

การสังเคราะห์สัญญาณไซน์ด้วยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่

โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

MICROCONTROLLER-BASED SINUSOID SYNTHESIS

USING AREA-DIVISION TECHNIQUE

นายรัตนชัย ศรีพงศ์สุทธิ รหัส 50362139

นายสงกรานต์ จิวทา รหัส 50362504

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 19, ส.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 15447703
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๕.....
..... ๖37211

2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ การสังเคราะห์สัณฐานไมโซด้วยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่โดยใช้
ไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้ดำเนินโครงการ นายรัตนชัย ศรีพงษ์สุทธิ รหัส 50362139
นายสงกรานต์ จิวทา รหัส 50362504

ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์


สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

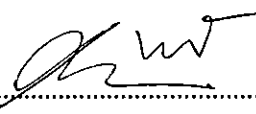
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

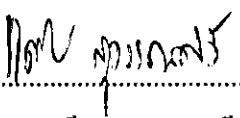
ปีการศึกษา 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

.....กรรมการ
(ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

.....กรรมการ
(ดร. แคทรียา สุวรรณศรี)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การสังเคราะห์สัญญาณไซน์ด้วยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายรัตนชัย ศรีพงษ์สุทธิ	รหัส 50362139	
	นายสงกรานต์ จิวทา	รหัส 50362504	
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอหลักการใหม่ในการสร้างสัญญาณไซน์จากไฟกระแสตรง เรียกว่า “วิธีการแบ่งส่วนพื้นที่” โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณสวิตชิงเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรเอช-บริดจ์ ซึ่งหลักการดังกล่าวต่างจากวิธีดับเบิลยูเอ็มซึ่งเป็นหลักการทั่วไปในการสร้างสัญญาณไซน์ของอินเวอร์เตอร์ที่มีขายกันตามท้องตลาด ซึ่งประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม วงจรเปรียบเทียบ และวงจรเดคไทม์ ส่งผลให้วงจรควบคุมมีความยุ่งยาก ซับซ้อนและมีราคาสูง ในโครงการนี้ได้แก้ปัญหาดังกล่าวโดยพัฒนาวงจรสร้างสัญญาณสวิตชิงให้เหลือเพียงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เท่านั้น การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณสวิตชิงด้วยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ทำได้โดยแบ่งรูปสัญญาณไซน์ออกเป็น ส่วน ๆ ส่วนละเท่า ๆ กัน และคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละส่วนแล้วนำไปเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อคำนวณหาค่าดิวตี้ไซเคิลตลอดจนระยะเวลาปิดเปิดสวิตช์ที่สอดคล้องกับในแต่ละส่วนของพื้นที่ ระยะเวลาปิดเปิดสวิตช์ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์เอาต์พุตที่ได้เป็นสัญญาณพัลส์โดยนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านให้ได้เป็นสัญญาณไซน์ตามที่ต้องการ โดยในโครงการนี้ได้ทดลองสร้างสัญญาณไซน์ด้วยหลักการข้างต้นจากไฟกระแสตรง 12 V ของแบตเตอรี่ และได้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณไซน์ที่มีค่าอาร์เอ็มเอส 6.9 V

Project title Microcontroller-Based Sinusoid Synthesis Using Area-Division
Technique

Name Mr. Rattanachai Sripongsut ID. 50360845
 Mr. Songkran Jiwta ID. 50364539

Project advisor Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2010

Abstract

This thesis presents production of a sinusoid from a dc signal by means of a new approach, called area-division technique. Accordingly, a microcontroller is used to generate a switching signal to control switches of an H-bridge circuit. The aforementioned technique differs from the well-known pulse width modulation (PWM), which is a common method for sinusoid generation. Since a PWM inverter requires a triangle-waveform generator, a comparator, and a dead-time circuit, its topology is therefore complicated and costly. In this project, the aforesaid complexity is reduced by using only a microcontroller to generate the switching signal by means of the area-division technique. Hereby, a reference sinusoidal waveform is equally divided over a period of a signal. Each divided area is compared numerically with the area under the dc input in such a way that corresponding duty cycle as well as turn-on and turn-off times of the switches are derived, and used to program a microcontroller. The switching pulses obtained from the microcontroller are filtered so that sinusoidal form is obtained. Following the experiment, a sinusoid of 6.9 V (rms) is successfully synthesized from the 12 V battery.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ที่สละเวลาอันมีค่ารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการและให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และดร. แททริยา สุวรรณศรี ที่ได้สละเวลารับเป็นกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ และให้คำชี้แนะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปรับปรุงโครงการนี้

ขอขอบคุณ คุณพลวัฒน์ ทองบัวบาน ที่ให้คำชี้แนะในเรื่องอุปกรณ์และการแก้ไขปัญหาในการดำเนินโครงการนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อิมใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุก ๆ คนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายรัตนชัย ศรีพงษ์สุทธิ

นายสงกรานต์ จิวทา

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการสร้างสัญญาณไซน์จากไฟกระแสดรง	4
2.1 อินเวอร์เตอร์	4
2.2 โครงสร้างทั่วไปของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม	5
2.3 หลักการสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตชิงโดยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่	7
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	8
2.4.1 การใช้งานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์	9
2.4.2 IC MAX232	13
2.4.3 คุณสมบัติของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	13
2.5 อิมอสเฟต (E - MOSFET)	14
2.6 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการเขียน โปรแกรมและการออกแบบชิ้นงาน	19
3.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ.....	19
3.2 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์.....	20
3.2.1 ชุดวงจรสวิตชิง.....	20
3.2.2 ชุดวงจรกรอง.....	21
3.3 วงจรควบคุมการสวิตชิง.....	22
3.3.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์.....	22
3.3.2 วงจรขับเคลื่อน.....	23
3.3.3 วงจรไฟเลี้ยง.....	24
3.4 โปรแกรมควบคุมการสวิตชิง.....	25
3.4.1 การสร้างสัญญาณควบคุม.....	25
3.4.2 ขั้นตอนการเขียน โปรแกรม.....	26
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	28
4.1 ผลการทดสอบสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์.....	28
4.2 ผลการทดสอบสัญญาณควบคุมจากวงจรขับเคลื่อน.....	29
4.3 ผลการทดสอบสัญญาณหลังจากผ่านการสวิตชิง.....	31
4.4 ผลการทดสอบสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรอง.....	31
4.5 ผลการทดสอบองค์ประกอบฮาร์ดแวร์ของวงจรอินเวอร์เตอร์.....	32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	34
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	34
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	37
ภาคผนวก ข.....	49
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	57



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าควิตี้ไซเคิลในแต่ละช่วงของสัญญาณไซน์และช่วงเวลาในสวิตชิง	25



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว	5
2.2 การทำสัญญาณ SPWM เพื่อควบคุมวงจรครึ่งคลื่นแบบบริดจ์	6
2.3 สเปกตรัมของแรงดันที่ได้จากการใช้เทคนิค SPWM	7
2.4 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสี่เหลี่ยม	8
2.5 ตำแหน่งพอร์ต 0-3 ในขาของ MCS-51 ตามมาตรฐานตัวถังแบบ PDIP	9
2.6 การใช้งานพอร์ตขนานพอร์ต 0 เป็นพอร์ตเอาต์พุต	12
2.7 การใช้งานพอร์ต P1.0 เป็นพอร์ตอินพุตรับสัญญาณจากสวิทช์	12
2.8 ลักษณะ IC MAX232	13
2.9 E - MOSFET ชนิด N แชนแนล	14
2.10 กราฟคุณสมบัติการโอนย้ายของ E - MOSFET (N - แชนแนล)	15
2.11 กราฟคุณสมบัติการโอนย้ายของ E - MOSFET (P - แชนแนล)	15
2.12 วงจรกรองความถี่ต่ำผาน	16
2.13 วงจรกรองความถี่ต่ำผานแบบที่	16
2.14 วงจรกรองความถี่ต่ำผานแบบพาย	17
2.15 วงจรกรองความถี่ต่ำผานแบบ 2 ค้าน	17
3.1 แผนภาพกรอบขั้นตอนการทำงานทั้งหมด	19
3.2 ชุดวงจรสวิทชิง	20
3.3 ชุดวงจรกรอง	21
3.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	23
3.5 วงจรขับมอเตอร์	24
3.6 วงจรไฟเลี้ยงแปลงแรงดันจาก $12 V_{DC}$ เป็น $5 V_{DC}$	24
3.7 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมสัญญาณควบคุมการสวิทชิง	26
3.8 รูปภาพแสดงวงจรควบคุมการสวิทชิง	27
3.9 รูปภาพแสดงวงจรควบคุมการสวิทชิง	27
4.1 กราฟคุณลักษณะสัญญาณ H เปรียบเทียบกับสัญญาณ L จากไมโครคอนโทรลเลอร์	28
4.2 กราฟคุณลักษณะสัญญาณแคดไทม์	29
4.3 กราฟคุณลักษณะ H1 เปรียบเทียบกับสัญญาณ H2 จากวงจรขับเฟด	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟคุณลักษณะ L1 เปรียบเทียบกับสัญญาณ L2 จากวงจรขับเฟต.....	30
4.5 กราฟคุณลักษณะของสัญญาณหลังจากผ่านการสวิตชิง.....	31
4.6 กราฟคุณลักษณะของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรอง.....	32
4.7 กราฟคุณลักษณะของค้ประกอบฮาร์มอนิกของสัญญาณจากวงจรกรอง.....	33
4.8 กราฟคุณลักษณะของค้ประกอบฮาร์มอนิกของสัญญาณไซ้จากระบบจ่าย.....	33



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในชีวิตประจำวันเครื่องใช้ไฟฟ้าได้มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม จะเห็นว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่พบเห็นกันในชีวิตประจำวัน เช่น พัดลม โทรทัศน์ ตู้เย็น เป็นต้น ล้วนแล้วแต่ต้องการแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับที่เป็นสัญญาณไซน์ ในปัจจุบันปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานส่งผลให้มีการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ ในประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาในรูปของไฟกระแสตรง แต่เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานสามารถเกิดขึ้นตลอดเวลาในขณะที่แสงอาทิตย์มีเฉพาะช่วงเวลากลางวัน ทำให้จำเป็นต้องมีการเก็บสะสมพลังงานในช่วงเวลากลางวันเพื่อนำมาใช้ในช่วงเวลากลางคืนหรือในยามที่พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอกับความต้องการของโหลด อุปกรณ์สะสมพลังงานที่นิยมใช้คือแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบตเตอรี่คายพลังงานออกมาเป็นไฟกระแสตรง จึงจำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟกระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟกระแสสลับก่อนนำไปจ่ายโหลด โดยทั่วไป หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในการแปลงสัญญาณกระแสตรงเป็นสัญญาณไซน์นิยมใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์เพื่อสร้างสัญญาณสวิตชิงไปควบคุมการทำงานของสวิตช์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง อย่างไรก็ตาม สร้างสัญญาณไซน์ด้วยหลักการดังกล่าวต้องการวงจรที่ซับซ้อนส่งผลให้อินเวอร์เตอร์แบบไซน์ชอยด์มีราคาแพง จึงเป็นการเพิ่มอุปสรรคในการผลักดันการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ในโครงการนี้จึงได้พัฒนาหลักการใหม่ในการสร้างสัญญาณไซน์จากไฟกระแสตรง เรียกว่า “วิธีการแบ่งส่วนพื้นที่” โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณสวิตชิงเพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์ในวงจรเอช-บริดจ์ ส่งผลให้มีการใช้อุปกรณ์ที่น้อยกว่าและใช้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าในกรณีพีดีบีแอลเอ็ม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสร้างชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างสัญญาณไซน์จากไฟกระแสตรงของแบตเตอรี่ 12 V ด้วยหลักการแบ่งส่วนพื้นที่ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณสวิตชิง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) สามารถสร้างไฟกระแสสลับจากไฟกระแสตรงของแบตเตอรี่ 12 VDC
- 2) สามารถใช้เป็นกรณีศึกษาเรื่องการสร้างสัญญาณสวิตซิงด้วยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่
- 3) ใช้เป็นเครื่องต้นแบบเพื่อการผลิตอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว 220 V 50 Hz ด้วยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่

1.6 งบประมาณ

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	400 บาท
วงจรไฟเลี้ยง	200 บาท
วงจรขับเฟด	150 บาท
วงจรสวิตซิง	250 บาท
วงจรกรอง	100 บาท
ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	1,000 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,100 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

หลักการสร้างสัญญาณไซน์จากไฟกระแสตรง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาใช้ในการสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อนำหลักการดังกล่าวมาใช้ในการสร้างสัญญาณ ไซน์ด้วยวิธีแบ่งส่วนพื้นที่ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการสร้างสัญญาณสวิตชิง มีรายละเอียดดังนี้

2.1 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

1) แบ่งตามลักษณะของคลื่น

- 1.1) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) เป็นประเภทที่มีฮาร์มอนิกสูง แต่สามารถสร้างวงจรได้ง่าย
- 1.2) รูปไซน์ซออยด์ (Sinusoid) เป็นประเภทที่สร้างคลื่นที่มีลักษณะ ใกล้เคียงกับคลื่น ไซน์ ทำให้มีฮาร์มอนิกต่ำ แต่การสร้างวงจรจะยุ่งยากกว่าแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

2) แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงความถี่

- 2.1) แบบความถี่คงที่ เป็นประเภทที่สร้างความถี่ของคลื่น มีค่าคงที่
- 2.2) แบบความถี่ปรับค่าได้ เป็นประเภทที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ โดยที่ช่วง การเปลี่ยนความถี่ ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

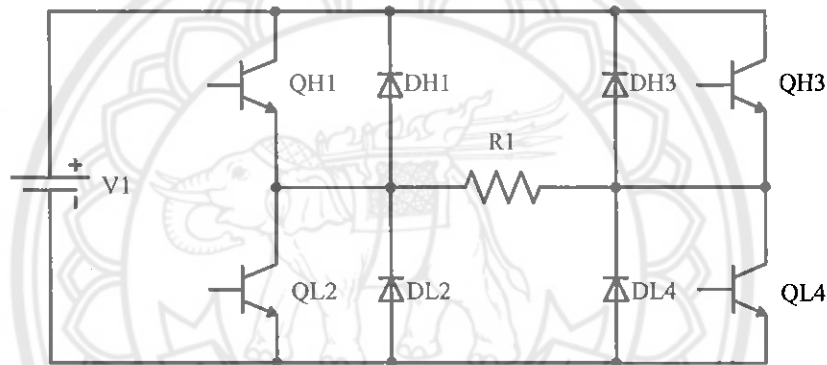
3) แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงแรงดัน

- 3.1) แบบแรงดันคงที่ เป็นประเภทที่สร้างความถี่ของคลื่น มีค่าคงที่
- 3.2) แบบปรับเปลี่ยนแรงดัน เป็นประเภทที่สามารถปรับเปลี่ยนแรงดันได้ โดยที่ช่วง การเปลี่ยนแรงดันขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร

2.2 โครงสร้างทั่วไปของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม

วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งสามารถควบคุมทั้งขนาดและความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาออกได้ การควบคุมดังกล่าวอาจใช้หลักการควบคุมแบบความกว้างพัลส์ (Pulse width modulation: PWM) เพื่อควบคุมแรงดันและความถี่หลักมูล

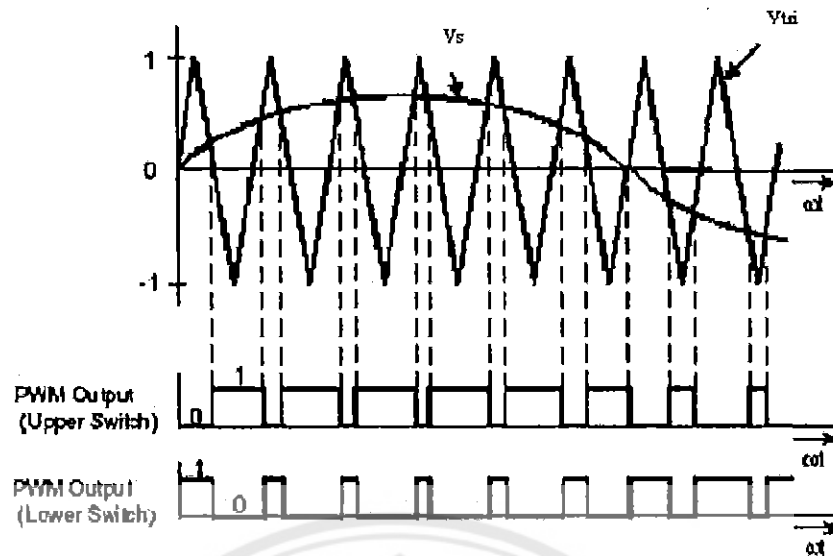
อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวประกอบด้วยวงจรฮาฟบริดจ์ 2 ชุด มีสวิตช์ที่จะใช้ในการปิด-เปิดทั้งหมด 4 ตัวดังรูปที่ 2.1 โดยแต่ละตัวจะถูกควบคุมให้ทำงานจากวงจรควบคุม ซึ่งการปิด-เปิดของสวิตช์แต่ละแขน (x) จะไม่ทำงานพร้อมกันคือเมื่อ QH1 ปิด, QL2 จะเปิดและ QH2 เปิด, QL1 จะปิด



รูปที่ 2.1 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว

การปิด-เปิดของสวิตช์เช่นนี้จะต้องมีช่วงเวลา “เดด ไทม์” (Dead time) คือ การหน่วงเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้สวิตช์ QHx และ QLx ปิดพร้อมกัน เพราะจะเกิดการลัดวงจรขึ้นระหว่างบัสกระแสตรง

สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มชนิดไซน์ (SPWM) โดยมีหลักการคือ นำสัญญาณรูปไซน์ (V_s) ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (V_{tri}) จุดตัดของสัญญาณทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดการปิด-เปิดของสวิตช์ QHx และ QLx ซึ่ง QHx จะปิดสวิตช์เมื่อ $V_s > V_{tri}$ และ QLx จะปิดสวิตช์เมื่อ $V_s < V_{tri}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำสัญญาณ SPWM เพื่อควบคุมวงจรคลื่นแบบบริดจ์

อัตราส่วนของแอมพลิจูดระหว่างสัญญาณ V_s ต่อ V_{tri} เรียกว่า “ดัชนีการมอดูเลต” (Modulation index: M) และถ้าเขียนอยู่ในรูปสมการจะได้ว่า

$$M = \frac{A_s}{A_{tri}} \quad (2.1)$$

ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันระหว่างสายหลักมูลสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

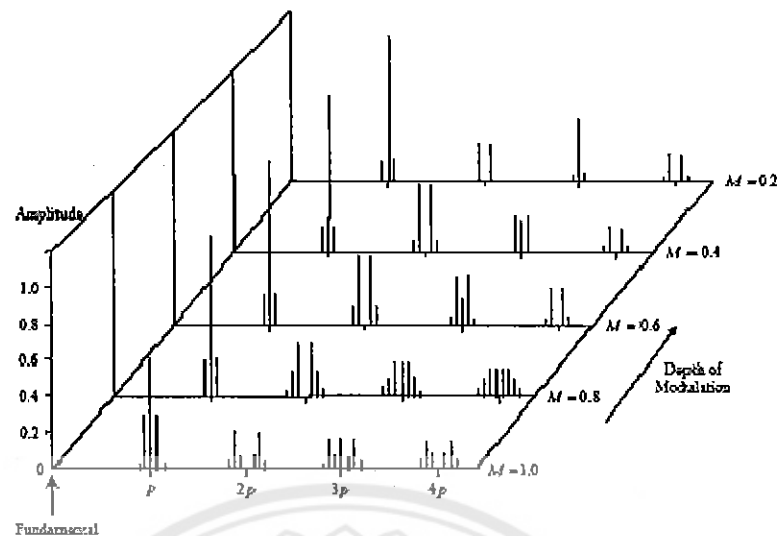
$$V_{1(rms)} = 0.612 MV_{DC} \quad (2.2)$$

และเมื่อเราให้อัตราส่วนของคลื่นพาหะต่อความถี่หลักมูลเป็น p หรือ

$$p = \frac{f_{tri}}{f_s} \quad (2.3)$$

ค่าความถี่ฮาร์โมนิกของรูปคลื่นที่ถูกควบคุมโดยสัญญาณ SPWM จะถูกเลื่อนไปอยู่ที่ความถี่เป็นจำนวนเท่าของ p และจะมีแถบข้างทั้งสองด้าน โดยที่แอมพลิจูดของแถบข้างจะน้อยลงเมื่ออยู่ห่างออกไป

จากจำนวนเท่าของ p และจะมีค่าน้อยลงเมื่อ ค่า p มีค่ามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของแรงดันที่ได้จากการใช้เทคนิค SPWM

2.3 หลักการสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตชิงโดยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่

การออกแบบสัญญาณควบคุมการสวิตชิง ได้ใช้วิธีการแบ่งส่วนของสัญญาณไซน์ในหนึ่งลูกคลื่น (ขนาดความสูง 1 หน่วยความถี่ 50 Hz หรือมีคาบเป็น 20 ms) เป็นส่วนย่อยเท่ากันจำนวน 40 ส่วน แต่ละส่วนมีช่วงเวลาเป็น 500 μ s หรือมีคาบเป็น 0.5 ms และสามารถแบ่งบริเวณสมมาตรได้เป็นสี่ช่วง คือ $0 - \pi/2$, $\pi/2 - \pi$, $\pi - 3\pi/2$ และ $3\pi/2 - \pi$

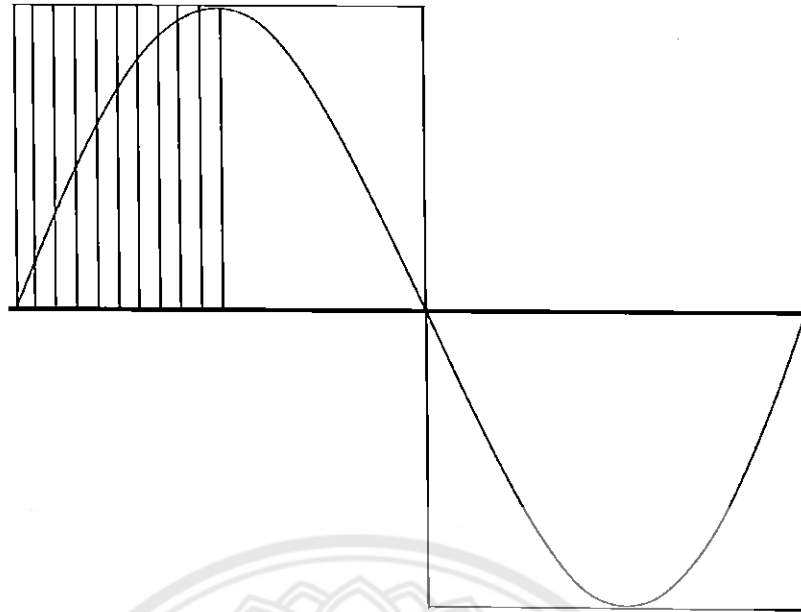
จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณไซน์ (A_m) ในแต่ละช่วงตามสมการที่ (2.4)

$$A_m = \int_a^b \sin \omega t \, d\omega t \quad (2.4)$$

- โดยที่
- ω คือ ความถี่เชิงมุมของสัญญาณ ไซน์ มีหน่วย rad/s
 - a คือ มุมที่จุดเริ่มต้นของแต่ละส่วนที่พิจารณา มีหน่วย rad
 - b คือ มุมที่จุดสิ้นสุดของแต่ละส่วนที่พิจารณา มีหน่วย rad

จากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณไซน์ (A_m) ในแต่ละช่วงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณสี่เหลี่ยม (A_n) โดยมีความกว้างและความสูงเท่ากับสัญญาณไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เพื่อหาค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle, D) ของแต่ละส่วน ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.5)

$$D = \frac{A_m}{A_n} \times 100 \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.4 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสี่เหลี่ยม

จากนั้นนำค่าควิตี้ไซเคิลที่ได้ไปคำนวณหาระยะเวลาปิดเปิดสวิตช์ของแต่ละส่วน ดังนี้

$$t_{on} = D \times 500 \text{ } [\mu\text{s}] \quad (2.6)$$

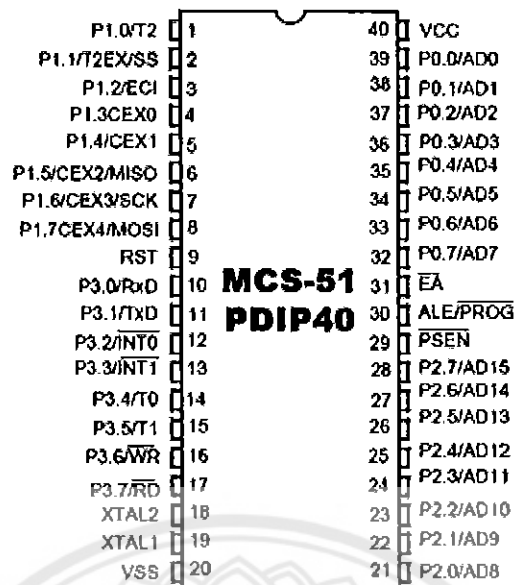
$$t_{off} = 500 - t_{on} \text{ } [\mu\text{s}] \quad (2.7)$$

โดยที่ t_{on} คือ ระยะเวลาปิดสวิตช์ มีหน่วย μs
 t_{off} คือ ระยะเวลาเปิดสวิตช์ มีหน่วย μs

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ตามมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีพอร์ตขนานขนาด 8 bit อยู่ 4 พอร์ต คือพอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 (ในบางรุ่นที่ผลิตออกมาทีหลังนั้นอาจมีพอร์ตมากหรือน้อยกว่า 4 พอร์ต แล้วแต่การออกแบบจากผู้ผลิต) ในกรณีที่เป็นตัวถังแบบ PDIP40 พอร์ตต่างๆจะมีตำแหน่งขาตาม

รูปที่ 2.5 แต่ละพอร์ตสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต และสามารถเลือกการทำงานให้เป็นพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ นอกจากนี้บางพอร์ตยังสามารถทำหน้าที่พิเศษอื่นได้อีกดังรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งพอร์ต 0-3 ในขาของ MCS-51 ตามมาตรฐานตัวถังแบบ PDIP

2.4.1 การใช้งานของขาไมโครคอนโทรลเลอร์

1) ขา EA (External Access Enable) Pin 31

ใช้เลือกการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าจะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือหน่วยความจำโปรแกรมภายใน กรณีเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกขา EA ต้องเป็น Logic “0” ส่วนในกรณีใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในขา EA ต้องเป็น Logic “1” สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 นั้นมีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแบบ Flash ขนาด 64 Kbytes ดังนั้นเราจึงเลือกให้ทำงานจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน ซึ่งต้องต่อกับไฟ 5 V ให้เป็น Logic “1”

2) ขา RST (RESET) Pin 9

ไว้สำหรับรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยถ้าขา RST นี้มีสถานะเป็น Logic high นานกว่าช่วงเวลา 2 Machine cycle จะเป็นการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นเราจึงต่อขา RST ของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับสวิทช์และตัวเก็บประจุขนาด 10 μ F

3) ขา XTAL1 และ XTAL2

เป็นขาที่ใช้สำหรับต่อเข้ากับวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เลือกใช้ออสซิลเลเตอร์ความถี่ 18.432 MHz เนื่องจากเป็นความถี่ที่สามารถนำไปสร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้อย่างลงตัว (2,400, 4,800, 9,600, 14,400, 19,200, 28,800, 38,400 bit/s) และในกรณีที่ต้องการให้ P89V51RD2 ทำในโหมด X2 ก็ยังสามารถทำได้โดยการเลือกคอนโวลด์โปรแกรม

4) ขา ALE (Address Latch Enable) Pin 30

เป็นขาที่ใช้ควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการต่อใช้งานหน่วยความจำภายนอก แต่เนื่องจากเรายังไม่ได้ต่อใช้งานหน่วยความจำภายนอกดังนั้นเราจึงปล่อยลอยขา ALE ไว้

5) ขา PSEN (Program Store Enable) Pin 29

ใช้ส่งสัญญาณเพื่อร้องขอการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์บางรุ่นขา PSEN นี้ใช้ในการควบคุมสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการโหลดโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

6) พอร์ต 0

สามารถใช้ติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) ในกรณีต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติม โครงสร้างภายในของพอร์ต 0 ไม่มีความต้านทาน Pull up อยู่ ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต จึงต้องต่อตัวต้านทาน Pull up ไว้กับแหล่งจ่ายไฟด้วย

7) พอร์ต 1

พอร์ต P1.0 สามารถใช้เป็นขาอินพุตนับสัญญาณสำหรับตัวจับเวลา (Timer) / ตัวนับ (Counter) 2 และพอร์ต P1.1 สามารถใช้เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของตัวจับเวลา 2

8) พอร์ต 2

สามารถใช้ติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15) ในกรณีต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้

9) พอร์ต 3

P3.0 สามารถใช้เป็นขารับข้อมูล (Rx) สำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม

P3.1 สามารถใช้เป็นขาส่งข้อมูล (Tx) สำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม

P3.2 สามารถใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ 0

P3.3 สามารถใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ 1

P3.4 สามารถใช้เป็นขาอินพุตนับสัญญาณสำหรับตัวจับเวลา/ตัวนับ 0

P3.5 สามารถใช้เป็นขาอินพุตนับสัญญาณสำหรับตัวจับเวลา/ตัวนับ 1

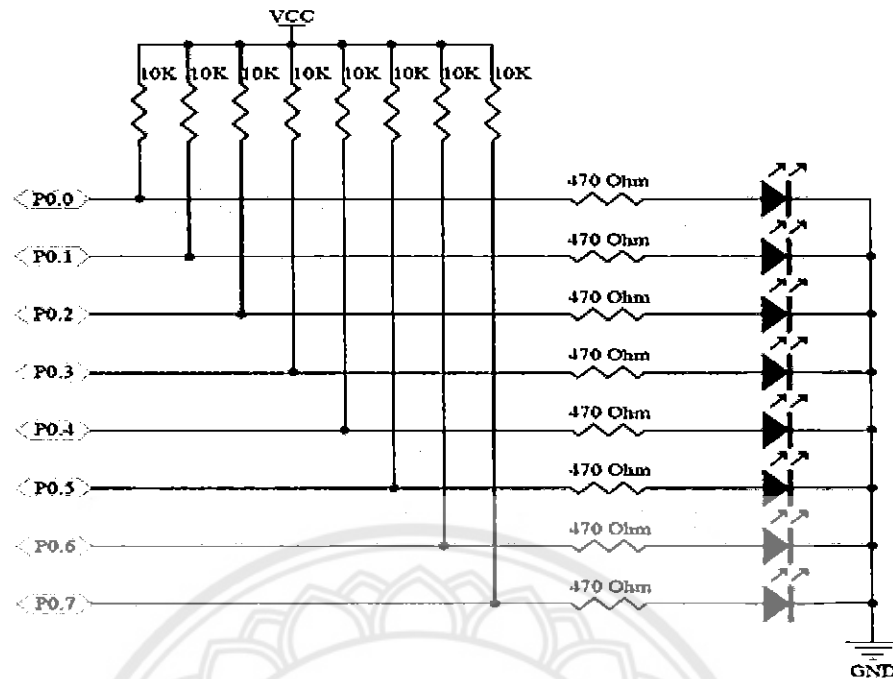
P3.6 สามารถใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีเชื่อมต่อใช้หน่วยความจำภายนอก

P3.7 สามารถใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีเชื่อมต่อใช้หน่วยความจำภายนอก

10) การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

พอร์ตนานของ MCS-51 สามารถทำงานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย เช่น LED, 7-Segment, relay, สเตปเปอร์มอเตอร์, LCD, หรือ IC ฟังก์ชันพิเศษอื่น ๆ แต่ละขาของพอร์ตสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ตได้สูงสุด 26 mA จะเห็นได้ว่าพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถจ่ายกระแสได้น้อย ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตที่ต้องจ่ายกระแสมาก จะไม่สามารถใช้พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายกระแสโดยตรงได้ เพราะจะทำให้พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เสียหายได้ ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต และต้องจ่ายกระแสมาก ๆ จึงต้องใช้ IC บัฟเฟอร์ช่วยขับกระแสอีกที

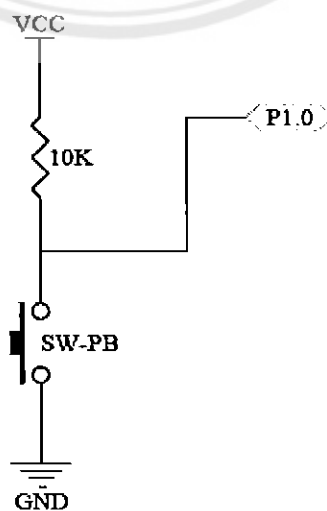
การใช้พอร์ต 0 เป็นพอร์ตเอาต์พุต แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งภายในพอร์ต ไม่มีตัวต้านทาน Pull up อยู่ ดังนั้นเราจึงต้องต่อตัวต้านทาน Pull up ไว้ และเนื่องจากพอร์ตของ MCS-51 นั้นสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 10 mA เท่านั้น เราจึงต้องต่อตัวต้านทานขนาดประมาณ 500 Ω เพื่อจำกัดกระแสที่ขับออกจากพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.6 การใช้งานพอร์ตขนานพอร์ต 0 เป็นพอร์ตเอาต์พุต

11) การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

ในการใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ลงไปยังพอร์ตที่ต้องการใช้รับข้อมูล และอ่านค่าจากพอร์ตนั้นมาโดยตรง ในกรณีที่สัญญาณอินพุตมาจากสวิทช์ ต้องต่อตัวต้านทาน Pull up กับแหล่งจ่ายไฟ 5 V ไว้ และต่อสวิทช์ตามตัวอย่างในรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อสวิทช์อยู่ในสภาวะปกติพอร์ตจะอยู่ในสภาวะ High ซึ่งเป็นลอจิก “1” และในกรณีที่สวิทช์ถูกกดพอร์ตจะอยู่ในสภาวะ Low ซึ่งเป็นลอจิก “0”

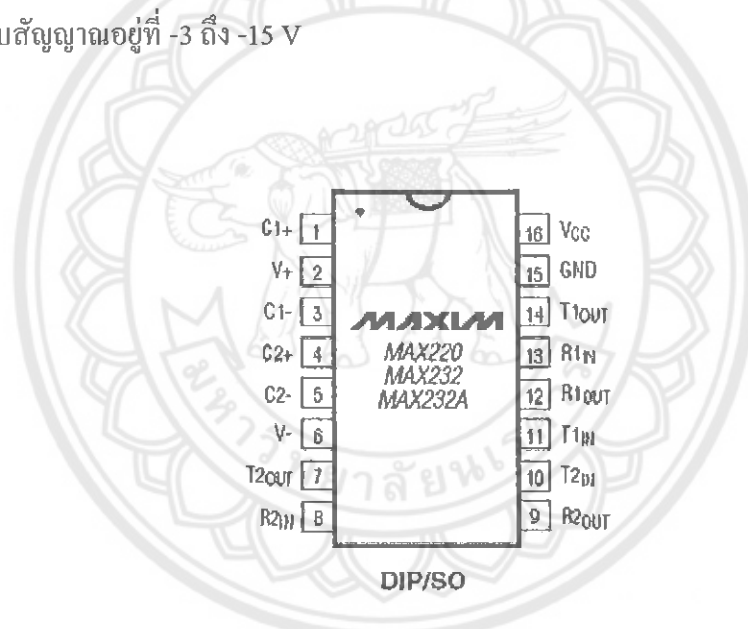


รูปที่ 2.7 การใช้งานพอร์ต P1.0 เป็นพอร์ตอินพุตรับสัญญาณจากสวิทช์

2.4.2 IC MAX232

พอร์ตอนุกรมซึ่งใช้รับส่งข้อมูลตามมาตรฐานของ MCS-51 ทั่วไป ซึ่งนอกจากจะใช้สำหรับรับส่งมูลตามปกติแล้ว พอร์ตอนุกรมของ P89V51RD2 ยังสามารถใช้ดาว์นโหลดโปรแกรมลงหน่วยความจำโปรแกรม หรือที่เรียกว่าการ โหลดโปรแกรมแบบ ISP ได้อีกด้วยพอร์ตอนุกรมของ P89V51RD2 อยู่ที่พอร์ต์ 3.0 (Rx) Pin 10 และ 3.1 (Tx) Pin 11 สัญญาณที่ออกมาจากพอร์ต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเป็นสัญญาณระดับ TTL

ลักษณะของ IC MAX232 แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 เป็นตัวปรับระดับสัญญาณจากระดับ TTL ให้เป็นไปตามมาตรฐานของ RS - 232 สัญญาณที่ออกมาจากพอร์ต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเป็นสัญญาณระดับ TTL ซึ่งมีระดับสัญญาณอยู่ที่ 0 ถึง 5 V แต่ในการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 นั้นสัญญาณ logic "0" ต้องมีระดับสัญญาณอยู่ที่ 3 ถึง 15 V และ logic "1" ต้องมีระดับสัญญาณอยู่ที่ -3 ถึง -15 V



รูปที่ 2.8 ลักษณะ IC MAX232

2.4.3 คุณสมบัติของวงจรมิคโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

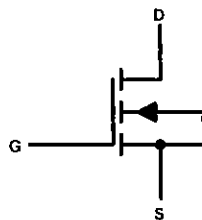
- 1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลางแบบ 8 byte
- 2) มีคำสั่งคำนวณทางคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ (Boolean processor)
- 3) มีแอดเดรสบัสขนาด 16 bit ทำให้สามารถอ้างตำแหน่งหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้ 64 kbit

- 4) มีหน่วยความจำ (RAM) ภายในขนาด 128 byte (8051/8031) หรือ 256 byte (8052/8032)
- 5) มีพอร์ตอนุกรมทำงานแบบดูเพล็กซ์เต็ม (Full duplex) 1 พอร์ต
- 6) มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนานจำนวน 32 bit
- 7) มีตัวจับเวลา 2 ตัว (8051/8031) หรือ 3 ตัว (8052/8032)
- 8) มีวงจรควบคุมการเกิดอินเตอร์รัปต์ 5 ประเภท (8051/8031) หรือ 6 ประเภท (8052/8032)
- 9) มีวงจรออสซิลเลเตอร์ภายในตัว

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ภายใน ดังนั้นในการใช้งานจึงสามารถต่อคริสตอล และตัวเก็บประจุเข้ากับคริสตอลได้โดยตรง โดยความถี่ของคริสตอลที่ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวระบุความเร็วในการทำงานโดยตรง ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ปกติ 1 Machine Cycle จะใช้สัญญาณนาฬิกาจำนวน 12 ลูก และในการทำงานแต่ละคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้เวลาในการทำงาน 1 - 4 แมกซ์ซีนาไซเคิล ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของคำสั่งนั้น

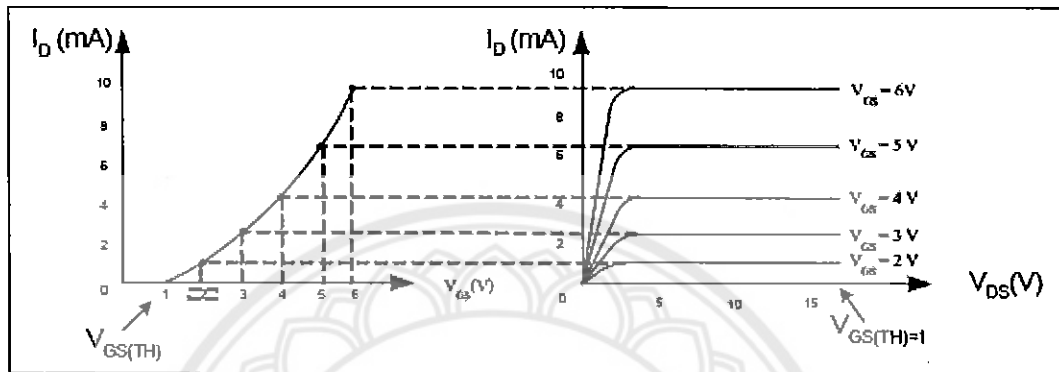
2.5 อิมอสเฟต (E - MOSFET)

การทำงานของ E - MOSFET เป็นการทำงานโดยการใช้แรงดัน V_{GS} ควบคุมการไหลของกระแส I_D ขณะที่ไม่จ่ายแรงดันให้ อินพุตตัว E - MOSFET จะไม่นำกระแส กระแส I_D จะไม่ไหล การทำให้ I_D ไหลใน E - MOSFET ต้องจ่ายแรงดันไบแอสไปหน้าให้อินพุตคือจ่ายแรงดันเป็นบวกให้กับขา G เทียบกับขา S ในชนิด N แชนแนลและจ่ายแรงดันเป็นลบให้กับขา G เทียบกับขา S ในชนิด P แชนแนล โดยมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.9

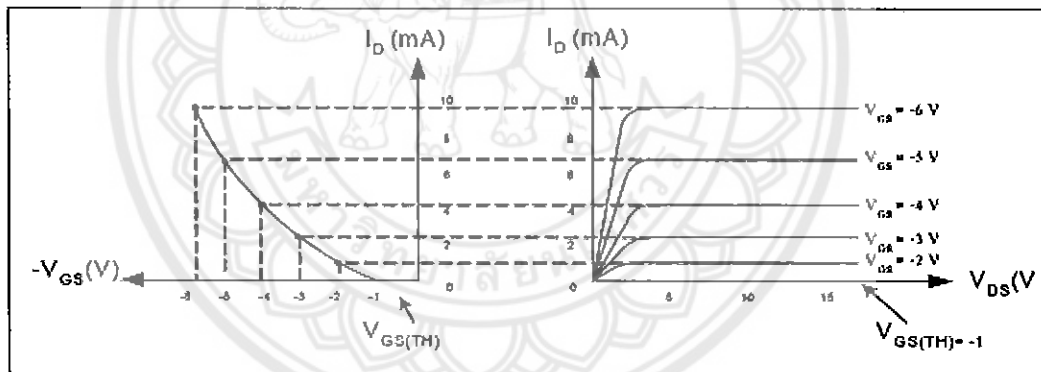


รูปที่ 2.9 E - MOSFET ชนิด N แชนแนล

E - MOSFET ขณะแรงดัน $V_{GS} = 0$ ไม่มีกระแส I_D ไหลและไม่เกิดกระแส I_{DSS} (ซึ่ง I_{DSS} คือกระแส I_D ที่ $V_{GS} = 0$) ซึ่งในขณะที่ไม่มีกระแส I_D ไหลนั้นแรงดัน V_{GS} ที่ตกร่วมขา G และ S นั้นไม่เป็น 0 V ด้วย มีค่าแรงดันเกิดขึ้น เรียกว่าแรงดันนี้ว่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold voltage) หรือ $V_{GS(TH)}$ ผลดังกล่าวทำให้กลุ่มกราฟคุณสมบัติของเดรนและกราฟคุณสมบัติการโอนย้ายของ E - MOSFET ดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 กราฟคุณสมบัติการโอนย้ายของ E - MOSFET (N - แชนแนล)



รูปที่ 2.11 กราฟคุณสมบัติการโอนย้ายของ E - MOSFET (P - แชนแนล)

จากกราฟคุณสมบัติการโอนย้ายของ E - MOSFET สามารถหาค่ากระแส I_D ได้จากสมการที่ (2.8)

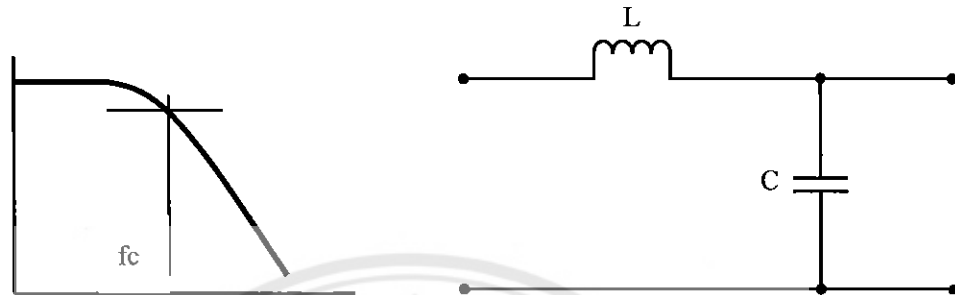
$$I_D = K(V_{GS} - V_{GS(TH)})^2 \tag{2.8}$$

ค่า K เป็นค่าคงที่ตามโครงสร้างของ E - MOSFET หาค่าได้จากตารางข้อมูลของ E-MOSFET ที่ค่า $I_{D(ON)}$ และ $V_{GS(ON)}$ นำมาแทนค่าในสมการที่ (2.9)

$$K = I_{D(ON)} / (V_{GS} - V_{GS(TH)})^2 \tag{2.9}$$

2.6 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมีลักษณะการต่อคือ ใช้ L อนุกรมกับวงจร และ C ขนานกับวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.12

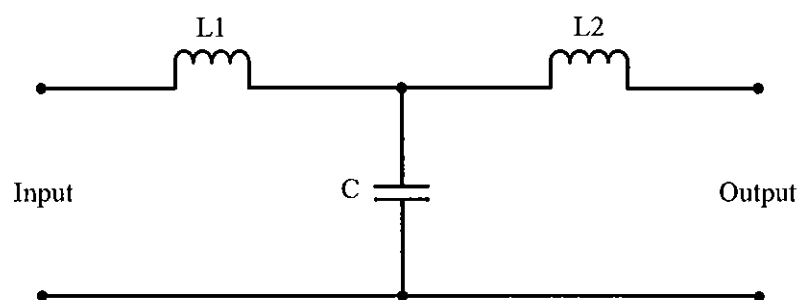


รูปที่ 2.12 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

คุณสมบัติของวงจรคือ เมื่อเราป้อนความถี่ต่ำเข้าวงจรทำให้ตัวเหนี่ยวนำมีค่า X_L ต่ำและตัวเก็บประจุมีค่า X_C สูง ทำให้ความถี่ต่ำผ่านตัวเหนี่ยวนำได้สะดวก ระดับสัญญาณขาออกจึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด X_L มีค่ามากขึ้นและค่า X_C จะลดลง ทำให้ความถี่ผ่านขดลวดได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูกตัวเก็บประจุดึงลงกราวด์ระดับสัญญาณขาออกจึงผ่านได้น้อยมาก

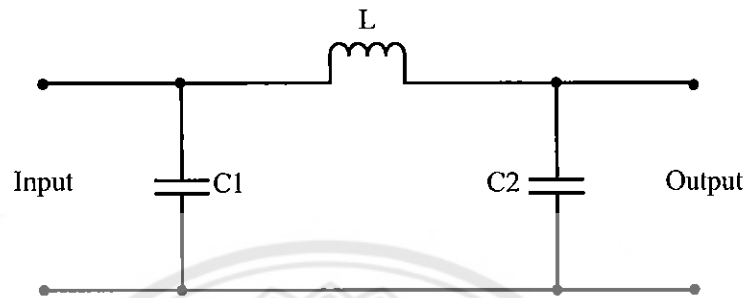
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

- 1) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบที (T Type low pass filter) การใช้ตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุเพียงตัวเดียวไม่สามารถกำจัดสัญญาณความถี่สูงได้หมด ตรงจุด Cut Off ทำให้ความถี่สูงผ่านไปได้ เราจึงแก้ปัญหาโดยการเพิ่มตัวเหนี่ยวนำเข้าไปในวงจรอีกชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เมื่อต่อแล้วลักษณะวงจรคล้าย ตัว T เราจึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบที สามารถต่อวงจรได้หลายชุดเพื่อประสิทธิภาพที่มากขึ้น



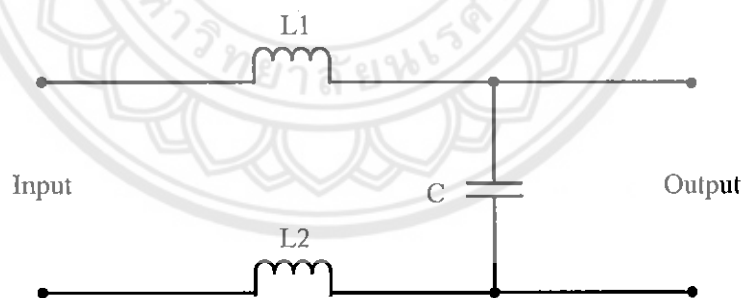
รูปที่ 2.13 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบที

- 2) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาย (Pi Type low pass filter) วงจรนี้จะใช้ตัวเก็บประจุ 2 ตัวและตัวเหนี่ยวนำ 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.14 รูปร่างคล้ายตัวพาย (Pi) เราจึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาย วงจรแบบนี้จะนิยมใช้ในการจ่ายไฟ และตัวควบคุมแรงดัน



รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาย

- 3) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ 2 ด้าน (2nd-order Type low pass filter) วงจรนี้จะใช้ตัวเก็บประจุ 1 ตัวและตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.15 วงจรนี้เหมาะสำหรับวงจรกรองไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.15 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบ 2 ด้าน

เราสามารถคำนวณขนาดของตัวเหนี่ยวนำ (L) นำได้จากสมการที่ (2.10)

$$L = \frac{\sqrt{2} \times R_L}{2\pi f} \quad (2.10)$$

และสามารถคำนวณขนาดของตัวเก็บประจุ (C) ได้จากสมการที่ (2.11)

$$C = \frac{1}{\sqrt{2} \times R_L \times 2\pi f} \quad (2.11)$$

เมื่อ R_L คือ ขนาดความต้านทานของโหลด

f คือ ความถี่สวิตชิง



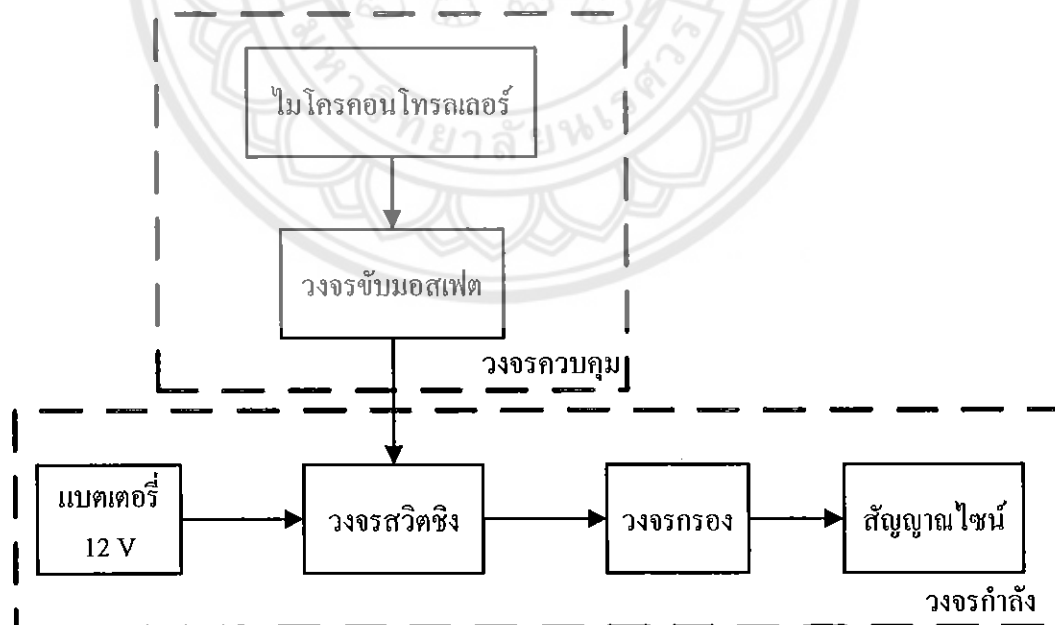
บทที่ 3

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมและการออกแบบชิ้นงาน

หลังจากเข้าใจหลักการและทฤษฎีของอินเวอร์เตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ในบทที่ 2 แล้ว จึงเริ่มกำหนดขั้นตอนการทำงาน การเขียนแผนผังการทำงาน เพื่อเป็นการดูการทำงานภาพรวมของระบบทั้งหมด จากนั้นการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์และเขียนโปรแกรมควบคุมการสวิตชิงซึ่งมีขั้นตอนการเขียนโปรแกรมและออกแบบชิ้นงานดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ในโครงการนี้เราออกแบบวงจรสวิตชิงที่สัญญาณไซน์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตชิง สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยแยกการทำงานออกเป็น 2 ส่วนได้ คือ ส่วนวงจรกำลังของวงจรสวิตชิงที่สัญญาณไซน์และวงจรควบคุมการสวิตชิง



รูปที่ 3.1 แผนภาพกรอบขั้นตอนการทำงานทั้งหมด

3.2 วงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์

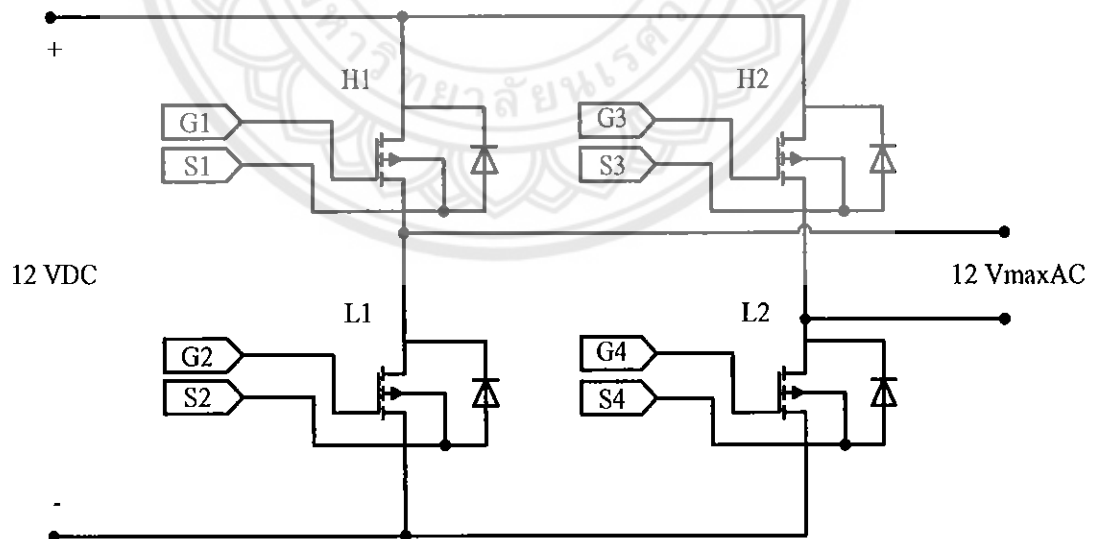
ในส่วนของวงจรกำลังจะกล่าวถึงวงจรที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 V จนกระทั่งได้สัญญาณไซน์ ซึ่งวงจรสังเคราะห์สัญญาณไซน์ที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ ประกอบด้วยชุดวงจรย่อยต่างๆดังนี้

- 1) ชุดวงจรสวิตชิง
- 2) ชุดวงจรกรอง

หลักการทำงานของชุดวงจรย่อยต่างๆในวงจรกำลัง มีดังนี้

3.2.1 ชุดวงจรสวิตชิง

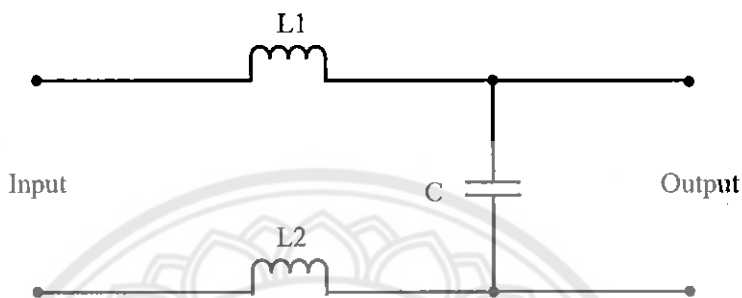
วงจรการสวิตชิงประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัว ทำหน้าที่ในการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยสวิตช์ H1 กับสวิตช์ L2 ทำหน้าที่ในการสร้างลูกคลื่นด้านบวก และสวิตช์ H2 กับสวิตช์ L1 ทำหน้าที่ในการสร้างลูกคลื่นด้านลบ โครงสร้างของวงจรสวิตชิงแสดงในรูปที่ 3.2 ในโครงการนี้ใช้ มอสเฟตหมายเลข 2SK2486 สำหรับรายละเอียดของมอสเฟตหมายเลขนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.2 ชุดวงจรสวิตชิง

3.2.2 ชุดวงจรกรอง

เมื่อผ่านวงจรการสวิตชิงแล้ว แรงดันจะมีลักษณะเป็นสัญญาณอิมพัลส์ที่ 2.0 kHz (จากการเขียนโปรแกรม) โดยมีควิตซ์ไซ้เกิดแตกต่างกันตามระดับแรงดันของสัญญาณ ไซน์ จึงต้องสร้างวงจรกรองเพื่อกรองสัญญาณแรงดันที่ได้ให้เรียบ โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดวงจรกรอง

สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ในวงจรกรองที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ได้ดังนี้

ก) ตัวเหนี่ยวนำ

การเลือกตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาจากค่าความถี่ของการสวิตชิง และค่าความต้านทานของโหลดสูงสุด จากการคำนวณจะได้ค่าความเหนี่ยวนำเป็น 1.6 mH แต่เลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าเหนี่ยวนำเป็น 500 μ H เนื่องจากสัญญาณที่ได้มีลักษณะสัญญาณที่หน่วงมากเกินไป จึงต้องลดค่าเหนี่ยวนำ

ข) ตัวเก็บประจุ

การเลือกตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาจากค่าความถี่ของการสวิตชิง และค่าความต้านทานของโหลดสูงสุด จากการคำนวณจะได้ค่าความจุไฟฟ้าเป็น 40 μ F แต่เลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้าเป็น 800 μ F เนื่องจากสัญญาณที่ได้ยังคงมีความกระเพื่อม จึงต้องเพิ่มค่าตัวเก็บประจุ

3.3 วงจรควบคุมการสวิตชิง

โดยทั่วไปวงจรควบคุมสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็มจะใช้วิธีการนำสัญญาณไซน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม จุดตัดของสัญญาณทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดการปิดเปิดของสวิตช์ Hx และ Lx การปิดเปิดของสวิตช์เช่นนี้จะต้องมีช่วงเวลา “เดดไทม์” (Dead time) คือ การหน่วงเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้สวิตช์ Hx และ Lx ปิดพร้อมกัน เพราะจะเกิดการลัดวงจรขึ้นระหว่างบัสกระแสตรง

จะเห็นได้ว่าวิธีการที่กล่าวมานั้นจะมีหลายขั้นตอนในการสร้างสัญญาณควบคุม อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย จึงได้ออกแบบวงจรควบคุมการสวิตชิง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณสวิตชิง ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณสวิตชิงได้โดยตรงและสามารถกำหนดช่วงเดดไทม์ได้อีกด้วย

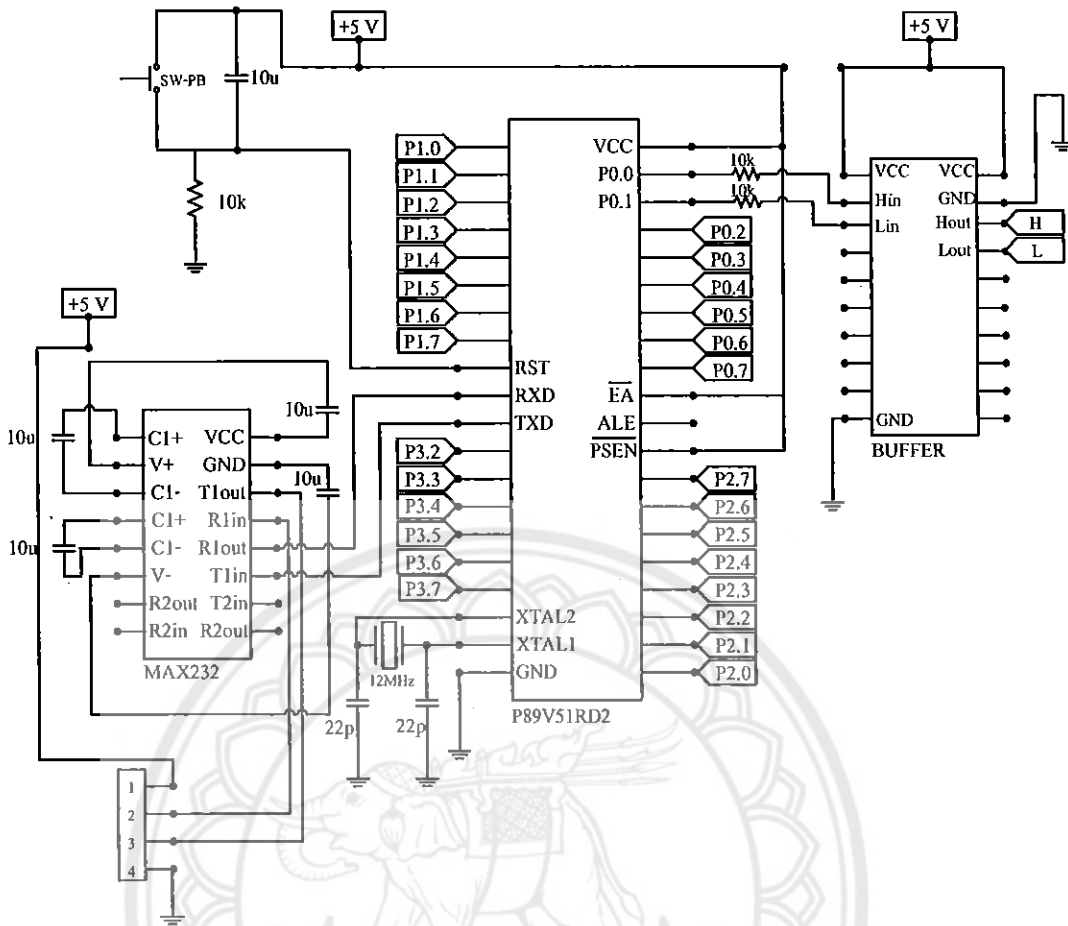
หลักการการทำงานของชุดวงจรย่อยต่าง ๆ ในวงจรควบคุมการสวิตชิง มีดังนี้

- 1) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
- 2) วงจรขับเฟส
- 3) วงจรไฟเลี้ยง

หลักการการทำงานของชุดวงจรย่อยต่าง ๆ ในวงจรควบคุมการสวิตชิง มีดังนี้

3.3.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

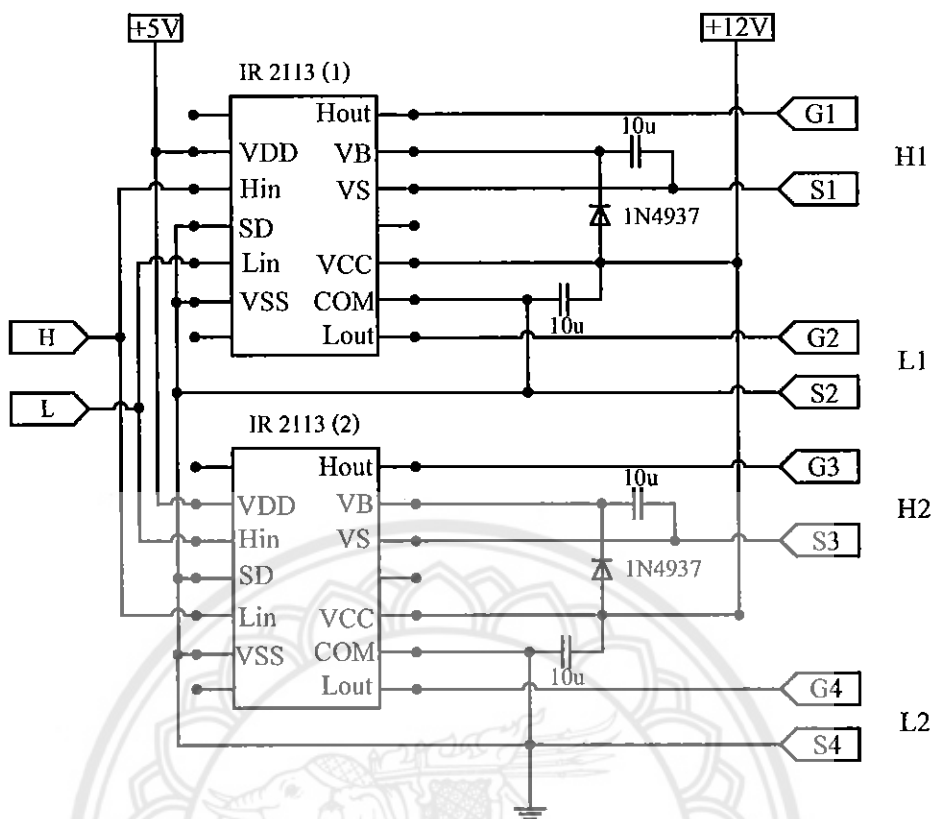
โครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณสวิตชิง โดยสร้างสัญญาณออกจากพอร์ต P0.0 และ P0.1 โดยมีบัฟเฟอร์เป็นตัวป้องกันวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 สัญญาณที่ได้จากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แก่ สัญญาณ H กับสัญญาณ L เพื่อควบคุมสัญญาณไซน์ด้านบวกและลบตามลำดับ



รูปที่ 3.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.2 วงจรขับเฟด

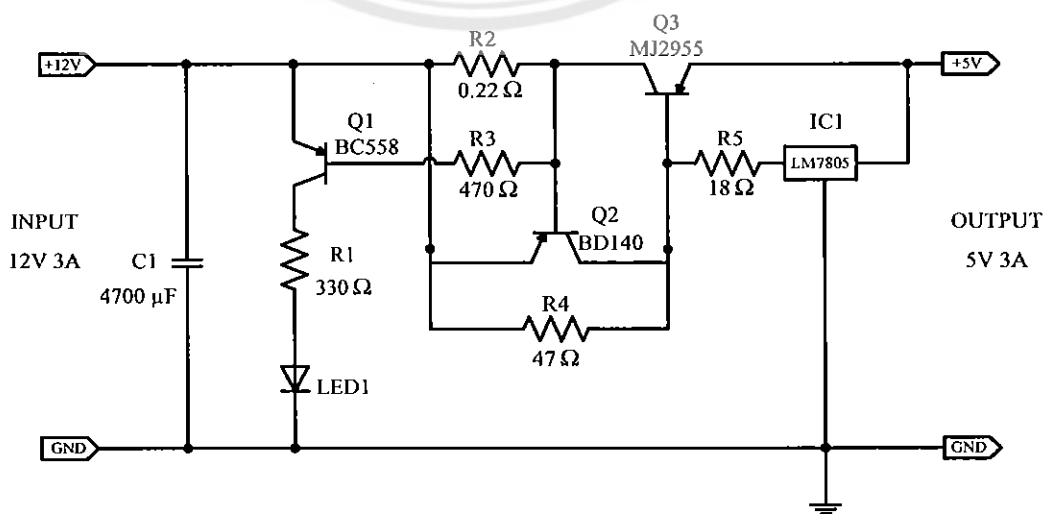
หลังจากได้สัญญาณสวิทชิงเป็นสัญญาณพัลส์เบิบลูเอ็มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณ H จะเข้าขา Hin ของไอซีตัวที่ 1 และขา Lin ของไอซีตัวที่ 2 ส่วนสัญญาณ L จะเข้าขา Lin ของไอซีตัวที่ 1 และขา Hin ของไอซีตัวที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งสัญญาณขาออกที่ได้จะนำไปขับเฟดต่อไป โดยในที่นี้เลือกใช้อีซีหมายเลข IR2113 สำหรับรายละเอียดของอีซีหมายเลขนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.5 วงจรขับมอสเฟต

3.3.3 วงจรไฟเลี้ยง

เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรถับเฟตต้องการไฟเลี้ยงขนาดแรงดัน 5 V จึงต้องออกแบบวงจรไฟเลี้ยงที่แปลงไฟกระแสตรง 12 V (จากวงจรหลัก) ไปเป็น 5 V ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรไฟเลี้ยงแปลงแรงดันจาก 12 V_{DC} เป็น 5 V_{DC}

3.4 โปรแกรมควบคุมการสวิตชิง

ในการออกแบบโปรแกรมสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตชิง ต้องคำนึงถึงความถูกต้องของลักษณะสัญญาณควบคุมเพื่อให้ได้สัญญาณ ไซน์ตามที่ต้องการ สามารถแบ่งการทำงานเป็นสองส่วนคือ การสร้างสัญญาณควบคุมและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

3.4.1 การสร้างสัญญาณควบคุม

จากที่ได้กล่าวหลักการสร้างสัญญาณควบคุมการสวิตชิงโดยวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ในบทที่ 2 สามารถหาค่าคิวิตซ์ไคเกิดและช่วงเวลาในการสวิตชิงดังแสดงในตารางที่ 3.1 ในที่นี้จะแสดงค่าเฉพาะในช่วง $0 - \frac{\pi}{2}$ โดยมีพื้นที่ของสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็น 0.157 ตารางหน่วยและในแต่ละช่วงมีคาบเวลาเป็น 500 μs

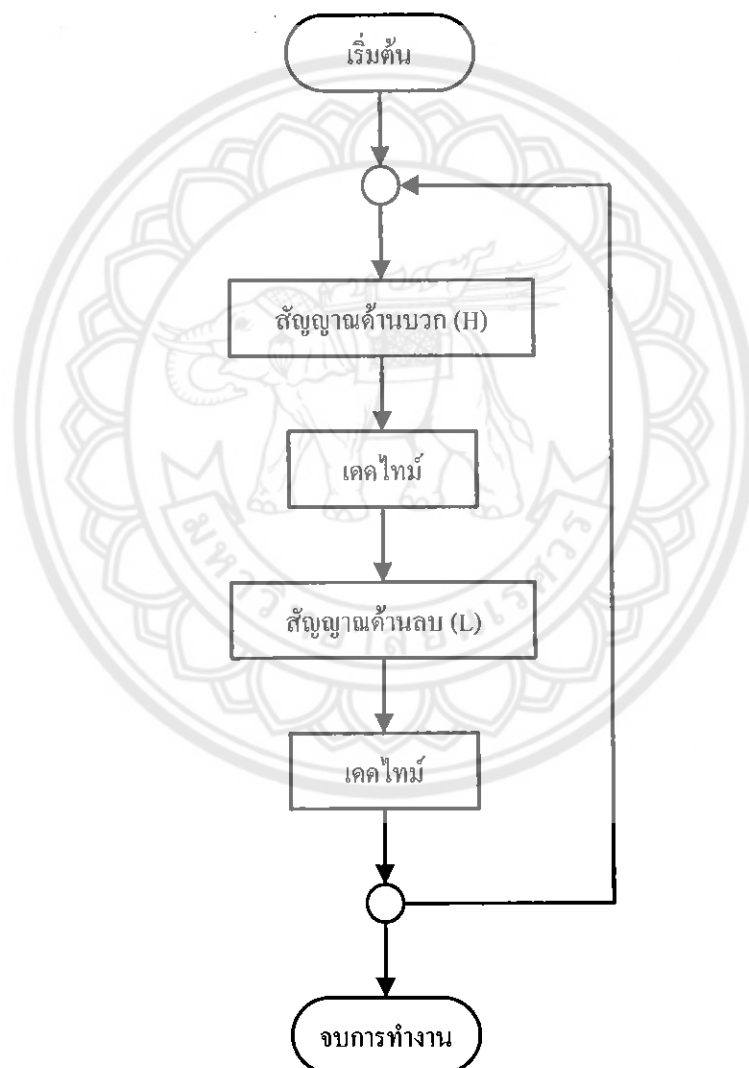
ตารางที่ 3.1 ค่าคิวิตซ์ไคเกิดในแต่ละช่วงของสัญญาณ ไซน์และช่วงเวลาในการสวิตชิง

ช่วงเวลา	ช่วง	พื้นที่ (ตร.หน่วย)	คิวิตซ์ไคเกิด (%)	เวลาเปิด (μs)	เวลาปิด (μs)
A	$0 - \frac{\pi}{20}$	0.012	7.6	38	262
B	$\frac{\pi}{20} - \frac{\pi}{10}$	0.037	23.6	120	380
C	$\frac{\pi}{10} - \frac{3\pi}{20}$	0.060	38.2	190	310
D	$\frac{3\pi}{20} - \frac{\pi}{5}$	0.082	52.2	260	240
E	$\frac{\pi}{5} - \frac{\pi}{4}$	0.102	65.0	324	176
F	$\frac{\pi}{4} - \frac{3\pi}{10}$	0.119	75.8	380	120
G	$\frac{3\pi}{10} - \frac{7\pi}{20}$	0.134	85.4	428	72
H	$\frac{7\pi}{20} - \frac{2\pi}{5}$	0.145	92.4	462	38
I	$\frac{2\pi}{5} - \frac{9\pi}{10}$	0.153	97.5	486	14
J	$\frac{9\pi}{10} - \frac{\pi}{2}$	0.156	100	500	0

15747703
มร.
ธรรณ
2557

3.4.2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมสามารถสร้างสัญญาณได้เป็นสองส่วนได้แก่ สัญญาณด้านบวก (H) กับสัญญาณด้านลบ (L) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งในแต่ละด้านมีการสวิตซิงตามคิวต์ไซเคิลที่ได้กำหนดไว้ โดยสัญญาณด้านบวก (H) ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ H1 กับ L2 ส่วนสัญญาณด้านลบ (L) ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ H1 กับ L2 นอกจากนี้ในการเขียนโปรแกรมต้องสร้างเวลาเคคไทม์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรระหว่างบัคกระแสตรง

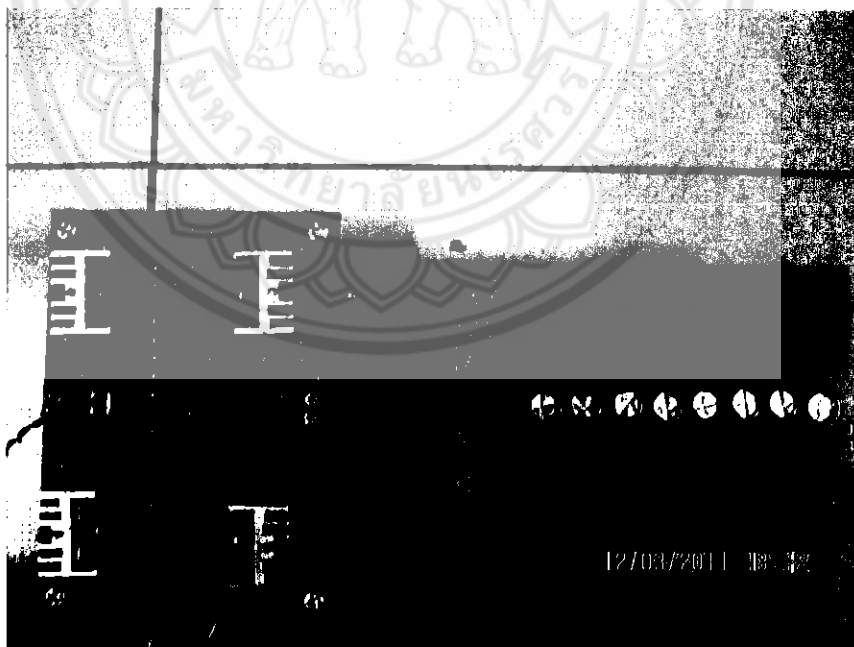


รูปที่ 3.7 แผนภาพการทำงานของ โปรแกรมสัญญาณควบคุมการสวิตซิง

หลังจากออกแบบวงจรต่าง ๆ แล้วนำมาสร้างวงจร ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 รูปภาพแสดงวงจรควบคุมการสวิตชิง



รูปที่ 3.9 รูปภาพแสดงวงจรควบคุมการสวิตชิง

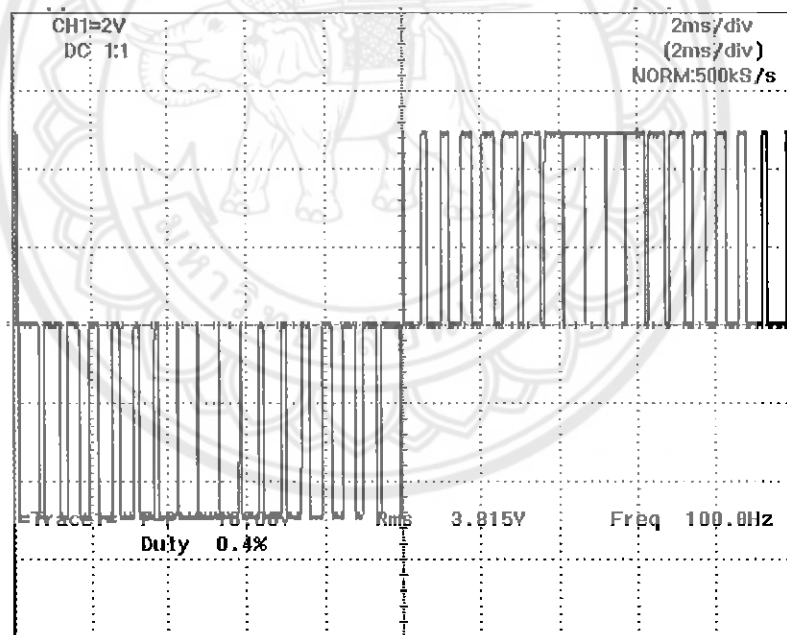
บทที่ 4

ผลการทดสอบ

หลังจากการออกแบบและสร้างส่วนต่างๆ วงจรสวิตช์สัญญาณไซน์ ดังอธิบายไว้ในบทที่ 3 ผู้ดำเนินโครงการได้ดำเนินการทดสอบสัญญาณที่ได้จากส่วนต่างๆ ของวงจรสวิตช์สัญญาณไซน์ดังจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.1 ผลการทดสอบสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

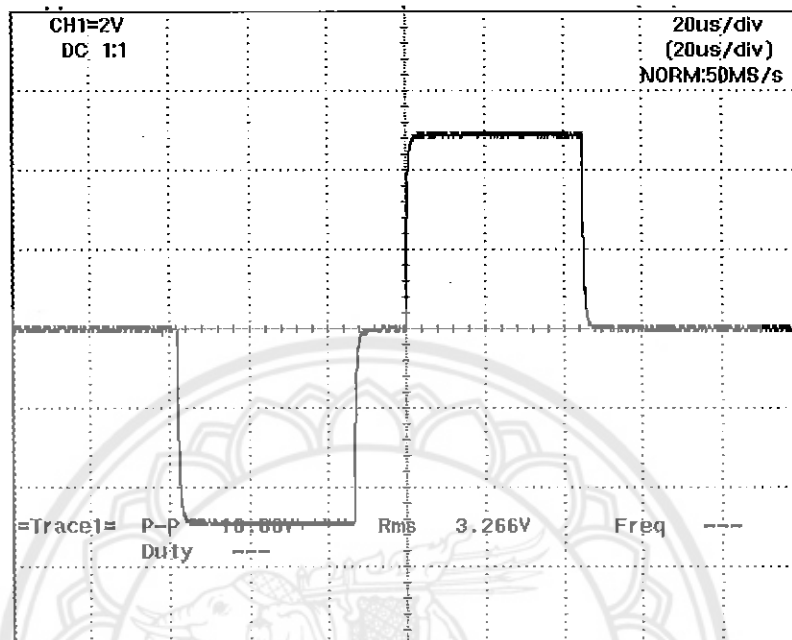
โครงการนี้ได้ทำการออกแบบการทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการจับสัญญาณ H เปรียบเทียบกับสัญญาณ L ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งใช้มาตราส่วนแรงดันต่อช่อง (Volt/Div) เป็น 2 V และเวลาต่อช่อง (Time/Div) เป็น 2 ms



รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะสัญญาณ H เปรียบเทียบกับสัญญาณ L จากไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 4.1 สัญญาณที่ได้มีลักษณะเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.4 แต่ลักษณะสัญญาณมีความกระเพื่อมเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากความกระเพื่อมของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

นอกจากนี้ยังตรวจสอบระยะเวลาเดดไทม์ของสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งใช้มาตราส่วนแรงดันต่อช่อง (Volt/Div) เป็น 2 V และเวลาต่อช่อง (Time/Div) เป็น 20 μ s

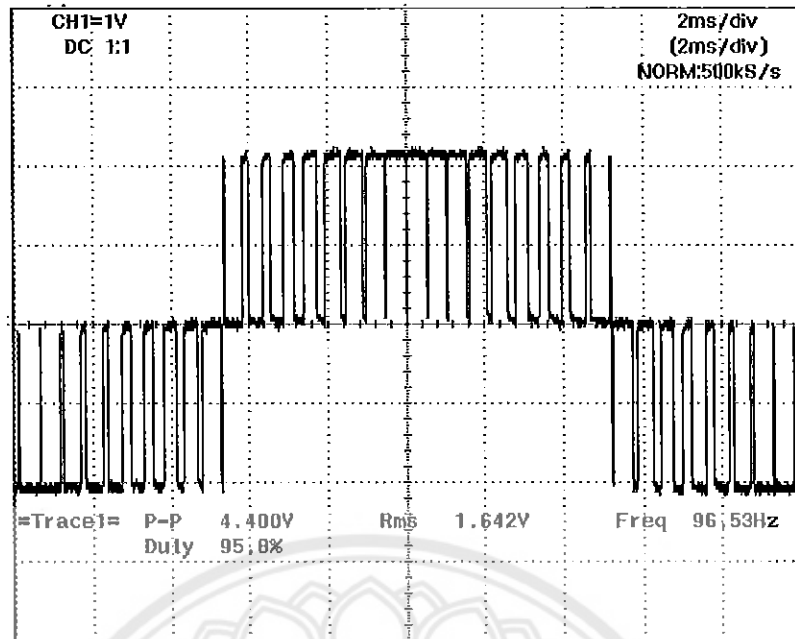


รูปที่ 4.2 กราฟคุณลักษณะสัญญาณเดดไทม์

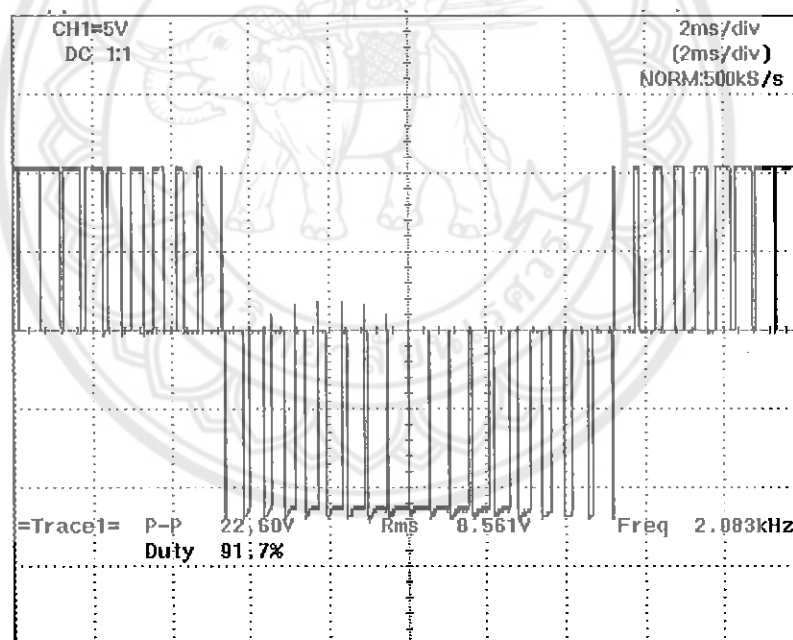
จากรูปที่ 4.2 เห็นได้ว่ามีระยะเวลาเดดไทม์ 12 μ s ซึ่งเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างบัตรกระแสดิจิทัล

4.2 ผลการทดสอบสัญญาณควบคุมจากวงจรขับเฟด

เมื่อได้สัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตามต้องการ นำสัญญาณควบคุมที่ได้ไปต่อกับวงจรขับเฟดและตรวจสอบสัญญาณที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งใช้มาตราส่วนแรงดันต่อช่อง (Volt/Div) เป็น 5 V และเวลาต่อช่อง (Time/Div) เป็น 2 ms โดยทดสอบเปรียบเทียบแรงดันของสัญญาณขับเฟด H1 กับ H2 และสัญญาณขับเฟด L1 กับ L2



รูปที่ 4.3 กราฟคุณลักษณะ H1 เปรียบเทียบกับสัญญาณ H2 จากวงจรขับเฟด

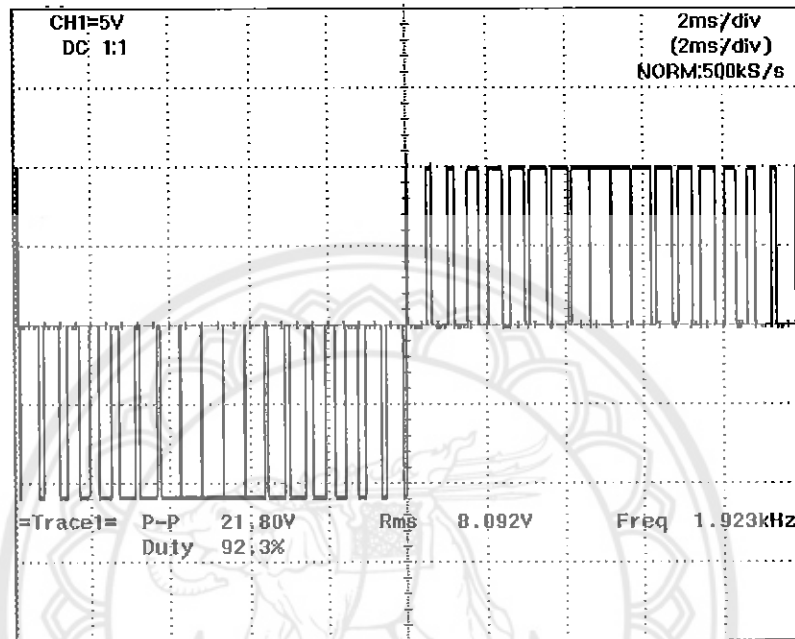


รูปที่ 4.4 กราฟคุณลักษณะ L1 เปรียบเทียบกับสัญญาณ L2 จากวงจรขับเฟด

จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 เห็นได้ว่าวงจรขับเฟดสามารถขยายสัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณที่ได้จากวงจรขับเฟดมีขนาดแรงดันประมาณ 11 V ซึ่งสามารถนำไปขับเฟดได้

4.3 ผลการทดสอบสัญญาณหลังจากผ่านการสวิตชิง

นำสัญญาณควบคุมที่ได้จากวงจรขับเฟดไปขับเฟดในวงจรสวิตชิงและตรวจสอบสัญญาณที่ได้จากวงจรสวิตชิง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งใช้มาตราส่วนแรงดันต่อช่อง (Volt/Div) เป็น 5 V และเวลาต่อช่อง (Time/Div) เป็น 2 ms



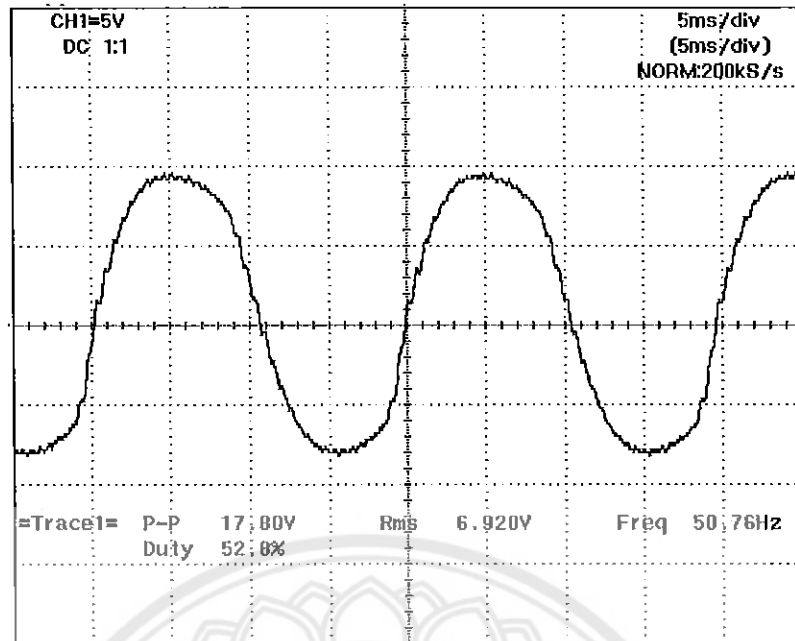
รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะของสัญญาณหลังจากผ่านการสวิตชิง

จากรูปที่ 4.5 เห็นได้ว่าวงจรสวิตชิงสามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 12 V เป็นไฟฟ้ากระแสสลับตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยมีขนาดแรงดันสูงสุดประมาณ 10 V ซึ่งมีขนาดแรงดันต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเนื่องจากเกิดการสูญเสียภายในตัวสวิตช์ (มอสเฟต)

4.4 ผลการทดสอบสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรอง

นำสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากวงจรสวิตชิงไปผ่านวงจรกรองและตรวจสอบสัญญาณที่ได้จากวงจรกรอง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งใช้มาตราส่วนแรงดันต่อช่อง (Volt/Div) เป็น 5 V และเวลาต่อช่อง (Time/Div) เป็น 5 ms

โดยทั่วไปโหลดที่ต่อกับวงจรกรองเป็นส่วนของหม้อแปลง ซึ่งมีค่าความต้านทานไม่สูงมาก ในโครงการนี้เลือกใช้ตัวต้านทานขนาด 14.1 Ω ในการทดลองแทนความต้านทานของหม้อแปลงซึ่งหาได้ตามท้องตลาด

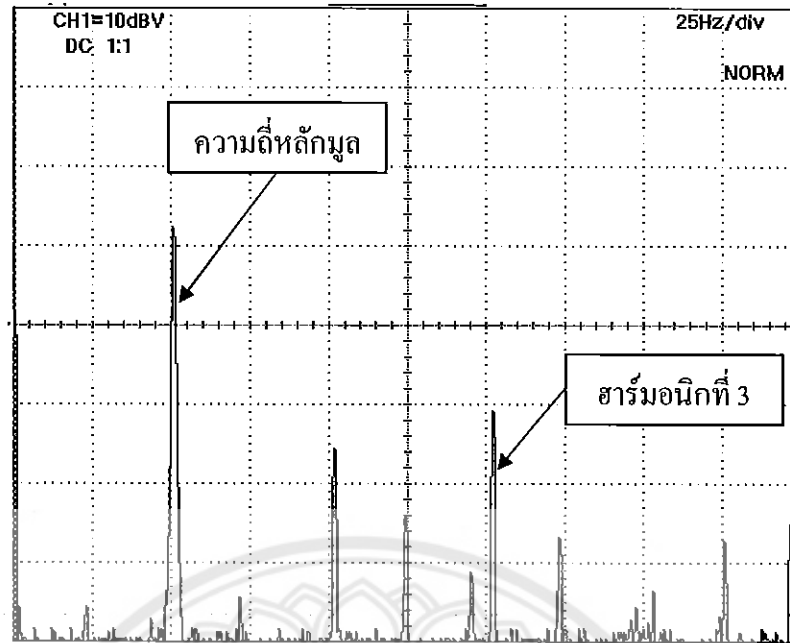


รูปที่ 4.6 กราฟคุณลักษณะของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรอง

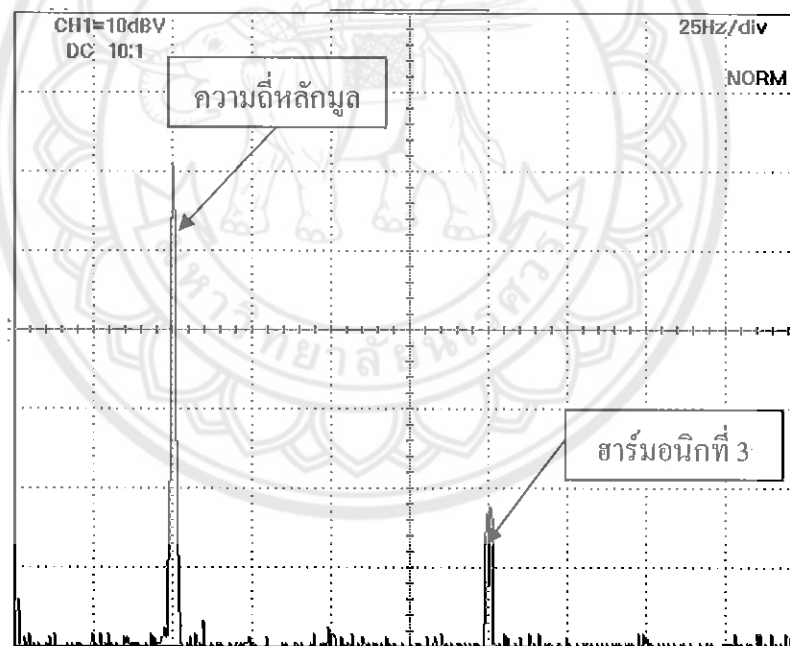
จากรูปที่ 4.6 เห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ โดยมีขนาดแรงดันสูงสุดประมาณ 9 V หรือมีค่าอาร์เอ็มเอส 6.92 V แต่ลักษณะสัญญาณยังคงมีความกระเพื่อม หากเพิ่มขนาดวงจรกรองมากกว่านี้จะทำให้แรงดันที่ได้มีค่าต่ำ

4.5 ผลการทดสอบองค์ประกอบฮาร์มอนิกของวงจรอินเวอร์เตอร์

เมื่อได้สัญญาณไฟกระแสสลับตามที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำสัญญาณที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณ โดยการตรวจสอบฮาร์มอนิก ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งใช้มาตราส่วนความถี่ต่อช่อง (Hz/Div) เป็น 25 Hz นำมาเปรียบเทียบกับฮาร์มอนิกของสัญญาณไซน์ที่ได้จากระบบจำหน่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งใช้มาตราส่วนความถี่ต่อช่อง (Hz/Div) เป็น 25 Hz ซึ่งการพิจารณาฮาร์มอนิกในโครงการนี้พิจารณาเฉพาะฮาร์มอนิกที่ 3 เนื่องจากฮาร์มอนิกที่ 3 มีผลต่อความความเพี้ยนของสัญญาณไซน์มากกว่าฮาร์มอนิกอื่นๆ



รูปที่ 4.7 กราฟคุณลักษณะองค์ประกอบฮาร์มอนิกของสัญญาณจากวงจรกรอง



รูปที่ 4.8 กราฟคุณลักษณะองค์ประกอบฮาร์มอนิกของสัญญาณไซน์จากระบบจำหน่าย

จากรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 เห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้จากวงจรสังเคราะห์สัญญาณไชนียังคงมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกค่อนข้างมาก โดยเฉพาะของฮาร์มอนิกที่ 3 มีขนาด 55.7% ของความถี่หลักมูล ซึ่งมีค่ามากกว่าฮาร์มอนิกที่ 3 ของสัญญาณไซน์ที่ได้จากระบบจำหน่าย โดยสัญญาณไชนียังมีขนาดของฮาร์มอนิกที่ 3 ประมาณ 30% ของความถี่หลักมูล

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปผล ซึ่งแจ้งปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน รวมทั้งเสนอแนวทางแก้ปัญหา พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการไปพัฒนาต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานในการสร้างสัญญาณสวิตชิง โดยใช้วิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปควบคุมวงจรสังเคราะห์สัญญาณไซน์

รูปแบบการสร้างสัญญาณสวิตชิงที่พัฒนาขึ้นในโครงการนี้คือวิธีการแบ่งส่วนพื้นที่ โดยการแบ่งสัญญาณไซน์ออกเป็น ส่วน ๆ เท่ากันและหาพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณไซน์ของแต่ละส่วน จากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณไซน์เปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณสี่เหลี่ยม เพื่อหาตัวชี้โวลิต แล้วนำไปคำนวณหาเวลาในการสวิตชิง และเมื่อนำสัญญาณสวิตชิงที่ออกแบบไว้ไปใช้งานและทดสอบลักษณะของสัญญาณของวงจรสังเคราะห์สัญญาณไซน์ ผลที่ได้คือสัญญาณที่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ตามที่ได้ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการทดสอบชิ้นงานไม่ได้ทดสอบกับสถานที่ยังเป็นแค่เพียงการทดสอบลักษณะของสัญญาณในส่วนต่าง ๆ ของวงจรสังเคราะห์สัญญาณไซน์จึงอาจไม่ครอบคลุมสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นจริงทั้งหมด

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) ในการกรองสัญญาณเมื่อใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ได้จากการคำนวณ ได้สัญญาณขาออกที่ยังไม่เป็นรูปสัญญาณไซน์ที่สมบูรณ์ การแก้ไขคือออกแบบวงจรกรองที่สามารถกรององค์ประกอบฮาร์มอนิกที่ 2 และ 3 เพื่อให้สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณไซน์
- 2) เนื่องจากบอร์ดที่ใช้ทำวงจรเป็นบอร์ดเอนกประสงค์ ซึ่งมักจะเกิดปัญหาเรื่องแผ่นทองแดงลอก ทำให้วงจรขาดความคงทน หากมีการนำบอร์ดชนิดแผ่นปริ้นมาใช้งานจะทำให้วงจรมีความคงทนยิ่งขึ้น

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

- 1) เนื่องจากโครงการเป็นการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ หากมีการพัฒนาเพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ก็จะต้องขึ้น
- 2) เนื่องจากโปรแกรมที่เขียนไว้ในโครงการนี้ทำงานได้เพียงย่านความถี่เดียว หากต้องการเปลี่ยนย่านความถี่จะต้องมีการเขียนโปรแกรมใหม่ หากมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถเปลี่ยนความถี่ได้โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมใหม่ จะทำให้มีความสะดวกในการเปลี่ยนความถี่มากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ จันทร์เงิน และวุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์ “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง: Power Electronics”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง, 2550
- [2] บัญชา สถานทรัพย์, พลวัฒน์ ทองบัวบาน และศิวัรักษ์ นิลสุ่ม. “การหาจุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2552
- [3] อภิชาติ ภู่อัลป์ “เขียนโปรแกรมควบคุม Microcontroller ด้วยภาษา C, Assembly และ VB”, บริษัท ไอดีซี อีโพลีคิสทรีบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด, 2552



ภาคผนวก ก

รายละเอียดของไอซี P89V51RD2

P89V51RD2

8-bit 80C51 5 V low power 64 kB Flash microcontroller
with 1 kB RAM

Rev. 01 — 01 March 2004

Product data

1. General description

The P89V51RD2 is an 80C51 microcontroller with 64 kB Flash and 1024 bytes of data RAM.

A key feature of the P89V51RD2 is its X2 mode option. The design engineer can choose to run the application with the conventional 80C51 clock rate (12 clocks per machine cycle) or select the X2 mode (6 clocks per machine cycle) to achieve twice the throughput at the same clock frequency. Another way to benefit from this feature is to keep the same performance by reducing the clock frequency by half, thus dramatically reducing the EMI.

The Flash program memory supports both parallel programming and in serial In-System Programming (ISP). Parallel programming mode offers gang-programming at high speed, reducing programming costs and time to market. ISP allows a device to be reprogrammed in the end product under software control. The capability to field/update the application firmware makes a wide range of applications possible.

The P89V51RD2 is also In-Application Programmable (IAP), allowing the Flash program memory to be reconfigured even while the application is running.

2. Features

- 80C51 Central Processing Unit
- 5 V Operating voltage from 0 to 40 MHz
- 64 kB of on-chip Flash program memory with ISP (In-System Programming) and IAP (In-Application Programming)
- Supports 12-clock (default) or 6-clock mode selection via software or ISP
- SPI (Serial Peripheral Interface) and enhanced UART
- PCA (Programmable Counter Array) with PWM and Capture/Compare functions
- Four 8-bit I/O ports with three high-current Port 1 pins (16 mA each)
- Three 16-bit timers/counters
- Programmable Watchdog timer (WDT)
- Eight interrupt sources with four priority levels
- Second DPTR register
- Low EMI mode (ALE inhibit)
- TTL- and CMOS-compatible logic levels



PHILIPS

- Brown-out detection
- Low power modes
 - ◆ Power-down mode with external interrupt wake-up
 - ◆ Idle mode
- PDIP40, PLCC44 and TQFP44 packages

3. Ordering information

Table 1: Ordering information

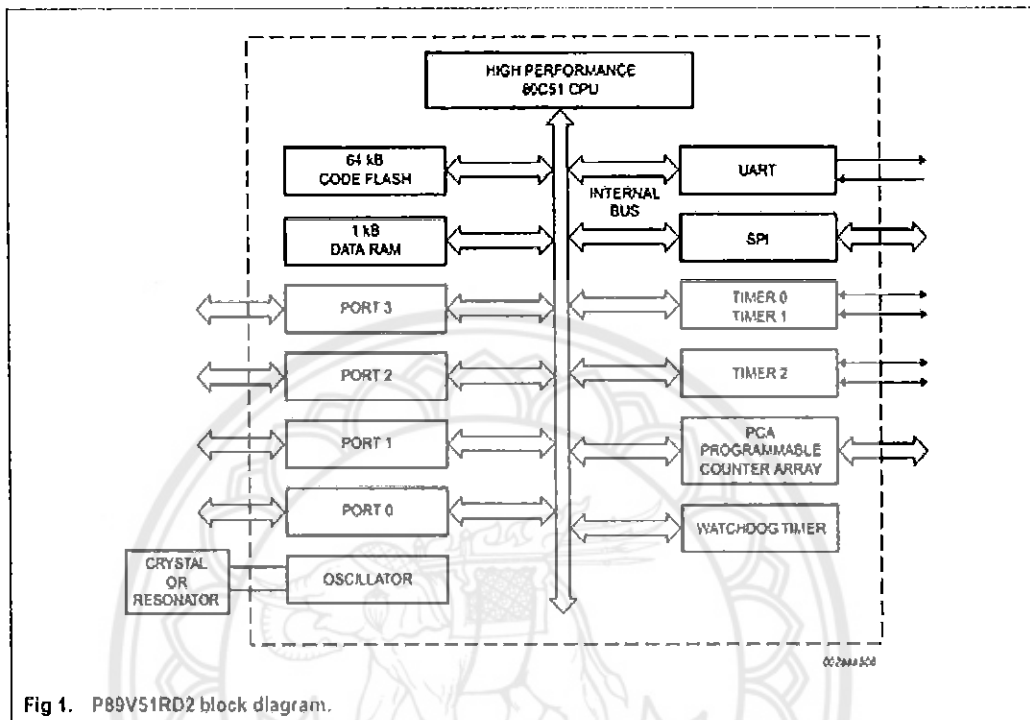
Type number	Package		Version
	Name	Description	
P89V51RD2FA	PLCC44	plastic leaded chip carrier; 44 leads	SOT187-2
P89V51RD2FBC	TQFP44	plastic thin quad flat package; 44 leads	SOT376-1
P89V51RD2BN	PDIP40	plastic dual in-line package; 40 leads	SOT129-1

3.1 Ordering options

Table 2: Ordering options

Type number	Temperature range	Frequency
P89V51RD2FA	-40 °C to +85 °C	0 to 40 MHz
P89V51RD2FBC	-40 °C to +85 °C	
P89V51RD2BN	0 °C to +70 °C	

4. Block diagram



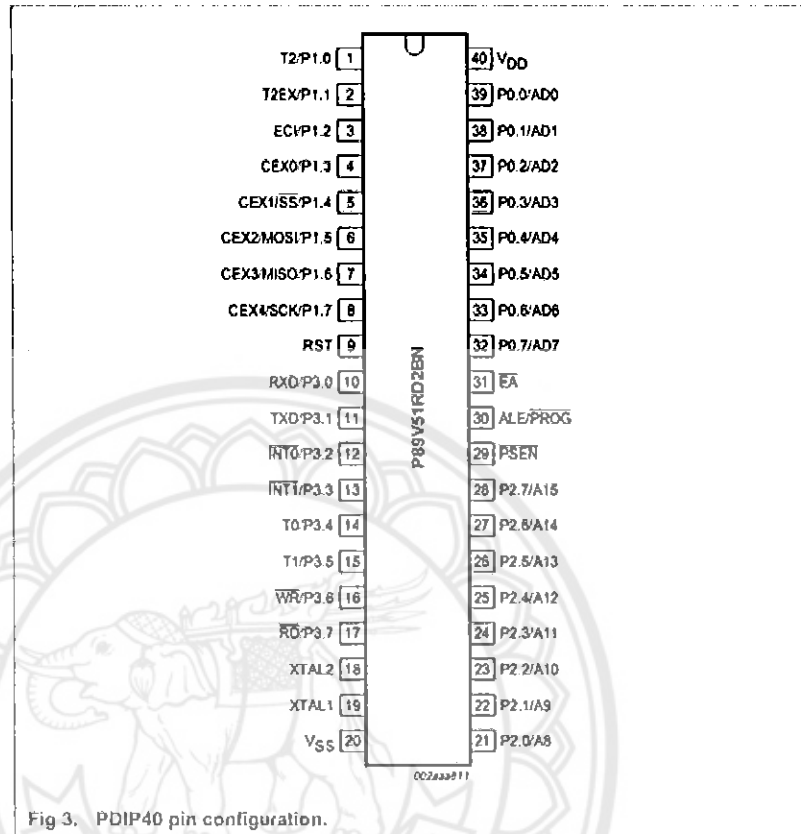


Fig 3. PDIP40 pin configuration.

5.2 Pin description

Table 3: P89V51RD2 pin description

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P0.0 to P0.7	39-32	37-30	43-36	I/O	Port 0: Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. Port 0 pins that have '1's written to them float, and in this state can be used as high-impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external code and data memory. In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 0 also receives the code bytes during the external host mode programming, and outputs the code bytes during the external host mode verification. External pull-ups are required during program verification or as a general purpose I/O port.
P1.0 to P1.7	1-8	40-44, 1-3	2-9	I/O with internal pull-up	Port 1: Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 pins are pulled high by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 1 pins that are externally pulled LOW will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups. P1.5, P1.6, P1.7 have high current drive of 16 mA. Port 1 also receives the low-order address bytes during the external host mode programming and verification.
P1.0	1	40	2	I/O	T2: External count input to Timer/Counter 2 or Clock-out from Timer/Counter 2
P1.1	2	41	3	I	T2EX: Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control
P1.2	3	42	4	I	ECl: External clock input. This signal is the external clock input for the PCA.
P1.3	4	43	5	I/O	CEX0: Capture/compare external I/O for PCA Module 0. Each capture/compare module connects to a Port 1 pin for external I/O. When not used by the PCA, this pin can handle standard I/O.
P1.4	5	44	6	I/O	SS: Slave port select input for SPI CEX1: Capture/compare external I/O for PCA Module 1
P1.5	6	1	7	I/O	MOSI: Master Output Slave Input for SPI CEX2: Capture/compare external I/O for PCA Module 2
P1.6	7	2	8	I/O	MISO: Master Input Slave Output for SPI CEX3: Capture/compare external I/O for PCA Module 3
P1.7	8	3	9	I/O	SCK: Master Output Slave Input for SPI CEX4: Capture/compare external I/O for PCA Module 4

Table 3: P89V51RD2 pin description...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P2.0 to P2.7	21-28	18-25	24-31	I/O with internal pull-up	Port 2: Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. Port 2 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 2 pins that are externally pulled LOW will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups. Port 2 sends the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX@DPTR). In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 2 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0 to P3.7	10-17	5, 7-13	11, 13-19	I/O with internal pull-up	Port 3: Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 3 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 3 pins that are externally pulled LOW will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups. Port 3 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0	10	5	11	I	RXD: serial input port
P3.1	11	7	13	O	TXD: serial output port
P3.2	12	8	14	I	INT0: external interrupt 0 input
P3.3	13	9	15	I	INT1: external interrupt 1 input
P3.4	14	10	16	I	T0: external count input to Timer/Counter 0
P3.5	15	11	17	I	T1: external count input to Timer/Counter 1
P3.6	16	12	18	O	WR: external data memory write strobe
P3.7	17	13	19	O	RD: external data memory read strobe
PSEN	29	26	32	I/O	Program Store Enable: PSEN is the read strobe for external program memory. When the device is executing from internal program memory, PSEN is inactive (HIGH). When the device is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory. A forced HIGH-to-LOW input transition on the PSEN pin while the RST input is continually held HIGH for more than 10 machine cycles will cause the device to enter external host mode programming.
RST	9	4	10	I	Reset: While the oscillator is running, a HIGH logic state on this pin for two machine cycles will reset the device. If the PSEN pin is driven by a HIGH-to-LOW input transition while the RST input pin is held HIGH, the device will enter the external host mode, otherwise the device will enter the normal operation mode.

Table 3: P89V51RD2 pin description...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
\overline{EA}	31	29	35	I	External Access Enable: \overline{EA} must be connected to V_{SS} in order to enable the device to fetch code from the external program memory. \overline{EA} must be strapped to V_{DD} for internal program execution. However, Security lock level 4 will disable \overline{EA} , and program execution is only possible from internal program memory. The \overline{EA} pin can tolerate a high voltage of 12 V.
ALE/ PROG	30	27	33	I/O	Address Latch Enable: ALE is the output signal for latching the low byte of the address during an access to external memory. This pin is also the programming pulse input (PROG) for flash programming. Normally the ALE ^[1] is emitted at a constant rate of $\frac{1}{6}$ the crystal frequency ^[2] and can be used for external timing and clocking. One ALE pulse is skipped during each access to external data memory. However, if AO is set to '1', ALE is disabled.
NC		6, 17, 28, 39	1, 12, 23, 34	I/O	No Connect
XTAL1	19	15	21	I	Crystal 1: Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generator circuits.
XTAL2	18	14	20	O	Crystal 2: Output from the inverting oscillator amplifier.
V_{DD}	40	38	44	I	Power supply
V_{SS}	20	16	22	I	Ground

[1] ALE loading issue: When ALE pin experiences higher loading (>30 pF) during the reset, the microcontroller may accidentally enter into modes other than normal working mode. The solution is to add a pull-up resistor of 3 k Ω to 50 k Ω to V_{DD} , e.g., for ALE pin.

[2] For 6-clock mode, ALE is omitted at $\frac{1}{3}$ of crystal frequency.

รายละเอียดของไอซี 2SK2486

DATA SHEET

NEC

MOS FIELD EFFECT TRANSISTOR
2SK2486SWITCHING
N-CHANNEL POWER MOS FET
INDUSTRIAL USE

DESCRIPTION

The 2SK2486 is N-Channel MOS Field Effect Transistor designed for high voltage switching applications.

FEATURES

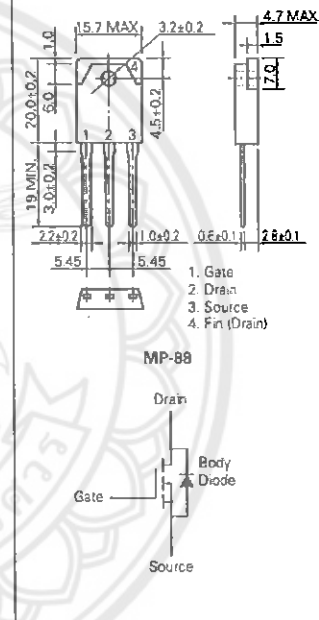
- Low On-Resistance
 $R_{DS(on)} = 2.0 \Omega$ ($V_{GS} = 10 V, I_D = 4.0 A$)
- Low C_{iss} $C_{iss} = 1.830 pF$ TYP.
- High Avalanche Capability Ratings

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25 ^\circ C$)

Drain to Source Voltage	V_{DS}	900	V
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 30	V
Drain Current (DC)	$I_{D(DC)}$	± 7.0	A
Drain Current (pulse)*	$I_{D(PULSE)}$	± 18	A
Total Power Dissipation ($T_c = 25 ^\circ C$)	P_{T1}	120	W
Total Power Dissipation ($T_A = 25 ^\circ C$)	P_{T2}	3.0	W
Channel Temperature	T_{ch}	150	$^\circ C$
Storage Temperature	T_{stg}	-55 to $+150$	$^\circ C$
Single Avalanche Current**	I_{AS}	7.0	A
Single Avalanche Energy**	E_{AS}	144.1	mJ

* $PW \leq 10 \mu s$, Duty Cycle $\leq 1\%$

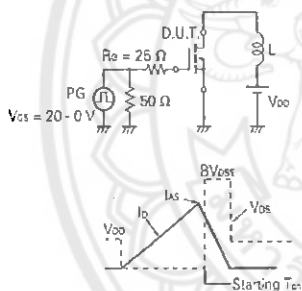
** Starting $T_{ch} = 25 ^\circ C$, $R_{\theta} = 25 \Omega$, $V_{GS} = 20 V \rightarrow 0$

PACKAGE DIMENSIONS
(in millimeter)

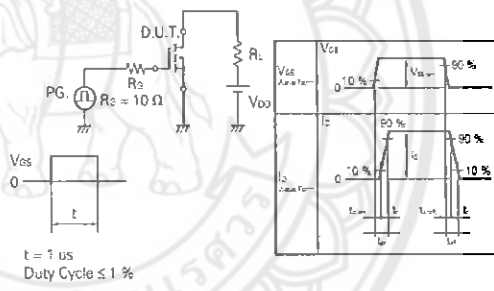
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (TA = 25 °C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	TEST CONDITIONS
Drain to Source On-Resistance	$R_{DS(on)}$		1.4	2.0	Ω	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 4.0\text{ A}$
Gate to Source Cutoff Voltage	$V_{GS(off)}$	2.5		3.5	V	$V_{DS} = 10\text{ V}, I_D = 1\text{ mA}$
Forward Transfer Admittance	$ y_{fs} $	2.5			S	$V_{DS} = 20\text{ V}, I_D = 4.0\text{ A}$
Drain Leakage Current	I_{DSS}			100	μA	$V_{GS} = V_{DSS}, V_{GS} = 0$
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}			± 100	nA	$V_{DS} = \pm 30\text{ V}, V_{GS} = 0$
Input Capacitance	C_{iss}		1830		pF	$V_{GS} = 10\text{ V}$
Output Capacitance	C_{oss}		250		pF	$V_{GS} = 0$
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		40		pF	$f = 1\text{ MHz}$
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$		30		ns	$I_D = 4.0\text{ A}$
Rise Time	t_r		15		ns	$V_{GS} = 10\text{ V}$
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		110		ns	$V_{DS} = 150\text{ V}$
Fall Time	t_f		20		ns	$R_D = 10\ \Omega$
Total Gate Charge	Q_g		55		nC	$I_D = 7.0\text{ A}$
Gate to Source Charge	Q_{GS}		10		nC	$V_{DS} = 450\text{ V}$
Gate to Drain Charge	Q_{GD}		25		nC	$V_{GS} = 10\text{ V}$
Body Diode Forward Voltage	$V_{F(18-0)}$		1.0		V	$I_S = 7.0\text{ A}, V_{GS} = 0$
Reverse Recovery Time	t_r		800		ns	$I_S = 7.0\text{ A}, V_{GS} = 0$
Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		4.8		μC	$di/dt = 50\text{ A}/\mu\text{s}$

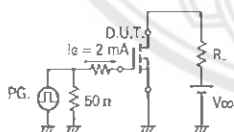
Test Circuit 1 Avalanche Capability



Test Circuit 2 Switching Time



Test Circuit 3 Gate Charge



The application circuits and their parameters are for references only and are not intended for use in actual design-in's.

รายละเอียดของไอซี IR2113

International
IR Rectifier

Data Sheet No. PD60147 Rev.T

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs
- Also available LEAD-FREE

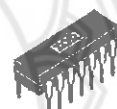
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

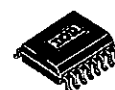
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O}+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

Packages

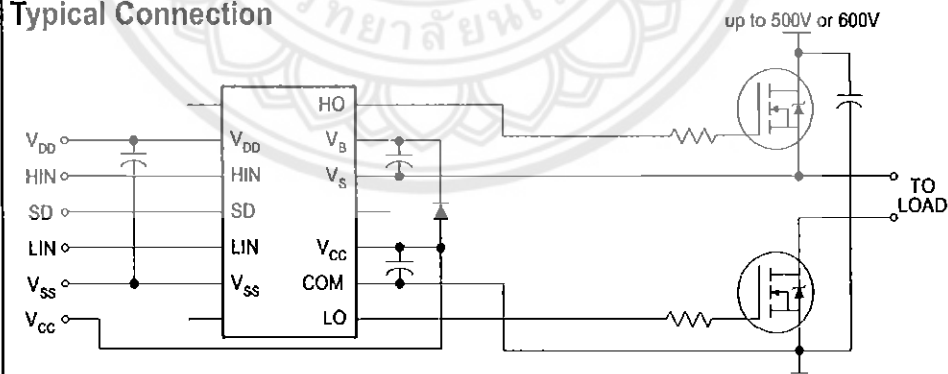


14-Lead PDIP
IR2110/IR2113



16-Lead SOIC
IR2110S/IR2113S

Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International
IOR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _g /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns	
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_BS. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	126		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	26	36		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

Static Electrical Characteristics


V_{BAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output loads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40	V	$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{ESUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{ESUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{OH}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{OL}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$


ภาคผนวก ข

โปรแกรมการสร้างสัญญาณสวิทชิง

	ORG	0000H
MAIN:	MOV	P0,#01H
	LCALL	DELAYNA
	MOV	P0,#00H
	LCALL	DELAYOA
	MOV	P0,#01H
	LCALL	DELAYNB
	MOV	P0,#00H
	LCALL	DELAYOB
	MOV	P0,#01H
	LCALL	DELAYNC
	MOV	P0,#00H
	LCALL	DELAYOC
	MOV	P0,#01H
	LCALL	DELAYND
	MOV	P0,#00H
	LCALL	DELAYOD
	MOV	P0,#01H
	LCALL	DELAYNE
	MOV	P0,#00H
	LCALL	DELAYOE
	MOV	P0,#01H
	LCALL	DELAYNF
	MOV	P0,#00H
	LCALL	DELAYOF
	MOV	P0,#01H
	LCALL	DELAYNG



MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOG
MOV	P0,#01H
LCALL	DELAYNH
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOH
MOV	P0,#01H
LCALL	DELAYNI
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOI
MOV	P0,#01H
LCALL	DELAYJ
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOI
MOV	P0,#01H
LCALL	DELAYNI
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOH
MOV	P0,#01H
LCALL	DELAYNH
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOG
MOV	P0,#01H
LCALL	DELAYNG
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOF
MOV	P0,#01H
LCALL	DELAYNF
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOE
MOV	P0,#01H



```
LCALL      DELAYNE
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYOD
MOV        P0,#01H
LCALL      DELAYND
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYOC
MOV        P0,#01H
LCALL      DELAYNC
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYOB
MOV        P0,#01H
LCALL      DELAYNB
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYOA
MOV        P0,#01H
LCALL      DELAYNA
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYS
MAIN2:    MOV        P0,#02H
LCALL      DELAYNA
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYOA
MOV        P0,#02H
LCALL      DELAYNB
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYOB
MOV        P0,#02H
LCALL      DELAYNC
MOV        P0,#00H
LCALL      DELAYOC
```

MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYND
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOD
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNE
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOE
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNF
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOF
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNG
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOG
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNH
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOH
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNI
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOI
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYJ
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOI
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNI
MOV	P0,#00H

LCALL	DELAYOH
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNH
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOG
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNG
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOF
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNF
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOE
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNE
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOD
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYND
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOC
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNC
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOB
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNB
MOV	P0,#00H
LCALL	DELAYOA
MOV	P0,#02H
LCALL	DELAYNA


```

MOV P0,#00H
LCALL DELAYS
LJMP MAIN
DELAYNA: MOV R0,#13H
DELAYNA1: DJNZ R0,DELAYNA1
RET
DELAYOA: MOV R0,#0E7H
DELAYOA1: DJNZ R0,DELAYOA1
RET
DELAYNB: MOV R0,#3CH
DELAYNB1: DJNZ R0,DELAYNB1
RET
DELAYOB: MOV R0,#0BEH
DELAYOB1: DJNZ R0,DELAYOB1
RET
DELAYNC: MOV R0,#5FH
DELAYNC1: DJNZ R0,DELAYNC1
RET
DELAYOC: MOV R0,#9BH
DELAYOC1: DJNZ R0,DELAYOC1
RET
DELAYND: MOV R0,#82H
DELAYND1: DJNZ R0,DELAYND1
RET
DELAYOD: MOV R0,#78H
DELAYOD1: DJNZ R0,DELAYOD1
RET
DELAYNE: MOV R0,#0A2H
DELAYNE1: DJNZ R0,DELAYNE1
RET
DELAYOE: MOV R0,#62H

```

```

DELAYOE1:      DJNZ      R0,DELAYOE1
               RET
DELAYNF:       MOV       R0,#0BEH
DELAYNF1:      DJNZ      R0,DELAYNF1
               RET
DELAYOF:       MOV       R0,#3CH
DELAYOF1:      DJNZ      R0,DELAYOF1
               RET
DELAYNG:       MOV       R0,#0D6H
DELAYNG1:      DJNZ      R0,DELAYNG1
               RET
DELAYOG:       MOV       R0,#2DH
DELAYOG1:      DJNZ      R0,DELAYOG1
               RET
DELAYNH:       MOV       R0,#0E7H
DELAYNH1:      DJNZ      R0,DELAYNH1
               RET
DELAYOH:       MOV       R0,#13H
DELAYOH1:      DJNZ      R0,DELAYOH1
               RET
DELAYNI:       MOV       R0,#0F3H
DELAYNI1:      DJNZ      R0,DELAYNI1
               RET
DELAYOI:       MOV       R0,#07H
DELAYOI1:      DJNZ      R0,DELAYOI1
               RET
DELAYJ:        MOV       R0,#05H
DELAYJ1:       MOV       R1,#32H
DELAYJ2:       DJNZ      R1,DELAYJ2
               DJNZ      R0,DELAYJ1
               RET

```

DELAYS: NOP
 NOP
 NOP
 NOP
 NOP
 NOP
 RET

END



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายรัตนชัย ศรีพงศ์สุทธิ
 ภูมิลำเนา 105/2 ถ. แสงสว่างลัย ต. ชุมแสง อ. ชุมแสง
 จ. นครสวรรค์ 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนชุมแสงชนูทิศ
 จ.นครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: js_solove@hotmail.com



ชื่อ นายสงกรานต์ จิวทา
 ภูมิลำเนา 59 หมู่ 7 ต. วังหมั่น อ. สามเงา จ. ตาก 63130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตากพิทยาคม
 จ.ตาก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: ee_k50@hotmail.com