การควบคุมการแบ่งภาคโหลดในระบบกำเนิดพลังงานทดแทน

Diversion Load Controller in Renewable Energy Plant

นายนรเศรษฐ์ สุขทรัพย์ รหัส 46363289

นายประกาศิต รอดฉาย รหัส 46363305

i 5081452

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ - 7 มิ.ย. 2550
เลขทะเบียน 5000101
เลขเรียกหนังสือ
มหาวิทยาลัยนเรศวร

มร.
น224ก.
2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2549

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	การควบคุมการแบ่งภาคโหลดในระบบกำเนิดพลังงานทดแทน		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนรเศรษฐ์	สุขทรัพย์	รหัส 46363289
	นายประกาศิต	รอดฉาย	รหัส 46363305
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สมยศ	เกียรติวนิชวิไล	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2549		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

....ประธานกรรมการ
(ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น)

....กรรมการ
(อาจารย์ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์)

หัวข้อโครงงาน	การควบคุมการแบ่งภาคโหลดในระบบกำเนิดพลังงานทดแทน
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนรเศรษฐ์ สุขทรัพย์ รหัส 46363289
	นายประกาศิต รอดฉาย รหัส 46363305
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2549

....

บทคัดย่อ

ในหน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดจิ๋ว (pico plant) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของมวลน้ำ ส่วนกำลังไฟฟ้าด้านออกนั้นขึ้นอยู่กับโหลดซึ่งหากมีค่าไม่เท่ากันกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะส่งผลต่อระบบ อาทิเช่น หากโหลดภาระน้อยเกินไปค่าแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ที่นำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเพิ่มมากกว่าค่าพิกัดที่มาก ส่งผลให้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าเกิดการเสียหายได้ ดังนั้นเพื่อควบคุมให้แรงดันมีความสม่ำเสมอ ระบบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์มาควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านออกและด้านเข้า ให้มีค่าใกล้เคียงกัน

โครงงานนี้จะทำการสร้างอุปกรณ์ที่มีชื่อว่า Diversion Load Controller โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะต่อขนานกับโหลดหลักซึ่งหาก กำลังไฟฟ้าที่ผลิตมีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าถูกใช้ อุปกรณ์จะแบ่งกำลังไปทางโหลดของอุปกรณ์ ทำให้ผลรวมกำลังไฟฟ้าที่ใช้ กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตมีค่าใกล้เคียงกัน

อุปกรณ์นี้จะถูกควบคุมด้วยชุดไมโครคอนโทรเลอร์ ซึ่งใช้ภาษาแอสแซมบลีในการโปรแกรม โดยชุดไมโครคอนโทรเลอร์นี้จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์เข้าสู่วงจรขับโหลดโดยค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณพัลส์จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่เข้าสู่โหลดหลัก

Project Title	Diversion Load Controller in Renewable Energy Plant
Name	Mr. Noraset Suksub ID. 46363289
	Mr. Prakasit Rodchay ID. 46363305
Project Advisor	Dr. Somyotk Kaitwanidvilai
Major	Electrical Engineering.
Department	Electrical and Computer Engineering.
Academic Year	2006

Abstract

In pico hydro plant system, the power produced by this system is depended on mass flow rate of water. The output power is depended on load. However, if the produced power is not closed to output power, there are some effects to the system. For example, if the produced power is much higher than the output power, the terminal voltage of induction generator will be much higher than the rated voltage which results in damage of electrical equipment. By the reason, this system necessary to have a diversion load controller to control the equality of produced power and out power.

This project studies and develops the diversion load controller which shunts the main consuming load. If the produced power is more than the out power, this diversion load will operate to consume a power to made the summation of out power equal to the produced power.

The diversion load controller is controlled by microcontroller. Assembly language is applied for programming. The microcontroller sends out pulse to the circuit to drive load.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่านด้วยกัน ผู้จัดทำขอถือโอกาสนี้ขอกราบขอบพระคุณ

ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการสอบโครงงานทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์อย่างสูงในการทำโครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณเพื่อน ๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าชั้นปีที่ 4 และพี่ ๆ ปริญญาโททุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้านเสมอมา

ท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้จัดเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

นายนรเศรษฐ์ สุขทรัพย์

นายประกาศิต รอดฉาย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .... ก
Abstract .... ข
กิตติกรรมประกาศ .... ค
สารบัญ .... ง
สารบัญตาราง .... ฉ
สารบัญรูปภาพ .... ช
บทที่ 1 บทนำ
ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
ขอบข่ายโครงงาน 1
ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
งบประมาณที่ใช้ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน
กำลังไฟฟ้า 3
พาวเวอร์แฟคเตอร์ 5
วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด 5
ไมโครคอนโทรเลอร์ 7
มอสเฟต 14
วงจรแบ่งแรงดัน 17
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่อง Diversion Load Controller
การศึกษาการทำงาน 21
การออกแบบวงจรและชุดควบคุม 21
การสร้างชิ้นงาน 26
การทดสอบชิ้นงาน 27
บทที่ 4 วิธีทำการทดสอบและผลการทดสอบ
การทดสอบสัญญาณควบคุม 28
การทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยไม่ได้ทำการต่อเครื่อง Diversion Load Controller ..30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยต่อเครื่อง Diversion Load Controller 32
บทที่ 5 สรุปผลและการวิเคราะห์
สรุปผล 39
ปัญหาที่พบ 39
แนวทางการแก้ไขปัญหา 39
บรรณานุกรม 40
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก โปรแกรม 42
ประวัติผู้ทำโครงงาน 45

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดขา และรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	8
3.1	เปรียบเทียบอนาลอกทูดิจิตอล	23
4.1	แสดงผลการทดสอบสัญญาณควบคุม	29
4.2	แสดงผลการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยไม่ได้ทำการต่อเครื่องDiversion Load Controller	31
4.3	แสดงการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยต่อเครื่อง Diversion Load Controller	33

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระแสที่ไหนในวงจรล้าหลังแรงดันอยู่เป็นมุม ϕ	4
2.2	กระแสถูกแตกให้อยู่ในรูปกระแสอินเฟสกับกระแสรีแอคตีฟ	4
2.3	พาวเวอร์ไทรแองเกิ้ล	5
2.4	วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดพร้อมตัวเก็บประจุ	6
2.5	แสดงรูปคลื่นที่ตกคร่อมตัวต้านทาน	7
2.6	ขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรเลอร์	7
2.7	แสดงไดอะแกรมของ PIC16F877	12
2.8	แสดงวงจรสมมูลของมอสเฟต	14
2.9	โครงสร้างมอสเฟตแบบดีพลีชั่น	15
2.10	แสดงสัญลักษณ์ของมอสแบบดีพลีชั่น	15
2.11	แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์	16
2.12	แสดงสัญลักษณ์มอสเฟตแบบเอนฮานต์เมนต์	16
2.13	วงจรความต้านทานซึ่งต่อกันแบบอนุกรม	17
2.14	วงจรความต้านทานอย่างง่ายของวงจรความต้านทานแบบอนุกรม	19
3.1	บล็อกไดอะแกรม	21
3.2	วงจรแปลงและลดระดับสัญญาณแรงดัน	22
3.3	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	24
3.4	วงจรขยายสัญญาณควบคุม	24
3.5	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมการสร้างสัญญาณจุดชนวนมอสเฟต	25
3.6	แสดงวงจรของเครื่อง Diversion Load Controller	26
3.7	แสดงเครื่อง Diversion Load Controller ที่ประกอบสร็จสมบูรณ์	27
4.1	แสดงการทดสอบสัญญาณควบคุม	28
4.2	แสดงตัวอย่างสัญญาณควบคุมที่แรงดันไฟฟ้า 3.68 V_{dc}	29
4.3	แสดงการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยไม่ได้ทำการต่อเครื่องDiversion Load Controller	30
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าหลักเมื่อไม่ได้ต่อเครื่อง Diversion Load Controller	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	แสดงการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines)	32
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าระหว่าง ภาระไฟฟ้าหลักกับภาระไฟฟ้าของเครื่อง Diversion Load Controller	33
4.7	(ก) แสดงสัญญาณของภาระไฟฟ้าหลัก (หลอดไฟขนาด 100 W) (ข) ภาระไฟฟ้าของ เครื่อง Diversion Load Controller	34
4.8	(ก) แสดงสัญญาณของภาระไฟฟ้าหลัก (หลอดไฟขนาด 60 W) (ข) ภาระไฟฟ้าของเครื่อง Diversion Load Controller	35
4.9	(ก) แสดงสัญญาณของภาระไฟฟ้าหลัก (หลอดไฟขนาด 40 W) (ข) ภาระไฟฟ้าของเครื่อง Diversion Load Controller	36
4.10	(ก) แสดงสัญญาณของไม่มีภาระไฟฟ้าหลัก (ข) ภาระไฟฟ้าของเครื่อง Diversion Load Controller	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในระบบการผลิตไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปจะพบว่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าจะเท่ากับพลังงานทางกล($p = \tau\omega$) ส่วนพลังงานด้านออกจะเท่ากับ $vi\cos\theta$ ซึ่งเห็นได้ว่ากำลังทางกลขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำแต่เนื่องจากในหน่วยการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดจิ๋ว (pico plant) ซึ่งจะไม่มีตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าด้านเข้าไม่สามารถควบคุมได้ ส่วนกำลังไฟฟ้าด้านเอาท์พุตนั้นถูกใช้ไม่เท่ากันกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ แรงดันที่ด้านเอาท์พุตของเครื่องจักรกลจะไม่คงที่ อาทิเช่น หากโหลดภาระน้อยเกินไปค่าแรงดันจะเพิ่มมากกว่าค่าพิกัดมาก ส่งผลให้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าเกิดการเสียหายได้ ดังนั้นเพื่อควบคุมให้แรงดันมีความสม่ำเสมอ ระบบจำเป็นต้องมีมาควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านออกและด้านเข้า ให้มีค่าใกล้เคียงกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

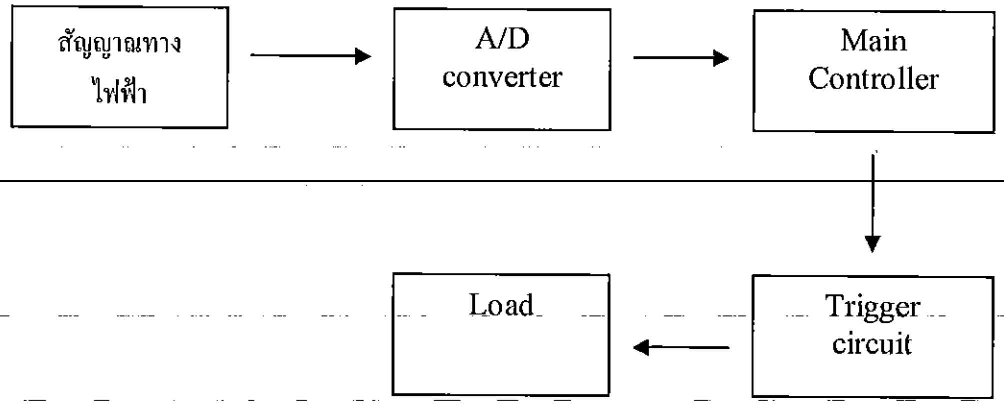
1. เพื่อสามารถสร้างเครื่อง Diversion Load Controller ในการควบคุมหน่วยผลิตไฟฟ้าขนาดจิ๋ว (ไม่เกิน 2 kW) ได้
2. สามารถนำความรู้ที่เรียนมาประยุกต์ใช้งานได้จริงกับระบบพลังงานทดแทน เช่น หน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลม พลังงานน้ำ

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

จากความต้องการดังกล่าวนั้น เราต้องนำเรื่องพลังงาน (Power) และแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่โหลดใช้มาทำการวิเคราะห์เพื่อออกแบบและสร้างวงจรควบคุมแรงดันขนาดพิกัด 220 V 1 kW และทดลองใช้จริงกับระบบพลังงานทดแทน โดยอุปกรณ์ไฟฟ้านี้จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆดังนี้

1. ส่วนแปลงสัญญาณ (Transducer)
2. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter)
3. ส่วนของหน่วยประมวลผล (Main Controller)
4. หน่วยควบคุมการไหลของกระแส (Trigger Circuit)

โดยส่วนประกอบทั้งหมดนี้จะต้องทำงานเรียงลำดับกันไปและจะต้องทำงานที่สอดคล้องกันด้วยเพื่อความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลที่ได้มาดังรูป



1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2548	ปี 2549				
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาค้นคว้าข้อมูลตัวไมโครคอนโทรเลอร์	←——	——→				
ศึกษาค้นคว้าข้อมูลA/D converter		←——	——→			
ออกแบบและเขียนโปรแกรม			←——	——→		
ทดลองระบบการทำงานและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ					←→	
สรุปการทดลองและทำรูปเล่มโครงงาน						←→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างเครื่องDiversion Load Controller และนำไปใช้ได้จริง
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Assembly
3. สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการใช้ได้

1.6 งบประมาณที่ใช้

ค่าวัสดุและอุปกรณ์ 2000 บาท (สองพันบาทถ้วน)

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐาน

ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่อง Diversion Load Controller จะต้องใช้ความรู้ด้าน กำลังไฟฟ้า ไมโครคอนโทรเลอร์ วงจรเรียงกระแสแบบบริดไดโอด และมอสเฟตมาใช้ในการสร้างเครื่องให้มีความสามารถในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า คือ พลังงานที่ใช้ไป 1 หน่วยวินาทีมีหน่วยเป็น วัตต์(W) หรือจูลต่อวินาที กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรกระแสตรงมีค่า เท่ากับ ผลคูณของแรงดันกับกระแสที่มีค่าคงที่และมีเฟสตรงกันซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ ได้ว่า

$$P = IE$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็วัตต์(W)

I คือ กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมปแปร์(A)

E คือ แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์(V)

กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรกระแสสลับมีความสลับซับซ้อนมากกว่าวงจรกระแสตรง เพราะ แรงดันกระแสของไฟสลับมีการเปลี่ยนแปลงขนาด(amplitude)ตลอดเวลานอกจากนี้มุมเฟสของวงจรที่เกิดขึ้นจากแรงดันกับกระแสยังมีการเปลี่ยนแปลง ไปด้วยเมื่อใช้โหลดที่แตกต่างกัน ดังนั้น กำลังลังไฟฟ้าสลับที่เกิดขึ้น ณ เวลาชั่วขณะหนึ่งนั้นจะมีค่า เท่ากับผลคูณของแรงดันกับกระแสที่เกิดขึ้น ณ เวลาในขณะนั้น โดยเขียนเป็นสมการได้ว่า $p = ie$

การพิจารณาและคำนวณเกี่ยวกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับในบทนี้เราจะ พิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ

1) กำลังไฟฟ้าปรากฏ (apparent power) เป็นกำลังที่จ่ายให้แก่วงจร ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏเห็นทางโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์
2) กำลังไฟฟ้าจริง (true power)
3) กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (reactive power)

2.1.1 กำลังไฟฟ้าในวงจรที่มีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว

จะเห็นว่า กระแสกับแรงดันในวงจรจะอินเฟสกัน นั่นคือ ค่าชั่วขณะใด ๆของกระแสทุก ๆค่าที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นพร้อม ๆกัน หรือเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันกับค่าชั่วขณะใด ๆ ของแรงดันทุกๆค่าที่เกิดขึ้น ดังนั้นเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$P = IE$$

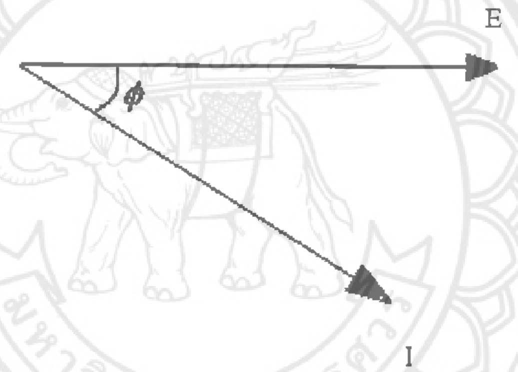
2.1.2 กำลังไฟฟ้าในวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำ

จะพบว่า กระแสที่ไหลในวงจรจะล้าหลังแรงดันเป็นมุม ϕ ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นว่า กระแส I ที่ไหนในวงจรจะล้าหลังแรงดัน E ที่จ่ายให้แก่วงจรอยู่เป็นมุม ϕ และในกรณีนี้แรงดันที่เกิดขึ้นจะไม่เท่ากับผลคูณของแรงดัน E กับกระแส I ที่ไหลในวงจร แต่จะมีค่าเท่ากับผลคูณแรงดัน E กับกระแส I ในส่วนที่เกิดขึ้นที่อินเฟสกับแรงดัน E ดังในรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า กระแส I ที่ไหลในวงจรล้าหลังแรงดัน E เป็นมุม ϕ นั้นเราสามารถที่จะแตกให้อยู่ในรูปของกระแสอินเฟสกับกระแสรีแอคตีฟ ได้ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

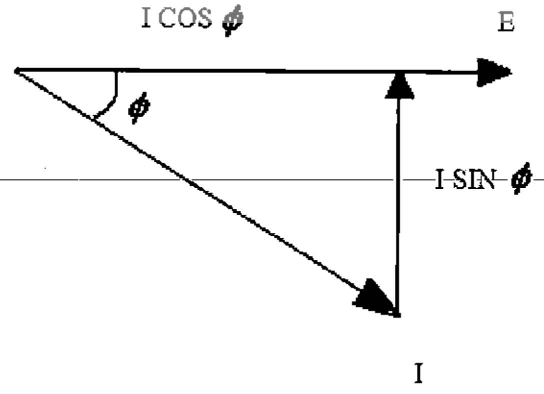
กระแสอินเฟส $= I \cos \phi$

กระแสรีแอคตีฟ $= I \sin \phi$

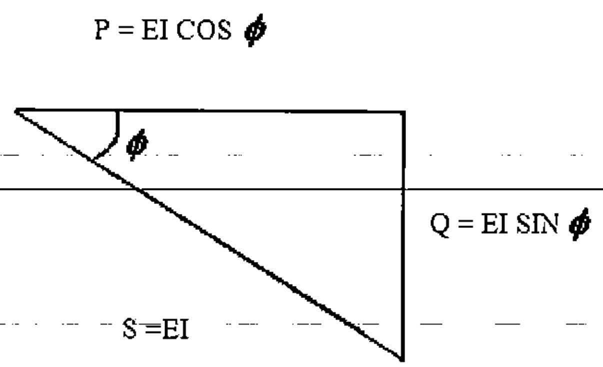
จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสในรูปที่ 2.2 เมื่อแรงดัน E คูณกับส่วนประกอบของกระแสทั้งสาม ก็จะได้พาวเวอร์ไทรแองเกิ้ล (Power triangle) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 กระแสที่ไหลในวงจรล้าหลังแรงดันอยู่เป็นมุม ϕ



รูปที่ 2.2 กระแสถูกแตกให้อยู่ในรูปกระแสอินเฟสกับกระแสรีแอคตีฟ



รูปที่ 2.3 พาวเวอร์ไทรเองเกิ้ล

จากพาวเวอร์ไทรแองเกิ้ลในรูปที่ 2.3 จะได้

กำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) = แรงดัน × กระแส = EI

กำลังไฟฟ้าจริง(P) = แรงดัน × กระแสอินเฟส = EI COS ϕ

กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ(Q) = แรงดัน × กระแสรีแอคตีฟ = EI SIN ϕ

2.2 พาวเวอร์แฟคเตอร์

พาวเวอร์แฟคเตอร์ (PF) หมายถึงอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้จากวัตต์มิเตอร์ต่อกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏที่วัดได้จากโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$PF = \frac{P}{S} = COS\phi$$

2.3 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอด

วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น ประกอบด้วยไดโอดจำนวน 4 ตัว และทรานฟอร์มเมอร์ไม่ต้องมี center tap โดยมีหลักการทำงานดังนี้

เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสัญญาณในครึ่งไซเคิลบวก ไดโอด D_1 กับ D_3 ได้รับการ forward bias ส่วนไดโอด D_2 กับ D_4 ได้รับ reverse bias จึงไม่นำกระแส ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ผ่านโหลดตัวต้านทาน R_1 ผ่าน D_3 เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลดตัวต้านทาน R มีค่าเท่ากับแรงดันที่ป้อน V_m

เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสัญญาณในครึ่งไซเคิลลบไดโอด D_1 กับ D_3 ได้รับการ reverse bias ในขณะที่ไดโอด D_2 กับ D_4 ได้รับ forward bias จึงนำกระแส ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1

ผ่านโหลดตัวต้านทาน R_1 ผ่าน D_3 เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลดตัวต้านทาน R มีค่าเท่ากับแรงดันที่ป้อน V_m

2.1.1 ตัวกรองความถี่ด้วยตัวเก็บประจุ

วงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแรงดันกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออก หน้าที่หลักของตัวเก็บประจุก็คือการลดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรให้มีค่าลดลง หรือหมายถึง ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าใกล้เคียงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมายิ่งขึ้น และความต้านทานจะแทนส่วนของโหลด ในขณะที่ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ (filter)

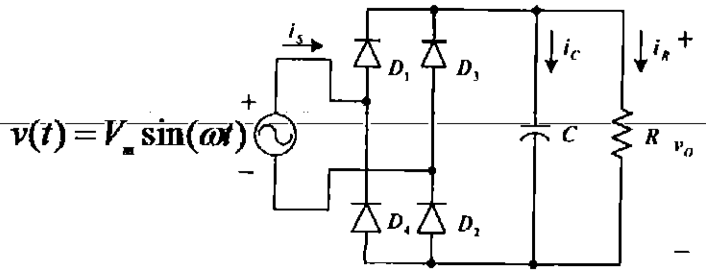
ถ้าสมมติให้ตัวเก็บประจุมีค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ ที่เวลา $\omega t = 0$ เมื่อตัวเก็บประจุสะสมประจุไปจนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแหล่งจ่าย (V_m) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายมีค่าสูงสุดที่ $\omega t = (\pi/2)$

ที่เวลา $\omega t > (\pi/2)$ แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายจะเริ่มมีค่าลดลง เป็นผลทำให้ตัวเก็บประจุทำการคายประจุ จ่ายพลังงานให้โหลด จนกระทั่งค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกจนมีผลทำให้ไดโอดหยุดนำกระแส ทำให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลงแบบเอ็กซ์โพแนเชียล ด้วยค่าคงที่ RC

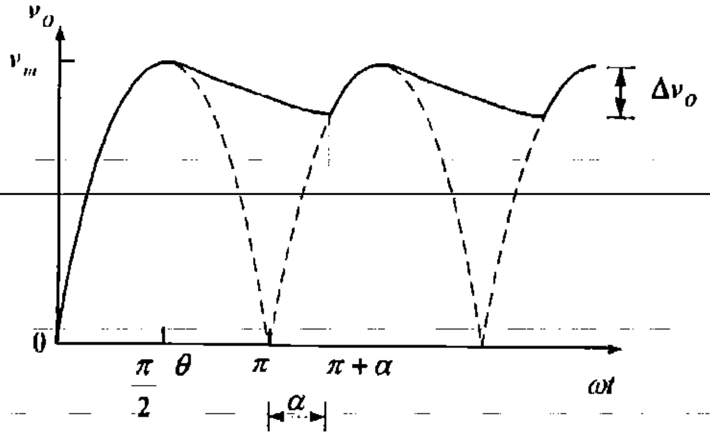
ณ จุดที่ไดโอดหยุดนำกระแส $\omega t = \theta$ ซึ่งจะได้แรงดันด้านออกเท่ากับ

$$v_o(t) = \left|V_m \sin(\omega t)\right| \qquad \text{ไดโอด 1 คู่นำกระแส}$$

$$v_o(t) = \left[V_m \sin(\theta)\right] \cdot e^{-\frac{(\omega t-\theta)}{\omega RC}} \qquad \text{ไดโอดไม่นำกระแส}$$



รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ไดโอดพร้อมตัวเก็บประจุ

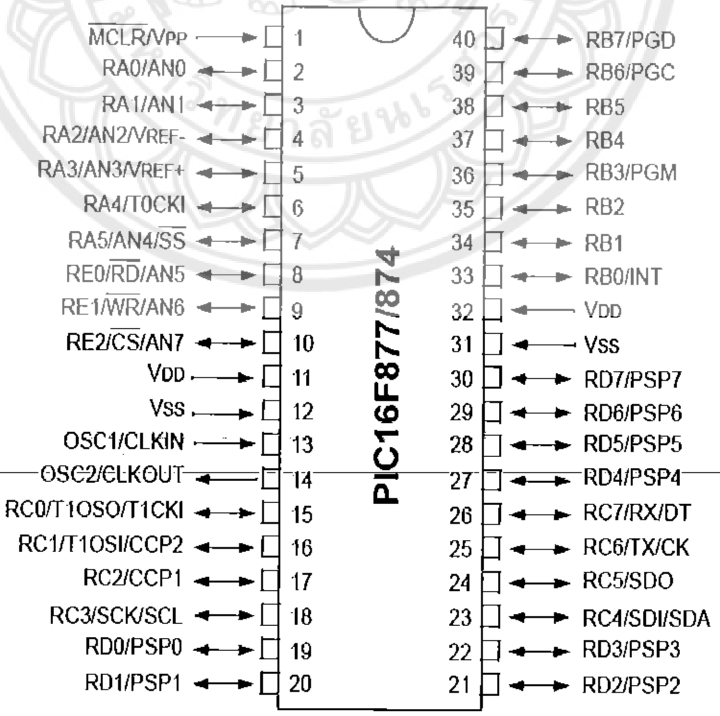


รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่นที่ตกคร่อมตัวต้านทาน

2.4 ไมโครคอนโทรเลอร์

ปัจจุบันมีการพัฒนาและแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำ ที่นำไปสร้างเป็นไอซีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นและมีเทคโนโลยีที่เกิดจากการผลิตของบริษัทต่างซึ่งส่งผลให้การผลิตไอซีมีขนาดเล็กลงและมีประสิทธิภาพและคุณสมบัติมากขึ้น

2.2.1 ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC 16F877



รูปที่ 2.6 ขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรเลอร์

ตารางที่ 2.1 แสดงชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดขา และรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
OSC1/CLKIN	13	อินพุต	- ขาต่อคริสตอล / รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
OSC2/CLKOUT	14	เอาต์พุต	- ขาต่อคริสตอล / ในโหมด RC เป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1/4 ของสัญญาณที่ขา OSC1
$\overline{MCLR}$/Vpp	1	อินพุต	- ขารับสัญญาณรีเซตหลักทำงานที่ลอจิก “0” - ขารับแรงดันโปรแกรม
RA0/AN0	2	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA0 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 0
RA1/AN1	3	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA1 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 1
RA2/AN2/VREF-	4	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA2 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 2 - อินพุตแรงดันอ้างอิงลบของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
RA3/AN3/VREF+	5	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA3 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 3 - อินพุตแรงดันอ้างอิงบวกของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
RA4/T0CKI	6	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA4 - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 0
RA5/AN4/$\overline{SS}$	7	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA5 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 4

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดขา และรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
			- ขาสัญญาณ Slave Select ใช้ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส
RB0/INT	33	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB0 - อินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก
RB1	34	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB1
RB2	35	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB2
RB3/PGM	36	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB3 - อินพุตรับแรงดันโปรแกรมต่ำถ้าเอ็นเอเบิลไว้
RB4	37	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB4
RB5	38	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB5
RB6/PGC	39	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB6 - ขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร
RB7/PGD	40	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB7 - ขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร
RC0/T1OSO/T1CKI	15	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB7 - เอาต์พุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 1
RC1/T1OSI/CCP2	16	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC1 -อินพุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์1 -อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบ/เอาต์พุต PWM สำหรับโมดูล CCP2
RC2/CPP1	17	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC2 -อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบ/เอาต์พุต PWM สำหรับโมดูล CCP1

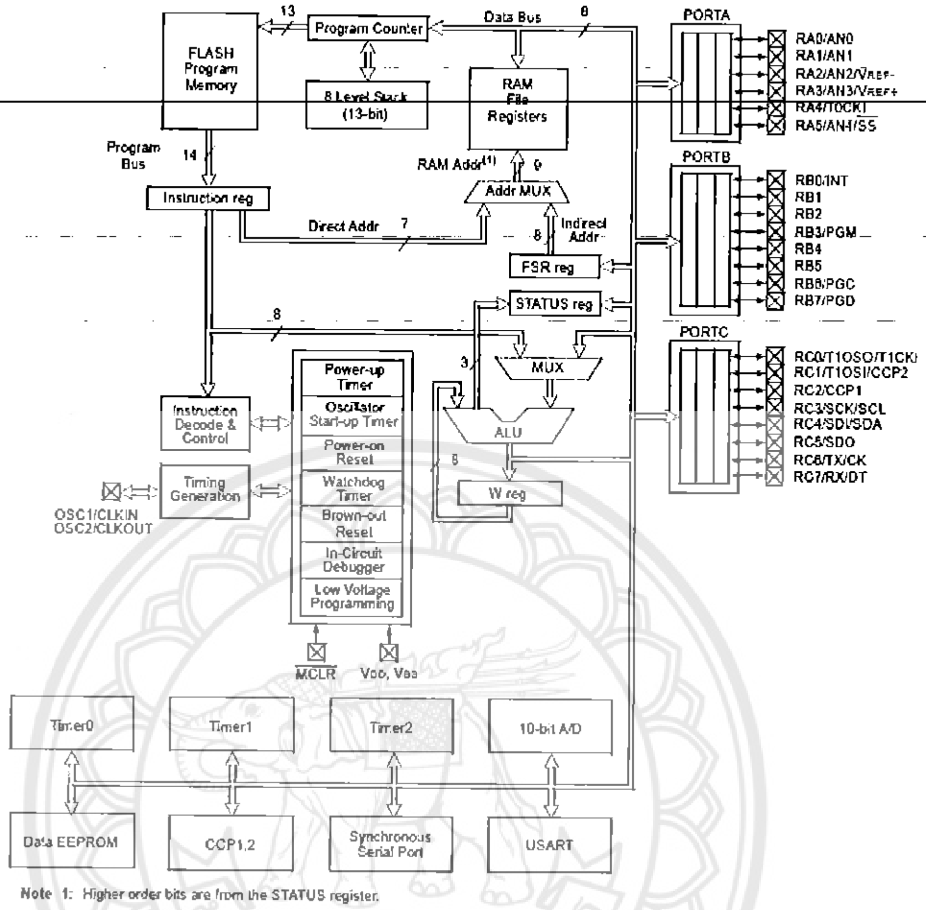
ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดขา และรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RC3/SCK/SCL	18	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC3 -ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจร SPI และระบบบัสI^2C
RC4/SDI/SDA	23	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC4 -ขาข้อมูลอินพุตวงจร SPI -ขาข้อมูลอนุกรมของระบบบัส I^2C
RC5/SDO	24	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC5 -ขาข้อมูลเอาต์พุตวงจร SPI
RC6/TX/CK	25	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC6 -ขาเอาต์พุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
RC7/RX/DT	26	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC7 -ขาอินพุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
RD0/PSP0	19	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD0 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต0
RD1/PSP1	20	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD1 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	21	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD2 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	22	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD3 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	27	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD4 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	28	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD5 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	29	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD6 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	30	อินพุต/	-ขาพอร์ต RD7

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดขา และรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
		เอาต์พุต	-ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7
RE0/$\overline{RD}$/AN5	8	อินพุต/ เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RE0 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 5 -ขาสัญญาณ RD ส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
RE1/$\overline{WR}$/AN6	9	อินพุต/ เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RE1 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 6 -ขาสัญญาณ WR ส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
RE2/$\overline{CS}$/AN7	10	อินพุต/ เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RE2 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 7 -ขาสัญญาณ CSn ส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
V_{DD}	11,32	อินพุต	-ขาต่อไฟเลี้ยง ใช้ได้ตั้งแต่ +2 ถึง +5.5V
V_{SS}	12,31	อินพุต	-ขาต่อกราวด์

2.1.2 โครงสร้างภายในชิพ



รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมของ PIC16F877

จากแผนผังจะมี Register สำคัญ ๆ คือ W ซึ่งเป็น Register ที่ใช้ในการทำเป็น Input ให้กับ ALU และเป็นตัวเก็บผลลัพธ์จากการทำงานของ ALU, STATUS เป็น Register ที่ใช้เก็บสถานะ การทำงานของคำสั่ง ว่าเมื่อคำสั่งทำงานเสร็จแล้วเกิดอะไรขึ้นมาบ้าง ซึ่งมีประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมแบบมีเงื่อนไข PC หรือ Program Counter เป็น Register อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากใช้สำหรับเป็นตัวชี้ว่า คำสั่งที่จะนำมาประมวลผลนั้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดในหน่วยความจำ

2.2.3 คุณสมบัติของ PIC16F877

2.2.3.1 มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง

2.2.3.2 คำสั่งหนึ่งๆใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle

2.2.3.3 ทำงานได้สูงสุดที่ 20MHz (PIC16F877-20/P ไม่ใช่ 16F877-04/p)

2.2.3.4 ทำงานแบบ Pipe-line (มี 2 ท่อ) ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อม ๆ กันได้

2.2.3.5 หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8 K Word (1 word=14 บิต)

2.2.3.6 มี RAM ขนาด 368 ไบต์ ให้เราใช้งาน

2.2.3.7 มี EEPROM ขนาด 256 ไบต์

2.2.3.8 ตอบสนองกับอินเตอร์รัปต์ได้ทั้งหมด 14 แหล่ง

2.2.3.9 มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ

2.2.3.10 มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up timer

2.2.3.11 Watchdog timer

2.2.3.12 มีระบบ Code Protection

2.2.3.13 มีโหมดประหยัดเงิน

2.2.3.14 สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือ วงจรRC ได้

2.2.3.15 สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5 VDC ได้

2.2.3.16 ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming

2.2.3.17 ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2 VDC ถึง 5.5 VDC

2.2.3.18 Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 25 mA

2.2.3.19 มี Timer/Counter 3 ตัว

2.2.3.20 มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด (มีระบบ PWM ควบคุม DC Motor ได้)

2.2.3.21 มี A-TO-D Converter แบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่องนำเข้า ในตัวเอง

2.2.3.22 มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232

2.2.3.23 มีระบบตรวจระดับไฟเลี้ยง (Brown-out reset)

2.2.3.24 มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต (แต่ว่าแต่ละพอร์ต มีจำนวนบิตไม่เท่ากัน)

2.1.4 หน้าที่ของพอร์ทต่างๆที่ใช้งาน

2.1.4.1 PORT A ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกทูดิจิตอล

PORTA มีขนาด 6 บิต ซึ่งเป็นพอร์ท ที่เป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาท์พุต โดยเลือกแบบใดแบบหนึ่ง สามารถเลือกได้จากรีจิสเตอร์ ที่มีชื่อว่า TRIA A ซึ่งถ้า TRIS A บิตถูกเซตเป็น '1' PORT A ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็ทำงานเป็นอินพุตส่วนถ้า TRISA บิตจะถูกเซตเป็น '0' PORT A ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็จะทำงานเป็นเอาท์พุต (พอร์ทจะอยู่ในสถานะเอาท์พุตแลทช์) การอ่านค่า PORTA รีจีสเตอร์คือการอ่านค่าสถานะของขา PORTA ในขณะนั้น ส่วนการเขียนค่าไปยัง PORTA คือการเขียนไปยังแลทช์ของพอร์ท ลักษณะการเขียนจะเป็นแบบ Read-

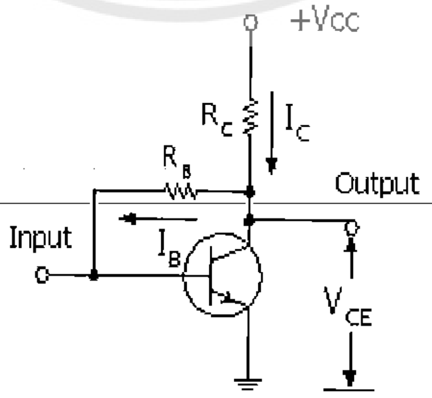
Modify-Write-Operation ซึ่งหมายความว่า ในการเขียนไปยังพอร์ทจะเริ่มด้วยการอ่านค่าพอร์ทนั้นมาก่อนแล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าจากนั้นก็ทำการเขียนกลับไปยังพอร์ทแลทช์ อีกครั้งหนึ่ง ขา RA4 จะถูกเชื่อมหลายทางกับ Timer0 โมดูลสัญญาณนาฬิกาอินพุต ซึ่งจะเรียกรวม ๆ ว่า RA/TOCKI โดยที่ขา RA/TOCKI จะเป็นลักษณะแบบอินพุตแบบสมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) และเอาท์พุตแบบเปิดพอร์ท RA ทั้งหมด จะมีระดับอินพุต TTL และมีเอาท์พุตแบบตัวขับ CMOS แบบเต็ม ส่วน PORT A ขาอื่น ๆ จะถูกเชื่อมจากขาอนาล็อกอินพุตและแรงดันอ้างอิง A/D อินพุตซึ่งการกำหนดการทำงานของแต่ละขาสามารถเลือกได้โดย ยกเลิกหรือเซตบิตคอนโทรล ใน ADCON1 รีจีสเตอร์

2.1.4.2 PORT B ของ PIC16F877 ใช้สำหรับทำการจุดชนวนมอสเฟต

PORT B เป็นลักษณะพอร์ทแบบสองทิศทาง ซึ่งรีจิสเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดค่าว่าพอร์ตใดจะเป็นแบบอินพุตหรือเอาท์พุต จะถูกกำหนดโดย TRISB รีจิสเตอร์ถ้า TRISB บิตใดเป็น '1' PORT B ที่บิตนั้นก็จะเป็นอินพุต ถ้ายกเลิก TRISB บิตใดเป็น '0' PORT B ที่บิตนั้นก็จะเป็นเอาท์พุตขาสามขาของ PORT B จะเชื่อมต่อหลายทางกับฟังก์ชั่นการโปรแกรมด้านแรงดันต่ำ (Low Voltage Programming Function) ซึ่งได้แก่ RB3/PGM, RB6/PGC และ RB7/PGD

2.5 มอสเฟต (MOSFETs)

มอสเฟตมาจากคำว่า Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor เป็นเฟสที่ประกอบ ด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งได้รับการเคลือบผิวบางส่วนด้วยโลหะออกไซด์ข้อเด่นของมอสเฟตคือมีค่าความต้านทานอินพุตสูงมาก

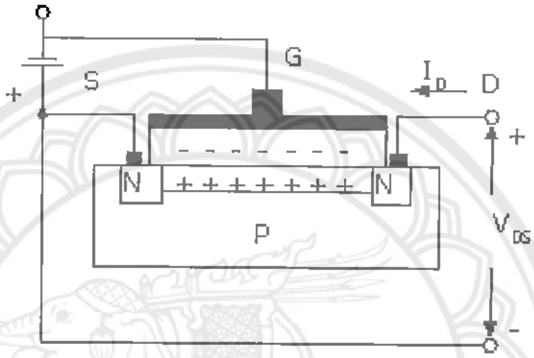


รูปที่ 2.8 แสดงวงจรสมมูลของมอสเฟต

(จาก http://www.chontech.ac.th)

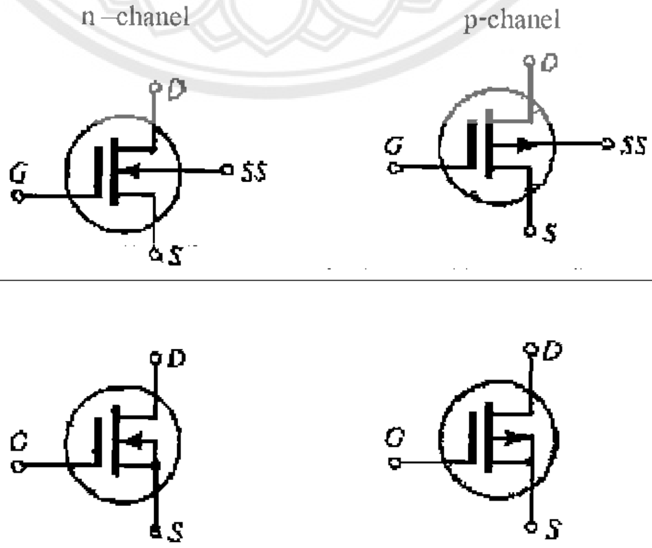
มอสเฟตจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ดีพลีชั่น (Depletion) และเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement) แต่ละประเภทแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบแชลเนลเอ็น (n) แบบแชยแนลพี (p)

การทำงานของมอสเฟสแบบดีพลีชั่นหรือดีมอสเฟต (D-MOSFET) พิจารณาดังรูป ให้ขาเกต (GATE) มีแรงดันเป็นลบเมื่อเปรียบเทียบกับขาซอร์ส (SOURCE) จะทำให้ประจุลบเกิดขึ้นที่ขาเกตและเกิดประจุบวกขึ้นทางด้านที่ติดฉนวนซิลิกอนออกไซด์ส่งผลให้เนื้อสารเอ็นที่มีอยู่น้อยมีขนาดลดลงทำให้ช่องว่างระหว่างขาเดรนและซอร์สมากขึ้นกระแสก็จะไหลได้น้อยลง



รูปที่ 2.9 โครงสร้างมอสเฟตแบบดีพลีชั่น

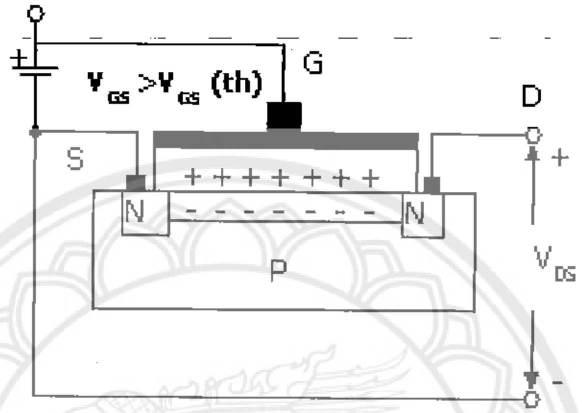
(จากhttp://www.chontech.ac.th)



รูปที่ 2.10 แสดงสัญลักษณ์ของมอสแบบดีพลีชั่น

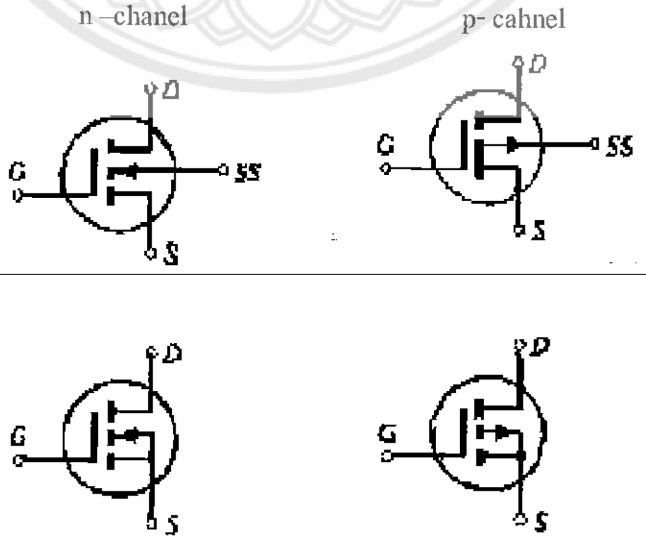
(จาก http://www.chontech.ac.th)

การทำงานของมอสเฟตแบบเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement) พิจารณาดังรูปที่ เนื่องจากสารเอ็นที่ขาเดรนและซอร์สเป็นสารพีซึ่งแตกต่างจากมอสเฟตแบบดีพลีชั่นทำให้เมื่อป้อนแรงดันบวกเข้าที่ขาเกตเกิดประจุลบขึ้นทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากสารเอ็นที่ซอร์สมาขาเดรนได้ดังนั้นมอสเฟตแบบนี้จะทำงานได้ต้องป้อนแรงดันที่ขาเกตเป็นแรงดันบวกเท่านั้นและแรงดันระหว่างขาเกตและซอร์ส ที่ป้อนให้นี้ต้องมีค่ามากกว่า



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์

(จาก http://www.chontech.ac.th)



รูปที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์มอสเฟตแบบเอนฮานต์เมนต์

(จาก http://www.chontech.ac.th)

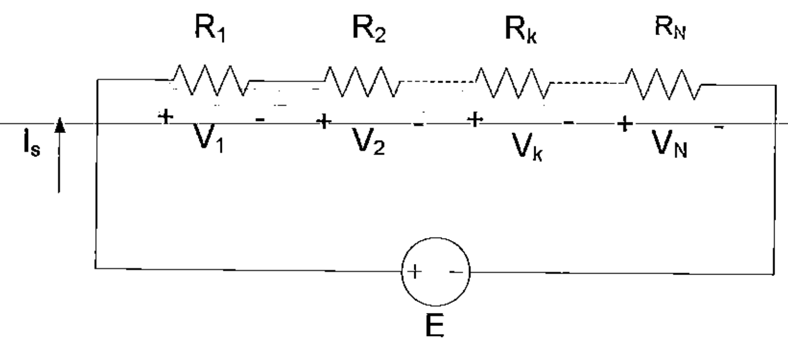
เมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกต กับขาซอร์ส อย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาของการสวิตชิ่งของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาที ถึงหลักร้อยนาโนวินาทีซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดมอสเฟตกำลัง

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ส จะขึ้นอยู่กับการทำงานของแรงดันไฟฟ้าหากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์สมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction losses) เช่น มอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดัน 1,000 โวลต์ จะมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์สมากกว่ามอสเฟตกำลังที่มีค่าพิกัดการทำงานของแรงดัน 200 โวลต์ ดังนั้นการสูญเสียจากการนำกระแสของเฟตกำลังที่ทนได้ 1,000 โวลต์ จะมีกำลังสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแสมากกว่าของมอสเฟตกำลังที่ทนได้ 200 โวลต์

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์สของมอสเฟตกำลัง จะมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก คือเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นความต้านทานก็จะมากขึ้น มอสเฟตกำลังจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้ง่ายหากต้องการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตกำลังจะมีคุณสมบัติต่าง ๆ
เหมือนกันมากที่สุดจะสามารถนำมาต่อกันได้

2.6 วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

โดยทั่วไป วงจรความต้านทานหรือวงจรกระแสตรงอาจจะประกอบด้วยต้นแรงดันและต้านทานอย่างละหลาย ๆ ตัวต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมดังแสดงไว้ในรูป 2.10 ซึ่งอาจเรียกการต่อความต้านทานลักษณะนี้ว่า การต่อความต้านทานแบบอนุกรม



รูปที่ 2.13 วงจรความต้านทานซึ่งต่อกันแบบอนุกรม

รูปที่ 2.10 แสดงถึงการกำหนดทิศทางให้กับกระแส I_s และแรงดัน $V_1, V_2, \ldots, V_k, \ldots, V_N$ ซึ่งไม่รู้ค่า ตกคร่อมตัวความต้านทาน $R_1, R_2, \ldots, R_k, \ldots, R_N$ ที่รู้ค่า จำนวน N ตัว ตามลำดับ

จากกฎของโอห์ม สามารถเขียนเป็นสมการของวงจรชุดแรกจากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวของวงจรในรูปที่ 2.7 ได้ว่า

$$
\begin{aligned}
V_1 &= I_s R_1 \\
V_2 &= I_s R_2 \\
\vdots \;\; & \;\; \vdots \;\; \vdots \\
V_k &= I_s R_k \\
\vdots \;\; & \;\; \vdots \;\; \vdots \\
V_N &= I_s R_N
\end{aligned}
\tag{2.1}
$$

ต่อจากนั้น พิจารณาวงปิดของวงจรในรูปที่ 2.10 โดยการใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) สามารถ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = V_1 + V_2 + \ldots + V_k + \ldots + V_N \tag{2.2}$$

เมื่อแทนค่าแรงดันจากสมการ (2.1) ลงในสมการ (2.2) จะได้

$$
\begin{aligned}
E &= I_s R_1 + I_s R_2 + \ldots + I_k R_k + \ldots + I_s R_N \\
&= I_s (R_1 + R_2 + \ldots + R_k + \ldots + R_N) \\
&= I_s R_s
\end{aligned}
\tag{2.3}
$$

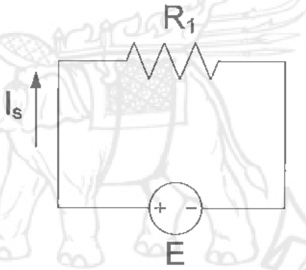
โดยที่ R_s คือความต้านทานรวมแบบอนุกรม (Series Resultant Resistance) ของวงจรไฟฟ้าที่ต่อความต้านทานเข้าด้วยกันแบบอนุกรม ดังนั้น ถ้ามีตัวต้านทานจำนวน N ตัวมาต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมดังที่แสดงไว้ในรูป 2.10 สามารถหาค่าของความต้านทานรวม R_s ได้เป็นผลรวมของค่าของความต้านทานทุกตัวซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$R_s = \sum_{k=1}^{N} R_k \tag{2.4}$$

จากสมการ (2.3) ยังสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของต้นแรงดัน E ที่ตกคร่อมความต้านทานรวมแบบอนุกรม R_s ในรูปแบบกระแสไฟฟ้า I_s ที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ได้ดังนี้

$$I_s = \frac{E}{R_s} \tag{2.5}$$

ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ในสมการ (2.5) เป็นวงจรความต้านทานอย่างง่าย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.14 วงจรความต้านทานอย่างง่ายของวงจรความต้านทานแบบอนุกรม

เมื่อ นำค่ากระแส I_s จากสมการ (2.5) แทนลงในสมการ (2.1) สามารถเขียนสมการแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานแต่ละตัว ได้เป็น

$$V_1 = (\frac{R_1}{R_s})E$$

$$V_2 = (\frac{R_2}{R_s})E$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$V_k = (\frac{R_k}{R_s})E$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$V_N = (\frac{R_N}{R_s})E$$

จะพบว่า แรงดัน E ถูกแบ่งออกเป็นแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน V_k สำหรับ $k = 1,2,3,\ldots,N$ ซึ่งมีอัตราส่วน $\frac{V_i}{V_k} = \frac{R_i}{R_k}$ เมื่อ $i = \{1,2,3,\ldots,N\}$ และ $i \neq k$ จึงมีการเรียกวงจรความต้านทานแบบอนุกรมนี้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็น วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้างเครื่อง Diversion Load Controller

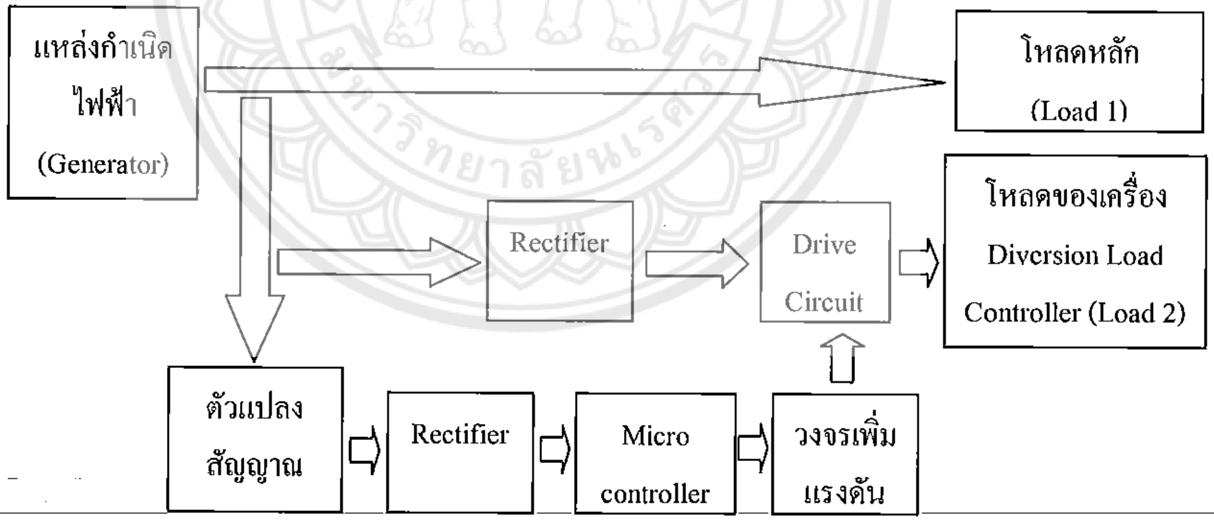
การสร้างเครื่อง Diversion Load Controller สำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้าของโหลดให้ได้เท่ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด มีวิธีการดำเนินงาน 4 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้ คือ การศึกษาการทำงาน การออกแบบวงจรและชุดควบคุม การสร้างชิ้นงาน การทดสอบชิ้นงาน

3.1 การศึกษาการทำงาน

การศึกษาการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนที่สำคัญ คือ การศึกษาหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า การศึกษาหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และการศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา PIC BASIC PRO

3.2 การออกแบบวงจรและชุดควบคุม

3.2.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



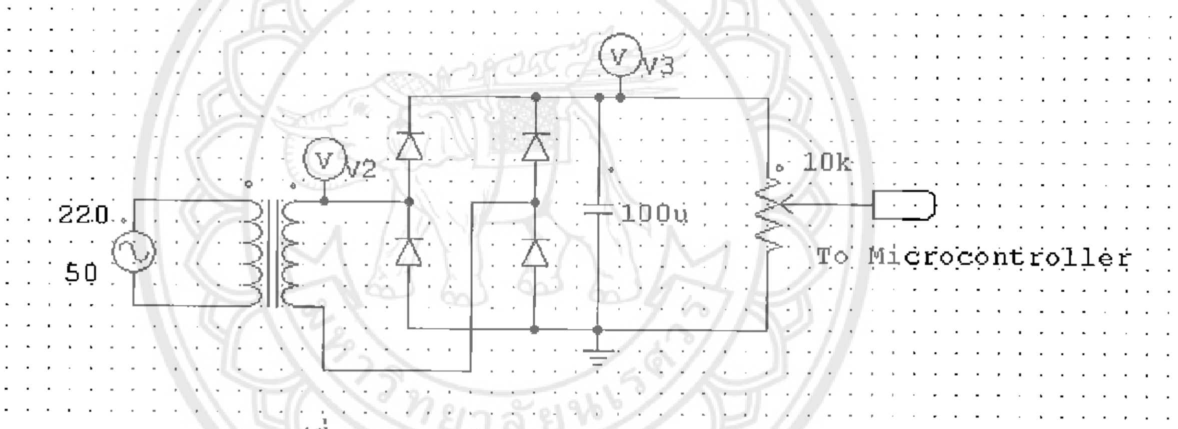
รูปที่ 3.1 บล็อคไดอะแกรมการทำงาน

จากรูปแสดงวงจรต่าง ๆ ในการสร้างเครื่อง Diversion Load Controller โดยนำไฟจากแหล่ง กำเนิดไฟฟ้า (Generator) เข้าตัวแปลงสัญญาณลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงแล้วเข้าวงจรเร็กติ

ไฟล์เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วเข้าวงจรเพิ่มแรงดันเพื่อส่งไปทริกที่วงจรขับโหลดของเครื่อง Diversion Load Controller

3.2.2 ตัวแปลงสัญญาณและเร็กติไฟล์ (Rectifier)

ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 220 V ลงมาเหลือ 6 V แล้วเข้าวงจรเร็กติไฟล์ (Rectifier) เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าแบ่งแรงดันลงมาเพื่อให้เหลือ 3 V เพื่อที่จะนำเข้า A/D Converter ได้ ในการปรับระดับสัญญาณเพื่อเข้า A/D Converter โดยแรงดันดีซีที่ป้อนเข้าไปนี้จะต้องคำนึงถึงว่าเมื่อแรงดันเข้าไปแล้วจะต้องไม่ทำให้ค่าสูงสุดของสัญญาณที่รับเข้ามานั้นเกินกว่าค่าแรงดันอ้างอิงของ A/D Converter และจะต้องไม่น้อยเกินไปที่จะทำให้ค่าต่ำสุดของสัญญาณที่รับเข้ามานั้นต่ำกว่าค่าแรงดันอ้างอิงด้านต่ำของ A/D Converter



รูปที่ 3.2 วงจรแปลงและลดระดับสัญญาณแรงดัน

3.2.3 การวิเคราะห์วงจรด้วยโปรแกรม PSIM (Power Simulation)

โปรแกรม PSIM เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าซึ่งจะเป็นการทดลองผลทางคอมพิวเตอร์ก่อนทำการทดลองในวงจรจริง เพื่อจะได้นำผลที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับวงจรที่สร้างขึ้นจริงซึ่งจะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

วาดวงจรลงในโปรแกรม โดยเลือกอุปกรณ์ที่มีอยู่ในชุดสำเร็จ (Elements) ของโปรแกรมซึ่งจะได้ดังรูปที่ 3.1

3.2.4 วงจร A/D Converter

เป็นวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยจะต้องใช้ A/D Converter 10 บิต คือ จะมีความละเอียดในการแปลงสัญญาณได้ 1024 ระดับ

3.2.5 การออกแบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ในการออกแบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับเครื่อง Diversion Load Controller ประกอบด้วย

วงจรการทำงานพื้นฐานดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและลดระดับมาให้ไม่เกิน 5 V เพื่อส่งสัญญาณเข้าไมโครคอนโทรล- เลอร์ PIC16F877 จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยหาได้จาก

$$\frac{\text{ค่าสัญญาณดิจิตอลสูงสุด}}{\text{แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุด}} \times \text{แรงดันไฟฟ้ากระตรงที่เข้ามา}$$

และการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ทุก ๆ 10 % ของ Duty Cycle พิจารณาได้จาก

$$\frac{\text{ค่าสัญญาณดิจิตอลสูงสุด - ค่าสัญญาณดิจิตอลต่ำสุดที่ใช้ในการประมวลผล}}{\text{จำนวนช่วง Duty Cycle ที่ต้องการ}}$$

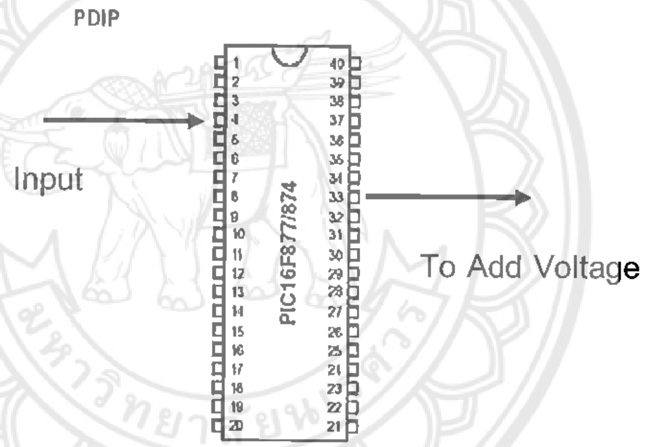
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบอนาล็อกทูดิจิตอล

แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่าย (V)	ADC	Duty Cycle (%)
200	น้อยกว่า 615	0
213	656	10
226	697	20
240	738	30
253	779	40
266	820	50
280	861	60
293	902	70
306	943	80
320	984	90
332	1023	100

ตาราง ADC เปรียบเทียบกับแรงดันอินท์พุต (V) ใช้ในการเปรียบเทียบอนาล็อกทูดิจิตอล เพื่อนำสัดส่วนในตารางนี้ไปเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณจุดชนวนมอสเฟต

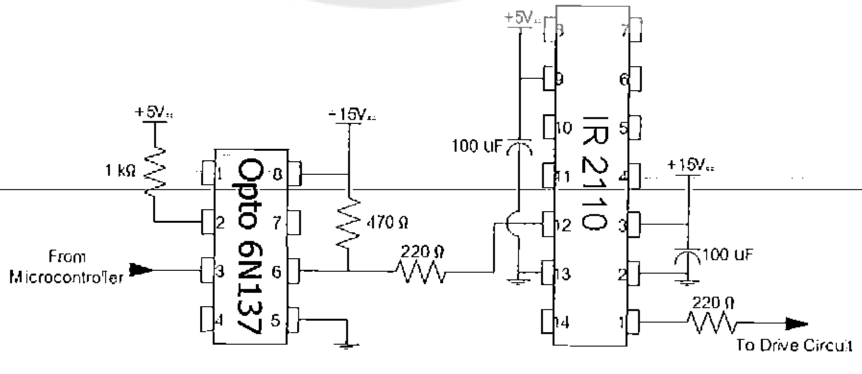
วงจรที่จะนำมาใช้ในการขับให้มอสเฟต (MOSFETs) ทำงาน ซึ่งจากการออกแบบเราได้ทำการแยกวงจรออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบทางด้านแรงดันสูงกับระบบทางด้านแรงดันต่ำออกจากกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรของวงจรทางด้านแรงดันสูง ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมหรือไมโคร-คอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงเกิดการเสียหายได้ ด้วยใช้ออปโต (Opto) เบอร์ 6N137 แล้วส่งสัญญาณควบคุมจากออปโตไปยังวงจรขยายสัญญาณ

ในส่วนวงจรขยายสัญญาณ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณควบคุมระดับแรงดัน ไฟฟ้ากระแสตรง 5 V เป็นระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 V เพื่อนำไปขับมอสเฟตให้ทำงานตามระบบควบคุมที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

(จาก http://www.etteam.com)



รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณควบคุม

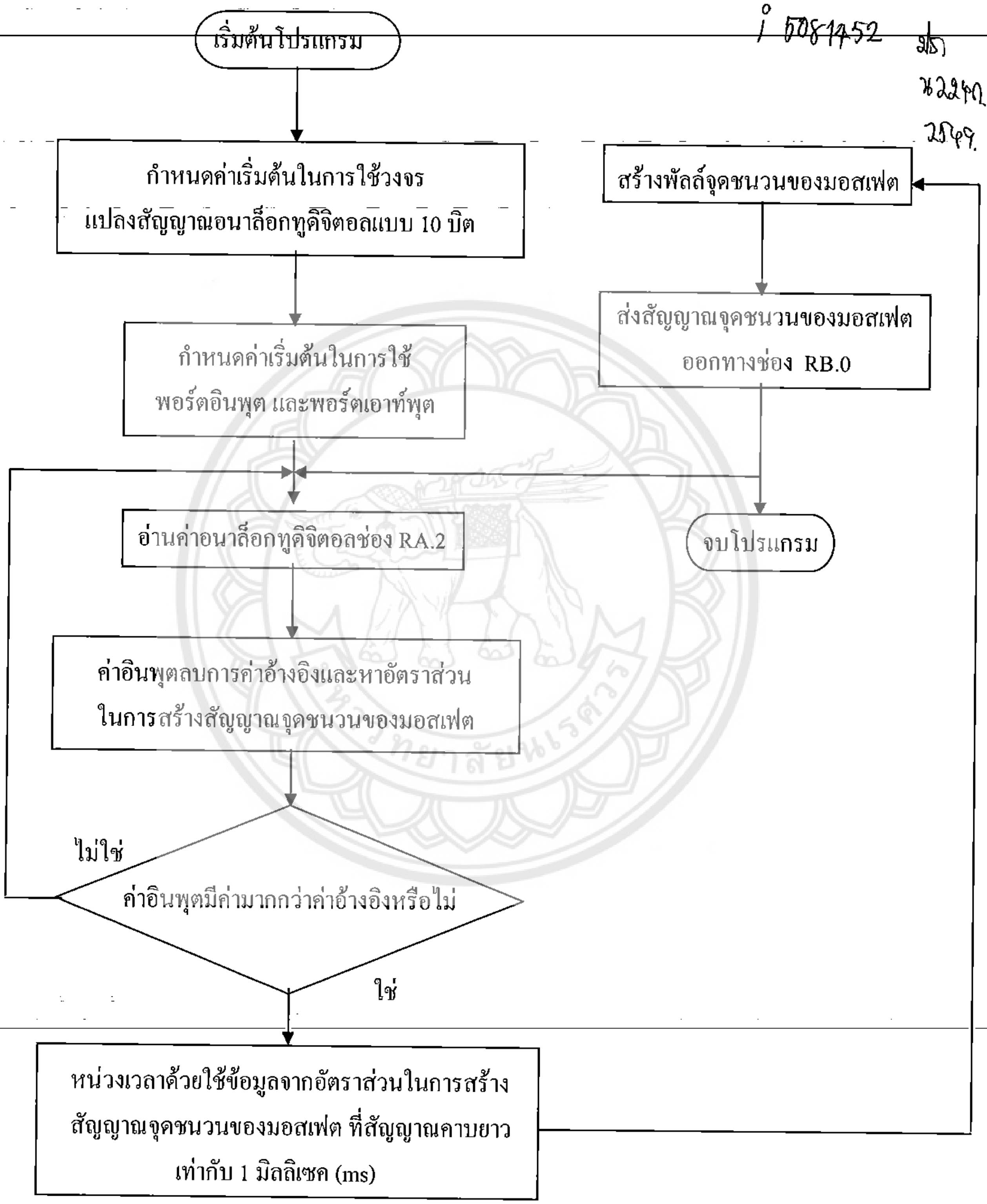
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

5000101

3.2.6 Flowchart

แสดงการทำงานของโปรแกรมการสร้างสัญญาณจุดชนวนมอสเฟต

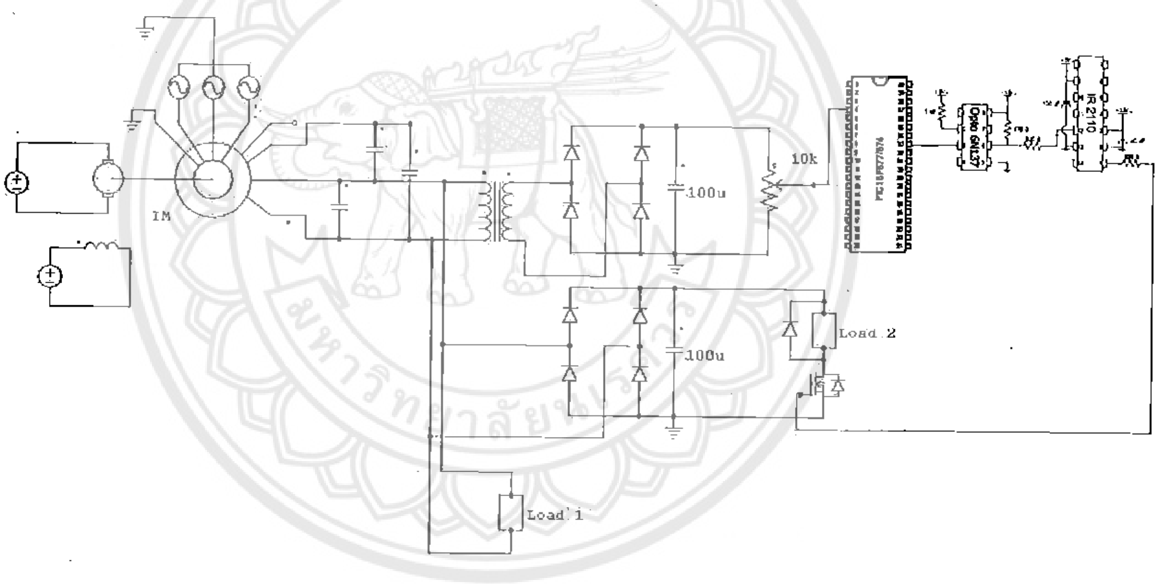
i 50814452
น2247
2549



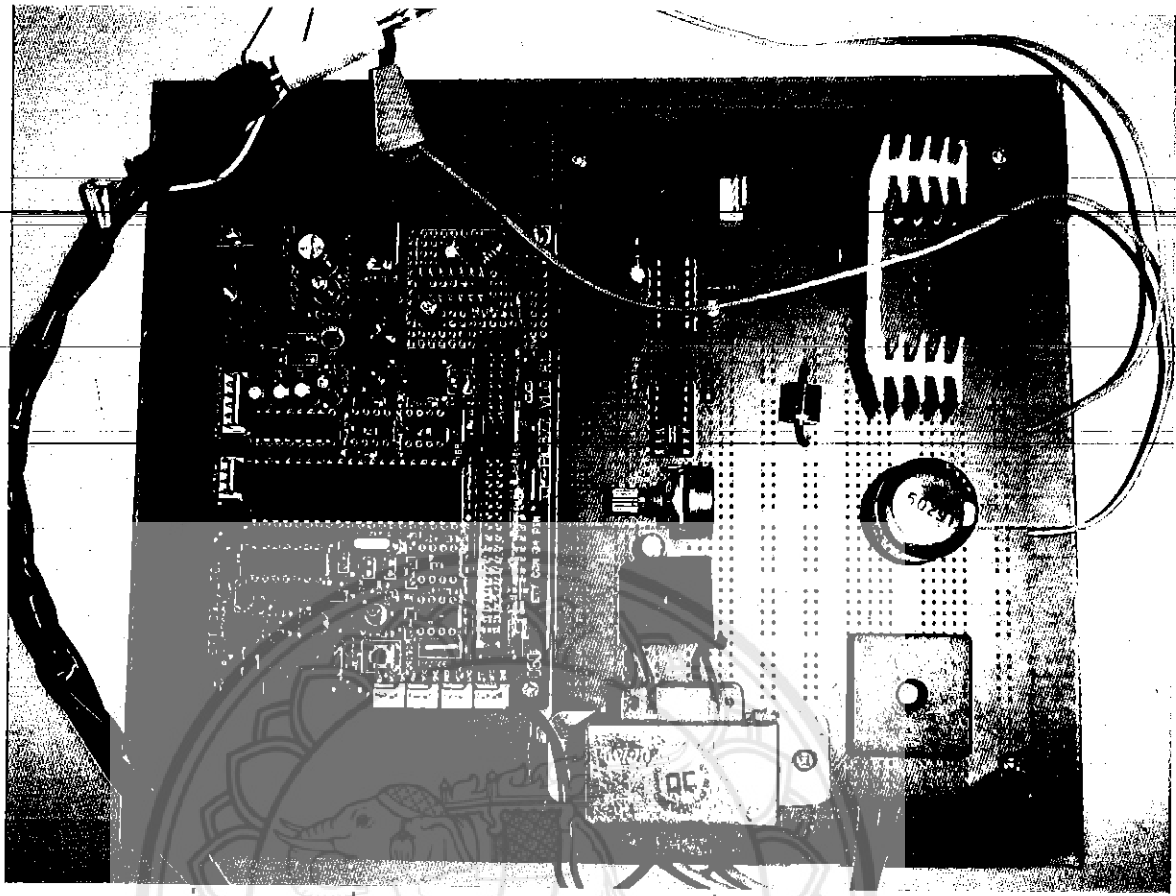
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมการสร้างสัญญาณจุดชนวนมอสเฟต

โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณจุดชนวนเกตของมอสเฟตในวงจรขับ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแปลงสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกตัวต้านทานแบบปรับค่าลดลงมา (ไม่เกิน 5 V) ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณจุดชนวนมอสเฟตด้วยสัญญาณที่เข้ามาวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกทูดิจิตอลช่อง RA.2 (ADC) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จากนั้นค่าสัญญาณที่ถูกแปลงเป็นดิจิตอลจะถูกเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง (200 V, 3 V ที่เข้าไมโคร-คอนโทรลเลอร์ หรือ 615 ที่แปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล) แล้วถ้าสัญญาณนั้นมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลหาอัตราส่วนในการสร้างสัญญาณจุดชนวนของมอสเฟตดังตารางเปรียบเทียบ ADC โดยสัญญาณจุดชนวนของมอสเฟตจะมีการหน่วงเวลาที่ 1 ms และส่งสัญญาณจุดชนวนของมอสเฟตออกทางช่อง RB.0 เพื่อไปเข้าในส่วนขยายสัญญาณต่อไป

3.3 การสร้างชิ้นงาน



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรของเครื่อง Diversion Load Controller



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่อง Diversion Load Controller ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.4 การทดสอบชิ้นงาน

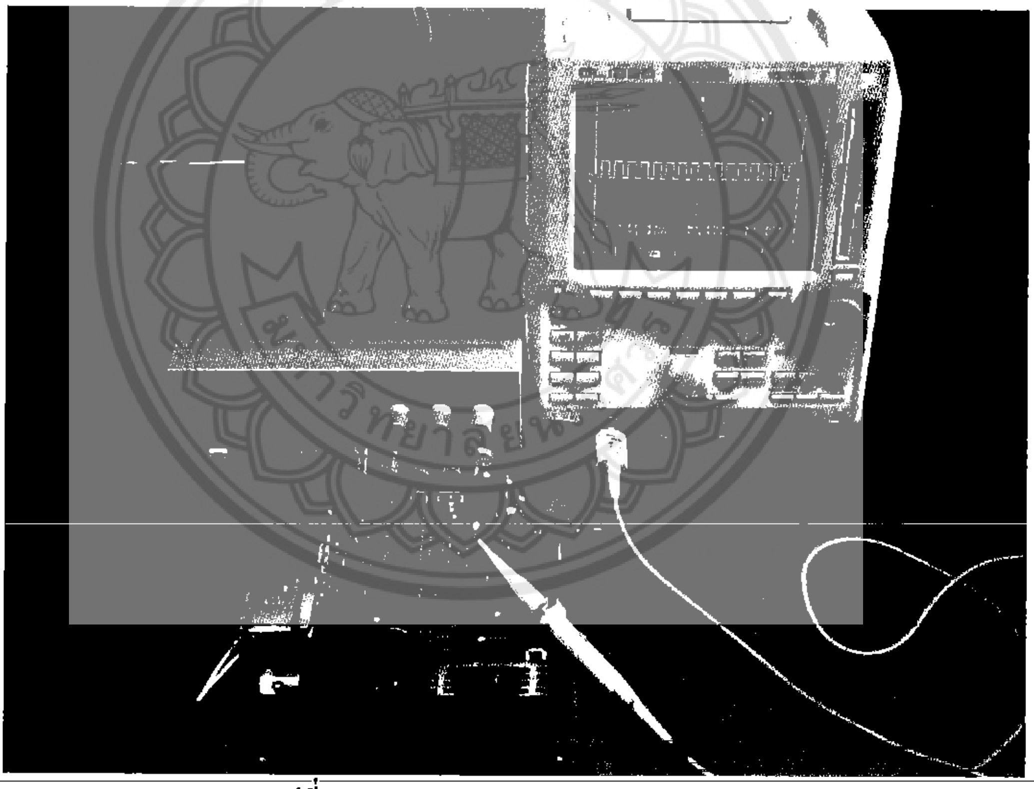
การทดสอบชิ้นงานเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่อง Diversion Load Controller ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณี คือ การทดสอบสัญญาณควบคุม, ทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines) โดยไม่ได้ทำการต่อเครื่อง Diversion Load Controller และทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines) โดยต่อเครื่อง Diversion Load Controller

บทที่ 4
วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบและผลการทดสอบของเครื่อง Diversion Load Controller ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณี คือ การทดสอบสัญญาณควบคุม, ทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines) โดยไม่ได้ทำการต่อเครื่อง Diversion Load Controller และการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines)

4.1 การทดสอบสัญญาณควบคุม

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1

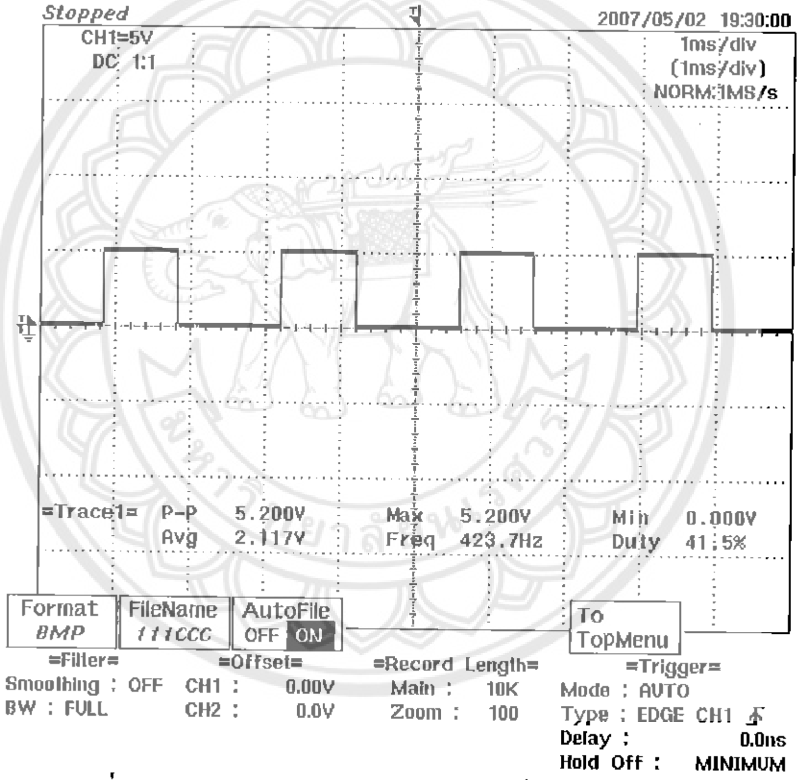


รูปที่ 4.1 แสดงการทดสอบสัญญาณควบคุม

การทดสอบสัญญาณควบคุม เริ่มต้นโดยการนำ DC Supply จ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าทางขา RA.2ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ระดับแรงดันต่าง ๆ และใช้เครื่อง Yokagawa ตรวจสอบสัญญาณพัลส์จากขา RB.0 และนำไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบสัญญาณควบคุม

แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)	**Duty Cycle (%)**
2.91	0
3.00	10
3.24	20
3.46	30
3.68	40
3.92	50
4.00	100



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างสัญญาณควบคุมที่แรงดันไฟฟ้า 3.68 V

ผลการทดสอบสัญญาณควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่า ที่แรงดันไฟฟ้า น้อยกว่า 2.91 V หรือเปรียบเทียบ คือ แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 200 V จะไม่สร้างสัญญาณควบคุม เมื่อแรงดัน ไฟฟ้า 3.00 V หรือแรงดันไฟฟ้า 213 V จะสร้างสัญญาณควบคุมที่ 10 Duty Cycle, แรงดันไฟฟ้า 3.24 V หรือแรงดันไฟฟ้า 226 V จะสร้างสัญญาณที่ 20 Duty Cycle, แรงดันไฟฟ้า 3.46 V หรือแรงดันไฟฟ้า 240 V จะสร้างสัญญาณที่ 30 Duty Cycle, แรงดันไฟฟ้า 3.68 V หรือแรงดันไฟฟ้า 253 V จะสร้างสัญญาณที่ 40 Duty Cycle, แรงดันไฟฟ้า 3.92 V หรือ

แรงดันไฟฟ้า 266 V จะสร้างสัญญาณที่ 50 Duty Cycle และเมื่อแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 4 V จะสัญญาณควบคุมที่ 100 Duty Cycle

4.2 การทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยไม่ได้ทำการต่อเครื่อง Diversion Load Controller

เป็นการทดสอบระดับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ที่ต่อกับโหลดหลัก (หลอดไฟยี่ห้อ Phillips ขนาด 100, 60, 40 Wและไม่มีโหลด) โดยไม่ได้ทำการต่อเครื่อง Diversion Load Controller

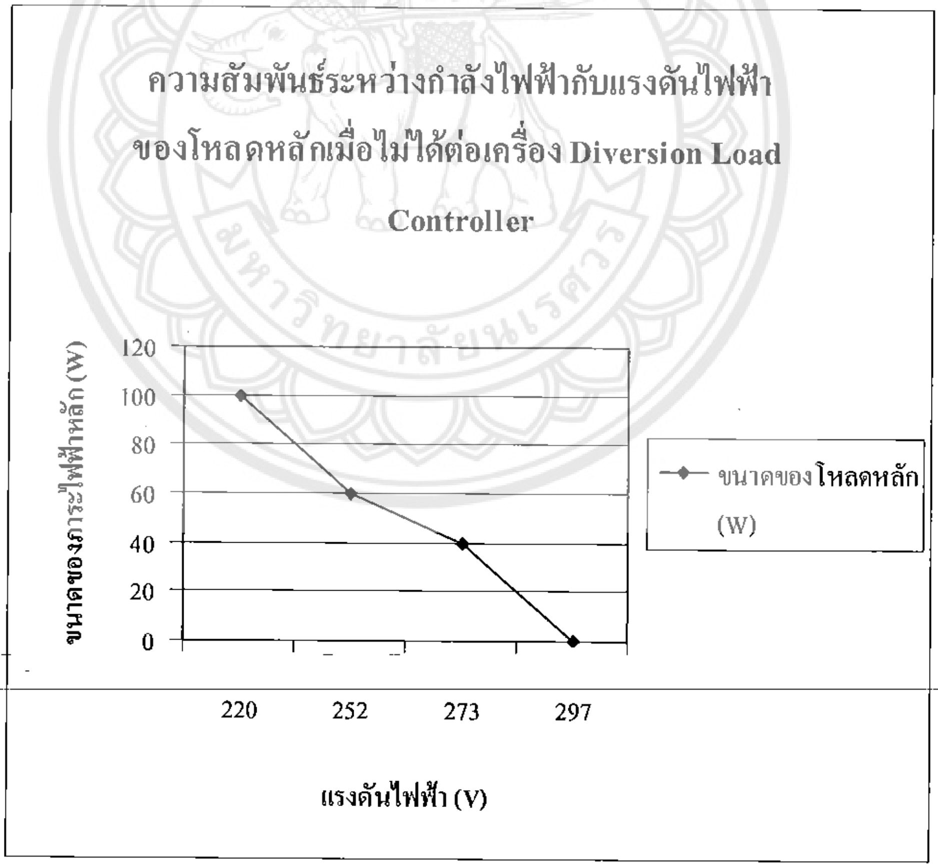
รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยไม่ได้ทำการต่อเครื่อง Diversion Load Controller

การทดสอบกับเครื่องอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines) โดยไม่ได้ทำการต่อเครื่อง Diversion Load Controller ผู้วิจัยได้กำหนดให้โหลดที่ 100 W คือ โหลดเต็มที่ (Full Load) เริ่มต้นโดยทำอินดักชั่นแมชชีนให้จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 100 W) ที่ 220 V แล้วเก็บข้อมูลของโหลดโดยการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดไฟ จากนั้นทำซ้ำเหมือน

โหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 100 W) โดยเปลี่ยนโหลดหลักจากหลอดไฟขนาด 100 W เป็น 60, 40 W และไม่มีโหลด ตามลำดับ จากการทดสอบดังกล่าวจะได้ผลของระดับแรงดันที่กำลังไฟฟ้าเป็นดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยไม่ได้ทำการต่อเครื่องDiversion Load Controller

ขนาดของโหลดหลัก (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)
100	220
60	252
40	273
ไม่มี	297

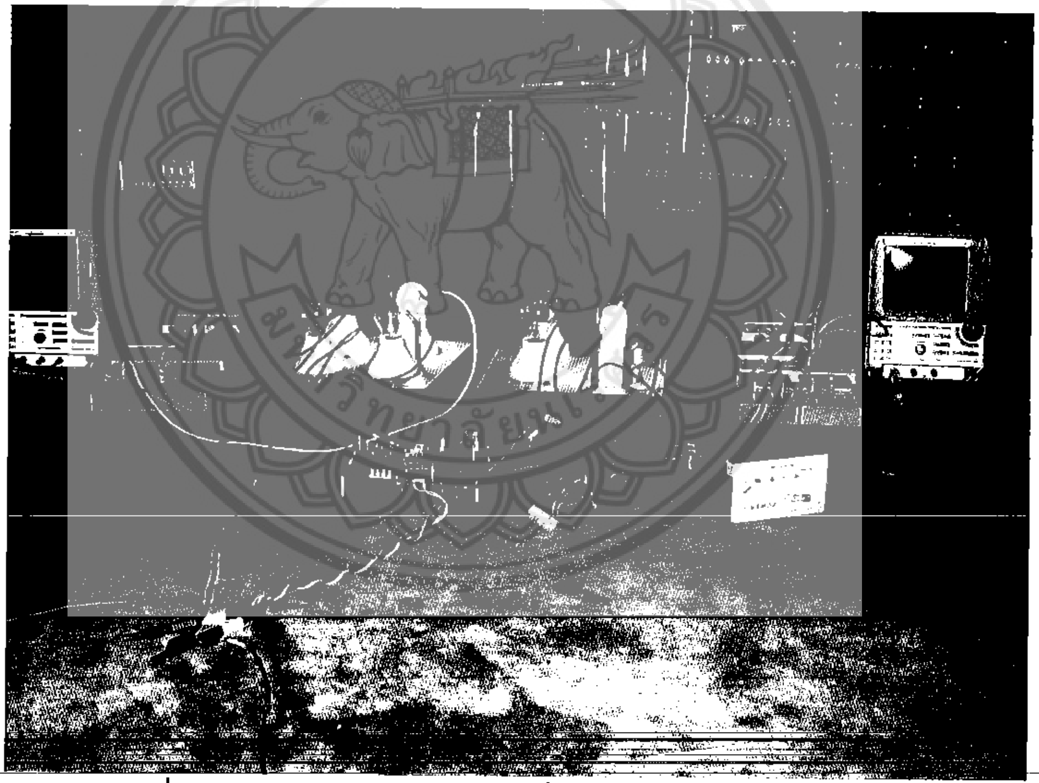


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของโหลดหลักเมื่อไม่ได้ต่อเครื่อง Diversion Load Controller

จากการทดสอบพบว่า เมื่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าและแรงดันมาที่ 100 W 220 V พบว่า เมื่อโหลดหลักมีขนาดลดลงจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดหลักมีค่าสูงขึ้นซึ่งจากตารางที่ 4.2 ที่โหลดหลักขนาด 60 W ระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดหลักเป็น 252 V ที่โหลดหลักขนาด 40 W ระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดหลักเป็น 273 V และที่ไม่มีโหลดแรงดันที่จ่ายออกมาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเป็น 297 V ซึ่งระดับแรงดันจะมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้โหลดหลักเกิดความเสียหายได้

4.3 การทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีนโดยต่อเครื่อง Diversion Load Controller

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องการทำงานของเครื่อง Diversion Load Controller โดยมีโหลดหลัก (หลอดไฟยี่ห้อ Phillips ขนาด 100, 60, 40 Wและไม่มีโหลด) กับโหลด (หลอดไฟยี่ห้อ Phillips ขนาด 100 W) ของเครื่องDiversion Load Controller



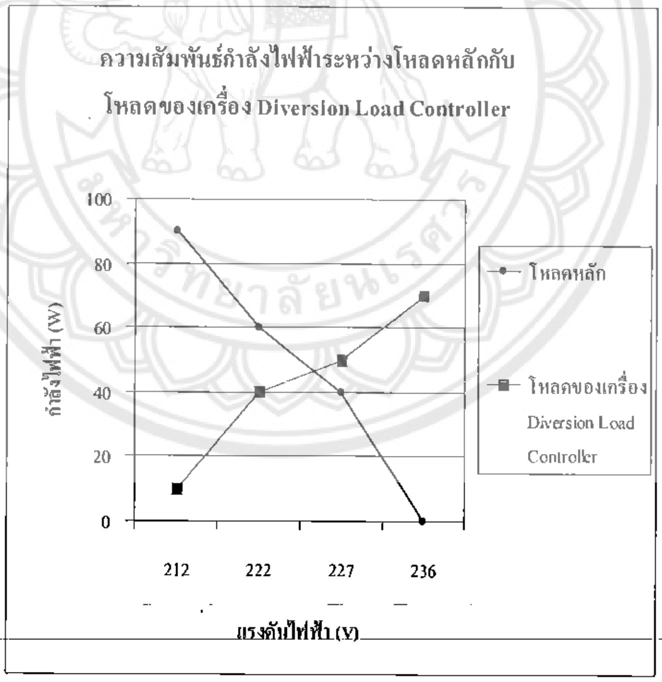
รูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines)

การทดสอบกับเครื่องอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines) โดยต่อเครื่อง Diversion Load Controller ผู้วิจัยได้กำหนดให้โหลดที่ 100 W คือ โหลดเต็มที่ (Full Load) เริ่มต้นโดยทำอินดักชั่นแมชชีนให้จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 100 W) ที่ 220 V แล้วสังเกตความสว่างของโหลดของเครื่อง Diversion Load Controller (หลอดไฟขนาด 100 W)

และเก็บข้อมูลของโหลดทั้งสองโดยการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอดไฟ, กำลังไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์และใช้เครื่อง Yakogawa ตรวจสอบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอดไฟ จากนั้นทำซ้ำเหมือนโหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 100 W) โดยเปลี่ยนโหลดหลักจากหลอดไฟขนาด 100 W เป็น 60, 40 W และไม่มีโหลด ตามลำดับ โดยได้ผลการทดสอบดังเป็นดังตารางที่ 4.2

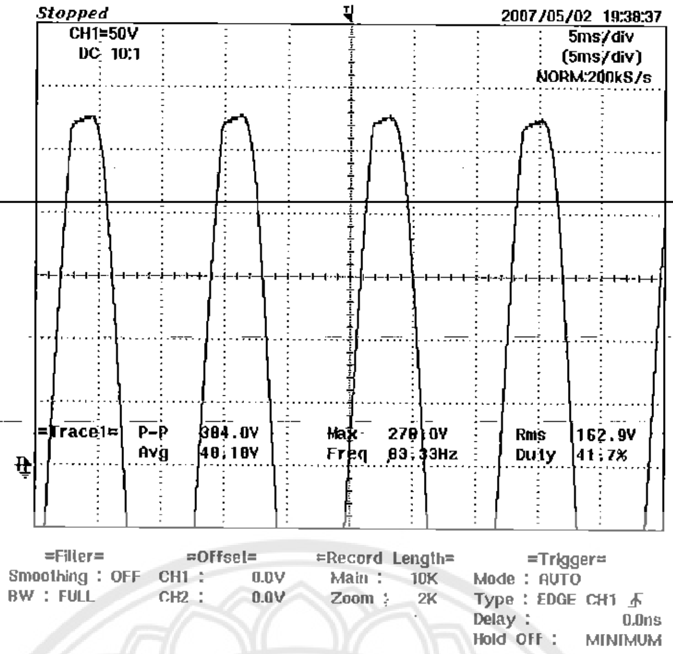
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบกับอินดักชั่นแมชชีน (Induction Machines)

โหลดหลัก			โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller		
หลอดไฟ (W)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	หลอดไฟ (W)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)
100	90	212	100	10	12
60	60	222	100	40	48
40	40	227	100	50	69
ไม่มี	0	236	100	70	130

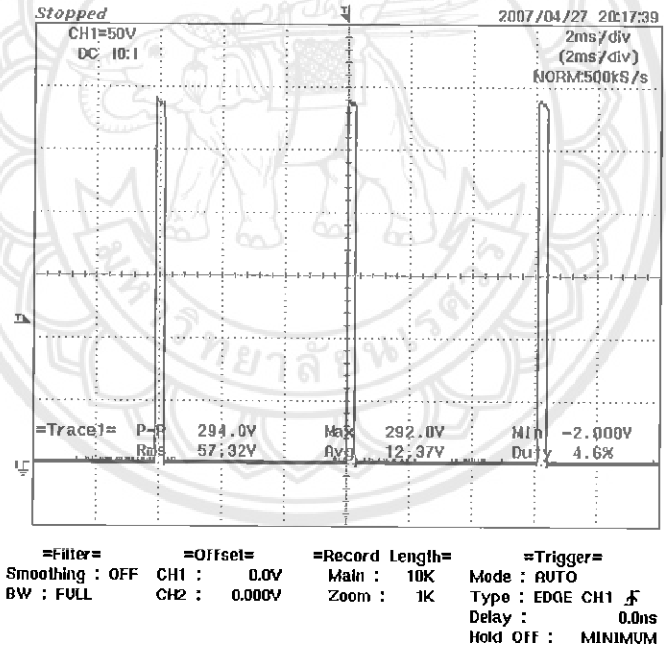


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าระหว่างโหลดหลักกับโหลดของเครื่อง Diversion Load Controller

จากกราฟพบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดหลักเพิ่มขึ้นและกำลังไฟฟ้าน้อยลง จะทำให้โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller มีแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะรวมกันให้เท่าหรือใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่ 100 W



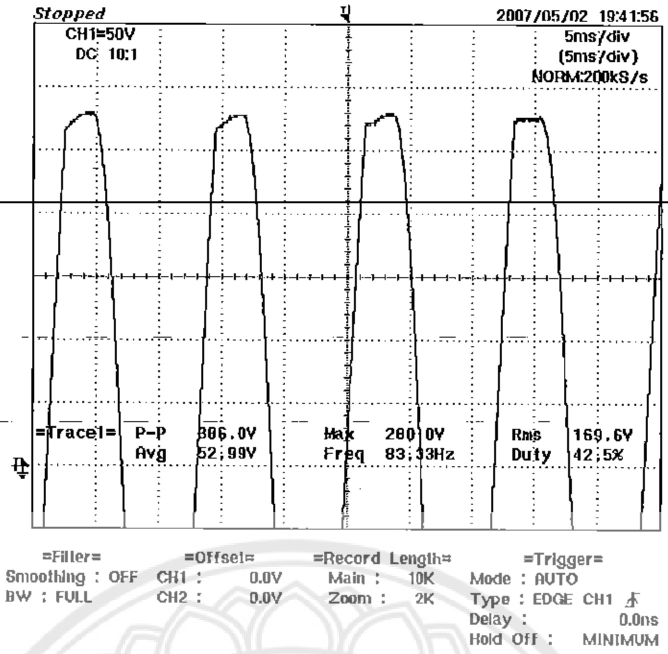
(ก)



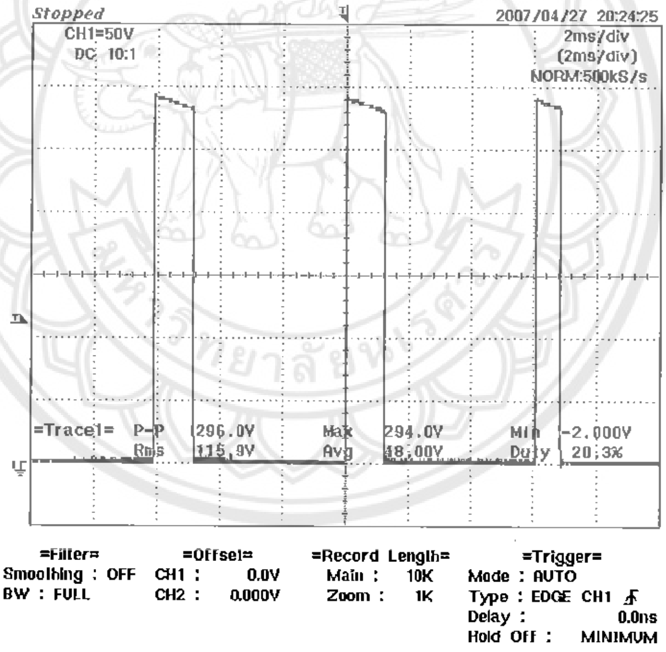
(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) แสดงสัญญาณของโหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 100 W)
(ข) โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller

จากรูปพบว่า เมื่อโหลดหลักขนาด 100 W ได้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม 212 V ทำให้เครื่อง Diversion Load Controller สัญญาณควบคุมที่ประมาณ 5 % Duty Cycle เพื่อให้มีการทำงานที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller ซึ่งได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ 12 V



(ก)

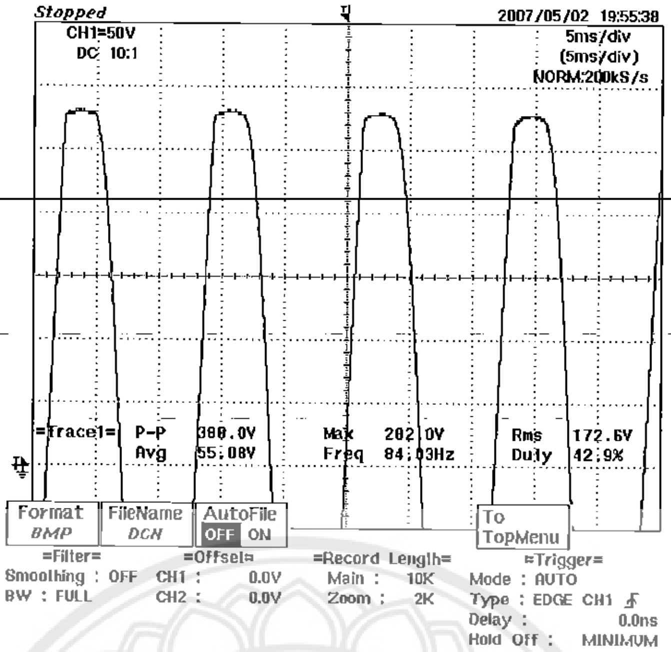


(ข)

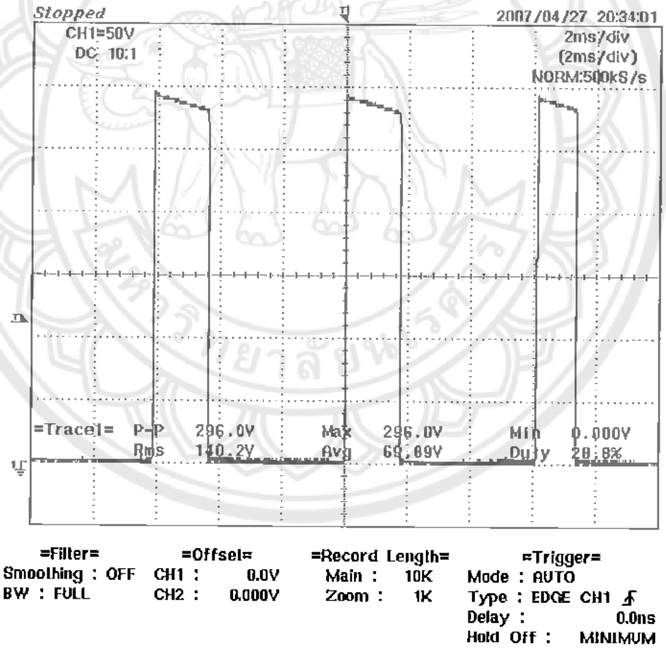
รูปที่ 4.8 (ก) แสดงสัญญาณของโหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 60 W)

(ข) โหลดของ เครื่อง Diversion Load Controller

จากรูปพบว่า เมื่อโหลดหลักขนาด 60 W ได้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม 222 V ทำให้เครื่อง Diversion Load Controller สัญญาณควบคุมที่ประมาณ 20 % Duty Cycle เพื่อให้มีการทำงานที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller ซึ่งได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ 48 V



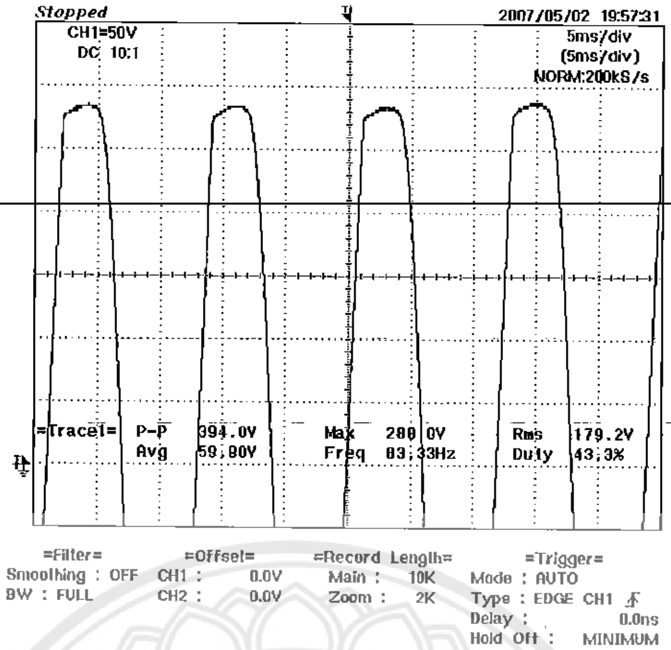
(ก)



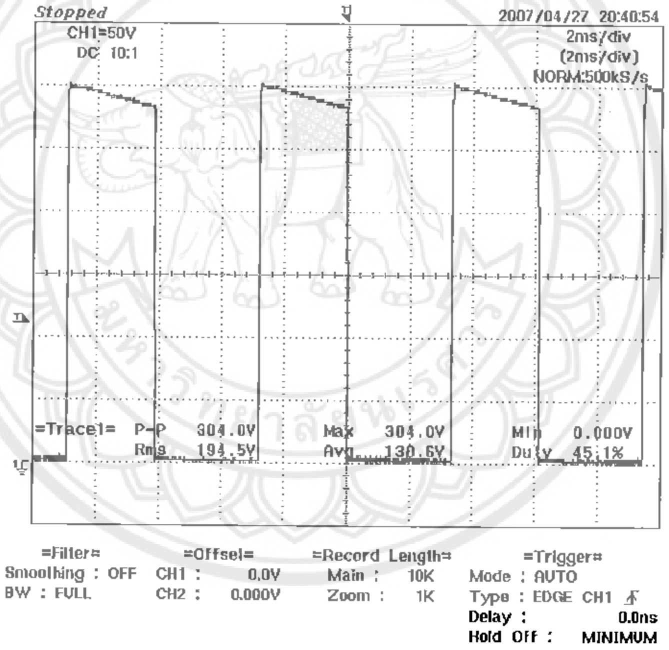
(ข)

รูปที่ 4.9 (ก) แสดงสัญญาณของโหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 40 W)
(ข) โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller

จากรูปพบว่า เมื่อโหลดหลักขนาด 40 W ได้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม 227 V ทำให้เครื่อง Diversion Load Controller สัญญาณควบคุมที่ประมาณ 30 % Duty Cycle เพื่อให้มีการทำงานที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller ซึ่งได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ 69 V



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 (ก) แสดงสัญญาณของไม่มีโหลดหลัก
(ข) โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller

จากรูปพบว่า เมื่อไม่มีโหลดหลักได้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม 236 V ทำให้เครื่อง Diversion Load Controller สัญญาณควบคุมที่ประมาณ 45 % Duty Cycle เพื่อให้มีการทำงานที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller ซึ่งได้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ 130 V

จากผลการทดสอบการทำงานเครื่อง Diversion Load Controller กับอินดักชั่นแมชชีน (Induction machines) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3, รูปที่ 4.7-4.10 และกราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าระหว่างโหลดหลักกับโหลดของเครื่อง Diversion Load Controller พบว่า โหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 100 W) ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 90 W และ 200 V และที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller (หลอดไฟขนาด 100 W) ได้ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 10 W และ 12 V, โหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 60 W) ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดัน- ไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 60 W และ 208 V และที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller (หลอดไฟขนาด 100 W) ได้ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 40 W และ 48 V, โหลดหลัก (หลอดไฟขนาด 40 W) ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 40 W และ 211 V และที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller (หลอดไฟขนาด 100 W) ได้ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 50 W และ 69 V และไม่มีโหลดหลักได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 0 W และ 215 V และที่โหลดของเครื่อง Diversion Load Controller (หลอดไฟขนาด 100 W) ได้ได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเท่ากับ 70 W และ 130 V

เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อโหลดมีกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าผลิตให้มา ซึ่งจะส่งผลให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้านั้นมีแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ทางไฟฟ้าจะสามารถทนได้ทำให้เครื่อง Diversion Load Controller ทำงานเพื่อที่จะเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่เหลือจากโหลดหลักให้ได้เท่าหรือใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และทำให้เกิดการรักษาแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ใช้งานกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้ โดยการเพิ่มโหลดของเครื่อง Diversion Load Controller

บทที่ 5
สรุปผลและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทำโครงงานนี้ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงงานนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้นได้ในอนาคต

5.1 สรุปผล

โครงงานนี้เป็นการสร้างเครื่องซึ่งถูกเรียกว่า Diversion Load Controller ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยการผลิตไฟฟ้าขนาดจิ๋ว(pico plant) จากผลการทดลองพบว่าเครื่อง Diversion Load Controller สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับกำลังที่ใช้มีค่าใกล้เคียงกันได้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมขาเกตของมอสเฟต ทำการจุดชนวนที่มุมต่างๆ เพื่อทำให้ได้เอาต์พุตที่ต้องการ ซึ่งจากรูปผลการทดลองจะเห็นว่า โครงงานนี้สามารถนำไมโครคอนโทรเลอร์มาเป็นตัวควบคุมให้กับระบบ เพื่อสร้างสัญญาณในการจุดชนวนให้แก่มอสเฟต ซึ่งลดความซับซ้อนของระบบลง และยังสามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้

5.2 ปัญหาที่พบ

- ปัญหาเรื่องความร้อนของตัวมอสเฟตเมื่อได้รับสัญญาณทริกเมื่อใช้ในเวลานาน
- ปัญหาเรื่องตัวเก็บประจุที่เกิดการระเบิดบ่อยครั้งเนื่องจากได้แรงดันค่อนข้างสูงก่อนจะจ่ายไฟ ให้กับขาเดรน (Drain) ของมอสเฟต

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

- ต้องทำการติดพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อนในวงจร
- ใช้ขนาดตัวเก็บประจุให้มีขนาดพิกัดทนแรงดันได้อย่างเหมาะสม

บรรณานุกรม

[1] รศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล. **"ภาษาแอสเซมบลีสำหรับMCS-51"**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2546

[2] รศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล. **"การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์"**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2543

[3] นายวัชรินทร์ เคารพ. **"เรียนรู้และเข้าใจไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วยภาษาเบสิก"**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท อีทีที จำกัด. 2547

[4] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ขันเงิน, วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์. **"อิเล็กทรอนิกส์กำลัง"**.กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง

[5] **มอสเฟต** [Online]. Available : http://www.chontech.ac.th

[6] ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล.**"ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเล่ม 3"**.กรุงเทพมหานคร: ศูนย์การพิมพ์พลชัย

[7] บริษัท อีทีที จำกัด. **PIC16F877** [Online]. Available : http://www.etteam.com

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรม

โปรแกรมเครื่อง Diversion Load Controller

```
INCLUDE "bs2defs.bas"

DEFINE OSC 4
DEFINE ADC_BITS 10
DEFINE ADC_CLOCK 3
DEFINE ADC_SAMPLESUS 500

RES VAR WORD
K VAR WORD
REF VAR WORD
ERR1 VAR WORD
ERR2 VAR WORD

ADCON1 = 00000000
ADCON1.7 = 1
TRISA = %11111111
TRISB = %00000000
K = 50
REF = 615
PAUSE 1000
MAIN:
        ADCIN 2,RES
        ERR1 = RES - REF
        ERR2 = ERR1 / 10

        IF (RES <= REF) THEN
                PORTB = %11110000
                PAUSEUS 1000
                GOTO MAIN
        ENDIF
```

```
        IF (RES > REF) AND (ERR2*K < 1000) THEN
                PORTB = %00001111
                PAUSEUS ERR2*K
                PORTB = %11110000
                PAUSEUS 1000 - ERR2*K
                GOTO MAIN
        ENDIF

        IF (RES > REF) AND (ERR2*K >= 1000) THEN
                PORTB = %00001111
                PAUSEUS 1000
                GOTO MAIN
        ENDIF

    GOTO MAIN
    END
```

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อนายนรเศรษฐ์ สุขทรัพย์

ภูมิลำเนา 28/72 ถ.สิงหวัฒน์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **baby_jumbo22@hotmail.com**

ชื่อนายประกาศิต รอดฉาย

ภูมิลำเนา 171 ม.8 ต.ชัยนาม อ.วังทอง จ.พิษณุโลก 65130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **maxarmy@hotmail.com**