) into FPGA board to control speed, acceleration, position and movement of robot arm. From experiment, we know that robot arm can move and work by using grip to pick up desired object.

Keyword: Robot Arm, PWM, FPGA, servo motor, grip.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย-ภาษาอังกฤษ I

สารบัญ II

สารบัญตาราง III

สารบัญรูป IV

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 ที่มาของงานวิจัย 1

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและการออกแบบ 3

2.1 การสร้างสัญญาณ PWM 3

2.2 เซอร์โวมอเตอร์ 4

2.3 การออกแบบระบบ 6

2.4 ผลการทดลอง 10

2.5 สรุปผลการทดลอง 12

บทที่ 3 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 13

3.1 สรุปผลการวิจัย 13

3.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน 13

3.3 แนวทางแก้ไข 13

บรรณานุกรม 15

ภาคผนวก 16

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงช่วงความกว้างพัลส์และระยะในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แต่ละตัว 6

2.2 แสดงคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงาน 9

2.3 แสดงค่าที่ใช้ในการสั่งงานของมอเตอร์แต่ละตัว 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วงจร PWM แบบอนาล็อก	3
2.2	การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยหลักการทางดิจิตอล	3
2.3	บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ PWM 1 ช่องสัญญาณด้วย FPGA	4
2.4	บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ PWM 2 ช่องสัญญาณด้วย FPGA	4
2.5	บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ PWM หลายช่องสัญญาณด้วย FPGA	4
2.6	เซอร์โวมอเตอร์รุ่นต่างๆ	5
2.7	สัญญาณพัลส์และช่วงความกว้างที่ใช้ในการขับเซอร์โวมอเตอร์	5
2.8	การติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์และการกำหนดช่วงความกว้างพัลส์ที่ใช้งาน	6
2.9	ระบบโดยรวมและการเชื่อมต่อ	7
2.10	โฟว์ชาร์ตของโปรแกรม	8
2.11	ปุ่มกด Keypad และ การทำงาน	9
2.12	โปรแกรมควบคุม	9
2.13	สัญญาณ PWM ที่ความกว้างพัลส์ 700 us	10
2.14	สัญญาณ PWM ที่ความกว้างพัลส์ 1.7 ms	10
2.15	ส่วนโปรแกรมควบคุม	11
2.16 - 2.21	แสดงการหยิบชิ้นงาน	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางด้านระบบอัตโนมัติ ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราอย่างมากไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ภายในบ้าน หรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว ที่มีฟังก์ชั่นการสั่งงานและโปรแกรมการทำงานแบบต่างๆ หุ่นยนต์สำหรับดูดฝุ่น หรือทำงานในร้านอาหาร หรืองานในส่วนกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม ซึ่งนับวันก็ยิ่งมีการพัฒนาอุปกรณ์เหล่านี้ ให้สะดวกต่อการใช้งาน ด้วยการเพิ่มฟังก์ชั่นต่าง ๆเข้าไป ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีการทำงานที่ซับซ้อน มีสมองกลสามารถคิดตัดสินใจด้วยตัวเอง โทรศัพท์ที่สามารถส่งข้อความหรือแม้แต่ถ่ายรูปภาพได้ ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอัตโนมัติเหล่านี้ ล้วนแต่ต้องอาศัยบุคลากรผู้ซึ่งมีความสามารถที่จะคิดค้นและผลิตนวัตกรรมขึ้นมา ซึ่งในขณะที่ประเทศไทยยังขาดแคลนทรัพยากรบุคคลที่จะคอยผลักดันให้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์พัฒนาไปได้อย่างรวดเร็ว และมั่นคงให้ทัดเทียมกับนานาประเทศ

ด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการแข่งขันรุนแรงขึ้นเป็นลำดับ ส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศที่มีราคาแพงและมีค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตจึงสูงตามไปด้วย การนำแขนกลเข้ามาช่วยในงานอุตสาหกรรมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมภายในประเทศ และการขยายการศึกษาและการค้นคว้าเกี่ยวกับแขนกล ซึ่งแขนกลที่ได้มีการออกแบบสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งหมด 4 แกนและชุดมือจับวัตถุ ลักษณะของแขนกลจะประกอบด้วยดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (DC Servo Motor) 5 ตัว ซึ่งข้อดีของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ คือสามารถควบคุมตำแหน่งทิศทางที่สั่งออกเป็นสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) และออกแบบจัดสร้างสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานการหยิบจับชิ้นงานแทนผู้ปฏิบัติ หรือพัฒนาแขนกลให้สามารถทำงานด้านอื่น ๆ ตามที่ต้องการได้

1.2 ที่มาของงานวิจัย

การประยุกต์ใช้หลักการดิจิตอลมาสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ด้วยบอร์ด FPGA (Field Programmable Gate Arrays) ทำให้สามารถสร้างสัญญาณ PWM ได้หลายช่องสัญญาณพร้อมกันและสามารถปรับช่วงความกว้างพัลส์ได้อย่างอิสระต่อกัน ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณดังกล่าวไปขับดีซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ติดตั้งในแกนหมุนต่างๆ ของแขนกล ก็สามารถกำหนดตำแหน่งของแขนกลได้ตามช่วงความกว้างพัลส์หรือดิวตี้ไซเคิลที่กำหนด ความเร็วในการปรับความกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์จะมีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนกล การสั่งงานจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6 ที่พัฒนา เพื่อเป็นการเชื่อมต่อกับบอร์ด FPGA ในการควบคุมแขนกลไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างกลไกการทำงานของแขนกลอย่างง่าย
2. วิจัยและสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำมาขับดีซีเซอร์โวมอเตอร์แบบดิจิตอล
3. สร้างโปรแกรมแสดงผลการอินเตอร์เฟสระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ด FPGA เพื่อการสั่งงานแขนกลผ่านคอมพิวเตอร์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบระบบทางกล สำหรับแขนกล
2. สร้างสัญญาณขับเคลื่อนแบบหลายช่องสัญญาณพร้อมกัน
3. สร้างโปรแกรมเพื่อสั่งงานแขนกล ตาม เงื่อนไขต่างๆ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ออกแบบชิ้นส่วนทางกล
2. เลือกชนิดและพิกัดของมอเตอร์ ที่จะใช้งาน
3. สร้างสัญญาณ PWM แบบหลายช่องสัญญาณ ด้วย FPGA
4. เชื่อมต่อระบบและทดสอบสั่งงานแบบ Manual
5. ทำโปรแกรมเชื่อมต่อ ระหว่าง FPGA กับ คอมพิวเตอร์
6. สร้างหน้าจอแสดงผลการทำงานและทดสอบสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

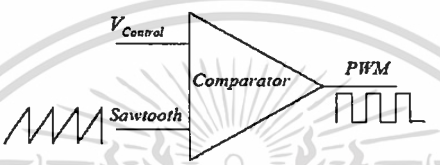
ได้แขนกลต้นแบบ พร้อมชุดควบคุม ที่สามารถเคลื่อนที่ครั้งละ 1 รอยต่อ หรือพร้อมกันทุกรอยต่อได้ ด้วยการสั่งงานผ่าน Keypad หรือ คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและการออกแบบระบบ

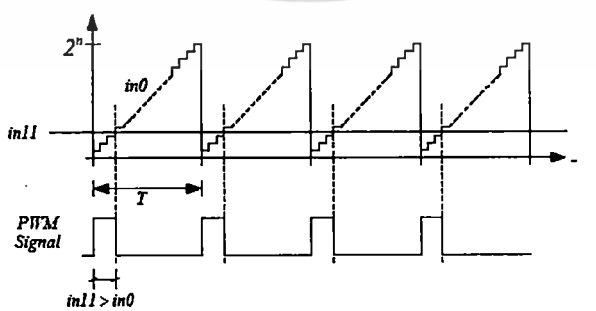
2.1 การสร้างสัญญาณ PWM

การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรอนาล็อกจะใช้การสร้างสัญญาณฟันเลื่อยหรือสัญญาณแบบขั้นบันไดมาเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงที่เป็นระดับสัญญาณกระแสตรงตามรูปแบบ ของสัญญาณ PWM ที่ต้องการ การสร้างสัญญาณ PWM แบบอนาล็อกแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



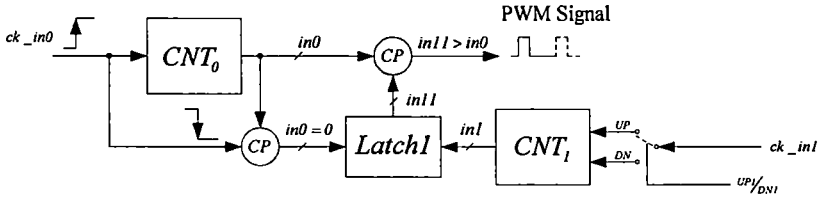
รูปที่ 2.1 วงจร PWM แบบอนาล็อก

สัญญาณ PWM ที่ได้จาก สัญญาณ Sawtooth กับ Vcontrol ที่เปรียบเทียบกันผลของการเปรียบเทียบ เมื่อระดับของสัญญาณ Vcontrol สูงกว่าระดับของสัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็น High แต่เมื่อระดับของสัญญาณ Vcontrol ต่ำกว่าระดับของสัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็น Low การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรดิจิตอลจะใช้วงจรนับเป็นตัวนับสัญญาณนาฬิกา in0 ที่ เข้ามาซึ่งค่าที่นับได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นรูปขั้นบันไดตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป และนำสัญญาณขั้นบันไดดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณอ้างอิง in11 ที่กำหนด ผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณ PWM เป็น ระดับลอจิก High และ Low ตามรูปที่ 2.2



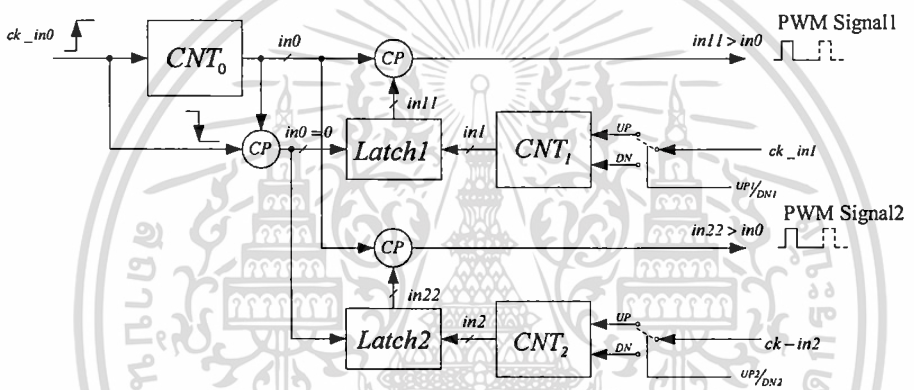
รูปที่ 2.2 การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยหลักการทางดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

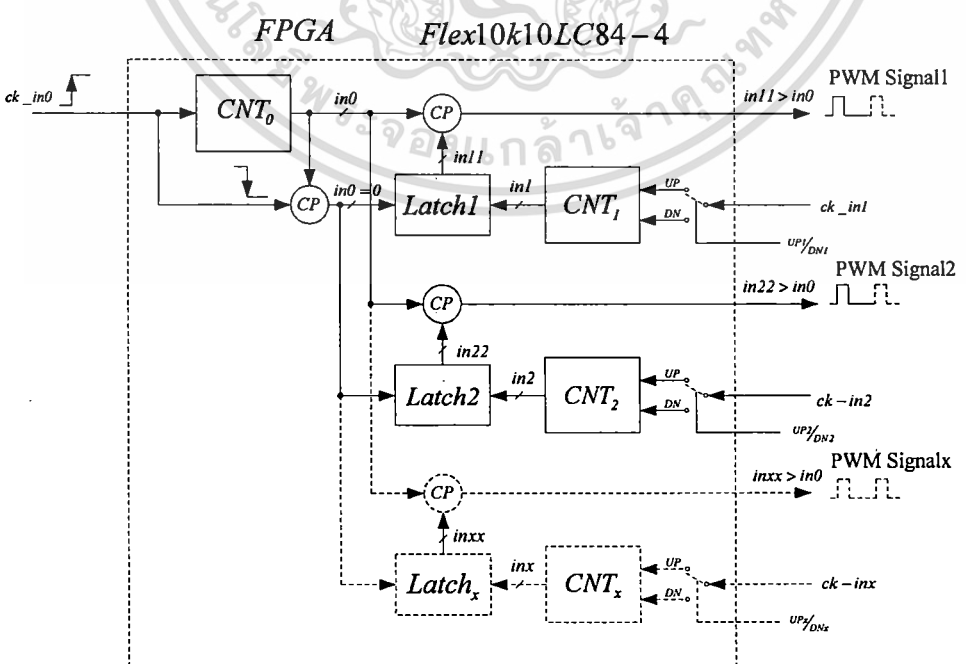


รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ PWM 1 ช่องสัญญาณด้วย FPGA

จากรูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ PWM 1 ช่องสัญญาณด้วย FPGA จะทำให้ได้สัญญาณ PWM 1 สัญญาณ สำหรับการสร้าง สัญญาณ PWM 2 ช่องสัญญาณ หรือหลายช่องสัญญาณ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ PWM 2 ช่องสัญญาณด้วย FPGA

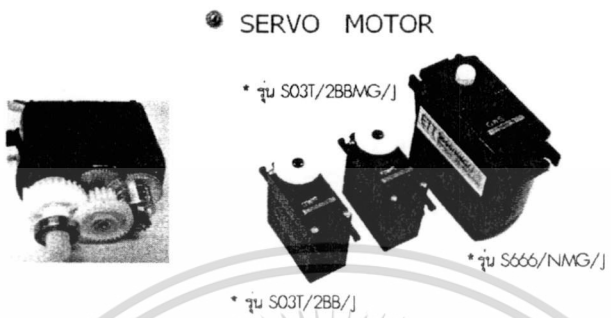


รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณ PWM หลายช่องสัญญาณด้วย FPGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

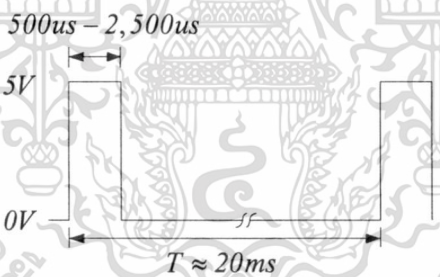
2.2 เซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ สามารถทำได้โดย การป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงความกว้างแตกต่างกัน เพื่อกำหนดทิศทางและตำแหน่งในการหมุน ส่วนความเร็วในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะแปรผันตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของช่วงความกว้างพัลส์



รูปที่ 2.6 เซอร์โวมอเตอร์รุ่นต่างๆ

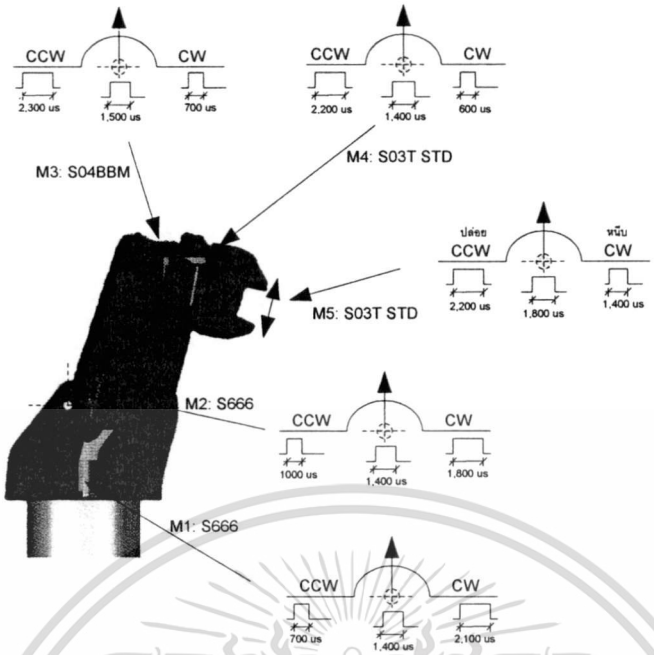
จากรูปเป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยโดยมีช่วงความกว้างพัลส์ สำหรับการหมุนในช่วงมุม 180 องศาที่ 500us ถึง 2500 us ซึ่งลักษณะของสัญญาณพัลส์และช่วงความกว้างพัลส์แสดงดังรูป



รูปที่ 2.7 สัญญาณพัลส์และช่วงความกว้างที่ใช้ในการขับเซอร์โวมอเตอร์

แขนกลที่ออกแบบไว้ตัวฐานจะทำด้วยเหล็กเพื่อความคงทนแข็งแรง ส่วนแขนจะทำด้วยอลูมิเนียม และปลายแขนจะติดตั้งคลิปสำหรับการจับชิ้นงาน เซอร์โวมอเตอร์จะติดตั้งตามแกนหมุนและคลิป โดยมีการกำหนดพิกัดในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนตามรูปที่ 2.8 และตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์และการกำหนดช่วงความกว้างพัลส์ที่ใช้งาน

จากรูปช่วงความกว้างพัลส์และระยะในการเคลื่อนที่ แสดงได้ ดังตาราง

มอเตอร์	รุ่นมอเตอร์	ช่วงความกว้างพัลส์ที่ใช้	ระยะในการเคลื่อนที่
M1	S666	700 us-2,100 us	126 องศา
M2	S666	1,000 us-1,800 us	72 องศา
M3	S04BBM	700 us-2,300 us	144 องศา
M4	S03TSTD	600 us-2,200 us	144 องศา
M5	S03TSTD	1,400 us-2,200 us	3 เซนติเมตร

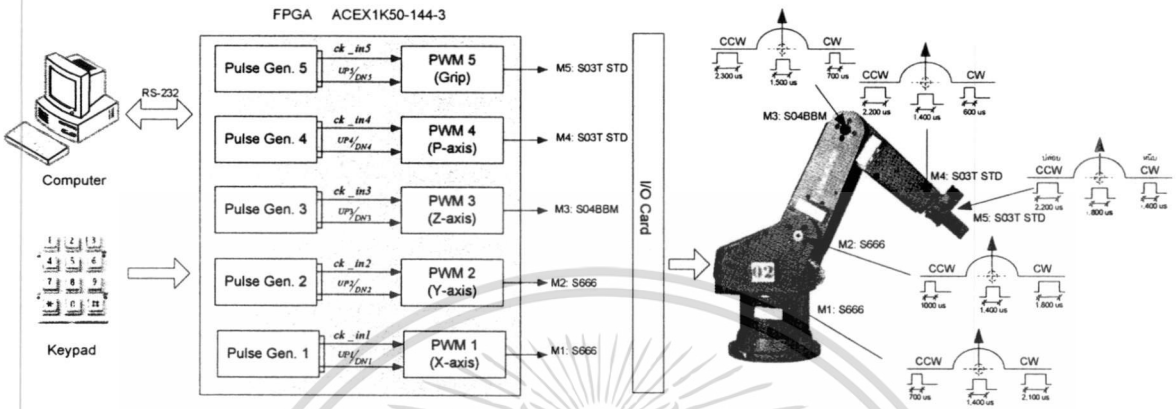
ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงความกว้างพัลส์และระยะในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แต่ละตัว

2.3 การออกแบบระบบ

สัญญาณ PWM ที่ส่งไปขับมอเตอร์ในแต่ละแกน จะถูกกำหนดค่าดิวตี้ไซเคิล ตามขีดกำจัดในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนจากบอร์ด FPGA ซึ่งตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของแขนกลในแต่ละแกนหมุนจะขึ้น อยู่กับช่วงความกว้างพัลส์ที่กำหนด อัตราในการเปลี่ยนแปลงช่วงความกว้างพัลส์ จะกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของแขนกล การกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงค่าจะใช้ keypad หรือการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ เพื่อป้อนข้อมูลให้กับ FPGA ทำการปรับเปลี่ยนช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

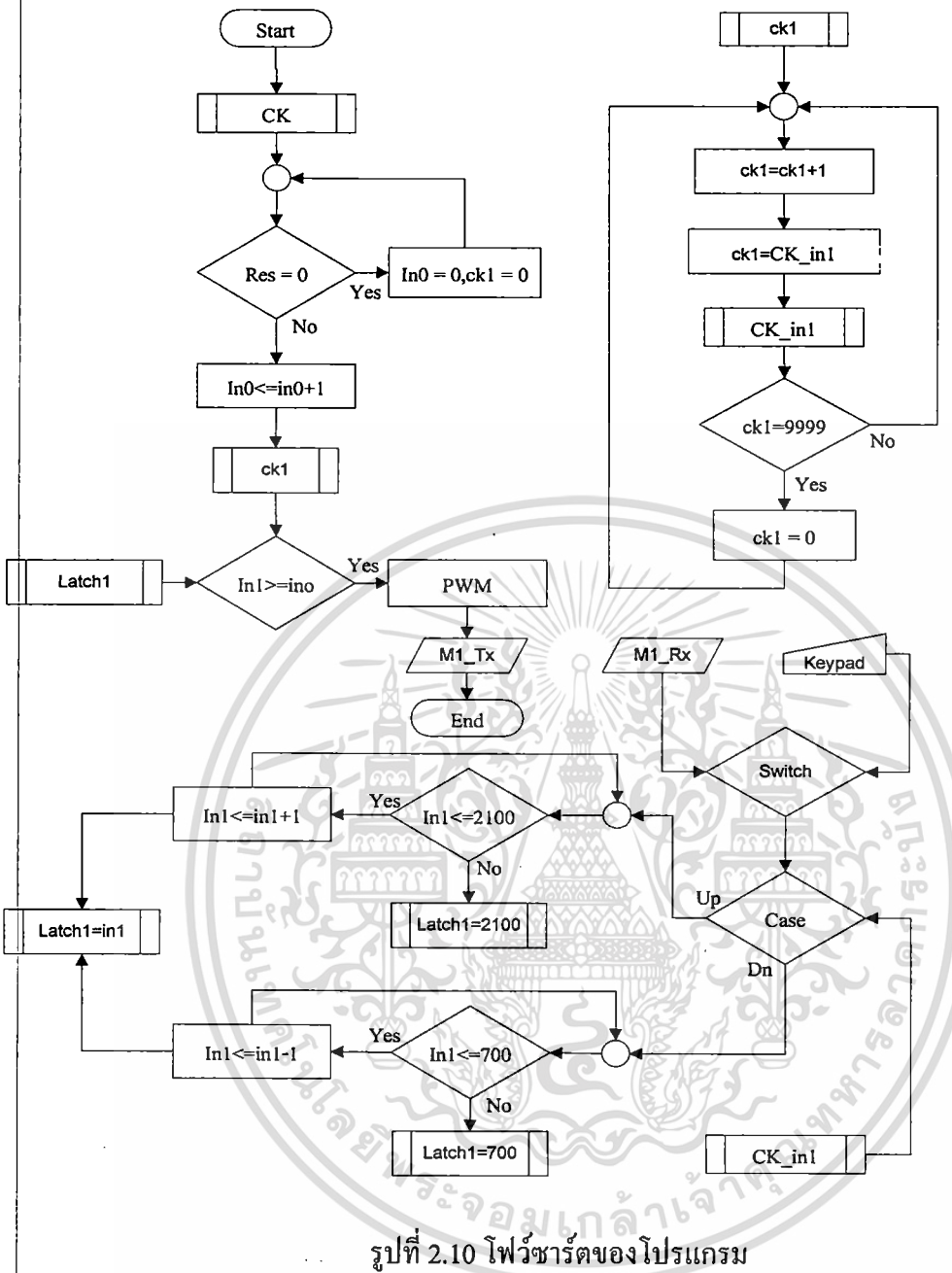
ความกว้างพัลส์ โดยที่ ค่าความกว้างพัลส์จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของแขนกล และอัตราหรือช่วงเวลาในการเปลี่ยนความกว้างพัลส์จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนและกริป ระบบโดยรวมและการเชื่อมต่อ สามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.9 ระบบโดยรวมและการเชื่อมต่อ

จากรูป จะมีการควบคุมอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยจะส่งค่าช่วงความกว้างพัลส์ ในแต่ละแกนให้กับ FPGA และส่งค่าความถี่ของพัลส์เพื่อควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขน การตั้งค่าและการเปลี่ยนแปลงค่าด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิค ส่วนที่สองใช้ปุ่มกด (Keypad) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่แขนกลในแต่ละแกน โดยจะเคลื่อนตามการกดปุ่มค้างไว้และจะหยุดเมื่อปล่อยปุ่มกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



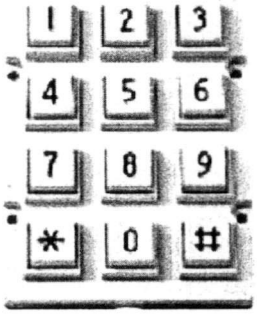
รูปที่ 2.10 โฟว์ชาร์ตของโปรแกรม

จาก โฟว์ชาร์ตมีการควบคุมด้วยปุ่มกด และคอมพิวเตอร์ โดยค่า M1_Tx เป็นค่าช่วงความกว้างพัลส์ที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ และค่า M1_Rx เป็นค่าช่วงความกว้างพัลส์ ที่รับมาจากคอมพิวเตอร์ จะนำมาเปรียบเทียบกับค่า Latch1

- ถ้า M1_Rx มีค่าสูงกว่า Latch1 จะ Set ค่า Case = Up และ in1=in1+1 จนกระทั่ง M1_Rx = Latch1
- ถ้า M1_Rx มีค่าน้อยกว่า Latch1 จะ Set ค่า Case = Dn และ in1=in1-1 จนกระทั่ง M1_Rx = Latch1

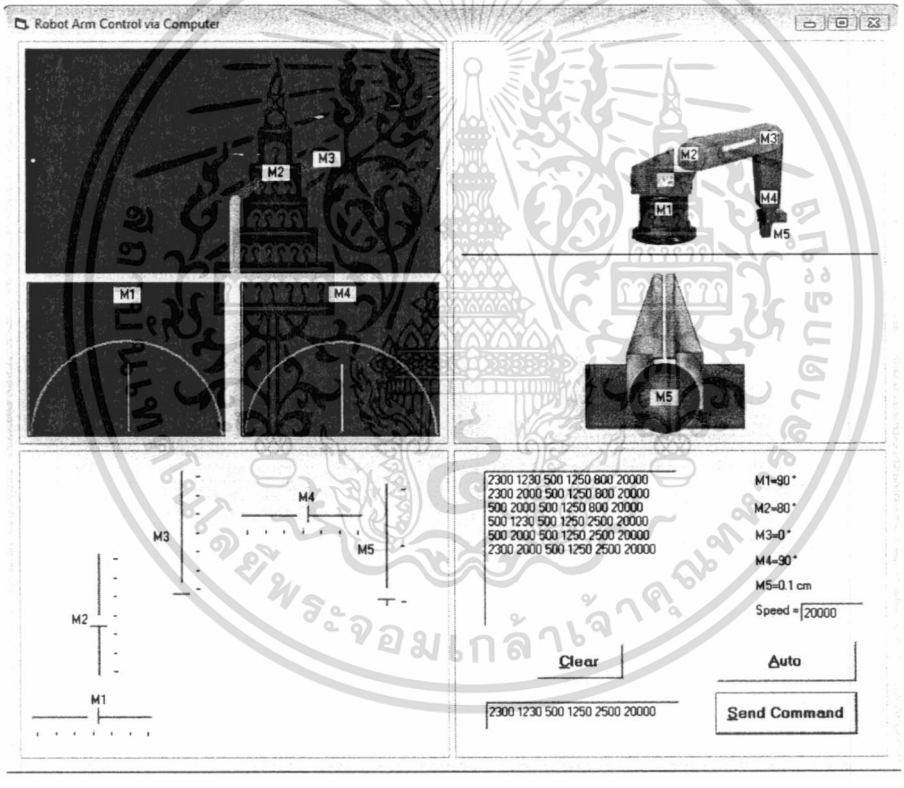
ดังนั้นผลของการเคลื่อนที่จะแปรตาม M1_Rx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปุ่มกดที่ 1 M1 หมุนซ้าย	ปุ่มกดที่ 2 M1 หมุนขวา	ปุ่มกดที่ 3 M5 ปล่อย
ปุ่มกดที่ 4 M2 หมุนซ้าย	ปุ่มกดที่ 5 M2 หมุนขวา	ปุ่มกดที่ 6 M5 หนีบ
ปุ่มกดที่ 7 M3 หมุนซ้าย	ปุ่มกดที่ 8 M3 หมุนขวา	
ปุ่มกดที่ * M4 หมุนซ้าย	ปุ่มกดที่ 0 M4 หมุนขวา	

รูปที่ 2.11 ปุ่มกด Keypad และ การทำงาน



รูปที่ 2.12 โปรแกรมควบคุม

Send Command	ส่งชุดคำสั่งข้อมูลไปยัง FPGA เพื่อควบคุมแขนกล
Auto	ทำคำสั่งที่มีอยู่ใน List เดิมอัตโนมัติทีละบันทัด
Clear	ลบคำสั้งที่อยู่ใน List รายการ

ตารางที่ 2.2 แสดงคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

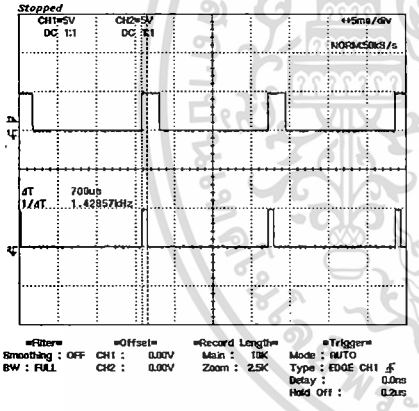
จากรูปเมื่อปรับค่าสไลด์ของ Motor ในแต่ละแนวแกน จะบอกขนาดของมุม วาดรูปในแต่ละแนวแกนและสร้าง Code ของคำสั่งเมื่อกดปุ่ม Send Command ทำให้แขนกลเคลื่อนที่ตามรูป โดยสามารถป้อน หรือเลือกคำสั่งที่เคยเรียกใช้ได้

2.4 ผลการทดลอง

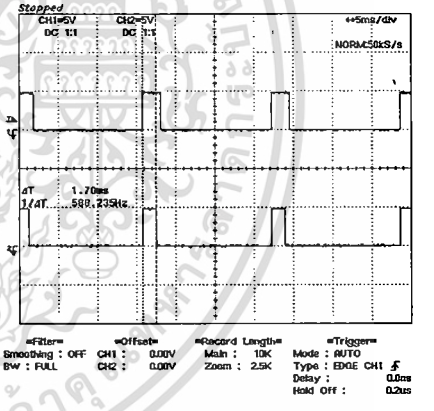
ในการทดลองจะวัดรูปสัญญาณ PWM ที่ได้จาก FPGA ที่ช่วงความกว้างพัลส์ต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นว่า การปรับค่าความกว้างพัลส์สามารถปรับเพิ่มขึ้นและลดลงได้ การปรับสัญญาณในช่องต่างๆ สามารถทำได้อิสระต่อกัน ส่วนการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ ของแขนกลจะสั่งผ่านคอมพิวเตอร์ให้แขนกลสามารถเคลื่อนที่ และหยิบชิ้นงานตามตำแหน่งต่างๆ

ผลการทดลองการสร้างสัญญาณ PWM

การทดลองป้อนสัญญาณเข้า FPGA ที่มีโครงสร้างตามรูปที่ 2.4 ซึ่งให้เอาต์พุตสัญญาณ PWM 2 ช่องสัญญาณ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14



รูปที่ 2.13 สัญญาณ PWM ที่ความกว้างพัลส์700 us



รูปที่ 2.14 สัญญาณ PWM ที่ความกว้างพัลส์ 1.7 ms

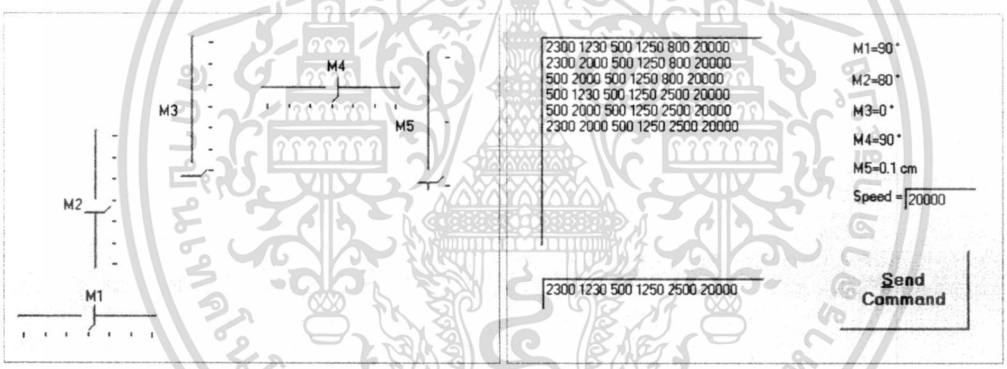
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยการป้อนคำสั่งผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม

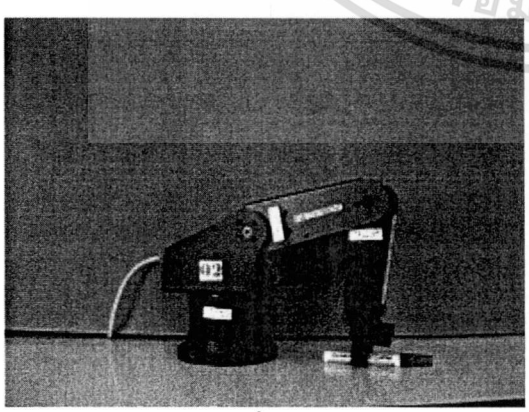
การใช้งานโดยการปรับค่าแถบสไลด์ ในแต่ละแนวแกนได้อย่างอิสระ ตามตาราง

M1(us)	M2(us)	M3(us)	M4(us)	M5(us)	แสดงดังรูป
2300	1230	500	1250	800	รูปที่ 2.16
2300	2000	500	1250	800	รูปที่ 2.17
500	2000	500	1250	800	รูปที่ 2.18
500	1230	500	1250	2500	รูปที่ 2.19
500	2000	500	1250	2500	รูปที่ 2.20
2300	2000	500	1250	2500	รูปที่ 2.21

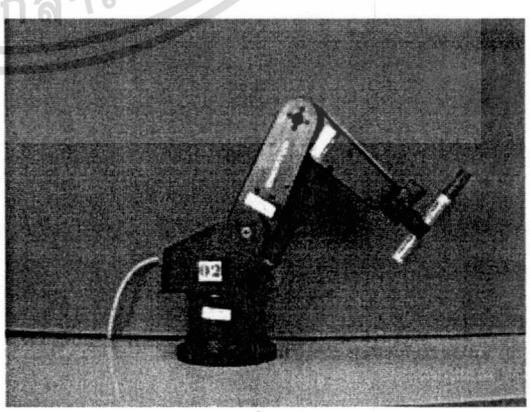
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าที่ใช้ในการสั่งงานของมอเตอร์แต่ละตัว



รูปที่ 2.15 ส่วนโปรแกรมควบคุม

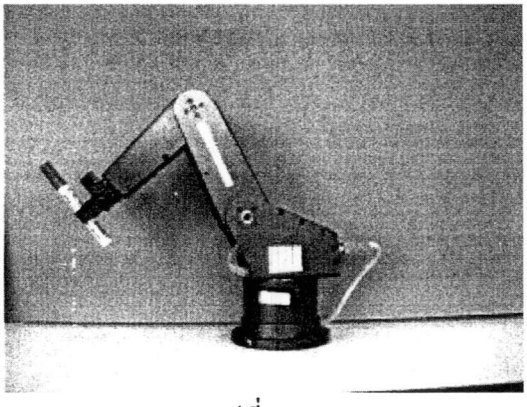


รูปที่ 2.16

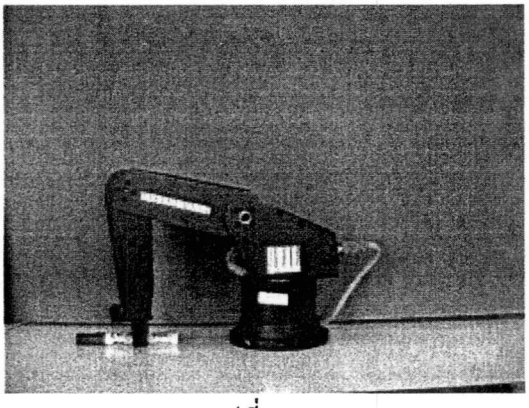


รูปที่ 2.17

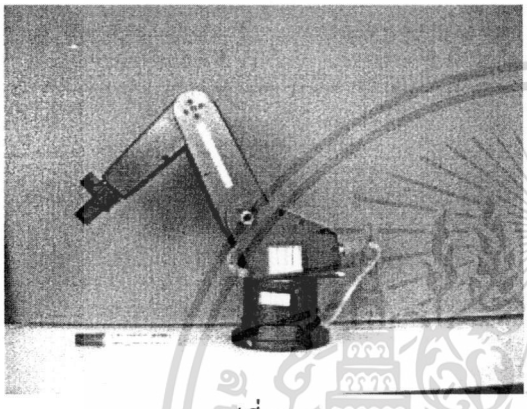
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



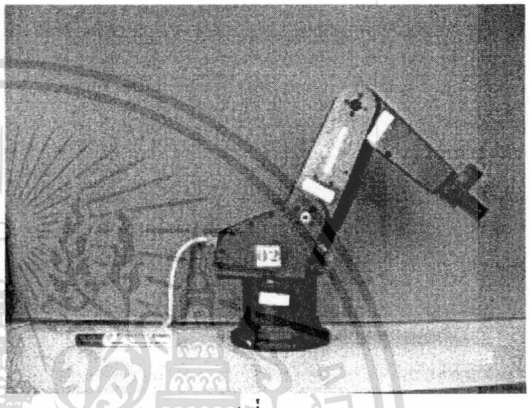
รูปที่ 2.18



รูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20



รูปที่ 2.21

รูปที่ 2.16 - 2.21 แสดงการหยิบชิ้นงาน

2.5 สรุปผล

การออกแบบแขนกลและตัวควบคุมการเคลื่อนที่ ด้วยโปรแกรม Visual Basic และใช้ FPGA เป็นตัวสร้างสัญญาณขับเคลื่อนแบบหลายช่องสัญญาณพร้อมกัน สามารถสั่งงานและควบคุมการทำงานได้เป็น อย่างเที่ยงตรงแม่นยำตามที่กำหนด การกำหนดตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง และรูปแบบในการเคลื่อนที่ ก็สามารถทำได้ง่ายโดยผ่านคอมพิวเตอร์ ด้วยการสั่งงานครั้งละ คำสั่ง หรือเป็นชุดคำสั่งโดยการเขียนเก็บไว้เป็น List ไฟล์ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือสร้างเป็นแขนกลสำหรับงานทางด้านอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

3.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบสร้างสัญญาณ PWM ในการขับและควบคุมการเคลื่อนที่ดีซีเซอร์โวมอเตอร์หลายแกนในแขนกลด้วย FPGA ที่เป็นตัวสร้างสัญญาณขับเคลื่อนแบบหลายช่องสัญญาณพร้อมกัน สามารถที่จะสั่งงานและควบคุม การทำงานได้อย่างเที่ยงตรงแม่นยำตามที่กำหนดตำแหน่ง ความเร็ว และรูปแบบของการเคลื่อนที่สามารถทำได้โดยการใช้ภาษา Verilog HDL ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานลงในบอร์ด FPGA ซึ่งในการทดลองนี้นั้นจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6 ติดต่อกับบอร์ด FPGA เพื่อควบคุม การเคลื่อนที่ของ แขนกลให้เคลื่อนที่หยิบจับชิ้นงานตามที่ต้องการได้

งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในระดับที่น่าพอใจ โดยเป็นไปตามจุดประสงค์และเป้าหมายของโครงการที่ได้วางแผนไว้ในตอนต้นของโครงการ จากการออกแบบชิ้นส่วนแขนกล ออกแบบการทำงานของแขนกลที่ใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์รวมถึงการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมให้แขนกลเคลื่อนที่ และส่วนของอินเตอร์เฟสบนคอมพิวเตอร์ที่ได้ใช้ Visual Basic 6 ในการออกแบบเพื่อให้แขนกลสามารถเคลื่อนที่ได้ ตามคำสั่ง ที่สามารถทำได้โดยเชื่อมต่อผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยการสั่งงานครั้งละคำสั่งหรือการสั่งงานเป็นชุดคำสั่งโดยการเขียนเก็บไว้เป็น List ไฟล์ สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้หรือสร้างเป็นแขนกล สำหรับงานทางด้านอุตสาหกรรมต่อไป

3.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

การใช้งานของแขนกลที่ออกแบบมีความละเอียดที่ยังไม่ดีพอ ซึ่งได้ออกแบบโปรแกรมการรับส่งข้อมูลระหว่าง FPGA กับ คอมพิวเตอร์ใช้การรับส่งข้อมูลอนุกรมขนาด 8 บิต และกำหนดความละเอียดในการเคลื่อนที่ของแขนกลไว้ที่ 9 องศา เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรม และทำให้ง่ายในการทดลอง ดังนั้น แขนกลจึงไม่สามารถใช้งานได้ในความละเอียดทุกย่านองศา และแขนกลไม่สามารถหยิบชิ้นงานที่มีน้ำหนักมาก ๆ ได้ เนื่องจากดีซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ไม่สามารถรับโหลดที่สูงมากได้

3.3 แนวทางการแก้ไข

ในการปรับปรุงความละเอียด และความแม่นยำของแขนกล ควรจะเพิ่มบิตในการรับส่งข้อมูลเป็นขนาด 16 บิต หรือ 32 บิต เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้รหัส ASCII ได้มากขึ้น หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบโปรแกรมที่มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ของแขนกลได้ และแนวทางแก้ไขการรับโหลดของดีซีเซอร์โวมอเตอร์นั้น ควรเลือกใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ที่มีค่าแรงบิดสูง ๆ (Torque) และมีขนาดที่เหมาะสมกับแขนกล เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนดีซีเซอร์โวมอเตอร์ตัวเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Sawai Pongswatd, Ruedee Masuchun, Krit Smerpitak and Prapart Ukakimapurn **"New Technique to Generate the PWM Signal"** ICCAS2004 International Conference on Control, Automatic and Systems, Shangari-La Hotel, Bangkok, Thailand, August 25-27, 2004.

[2] Muhammad H. Rashid, **Power Electronics**, Prentice Hall International, Inc., 1988.

[3] ไสว พงศ์สวัสดิ์. **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง.** ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] Astron Logic Research & Development Co. Ltd. (2549). **Power ACEX1K User's Manual.**

[5] ธีรยศ เวียงทอง. (2548). **เรียนรู้การออกแบบระบบดิจิตอลด้วยภาษา Verilog เบื้องต้น.** ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[6] วัชรินทร์ เคารพ. (2546). **คู่มือการใช้งาน Servo Motor พร้อมตัวอย่างโปรแกรม.** บริษัท อีทีที จำกัด. กรุงเทพฯ. (www.ett.co.th).

[7] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร. (2548). **คู่มือมือเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.** สำนักพิมพ์ DEV BOOK (พิมพ์ครั้งที่ 3). นนทบุรี.

[8] อภิชาติ ภู่พรับ. (2546). **การควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic.** สำนักพิมพ์ DEV BOOK (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

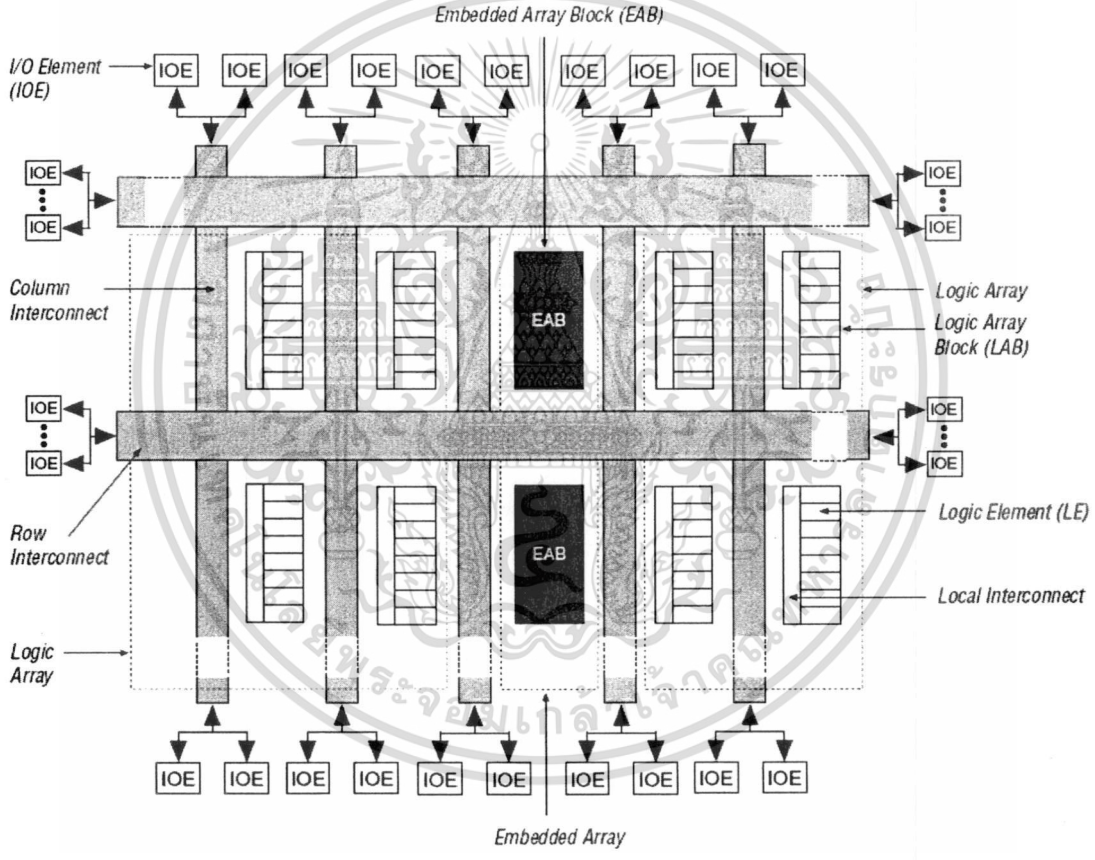
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ก.1 สถาปัตยกรรมภายในของ FPGA (Field Programmable Gate Arrays)

ในการทดลองนี้ได้ใช้ FPGA เบอร์ EP1k50TC144-3 ในตระกูล Power ACEX 1k-50

ก. 1.1 รายละเอียดของ POWER ACEX1K SERIES

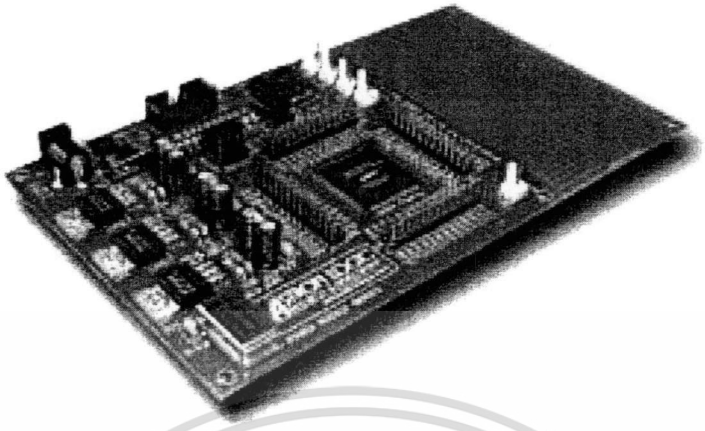
FPGA ตระกูล ACEX1K ของบริษัท ALTERA เป็น FPGA ที่มีโครงสร้างภายในเป็นแบบ SRAM – Based FPGA ใช้เทคโนโลยีในการโปรแกรมเหมือนกับหน่วยความจำแบบ SRAM (Static RAM) ทำให้การโปรแกรมสามารถทำซ้ำได้โดยไม่จำกัดจำนวนครั้ง และใช้เวลาในการโปรแกรมชิป FPGA น้อยมาก (ระดับ n Sec) การโปรแกรมทำได้ง่ายเช่นเดียวกับการเขียน SRAM ทั่วไป แต่มีข้อเสียคือ มันต้องการไฟเลี้ยงในการเก็บวงจรที่ได้ออกแบบไว้



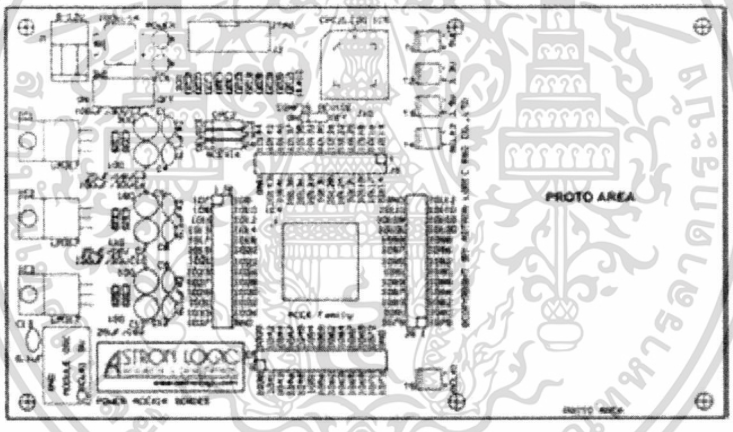
รูปที่ ก.1 โครงสร้างภายในของ FPGA ตระกูล ACEX1K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
105789

โครงสร้างของ POWER ACEX1K SERIES



รูปที่ ก.2 POWER ACEX1K SERIES



รูปที่ ก.3 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ บน POWER ACEX1K SERIES

ตารางที่ 1 คุณลักษณะต่างๆของชิป FPGA ที่ใช้กับบอร์ดในกลุ่ม POWER ACEX1K SERIES

Feature	EP1K10	EP1K30	EP1K50	EP1K100
Typical gates	10,000	30,000	50,000	100,000
Maximum System gates	56,000	119,000	199,000	257,000
Logic element (LEs)	576	1,728	2,880	4,992
EABs	3	6	10	12
Total RAM bits	12,288	24,576	40,960	49,152
Maximum user I/O pins	136	171	249	333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.2 JTAG CONNECTOR

JTAG Connector เป็น Header ตัวผู้แบบ 5 X 2 ขา ใช้สำหรับต่อกับสาย Byte Blaster MV เพื่อสำหรับดาวน์โหลด ข้อมูลทางลอจิกของวงจรที่ได้ออกแบบไว้จากคอมพิวเตอร์ลงสู่ชิป FPGA

ในการโปรแกรมจะมี Jumper ให้เลือกว่าจะโปรแกรมลงในชิป FPGA หรือโปรแกรมลง Configuration Device

ในกรณีที่ต้องการโปรแกรมลงชิป FPGA ACEX 1K สามารถดูวิธีการ Complier และโปรแกรมลง Configuration Device ด้วยโปรแกรม MAX+PLUS II ให้ดูวิธีการใช้ MAX+PLUS II

ก.1.3 Configuration Device Socket

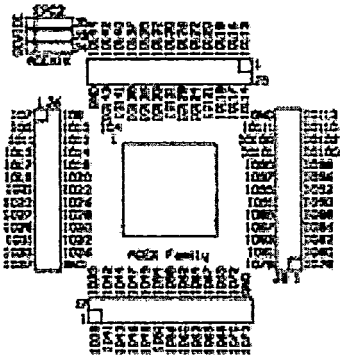
Socket แบบ PLCC 20 ขา สำหรับใส่ Configuration Device ซึ่งเป็นอุปกรณ์แบบ Flash Memory ใช้สำหรับเก็บข้อมูลวงจรที่เราได้ออกแบบไว้ เมื่อเริ่มต้นจ่ายไฟให้แก่บอร์ด POWER ACEX 1K SERIES วงจรที่อยู่ภายใน Configuration Device จะถูกโหลดลงไปเก็บไว้ในชิป FPGA โดยอัตโนมัติ Configuration Device ที่ใช้ร่วมกับ FPGA แบบ SRAM-BASE FPGA สำหรับเบอร์ของ Configuration Device ที่ใช้กับบอร์ด POWER ACEX 1K SERIES จะเป็นเบอร์ EPC2LI20 หรือ EPC2LC20 มีขนาด 1,695,680 X 1 Bit สามารถใช้กับแรงดัน 5.0 V หรือ 3.3 V ก็ได้ ในกรณีที่ไม่ต้องการให้ FPGA โหลดวงจรจาก Configuration Device ให้เลือก JUMPER J10 มาที่ตำแหน่ง OFF ลักษณะ และตำแหน่งขาของ EPC2LI20 และ EPC2LC20 แสดงดังรูปที่ ก.4

รูปที่ ก.4 ตำแหน่งขาของ EPC2LI20 และ EPC2LC20

ก.1.4 พอร์ตขยายช่องสัญญาณแบบ Header 13 X 2 ขา จำนวน 4 ตัว

บอร์ด POWER ACEX 1K SERIES แต่ละรุ่นจะมีพอร์ตขยายช่องสัญญาณ J6, J7, J8 และ J9 ให้ใช้งานได้อย่างอิสระ 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตจะมีขนาด 13 X 2 ขา ต่อกับขา I/O ของ FPGA โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 ตำแหน่งการจัดวาง J6 – J9

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของ J6 กับตำแหน่ง I/O ของ ACEX1K FPGA

J6 Pin Number	ACEX1K Pin Number	J6 Pin Number	ACEX1K Pin Number
1	7 (I/O)	2	8 (I/O)
3	9 (I/O)	4	10 (I/O)
5	11 (I/O)	6	12 (I/O)
7	13 (I/O)	8	14 (I/O)
9	17 (I/O)	10	18 (I/O)
11	19 (I/O)	12	20 (I/O)
13	21 (I/O)	14	22 (I/O)
15	23 (I/O)	16	26 (I/O)
17	27 (I/O)	18	28 (I/O)
19	29 (I/O)	20	30 (I/O)
21	31 (I/O)	22	32 (I/O)
23	33 (I/O)	24	36 (I/O)
25	37 (I/O)	26	GND

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของ J7 กับตำแหน่ง I/O ของ ACEX1K FPGA

J7 Pin Number	ACEX1K Pin Number	J7 Pin Number	ACEX1K Pin Number
1	38 (I/O)	2	39 (I/O)
3	41 (I/O)	4	42 (I/O)
5	43 (I/O)	6	44 (I/O)
7	46 (I/O)	8	47 (I/O)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9	48 (I/O)	10	49 (I/O)
11	51 (I/O)	12	54 (Ded. Input)
13	56 (Ded. Input)	14	59 (I/O)
15	60 (I/O)	16	62 (I/O)
17	63 (I/O)	18	64 (I/O)
19	65 (I/O)	20	67 (I/O)
21	68 (I/O)	22	69 (I/O)
23	77 (I/O)	24	72 (I/O)
25	73 (I/O)	26	GND

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของ J8 กับตำแหน่ง I/O ของ ACEX1K FPGA

J8 Pin Number	ACEX1K Pin Number	J8 Pin Number	ACEX1K Pin Number
1	78 (I/O)	2	79 (I/O)
3	80 (I/O)	4	81 (I/O)
5	82 (I/O)	6	83 (I/O)
7	86 (I/O)	8	87 (I/O)
9	88 (I/O)	10	89 (I/O)
11	90 (I/O)	12	91 (I/O)
13	92 (I/O)	14	95 (I/O)
15	96 (I/O)	16	97 (I/O)
17	98 (I/O)	18	99 (I/O)
19	100 (I/O)	20	101 (I/O)
21	102 (I/O)	22	109 (I/O)
23	110 (I/O)	24	111 (I/O)
25	112 (I/O)	26	GND

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของ J9 กับตำแหน่ง I/O ของ ACEX1K FPGA

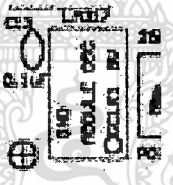
J9 Pin Number	ACEX1K Pin Number	J9 Pin Number	ACEX1K Pin Number
1	113 (I/O)	2	114 (I/O)
3	116 (I/O)	4	117 (I/O)
5	118 (I/O)	6	119 (I/O)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	120 (I/O)	8	121 (I/O)
9	122 (I/O)	10	124 (Ded. Input)
11	126 (Ded. Input)	12	128 (I/O)
13	130 (I/O)	14	131 (I/O)
15	132 (I/O)	16	133 (I/O)
17	135 (I/O)	18	136 (I/O)
19	137 (I/O)	20	138 (I/O)
21	140 (I/O)	22	141 (I/O)
23	142 (I/O)	24	143 (I/O)
25	144 (I/O)	26	GND

ก. 1.5 Module Oscillator

บอร์ด POWER ACEX 1K SERIES มีโมดูลออสซิเลเตอร์ความถี่ 1 MHz (สามารถถอดเปลี่ยนเป็นค่าความถี่ที่ต้องการได้) เป็นแหล่งกำเนิดความถี่สำหรับใช้ในการออกแบบวงจรที่ต้องการอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกา โดยการป้อนเข้าที่ขา 55 (GCLK1) ของ FPGA



รูปที่ ก. 6 พื้นที่สำหรับ Module Oscillator

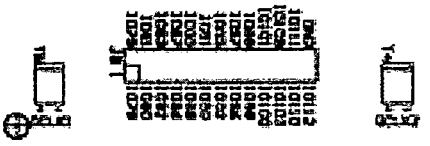
ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ Oscillator กับตำแหน่งขาของ ACEX1K FPGA

Module Oscillator Pin Number	ACEX1K Pin Number
CLK	55 (GLK1)

ก. 2.6 Terminal แบบ 2 ขั้ว สำหรับ GCLK1 และ GCLK2

Terminal ตัวผู้แบบ 2 ขั้ว ใช้สำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเพื่อป้อนให้แก่ FPGA ทางขา Global Clock 1 (GCLK1) หรือขา Global Clock 2 (GCLK2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 การจัดวาง T4 และ T5

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ของ T4, T5 กับตำแหน่งขาของ ACEX1K FPGA

T4 Pin Number	ACEX1K Pin Number	T5 Pin Number	ACEX1K Pin Number
1 (+)	125 (GCLK2)	1 (+)	55 (GCLK1)
2 (-)	GND	2 (-)	GND

ก. 2.7 Terminal แบบ 2 ขั้ว สำหรับแรงดัน 2.5 โวลท์, 3.3 โวลท์ และ 5.0 โวลท์

Terminal ตัวผู้แบบ 2 ขั้ว สำหรับต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันภายในบอร์ด POWER ACEX1K SERIES เพื่อเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงให้กับวงจรภายนอก โดยมีแรงดันให้เลือกใช้งาน 3 ระดับ คือ 2.5 โวลท์, 3.3 โวลท์ และ 5.0 โวลท์

รูปที่ ก.8 ตำแหน่งของ T1 ,T2 และ T3

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ของ T1, T2 และ T3 กับแหล่งจ่ายแรงดันภายในบอร์ด POWER ACEX1K SERIES

T1 Pin number	Volt	T2 Pin number	Volt	T3 Pin Number	Volt
1 (+)	5	1 (+)	3.3	1 (+)	2.5
2 (-)	GND	2 (-)	GND	2 (-)	GND

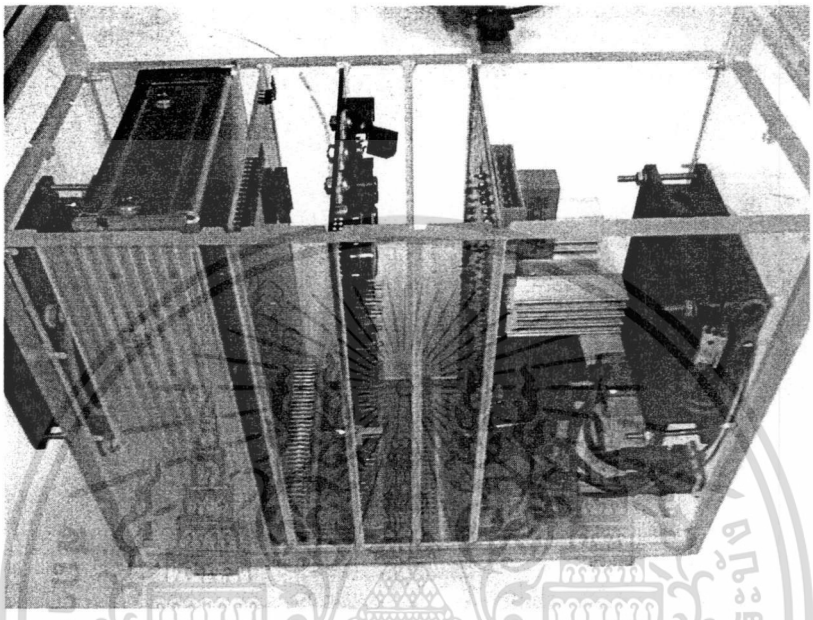
ก. 2.8 คอนเน็คเตอร์แหล่งจ่ายไฟ

บอร์ด POWER ACEX1K SERIES ถูกออกแบบมาให้ใช้กับไฟกระแสตรงแรงดัน 9 โวลท์ ถึง 12 โวลท์ โดยแกนในของคอนเน็คเตอร์ J1 เป็นขั้วบวกและแกนนอกเป็นขั้วลบ นอกจากนี้ยังมีวงจรกลับขั้วแรงดันสำหรับในกรณีที่มีการป้อนแรงดันผิดขั้วให้แก่บอร์ดอีกด้วย

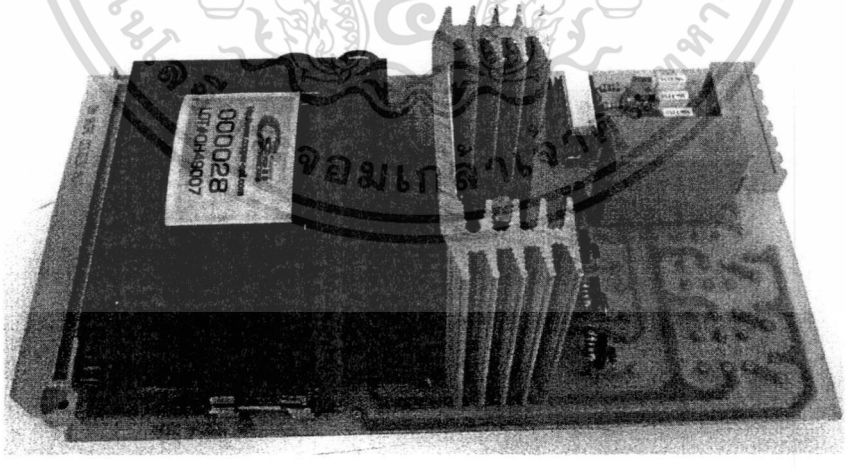
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ส่วนของแหล่งจ่ายไฟ

ส่วนของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายสัญญาณไฟฟ้าให้กับบอร์ด FPGA และดีซีเซอร์โวมอเตอร์ นั้นได้ใช้แหล่งจ่ายไฟของ MEAN WELL รุ่น S-50-5 ให้ Input : 100-120 VAC (1.30A), 200-240 VAC (0.65A) 50/60 Hz Output : +5VDC 10A



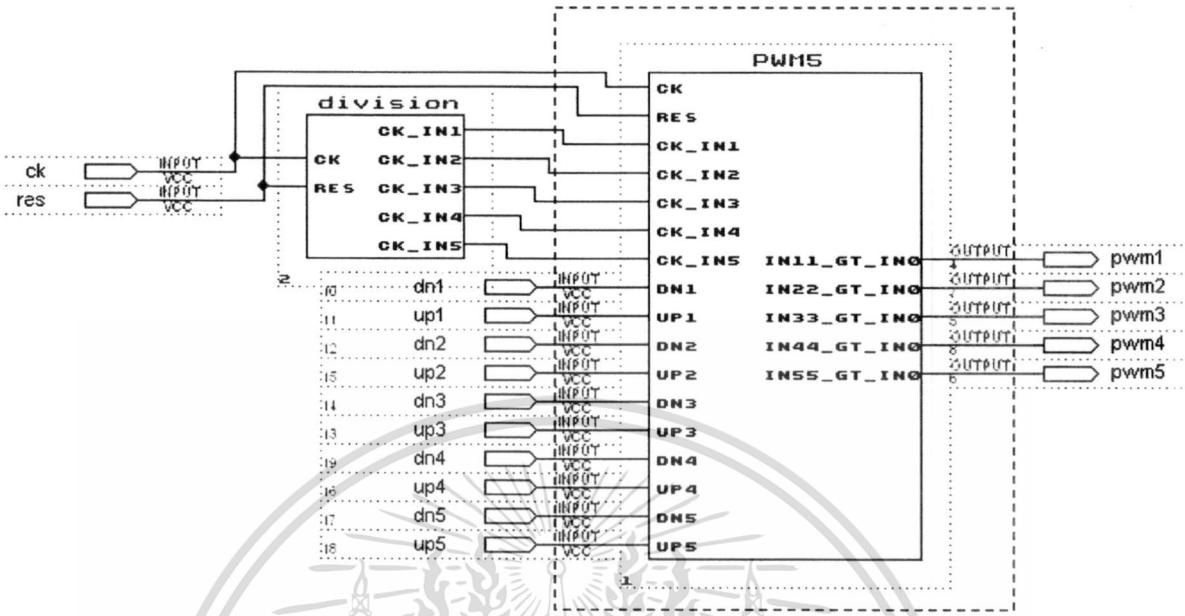
รูปที่ ข.1 กล่องควบคุม



รูปที่ ข.2 แหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

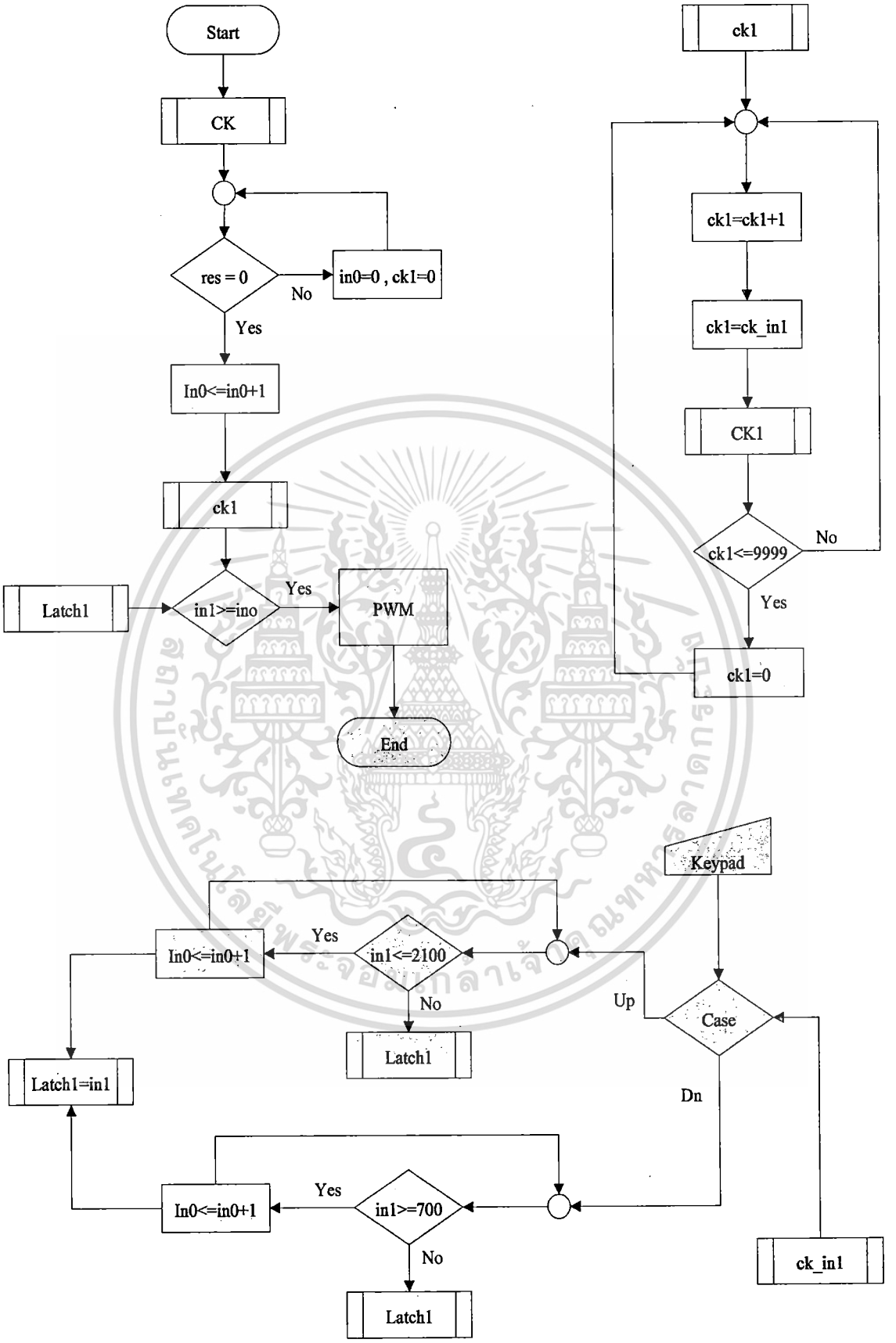
ค. การออกแบบขับแขนกลด้วยโปรแกรม Verilog HDL เชื่อมต่อกับปุ่มกดควบคุม



รูปที่ ค.1 การเชื่อมต่อโมดูลของโปรแกรมควบคุมแขนกลติดต่อกับปุ่มกดควบคุม

รูปที่ ค.2 แขนกลที่ออกแบบและใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



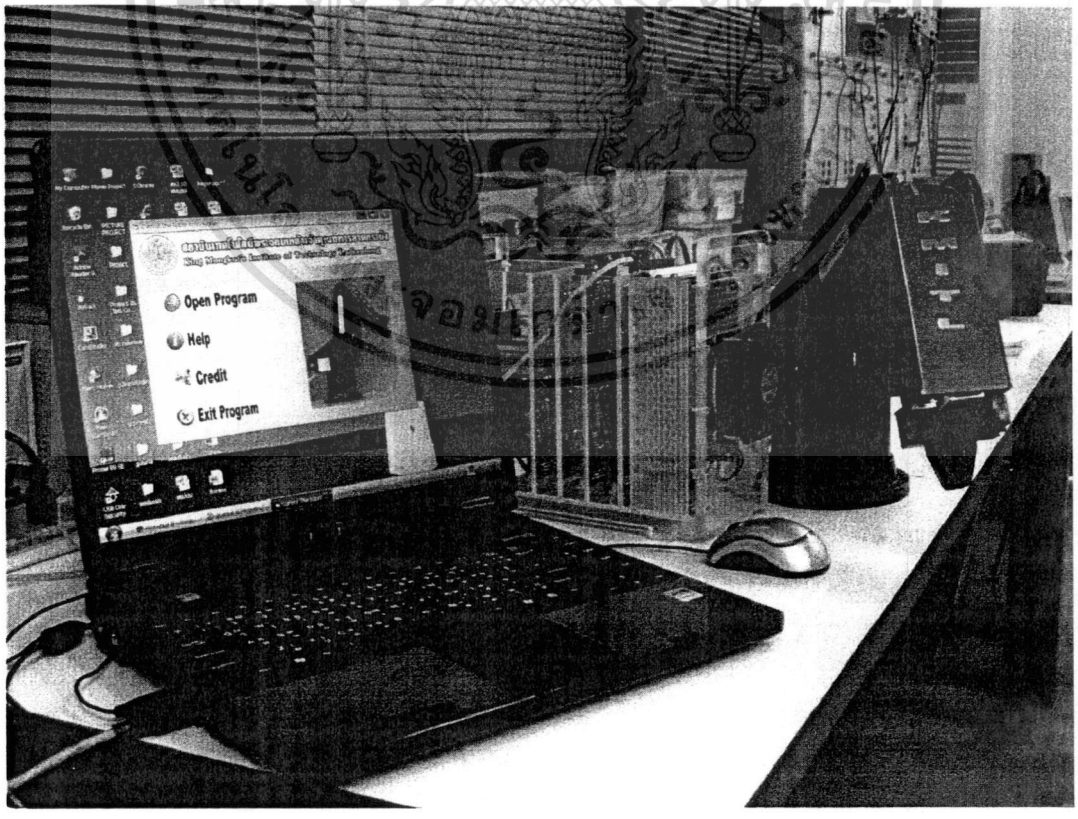
รูปที่ ค.3 Flowchart การสร้างสัญญาณ PWM ที่ FPGA เชื่อมต่อกับปุ่มกดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. เซอร์โวมอเตอร์และส่วนของชิ้นงานที่สำเร็จ

ตารางที่ 9 ดีซีเซอร์โวมอเตอร์รุ่นต่าง ๆ

Model	STD	BBM	Size (L x W x H) Mm/in	Weight		4.8V			6V			Modify 360 °
				g	oz	SPEED (sec / 60°)	Torque		SPEED (sec / 60°)	Torque		
							Kg-cm	Oz-in		Kg-cm	Oz-in	
Micro	✓		28 x 14 x 29.8 1.1 x 0.55 x 1.17	18	0.63	0.16	1.8	25	0.13	2.30	32	✓
S03N	✓		39.5 x 20.0 x 35.6 1.56 x 0.79 x 1.40	41	1.44	0.23	2.40	47	0.18	4	56	✓
S03NXF	✓		39.5 x 20.0 x 35.6 1.56 x 0.79 x 1.40	41	1.45	0.15	2.20	31	0.12	2.45	34	✓
S03T	✓		39.5 x 20.0 x 39.6 1.56 x 0.79 x 1.56	46	1.62	0.33	7.20	100	0.27	8	111	✓
S03TXF	✓		39.5 x 20.0 x 39.6 1.56 x 0.79 x 1.56	46	1.62	0.21	5	69	0.17	6.20	86	✓
S04		✓	54.4 x 26.5 x 51.5 2.14 x 1.04 x 2.03	114	4	0.25	10	138.88	0.20	13	180.5	
S666	✓		63.0 x 32.0 x 61.6 2.48 x 1.26 x 2.43	142.4	5.02	0.28	13	181	0.22	15	208	✓
PICO	✓		22.8 x 9.5 x 15.5 0.90 x 0.37 x 0.61	5.40	0.19	0.12	0.70	10	0.09	0.84	12	✓
MICRO/ 2BBM		✓	28 x 14 x 29.8 1.1 x 0.55 x 1.17	18	0.63	0.16	1.80	25	0.13	2.30	32	✓
HS-322	✓		40 x 20 x 36.5 1.57 x 0.78 x 1.43	43	1.51	0.19	3	41.66	0.15	3.5	48.6	✓
S3003	✓		41 x 20 x 36 1.6 x 0.8 x 1.4	37.2	1.3	0.23	3.2	44	0.19	4.1	56.8	✓
S03T/ 2BB/J		✓	39.5 x 20.0 x 39.6 1.56 x 0.79 x 1.56	46.0	1.62	0.33	7.2	100	0.27	8	111	✓
S03T/2B BMG/J		✓	40.6 x20.0 x 42.8 1.60 x 0.79 x 1.70	73	2.57	0.33	7.4	103	0.27	8.6	119	✓
S666/ NMG/J		✓	63.0 x 32.0 x 61.6 2.48 x 1.26 x 2.43	180	6.35	0.24	24	333	0.2	28.8	400	✓



รูปที่ ง.1 งานวิจัยที่สำเร็จเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้