

วงจรถ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

MICROCONTROLLER POWER SUPPLY



โดย
นายเรวัตร์ พลหาญ
นายจักรวาล อริยะเสรี
นายสกรรณ์ วรศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55788
วัน,เดือน,ปี 5 พ.ค. 2548

.....
.....
.....

วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
MICROCONTROLLER POWER SUPPLY

โดย

นายเรวัตร์ พลหาญ 44015212

นายจักรวาล อริยะเสรี 44015231

นายศกรรณ์ วรศรี 44015255

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

MICROCONTROLLER POWER SUPPLY

ผู้จัดทำ

1. นายเรวัตร์ พลหาญ 44015212
2. นายจักรวาล อริยะเสรี 44015231
3. นายสกรรณ์ วรศรี 44015255



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
MICROCONTROLLER POWER SUPPLY

นายเรวัตร์ พลหาญ 44015212

นายจักรวาล อริยะเสรี 44015231

นายสกรรณ์ วรศรี 44015255



โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

นายเรวัตร์ พลหาญ

นายจักรวาล อริยะเสรณี

นายสกรรณ์ วรศรี

รศ.จิรวรรณ ปานกลาง (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึง การออกแบบและการสร้างวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) มาควบคุมการจ่ายกระแสและแรงดันของ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อลดความผิดพลาดจากการปรับค่าด้วยมือของผู้ใช้และเพิ่มความรวดเร็วในการใช้งาน

คุณสมบัติของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ คือ สามารถปรับแรงดันได้ 0-40 โวลต์ มีความละเอียดในการปรับขั้นละ 10 มิลลิโวลต์ ปรับกระแสได้ตั้งแต่ 0-2 แอมป์ สามารถจ่ายแรงดันเป็นฟังก์ชันต่าง ๆ ได้ เช่น ฟังก์ชันจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น และ ลดลงแบบขั้นบันได(Step Up and Step Down) และ ฟังก์ชันการเปลี่ยนค่าแรงดันขาออกแบบไม่ต่อเนื่อง (Clock Junction) และสามารถควบคุมการทำงานบนคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCONTROLLER POWER SUPPLY

Mr.Raywat Ponhan

Mr.Chakrawal Ariyasaranee

Mr.Skan Worasri

Mr.Jirawat Parnklang(Advisor)

Education Year 2003

Abstract

This project is a MICROCONTROLLER POWER SUPPLY. This paper presents a design of the DC Power Supply controlled by digital system (microcontroller). The specification of the device are the output voltage can be adjustable from 0 to 40 Volt at the resolution is 10 mV and can be adjustable an output current from 0 to 2 Amp at the resolution is 1 mA. It also has current protection for protecting the DC Power Supply circuit. The operation of the power supply can also be controlled via personalcomputer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 P89C1RD2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	3
2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ	3
2.1.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	4
2.1.3 ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	7
2.1.4 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2	8
2.1.5 คุณสมบัติการโปรแกรมในระบบ(ISP)	9
2.1.6 การเข้าสู่โหมดโปรแกรม ISP	9
2.2 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก	10
2.2.1 ความถูกต้องของ DAC	12
2.2.2 วงจร DAC แบบ Binary Weight Ladder	12
2.2.3 วงจร DAC แบบ R-2R Ladder	13
2.3 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	14
2.3.1 เคาทน์ดิงคอนเวอร์เตอร์	14
2.3.2 Successive Approximation	16
2.3.3 Dual-Slope ADC	17
2.3.4 Flash Converter	20
2.4 วงจรจ่ายไฟตรง	22
2.4.1 หม้อแปลงไฟฟ้า[Transformers]	23
2.4.2 วงจรเรียงกระแส[Rectifier circuits]	24
2.4.3 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น [Half wave Rectifier]	25
2.4.4 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น โดยใช้หม้อแปลงที่มีแทป	26
2.4.5 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 วงจรกรองลดการกระเพื่อม [Ripple Filters]	30
2.4.7 วงจรกรองลดการกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุ	31
2.4.8 การคำนวณขนาดของแรงดันกระเพื่อมโดยประมาณ	34
2.4.9 การออกแบบวงจรจ่ายไฟตรง	37
2.4.10 การเพื่ออัตราความทนทานของตัวอุปกรณ์	38
2.4.11 ตัวเก็บประจุ กรองแรงดันกระเพื่อม	39
2.4.12 ขนาดของหม้อแปลง	40
2.4.13 การเลือกหรือกำหนดคุณสมบัติของไดโอด	40
2.4.14 การคำนวณขนาดของฟิวส์	41
2.4.15 วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ด้วยทรานซิสเตอร์	43
2.4.16 การรักษาระดับแรงดันคงที่แบบอนุกรม (Series Voltage Regulation)	43
2.4.17 การรักษาระดับแรงดันคงที่แบบขนาน (Shunt Voltage Regulation)	43
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	45
3.1 การต่ออุปกรณ์ต่างๆของส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	45
3.1.1 ส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	45
3.2 การออกแบบและเลือกใช้ D/A และ A/D	52
3.2.1 การทำงานของ DAC8532	54
3.2.2 การทำงานของ ADS8325	55
3.3 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	58
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	60
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	66
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงาน	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

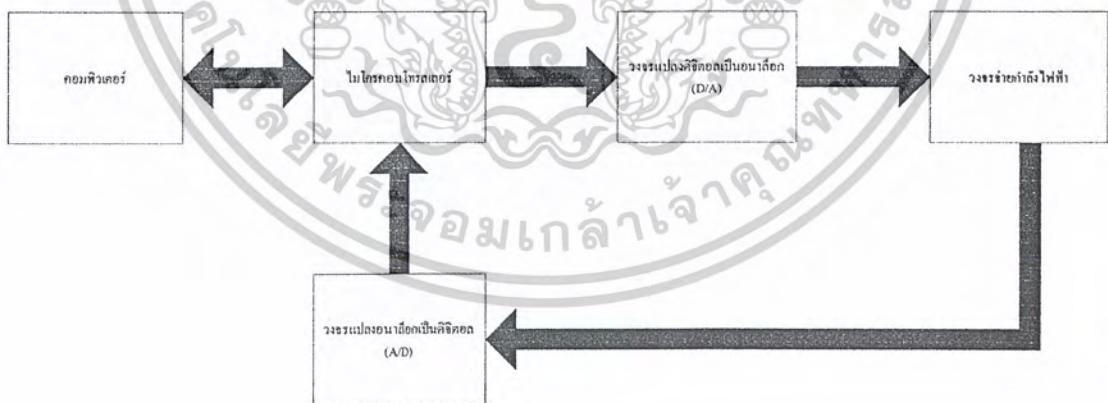
บทที่ 1

บทนำ

สิ่งที่สำคัญของระบบอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันก็คือ เสถียรภาพของระบบ เพราะฉะนั้น ก่อนที่จะมีการผลิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ออกมา การทดสอบและการทดลองการทำงานของวงจรถือเป็นเรื่องสำคัญ

วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งที่เราไม่สามารถทดลองวงจร หรือ อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสิ่งที่ต้องการจากวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นก็คือ ความเที่ยงตรง หรือ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด แต่ในความเป็นจริง การที่จะปรับแรงดันด้วยมือของผู้ใช้จากวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อให้มีความเที่ยงตรงตามต้องการนั้นทำได้ยาก และมีความผิดพลาดเกิดขึ้น (Human Error) ดังนั้นการใช้ระบบดิจิทัลเข้ามาควบคุมการปรับค่าจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหา และยังทำให้เกิดความสะดวก และ รวดเร็วแก่ผู้ใช้งานอีกด้วย

ดังนั้นกลุ่มนักศึกษาจึงนำหลักการนี้ออกแบบ และ สร้าง วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Power Supply) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความผิดพลาดที่เกิดจากการปรับค่าของผู้ใช้ ซึ่งระบบของ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นผู้กำหนดค่ากระแสและแรงดันของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานทางคีย์บอร์ด(Keyboard)ขนาด 16 คีย์ และมีจอแสดงผลติดต่อกับผู้ใช้ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งขนาดของกระแส และ แรงดันไปให้ D/A เป็นข้อมูลดิจิทัลขนาด 16 บิต เพื่อทำการแปลงเป็นแรงดันใช้ไปอ้างอิงและควบคุมขนาดแรงดันและกระแสของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าให้จ่ายได้ตามที่ต้องการ

แรงดันและกระแสจากเอาต์พุตของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า ถูกนำมาลดค่าและอ้างอิงให้กับ A/D เพื่อแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลขนาด 16 บิต ส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลเพื่อควบคุมให้แรงดันทางเอาต์พุตมีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น และ แสดงค่าของแรงดันและกระแสทาง LCD

คอมพิวเตอร์จะทำการติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม เพื่อให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สะดวกยิ่งขึ้น

คุณสมบัติของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังนี้

- 1.สามารถปรับค่าแรงดันได้ตั้งแต่ 0 ถึง 40 โวลต์ มีความละเอียด 10 mV
- 2.สามารถปรับกระแสได้ตั้งแต่ 0 ถึง 2 แอมป์ มีความละเอียด 1 mA
- 3.มีฟังก์ชันจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น และ ลดลงแบบขั้นบันได (Step Up and Step Down)
- 4.มีฟังก์ชันการเปลี่ยนค่าแรงดันขาออกแบบไม่ต่อเนื่อง (Clock Junction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 P89C1RD2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชจาก Philips

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้อ้างอิงเพื่อการเรียนรู้และใช้งานในที่นี้เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash memory) ของ Philips Semiconductor ในอนุกรม P89C1Rx2

2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ

สำหรับคุณสมบัติที่โดดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อนุกรมนี้มีดังต่อไปนี้ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐานของอินเทล

หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้ถึงหมื่นครั้ง จึงสามารถใช้ในรูปแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลทำให้ใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงถึง 64 กิโลไบต์

หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์

สามารถเขียนหรือ โปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอด

ไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่ หรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจร หรือในระบบ (ISP : In-system programming) โดยภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยความจำที่บรรจุโปรแกรมสำหรับเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมหรือเรียกว่า บูตอรัม (boot ROM) ทำหน้าที่ในส่วนนี้ แรงดันที่ใช้ในการ โปรแกรมแบบ ISP ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

P89C1RD2 ใช้แรงดันในการ โปรแกรมได้ทั้ง +5V และ +12V โดยถ้าใช้แรงดัน +12V จะสามารถโปรแกรมได้ 1,000 ครั้ง และถ้าใช้แรงดัน +5V สามารถโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง

ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 33MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมชชีนไซเคิล และ 200 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมชชีนไซเคิล

P89C1RD2 ได้รับการกำหนดให้ทำงานเบื้องต้นในโหมดสัญญาณนาฬิกา 6 ลูกต่อแมชชีนไซเคิลสามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 12 สัญญาณนาฬิกาต่อแมชชีนไซเคิลได้

ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมภายในพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่นไม่ว่าจะเป็น Intel , Siemens หรือ Dallas Semiconductor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาพอร์ต 8 บิต เอาต์พุต 4 พอร์ต เป็นแบบกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional) สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

มีวงจรถือสารอนุกรมแบบฟลูตเพิลิกซ์

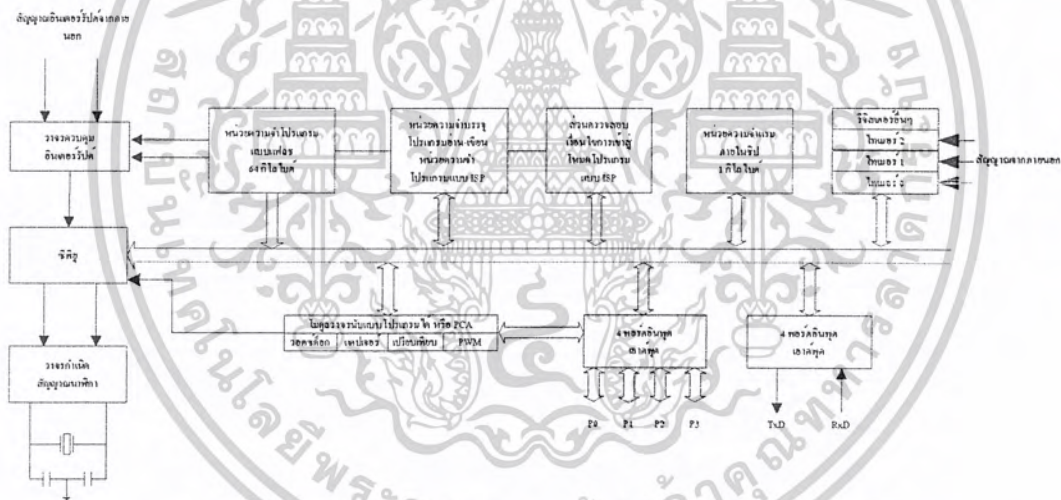
ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทมเมอร์ 0, 1, 2)

มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DTPR 2 ตัว

สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

มีวอตช์ไทมเมอร์

มีโมดูลวงจรรนับโปรแกรมได้ (PCA : Programmable Counter Array) ซึ่งบรรจุวงจรถวายจับสัญญาณ (capture) ,เปรียบเทียบสัญญาณ (compare) , วงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ (PWM) 5 โมดูล และวอตช์ด็อกไทมเมอร์ (watchdog timer)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

2.1.2 การจัดหาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5 V

ขา GND เป็นขากาวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุทสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุทได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้ เป็นได้ทั้งขาติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุทและเอาต์พุท สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุทสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุทสำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุททริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุทและเอาต์พุท สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 2 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุทสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุทได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุทและเอาต์พุท สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 3 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุทสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุทได้ นอกจากนี้ขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นต่อไปนี้

- P3.0** ใช้เป็นขาอินพุทสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD
- P3.1** ใช้เป็นขาอินพุทสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD
- P3.2** ใช้เป็นขาอินพุทสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา $\overline{INT0}$
- P3.3** ใช้เป็นขาอินพุทสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา $\overline{INT1}$
- P3.4** ใช้เป็นขาอินพุทสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0
- P3.5** ใช้เป็นขาอินพุทสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ \overline{WR} ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ \overline{RD} ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

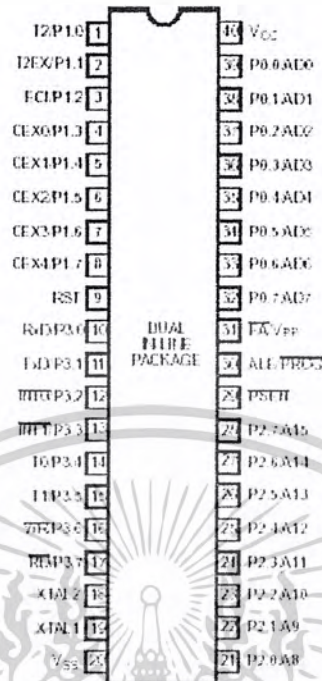
ขารีเซ็ต (Reset) ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซ์ไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการ โปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบอีอีพรอม

ขา PSEN (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะ ไม่มีการส่งสัญญาณใด ๆ ออกมา

ขา EA/Vpp (External Access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12 V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.2 แสดงการจัดขาของ P89C51RD2

2.1.3 ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

นอกจาก Philip จะทำการพัฒนา ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรมนี้ เพื่อรองรับการโปรแกรมแบบ ISP และขนาดของหน่วยความจำแบบแฟลชที่สูงถึง 64 กิโลไบต์ แล้ว ยังพัฒนาในเรื่องของความเร็วในการทำงานด้วย โดย P89C1RD2 ถูกกำหนดให้ทำงานได้เร็ว 6 ไซกิลสัญญาณนาฬิกาภายในต่อ 1 แมกซ์ไซกิล ซึ่งเรียกว่าเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาตรฐาน 2 เท่า แต่ก็สามารถความเร็วให้เท่ากับแบบมาตรฐานได้ด้วยการโปรแกรมแบบขนาน (Parallel programming) ซึ่งต้องใช้เครื่องโปรแกรมภายนอก อาทิ ALL11 ของ Hi-Lo System เป็นต้น แต่เมื่อลดความเร็วลงแล้วจะไม่สามารถกลับมาได้อีก นั่นคือสามารถเปลี่ยนความเร็วได้เพียงครั้งเดียว

ในการทำงาน 1 รอบหรือ 1 แมกซ์ไซกิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาตรฐานจะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือ ที่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz เวลาในการทำงาน 1 ไซกิลมีค่าเท่ากับ $1 \mu s$ หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในสามารถหาได้จากค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 แมกซ์ไซกิล ทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เนื่องจาก P89C1RD2 มีความเร็วกว่าปกติ 2 เท่า จึงสามารถสรุปเป็นสูตรหาความเร็วในการทำงานใหม่ได้ดังนี้

ความเร็วในการทำงานภายใน = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา (ค่าคริสตอลที่ขา XTAL1 และ XTAL2)/6

เวลา 1 แมกซีนไซเคิล = 1/ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1.4 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 แบบแฟลชของ Philips เบอร์ P89C51RD2 มีหน่วยความจำภายในหลักๆอยู่ 3 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม ขนาด 64 กิโลไบต์, หน่วยความจำข้อมูล 1 กิโลไบต์ และหน่วยความจำบูตรอม ขนาด 1 กิโลไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ FC00H - FFFFH ซึ่งเก็บโปรแกรมการอ่าน-เขียนข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในแบบ ISP อย่างไรก็ตามหากมีการใช้งานการบูตรอม หน่วยความจำโปรแกรมจำสามารถเข้าถึงการทำงานได้ 63 กิโลไบต์ หรือถ้าหากต้องการใช้งานเต็มที่คือ 64 กิโลไบต์ ก็สามารถทำได้ โดยการปิดและไม่ติดต่อกับบูตรอมนี้ อันจะส่งผลให้ไม่สามารถโปรแกรมหน่วยความจำแบบ ISP ในทางซอฟต์แวร์ได้ แต่ยังสามารถโปรแกรมด้วยกระบวนการ ISP ทางฮาร์ดแวร์ได้ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

สำหรับหน่วยความจำข้อมูล 1 กิโลไบต์นั้นยังแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

หน่วยความจำข้อมูลแรมส่วนล่าง 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 00H-7FH สามารถเข้าถึงได้โดยตรงและโดยอ้อม หน่วยความจำส่วนนี้เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

หน่วยความจำข้อมูลแรมส่วนบน 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-FFH เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษหรือ (Special Function Register) สามารถเข้าถึงแบบโดยตรงได้ในขณะเดียวกันยังใช้เป็นพื้นที่เก็บข้อมูลโดยสามารถเข้าถึงได้แบบโดยอ้อมเท่านั้น ซึ่งหน่วยความจำในส่วนนี้จะสามารถติดต่อกับได้เมื่อมีการเคลียร์บิต EXTRAM ในรีจิสเตอร์ AUXR แต่ถ้าหากบิต EXTRAM นี้เซตเป็น "1" จะเป็นการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับหน่วยข้อมูลภายนอกแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 คุณสมบัติการโปรแกรมในระบบหรือ ISP (In-System Programming)

จุดเด่นที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2 มีเหนือไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาตรฐานอีกประการหนึ่งคือ ความสามารถในการเขียน-อ่าน-ลบข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมในระบบหรือในวงจรโดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาโปรแกรมด้วยเครื่องโปรแกรมภายนอก หรือที่เรียกว่า ISP การโปรแกรม ISP ของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2 แตกต่างจากอนุกรม AT89XXXX ตรงที่การถ่ายทอดข้อมูลจะกระทำผ่านขาพอร์ตอนุกรมคือ TxD และ RxD จึงทำให้ไม่ต้องใช้วงจรรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แล้วแล้วถ่ายทอดผ่านข้อมูลในแบบ SPI (Synchronous Peripheral Interface) เพียงต่อขาสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านวงจรแปลงระดับสัญญาณ RS-232 ก็ใช้ได้แล้ว

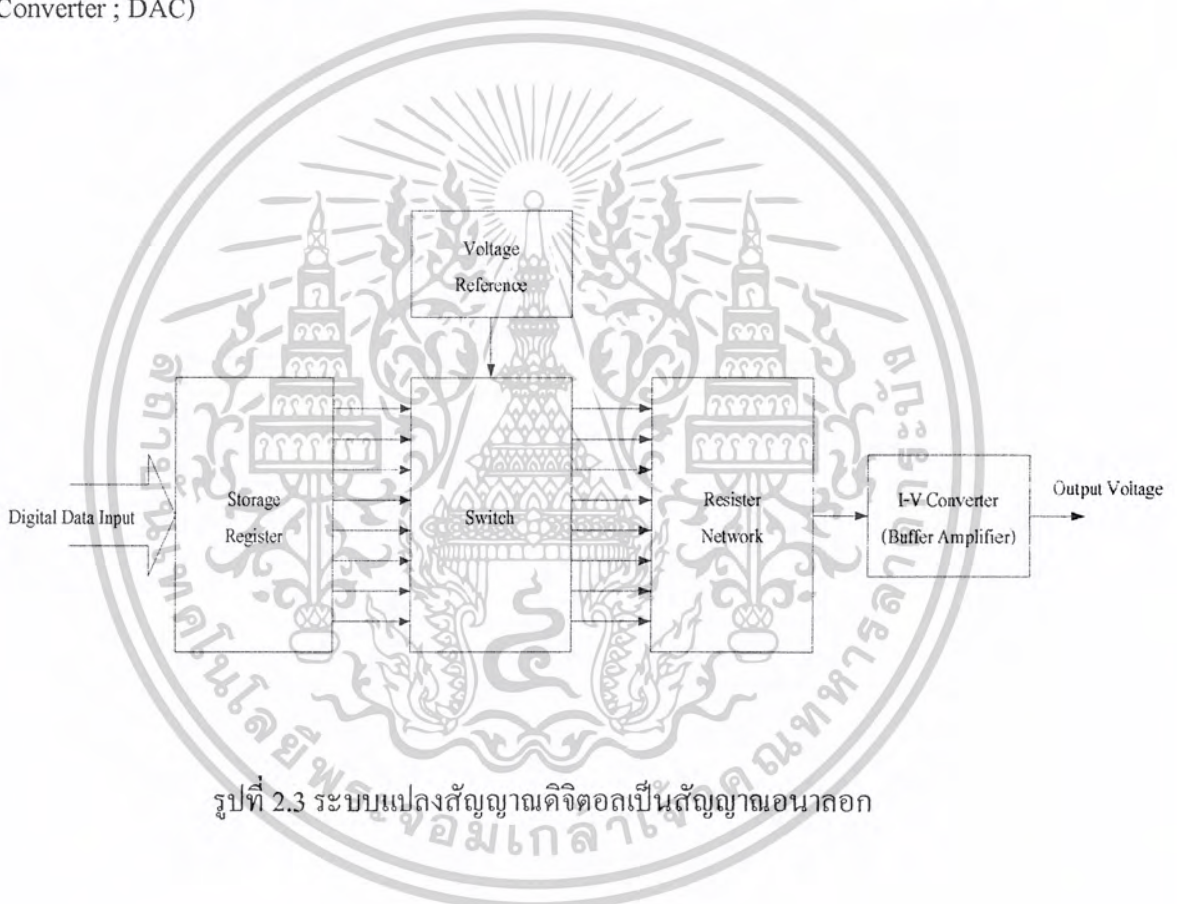
หัวใจสำคัญของกระบวนการ ISP ในไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD คือ หน่วยความจำบูตโรมที่บรรจุโปรแกรมสำหรับอ่าน-เขียนหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยปกติจะไม่สามารถเข้าถึงได้เว้นแต่ผู้ใช้งานต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมดการโปรแกรมแบบ ISP การเข้าสู่โหมดการโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2 มีรายละเอียดดังนี้

2.1.6 การเข้าสู่โหมดโปรแกรม ISP ของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

1. ต่อขา PSEN ลงกราวด์
2. จ่ายไฟ +5V เข้าที่ขา EA/Vpp
3. ป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขา P2.7
4. รีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมดโปรแกรมแบบ ISP
5. หลังจากที่ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ต่อ PSEN กลับไปยังลอจิก “1” จากนั้นทำการรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์อีกครั้ง ขณะนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์กลับมาทำงานในโหมดรันปกติได้แล้ว

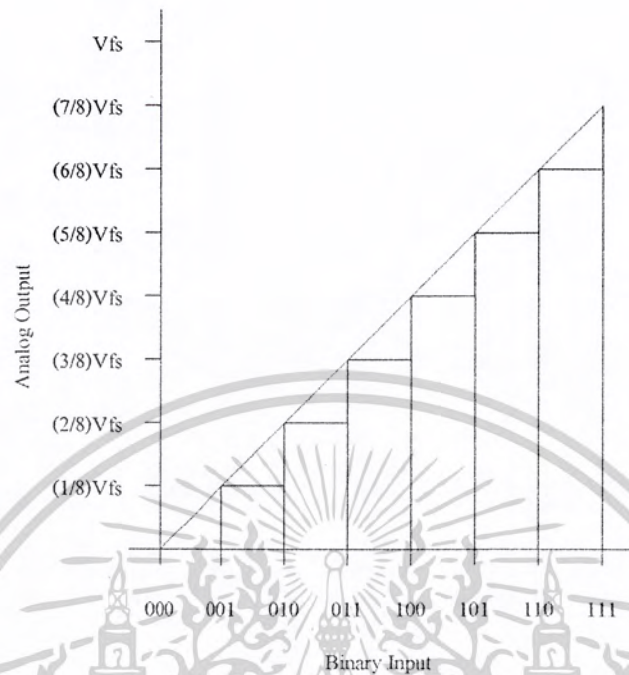
2.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter ; DAC)

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้งานทางด้านอนาล็อก(Analog)จะสามารถควบคุมการทำงานได้โดยการให้ระดับแรงดันที่แตกต่างกัน แต่เมื่อนำระบบดิจิทัล(Digital)มาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้งานทางด้านอนาล็อก จะต้องมีวงจรที่สามารถเชื่อมต่อระหว่าง ระบบดิจิทัล กับ ระบบอนาล็อก หรือ วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter ; DAC)



ส่วนสำคัญของ วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกคือ อาร์เรย์สวิทช์ที่ควบคุมด้วยลอจิกซึ่งมีจำนวน N ชุดเท่ากับจำนวน ไบนารีบิต(Binary Bit) สวิทช์เหล่านี้จะตัดต่อแรงดันอ้างอิงขนาดหนึ่งเข้ากับวงจรอาร์เรย์เรซิสเตอร์(Array Resister)ค่าต่าง ๆ ที่กำหนดน้ำหนักตามรหัสไบนารี(Binary Code)เป็นระดับของกระแส จากนั้นกระแสจะถูกแปลงเป็นแรงดันที่สัมพันธ์ต่อกัน ด้วย บัฟเฟอร์แอมพลิไฟเออร์(Buffer Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กราฟสเฟอ์ฟังก์ชันในอุดมคติของ DAC ขนาด 3 บิต

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าเป็นความสัมพันธ์ของแรงดันอนาลอก กับ รหัสไบนารี 3 บิต ซึ่งเมื่อรหัสไบนารีเพิ่มขึ้นแรงดันอนาลอกก็จะเพิ่มขึ้น ในลักษณะขั้นบันได ขนาดของแต่ละขั้นจะหาได้จาก

$$\text{Resolution} = V_{FS}/2^N$$

เมื่อ V_{FS} คือ ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงสุด

N คือ จำนวนบิตของอินพุต

ถ้าเพิ่มจำนวนบิต ความละเอียดของ DAC จะเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อใช้ DAC ขนาด 12 บิต และ $V_{FS} = 5 \text{ V}$ ความละเอียดจะเท่ากับ $5 \text{ V} / 4096 = 1.22 \text{ mV}$ ซึ่งจะมากกว่า DAC ขนาด 8 บิตถึง 16 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความถูกต้องของ DAC

ความถูกต้องของ DAC จะขึ้นกับหลายส่วน เช่น

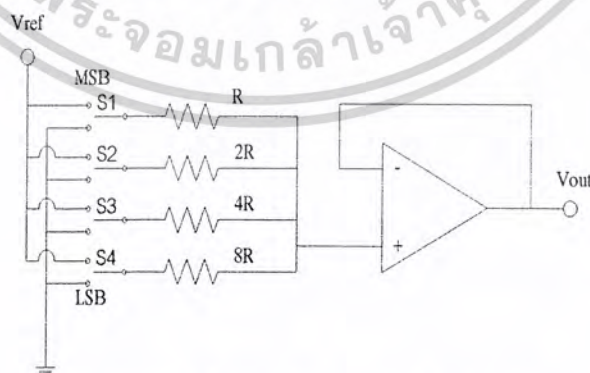
ควอนไทเซชันเออร์เรอร์(Quantization Error) DAC บิต $V_{FS} = 5.0 \text{ V}$ เอาต์พุตจะมีความละเอียด 19.53 mV ถ้าต้องการเอาต์พุต 4.00 V DAC จะให้เอาต์พุตได้ใกล้เคียง ที่สุดคือ 4.04 V ($19.53 \text{ mV} \times 205$) ผิดพลาด 4 mV โดยทั่วไปค่าผิดพลาดจะเท่ากับ $\pm 0.5 \text{ LSB}$ (least significant bit) ตัวอย่างเช่น DAC 8 บิต ความผิดพลาดจะเป็น 1 ใน 512 หรือ $\pm 0.195 \%$

ออฟเซ็ทเออร์เรอร์และเกนเออร์เรอร์(Offset Error and Gain Errors) เมื่ออินพุตไปนารีเท่ากับ 0 แต่เอาต์พุตของ DAC ไม่เป็น 0 เรียกว่า offset error และอาจเกิดร่วมกับ gain error ความผิดพลาดเหล่านี้จะทำให้ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของ DAC โค้งขึ้น หรือลง ขึ้นอยู่กับความไม่สมดุทธ์ภายใน DAC ใดๆก็ตาม offset error และ gain error จะแก้ไขได้โดยใช้ความต้านทานปรับค่าได้ต่อไว้ภายนอก

ความไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinearity Error) คือค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของ DAC เทียบกับเส้นตรงจากจุดศูนย์และจุดสูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความผิดพลาดของส่วนประกอบภายใน DAC ในคาตาชีต (Data Sheet) ของ DAC จะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าสูงสุด หรือ ระบุเป็นเศษส่วนของ LSB (โดยทั่วไปคือ $\pm 0.5 \text{ LSB}$)

เวลาเซ็ทติง(Settling time) คือช่วงเวลานับแต่ให้อินพุตจนกระทั่ง DAC ให้ เอาต์พุต วัตเมื่อเอาต์พุตที่ได้ผิดพลาดจากค่าจริง น้อยกว่า 0.5 LSB ค่าเวลานี้อาจน้อยกว่า 100 ns สำหรับ DAC ความเร็วสูง และอาจมากกว่า 100 μs สำหรับ DAC ราคาถูก

2.2.2 วงจร DAC แบบ Binary Weight Ladder



รูปที่ 2.5 วงจร DAC แบบ Binary Weight Ladder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 เป็นวงจรอย่างง่ายในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งจะเห็นว่า มีความต้านทานค่า 2R, 4R และ 8R เพื่อให้กระแสที่ผ่านความต้านทานแต่ละตัวมีค่าลดลงเป็น 2 เท่า จากนั้น ออปแอมป์ ที่เอาท์พุท จะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสรวมให้เป็นแรงดัน โดยจะได้แรงดันเป็น $V_o = (V_{ref} / 2^{N-1})(8S_4 + 4S_3 + 2S_2 + S_1)$; S ปิด = 1, S เปิด = 0

2.2.3 วงจร DAC แบบ R-2R Ladder



รูปที่ 2.6 วงจร DAC แบบ R-2R Ladder

การจัดวงจรแบบ R-2R นี้ จะช่วยลดความยุ่งยากในการผลิตบนชิปวงจรรวม เนื่องจากใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่า ในวงจรนี้สวิตช์จะตัดต่อให้แรงดันอ้างอิงต่อเข้ากับวงจร Ladder หรือต่อ Ladder ลงกราวด์ที่ค่า 2R ทำให้แรงดันเอาท์พุทเพิ่มและลดตามรหัสดิจิทัล คือ

$$\Delta V = V_{ref} / (2^N - 1)$$

และแรงดันที่เอาท์พุทจะเป็นไปตามสมการ

$$V_o = (V_{ref} / 2^N)(8S_4 + 4S_3 + 2S_2 + S_1) ; S \text{ ปิด} = 1, S \text{ เปิด} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

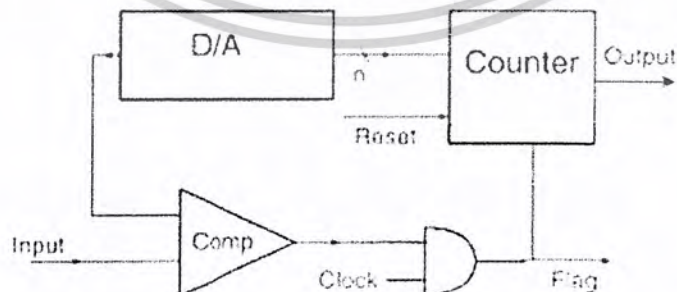
2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter :

ADC)

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มี 2 ชนิด คือ สัญญาณอนาล็อก และสัญญาณดิจิทัล สัญญาณอนาล็อก จะใช้ใน อุปกรณ์ต่างๆ ไป และใช้ในการควบคุมแบบเก่า ในปัจจุบันมี ไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้น เราจำเป็นต้องใช้ สัญญาณดิจิทัลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในความเป็นจริงนั้น เราใช้สัญญาณอนาล็อกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมระบบต่อไป แม้ว่าสัญญาณอนาล็อกนั้นมีความแน่นอน และแม่นยำสูง แต่สัญญาณอนาล็อกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบอนาล็อก มีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิทัลนั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบ อนาล็อกจะต้องมีความซับซ้อนสูง อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิทัลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณอนาล็อกได้ อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

2.3.1 เกาท์นิงคองเวอร์เตอร์ (Counting Converter)

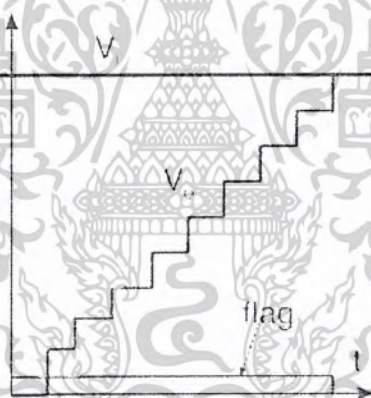
Counting Converter เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการทำงานของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาวงจร Counter เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้ D/A มีขา Reset รับสัญญาณ Reset เมื่อต้องการให้เริ่มนับใหม่ D/A เมื่อรับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณ อนาล็อกที่มีค่าความต่างศักย์ค่าๆ หนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปที่อุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบ(Comparator) Comparator จะเป็นอุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ ของอินพุต และค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ “0” โวลต์ออกมา(ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ 0 โวลต์ออกมา(ลอจิก 1) ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ออกมา จะนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับ สัญญาณนาฬิกา จะได้ค่าลอจิกออกมา ถ้าผลลัพธ์ออกมาเป็น สัญญาณนาฬิกาแสดงว่ายังไม่ได้ผลลัพธ์เท่าที่ต้องการ สัญญาณนาฬิกาจะไปทำให้ตัวนับนับ เพิ่มขึ้นต่อไป และเมื่อได้ค่าผลลัพธ์ดิจิทัลที่ต้องการแล้ว ค่าที่ได้จาก ตัวเปรียบเทียบจะให้ค่าความ ต่างศักย์เป็น “0” (ลอจิก 0) ซึ่งเมื่อนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับสัญญาณนาฬิกาแล้ว ก็จะทำให้ลอจิก 0 ซึ่งทำให้ตัวนับ ไม่นับเพิ่มอีก ก็จะได้ค่าดิจิทัลจากตัวนับที่ต้องการ จากคำอธิบายข้างต้นจะ ได้กราฟ ของ Vout ดังนี้

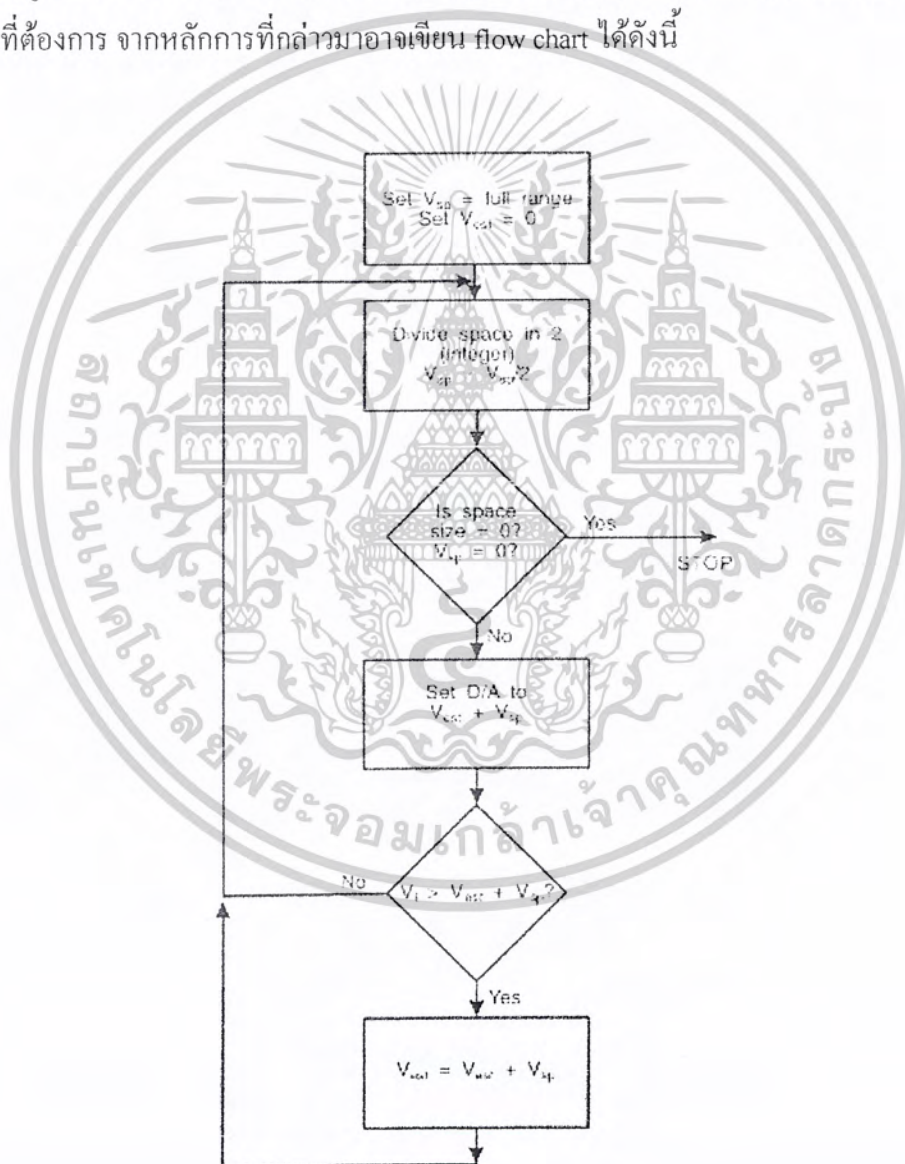


รูปที่ 2.9 กราฟแสดงแรงดันของวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ “0” เสมอ และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ช้า เอาท์พุต ที่ได้จะมี delay จึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนตัวนับเป็นแบบนับลงได้ด้วย ซึ่งจะอ้างอิง ระดับจากระดับเก่า ทำให้ไม่จำเป็นต้องนับ “0” ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนอินพุตใหม่ แต่ให้อ้างอิงกับ ผลลัพธ์เดิม ทำให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น

2.3.2 Successive Approximation

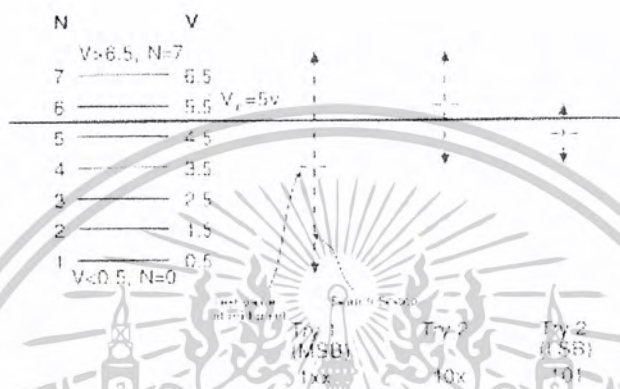
ใช้หลักการของ "binary search" ในการหาคำตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่ คำนั้นๆ มากกว่า หรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วง ไปเรื่อยๆ จน ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น เลขที่เป็นคำตอบคือ 3 จากช่วงของคำตอบที่ 0-7 ครั้งแรกเอาค่า $(0+7)/2 = 4$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่า คำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 2 ก็เลือกค่า $(0+4)/2 = 2$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 3 ก็เลือกค่า $(2+4)/2 = 3$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการ จากหลักการที่กล่าวมาอาจเขียน flow chart ได้ดังนี้



รูปที่ 2.10 หลักการของไบนารีเซิร์ช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของวิธีนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ n รอบแน่นอน (สำหรับ n bit converter ซึ่งอ้างอิงได้ 2ⁿ ระดับ และระดับ V_{in} ที่คงที่) ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าแบบ "Counting Algorithm" แต่มีข้อเสียคือถ้า V_{in} เปลี่ยนทันทีทันใด ขณะที่กำลังทำ binary search อยู่ นั่น คำตอบที่ได้จะผิดพลาด ตัวอย่างเช่น เปลี่ยน V_{in} จาก 5 Volt เป็น 2 Volt

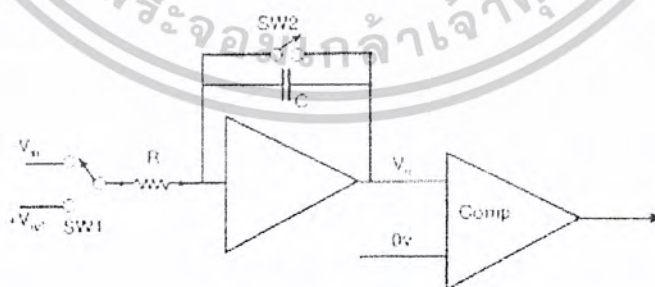


รูปที่ 2.11 ตัวอย่างของผลที่ได้จากวิธีการ ไบนารีเซิร์ท

ช่วงของ V_{in} คือ 1-7 ใช้ $n=3$ (เพราะว่า $2^3=8$)
 ครั้งแรก ใช้ 4 เปรียบเทียบกับ V_{in} (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า อยู่ในช่วง lower ได้ 1xx
 ครั้งที่ 2 ใช้ 2 เปรียบเทียบกับ V_{in} (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า อยู่ในช่วง upper ได้ 10x
 ครั้งที่ 3 ใช้ 3 เปรียบเทียบกับ V_{in} (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จะผิดพลาด ได้ 100

2.3.3 Dual-Slope ADC

ใช้หลักการของวงจร Integrator ทำงานร่วมกับตัว Comparator ดังรูป



รูปที่ 2.12 วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล แบบ ดิวอัลสโลป

แรงดันอินพุต มี 2 ตัว คือ ค่าความต่างศักย์อนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นดิจิทัล ($-V_{in}$) และความต่างศักย์ที่คงที่ค่าหนึ่ง (V_{ref}) และมีสวิตช์ SW1 ซึ่งทำหน้าที่เลือกค่าสัญญาณ จากวงจรตอนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นสวิตช์ SW2 ทำหน้าที่คายประจุของตัวเก็บประจุ C แล้วจึงเปิด SW2 ออก เมื่อสวิตช์ SW1 สับมาที่ $-V_m$ จากวงจร Integrator จะพิสูจน์สมการได้ดังนี้

$$I = C \frac{dV_o}{dt}$$

$$-V_m + iR - V_o + V_o = 0$$

$$-V_m + RC \frac{dV_o}{dt} = 0$$

$$V_m = RC \frac{dV_o}{dt}$$

$$\int dV_o = \int \frac{V_m}{RC} dt$$

$$V_o = \frac{V_m(t)}{RC}$$

slope มีค่าเท่ากับ $\frac{V_m}{RC}$

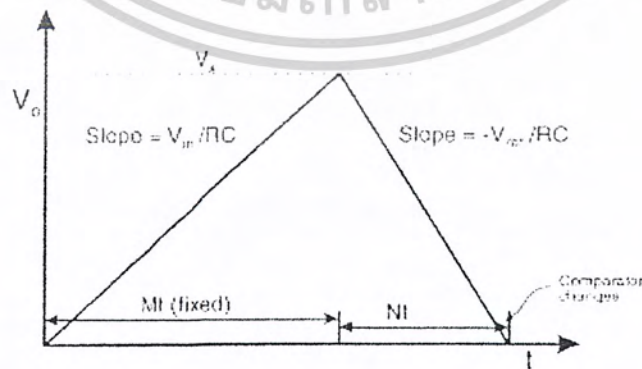
ค่า t ที่ใช้มีค่าคงที่

เมื่อ t เพิ่มขึ้นจากศูนย์ถึง t_m ให้ SW1 สับไปที่ V_{ref}

จะได้สมการ $V_o = \frac{V_{ref}(t)}{RC}$

slope มีค่า $\frac{V_{ref}}{RC}$

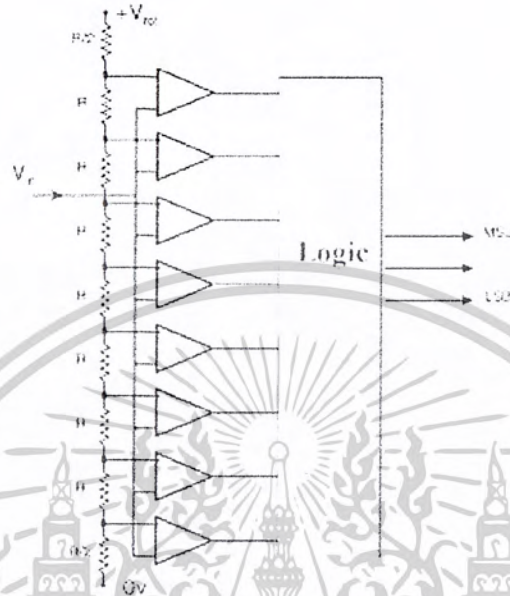
สมมติ ช่วงเวลาตั้งแต่ความต่างศักย์ที่ t_m จนความต่างศักย์เป็น "0" มีค่าเท่ากับ t_n ได้ดังแสดงในกราฟ



รูปที่ 2.13 เอาท์พุทของวงจรคู่อัสโตป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 Flash Converter



รูปที่ 2.16 แฟลชคอนเวอร์เตอร์

หลักการของ Flash Converter คือการใช้การแบ่งแรงดันเป็นแรงดัน หลายๆ ค่า แล้วเปรียบเทียบกับ V_{in} เป็นคู่ๆ พร้อมกัน แล้วทำการทาง logic จากรูปมีแรงดัน เปรียบเทียบ 8 bit ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มขึ้น ความต่างศักย์ที่ได้นั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} แล้วมากกว่าก็จะปล่อยลอจิกออกมา ถ้ามากกว่าก็จะให้ลอจิก "1" ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากันก็จะให้ลอจิก "0" วิธี Flash Converter นี้จะเร็วที่สุด แต่ใช้อุปกรณ์ทาง Hardware มากกว่าแบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล มีประโยชน์มากในการควบคุมอุปกรณ์ สวิตชิง ซึ่งมีลักษณะการแปลงสัญญาณได้หลายวิธี แต่จะวิธีจะมีอัลกอริทึม ความรวดเร็วในการทำงาน และการใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างกันด้วย ทำให้ขนาด และราคาต่างกัน ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้ที่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ และงบประมาณที่มีอยู่ ลำดับของความเร็ว และความละเอียดของอัลกอริทึมต่างๆ เป็นดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรจ่ายไฟตรง

วงจรอิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกวงจรต้องใช้ไฟตรงเป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อให้ตัวอุปกรณ์ในวงจรทำงานได้ในอุปกรณ์หรือเครื่องมือขนาดเล็ก เช่น เครื่องรับวิทยุ เครื่องเล่นเทป อาจใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายพลังงานได้ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ เช่น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์เหล่านี้จะใช้ไฟตรงจากวงจรจ่ายไฟตรง[DC POWER SUPPLY] ซึ่งจะเป็นวงจรที่นำไฟฟ้าบ้านมาแปลงให้เป็นไฟตรง บล็อกไดอะแกรมของวงจรจ่ายไฟตรง แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมของวงจรจ่ายไฟตรง

ค่าแรงดันของไฟฟ้าบ้าน AC 220 V จะถูกหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ ให้มีค่าพอเหมาะกับความต้องการของวงจรส่วนใหญ่จะเป็นการลดค่าแรงดัน และเพิ่มค่าไฟฟ้า เช่น เครื่องมือเลเซอร์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ควบคุมอาจต้องการไฟเลี้ยงเพียง +5 V , -12 V และ +12 V ในขณะที่หลอดเลเซอร์อาจต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 10,000 V (10KV)

เมื่อหม้อแปลงเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าตามที่ต้องการแล้ว วงจรเรียงกระแส (Rectifier) จะเปลี่ยนกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงซึ่งวงจรเรียงกระแสนี้จะใช้ ไดโอด อาจใช้ ไดโอด เพียง 1 ตัว 2 ตัว หรือ 4 ตัว ต่อวงจรเรียงกระแส 1 ชุด

ไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสจะเป็นลักษณะเป็นพัลส์[Pulsating DC] มีการกระเพื่อมสูงมาก [Ripple] วงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานได้ จากไฟตรงที่มีการกระเพื่อมอย่างมาก เช่นนี้ วงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อม[Ripple Filter] จะทำหน้าที่กรองแรงดันไฟตรงที่มีการกระเพื่อมออกมาจากไฟตรงที่เป็นพัลส์ v_2 จะเป็นไฟตรงที่มีการกระเพื่อมน้อยลง วงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะสามารถทำงานได้จากไฟตรงที่มีการกระเพื่อมเล็กน้อยเช่นนี้ [%ripple < 10%]

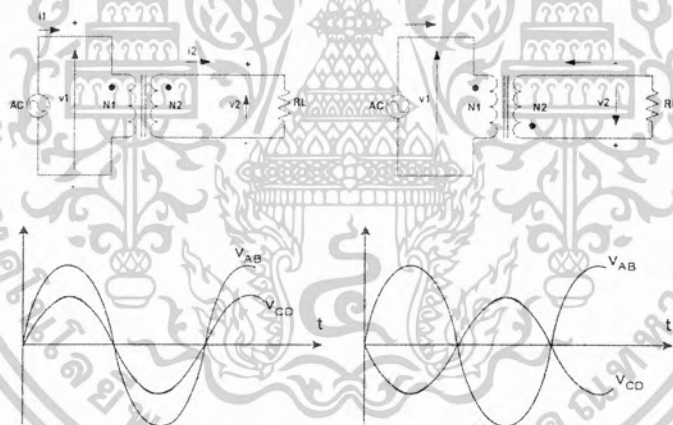
วงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อมจะสร้างขึ้นมาจากตัวอุปกรณ์ที่เป็นรีแอคทีฟ[Reactive] ได้แก่ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะต่อวงจรในลักษณะกรองความถี่ต่ำผ่าน [Low pass Filter]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ บางวงจรที่ต้องการไฟตรงที่เรียบมากๆ วงจรแรงดันคงที่[Voltage Regulator] จะทำหน้าที่กำจัดแรงดันกระเพื่อมที่ยังหลงเหลืออยู่เล็กน้อยของ v_2 ให้หมดไป ไฟตรงที่ได้จากวงจรแรงดันคงที่จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับแบตเตอรี่มาก วงจรแรงดันคงที่อาจจะมีการสร้างง่ายๆ โดยการใช้เพียงซีเนอร์ไดโอดกับรีซิสเตอร์ หรืออาจจะมีวงจรซับซ้อนมากกว่ารีซิสเตอร์กับไดโอดในปัจจุบันได้มีวงจรรวมซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรแรงดันคงที่ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย

2.4.1 หม้อแปลงไฟฟ้า[Transformers]

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดอย่างน้อยสองขด พันอยู่บนแกนเหล็ก การทำงานของหม้อแปลงจะใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กหม้อแปลงไฟฟ้า จะสามารถถ่ายทอดพลังงานได้เฉพาะไฟสลับหรือไฟตรงที่มีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น หม้อแปลงบางตัวอาจมีขดทุติยภูมิได้หลายขด และขดทุติยภูมิอาจจะมีจุดแทปกึ่งกลาง[Center tapped]



รูปที่ 2.19 ขั้วหรือเฟสของหม้อแปลง

ขั้วของหม้อแปลง ก็คือเฟสของหม้อแปลง ซึ่งเขียนแทนด้วยเครื่องหมาย[+,-] หรือสัญลักษณ์จุดดังแสดงในรูปที่ 2.19

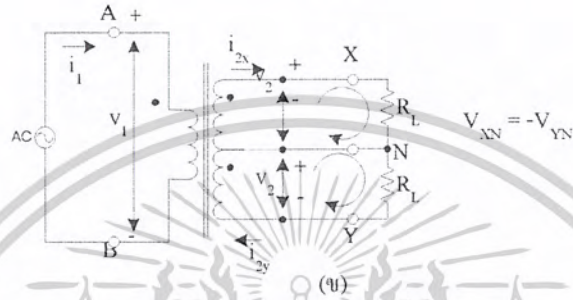
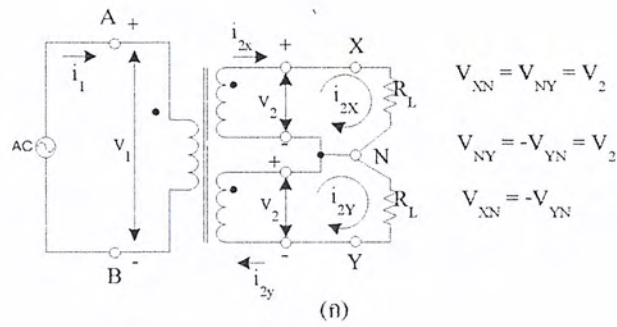
สำหรับหม้อแปลงในอุดมคติ(ไม่มีการสูญเสีย)เราจะได้

$$\frac{|V_1|}{|V_2|} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

และ

$$|V_1| \cdot |I_1| = |V_2| \cdot |I_2| \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 หม้อแปลงที่มีแทปกึ่งกลาง

- ก. หม้อแปลงที่มีขดทุติยภูมิ 2 ขดซึ่งมีจำนวนรอบเท่ากัน
- ข. หม้อแปลงที่มีแทปกึ่งกลางก็คือหม้อแปลงที่มีขดทุติยภูมิ 2 ขด ต่ออนุกรมกัน

หม้อแปลงที่มีแทปกลางก็คือ หม้อแปลงที่มีขดทุติยภูมิสองขดที่จำนวนรอบเท่ากันนำมาต่ออนุกรมกันดังในรูปที่ 3 เฟสของไฟฟ้าที่จุดคั่น(X) และจุดปลาย(Y)จะต่างกัน 180 องศา หรือกลับเฟสกัน เมื่อใช้จุดแทปกึ่งกลางเป็นจุดอ้างอิง จากรูปที่ 3

$$V_{XN} = V_{NY} = V_2$$

$$V_{NY} = -V_{YN} \quad \text{ดังนั้น} \quad V_{XN} = -V_{YN}$$

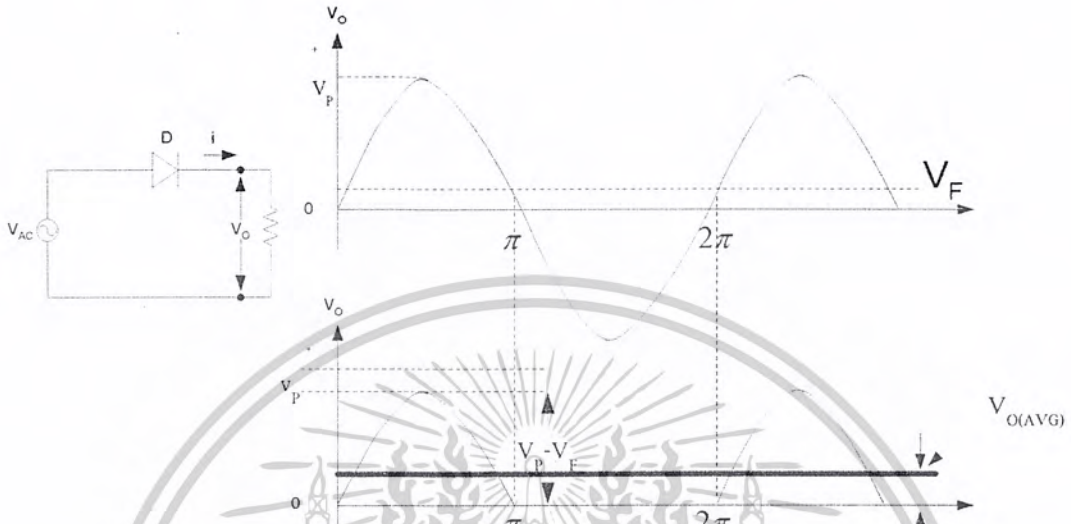
2.4.2 วงจรเรียงกระแส[Rectifier circuits]

เราจะทำการศึกษาวงจรเรียงกระแสสำหรับไฟเฟสเดียว[Single phase] ถ้าแบ่งตามมุมของกระแสที่ไหลผ่านโหลด จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ

- วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น [Half wave Rectifier] ใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว
- วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น [Full wave Rectifier] สามารถต่อวงจรได้ 2 แบบ คือ วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงมีแทป[FWCT] วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [FWB]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น [Half wave Rectifier]



รูปที่ 2.21 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

จากวงจรในรูปที่ 2.11 เขียนสมการของ KVL จะได้

$$g_{AC} = g_D + g_O \quad V \quad (3)$$

ในขณะที่ไฟสลับมีค่าเป็นบวก ($0 < \omega t < \pi$) ไดโอดจะได้รับไบอัสตรง แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น

$$g_O = g_{AC} - g_D \quad V$$

$$g_O = V_p \sin \omega t - 0.6 \quad V \quad ; 0 < \omega t < \pi$$

ในขณะที่ไฟสลับมีค่าเป็นลบ ($0 < \omega t < 2\pi$) ไดโอดจะได้รับไบอัสย้อนกลับ จะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอดแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 0

$$g_O = 0 \quad V \quad ; 0 < \omega t < 2\pi$$

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากระแสจะไหลผ่าน R_L ในทิศทางเดียวเท่านั้น ถึงแม้ว่าแรงดันที่ R_L จะเป็นกระแสตรงแต่ก็ยังมีลักษณะคล้ายพัลส์ มีการกระเพื่อมสูงมาก คลื่นไฟกระแสสลับ หนึ่งถูกคลื่น จะได้ถูกคลื่นของไฟตรงหนึ่งถูก ดังในรูปที่ 2.11 นั่นคือความถี่ของการกระเพื่อม[Ripple Frequency] จะเป็น

$$F_R (HW) = F_{line} \quad (4)$$

ในขณะที่ไฟสลับเป็นซิกลบลไดโอดได้รับไบอัสกลับจะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอดแรงดันเอาต์พุตจะเป็น 0 จากสมการ (3) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_D = g_{AC} \quad V \quad ; (0 < \omega t < 2 \pi)$$

แรงดันของไฟสลับทั้งหมดจะตกคร่อมที่ไดโอด ในการเรียงกระแสไดโอดจะต้องไม่เบรคคาวน์ ไดโอดที่ใช้จะต้องมีค่าแรงดันพังทลายอย่างต่ำเท่ากับค่าสูงสุดของไฟสลับ

$$V_{R(MAX)} \geq V_{P(AC)} \quad V$$

ในวงจร โดยทั่วไปค่าสูงสุดของไฟสลับจะมีค่าสูงกว่าแรงดันไบอัสตรงที่ตกคร่อมไดโอด ($\cong 0.6V$) อย่างมากเราจะถือว่าค่าสูงสุดของไฟตรงมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของไฟสลับค่าแรงดันเอาต์พุท ของไฟสลับ ค่าแรงดันเอาต์พุทของวงจรจะมีค่าเท่ากับ

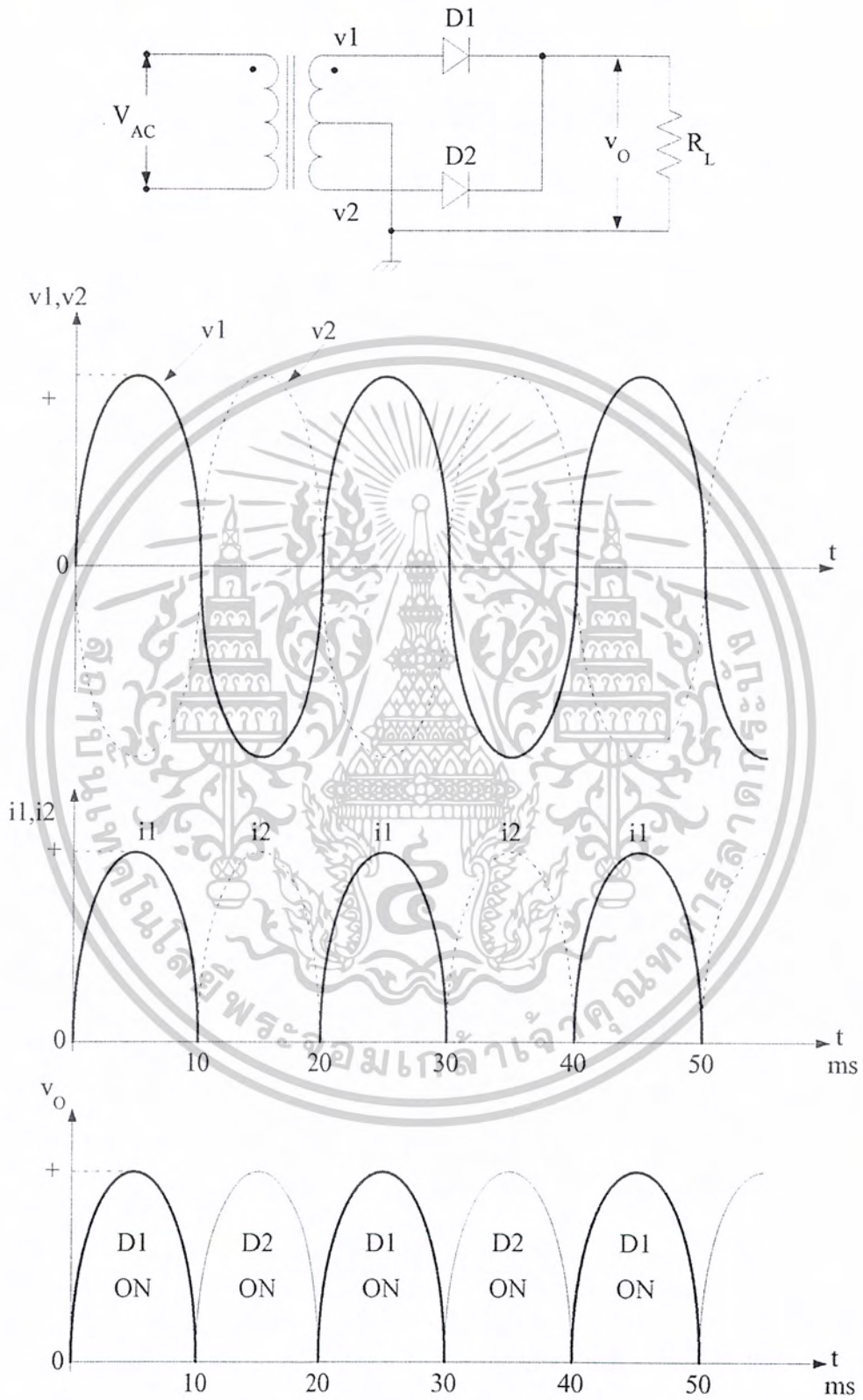
$$g_{ODC}(t) = \begin{cases} V_p \sin \omega t & V; 0 < \omega t < \pi \\ 0 & V; 0 < \omega t < 2\pi \end{cases} \quad (5.ก)$$

$$g_{ODC}(t) = \begin{cases} 0 & V; 0 < \omega t < \pi \\ V_p \sin \omega t & V; 0 < \omega t < 2\pi \end{cases} \quad (5.ข)$$

2.4.4 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นโดยใช้หม้อแปลงที่มีแทบ

(Full Wave Center Tapped; FWCT)

จากที่ทราบว่า เฟสของไฟสลับที่จุดต้นกับจุดปลายจะต่างกัน 180 องศา เมื่อเทียบกับจุดกึ่งกลาง โดยการใช้หม้อแปลงที่มีแทบกลางร่วมกับไดโอด 2 ตัว หม้อแปลงจะทำหน้าที่สลับเฟสของไฟสลับที่ป้อนให้กับไดโอดทั้งสองตัวให้สลับกันทำงานตัวละ 180 องศา เราจะได้กระแสที่ผ่านโหลดตลอดเวลาเต็มคลื่นของไฟสลับดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงมีแทป (FWCT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.22 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า

$$i_0(t) = i_1 + i_2 \quad \text{A} \quad (6)$$

ให้ I_1 และ I_2 เป็นค่ากระแสเฉลี่ยของไดโอด D_1 และ D_2 ตามลำดับ ค่าของ I_1 และ I_2 คือ

$$I_1 = I_2 = \frac{I_{PK}}{\pi} \quad \text{A} \quad (7)$$

ซึ่งค่าสูงสุดของ i_1 และ i_2 คือ

$$I_{PK} = \frac{V_{PK} - 0.6}{R_L} \quad \text{A} \quad (8)$$

ซึ่ง V_{PK} คือค่าสูงสุดของ $v_1(t)^*$ หรือ $v_2(t)^*$ สมการ (6) และ (7) จะได้

$$I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2} \quad \text{A} \quad (9)$$

โดยที่ I_0 คือค่าเฉลี่ยของ $i_0(t)$

และจะได้ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตเป็น

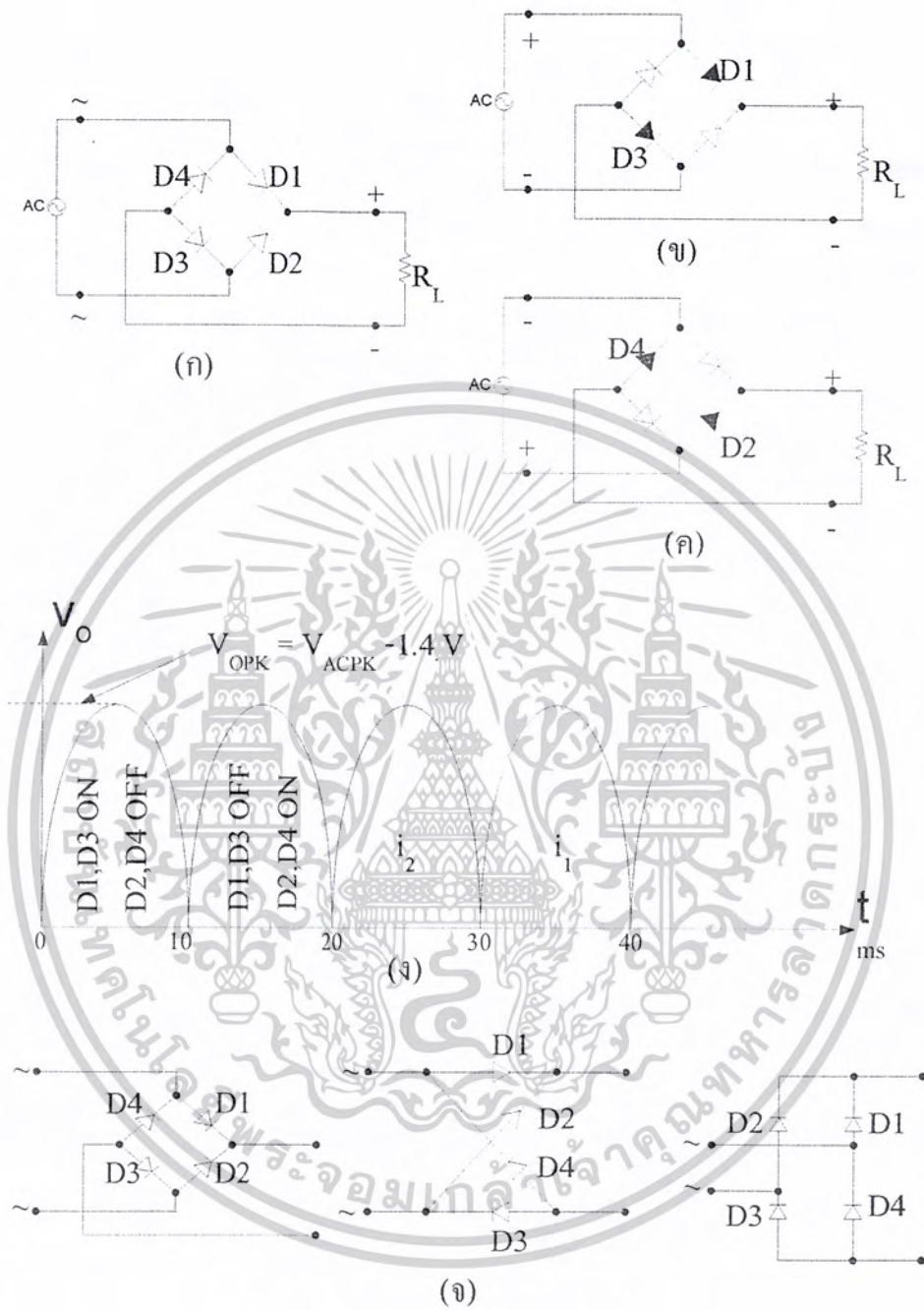
$$V_{0(DC)} = \frac{2(V_{PK} - 0.6)}{\pi} \quad \text{V} \quad (10)$$

ในการใช้งานค่าของ $V_{PK} \gg 0.6$ ค่า 0.6 V อาจไม่จำเป็นต้องนำมาคิด
จากรูปที่ 2.21 1 คาบของไฟสลับ แรงดันเอาต์พุต V_0 จะมีการกระเพื่อม 2 ลูกคลื่น ความถี่
ของการกระเพื่อมจะเป็น

$$F_R (FW) = 2F_{line} \quad (11)$$

2.4.5 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full Wave Bridge Rectifiers: FWB)

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ นิยมใช้งานอย่างมากโดยการใช้ไดโอด 4 ตัว ไดโอด
2 ตัว ในวงจรจะสลับกันทำงานให้มีกระแสไหลผ่านในเวลาครึ่งคาบของไฟสลับ และในเวลาอีก
ครึ่งคาบไดโอดอีก 2 ตัวก็จะทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 FWB (ก). วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (ข). ทิศทางของกระแสในขณะที่เป็นบวก (ค). ทิศทางของกระแสในขณะที่เป็นลบ (ง). รูปคลื่นของ v_o (จ). วงจรบริดจ์เขียนได้หลายรูปแบบ

ในขณะที่เป็นบวกจะมีกระแสไหลผ่าน D_1, D_3 i_1 จะมีค่าเป็นศูนย์(ถูกไบอัสย้อนกลับ) และเมื่อ v_{AC} เป็นลบ i_1 จะเป็นศูนย์ กระแสจะไหลผ่าน D_2, D_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของกระแส $i_0(t)$, $i_1(t)$, $i_2(t)$ กระแสเฉลี่ย I_0 , I_1 และ I_2 ค่าความถี่ของการกระเพื่อมจะอยู่ในรูปแบบเดียวกับวงจร FWCT คือ

$$I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2} \quad \text{A} \quad (12)$$

$$V_{O(PK)} = V_{AC(PK)} - 1.4 \quad \text{V} \quad (13)$$

$$F_R = 2F_{line} \quad (14)$$

ในการสร้างวงจรบริดจ์ของไดโอด เราอาจจะใช้ไดโอดเดี่ยว 4 ตัว มาต่อวงจร หรืออาจจะใช้ไดโอดบริดจ์ซึ่งภายในเป็นไดโอด 4 ตัว ต่อวงจรในลักษณะของบริดจ์เรียบร้อยแล้วสำหรับบริดจ์ไดโอดมีให้เลือกใช้งานได้ตั้งแต่ขนาดกระแสเอาต์พุตเฉลี่ย 0.5 A ขึ้นไปถึงหลายร้อยแอมป์ และทนแรงดันได้มากกว่า 1000 V

2.4.6 วงจรกรองลดการกระเพื่อม [Ripple Filters]

การใช้การวิเคราะห์ด้วยฟูริเยร์จะได้อंकประกอบทางความถี่ของไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแส ในขณะที่ยังไม่ได้มีการกรอง จะได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

$$v_{HW} = v_p \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \cos(\alpha) + \frac{2}{3\pi} \cos(2\alpha) - \frac{2}{15\pi} \cos(4\alpha) + \frac{2}{15\pi} \cos(6\alpha) - \dots + \dots \right) \quad (15)$$

หรือ

$$v_{HW} = 0.318v_p + 0.5v_p \cos(\omega t) + 0.212v_p \cos(2\omega t) + \dots \quad (16)$$

และ

$$v_{FW} = 0.637v_p + 0.424v_p \cos(2\omega t) - 0.085v_p \cos(4\omega t) + \dots \quad (17)$$

ในการแสดงถึงคุณสมบัติของวงจรกรองลดการกระเพื่อมว่ามีคุณสมบัติเพียงใด เราสามารถได้จากค่าของเปอร์เซ็นต์ของการกระเพื่อม [Percentage of Ripple: %R] ซึ่งนิยามโดย

$$\text{Percentage of Ripple} = \frac{\text{ripple voltage (rms)}}{\text{dc voltage}} = \frac{V_r(\text{rms})}{V_{dc}} * 100 \% \quad (18)$$

กรณีของวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ยังไม่มีการกรองจะมีค่า %R เป็นดังการคำนวณต่อไปนี้

ค่า RMS ของส่วนกระแสสลับ (HW) : $V_{R(HW)RMS}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{R(HW)RMS} = v_p \sqrt{\frac{0.5^2}{2} + \frac{0.212^2}{2} + \frac{0.042^2}{2}} = 0.385 V_p \quad (19)$$

และ

$$V_{DC(HW)} = \frac{v_p}{\pi} = 0.318 V_p \quad (20)$$

$$\%R_{(HW)} = \frac{0.385}{0.318} * 100 = 121 \% \quad (21)$$

สำหรับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นจะได้

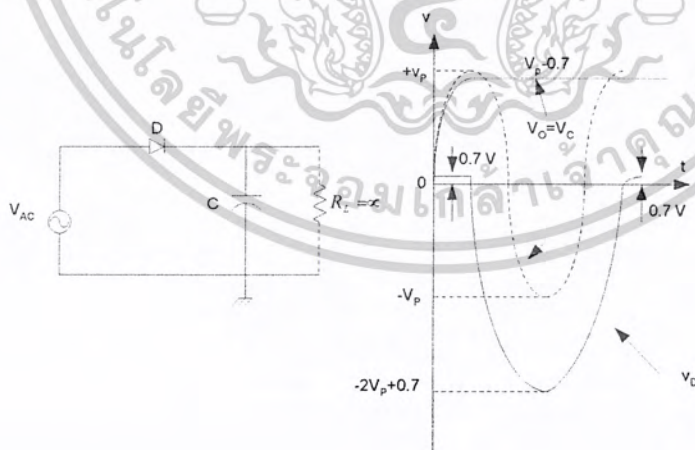
$$\%R_{(FW)} = \frac{0.306}{0.637} * 100 = 48 \% \quad (22)$$

และสำหรับไฟตรงในอุดมคติ

$$\%R_{(ในอุดมคติ)} = \frac{0}{V_{dc}} = 0 \% \quad (23)$$

2.4.7 วงจรกรองลดการกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุ [Ripple Filter using capacitors]

หลักการการทำงานของวงจรกรองลดการกระเพื่อม สามารถอธิบายได้อย่างง่ายๆ คือ ในขณะที่ไดโอดนำกระแสตัวเก็บประจุ จะสะสมพลังงานไว้ เมื่อไดโอดหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุก็จะคายพลังงานออกมาให้กับ R_L ทำให้ R_L ได้รับพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.24 การทำงานของวงจรกรองที่ใช้ C ในสถานะไม่มีโหลด

ในรูปที่ 2.24 แสดงการทำงานของวงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อมที่ใช้ C ในสถานะที่ไม่มี

โหลด ไดโอดจะเริ่มนำกระแสเมื่อได้รับไฟสลับทางบวกครั้งแรกเป็นเวลา $\frac{1}{4}$ คาบของไฟสลับ เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงเวลา $\frac{1}{4}$ คาบของไฟสลับลูกที่ 1 C จะได้รับการประจุให้มีแรงดันไฟฟ้าเป็น $V_{PK} - 0.7$ V เนื่องจากวงจรไม่มีโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม C จะมีค่าคงที่ เท่ากับ $V_{PK} - 0.7$ V ตลอดไป และไดโอดจะไม่นำกระแสอีกเลยแรงดันไฟฟ้าที่เอาท์พุทก็คือแรงดันไฟฟ้าคร่อม C จะมีค่าคงที่เท่ากับ $\sqrt{2} V_{AC} - 0.7$ V ซึ่งเราจะได้ไฟตรงที่เรียบมากเหมือนกับไฟตรงในอุดมคติ

ในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นซึ่งยังไม่มี C กรองไฟ ไดโอดที่ใช้จะต้องมีค่าแรงดันพังทลายอย่างน้อยที่สุดเท่ากับค่าสูงสุดของไฟสลับลูก เมื่อมี C กรองไฟไดโอดในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะต้องมีค่าแรงดันพังทลายอย่างน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของค่าสูงสุดของไฟสลับลูกซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก

KVL ของวงจรในรูปที่ 2.25 คือ

$$V_{AC} = V_D + V_C \quad (24)$$

หรือ

$$V_D = V_C = V_{AC} - V_D \quad (25)$$

หลังจากไฟสลับลูกแรกเข้ามาสู่วงจร $\frac{1}{4}$ ของคาบเวลาของ 1 คลื่น C จะได้รับประจุเป็น $V_{PK} - V_D$ ดังได้กล่าวมาแล้วจากสมการ KVL V_D จะมีค่าเป็น

$$V_D = V_{AC} - V_C \quad (26)$$

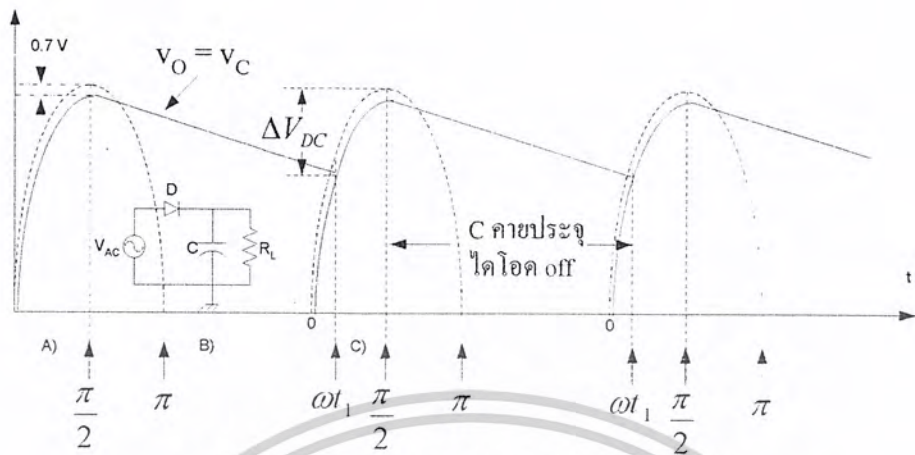
ภายหลังเวลา $\frac{1}{4}$ คาบของไฟสลับลูกแรก V_C จะมีค่าเป็น $V_{PK} - 0.7$ V และเมื่อไฟสลับลูกมีค่าสูงสุดทางลบ แรงดันที่ไดโอดจะเป็น

$$V_D = -V_{PK} - (V_{PK} - 0.7) \quad (27)$$

หรือ

$$V_D = -2V_{PK} + 0.7 \approx -2V_{PK} \quad (28)$$

สำหรับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น แบบที่ใช้หม้อแปลงมีแทปกึ่งกลาง (FWCT) ก็คือ วงจรเรียงกระแส 2 ชุดสลับลูกกันนำกระแส ไดโอดในวงจร FWCT ก็จะต้องมีค่าแรงดันพังทลายอย่างน้อยเท่ากับ $2V_{PK}$ เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.25 การทำงานของ C กรองไฟ ในสถานะที่มีโหลด

A) ภายในช่วงเวลา $\frac{T}{4}$ ของไฟสลับทางบวกถูกคลื่นแรกผ่านไป ไดโอดจะนำกระแสประจุ C ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ C มีค่าเท่ากับ V_p^* ซึ่ง T คือ คาบเวลาของไฟสลับ และ $V_p^* = V_p - V_{F(diode)}$ V

B) หลังจากเวลา $\frac{T}{4}$ ของไฟสลับทางบวกถูกคลื่นแรกผ่านไป ไฟสลับเริ่มมีค่าลดลง ถ้าเราใช้ C ที่มีค่ามากเพื่อให้ค่าเวลาของ $R_L C$ มีค่ามากกว่าคาบเวลา T ของไฟสลับมาก การลดลงของไฟสลับจะเร็วกว่าการลดลงของแรงดันไฟฟ้าที่ C ไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับ C จะคายประจุจ่ายกระแสให้กับ R_L แรงดันคร่อม C จะมีค่าลดลงอย่างเอ็กซ์โพเนนเชียล ตัวเก็บประจุจะคายประจุไปจนถึงเมื่อไฟสลับถูกต่อไม่มีมุมเฟส ωt_1 ที่มุมเฟส $2\pi + \omega t_1$ ค่าของแรงดันเอาต์พุต (v_o) ที่มุมเฟส $\frac{\pi}{2}$ ถึง $2\pi + \omega t_1$ จะเป็น

$$v_o(\omega t) = v_p^* e^{-\left(\frac{\omega t - \pi/2}{\omega R_L C}\right)} ; \quad \frac{\pi}{2} < \omega t < 2\pi + \omega t_1 \quad (29)$$

C) ไดโอดจะเริ่มนำกระแสจากมุมเฟส ωt_1 จนถึง $\frac{\pi}{2}$ ประจุ C ค่าของแรงดันเอาต์พุตที่มีมุมเฟส ωt_1 ถึง $\frac{\pi}{2}$ จะเป็น

$$v_o(\omega t) = v_p^* \sin \omega t ; \quad \omega t_1 < \omega t < \frac{\pi}{2} \quad (30)$$

ซึ่งค่าของ $v_o(\omega t)$ ในสมการที่ (29) จะเท่ากับ $v_o(\omega t)$ ในสมการที่ (30) ที่มุมเฟส $2\pi + \omega t_1$ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_p^* e^{-\left(\frac{2\pi + \omega t_1 - \pi/2}{\omega R_L C}\right)} = v_p^* \sin(2\pi + \omega t_1)$$

จะได้

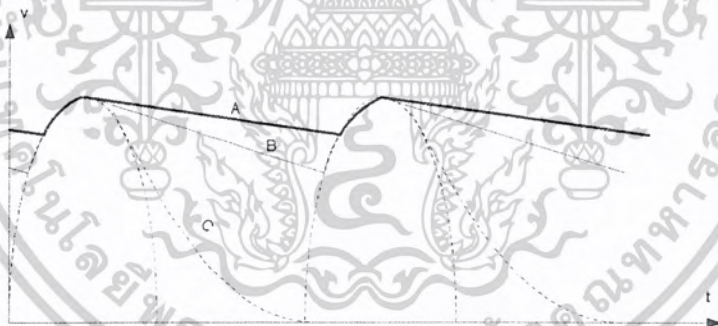
$$\omega t_1 = \sin^{-1} \left[e^{-\left(\frac{\omega t_1 + 1.5\pi}{\omega R_L C}\right)} \right] \quad \text{rad} \quad (31)$$

ถ้าเราสามารถแก้สมการที่ (31) ได้ เราจะสามารถทราบค่ามุมเฟส ωt_1 ซึ่งจะนำไปคำนวณหาขนาดของแรงดันกระแสเพิ่ม: ΔV_{DC} และค่าของไฟตรงที่เอาท์พุท คือ

$$\Delta V_{DC} = V_p^* (1 - \sin \omega_1 t) \quad v_{pp} \quad (32)$$

และ
$$V_{O(DC)} = \frac{V_p^*}{2\pi} \left[\int_{\omega_1}^{\frac{\pi}{2}} \sin \omega t d\omega t + \int_{\frac{\pi}{2}}^{2\pi + \omega_1} e^{-\left(\frac{\omega t - \frac{\pi}{2}}{\omega R_L C}\right)} d\omega t \right] \quad (33)$$

ในรูปที่ 2.25 แสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นจากค่า C ต่างๆซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า C ค่ายิ่งมากไฟตรงที่ได้จะยิ่งกระเพื่อมน้อย



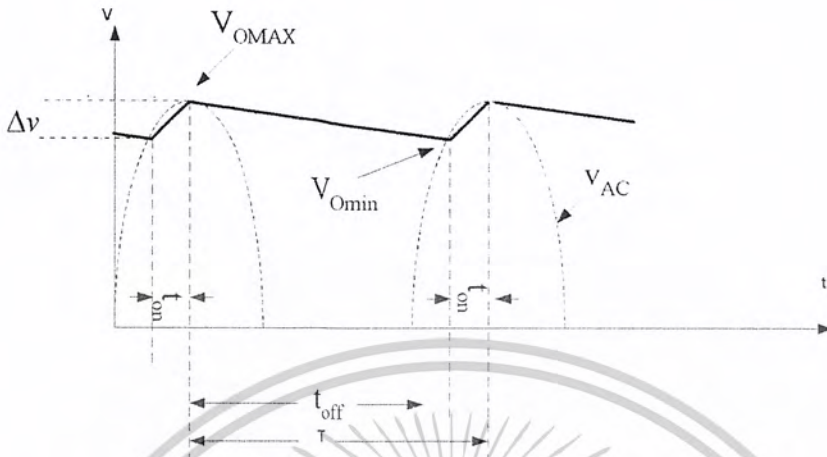
รูปที่ 2.26 ผลของค่า C ต่างๆกัน

- A,B $R_L C_1 > R_L C_2 > T$: T=คาบของไฟสลับ
- C $R_L C_3 < T$

2.4.8 การคำนวณขนาดของแรงดันกระแสเพิ่มโดยประมาณ

จากหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการคำนวณค่าของแรงดันกระแสเพิ่มที่ยู่ยากพอสมควร วิธีการคำนวณโดยประมาณเป็นวิธีที่ง่ายกว่ามาก และเป็นวิธีการที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ซึ่งจะแทนเส้นโค้งของการประจุ และการคายประจุด้วยเส้นตรง ดังในรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 การประมาณค่าแรงดันกระแสเพื่อมของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น(HW)

จากการที่เราประมาณการคายประจุของ C เป็นเส้นตรง C จะคายประจุด้วยกระแสคงที่ I_o นี่ก็คือกระแสที่ R_L หรือกระแสที่วงจรจ่ายไฟไปให้ R_L ช่วงเวลาที่ C คายประจุคือ $T-t_{on}$ เมื่อ T คือ คาบเวลาของไฟสลับ และ t_{on} คือ ช่วงเวลาที่ C ถูกประจุจากไดโอด จำนวนประจุที่ C คายออกมาคือ

$$Q_{Dis} = I_o (T - t_{on}) \quad C \quad (34a)$$

ในวงจรทั่วไปเราอาจประมาณได้ค่า $T \gg t_{on}$ ดังนั้นสมการที่ (34a) จะเป็น

$$Q_{Dis} = I_o (T) \quad C \quad (34b)$$

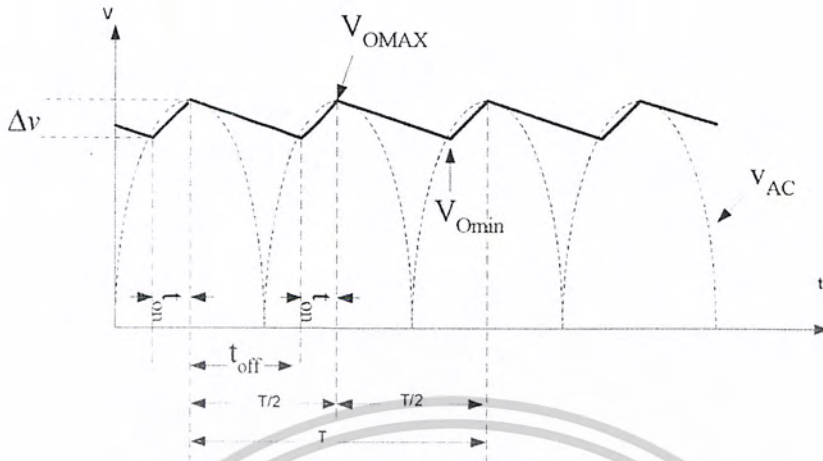
ในช่วงเวลา t_{on} C จะถูกประจุให้มีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นจาก V_{min} เป็น V_{max} แรงดันที่ C ได้รับคือ Δv ถ้า C มีค่าความจุเท่ากับ C จำนวนประจุที่ได้รับคือ

$$Q_{CH} = C\Delta v \quad C \quad (35)$$

ในช่วงเวลา 1 คาบของไฟสลับ จำนวนประจุที่ C ถูกประจุจะต้องมีค่าเท่ากับ จำนวนประจุที่คายออกไป ดังนั้น

$$C\Delta v = I_o T \quad C \quad (HW) \quad (36)$$

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จะเป็นดังในรูปที่ 11



รูปที่ 2.28 การประมาณค่าแรงดันกระแสพอมในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น สำหรับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น ช่วงเวลาการชาร์จจะเป็น $T/2$ เมื่อ T คือคาบเวลาของไฟสลับ ในทำนองเดียวกับวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น จะได้

$$C\Delta v = \frac{I_o T}{2} \quad C \quad (FW) \quad (37)$$

โดยการแทนค่า $T=1/F_{line}$ สมการ (36) และ (37) จะเป็น

$$C\Delta v = \frac{I_o}{F_{line}} \quad C \quad (HW) \quad (38a)$$

และ

$$C\Delta v = \frac{I_o}{2F_{line}} \quad C \quad (FW) \quad (38b)$$

จากสมการ (4) และ (11)

$$F_R (HW) = F_{line}$$

$$F_R (FW) = 2 F_{line}$$

สมการ (38a) และ (38b) สามารถเขียนได้เป็น

$$C\Delta v = \frac{I_o}{F_R} \quad C \quad (39)$$

สมการ (39) นี้เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดันกระแสพอม กับค่าของ C โดยประมาณ ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่ใช้งานได้ง่ายกว่าสมการ (32) และ (33) มาก จึงมีประโยชน์มากในทางปฏิบัติทั้งในการออกแบบ และวิเคราะห์

โดยที่ C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็น ฟารัด: F

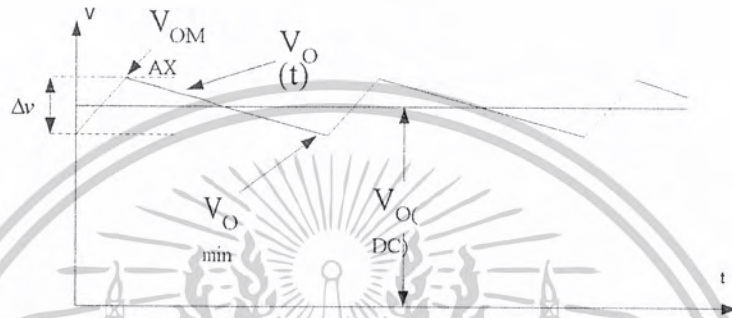
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_o คือ ค่ากระแสเฉลี่ยที่จ่ายให้กับโหลดมีหน่วยเป็น แอมแปร์: A

Δv คือ ค่าขนาดของแรงดันกระเพื่อมมีหน่วยเป็น โวลต์จากยอดถึงยอด: V_{pp}

F_R คือ ค่าความถี่ของการกระเพื่อม หน่วยเป็นเฮิรตซ์: Hz

ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ F_{line} สำหรับ HW และ $2F_{line}$ สำหรับ FW



รูปที่ 2.29 แสดงการคำนวณหาค่า $V_{O(DC)}$

จากรูปที่ 2.29 จะได้ค่าเฉลี่ยของ V_o หรือค่าไฟตรงของ V_o จะมีค่าเป็น

$$V_{O(AV)} = V_{O(DC)} = V_{O(MAX)} - \frac{V_{O(MAX)} - V_{O(MIN)}}{2}$$

ซึ่ง $V_{O(MAX)}$ คือ V_p^* และ $V_{O(MAX)} - V_{O(MIN)}$ คือค่าของแรงดันกระเพื่อม ค่าของแรงดันไฟเฉลี่ย เป็น

$$V_{O(DC)} = V_p^* - \frac{\Delta V}{2} \quad (40)$$

โดยที่ V_p^* คือค่าสูงสุดของ $v_o(t)$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$V_p^* = \sqrt{2}V_{AC} - V_{F(DIODE)} \quad (41)$$

V_{AC} : ค่าของแรงดันไฟสลับ: V_{rms}

$V_{F(DIODE)}$: ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดในสภาวะไบอัสตรง ซึ่งจะมีค่าประมาณ

$V_{F(DIODE)} \approx 0.7$ V สำหรับ HW และ FWCT

$V_{F(DIODE)} \approx 1.4$ V สำหรับ FWB

2.4.9 การออกแบบวงจรจ่ายไฟตรง

ก่อนที่เราจะออกแบบวงจร เราจะต้องกำหนดคุณสมบัติของวงจรเสียก่อน คุณสมบัติที่จำเป็นในการออกแบบวงจรจ่ายไฟตรงได้แก่

ก) ขนาด และทิศทางของไฟตรงที่ต้องการ ; $V_{O(DC)}$

ข) ค่ากระแสไฟตรงสูงสุดที่วงจรจะจ่ายได้ ; $|I_o|$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ขนาดของแรงดันกระเพื่อมที่ยอมรับได้ : ΔV

หรือ % แรงดันกระเพื่อม : %R

การกำหนดคุณสมบัติทั้ง 3 ประการนี้ จะได้มาจากความต้องการในการใช้งาน กล่าวคือ

ก) ขนาดและทิศทางของไฟตรงที่ต้องการ

- ขนาดของไฟตรงที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับว่า เราจะนำวงจรจ่ายไฟตรง ไปจ่ายไฟให้กับวงจร หรืออุปกรณ์ อะไร

- ทิศทางของไฟตรง คือ การกำหนดจุดที่จะเป็นจุดอ้างอิงหรือ กราวนด์

ข) ค่ากระแสสูงสุดที่วงจรจะจ่ายได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการกระแสของวงจรที่เราจะนำวงจรจ่ายไฟไปจ่ายพลังงานให้ ซึ่งค่ากระแสที่วงจรต่างๆต้องการจะมีความสัมพันธ์กับค่าแรงดันไฟตรงที่วงจรนั้นๆต้องการ และการทำงานของวงจรนั้นๆ โดยจะต้องนำความรู้ทางทฤษฎีในการทำงานของวงจรนั้นๆวิเคราะห์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องรู้ต่อไป

ค) ขนาดของแรงดันกระเพื่อม หรือ % แรงดันกระเพื่อมจะขึ้นอยู่กับชนิดของวงจรที่จะนำไฟตรงไปใช้งาน

ในการออกแบบวงจรจ่ายไฟ จะมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

- เลือกชนิดของวงจรเรียงกระแส HW หรือ FWCT หรือ FWB ในทางปฏิบัติ ถ้า

$|V_{o(DC)}| \times |I_o|$ หรือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายมากกว่า 1 W ควรใช้วงจรชนิด FWCT หรือ FWB

- จำนวนค่าของ C ได้จากสมการ (39) และกำหนดอัตราความทนแรงดันของ C

- กำหนดขนาดของหม้อแปลง

- เลือกหรือกำหนดคุณสมบัติของไดโอดที่จะนำมาใช้

- กำหนดขนาดของฟิวส์

2.4.10 การเผื่ออัตราความทนทานของตัวอุปกรณ์

ในการออกแบบทางวิศวกรรมทุกสาขา จะต้องมีการเผื่ออัตราความทนทานขององค์ประกอบต่างๆเสมอเพื่อมิให้เกิดความเสียหายขึ้นที่องค์ประกอบนั้นวิศวกร ต้องตระหนักถึงความรับผิดชอบในงานของตนเพราะเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นที่องค์ประกอบใดก็ตามในระบบ จะทำให้ระบบทั้งระบบล้มเหลวและอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้

พิกัดหรือขนาดของตัวอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ในการสร้างวงจรจะต้องมีขนาดหือพิกัดอย่างน้อยที่สุดเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้า และ/หรือ ค่ากระแส และ/หรือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์นั้นๆมีอยู่ด้วย ค่าอัตราเผื่อเพื่อความปลอดภัย(Safety Margin Factor) ซึ่งค่าอัตราเผื่อเพื่อความปลอดภัย อย่างน้อยที่สุด คือ 1.25-2 เท่า ในองค์ประกอบที่มีความสำคัญมาก หรืออุปกรณ์ในระบบที่มีความสำคัญมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ อุปกรณ์ในระบบที่ต้องมีความเชื่อถือได้สูง(High Reliability) เช่น เครื่องช่วยหายใจ อุปกรณ์ในอากาศยาน อาจต้องเผื่อค่าความปลอดภัยไว้สูงถึง 10 เท่า(1000%) ก็ได้

ในทางไฟฟ้าอัตราความทนทานของอุปกรณ์ จะอยู่ในรูปของค่าแรงดันไฟฟ้า กระแส หรือ กำลังไฟฟ้า

ก) แรงดันไฟฟ้า ค่าอัตราการทนแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ได้รับไบอัสย้อนกลับที่ไม่ต้องการให้ เบรคดาวน์ เช่น ไดโอดเรียงกระแส ทรานซิสเตอร์ ในวงจรทุกชนิด เป็นต้น และค่าเบรคดาวน์ของจนวนไฟฟ้า รวมไปถึงหน้าสัมผัสของสวิทช์ ค่าอัตราการทนแรงดันไฟฟ้า หรือแรงดันเบรคดาวน์ของอุปกรณ์เหล่านี้ จะต้องมีค่าอย่างน้อยที่สุด 1.25 หรือ 2 เท่า ของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์เหล่านี้

ข) กระแสไฟฟ้า ค่าพิักกระแสของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทุกชนิด พิกัดกระแสของตัวนำไฟฟ้า (สายไฟฟ้า) ขดลวดทุกชนิดรวมทั้งหม้อแปลงไฟฟ้า และค่าพิักกระแสของหน้าสัมผัสสวิทช์ ค่าพิักกระแสของอุปกรณ์เหล่านี้ จะต้องมีค่าอย่างน้อยที่สุด 1.25-2 เท่า* (*อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำใช้ 2 เท่า)

ค) ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าอัตราทนกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ทุกชนิด จะต้องมีค่าอย่างน้อยที่สุด จะต้องมีค่า 1.25-2 เท่า* ของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์

2.4.11 ตัวเก็บประจุ กรองแรงดันกระเพื่อม

ค่าความจุ C กำหนดได้จาก สมการ

$$C \geq \frac{I_o}{F_R \Delta V} \quad \text{FARAD} \quad (42)$$

ค่าของ ΔV ในสมการนี้มีหน่วยเป็น V_{pp} ซึ่ง

$$\Delta v_{pp} = 2\sqrt{3}\Delta v_{rms} \quad (43)$$

และ

$$\Delta v_{pp} = \frac{2\sqrt{3}(\%Ripple \times V_{O(DC)})}{100} \quad (44)$$

ค่าอัตราการทนแรงดันไฟฟ้าของ C ; C_{wv} แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อม C จะมีค่าเท่ากับ

ค่าสูงสุดของ $v_o(t)$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ V_p^* ซึ่ง $V_p^* = V_{O(DC)} + \frac{\Delta V}{2}$; $\Delta V : V_{pp}$ ดังนั้น

$$C_{wv} \geq 1.25 \left(V_{O(DC)} + \frac{\Delta V}{2} \right) \quad ; \Delta V : V_{pp} \quad (45)$$

C_{wv} : Capacitor Working Voltage คืออัตราการทนแรงดันของตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.12 ขนาดของหม้อแปลง

พิกัดแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$V_{AC}(\text{sec}) : rms = \frac{V_{O(DC)} + 0.5\Delta V + V_{F(DIODE)}}{\sqrt{2}} \quad V_{rms} \quad (46)$$

$V_{AC}(\text{sec}) : rms$ คือพิกัดแรงดันของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง

พิกัดกระแสของหม้อแปลง สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 พิกัดกระแสของทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ใช้กับวงจรเรียงกระแสที่มีตัวเก็บประจุคดแรงดันกระแสเพื่อ

ชนิดของวงจร	พิกัดกระแสของขดทุติยภูมิ: $I_{AC(sec)}$; A_{rms}
HALF WAVE	$I_{AC(sec)} = 1.8I_{O(DC)}$
FULL WAVE CENTERTAPED	$I_{AC(sec)} = 1.2I_{O(DC)}$
FULL WAVE BRIDGE	$I_{AC(sec)} = 1.8I_{O(DC)}$
DUAL FULL WAVE CENTERTAPPED	$I_{AC(sec)} = 1.8I_{O(DC)}$

2.4.13 การเลือกหรือกำหนดคุณสมบัติของไดโอด

ก่อนที่เราจะเลือกเบอร์ไดโอดมาใช้งาน เราจะต้องเข้าใจคุณสมบัติเฉพาะของไดโอด จากข้อมูลของผู้ผลิต

ในการเลือกใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทุกชนิด คุณสมบัติเฉพาะที่เราต้องพิจารณาก่อนคือ ค่าพิกัดสูงสุด(Maximum Rating) ข้อมูลของค่าพิกัดสูงสุดเป็นข้อมูลที่บอกให้เราทราบถึง ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่อุปกรณ์นั้นจะใช้งานได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

ก) การเลือกค่ากระแสไบอัสตรง

ค่ากระแสไบอัสตรงสูงสุด : I_0 ของไดโอดจะต้องมีค่าน้อย 2 เท่าของค่ากระแสไฟตรงที่ไหลผ่านไดโอด

-กรณีของ Half Wave ซึ่งใช้ไดโอดเพียงตัวเดียวกระแสไฟตรงที่ทางออกทั้งหมดจะเท่ากับกระแสไบอัสตรงที่ผ่านไดโอด ดังนั้น

$$I_{O(DIODE)} \text{ จาก Spec} \geq 2I_{O(DC)} \quad (47)$$

-กรณีของ Full Wave ซึ่งไดโอดแต่ละชุดจะสลับกันทำงาน ตัวละครึ่งไซเคิลของของไฟสลับ ดังนั้นกระแสเฉลี่ยหรือกระแสไฟตรงที่ผ่านไดโอด แต่ละชุดจึงเป็นครึ่งหนึ่งของกระแสไฟตรงที่ทางออก ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{O(DIODE)} \text{ จาก Spec } \geq I_{O(DC)} \quad (48)$$

-ในกรณีของ FWB เราอาจใช้ไดโอดเดี่ยว 4 ตัวมาต่อเป็นวงจรถับรีดักต์ ในกรณีนี้ $I_{O(DIODE)}$ จะเป็นไปตามสมการ (48) แต่ถ้าใช้บริดจ์สำเร็จรูปเราจะใช้สมการดังนี้

$$I_{O(BRIDGE DIODE)} \text{ จาก Spec } \geq 2I_{O(DC)} \quad (49)$$

ข) ค่าแรงดันพังทลายของไดโอด

สำหรับ HW และ FWCT

$$V_R \geq 4\sqrt{2}V_{AC} \quad :V_{AC(rms)} \quad (50)$$

สำหรับ FWB

$$V_R \geq 2\sqrt{2}V_{AC} \quad :V_{AC(rms)} \quad (51)$$

2.4.14 การคำนวณขนาดของฟิวส์

ฟิวส์เป็นอุปกรณ์ที่ใส่ไว้เพื่อความปลอดภัย ทั้งอุปกรณ์ในวงจร และทรัพย์สินของผู้เป็นเจ้าของถ้าไม่มีฟิวส์ เมื่อเกิดสภาวะเกินโหลด หรืออุปกรณ์บางตัวเสียหาย เช่น ไดโอดเกิดลัดวงจรจะทำให้มีกระแสไหลเข้าสู่หม้อแปลงอย่างมาก ถ้าทิ้งไว้เป็นเวลานานหม้อแปลงจะร้อนมาก และลัดวงจรอาจทำให้เกิดอัคคีภัยร้ายแรงได้ การมีฟิวส์จะช่วยทำให้กระแสหยุดไหลก่อนที่จะเกิดมหันตภัยร้ายแรง หลักการคิดขนาดของฟิวส์ เราใช้หลักการง่ายๆ ของการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าไม่คิดการสูญเสียในหม้อแปลงและวงจรเรียงกระแส จะได้ว่า

$$P_{AC(Line)} = P_{O(DC)} \cong V_{O(DC)} I_{O(DC)}$$

จะได้

$$I_{AC(Line)} \approx \frac{V_{O(DC)} I_{O(DC)}}{V_{AC(Line)}}$$

โดยทั่วไป หม้อแปลง และวงจรเรียงกระแสจะมีการสูญเสียประมาณ 5-20% ขนาดของฟิวส์จะมีค่าประมาณ

$$Fuse_{Line} \approx 1.25 \frac{\sum(V_{O(DC)} \times I_{O(DC)})}{V_{AC(Line)}}$$

(52)

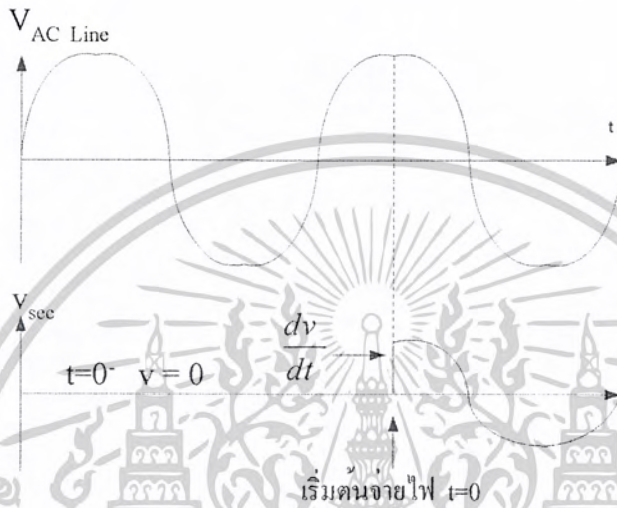
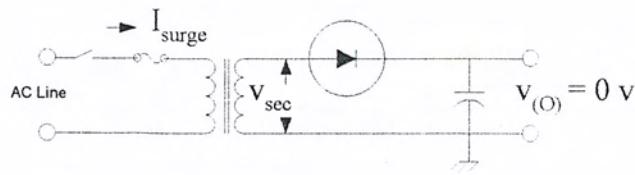
ซึ่งค่าของ $V_{AC(Line)}$ ในประเทศไทย คือ 220 V_{rms}

พิจารณาวงจรจ่ายไฟที่มีตัวเก็บเป็นตัวกรองลดแรงดันกระเพื่อม ในความเป็นจริงค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นของ C (Initial Voltage: $V_{(0)}$) จะมีค่าเป็น 0 โวลต์ ทันทีที่เราเปิดสวิตช์(ปิดวงจร) C จะเสมือนลัดวงจร ในขณะที่วงจรเริ่มต้นทำงานจะมีกระแสกระชาก ค่าสูงไหลเข้าสู่วงจร อาจทำให้

ฟิวส์ขาดได้ ถึงแม้ว่าวงจรที่ทางออกอยู่ในสภาวะเปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 สภาวะที่เกิดขึ้น ขณะที่เริ่มจ่ายไฟ AC Line

ก่อนที่จะจ่ายไฟ AC Line ให้วงจร $t=0, v_{sec}=0$ ณ เวลาที่เริ่มต้นจ่ายไฟ AC Line $t=0$ แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงอาจเพิ่มขึ้นได้อย่างทันทีทันใด ดังในรูปที่ 2.20 จะทำให้ค่า $\frac{dv}{dt}$ มีค่าสูงมาก

$$i_{capacitor} = C \frac{dv}{dt} \approx \infty$$

หรือ C เสมือนลัดวงจร

ทำให้เกิดกระแสชั่วขณะ (Transient or Surge) ค่ามากไหลในวงจร ซึ่งอาจทำให้ฟิวส์ขาด ดังนั้นฟิวส์ที่ใช้จึงควรเป็นชนิด "ขาดช้า" (Slow Blow)

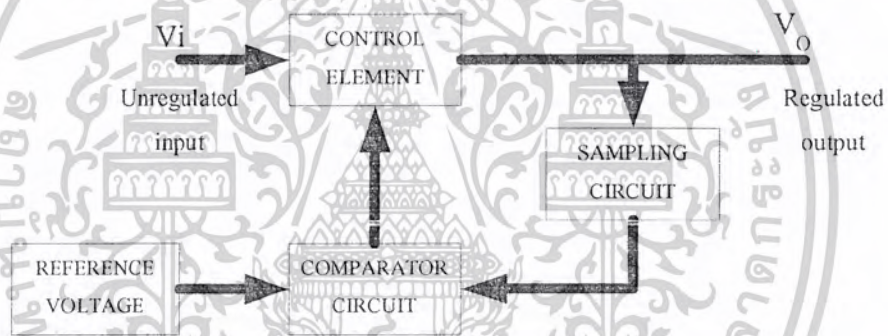
2.4.15 วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ด้วยทรานซิสเตอร์

(DISCRETE TRANSISTOR VOLTAGE REGULATION)

วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ด้วยทรานซิสเตอร์ มี 2 ชนิดคือ การรักษาระดับแรงดันแบบอนุกรม และการรักษาระดับแรงดันแบบขนาน ซึ่งแต่ละชนิดสามารถให้แรงดันเอาต์พุตเป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั้นคือ รักษาแรงดันให้คงที่ไว้ หรือ รักษาแรงดันคงที่เมื่อแรงดันเข้าหรือโหลดที่ต่ออยู่ทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนไป

2.4.16 การรักษาระดับแรงดันคงที่แบบอนุกรม (Series Voltage Regulation)

บล็อกไดอะแกรมพื้นฐาน ของวงจรรักษาระดับแรงดันคงที่แบบอนุกรม ดังรูปที่ 14 ส่วนที่ควบคุมที่อนุกรมจะรับแรงดันเข้าทั้งหมด เพื่อให้เพิ่มแรงดันเอาต์พุต ส่วนเอาต์พุตที่ได้จะถูกสุ่มมาเพื่อที่จะป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง เพื่อจะได้แรงดันเอาต์พุตที่คงที่



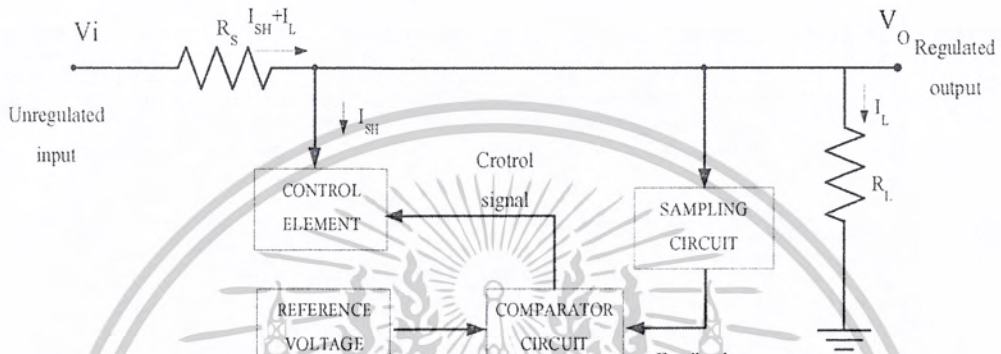
รูปที่ 2.31 บล็อกไดอะแกรมวงจรรักษาระดับแรงดันคงที่แบบอนุกรม

1. ถ้าเอาต์พุตมีแรงดันเพิ่มขึ้น ส่วนของ วงจรเปรียบเทียบ จะไปควบคุมสัญญาณที่ไปยัง Control Element ให้ควบคุมให้ เอาต์พุต โวลต์เตจลดลง
2. ถ้าแรงดันเอาต์พุตลดลง ส่วนของวงจรเปรียบเทียบจะไปควบคุมสัญญาณที่ไปยัง ส่วนของ Control Element ให้ควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้เพิ่มขึ้น

2.4.17 การรักษาระดับแรงดันคงที่แบบขนาน (Shunt Voltage Regulation)

แรงดันขนานเป็นสิ่งที่นำมาไว้ควบคุมโดยใช้หลักการการแบ่งกระแส จากโหลดที่ควบคุมอยู่ที่แรงดันเอาต์พุตตามรูปที่ 2.32 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่แบบขนาน อินพุตที่ไม่ได้ถูกควบคุมมาถึงแรงดันและกระแสไปยัง โหลดกระแสบางส่วนจะถูกดึงลงโดยส่วน Control Element เพื่อไปควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมโหลดถ้าแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยน อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนโหลด ส่วนของการสุ่มตัวอย่าง จะป้อนสัญญาณกลับไปยังวงจรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบโดยที่ส่วนของ ควบคุมสัญญาณ จะเปลี่ยนแปลงตามกระแสที่ขั้วขานมาจากโหลด ในขณะที่แรงดันเอาต์พุตถูกทำให้เพิ่มขึ้นจะทำให้ วงจรสุ่มตัวอย่าง จะป้อนกลับมาให้กับวงจร เปรียบเทียบโดยส่งให้ Control Element ดึงกระแสขานให้มากขึ้น จะทำให้กระแสไหลลดลง ดังนั้น จะรักษาระดับแรงดัน ได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.32 บล็อกไดอะแกรมวงจรรักษาระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 การต่ออุปกรณ์ต่างๆของส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

การต่ออุปกรณ์ในส่วนควบคุมนี้จะประกอบไปด้วย

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2
2. คีย์สวิตช์แบบเมทริกซ์(Key Matrix) 4x4
3. ไอซีเบอร์ DAC8532



รูปที่ 3.1 แผนผังการต่ออุปกรณ์ต่างๆของส่วนควบคุม

คีย์สวิตช์จำนวน 16 ตัวแบบเมทริกซ์ขนาด 4x4 เข้ากับพอร์ต(PORT) 1 ของ P89C51RD2 ซึ่งพอร์ต P1.0-P1.3 จะต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแรงดันไฟฟ้า +5 โวลต์อยู่ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่พอร์ต P1.0-P1.3 เป็น "1" ตลอดเวลาในการตรวจสอบคีย์นั้นจะส่งลอจิก(Logic) "0" ออกไปที่พอร์ต P1.4-P1.7 ครั้งละบิต ส่วนบิตอื่นๆเป็นลอจิก "1" เริ่มจาก พอร์ต P1.4 และอ่านข้อมูลเข้าทางพอร์ต P1.0-P1.3 ทีละบิตต่อมาส่งให้ พอร์ต P1.5 เป็นลอจิก "0" และอ่านข้อมูลเข้าทางพอร์ต P1.4-P1.7 และทำซ้ำไปเรื่อยๆ

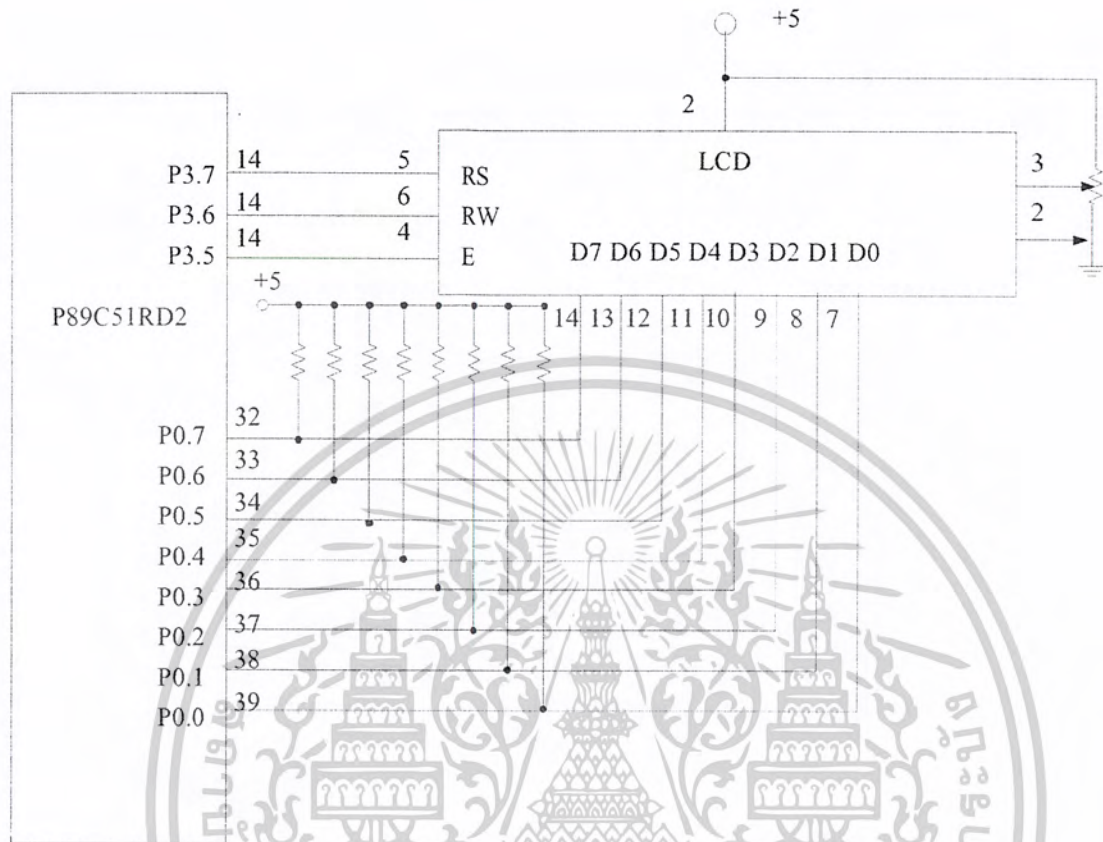
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การต่อคีย์สวิตช์แบบเมทริกซ์กับพอร์ต 1 ของ P89C51RD2D

การออกแบบได้เลือกใช้ จอแสดงผล(LCD) 16 x 2 ต่อเข้ากับพอร์ต P0 เป็นพอร์ตในการส่งข้อมูล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งรหัสแอสกี (ASCII CODE) ขนาด 8 บิต และใช้ พอร์ต P3.7 , P3.6 และ P3.5 เป็นพอร์ตควบคุมการแสดงผลของจอแสดงผล

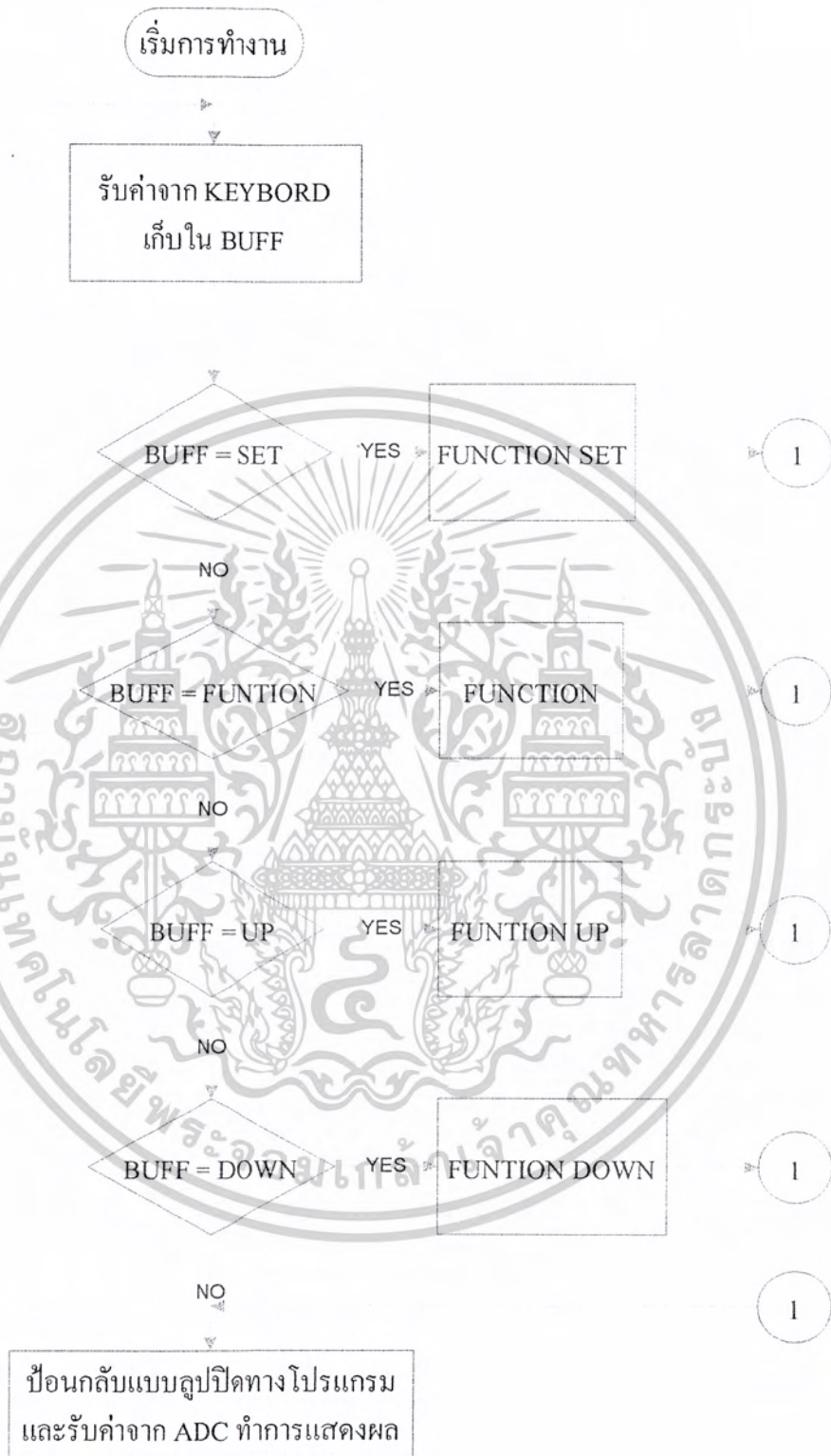
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อ LCD มอดูลกับพอร์ตของ P89C51RD2

3.1.1 ส่วนควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนการควบคุมนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม โดยการรับค่าจากคีย์สวิตช์ 4x4 นำค่าที่ได้มาประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งข้อมูลไปให้ DAC ทำการแปลงสัญญาณดิจิทัล(Digital)เป็นอนาล็อก(Analog) เพื่อเป็นแรงดันอ้างอิงของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแล้วแสดงผลโดยจอแสดงผล



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบผ่านคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้น

ส่งสัญญาณ SYNC ไปที่ DAC

ส่ง CLOCK เพื่อให้จังหวะการทำงานแก่ DAC
ส่งสัญญาณควบคุม DAC จำนวน 8 บิต

ส่ง CLOCK เพื่อให้จังหวะการทำงานแก่
DAC ส่งข้อมูลให้ DAC จำนวน 16 บิต

จบการทำงาน

รูปที่ 3.6 แพลตฟอร์มการทำงานของ โปรแกรมควบคุมการทำงานของ D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้น

ส่งสัญญาณ SIMPLE เป็น
CLOCK 6 ลูก

ส่ง CLOCK เพื่อให้จังหวะการทำงานแก่
ADC และรับข้อมูลจำนวน 16 บิต

นำข้อมูลเปลี่ยนเป็น String
แล้วแสดงผลที่ LCD

จบการทำงาน

รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของ A/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบและเลือกใช้ D/A และ A/D สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์เพาเวอร์ซัพพลาย

วงจรที่จะใช้ควบคุมการจ่ายแรงดันและกระแสของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า ก็คือวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก(D/A) การออกแบบในส่วนนี้จะคำนึงถึง ความละเอียดในการแปลงเป็นหลัก เพื่อให้แรงดันที่เอาท์พุทของวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความเที่ยงตรงในระดับที่ยอมรับได้ และ A/D ถูกใช้เพื่อแปลงค่าแรงดันเป็นข้อมูลดิจิทัลส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล

จากที่กล่าวมาแล้วในบทนำ เราต้องการให้ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายแรงดันคงที่ ที่ปรับค่าได้ ตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 40 โวลต์ โดยให้ D/A ควบคุมด้วยแรงดัน 0 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ หรือวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าจะขยายแรงดันที่มาควบคุม 8 เท่า และมีความละเอียดในระดับ ทศนิยม 2 หลัก นั่นคือแรงดันที่จ่ายออกมาจาก วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าจะต้องมีค่าของความละเอียด เป็น 10 mV ซึ่งวงจร D/Aจะต้องมีความละเอียดเพียงพอ โดยสามารถเลือกได้จากการคำนวณสมการ เพื่อหาจำนวนบิต

$$\text{Resolution} = V_{FS}/2^N$$

โดยที่ V_{FS} เท่ากับ แรงดันเอาท์พุทสูงสุดของ D/A ซึ่งเราต้องการ 5 โวลต์ และเราต้องการความละเอียดที่ D/A เท่ากับ 10 mV / 8 เท่า จะ ได้ความละเอียดเป็น 1.25 mV จะได้

$$2^N = V_{FS} / \text{Resolution}$$

$$2^N = 5 \text{ V} / 1.25 \text{ mV}$$

$$2^N = 4000$$

$$N \log 2 = \log 4000$$

$$N = \log 4000 / \log 2$$

$$N = 11.96 \text{ บิต}$$

จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นว่า $N = 11.96$ บิต ซึ่งเราใช้ D/A ขนาด 12 บิตก็เพียงพอแล้ว แต่ในความเป็นจริง การที่เราใช้ D/A ขนาด 12 บิต ทำให้เกิดค่าผิดพลาดไปจากแรงดันที่ต้องการในค่าแรงดันต่ำ ๆ ซึ่งเกิดจากควอนไทเซชันเออเรอร์ ปัญหานี้แก้ได้โดยการเลือกใช้ D/A ที่มีขนาดบิตมากกว่า 12 บิต ซึ่งสามารถเลือกใช้ D/A ขนาด 16 บิตได้ มีผลให้ขนาดของความละเอียดเล็กลงและความถูกต้องในแรงดันต่ำ ๆ มากขึ้น โดยไอซีที่เลือกใช้คือเบอร์ DAC8532 ซึ่งเป็น ไอซี D/A ขนาด 16 บิต มี 2 แชนเนลในตัวเดียวกัน แรงดันเอาท์พุทสูงสุดที่ 5 โวลต์ และใช้งานด้วยแหล่งจ่ายขนาด +5 โวลต์ แหล่งจ่ายเดียวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการสแตกีเช่นกันเราต้องการความละเอียด 1 mV และเราต้องการกระแส 0 ถึง 2 แอมป์ ทำมีค่าทั้งหมด 2000 ค่า ซึ่งจะได้

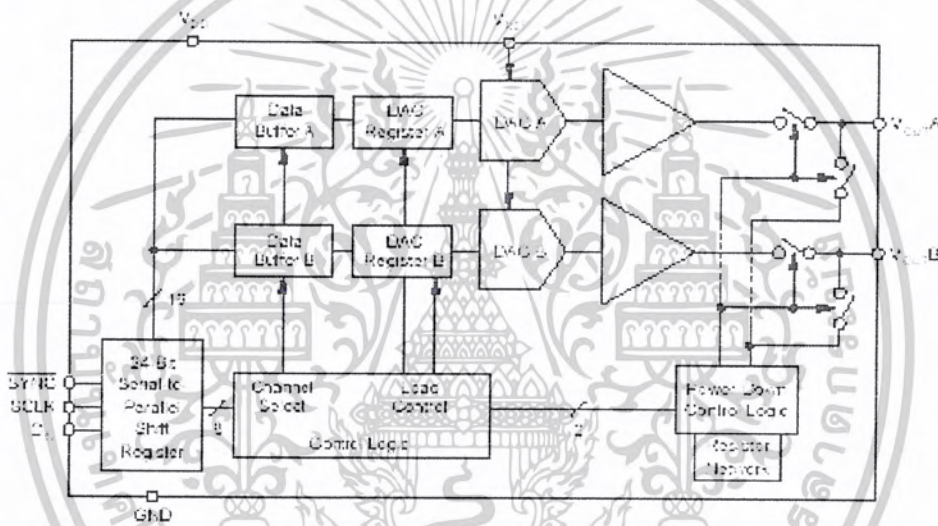
$$2^N = 2000$$

$$N \log 2 = \log 2000$$

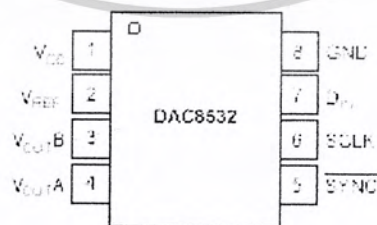
$$N = \log 2000 / \log 2$$

$$N = 10.96 \text{ บิต}$$

เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้ D/A ขนาดเดียวกับ D/A ที่ใช้อ้างอิงแรงดันให้กับวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ และ ส่วนของ A/D ก็สามารถใช้ขนาด 16 บิต ได้เช่นกัน



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของไอซีเบอร์ DAC8532



รูปที่ 3.9 การจัดขาของไอซีเบอร์ DAC8532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การทำงานของ DAC8532

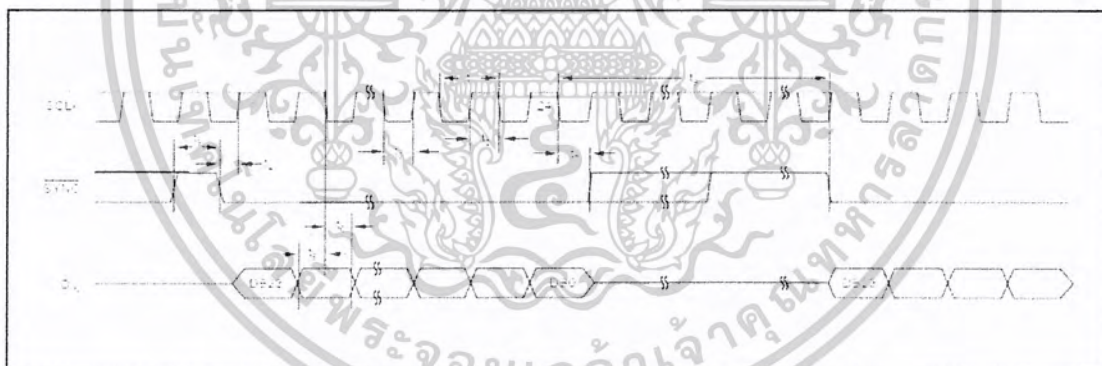
วงจรที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสและแรงดันให้กับวงจรถ่ายกำลังไฟฟ้านี้เราใช้ DAC8532 ซึ่งเป็น DAC ขนาด 16 บิต 2 แชนเนล รับข้อมูลแบบอนุกรมใช้ตั้งค่าแรงดันและกระแสจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กับวงจรถ่ายกำลังไฟฟ้า โดยมีขาที่ใช้ควบคุม 2 ขา และ ข้อมูล 1 ขา คือ

Din เป็น ขารับข้อมูลดิจิทัลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 24 บิต (ควบคุม 8 บิตและข้อมูล 16 บิต)

Sclk เป็น ขารับสัญญาณนาฬิกาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

SYNC เป็น ขารับสัญญาณซิงค์จากไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของ DAC8532 เริ่มโดยให้ลอจิก “0” กับ SYNC จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งเข้ามาทีละบิตที่ขา Din ตามแต่ละขอบขาของสัญญาณนาฬิกาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย 8 บิตแรกเป็นข้อมูลที่ใช้ควบคุม DAC8532 และ อีก 16 บิตเป็นข้อมูล ซึ่งขา Sclk รับเข้ามา เมื่อข้อมูลถูกส่งจนครบ 24 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะให้สัญญาณ SYNC เป็นลอจิก “1” เป็นการสิ้นสุดกระบวนการ จากนั้นจะมีแรงดันปรากฏที่เอาต์พุต จนกว่า SYNC จะได้รับลอจิก “0” ใหม่จึงจะเริ่มกระบวนการใหม่ การควบคุม DAC8532 แสดงดังรูปที่ 3.9 และ 3.10



DB23						DB12					
0	0	LDB	LDA	X	Buffer Select	PD1	PD0	D*5	D14	D13	D12
DB11						DB0					
D*11	D*10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

รูปที่ 3.10 ไทม์มิงไดอะแกรมของกระบวนการรับข้อมูล และ รูปแบบของอินพุตรีจิสเตอร์ ของ DAC8532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D23	D22	D21	D20	D19	D18	D17	D16	D15	D14	D13-D0	DESCRIPTION
Reserved (Always Write 0)	Reserved (Always Write 0)	Load B	Load A	Don't Care	Buffer Select J = A + 1 = B	PG1	PG0	MSB	MSB-1	MSB-2...LSB	
0	0	0	0	X	#	0	0	Data			WR Buffer # A Data
0	0	0	0	X	#	see Table III		-			WR Buffer # A Power-Down Command
0	0	0	1	X	#	0	0	Data			WR Buffer # A Data and Load DAC A
0	0	0	1	X	0	see Table III		-			WR Buffer # A Power-Down Command and LOAD DAC A (DAC A Powered Down)
0	0	0	1	X	1	see Table III		-			WR Buffer # A Power-Down Command and LOAD DAC A
0	0	1	0	X	#	0	0	Data			WR Buffer # A Data and Load DAC B
0	0	1	0	X	0	see Table III		-			WR Buffer # A Power-Down Command and LOAD DAC B (DAC B Powered Down)
0	0	1	0	X	1	see Table III		-			WR Buffer # A Power-Down Command and LOAD DAC B
0	0	1	1	X	#	0	0	Data			WR Buffer # A Data and Load DACs A and B
0	0	1	1	X	0	see Table III		-			WR Buffer # A Power-Down Command and Load DACs A and B (DACs A Powered Down)
0	0	1	1	X	1	see Table III		-			WR Buffer # A Power-Down Command and Load DACs A and B (DACs B Powered Down)

TABLE II. Control Matrix.

D17	D16	OUTPUT IMPEDANCE POWERDOWN COMMANDS
FD1	FD0	
0	0	Low impedance
0	1	High impedance

TABLE III. Power-Down Commands

รูปที่ 3.11 ตารางแสดงการใช้บิตควบคุมของ DAC8532

3.2.2 การทำงานของ ADS8325

ADS8325 เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 16 บิตส่งข้อมูลแบบอนุกรม ADS8325 แต่ละตัวมี ขาควบคุม 2 ขา และ ขาข้อมูล 1 ขา คือ

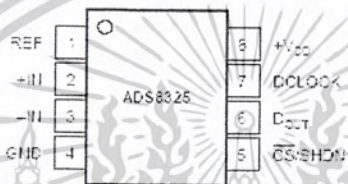
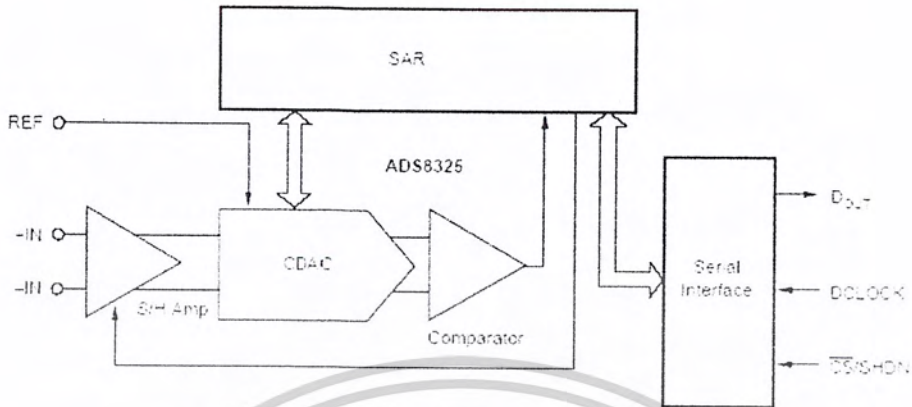
Dclock เป็น ขารับสัญญาณนาฬิกาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

$\overline{CS}/SHDN$ เป็น ขาเลือกให้ ADS8325 ทำงาน

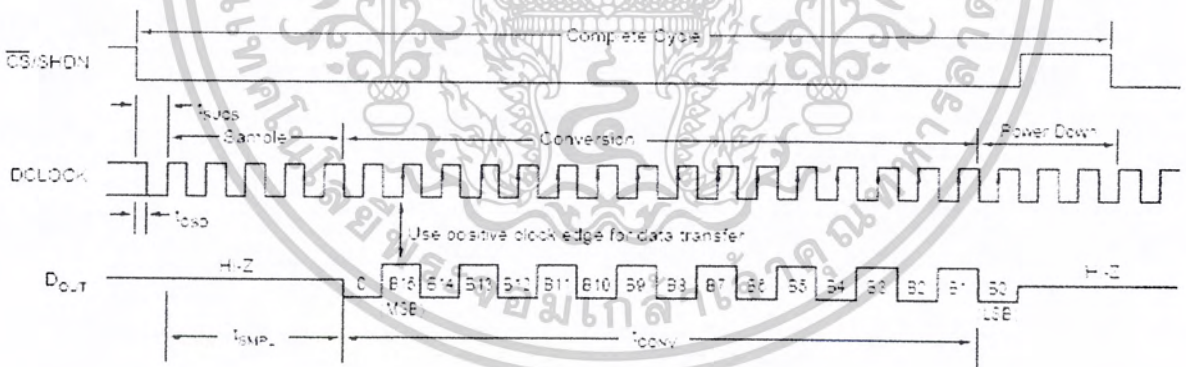
Dout เป็น ขาส่งข้อมูลที่ได้จากการแปลงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ มีขนาด 16 บิต

การทำงานของ ADS8325 เริ่มโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้ $\overline{CS}/SHDN$ เป็น 0 เพื่อเลือกให้ A/D ทำงาน จากนั้นส่ง Dclock ให้ ADS8325 ประมาณ 5 ลูก ADS8325 จึงจะเริ่มแปลงค่าแล้วส่งข้อมูลที่ได้จากการแปลงขนาด 16 บิต ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นจึงจะสามารถกำหนดให้ $\overline{CS}/SHDN$ เป็น 1 ซึ่งเข้าสู่โหมดชัตดาวน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 โครงสร้าง และ การจัดขาของ ADS8325



รูปที่ 3.13 ไทม์มิงไดอะแกรมของ ADS8325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 การต่อ DAC8532 และ ADS8325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

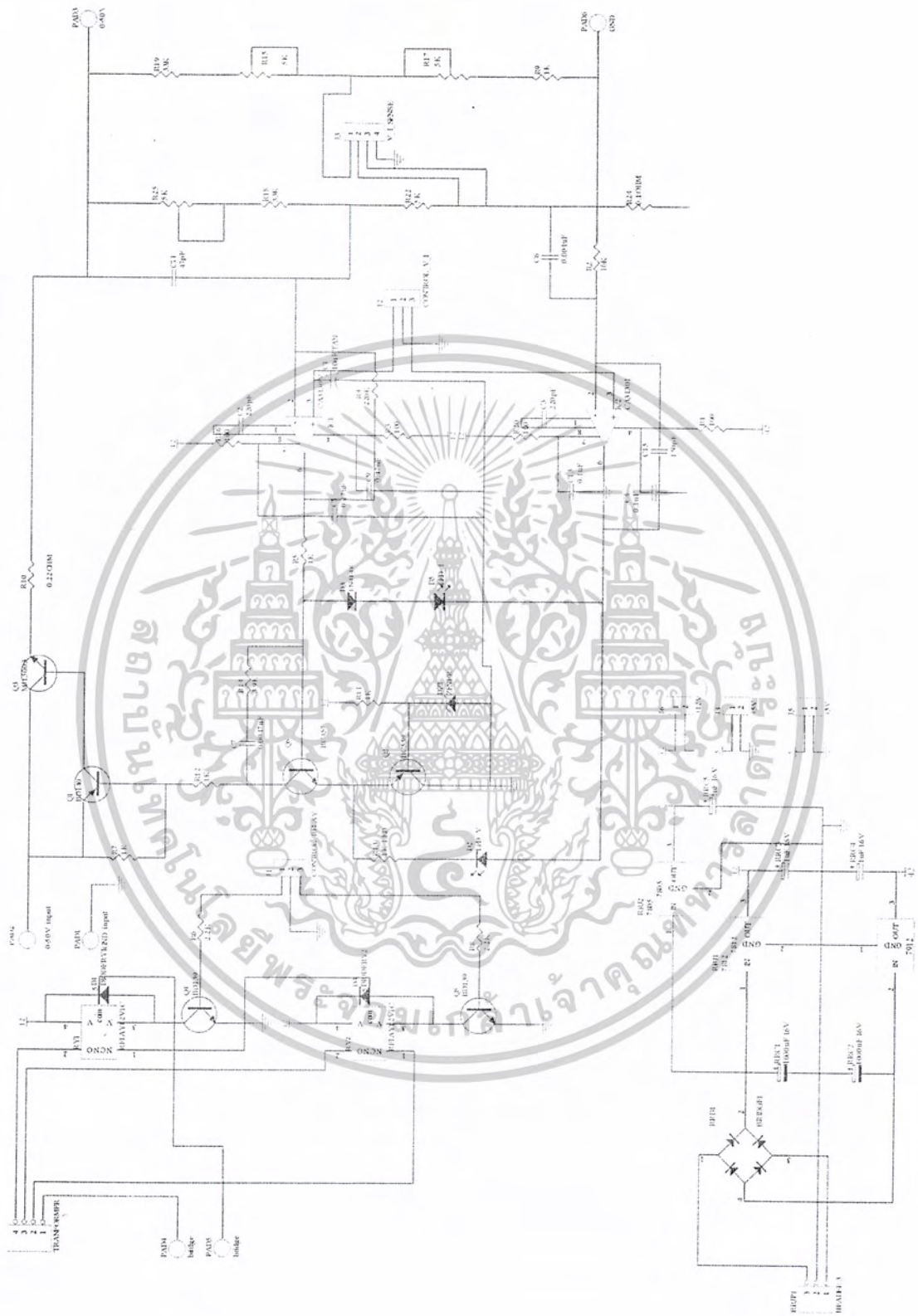
เมื่อได้รับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลให้ตัวแปลงจากดิจิตอลให้เป็นอนาลอกจากนั้นจะนำมาควบคุมภาคจ่ายไฟให้เอาต์พุตมีกำลังให้สูงขึ้น จากรูปที่ 3.15 แรงดันส่วนที่ใช้ควบคุมแรงดันจะต่อเข้ากับ IC1 ซึ่งเป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อน ทำการเปรียบเทียบแรงดันที่ขา นอน-อินเวอร์ตติ้ง(ขา 3) กับ ขาอินเวอร์ตติ้ง(ขา 2) ซึ่งจะวัดแรงดันเอาต์พุตจาก R22 ในขณะที่ขาอน-อินเวอร์ตติ้ง ถูกต่อเข้ากับ D/A ซึ่งจะทำการอ้างอิงเปลี่ยนแปลงไปได้ตั้งแต่ 0 ถึง 5 โวลท์

เอาต์พุตของ IC1 ต่อเข้ากับ R5 ไปยังขาเบสของ Q6 ซึ่งจะรับกระแสร่วมกับ Q2 ให้มีค่าสูงพอเพียงที่จะไปขับขาเบสของ Q1 โดยมี C7 และ R14 ช่วยป้อนกลับทางลบให้กับ Q6 เพื่อให้เสถียรภาพดีขึ้นด้วยการลดอัตราขยายที่ความถี่สูงๆ ส่วน C11 ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ C7 และช่วยควบคุมคลื่นเฟสของความถี่สูงในวงรอบของการป้อนกลับแบบลบ หรือช่วยป้องกันการออสซิลเลต แล้วยังมี C2 ช่วยชดเชยการทำงานของ IC1 ด้วย

ส่วน IC2 เป็นวงจรขยายความคลาดเคลื่อนของการจำกัดกระแส ประกอบด้วย C15 ช่วยป้อนกลับเพื่อลดอัตราขยายที่ความถี่สูงๆ อันเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของการทำงานของวงจรถักกระแส ขาอน-อินเวอร์ตติ้ง(ขา 3) ของ IC2 ซึ่งใช้ในการควบคุมกระแสจะรับแรงดันจาก D/A มาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จาก R24 ซึ่งแรงดันได้ที่ออกมาจาก D/A จะสามารถกำหนดได้ ซึ่งด้วยเหตุนี้ทำให้วงจรสามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้โดยการกำหนดแรงดันนั่นเอง

ในการลดกำลังไฟฟ้าที่ตัวทรานซิสเตอร์จะใช้หลักการสวิตชิ่ง(Switching) หรือเลือกขดหม้อแปลงเข้ามาช่วย ด้วยหลักการการตรวจสอบแรงดันเอาต์พุต ถ้าแรงดันเอาต์พุตต่ำกว่า 18 โวลท์ วงจรตรวจสอบแรงดันจะเลือกขดลวดหม้อแปลง 14 โวลท์ และถ้าแรงดันสูงกว่า 18 โวลท์ ก็จะเลือกขด 28 โวลท์ แต่ถ้าสูงกว่า 34 โวลท์ จะเลือกขดสูงสุดคือ 36 โวลท์ ซึ่งจะช่วยลดกำลังสูญเสีย (Power dissipation) ในทรานซิสเตอร์ได้

หลักการงานรีเลย์ใช้การควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งได้รับแรงดันที่เอาต์พุตของเพาเวอร์ซัพพลายที่ได้แบ่งแรงดันไว้แล้วแปลงเป็นดิจิตอลโดย A/D (Analog to Digital converter) แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลมาควบคุมรีเลย์



รูปที่ 3.15 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

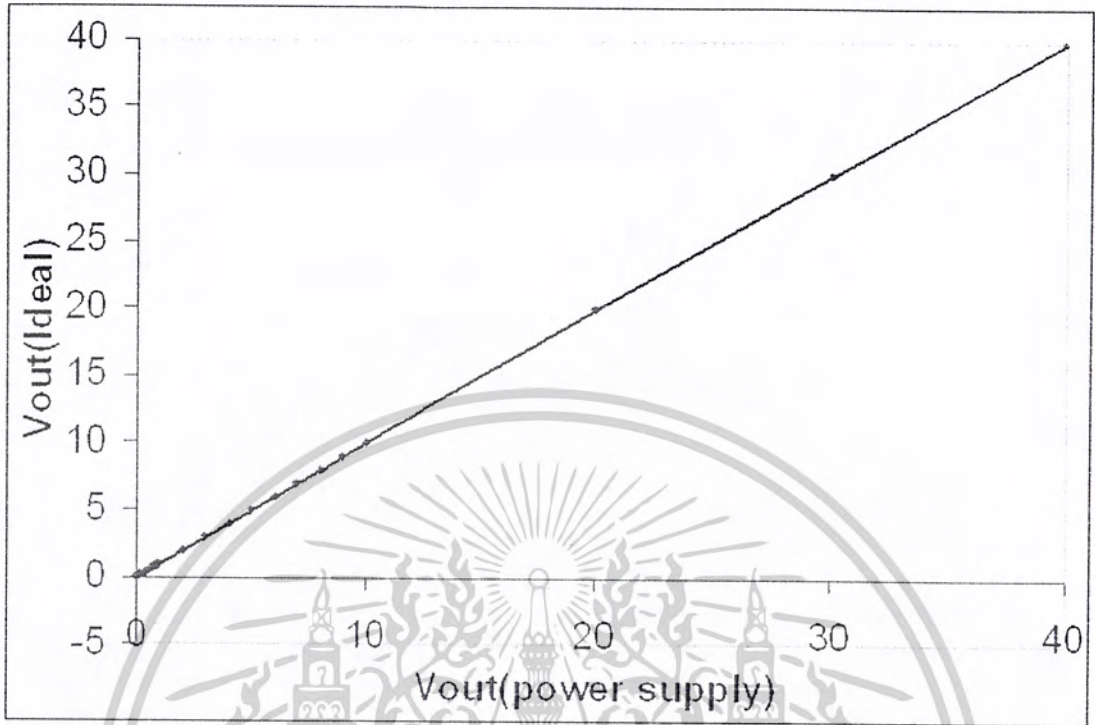
4.1 การทดสอบคุณสมบัติของวงจร

หลังจากที่ออกแบบและสร้าง วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เสร็จแล้ว จำเป็นต้องมีการวัดผลเพื่อหาประสิทธิภาพว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือไม่ หรือ การทดสอบคุณสมบัติของวงจรมันเอง การวัดแรงดันเอาต์พุตเป็นดังตารางที่ 4.1 และ แสดงการเปรียบเทียบดังกราฟในรูปที่ 4.1

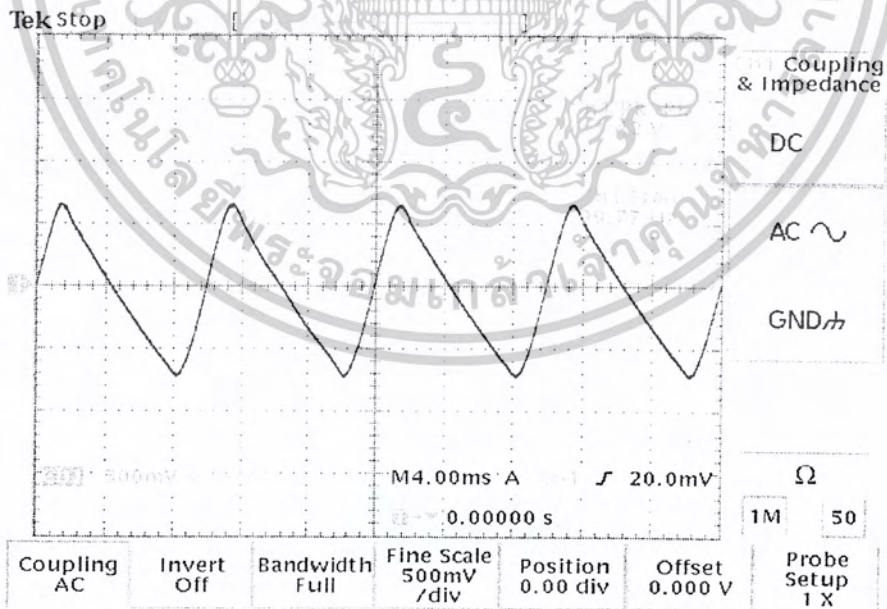
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันเอาต์พุต และ ค่าความผิดพลาดที่ได้จากวงจร

แรงดันที่ ปรับ (V)	แรงดัน เอาต์พุต (V)	ค่าผิดพลาด (%)	แรงดันที่ ปรับ (V)	แรงดัน เอาต์พุต (V)	ค่าผิดพลาด (%)
0	0.003	--	0.7	0.69	1.43
0.01	0.012	20	0.8	0.79	1.25
0.02	0.021	5	0.9	0.9	0
0.03	0.031	3.33	1	1	0
0.04	0.04	0	2	2	0
0.05	0.05	0	3	3	0
0.06	0.057	5	4	4	0
0.07	0.069	1.43	5	5	0
0.08	0.077	3.75	6	6	0
0.09	0.092	2.22	7	7	0
0.1	0.1	0	8	8	0
0.2	0.19	5	9	9	0
0.3	0.29	3.33	10	10	0
0.4	0.39	2.5	20	20	0
0.5	0.49	2	30	30	0
0.6	0.59	1.67	40	40	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

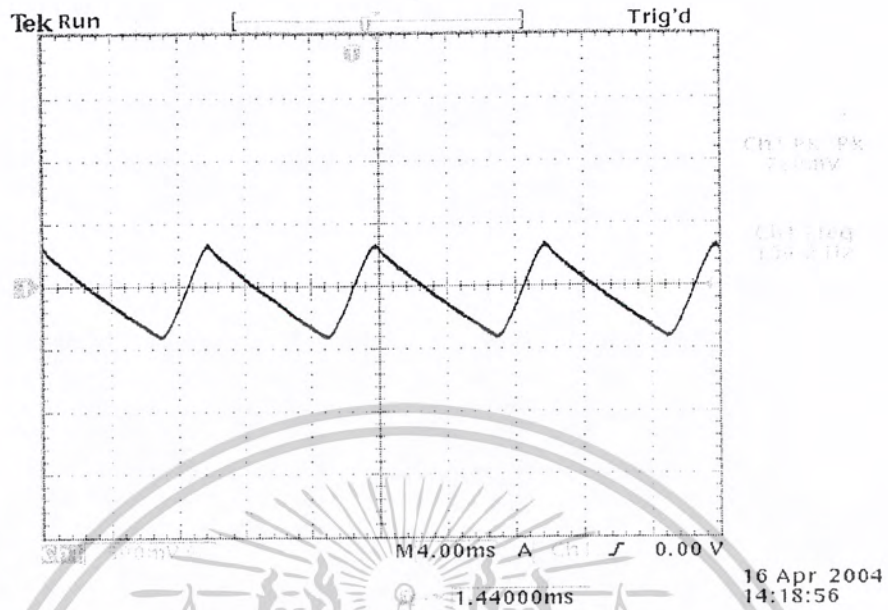


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่วัดได้จริงกับแรงดันที่ต้องการ

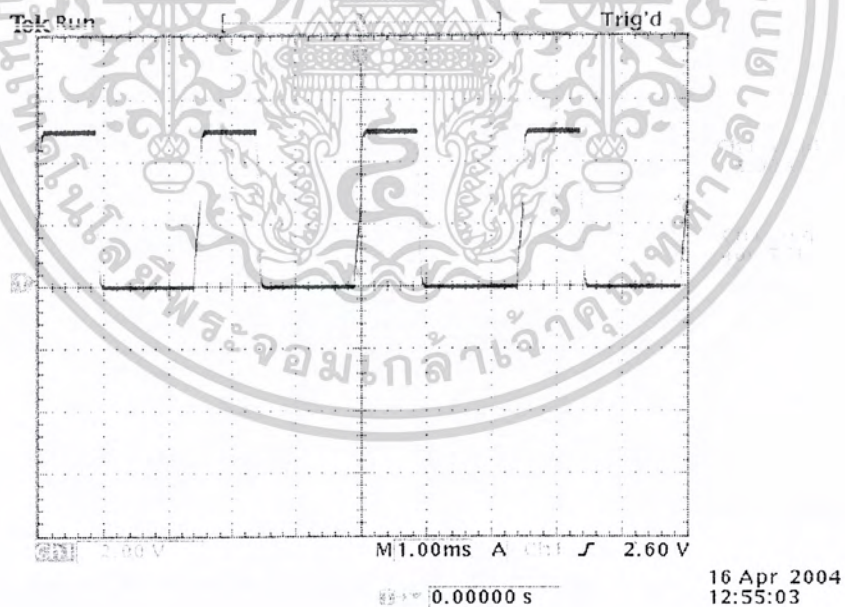


รูปที่ 4.2 ค่ารีปเปิด ที่เอาท์พุทขณะต่อโหลด 15 โอห์ม แรงดัน 30 โวลท์ ที่กระแส 2 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

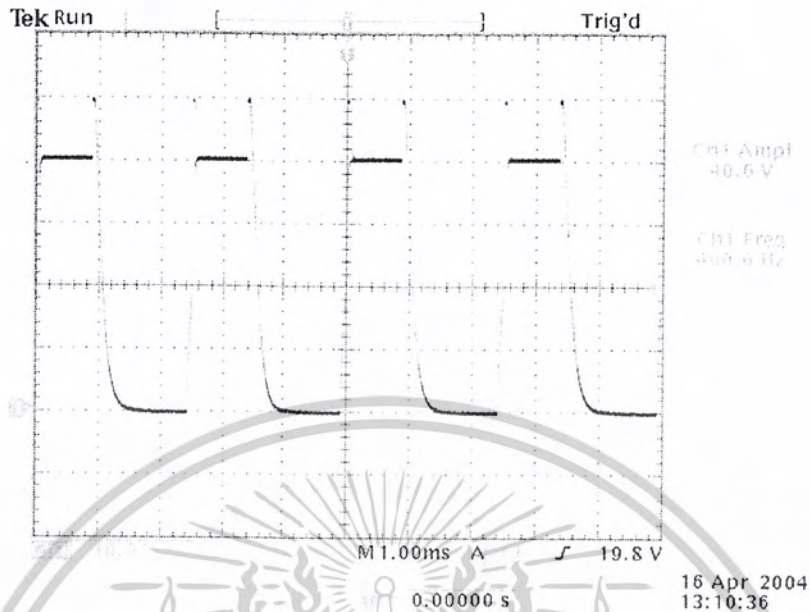


รูปที่ 4.3 คาร์ิปเปิล ที่เอาท์พุทขณะต่อโหลด 15 โอห์ม แรงดัน 15 โวลท์ ที่กระแส 1 แอมป์

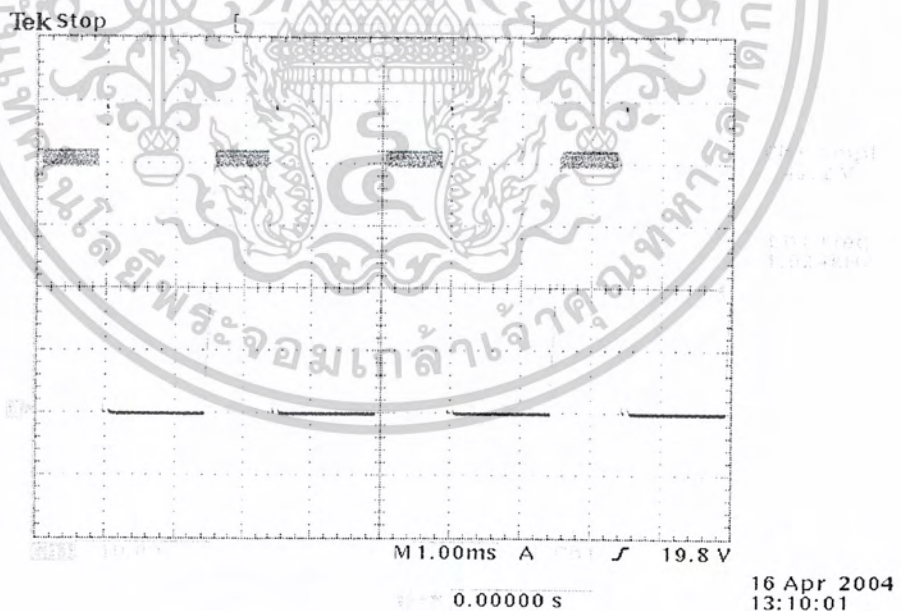


รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอาท์พุท D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

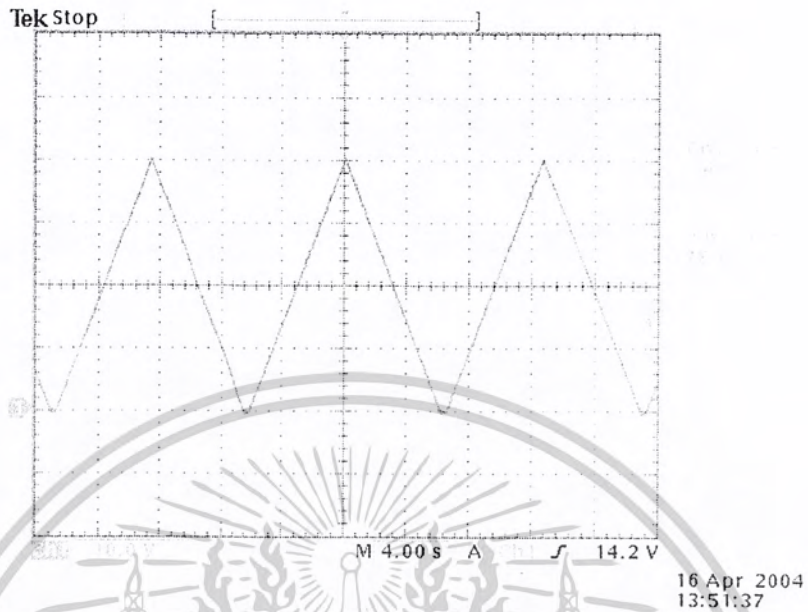


รูปที่ 4.5 แสดงรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรจ่ายกำลัง ขณะไม่ต่อโหลดที่แรงดัน 40 โวลต์

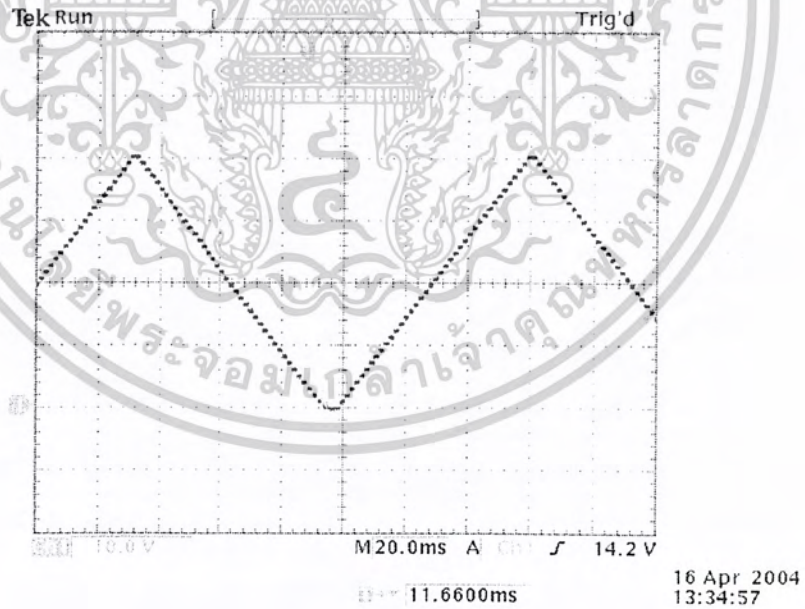


รูปที่ 4.6 แสดงรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรจ่ายกำลัง ขณะต่อโหลด 500 โอห์ม ที่แรงดัน 40 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงรูปคลื่นสัญญาณขึ้นบันไดที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรจ่ายกำลัง ขณะไม่ต่อโหลดที่แรงดันขึ้นละ 0.01 โวลต์ ตั้งแต่ 0-40 โวลต์



รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นสัญญาณขึ้นบันไดที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรจ่ายกำลัง ขณะไม่ต่อโหลดที่แรงดันขึ้นละ 1 โวลต์ ตั้งแต่ 0-40 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ไลน์เรกูเลชั่น} &= \frac{\left(\frac{40 - 40}{40}\right)}{\left(\frac{250 - 190}{220}\right)} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์โหดครูกะชั้น} &= \frac{40 - 38.16}{40} \times 100\% \\ &= 4.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์รีปเปิล} &= \frac{1.00394}{40} \times 100\% \\ &= 2.5\% \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบคุณสมบัติของ วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถสรุปผลตามการทดลองในบทที่ 4 ได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ค่าแรงดันที่วัดได้จากเอาท์พุท ในระดับ 1 โวลต์ ขึ้นไปมีความเที่ยงตรงกับค่าที่ตั้งมาก แต่ในระดับ 1 โวลต์ ลงมาจะมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และแรงดันที่วัดได้มีการแกว่งขึ้นลงค่าน้อยๆ ซึ่งมีผลอย่างมากที่แรงดันต่ำๆ ส่วนค่าของรีปเปิลจะมีค่ามากขึ้นเมื่อต่อโหลดเต็มพิกัดที่แรงดันสูงๆ

ผลของฟังก์ชัน ทั้ง 2 ฟังก์ชัน ที่วัดได้พบว่าฟังก์ชันที่จ่ายออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ทำ ความถี่สูงสุดได้เพียง 400 Hz เท่านั้นดังรูปที่ 4.3 - 4.5 และ ฟังก์ชันจ่ายสัญญาณแบบขั้นบันได สามารถจ่ายแรงดันเป็นขั้นได้ตั้งแต่ขั้นละ 10 mV ถึงขั้นละ 5 V ดังรูปที่ 4.6 - 4.7 ซึ่งให้ผลออกมาเป็นไปตามที่ต้องการ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดค่าแรงดันที่ส่งออกมาพบว่ามี การตอบสนองตั้งแต่ 10 mV ขึ้นมา เนื่องจากมีการป้อนกลับค่าเอาท์พุทเข้ามาประมวลผลทางดิจิทัล ซึ่งถ้าไม่มีการ ป้อนกลับแล้ว แรงดันทางเอาท์พุทที่ได้จะเริ่มตอบสนองที่ 0.1 V และ ไม่สามารถทำให้มีความเที่ยงตรงได้เลยใน ย่าน 0 - 40 V จึงนับว่าเป็นผลดีมากที่มีการป้อนกลับมาประมวลผลทางดิจิทัล แต่เนื่องจาก ระบบของ D/A และ A/D ที่ใช้ เป็นแบบ อนุกรมจึงทำให้มีการทำงาน (การประมวลผลปรับค่าให้ แรงดันเที่ยงตรง) ช้าไปบ้างเล็กน้อย และ เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ฟังก์ชันจ่ายสัญญาณพัลส์มี ความถี่สูงสุดเพียง 400 Hz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <reg51.h>
#include <absacc.h>
#include <string.h>
#include"D:\RAY\PROJECT\NEW\key_lcd.h"
#include"D:\RAY\PROJECT\LIB\serial_rd2.h"
#include"D:\RAY\PROJECT\LIB\DAC_ADC.h"

// LELAY *****

sbit L1 = P3^4;
sbit L2 = P3^3;

/*****MAIN*****/
unsigned int ten(unsigned char x);
void HEXTOTEXT(unsigned int ch);
unsigned int TEXTTOHEX(unsigned char text0[5],unsigned char text1[5]);
unsigned int get_v0;
void limit_curent();
void set_step();
void pulse();
void step_func();
void com();
void S_TRI();
void S_TRO();
void FEED();
int step=500,Vout=0,Iout=100;
unsigned int Vin,Iin;
int buff_Vout,buff_Iout;
unsigned int buff_Vin,buff_Iin,buff;
void main()
{
unsigned char c;
char page;

time(500);
INT();
LCD_COM(0X82);
LCD_W("MICROCONTROL");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCD_COM(0XC5);
LCD_W("SUPPLY");
time(500);
CLR();

start:

c=get_k();
if (c==0xff)
    {goto nonkey;}
switch (c)
{
    case 's': //func set
        CLR();
        LCD_W("SET VOLTAGE");
        HOME_D();
        CUR_BLINK();
        Vout = get_v();
        if(Vout>4000) //chaek error
            Vout = 4000;
        buff_Vout = Vout;
        S_TRO();
        FEED();
        CUR_OFF();
        CLR();
        break;
    case 'f': //func
        page=0;
        CLR();
        do
        {c= get_k();
            if(c=='d')
            {
                CLR();
                page = page++;
                if(page > 2)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        page = 0;
    }
    if(c=='u')
    {
        CLR();
        page = page--;
        if(page < 0)
            page = 2;
    }
    switch(page)
    {
        case 0:
            HOME();
            LCD_W("1:LIMIT CURRENT");
            HOME_DO;
            LCD_W("2:SET STEP");
            CUR_OFF0;
            break;
        case 1:
            HOME();
            LCD_W("3:PULSE");
            HOME_DO;
            LCD_W("4:STEP FUNC");
            CUR_OFF0;
            break;
        case 2:
            HOME();
            LCD_W("5:COM MODE");
            CUR_OFF0;
            break;
    }
}
while(c==0xff||c=='u'||c=='d'||c=='f');
switch(c)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        case '1':
            limit_curent();
            break;
        case '2':
            set_step();
            break;
        case '3':
            pulse();
            break;
        case '4':
            step_func();
            break;
        case '5':
            com();
            break;
    }
    case 'u': // step up
        Vout = Vout + step;
        if(Vout>4000) //chaek error
            Vout = 4000;
            CLR();
            LCD_W("STEP UP");
            HOME_D();
            HEXTOTEXT(Vout);
            time(50);
            buff_Vout = Vout;
            S_TRO();
            FEED();
            CLR();

        break;
    case 'd': //step down

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Vout = Vout - step;
if(Vout<0) //chaek error
Vout = 0;
CLR();
LCD_W("STEP DOWN");
HOME_D();
HEXTOTEXT(Vout);
time(50);
buff_Vout = Vout;
S_TROO;
FEED();
CLR();
break;
}
nonkey:
FEED();
// if((Vout-100)>Vin)
HOME();
LCD_W("Vo ");
HEXTOTEXT(Vin);
LCD_W(" Volt");
HOME_D();
LCD_W("Io");
HEXTOTEXT(Iin);
LCD_W(" Amp");

goto start;
}
// FEED *****
void FEED()
{
int i=200;
do
{
Vin = ADC_VO;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lin = ADC_I();
Vin= Vin-lin;
if(Vin>0)
    S_TRI();
if(Vin==Vout)
    goto out;
if (Vin < Vout)
{
do
{
buff_Vout++;
if(buff_Vout>4000)
    buff_Vout=4000;
}
while(Vin>Vout);
}
else if (Vin > Vout)
{
do
{
buff_Vout--;
if(buff_Vout<0)
    buff_Vout=0;
}
while(Vin<Vout);
}
}
DAC(buff_Vout*16.38375,Iout*15.6);

}
while(i--);
out;;
}

// SELECT TR *****
void S_TRI()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    if(Vin<1800&&Vin>=0)
    {
        L1=0;
        L2=0;
    }
    if(Vin>=1800&&Vin<=3400)
    {
        L1=0;
        L2=1;
    }
    if(Vin>3400&&Vin<=4000)
    {
        L1=1;
        L2=1;
    }
}
// SELECT TR *****
void S_TROO
{
    if(Vout<1800)
    {
        L1=0;
        L2=0;
    }
    if(Vout>=1800&&Vout<=3400)
    {
        L1=0;
        L2=1;
    }
    if(Vout>3400)
    {
        L1=1;
        L2=1;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
}
// EXP *****

```

```

unsigned int ten(unsigned char x)

```

```

{
    int ten=1;
    if(x==0)
        return(1);
    while(x--)
        ten=ten*10;
    return(ten);
}

```

```

// HEX TO TEXT *****

```

```

void HEXTOTEXT(unsigned int ch)

```

```

{
    int buff;
    unsigned char D[5];
    buff = ch;
    D[0] = buff/1000;
    buff = buff-(D[0]*1000);
    D[1] = buff/100;
    buff = buff-(D[1]*100);
    D[2] = buff/10;
    buff = buff-(D[2]*10);
    D[3] = buff;
    LCD_C(D[0]+0x30);
    LCD_C(D[1]+0x30);
    LCD_C('.');
    LCD_C(D[2]+0x30);
    LCD_C(D[3]+0x30);
}

```

```

// TEXT TO HEX *****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned int TEXTTOHEX(unsigned char text0[5],unsigned char text1[5])
```

```
{  
    unsigned int buff,p;  
    unsigned char count,i,c;  
    count=strlen(text1); //low byte  
    i=0;  
    buff=0;  
while(count--)  
{  
    c=text1[i]-0x30; //ASCII to HEX low byte  
    if(i==0)  
        p=ten(1);  
    if(i==1)  
        p=ten(0);  
    if(i>1)  
        p=0;  
    p=p*c;  
    buff=buff+p;  
    i++;  
}  
    count=strlen(text0); //high byte  
    i=0;  
while(count--)  
{  
    c=text0[i]-0x30; //ASCII to HEX  
        p=ten(count+2);  
    p=p*c;  
    buff=buff+p;  
    i++;  
    if (buff >4000)  
        buff =4000;  
}  
    return(buff);  
}
```

```
// GET VALUE ALL FUNCTION *****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int get_v()
{
    unsigned char c,i=0,j=0,m=0;
    char text0[5],text1[5];
    unsigned int buff;
    do
    {
        c=get_k();
        if((c>='0'&&c<='9')||c=='.'||c=='\0')
        {
            if(c=='.')
            {
                m=1;
                text0[i]='\0';
            }
            if(c=='\0')
            {
                text1[j]='\0';
            }
            if(m==0)//high byte
            {
                text0[i]=c;
                i++;
            }
            if(c!='.'&&m==1)//low byte and not get '.' again
            {
                text1[j]=c;
                j++;
            }
            if(c!='\0')
                LCD_C(c);
        }
    }
    while(c!='\0');
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

buff=TEXTTOHEX(text0,text1);
return(buff);

}

// LIMIT CURRENT *****

void limit_curent()
{
    CLR();
    LCD_W("LIMIT CURRENT");
    HOME_D();
    CUR_BLINK();
    Iout=get_v();
    if(Iout>200)
        Iout=200;
    CUR_OFF();
    CLR();
}

// SET STEP *****
void set_step()
{
    CLR();
    LCD_W("SET STEP");
    HOME_D();
    CUR_BLINK();
    step=get_v();
    CUR_OFF();
    CLR();
}

```

```
// PLUSE *****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void pulse()
{
    unsigned char c;

    CLR();
    LCD_W("PULSE");
    HOME_D();
    LCD_W("ENTER TO EXIT");
    CUR_BLINK();
    do
    {
        DAC(buff_Vout*16.38375,Iout*15.6);
        DAC(0,Iout*15.6);
        c=get_k();
    }
    while(c!='0');
    CUR_OFF();
    CLR();
}
// STEP FUNC *****
void step_func()
{
    int count;
    unsigned char c;
    set_step();
    CLR();
    LCD_W("STEP FUNC");
    HOME_D();
    LCD_W("ENTER TO EXIT");
    CUR_BLINK();
    CLR();
    L1 = 1;
    L2 = 1;
    while(1)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(count=0;count<=4000;count=count+step)
{
/*      HOME();
        LCD_W("Vo ");
        HEXTOTEXT(count);
        LCD_W(" Volt");
        Vin = ADC_V();
*/      DAC(count*16.38375,Iout*15.6);
        c=get_k();
        if(c=='0')
            goto out4;
}
for(count=4000;count>=0;count=count-step)
{
/*      HOME();
        LCD_W("Vo ");
        HEXTOTEXT(count);
        LCD_W(" Volt");
        Vin = ADC_V();
*/      DAC(count*16.38375,Iout*15.6);
        c=get_k();
        if(c=='0')
            goto out4;
}
}
out4:
CUR_OFF();
CLR();
}

```

// COM *****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void com()
{

    char i,j,c;
    char bs[10],s1[5],s2[5];
    int buff;

    serial_9600rd2();
    CLR();
start_com: LCD_W("COM MODE");
    HOME_D();
    // serial
    i=0;
    do
    {
        c=rx();
        bs[i]=c;
        i++;
        // LCD_C(c);
        tx(c);
    }
    while(c!='z');
    CLR();

    i=1;
    j=0;
    do //cheak .
    {
        s1[j]=bs[i];
        i++;
        j++;
    }
    while(bs[i-1]!='. ');
    bs[i-1]='\0';

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

j=0;
do //cheak /0
{
    s2[j]=bs[i];
    i++;
    j++;
}
while(bs[i-1]!='\0');
buff=TEXTTOHEX(s1,s2);
switch(bs[0])
{
    case 'v':
        Vout=buff;
        if(Vout>4000)//chaek error
            Vout = 4000;
        buff_Vout = Vout;
        FEED();
        break;
    case 'i':
        Iout=buff;
        if(Iout>200)//chaek error
            Vout = 200;
        buff_Vout = Vout;
        FEED();
        break;
    case 'u':
        Vout = Vout + step;
        if(Vout>4000)//chaek error
            Vout = 4000;
        buff_Vout = Vout;
        FEED();
        break;
    case 'd':

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Vout = Vout - step;
if(Vout<0)//chaek error
Vout = 0;
buff_Vout = Vout;
FEED();

break;
case 's':
break;
case 'p':
break;
case 'n':
break;
case 'q':
goto end_com;
break;
}
c=get_k();
if (c=='0')
goto end_com;
goto start_com;
end_com:
CLR();
LCD_W("EXIT");
time(100)
}

```

/*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*      key 4x4
*      by Raywat Ponhan
*
*/

sbit RS = P3^7;
sbit RW = P3^6;
sbit E  = P3^5;
sbit CS1=P3^4;
sbit LOAD=P3^3;
sbit DACSEL=P3^2;

void time(unsigned char fiftym)
{
  unsigned char x;
  for(x=0;x<fiftym;x++)
  {
    TH0=0x4C;
    TL0=0x00;
    TF0=0;
    TR0=1;
    while(TF0==0);
    TR0=0;
  }
}

void LCD_E()
{
  E=1;
  time(1);
  E=0;
  time(1);}

void LCD_COM(unsigned char c)
{
  RS=0;
  RW=0;
  P0=c;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCD_E0;
}
void LCD_C(unsigned char c)
{
    RS=1;
    RW=0;
    P0=c;
    LCD_E0;
}

void LCD_W(char c[16])
{
    unsigned char i,x;
    x=strlen(c);
    for(i=0;i<x;i++)
        LCD_C(c[i]);
}

void INT()
{
    LCD_COM(0x38);//MODE 5X7
    LCD_COM(0x01)//CLR
    LCD_COM(0x06)//ENTRY MOD SET
    LCD_COM(0x0C)//CUR OFF
}

void CLR()
{
    LCD_COM(0x01)//CLR
}

void CUR_OFF()
{
    LCD_COM(0x0C);
}

void CUR_BLINK()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    LCD_COM(0x0F);
}
void HOME()
{
    LCD_COM(0x80);
}
void HOME_D()
{
    LCD_COM(0xC0);
}
/*void BACK()
{
    LCD_COM(0x10);
    LCD_C(' ');
    LCD_COM(0x10);
}*/
unsigned char get_k()
{
    unsigned char keycode[16]={0x7d,0xce,0xed,0xcb,0xde,0xdd,0xdb,0xbe,0xbd,0xbb,
    0xd7b,0x7e,0xe7,0xd7,0xb7,0x77};
    char as[16]='0','1','2','3','4','5','6','7','8','9',' ','s','u','d','f','0';
    unsigned char i,j,k,a,x;
    k=0xf7;
    for(i=0;i<=3;i++)
    {
        a=k|0xf0;//get bit 4 to 7 is '1'
        P1=a;
        x=P1;
        x=x&0xf0;//select bit 4 to 7
        if(x!=0xf0)//have getkey
        {
            time(100);
            a=k&0x0f;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        x=x|a;
        for(j=0;j<=15;j++)
            if(x==keycode[j])
                return (as[j]);
    }
    k=k>>1;
}
return(0xff);
}
/*****
*   serial_9600rd2 9600 bit/sec
*****/
// serial_9600rd2 *****/
void serial_9600rd2()
{
    TMOD=0x21;
    TH1=0xfa;
    TL1=0xfa;
    TR1=1;
    SCON=0x50; //transfer mode 1 8 bit & enable receive
    TI=0;
    RI=0;
}
// SERIAL RESIVE *****/
char rx()
{
    char c;
    while(RI==0);
    c=SBUF;
    RI=0;
    return (c);
}
/*****TRANSFER*****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void tx(char c)
{
    TI=0;
    SBUF=c;
    while(TI==0);
}

/*****
*   ADC AND DAC
*****/

// FOR DAC *****/
sbit clock = P2^0;
sbit sync = P2^2;
sbit Din = P2^1;
// FOR ADC *****/
sbit ck_ADC = P2^3;
sbit cs_v = P2^5;
sbit Dout_v = P2^4;
sbit cs_i = P2^7;
sbit Dout_i = P2^6;
// TIME *****/
/*
void time2(unsigned char fiftyms)
{
    unsigned char x;
    for(x=0;x<fiftyms;x++)
    {
        TH0=0x4C;
        TL0=0x00;
        TF0=0;
        TR0=1;
        while(TF0==0);
        TR0=0;
    }
}
*/

// ADC *****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int ADC_V()
{
    unsigned char i,buff;
    unsigned int DB;
    DB = 0;
    cs_v = 1;
    cs_v = 0;
    ck_ADC = 0;
    for(i=0;i<6;i++)// SIMPLE
    {
        ck_ADC = 0;
        ck_ADC = 1;
    }
    for(i=0;i<16;i++)// CONVERSION
    {
        ck_ADC = 0;
        buff = 0;
        buff = Dout_v;
        DB = DB<<1;
        DB = DB|buff;
        ck_ADC = 1;
    }
    ck_ADC = 0;
    cs_v = 1;
    Dout_v = 1;
    return(DB/16.383);
}

```

// ADC *****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int ADC_I0
{
    unsigned char i,buff;
    unsigned int DB;
    DB = 0;
    cs_i = 1;
    cs_i = 0;
    ck_ADC = 0;
    for(i=0;i<6;i++)// SIMPLE
    {
        ck_ADC = 0;
        ck_ADC = 1;
    }
    for(i=0;i<16;i++)// CONVERSION
    {
        ck_ADC = 0;
        buff = 0;
        buff = Dout_i;
        DB = DB<<1;
        DB = DB|buff;
        ck_ADC = 1;
    }
    ck_ADC = 0;
    cs_i = 1;
    Dout_i = 1;
    return(DB/14.69);
}

```

// DAC *****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void DAC(unsigned int volt,unsigned int amp)
{unsigned char i,command,x,y;
    unsigned int a,b;
    sync = 0;
    sync = 1;
    sync = 0;
    command = 0x10;
    x = command;
    for(i=0;i<8;i++)// SEND COMMAND VOLTAGE
    {
        y = x&0x80;
        if (y==0x80)
            Din = 1;
        else Din = 0;
        x = x << 1;
        clock = 1;
        clock = 0;
    }
// a = volt*16.38375;
a = volt;
for(i=0;i<16;i++)// SEND DATA VOLTAGE BY DATA BUFFER A
{
    b = a&0x8000;
    if (b==0x8000)
        Din = 1;
    else Din = 0;
    volt = volt << 1;
    a = volt;
    clock = 1;
    clock = 0;
}
    sync = 0;
    sync = 1;
    sync = 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

command = 0x24;
x = command;
for(i=0;i<8;i++)// SEND COMMAND CURRENT
{
    y = x&0x80;
    if (y==0x80)
        Din = 1;
    else Din = 0;
    x = x << 1;
    clock = 1 ;
    clock = 0 ;
}
// a = amp*65.536;
a = amp;
for(i=0;i<16;i++)// SEND DATA CURENT BY DATA BUFFER B
{
    b = a&0x8000;
    if (b==0x8000)
        Din = 1;
    else Din = 0;
    amp = amp << 1;
    a = amp;
    clock = 1 ;
    clock = 0 ;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ฉบับ P89C51RD2", อินโนเวตีฟ เอ็ดจิวคेशन, 191 หน้า
2. Robert Boylestad, Louis Nashelsky, "Electronic devices and circuit theory" Englewood Cliffs NJ : Prentice Hall, c1992



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้