



รายงานฉบับสมบูรณ์

Final Report

เครื่องปั่นเหวี่ยง

Centrifuge Machine

สองเมือง นันทขว้าง (Songmoung Nundrakrang)

RCH

76

152.8

ศ 4730

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **120181**

วัน, เดือน, ปี **9 ก.พ. 2555**

ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมและอิเล็กทรอนิกส์เชิงกล

สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธันวาคม พ.ศ. 2551

Control and Mechatronics Laboratory

Research Center for Communications and Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

December 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. 120181.20
i.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Research Center for Communications and Information Technology: ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 วงเงินงบประมาณ 179,853 บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปย่อ

โครงการนี้ นำเสนอการออกแบบเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือดขึ้นมาให้สามารถใช้งานได้ จุดมุ่งหมายคือลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง ขั้นแรกคือการออกแบบโครงสร้างภายนอกและภายในของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือดโดยละเอียดผ่านทางโปรแกรมอัตโนมัติ จากโครงสร้างภายในเห็นว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเป็นโครงสร้างหลักที่ทำให้เกิดแรงหมุนเหวี่ยงขึ้น ทางโครงการนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว ขั้นตอนต่อมาคือการสร้างระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ และระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อให้เครื่องปั่นเหวี่ยงเลือดนี้สามารถทำงานได้โดยสามารถปั่นเหวี่ยงได้ด้วยความเร็วรอบค่าต่างๆกัน เท่ากับค่าที่เราได้ตั้งค่าไว้ ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์นี้จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ขอบเขตของโครงการนี้คือ สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ แบบวงปิดได้ โดยการทำงานร่วมกันของวงจรภาคกำลัง และวงจรภาคควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This thesis presents design about blood centrifuge is applicable, objective is reduce importation from foreignism that expensive. First step, design detailed an inner and outside structure of blood centrifuge by program Auto-cad. From an inner structure, motor is main structure that generates centrifugal force. This project chooses single phase induction motor, next step is construction about motor driver system and speed control motor system for blood centrifuge can operational by rotate with varied speed that match with set-point value, speed control motor is controlled by microcontroller. Bound of this project is control speed of motor with the close loop type by co-operation of the power circuit and the control circuit from microcontroller.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทสรุปย่อ	II
บทคัดย่อ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีความรู้และหลักการออกแบบ	3
บทที่ 3 การทดลอง	13
บทที่ 4 บทวิจารณ์และสรุป	21
ภาคผนวก ก แสดงรูปส่วนประกอบของวงจร	23
เอกสารอ้างอิง	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

HTML	Hyper Text Markup Language
HTML	Hyper Text Markup Language
HTML	Hyper Text Markup Language
HTML	Hyper Text Markup Language
σ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เครื่องปั่นเหวี่ยง เป็นเครื่องมือสำหรับใช้แยกอนุภาคต่างๆออกจากสารละลาย หรือสารแขวนลอย โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น และขนาดของสาร หรืออนุภาคนั้นๆ เครื่องปั่นเหวี่ยง นี้มักใช้ในกระบวนการเตรียมสำหรับวิเคราะห์ ในงานวิจัยต่างๆทางด้านชีวเคมี ชีววิทยา และด้านการแพทย์ มักใช้แยกตัวอย่างส่วนที่เป็นของแข็งออกจากตัวอย่างส่วนที่เป็นของเหลว หรือใช้เพื่อแยกของเหลวหลายๆ จำเพาะต่างกันให้เกิดการแยกชั้นกันขึ้น ใช้เร่งการตกตะกอนของอนุภาคที่ไม่ละลายออกจากของเหลว

ในโครงการนี้เลือกใช้ตัวอย่างเครื่องปั่นเหวี่ยงที่เป็นต้นแบบศึกษา คือ เครื่องปั่นเหวี่ยงที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับงานเฉพาะทาง คือ ชนิดที่ใช้สำหรับแยกเม็ดเลือดแดงออกจากน้ำเลือด โดยใช้หลักการสร้างแรงดึงดูดเทียม หรือสร้างแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนรอบจุดหมุน โดยอนุภาคที่มีมวลต่างกัน จะมีการเรียงตัวในหลอดขณะหมุนเหวี่ยง ในอัตราที่ต่างกันตามการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วง ซึ่งแรงหมุนเหวี่ยงที่ใช้เพื่อเพิ่มอัตราการจัดเรียงตัวนี้ จะทำให้ของแข็งเคลื่อนที่ผ่านของเหลวออกมาเป็นแนวเส้นตรงออกจากศูนย์กลางการหมุน จึงแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันได้ โดยมีแกนหมุนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลเข้ามอเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และหมุนไป ด้วยความเร็วรอบในการหมุนที่มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที และความเร็วรอบนี้จะถูกควบคุมด้วยวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 หลักการทำงานของเครื่องปั่นเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ

การศึกษาเรื่องเครื่องบินเหวี่ยงเลือด จำเป็นต้องเรียนรู้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในองค์ประกอบและหลักการทำงานของมันก่อน หลังจากที่ได้ทำการศึกษาแล้วจึงมาคิดค้นออกแบบโครงสร้างเครื่องบินเหวี่ยงเลือดขึ้นเอง โดยให้ความสำคัญที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด และจากการศึกษาโครงสร้างหลักภายในพบว่าโครงสร้างหลักที่สำคัญของเครื่องบินเหวี่ยงเลือดคือมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่หลักให้เกิดการหมุนรอบแกน มีทั้งชนิดใช้แปรงถ่านและไม่ใช้แปรงถ่าน มอเตอร์ที่ใช้งานกันนั้นใช้ได้ทั้งแบบไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง และมีโรเตอร์(Rotor) เป็นส่วนสำหรับบรรจุภาชนะใส่ตัวอย่าง ซึ่งในที่นี้คือหลอดเลือด เมื่อเกิดการหมุนโดยการผลัดของมอเตอร์ จะเกิดแรงหนีศูนย์กลางขึ้น

สำหรับมอเตอร์ที่เป็นโครงสร้างหลักของเครื่องบินเหวี่ยงเลือด ทางโครงการได้เลือกใช้ มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียวเนื่องจากข้อได้เปรียบดังต่อไปนี้ คือ ราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน ขนาดเล็ก โครงสร้างไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรงทนทาน ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก แต่มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียวนี้ ต้องใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นวงจรภาคกำลัง อันประกอบด้วย วงจรเรียงกระแส วงจรสวิตชิง โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวส่งสัญญาณไปทำการสวิตชิง

หลังจากที่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้แล้ว จึงทำการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ชนิดการควบคุมแบบวงปิด ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม โดยเป็นการนำวงจรภาคกำลัง และภาคควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำงานร่วมกันในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักที่สำคัญของเครื่องบินเหวี่ยงเลือดนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีความรู้และหลักการออกแบบ

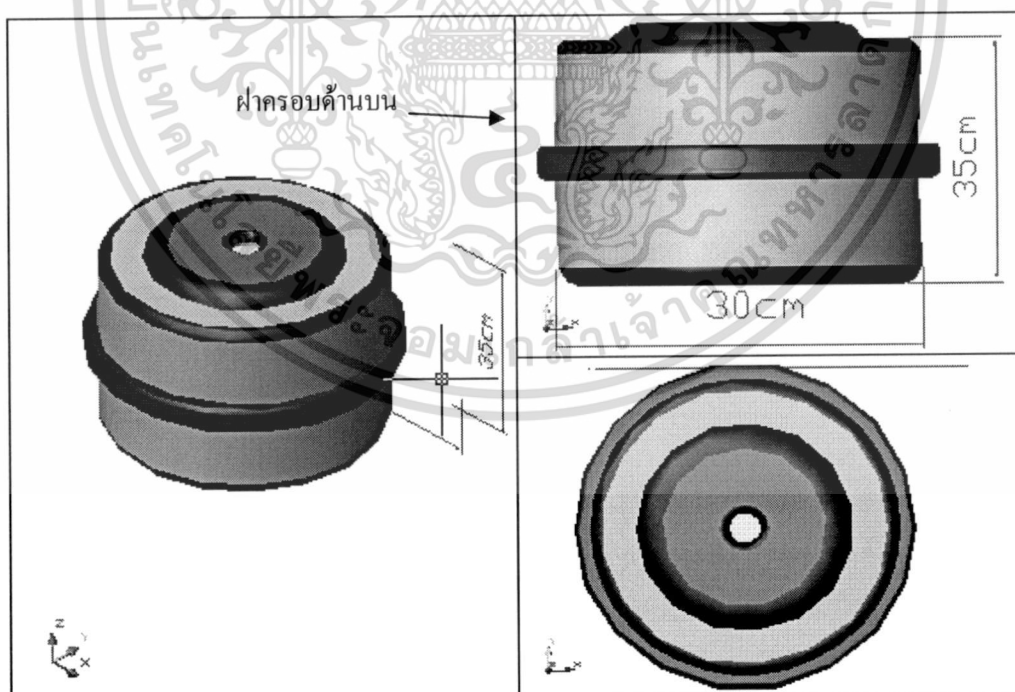
การออกแบบเครื่องปั้นห้วยยางเลือดจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นโครงสร้างหลักภายใน เพื่อให้เครื่องปั้นห้วยยางเลือดสามารถใช้งานได้จริงและทางโครงการได้เลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว

2.1 การออกแบบโครงสร้างภายนอกและภายในของเครื่องปั้นห้วยยางเลือด

การออกแบบเครื่องปั้นห้วยยางเลือดนี้ ทางโครงการได้เลือกใช้โปรแกรมอัตโนมัติสำหรับการออกแบบ โดยทำการออกแบบโครงสร้างภายนอก โครงสร้างภายใน และที่ใส่หลอดเลือดของเครื่องปั้นห้วยยางเลือดในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งมีรายละเอียดของการออกแบบ ดังต่อไปนี้

2.1.1 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของเครื่องปั้นห้วยยางเลือด

ลักษณะโครงสร้างภายนอกนั้น ได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีฝาครอบสามารถเปิดได้ ตัวเครื่องปั้นห้วยยางเลือดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 เซนติเมตร และมีความสูงเท่ากับ 35 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.1

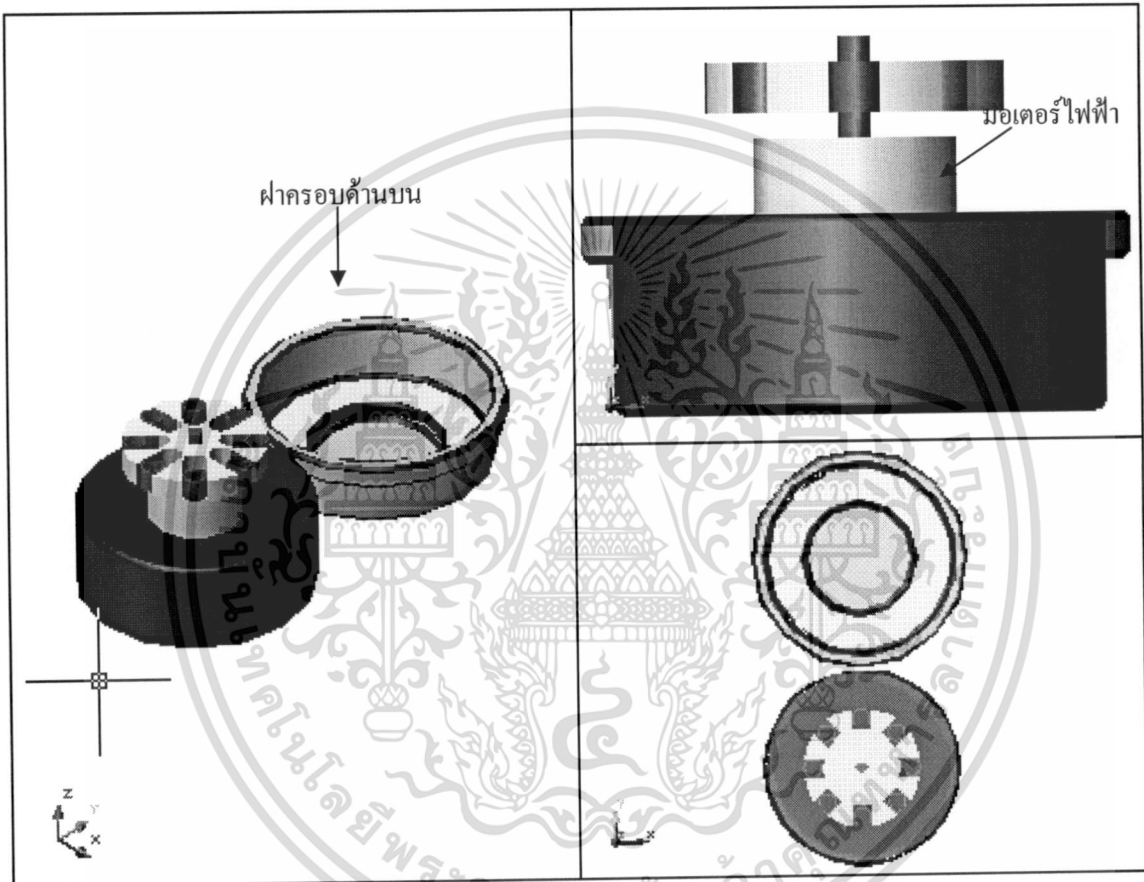


รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างภายนอกของเครื่องปั้นห้วยยางเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การออกแบบโครงสร้างภายในของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือด

ลักษณะโครงสร้างภายในนั้น ได้ทำการออกแบบในลักษณะที่เมื่อทำการเปิดฝาครอบด้านบนออก จะมองเห็นโครงสร้างภายในของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือด มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ที่ใส่หลอดเลือด ซึ่งติดอยู่บนแกนที่ต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งอยู่ด้านล่างของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือด ดังรูปที่ 2.2 โดยที่ใส่หลอดเลือดนี้จะหมุนด้วยความเร็วรอบที่มอเตอร์หมุนไป ทำให้เกิดการหมุนเหวี่ยงขึ้นของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือด

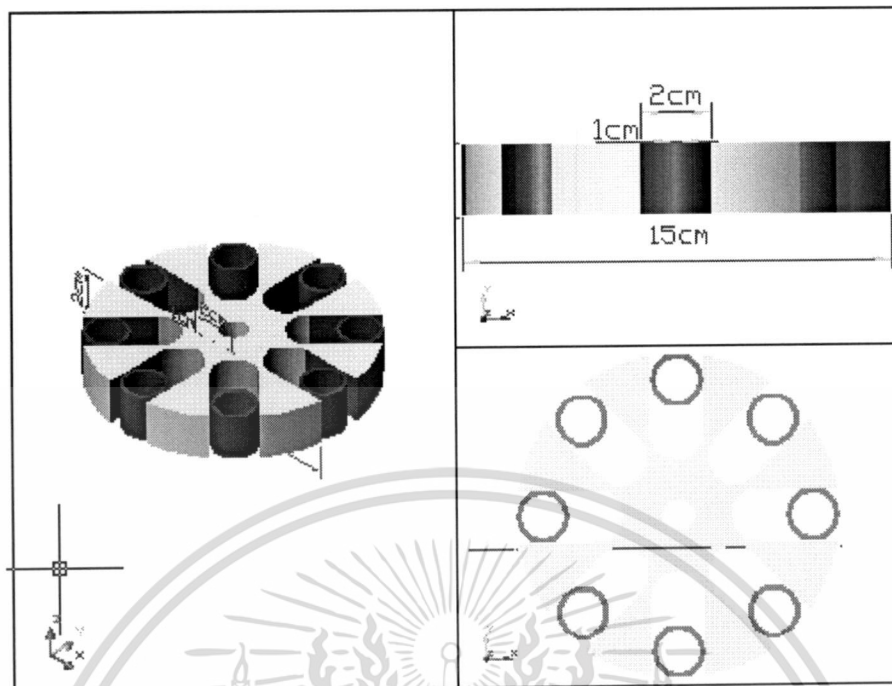


รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างภายในของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือด

2.1.3 การออกแบบที่ใส่หลอดเลือด

ที่ใส่หลอดเลือด คือสิ่งที่ใช้สำหรับบรรจุภาชนะตัวอย่าง ซึ่งก็คือหลอดเลือดนั่นเอง โดยได้ทำการออกแบบให้สามารถบรรจุหลอดเลือดได้จำนวน 8 หลอด และมีลักษณะเป็นแบบวงกลม มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ตรงกลางเจาะเป็นรู สำหรับใช้ประกอบเข้ากับแกนที่ต่อกับตัวมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เซนติเมตร ส่วนช่องที่ใช้สำหรับใส่หลอดเลือดทั้ง 8 ช่องนั้น ในแต่ละช่องมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงที่ใส่หลอดเลือด

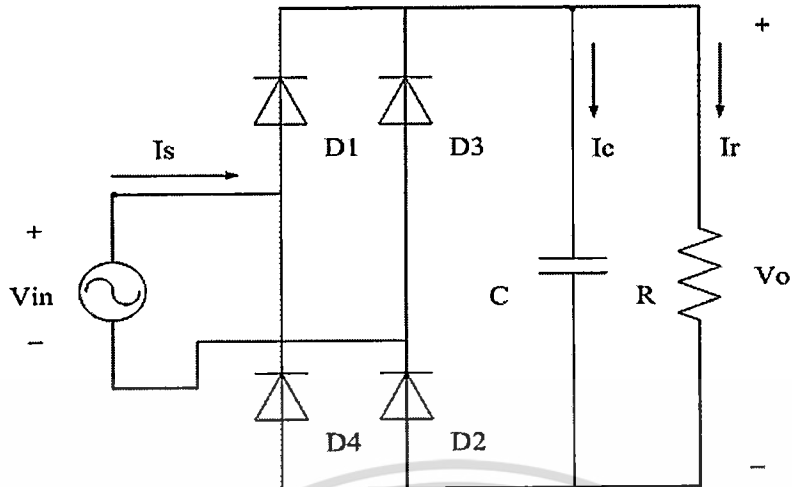
2.2 การออกแบบระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว

การทำงานของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว ประกอบไปด้วย วงจรเรียงกระแส วงจรสวิตชิง วงจรควบคุมการทำงานของไอจีบีที และวงจรอุปโต คัปเปิล ซึ่งทางโครงการได้นำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาประยุกต์ใช้สำหรับขับนำ ไอจีบีที โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ นี้จะสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณจากวงจรมอนาโลก(Analog) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะสร้างสัญญาณนี้ได้ ต้องมี โมดูล(Module) ไว้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนี้โดยเฉพาะ ซึ่งทางโครงการได้เลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 และใช้เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย

2.2.1 วงจรเรียงกระแส

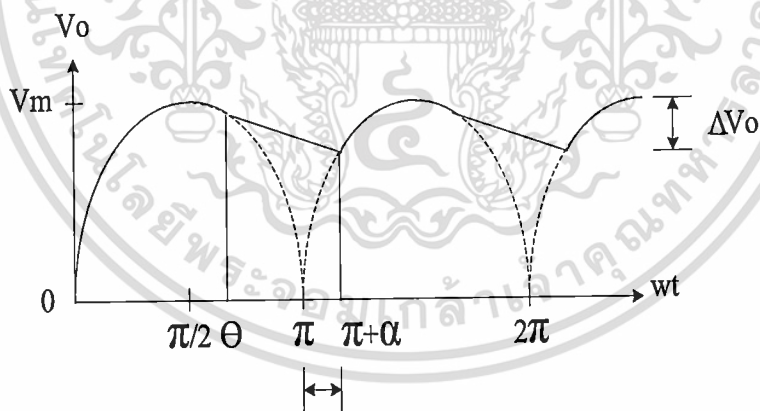
วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สร้างได้จากการนำไดโอดสี่ตัว ที่สามารถทนแรงดันที่พิกัดที่เราทำการทดลองได้มาต่อแบบบริดจ์ แต่ในการทดลองใช้ไดโอดบริดจ์แบบสำเร็จรูป เพื่อง่ายต่อการนำมาใช้งานและเพื่อความคงทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสพร้อมตัวกรองแรงดันโดยใช้ตัวเก็บประจุ

เมื่อกระแสไหลผ่านไดโอดบริดจ์และผ่านตัวกรอง ซึ่งก็คือตัวเก็บประจุที่อยู่ในวงจร สัญญาณเอาต์พุต ที่ได้จะเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีริบเบิล(Ripple) อยู่ด้วย ซึ่งขนาดของริบเบิลจะเล็กหรือใหญ่ ขึ้นอยู่กับค่าตัวเก็บประจุที่เราเลือกใช้ โดยกราฟของแรงดันเมื่อผ่านไดโอดบริดจ์และผ่านตัวกรองแสดงตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงแรงดันด้านเอาต์พุตเมื่อผ่านไดโอดบริดจ์และตัวกรอง

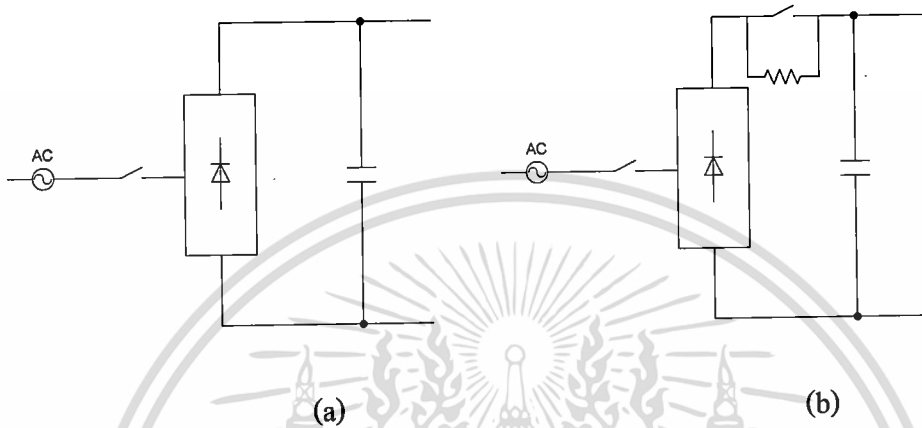
สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาตัวเก็บประจุที่ต่ำที่สุดที่นำมาใช้ในวงจรเรียงกระแสได้ คือ

$$C_{\min} = [P_{\text{out}} (1 - 2 f_{\text{net}} t_{\text{on}})] / [2 f_{\text{net}} V_{\text{dc(max)}}^2 \Delta V_0]$$

P_{out} คือ กำลังด้าน output ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

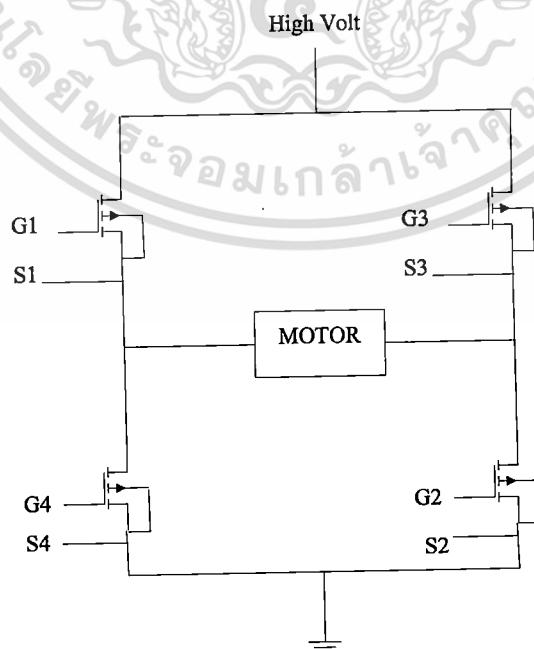
ข้อควรระวังของการทำวงจรเรียงกระแส คือ การหลีกเลี่ยงกระแสพุ่ง วงจรเรียงกระแสจะเกิดกระแสในช่วงเริ่มต้นทำงานมีค่าสูงมากเนื่องจาก ขณะนั้นตัวเก็บประจุจะดึงกระแสในปริมาณสูงมาก ดังรูปที่ 2.6(a) ถ้าไม่มีการป้องกันก็จะเกิดอันตรายได้ ซึ่งวิธีป้องกันสามารถทำได้โดยต่อตัวต้านทานเพื่อต้านกระแสในช่วงเริ่มต้น ดังรูปที่ 2.6(b) และเมื่อเวลาผ่านไปจึงชอร์ต(Short) ตัวต้านทานนั้นทิ้ง ก็จะสามารถป้องกันการเกิดกระแสพุ่งสูงในช่วงเริ่มต้นของการทำงานได้



รูปที่ 2.6 วงจรป้องกันกระแสพุ่งสูงในช่วงเริ่มต้นทำงาน

2.2.2 วงจรสวิตชิง

วงจรสวิตชิง เป็นวงจรที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่รับมาจากวงจรเรียงกระแส โดยเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัยการสวิตชิงของ ไอจีบีที ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดและปิดการทำงาน โดยนำ ไอจีบีที มาต่อแบบฟูลบริดจ์ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรสวิตชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

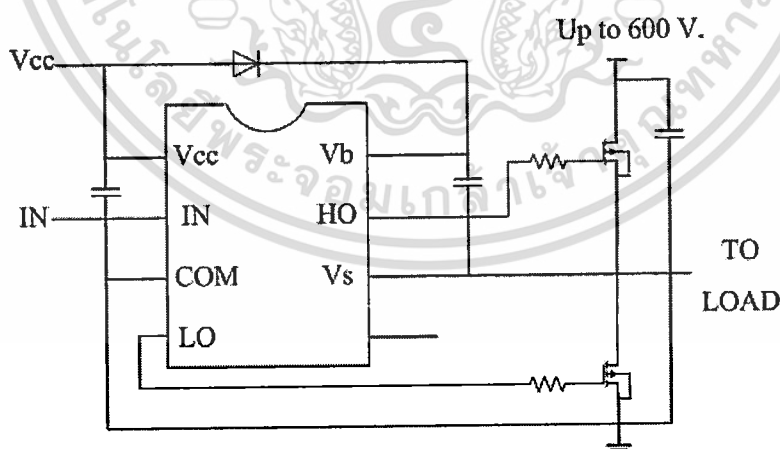
2.2.3 การควบคุมการทำงานของ ไอจีบีที

การควบคุมการทำงานของ ไอจีบีที เราต้องควบคุมแรงดันระหว่างขา G และขา E ของ ไอจีบีที ให้มีค่าเท่ากับ 10-15 โวลต์ ตามที่ดาต้าชีท(Datasheet) แนะนำให้ใช้ ซึ่งหมายความว่า G1,G2,G3,G4 จะรับแรงดันขาเข้าจากวงจรขับเท่ากับ 15 โวลต์ ส่วน S1,S2,S3,S4 ต้องมีค่าใกล้เคียงกับกราวด์(Ground) คือ 0 โวลต์ ซึ่ง S2 กับ S4 ไม่ใช่ปัญหา เพราะว่ามันต่อเทียบกราวด์อยู่แล้ว ปัญหาอยู่ที่ S1 กับ S3 ที่เราต้องทำให้มันมีค่าใกล้เคียงกับกราวด์ จึงจะสามารถควบคุมแรงดันระหว่างขา G กับขา E ของ ไอจีบีที ให้มีค่าเท่ากับ 15 โวลต์ได้

โครงการนี้เลือกใช้ไอซี(IC) เบอร์ IR2111 ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถรองรับปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ได้ โดยจะอธิบายการทำงานของไอซี เบอร์ IR2111 ในหัวข้อต่อไป

2.2.4 วงจรควบคุมการทำงานของ ไอจีบีที

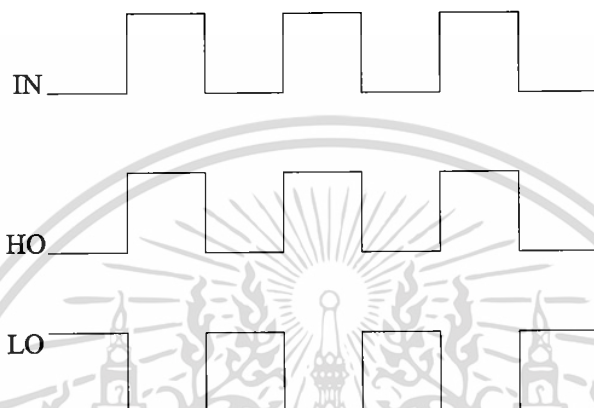
การควบคุมการทำงานของ ไอจีบีที มีไอซีหลายตัวที่สามารถนำมาควบคุมการทำงานของ ไอจีบีทีได้ ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ IR2111 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ควบคุม ไอจีบีที หรือ พาวเวอร์ มอสเฟต (Power Mosfet) แต่เป็นการควบคุมแบบฮาล์ฟบริดจ์ ซึ่งจะควบคุม ไอจีบีที ด้าน ไฮไซด์(High Side) และโลว์ไซด์(Low Side) ในกึ่งเดียวกันไม่ให้งานพร้อมกันเนื่องจาก IR2111 มีการหน่วงเวลาในตัวให้เพื่อป้องกันไอจีบีที ในกึ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน โครงการนี้ทำการต่อวงจรแบบฟูลบริดจ์ ดังนั้นต้องใช้ IR2111 สองตัวเพื่อจะควบคุม ไอจีบีทีสี่ตัว ซึ่งวงจร IR2111 แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรควบคุมการทำงานของ ไอจีบีที โดยใช้ไอซีเบอร์ IR2111

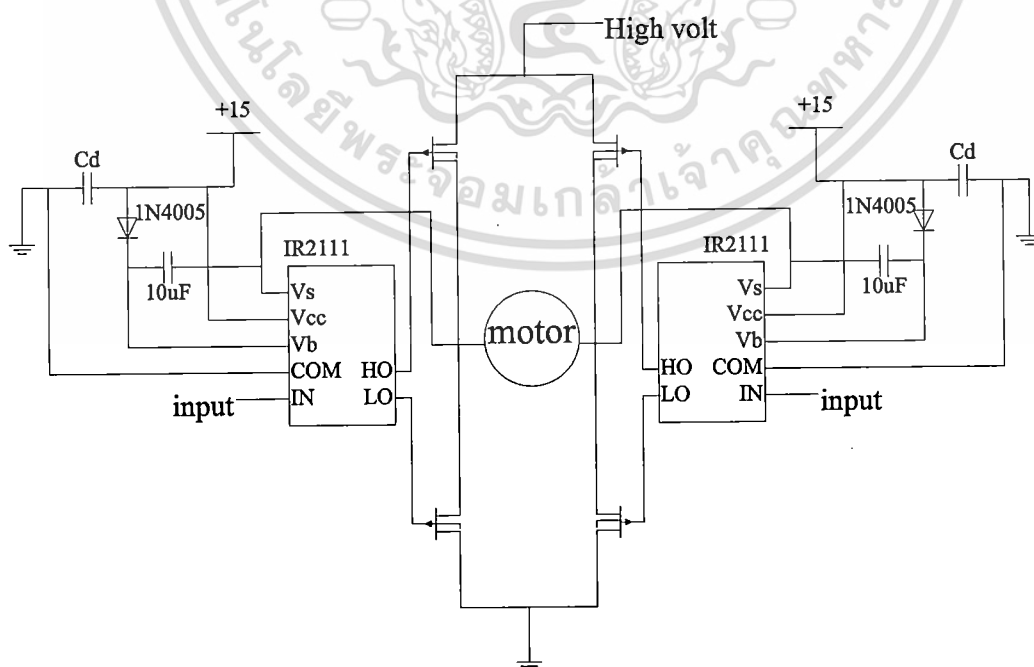
การทำงานของไอซี เบอร์ IR2111 อธิบายตามรูปที่ 2.8 จากรูปจะพบว่าเมื่อรับสัญญาณเข้ามาด้านอินพุท เป็นค่าไฮ(High) ซึ่งรับมาจากวงจรออปโต คัปเปิล ในโครงการนี้สัญญาณไฮ ที่รับจากวงจรออปโต คัปเปิลมี ไม่วาร์ณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเท่ากับ 15 โวลต์ เข้ามายังขา IN ของ IR2111 จะทำให้ เอาท์พุทออกจากขา HO ของ IR2111 มีค่าเท่ากับ 15 โวลต์ ส่วนขา V_s จะเป็นเสมือนกราวด์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกราวด์คือประมาณ 0.3 โวลต์ ดังนั้นแรงดันที่ขา G กับขา E ของ ไอจีบีที ตัวบนจะมีค่าประมาณ 15 โวลต์ นั่นคือไอจีบีทีตัวบนทำงานในทางกลับกันถ้า IR2111 รับสัญญาณเข้าขา IN เป็น 0 โวลต์ ขา HO จะไม่มีเอาท์พุทออกมา แต่ขา LO จะมีเอาท์พุทเท่ากับ 15 โวลต์ หมายความว่า ถ้า IR2111 รับสัญญาณเข้าขา IN เป็น 0 โวลต์ ไอจีบีที ตัวล่างจะทำงาน



รูปที่ 2.9 ไทม์มิ่ง ไดอะแกรม ของไอซีเบอร์ IR2111

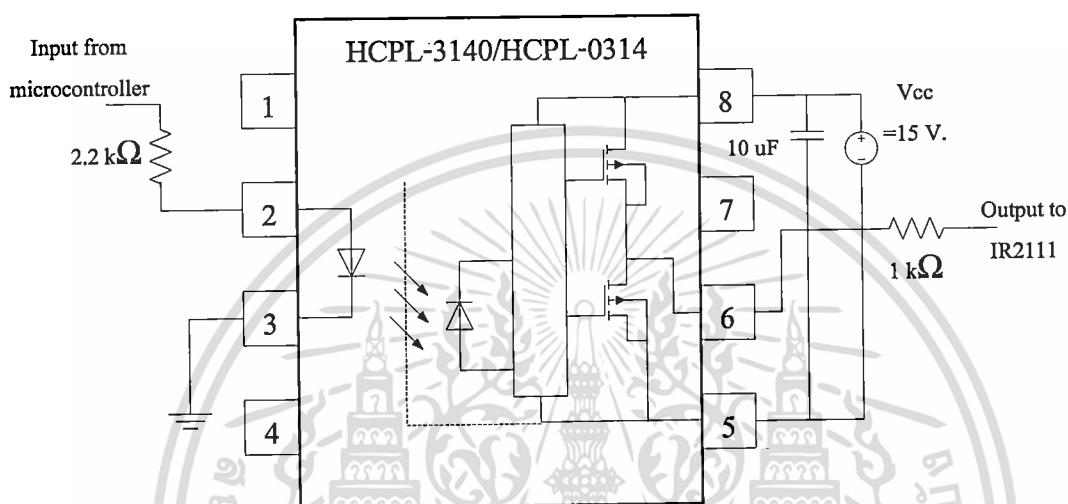
จากวงจรสวิตชิ่ง และวงจรควบคุมการทำงานของ ไอจีบีที จะได้วงจรรวมตามรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นวงจรแบบฟูลบริดจ์ที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.10 วงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว แบบฟูลบริดจ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 วงจร ออปโต คัปเปิล

วงจรออปโต คัปเปิล เป็นวงจรที่ใช้แยกกราวด์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ออกจากกราวด์ของระบบเพื่อป้องกันแรงดันและกระแสย้อนกลับ ที่อาจทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์พังได้ ถ้าไม่มีการแยกกราวด์ออกจากกัน ซึ่งนอกจากจะใช้แยกกราวด์แล้ว วงจรออปโต คัปเปิลนี้ ยังทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณจาก 5 โวลต์ ที่รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้ขยายเป็น 15 โวลต์ เพื่อที่จะไปเข้าขา IN ของ IR2111



รูปที่ 2.11 วงจรออปโต คัปเปิล

ข้อควรระวัง

1. เนื่องจากเป็นการทดลองแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 300 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องเลือกอุปกรณ์ที่สามารถทนแรงดันและกระแสที่พิกัดโหลดที่เราใช้ได้
2. ในการทดลองต้องต่อวงจรให้ครบก่อนจ่ายสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพราะถ้าต่อไม่ครบสัญญาณเอาท์พุท จาก IR2111 ก็จะไม่มีความหมาย
3. ถ้าจะทดลองกับโหลดมอเตอร์ให้ใช้ วาริเอ็ค (Variat) ค่อยๆ เพิ่มแรงดัน เพื่อป้องกันกระแสกระชากในช่วงเริ่มต้น

2.2.6 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มจากการตั้งค่าโมดูลต่างๆ เช่น

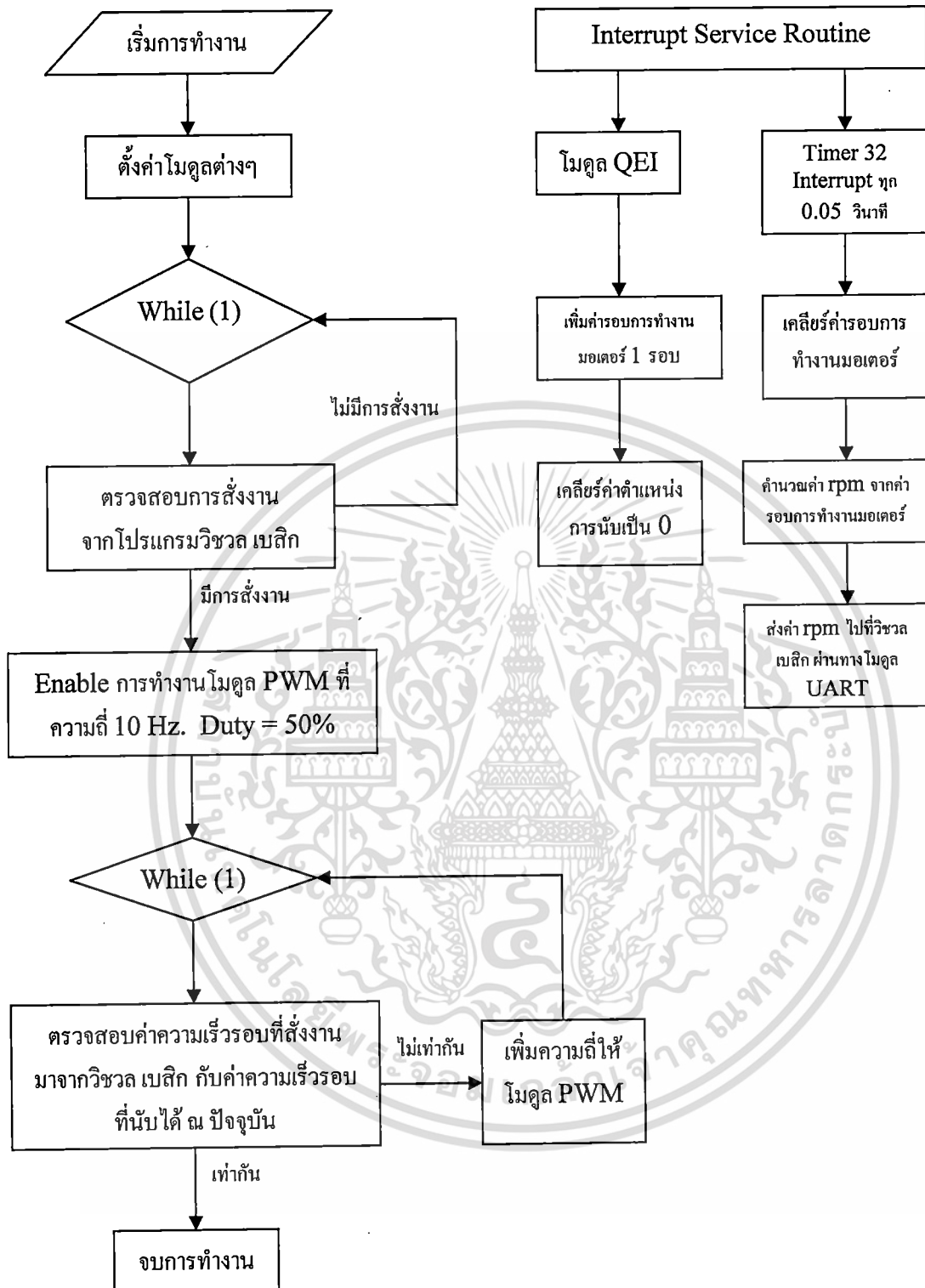
1. โมดูลสำหรับการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (UART) โดยตั้งค่าไว้ที่ 57600 บิตต่อวินาที
2. โมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ (QEI) เนื่องจากตัวเข้ารหัสที่ใช้งาน ให้ค่าพัลส์ 250 พัลส์ต่อรอบ จึงตั้งค่าการนับ พัลส์ A และ B ไว้ที่ 1000 พัลส์ ต่อการหมุนตัวเข้ารหัสหนึ่งรอบ เมื่อโมดูลนับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าถึงค่าที่กำหนด จะเกิดอินเทอร์รัพท์ เพื่อทำงาน รีเซต ค่าการนับ เป็นศูนย์ โดยขั้นตอนการตั้งค่า โมดูล QEI มีดังนี้

- 2.1 ทำการ Enable Interrupt
- 2.2 ทำการกำหนด ค่าตำแหน่งสูงสุดในการนับ ซึ่งเท่ากับ 1000
- 2.3 ทำการกำหนด โหมดทิศทางการรับค่า อินพุต A และ B
3. โมดูล Motor Control PWM โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - 3.1 ทำการ Enable Interrupt
 - 3.2 กำหนดค่า Prescaler และ Postscaler
 - 3.3 กำหนดค่า Duty Cycle
 - 3.4 กำหนดค่า Period
 - 3.5 กำหนดโหมดแบบปรับสัญญาณกึ่งกลาง(Center Aligned Mode)
 - 3.6 กำหนด Channel 1 ทำงานแบบ Complementary Mode
 - 3.7 ทำการ Enable PWM Function

การตั้งค่าของโมดูล Motor Control PWM นี้เมื่อ ทำการ Enableโมดูลจะส่งสัญญาณเอาต์พุต ออกมาทันที โดยในโครงงานนี้ ได้ย้ายส่วนของ การกำหนดค่า Period , Duty Cycle และ การ Enable ไปไว้หลังจาก ได้รับ สัญญาณ ให้ทำงานจาก โมดูลสื่อสารอนุกรม ซึ่งสั่งการโดย โปรแกรมวิชวล เบสิก (Visual Basic) การทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยรวม แสดงตามโฟลว์ชาร์ต(Flow Chart) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานโดยรวมของไมโครคอนโทรลเลอร์

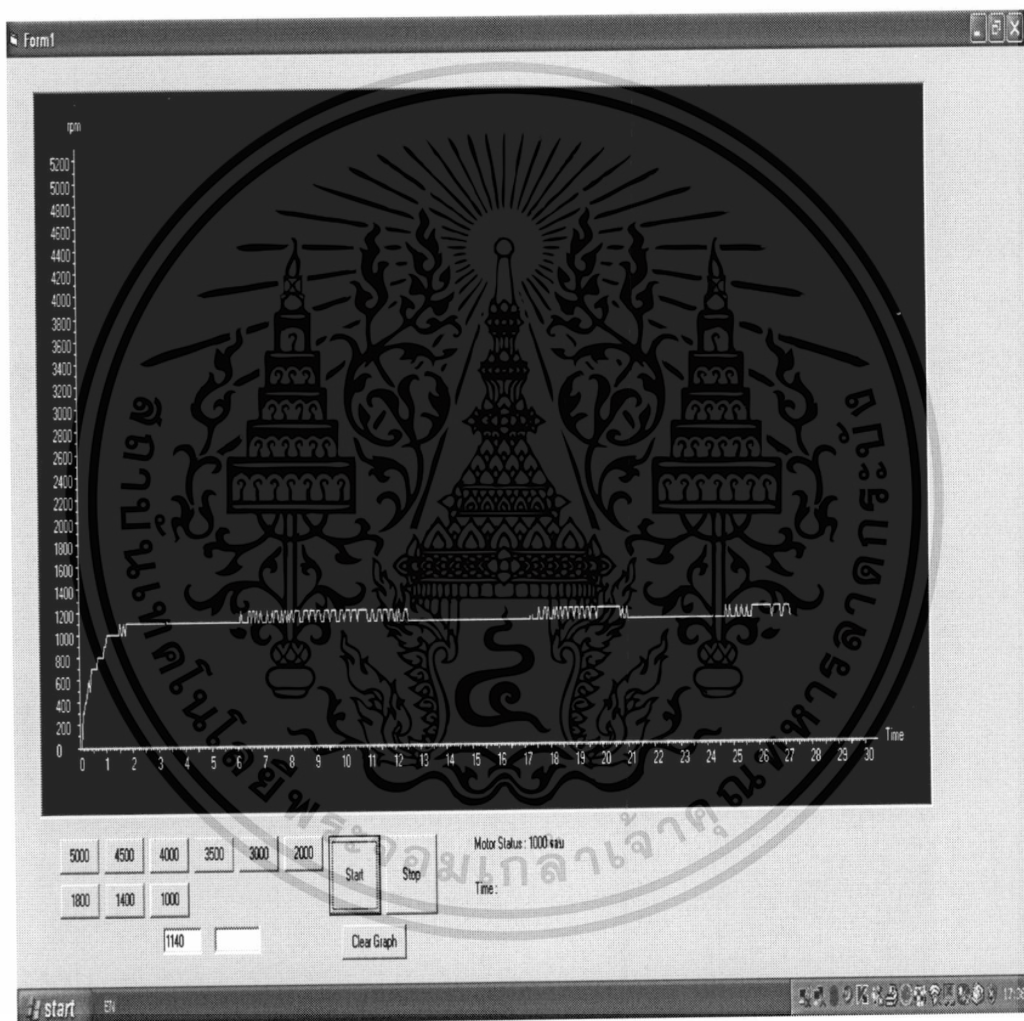
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 ผลการทดลองที่ค่าความเร็วรอบต่างๆ

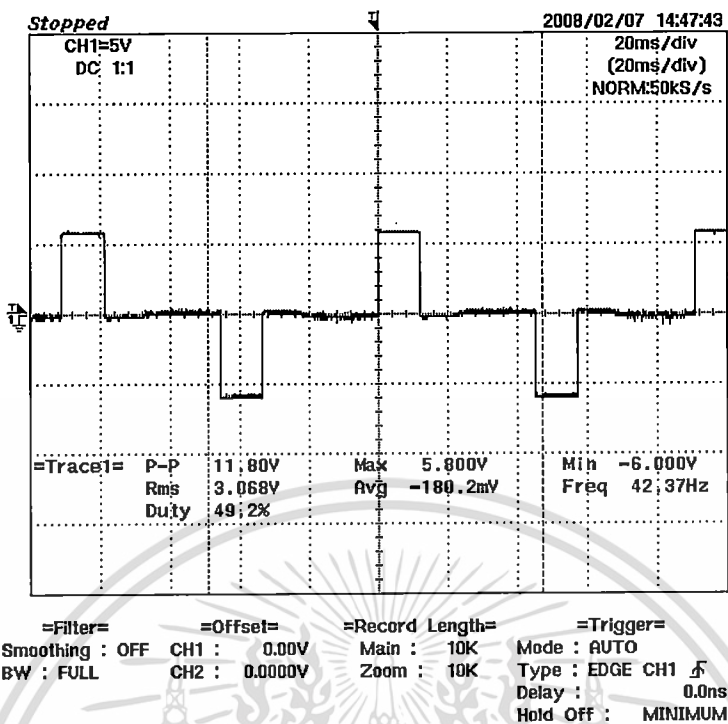
3.1.1 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm

เมื่อทำการตั้งค่าความเร็วรอบเท่ากับ 1000 rpm ผลของความเร็วรอบเอาท์พุทที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.1

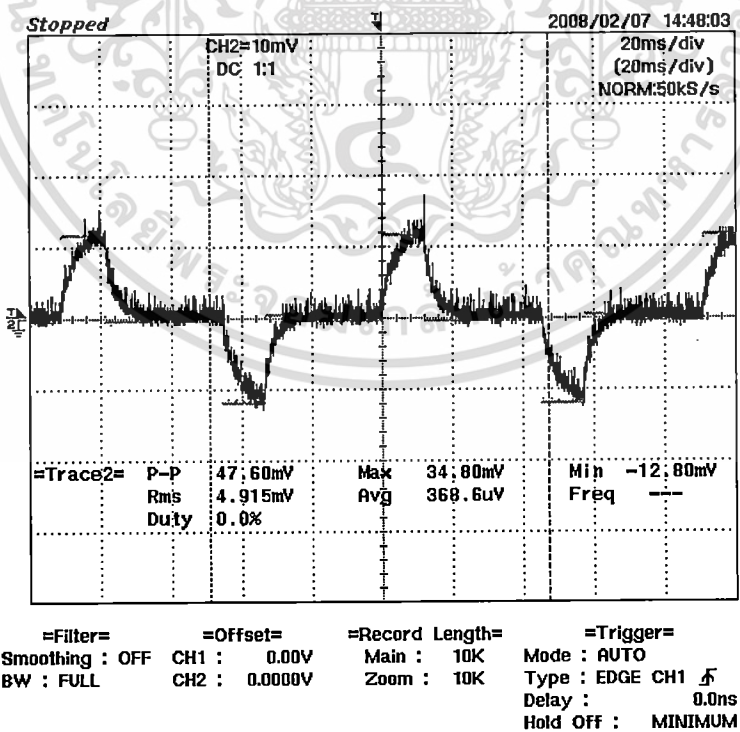


รูปที่ 3.1 กราฟแสดงผลความเร็วรอบที่ตั้งไว้ 1000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงแรงดันที่ ความเร็วรอบ 1000 rpm

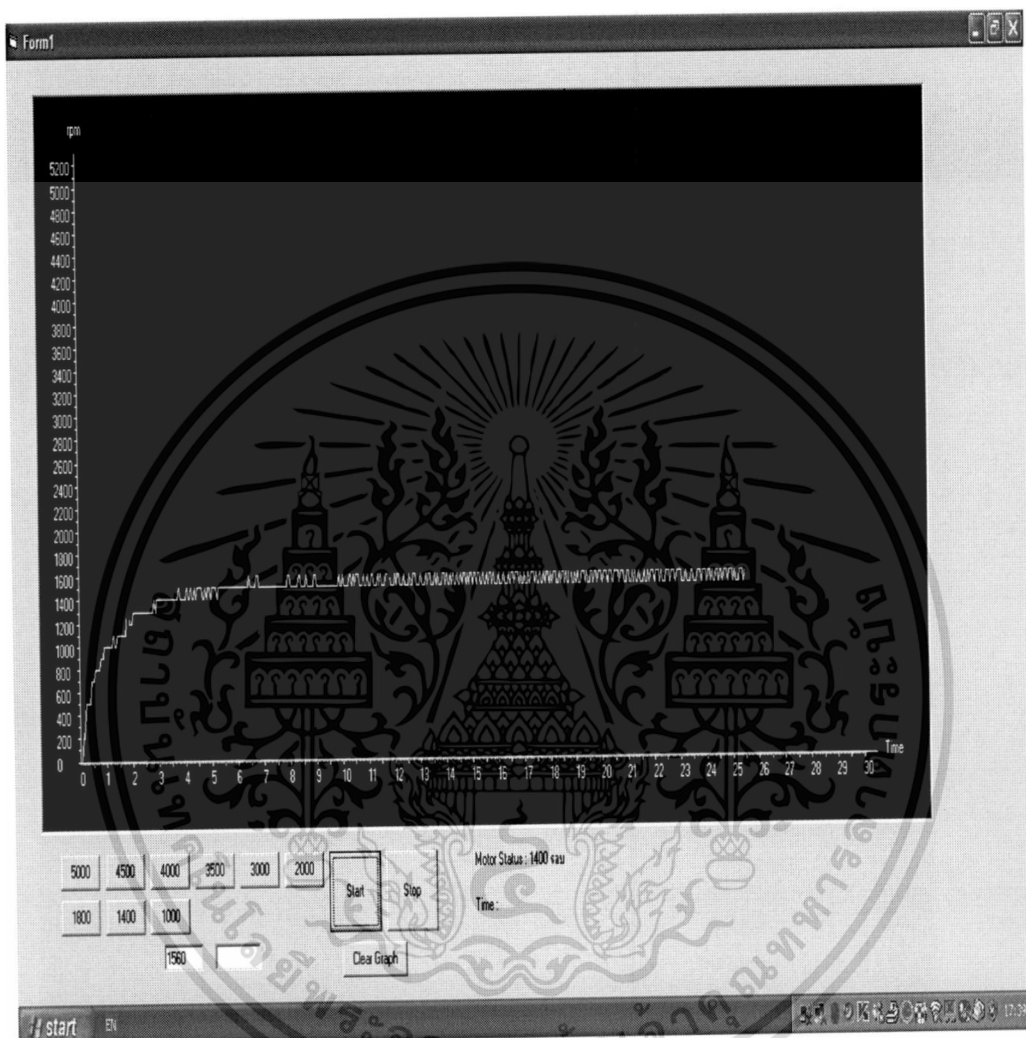


รูปที่ 3.3 กราฟแสดงกระแสที่ ความเร็วรอบ 1000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

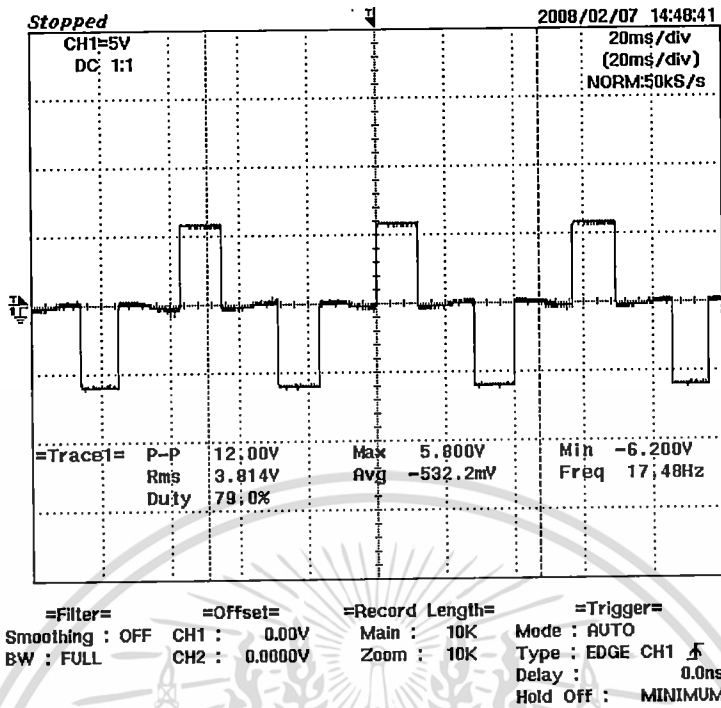
3.1.2 ที่ความเร็วรอบ 1400 rpm

เมื่อทำการตั้งค่าความเร็วรอบเท่ากับ 1400 rpm ผลของความเร็วรอบเอาต์พุตที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.4

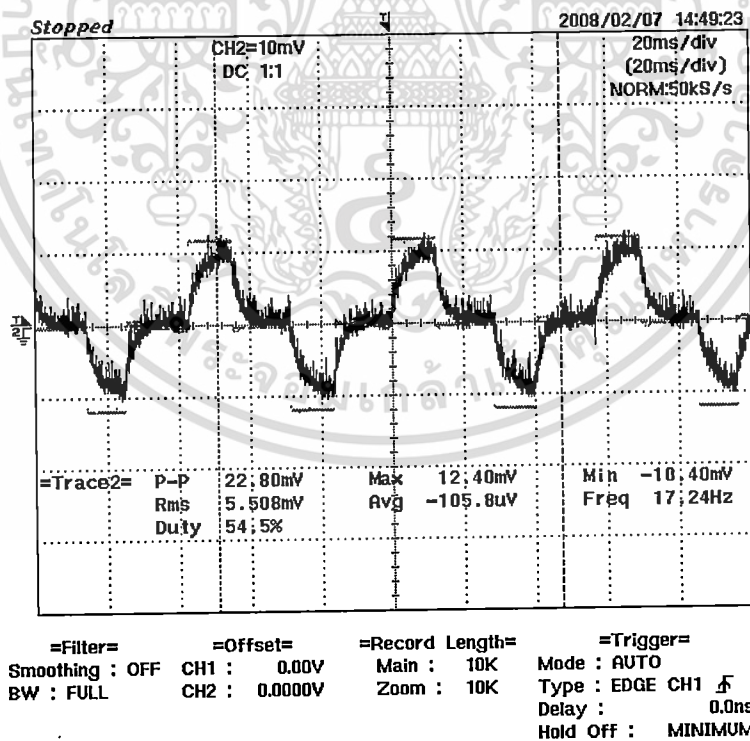


รูปที่ 3.4 กราฟแสดงผลความเร็วรอบที่ตั้งไว้ 1400 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงแรงดันที่ ความเร็วรอบ 1400 rpm

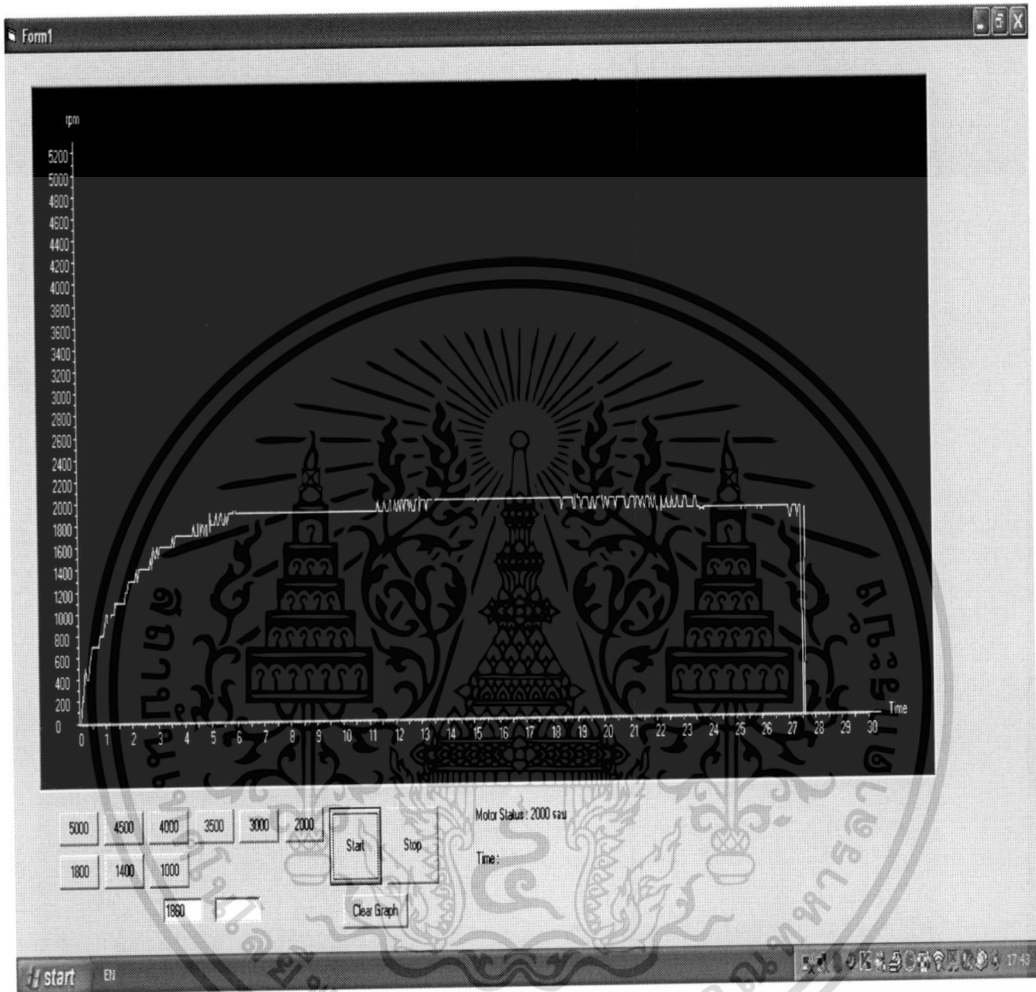


รูปที่ 3.6 กราฟแสดงกระแสที่ ความเร็วรอบ 1400 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm

เมื่อทำการตั้งค่าความเร็วรอบเท่ากับ 2000 rpm ผลของความเร็วรอบเอาต์พุตที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.7

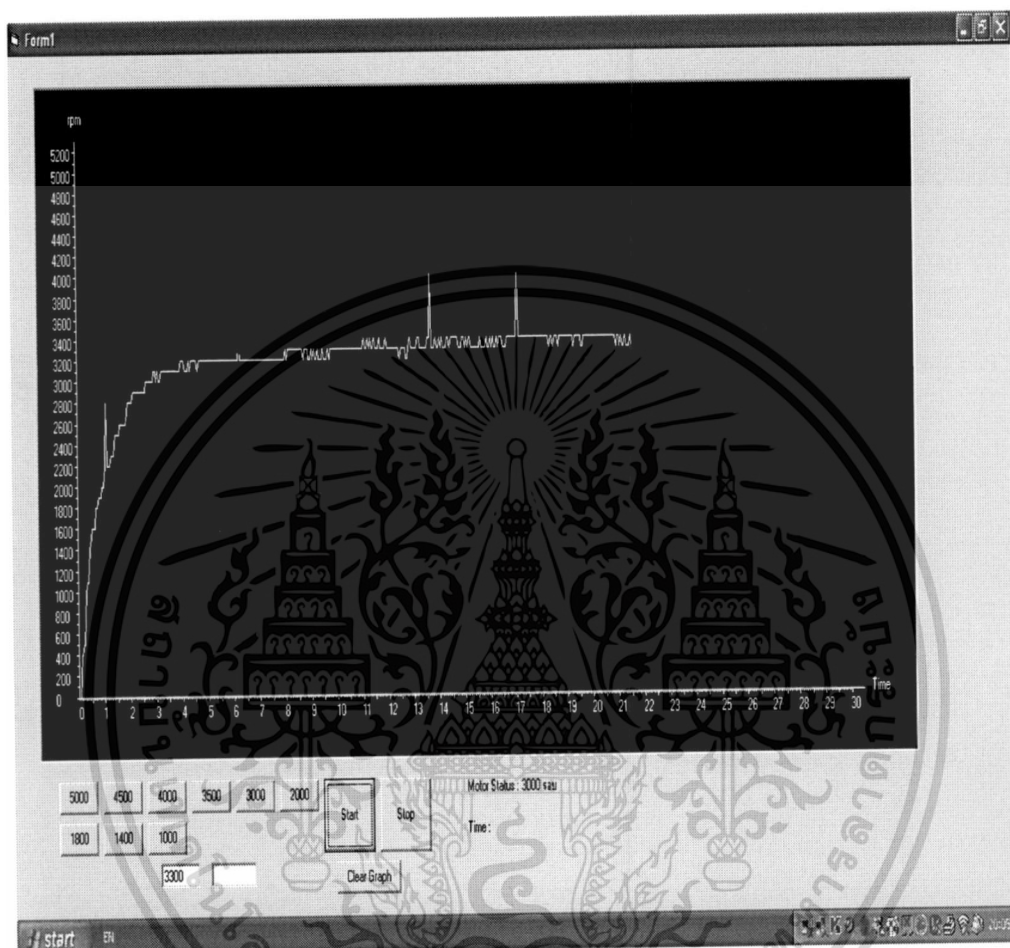


รูปที่ 3.7 กราฟแสดงผลความเร็วรอบที่ตั้งไว้ 2000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

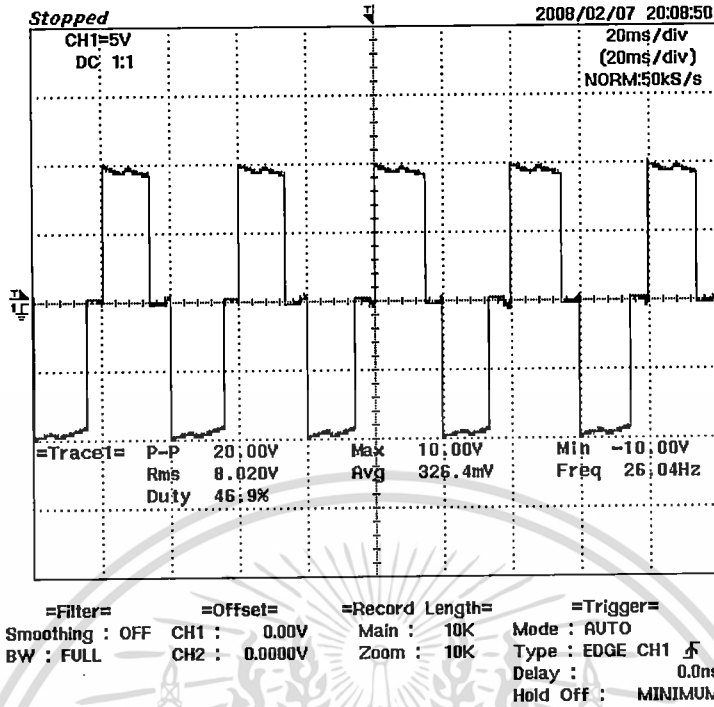
3.1.4 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm

เมื่อทำการตั้งค่าความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm ผลของความเร็วรอบเอาท์พุทที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.10

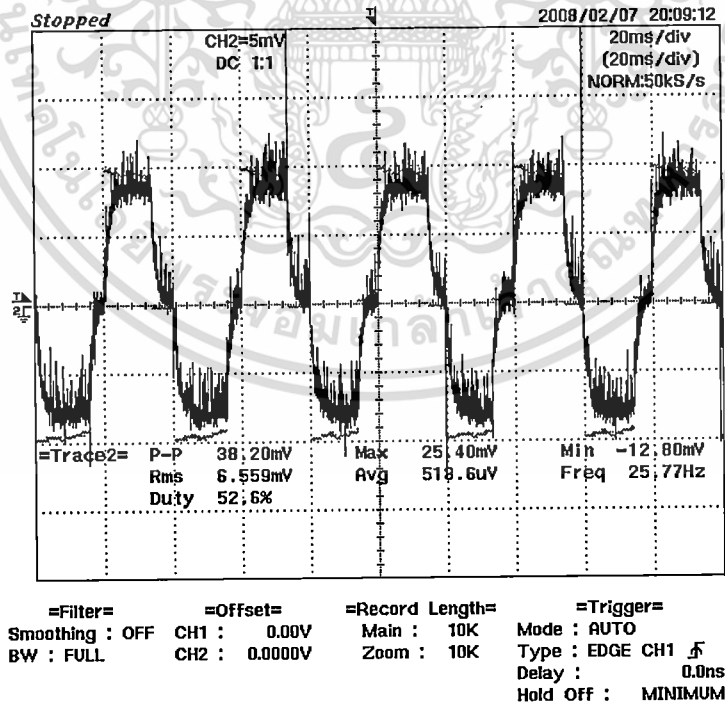


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงผลความเร็วรอบที่ตั้งไว้ 3000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงแรงดันที่ ความเร็วรอบ 3000 rpm



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงกระแสที่ ความเร็วรอบ 3000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

บทวิจารณ์และสรุป

4.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ โดยถ้าเพิ่มความถี่ให้มีค่ามากขึ้น ค่าความเร็วรอบก็จะเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้ามถ้าลดความถี่ลง ค่าความเร็วรอบก็จะลดลง โดยที่แรงดันคงที่

ค่าความเร็วรอบสามารถวัดได้จากการที่เอนโคเดอร์(Encoder) รับค่าแล้วส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผล ถ้าค่าความเร็วรอบยังไม่ถึงค่าที่เราได้ตั้งค่าเอาไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งเพิ่มความถี่ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงค่าความเร็วรอบที่เราตั้งค่าไว้ โดยใช้หลักการควบคุมแบบวงปิด

4.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

เนื่องจากทางโครงการได้เลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว ขนาดแรงดัน 220 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าบ้าน การทดลองจึงค่อนข้างอันตรายเพราะเป็นแรงดันสูง และอุปกรณ์ในการทดลองที่สามารถรองรับด้านความปลอดภัยนั้นไม่ได้มีไว้ให้ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองด้วยความระมัดระวัง และแก้ปัญหาโดยการขอขืมอุปกรณ์จากทางภาคไฟฟ้ากำลัง

การทดลองที่ปลอดภัยนั้น ต้องเริ่มต้นทดลองที่ค่าแรงดันต่ำๆก่อน แล้วจึงค่อยเพิ่มความแรงดันให้สูงขึ้น เพื่อป้องกันการกระชากของกระแส และวงจรควรมีฟิวส์(Fuse) เพื่อป้องกันกระแสเกินไว้ด้วย ทางด้านห้องทดลองควรมีเบรกเกอร์(Breaker) ที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อว่าเมื่อเกิดกระแสไหลมากเกินไป เบรกเกอร์ต้องสามารถตัดไฟได้ทันทีทันใด

ในการออกแบบด้านฮาร์ดแวร์(Hardware) ซึ่งเป็นส่วนวงจรขั้วมอเตอร์นั้น การเลือกใช้ไอซีมีส่วนสำคัญมาก เพราะสามารถเลือกใช้ไอซีเบอร์อะไรก็ได้ แต่ต้องคำนึงด้วยว่า ไอซีเบอร์นั้นมีจำหน่ายในประเทศไทยหรือไม่ ราคาถูกหรือแพงอย่างไร และมีความเหมาะสมกับตัวชิ้นงานของโครงการมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้การใช้งานไอซี ควรศึกษาดาต้าชีท ให้ละเอียด ให้เข้าใจเสียก่อน รวมถึงรายละเอียดส่วนย่อยที่ดาต้าชีท ไม่ได้บอกมา จำเป็นต้องศึกษาให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถหาข้อมูลได้ เพราะว่าในบางครั้งดาต้าชีท ก็ไม่ได้บอกส่วนสำคัญ ที่จะต้องใช้ในวงจรของจริง ซึ่งในบางกรณีถ้านำมาต่อใช้งานจริงแล้ว วงจรนั้นอาจไม่ทำงานก็เป็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

จากการที่ทางโครงการนี้ได้ทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือดไว้ก่อนหน้านี้และสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญที่จำเป็นในการทำงานของเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือด แต่โครงสร้างภายนอกของตัวเครื่องก็ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญไม่แพ้กัน ดังนั้น ส่วนที่ควรพัฒนาต่อไปคือ การสร้างชิ้นงานเครื่องปั่นเหวี่ยงเลือดให้ออกมาเหมาะสมในด้านรูปทรง ขนาด และน้ำหนัก ตามที่ได้ออกแบบไว้ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ตามวัตถุประสงค์

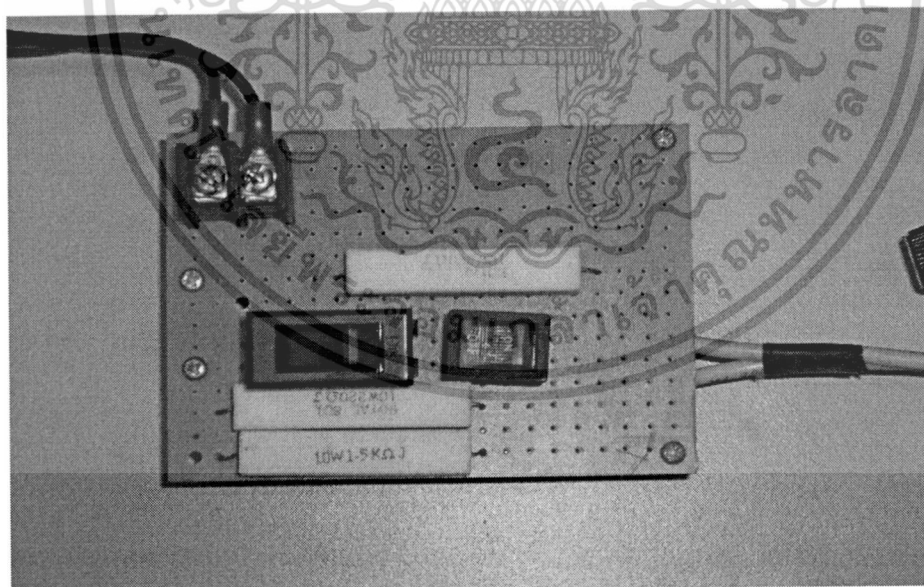


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แสดงรูปส่วนประกอบของวงจร

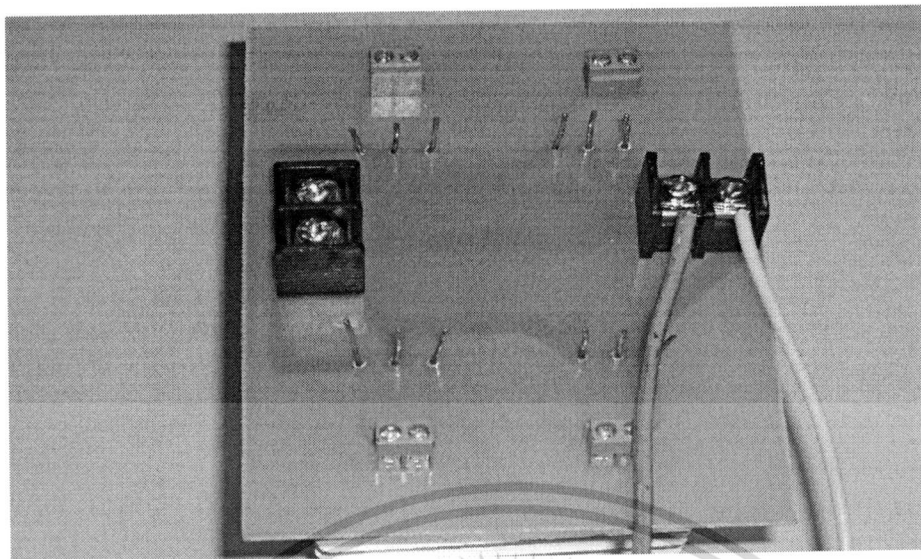


รูปที่ ก.1 แสดงวงจรเรียงกระแส

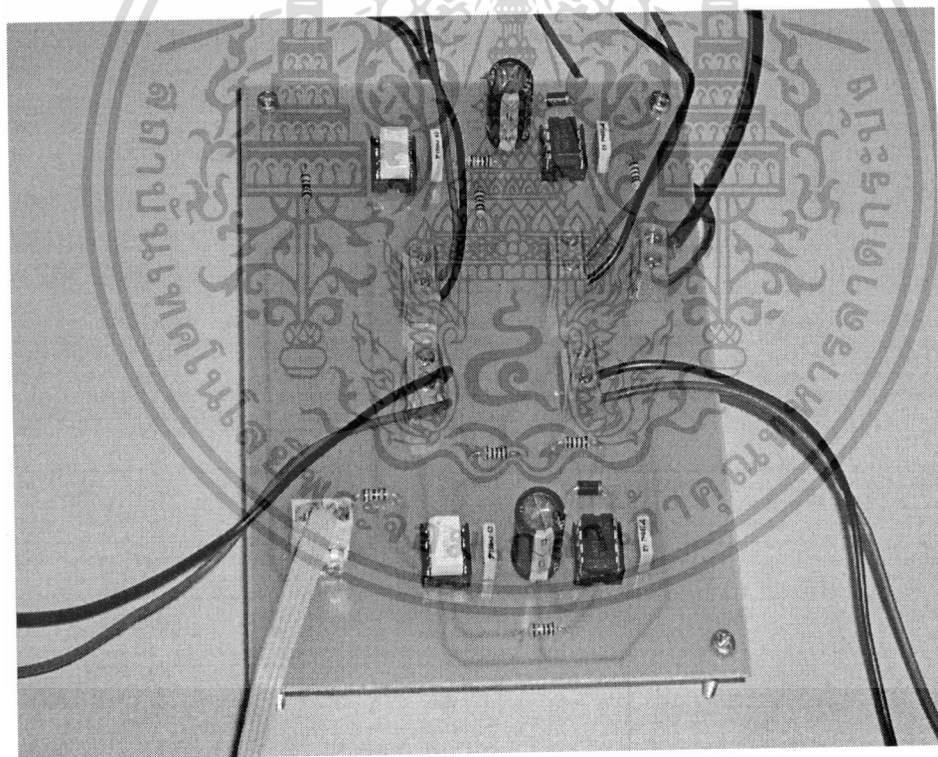


รูปที่ ก.2 แสดงวงจรป้องกันกระแสพุ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 แสดงวงจรสวิตชิง



รูปที่ ก.4 แสดงวงจรขั้วมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นคร ภัคดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวตีฟ แอ็กเพอริเมนต์. 2547.
- [2] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาธาธิระเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [3] ศิวะ หงษ์นภา. ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2543.
- [4] ชัยทัต มณีอินทร์, เลิศชาย ไสภา, สิริชัยงาม โชคพิภพ. "อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส." ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2538.
- [5] Dr. Zainal Salam. "DC to AC Conversion (INVERTER)." [Online]. Available : <http://encon.fke.utm.my/notes/Introduction-2002.pdf>. 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้