



ปีการศึกษา 2538

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับ อินдукชั่นมอเตอร์

INVERTER THREE PHASE OF INDUCTION MOTOR



โดย

1. นาย คุสิต สุขสวัสดิ์
2. นาย มณฑร วิรัชศิลป์
3. นาย อภิชาติ เดิมเสรีกุล
4. นาย อภิรักษ์ จันทรวรพันธ์
5. นาย อธิโรจน์ บุญประเสริฐศรี

วัด เคื่อนันท์ 31 ก.ด. 2538
เลขทะเบียน.....03704
เลขเรียกหนังสือ.....T.38140 ๓.7๖๔ ๑

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.พิชิต ล้ายอง

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

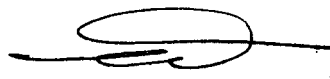
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับ อินดักชันมอเตอร์

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย คุสิต สุขสวัสดิ์
 2. นาย มณฑร วิรัชศิลป์
 3. นาย อภิชาติ เต็มเสรีกุล
 4. นาย อภิรักษ์ จันทร์วรพันธ์
 5. นาย อธิโรจน์ บุญประเสริฐศรี



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.พิชิต ถ้ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับ อินดักชั่นมอเตอร์

นาย คุสิต	สุขสวัสดิ์
นาย มณฑร	วิรัชศิลป์
นาย อภิชาติ	เดิมเสรีกุล
นาย อภิรักษ์	จันทรวรพันธ์
นาย อธิธิโรจน์	บุญประเสริฐศรี
อาจารย์พิชิต	ถ้ายอง

ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างสัญญาณ พัลส์วิทมอดูเลชัน ด้วยการ ใช้ ไมโครคอนโทรเลอร์ ขนาด 16 บิต ซึ่งมีความละเอียดของข้อมูล และความรวดเร็วของ การทำงานสูงกว่า ไมโครคอนโทรเลอร์ ขนาด 8 บิต โดยการใช้ หลักการของ โวลต์เดจเวกเตอร์และ ใช้ IGBT เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ ซึ่งสามารถ สวิตช์ได้ทีความถี่สูง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ความถี่ในการสวิตช์ที่ 16 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงพอที่จะทำให้สัญญาณชาวนั้นที่ได้มีความต่อเนื่องและสวยงาม และยังอยู่ในขอบเขตความสามารถของ IGBT จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ทฤษฎี ของ โวลต์เดจสเปสเวกเตอร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานจริงได้

INVERTER THREE PHASE OF INDUCTION MOTOR

DUSIT SUKSAWAT

MONTORN VIRACHSILP

APIRAK CHANTARAVORAPAN

ITTIROD BOONPRASERTSRI

APICHAT TERMSAREEKUN

PICHIT LUMYONG Advisor

1995

ABSTRACT

This report presents using 16 bit Microcontroller to directly generate the Pulse width modulation pattern based on the voltage space vector and switching by IGBT at high frequency. The Microcontroller gives the perfect data and operates with high speed .It has more efficiency than 8 bit Microcontroller. Implementation is done by using 16 kHz which is sufficient high quality sine wave. Experimental results verify the feasibility of the proposed system.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเบื้องต้น	1
1.2 การควบคุมมอเตอร์กระแสลับแบบเหนี่ยวนำ	1
1.2.1 การควบคุมแบบวงรอบเปิด	1
1.2.2 การควบคุมแบบเวกเตอร์	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์	5
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น	5
2.2 หลักการควบคุม V/f	7
2.3 แรงบิด (Torque)	9
2.4 สเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (Voltage Space vector)	10
2.4.1 หลักการทำ พัลลวิตมอดูเลชัน แบบเวกเตอร์แรงดัน	12
2.4.2 หลักการเลือกเซกเตอร์	15
บทที่ 3 วงจรส่วนกำลัง	17
3.1 ไอจีบีที และการป้องกัน	18
3.2 การทำงานของภาค อินเวอร์เตอร์	22
3.2.1 วิธีสร้างไฟสลับจากไฟตรง	22
3.2.2 วิธีการแปรความถี่	23
3.2.3 กรณีของไฟ 3 เฟส	23
3.2.4 โครงสร้างส่วนที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์	24
3.3 การทำงานภาค คอนเวอร์เตอร์	24
3.3.1 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์	25
3.3.2 กระแสขาเข้าเมื่อเปิดสวิตช์	26

	หน้า
3.4 การสร้างและการคำนวณ	27
บทที่ 4 การคำนวณและการสร้างทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์	38
4.1 ส่วนรับค่าอินพุท	42
4.1a ความถี่	42
4.1b ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันบูล	42
4.1c เวลาในการ เร่ง-ลด	43
4.1d ทิศทางการหมุน	43
4.1e เปอร์เซนต์แรงดันดีซีเบรค	43
4.1f ความถี่ที่ดีซีเบรคเริ่มทำงาน	43
4.2 ส่วนป้องกัน	43
4.2.1 การป้องกันแรงดันตก	43
4.2.2 การป้องกันแรงดันเกิน และกระแสเกิน	44
4.2.3 ส่วนป้องกันกระแสอินรัช	44
4.2.4 ส่วนตัดต่อการทำงานของเกตไดรฟ์ไอจีบีที	44
4.3 ส่วนแสดงผล	45
4.4 ส่วนฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	46
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	47
บทที่ 6 บทสรุปโครงการ อินเวอร์เตอร์	58
6.1 ข้อได้ติของอินเวอร์เตอร์ที่ทำนี้	58
6.2 ปัญหาในระหว่างการทำโครงการนี้	58
6.3 สิ่งี่ควรได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับโครงการนี้	59
6.4 ปัญหาจากผลของการผิดเพี้ยน (distortion) ของกราฟ กระแสที่ความถี่ต่ำ	59
ภาคผนวก ก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 96	
ภาคผนวก ข ข้อมูลชุดขับเกตและชุดกำลัง	
ภาคผนวก ค โปรแกรมรวม	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1.1 การควบคุมแบบ V/F	1
รูป 2.1 เวกเตอร์ A, B, C	5
รูป 2.2 เวกเตอร์แรงดันอินเวอร์เตอร์	6
รูป 2.3 เวกเตอร์แรงดันที่ขาของอินเวอร์เตอร์	7
รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันกับความถี่	8
รูป 2.5 การสวิตช์ของเวกเตอร์	9
รูป 2.6 การทำงานย่านแรงบิดคงที่	10
รูป 2.7 (ก) แบบจำลองชุดอินเวอร์เตอร์	11
รูป 2.7 (ข) เวกเตอร์แรงดันของชุดอินเวอร์เตอร์	11
รูป 2.8 ส่วนประกอบของเวกเตอร์แรงดัน	12
รูป 2.9 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิงเดเตเตอร์ (d-q)	14
รูป 2.10 แผนผังเวลารูปแบบการสวิตช์	15
รูป 2.11 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิง d-q และแกนอ้างอิง a-b	15
รูป 2.12 แผนภาพวิธีการหาเซกเตอร์ของเวกเตอร์แรงดัน	16
รูป 3.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์	17
รูป 3.2 การควบคุมคลื่นแรงดัน	18
รูป 3.3 ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์	19
รูป 3.4a,b รูปคลื่นขณะเปิด ไอจีบีที ที่ติดและไม่ติด ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์	20
รูป 3.5a,b รูปคลื่นขณะปิด ไอจีบีที ที่ติดและไม่ติด ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์	20
รูป 3.6 คลื่นกระแสล้นเบรชขณะ ไอจีบีที ปิด ที่ค่าคาปาซิเตอร์ 0.5 μF และ 1 μF	21
รูป 3.7 วิธีการสร้างเฟสลับ	22
รูป 3.8 รูปคลื่นกระแส	22
รูป 3.9 รูปคลื่นไหลกลับ 1 Hz	23
รูป 3.10 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน	23
รูป 3.11 การสร้างเฟสลับ 3 เฟส	23

เอกสารนี้รูป 3.12 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูป 3.13 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์	25
รูป 3.14 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์	25
รูป 3.15 วงจรจำกัดขนาดกระแสอินพุท	26
รูป 3.16 กระแสอินพุท	26
รูป 3.17 รูปการทำงานของวงจรป้องกัน	29
รูป 3.18 รูปการทำงานของวงจรอินพุท	30
รูป 3.19 รูปการทำงานของวงจรแมกเน็ติก	31
รูป 3.20 รูปวงจรเหนี่ยวนำขนาด 5 โวลต์กระแสตรง	32
รูป 3.21 รูปวงจรเหนี่ยวนำ 12 โวลต์กระแสตรง	33
รูป 3.22 รูปวงจรเหนี่ยวนำปรับค่าได้ 0-25 โวลต์กระแสตรง	33
รูป 3.23 รูปการทำงานในส่วนชุดขับ	35
รูป 3.24 รูปการทำงานในส่วนที่รับสัญญาณจากชุดขับ	36
รูป 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	38
รูป 4.2 วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	39
รูป 4.3 บล็อกไดอะแกรมอัลกอริทึมของโปรแกรมส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	41
รูป 4.4 รูปกราฟการเปลี่ยนแปลงความชันกราฟแรงดัน-ความถี่	42
รูป 5.1 รูปคลื่นของสัญญาณพัลลิวิตมอดูเลตชัน ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 0 Hz	47
รูป 5.2 รูปคลื่นของสัญญาณที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่คว่ำมถี่ 25 Hz	48
รูป 5.3 รูปคลื่นของสัญญาณพัลลิวิตมอดูเลตชัน ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 50 Hz	48
รูป 5.4 รูปคลื่นของสัญญาณพัลลิวิตมอดูเลตชัน ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 127 Hz	49
รูป 5.5 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 5 Hz	49
รูป 5.6 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 20 Hz	50
รูป 5.7 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 50 Hz	50
รูป 5.8 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 100 Hz	51

	หน้า
รูป 5.9 เป็นรูปสัญญาณกระแสที่ความถี่ 5 Hz โดยมีการเพิ่มแรงบิดเริ่มต้นที่ 15%	52
รูป 5.10 เป็นรูปสัญญาณกระแสที่ความถี่ 5 Hz โดยมีการเพิ่มแรงบิดเริ่มต้นที่ 28%	52
รูป 5.11 เป็นรูปสัญญาณการทำเบรคกระแสตรง	53
รูป 5.12 เป็นรูปของกระแสมอเตอร์ขณะกลับทางหมุนที่ความถี่ 20 Hz	54
รูป 5.13 เป็นรูปของกระแสมอเตอร์ขณะกลับทางหมุนที่ความถี่ 30 Hz	54
รูป 5.14 เป็นรูปแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ที่มีความถี่ 30 Hz	55
รูป 5.15 เป็นรูปแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ที่มีความถี่ 50 Hz	56
รูป 5.16 คือรูปของสัญญาณที่ออกจากชุด ขับเกด (base drive IGBT)	57
รูป 6.1a รูปกราฟสัญญาณพัลลวิตมอดูเลต	60
รูป 6.1b สัญญาณลอจิก สำหรับ T1	60
รูป 6.1c สัญญาณลอจิก สำหรับ T2	60
รูป 6.1d รูปกราฟแรงดันเอาต์พุตจริง	60
รูป 6.2 รูปกราฟการชดเชยแรงดันของสัญญาณพัลลวิตมอดูเลชันช่วง สภาวะที่ 1 ($\eta < 0$)	61
รูป 6.3 ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 1	62
รูป 6.4 ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 2	62
รูป 6.5 โครงสร้างของอินเวอเตอร์ก่อนทำการคอมเพนเสท	63
รูป 6.6 โครงสร้างของอินเวอเตอร์หลังทำการคอมเพนเสท	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเบื้องต้น

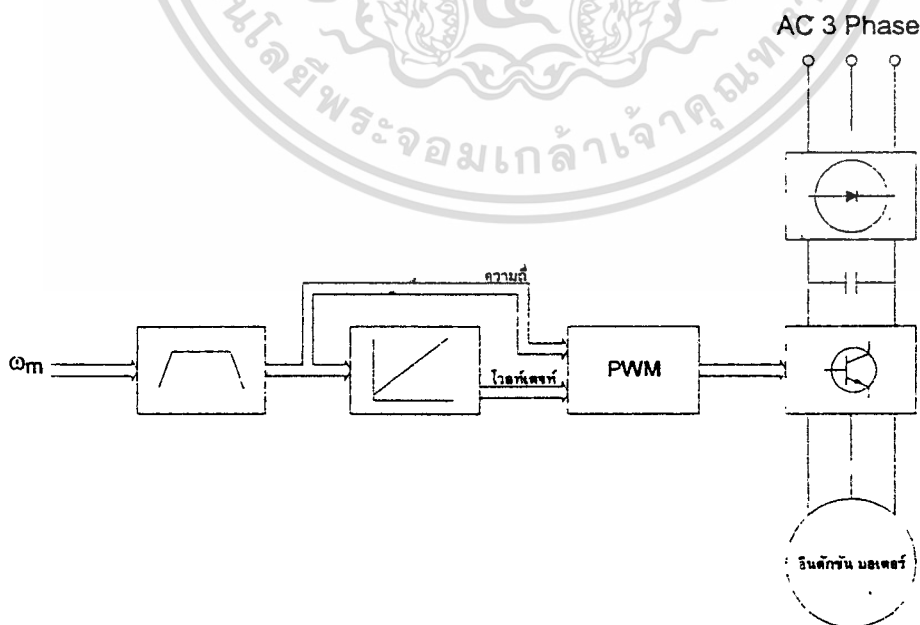
ในอดีตระบบขับเคลื่อนเครื่องต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมที่ต้องการปรับความเร็วรอบจะใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากฟลักซ์และแรงบิดสามารถควบคุมได้ง่าย โดยการควบคุมกระแสสนามและกระแสอาเมเจอร์ ซึ่งทำให้ระบบควบคุมไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงที่ต้องมีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน ทำให้มีข้อเสียคือ

1. ทำให้ต้องมีการบำรุงดูแลรักษาอยู่เป็นประจำ
2. ไม่สามารถจะใช้ในภาวะที่อาจจะเกิดการระเบิด หรือในที่ที่มีการกัดกร่อนจากสารเคมีได้
3. มอเตอร์มีราคาสูง

ปัญหาทางด้านโครงสร้างเหล่านี้สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้าใช้มอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแทน โดยมีวิธีการควบคุมดังจะกล่าวต่อไป

1.2 การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

1.2.1 การควบคุมแบบวงรอบเปิด



รูป 1.1 การควบคุมแบบ V/F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวิธีการควบคุมในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะเป็นแบบ V/F ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่ง
จะประสบปัญหาดังต่อไปนี้คือ

- 1.2.1.1 คุณสมบัติการควบคุมแรงบิดทำได้ไม่ดีพอ
- 1.2.1.2 ขาดเสถียรภาพที่บางความถี่
- 1.2.1.3 มีขีดจำกัดในด้านการตอบสนองของความเร็ว
- 1.2.1.4 ในการควบคุมความเร็วยังไม่เที่ยงตรงเพียงพอ

แม้ว่าจะมีข้อดี คือง่ายต่อการออกแบบและการสร้าง ไม่จำเป็นต้องมีตัวตรวจจับความเร็ว
และไม่ต้องการข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์

จากปัญหาของระบบควบคุมแบบ V/F ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาการควบคุม
แบบเวกเตอร์ซึ่งเป็นการควบคุมแบบวงรอบปิด

1.2.2 การควบคุมแบบเวกเตอร์

การควบคุมแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นทำได้ โดยการควบคุมกระแสของมอเตอร์โดย
อาศัยหลักการอาศัยหลักการควบคุมแบบเวกเตอร์ หรือการควบคุมอิงสนามแม่เหล็ก (Vector
Control or Field-Oriented control) ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะการควบคุมของมอเตอร์เหนี่ยวนำใน
กรณีนี้ คล้ายคลึงกับการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก อย่างไรก็ตามยังมีข้อแตกต่าง
คือในมอเตอร์กระแสตรงตำแหน่งเชิงมุมของกระแสสนาม และกระแสอาเมเจอร์จะอยู่กับที่
ด้วยการทำงานของคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน ในขณะที่มอเตอร์กระแสสลับตำแหน่งเชิงมุม
ของฟลักซ์และกระแสสเตเตอร์ต้องการการควบคุมจากภายนอกซึ่งการควบคุมแบบเวกเตอร์จะทำ
ให้แรงบิดและฟลักซ์ในโรเตอร์ถูกควบคุม อย่างมีอิสระต่อกัน โดยจะควบคุมขนาดและมุมเฟสของ
กระแสทั้ง 3 เฟส หรืออีกนัยหนึ่งเวกเตอร์รวมของกระแสจะถูกควบคุม ซึ่งเป็นที่มาของคำว่าควบคุม
แบบเวกเตอร์

การควบคุมแบบเวกเตอร์แบ่งตามลักษณะการควบคุมได้ 2 แบบ คือ

- 1.2.2.1 แบบควบคุมกระแส (Current Control)
- 1.2.2.2 แบบควบคุมแรงดันหรือการแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน (Voltage Control or
Decoupling Control)

การควบคุมแบบเวกเตอร์โดยการควบคุมกระแส ไม่จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ทางด้านสเต
เตอร์ทำให้การควบคุมนั้นลดความยุ่งยากลง การควบคุมแบบนี้โดยทั่ว ๆ ไปจะเป็นการควบคุม
แหล่งจ่ายแรงดันโดยมีการป้อนกลับของวงรอบควบคุมกระแสไม่สูงพอจะทำให้เกิดการเชื่อมโยง
กันระหว่างกระแสที่สร้างฟลักซ์และกระแสที่ทำให้เกิดแรงบิด อีกทั้งยังอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง

ของพารามิเตอร์โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของโรเตอร์เนื่องจากความร้อน ซึ่งจะต้องทำให้โรเตอร์ฟลักซ์ไม่คงที่ แนวทางแก้ไขทำได้ 2 วิธีคือการเพิ่มอัตราขยายของวงตอบ บ้อนกลับของกระแสให้มีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ตัวแปลงผันพลังงาน (Power converter) จ่ายกระแสได้แบบอุดมคติ ดังนั้นตัวแปลงผันพลังงานจะต้องมีความถี่สวิตช์ที่สูงมาก ซึ่งเป็นขีด จำกัดในการใช้งานในระบบขนาดใหญ่ อีกวิธีหนึ่งคือใช้การควบคุมแบบแรงดัน (ควบคุมแบบแยก การควบคุมให้มีอิสระต่อกัน)

ในรายงานนี้จึงเลือกใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ โดยการควบคุมแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ ด้วยหลักการแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน ของกระแสที่สร้างฟลักซ์ และกระแสที่ทำให้เกิดแรงบิด ทำให้ได้ขนาดของกระแสทั้งสองที่ตั้งฉากกันตามที่ต้องการ

ข้อดีประการอื่น ๆ ของระบบควบคุมแรงดันคือ

- สามารถสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์วิธมอดูเลชัน (Pulse-width Modulation) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง

- ไม่ต้องมีการบ้อนกลับของกระแสเพื่อการควบคุม

- เป็นการง่ายที่จะนำไปใช้ ในการพัฒนาระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ ที่มีสมรรถนะสูงต่อไป เช่นการควบคุมแบบเวกเตอร์ ที่ปราศจากตัวตรวจจับความเร็ว (Speed sensor-less vector control)

อย่างไรก็ตามการนำหลักการควบคุมแบบเวกเตอร์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ต้องอาศัยการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อให้อุปกรณ์แปลงผันพลังงานมีราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น รวมทั้งการพัฒนาทางการควบคุมแบบเชิงเลขด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีสมรรถนะภาพสูงก็เป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ในการทำงาน

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา ค้นคว้า ออกแบบ และสร้าง ระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้ได้ลักษณะการควบคุมที่คล้ายคลึงกับมอเตอร์กระแสตรง เพื่อเป็นการพัฒนาระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสมรรถภาพสูง ซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแรงบิดและความเร็ว โดยในรายงานนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อการควบคุมแรงดัน เพื่อเป็นต้นแบบที่นำไปพัฒนาระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น อีกทั้งยังทำให้สามารถนำ

ไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้ในอนาคตซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประเทศในด้านการพัฒนาเทคโนโลยีระดับของตัวเอง และจะเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาออกแบบวิศวกรรมในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

ปริมาณต่าง ๆ ทั้งกระแสและแรงดันที่จ่ายแก่มอเตอร์ 3 เฟส สามารถเขียนในรูปของการควบคุมสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (Voltage Space Vector) ได้ดังนี้

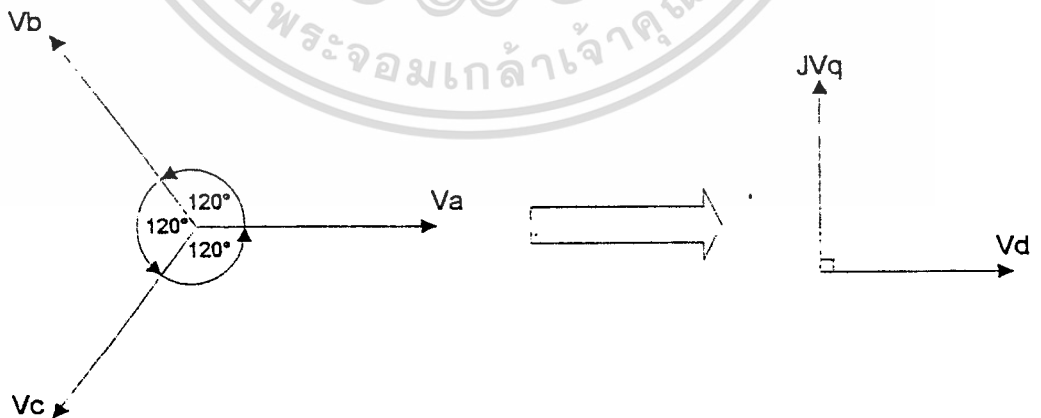
$$V = Va(t) + aVb(t) + (a^2)Vc(t) = |V| e^{j\omega t} ; = a e^{j 2/3} \quad (2.1)$$

โดย Va = แรงดันที่ สเตเตอร์ ที่ เฟส u ขณะใด ๆ

Vb = แรงดันที่ สเตเตอร์ ที่ เฟส v ขณะใด ๆ

Vc = แรงดันที่ สเตเตอร์ ที่ เฟส w ขณะใด ๆ

สเปซเวกเตอร์ (Vector Space) เป็นเหมือนการรวมค่าปริมาณต่าง ๆ ทางไฟฟ้าที่มีเฟสแตกต่างกัน 120 องศา จะทำให้ได้เวกเตอร์ในปริภูมิ 1 เวกเตอร์ ถ้าแรงดันที่จ่ายแก่มอเตอร์เป็นชาน์น ก็จะได้เวกเตอร์ที่มีขนาดคงที่ และหมุนเป็นวงกลมเทียบกับแกนอ้างอิงที่อยู่กับที่โดยหมุนด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของแรงดันที่จ่าย

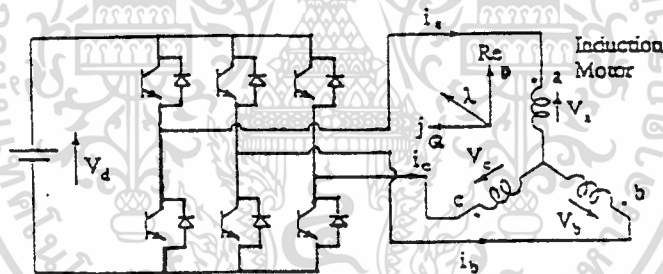


รูป 2.1 เวกเตอร์ A, B, C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงแรงดัน 3 เฟส เป็นสเปซเวกเตอร์สามารถเขียนในรูปการแปลงโดยใช้เมตริกซ์ การแปลงโดยมองให้สเปซเวกเตอร์ของแรงดันที่แปลงได้อยู่บนแกนอ้างอิงที่อยู่กับที่ 2 แกน ที่ตั้งฉากกันคือ แกน D และ แกน Q ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & (3/2) & -(3/2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad ; \quad V = V_d + jV_q \quad (2.2)$$

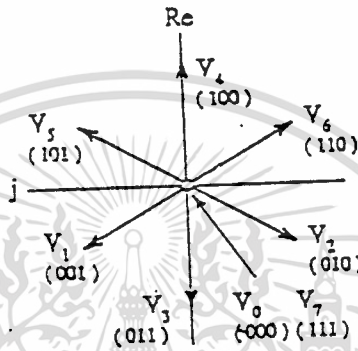


รูป 2.2 เวกเตอร์แรงดันอินเวอร์เตอร์

การเกิด สวิตซ์ ปิด- เปิด เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ของวงจรอินเวอร์เตอร์ จะทำให้เกิดรูปแบบ และการสวิตซ์ทั้ง 8 แบบ สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสเปซเวกเตอร์ได้ เราเรียกสเปซเวกเตอร์ของแรงดันนี้ว่า เวกเตอร์แรงดัน

$$V = V_a + V_b + a^2 V_c \quad (2.3)$$

โดย $V_a =$ แรงดันที่ขั้ว a เทียบกับ จุดสะเทิน (neutral) ของมอเตอร์
 $V_b =$ แรงดันที่ขั้ว b เทียบกับ จุดสะเทิน ของมอเตอร์
 $V_c =$ แรงดันที่ขั้ว c เทียบกับ จุดสะเทิน ของมอเตอร์



รูป 2.3 เวกเตอร์แรงดันที่ขาของอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3 แสดงเวกเตอร์แรงดันที่ได้ที่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ เมื่อสวิตช์แบบต่าง ๆ ตัวเลขฐาน 2 ในวงเล็บ แสดงถึงรูปแบบการเปิด - ปิด เช่น (110) หมายความว่า ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ตัวบน ของเฟส a และเฟส b เปิด และ ทรานซิสเตอร์ตัวล่าง ของ เฟส c เปิด (ทรานซิสเตอร์ตัวบนและตัวล่างในเฟสเดียวกัน จะต้องไม่ทำงาน (เปิด) พร้อมกัน) ตัวเลขที่ตามหลัง v คือค่าเลขฐาน 10 ที่ตรงกับเลขฐาน 2 ในเวกเตอร์นั้น แกนอ้างอิงของ เวกเตอร์แรงดันใช้เฟส a เป็นหลัก

2.2 หลักการ V/ f Control

จากความล้มพันธ์ที่ว่าฟลักซ์ที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์แปรผันตรงกับแรงดันที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ และแปรผกผันกับความถี่ของแรงดันที่จ่าย

$$\phi \propto V/f \quad (2.4)$$

ในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการปรับความถี่แรงดันที่ป้อน จึงต้องมีการเปลี่ยนค่าขนาดแรงดันที่ป้อนด้วย เพื่อให้มีค่าคงที่ เพื่อทำแรงบิด ที่มอเตอร์ ให้มีค่าคงที่ เพราะแรงบิดแปรผันโดยตรงกับ ϕ

เช่น $V/f = 220\text{v} / 50 \text{ Hz} =$ ค่าคงที่

โดย 220 v คือแรงดันเฟส-เฟส

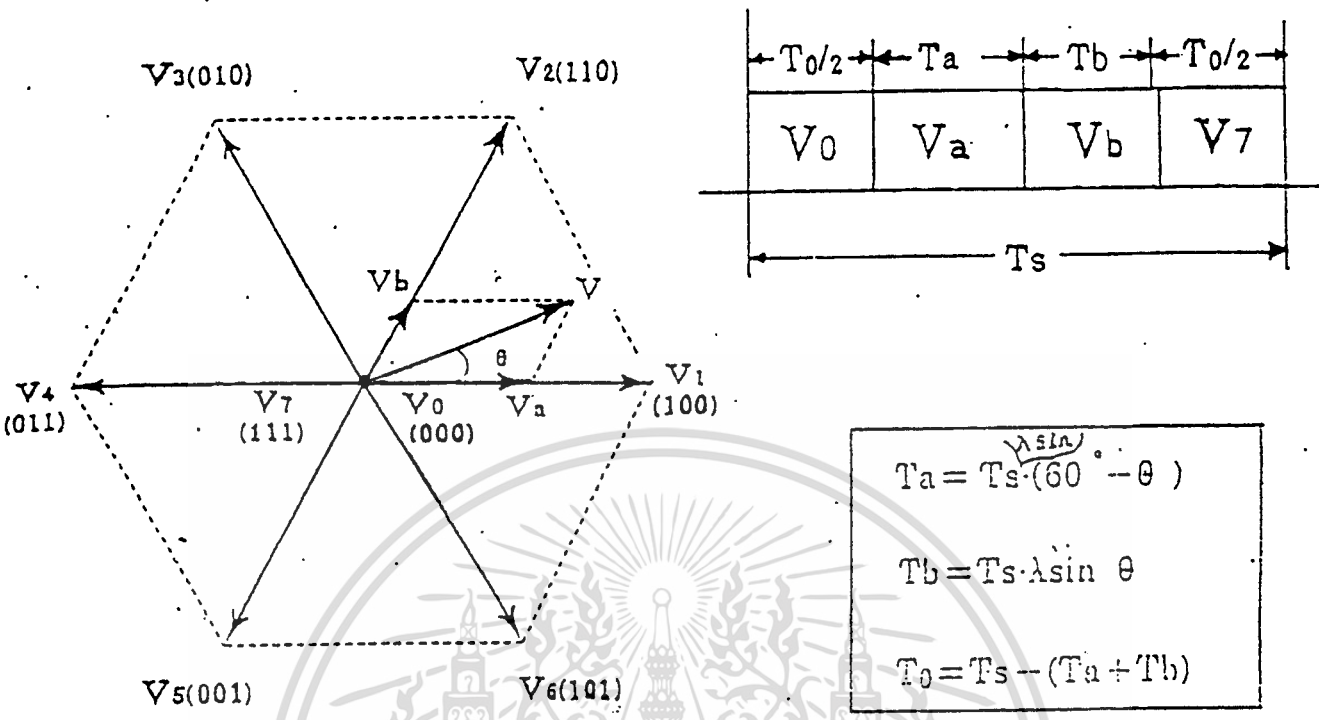
เราสามารถแปลงแรงดัน เฟส-เฟส นี้ไปเป็นแรงดันในสเปซเวกเตอร์ ที่สัมพันธ์กับความถี่ คือ



รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันกับความถี่

ดังนั้นถ้าเราทราบความถี่ที่ต้องการ เราก็สามารถหาแรงดันสเปซเวกเตอร์ได้ และเนื่องจากแรงดันที่คำนวณเป็น ซายน์ ดังนั้นสเปซเวกเตอร์ของแรงดันที่ได้จะมีขนาดคงที่ที่ความถี่ค่าหนึ่ง และหมุนด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของแรงดันที่ต้องการ แรงดันสเปซเวกเตอร์นี้สามารถให้กำเนิดได้โดยการให้ อินเวอร์เตอร์ ทำการสวิตซ์โดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.5

จากรูป เมื่อต้องการโวลต์เตจสเปซที่มีขนาด V ของที่ทำมุมกับแกนอ้างอิง D, Q สามารถทำได้โดยการเปิด - ปิดของทรานซิสเตอร์ ที่มี รูปแบบ ของ $V_1 (100)$ กับ $V_2 (110)$ เป็นอัตราส่วน V_b/V_2 เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ย V ออกมาเป็น V แต่แรงดันสเปซเวกเตอร์นี้จะหมุน ไปเป็นวงกลม ดังนั้นเมื่อ V หมุนไปอยู่ตำแหน่งใด ๆ อินเวอร์เตอร์ก็ต้องทำการสวิตซ์ที่อยู่ระหว่างเวกเตอร์นั้น จึงเป็นเหมือนการแปลงแรงดันที่ต้องการจะจ่ายแก่มอเตอร์ไปเป็นแรงดันบนสเปซเวกเตอร์ แล้ว



$$T_a = T_s \cdot \sin(60^\circ - \theta)$$

$$T_b = T_s \cdot \sin \theta$$

$$T_0 = T_s - (T_a + T_b)$$

รูป 2.5 การสวิตช์ของเวกเตอร์

แปลงกลับโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ เมื่อเราเปลี่ยนความถี่ ขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์ก็จะเปลี่ยน และ ความถี่ในการหมุนก็จะเปลี่ยนไปด้วย

2.3 แรงบิด (Torque)

สมการที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิด (T) กับแรงดัน (V) และความถี่ (f)

$$T = K * V/f * I \tag{2.5}$$

K = ค่าคงที่ I = กระแส

1. ถ้าอัตราส่วน V/f คงที่ ก็จะทำให้แรงบิดคงที่ด้วย
2. ถ้าให้แรงดันคงที่ และให้ความถี่แปรค่าไป แรงบิดก็จะแปรค่าไป

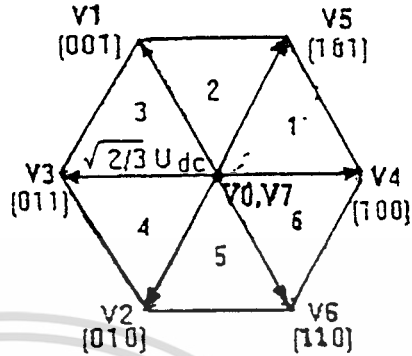
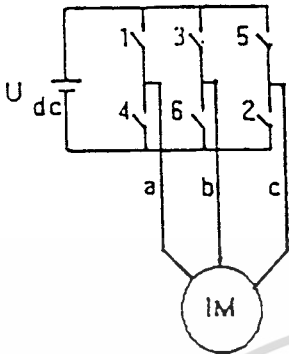
ในขณะที่รักษากระแสมอเตอร์ให้คงที่ แรงบิดจะแปรผกผันกับความถี่ที่แปรไปนั้น รูป 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กับแรงดัน และแรงบิดอัตราส่วนระหว่างแรงดันกับความถี่ เราเรียกว่า รูปแบบ V/f (V/f Pattern) ค่านี้มีความสำคัญมากในการควบคุมมอเตอร์ โดยแรงบิดสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ หมายถึง แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ซึ่งไม่ทำให้อินเวอร์เตอร์กระแสเกินค่าพิกัด (Rated Overload Current) ที่มักจะตั้งไว้ที่ 150% ของกระแสพิกัด ซึ่งทั้งนี้ช่วงเวลาสั้นๆ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1 นาที ตามการตั้งเวลากระแสเกินของอินเวอร์เตอร์



รูป 2.6 การทำงานย่านแรงบิดคงที่

2.4 สเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (Voltage Space vector.)

จากในหัวข้อที่ 2.1 จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุม โดยอาศัยสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (Voltage Space vector) จะเป็นแบบควบคุมแรงดัน (Voltage Control) ซึ่งเป็นการง่ายที่จะทำ โดยหลักการของเวกเตอร์แรงดัน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญโดยตรงของอินเวอร์เตอร์ที่จะกล่าวถึง ทำให้เราสามารถที่ไม่ใครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณพัลลวดมอดดูเลชันนี้ได้โดยตรง ซึ่งจะได้อธิบายโดยละเอียดดังต่อไปนี้



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.7 (ก)แบบจำลองชุดอินเวอร์เตอร์ (ข) เวกเตอร์แรงดันของชุดอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.7 (ก) เป็นชุดอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง U_{dc} และสวิตช์กำลัง 6 ตัว ซึ่งสามารถจะสร้างเวกเตอร์ได้ 8 แบบ กล่าวคือเวกเตอร์ศูนย์ V_0, V_7 และเวกเตอร์ $V_1 - V_6$ ซึ่งมีขนาด $\sqrt{\frac{2}{3}} * U_{dc}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ข) โดยที่ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงลักษณะการเปิดปิดวงจรของสวิตช์ในเฟส a, b และ c ตามลำดับ '0' หมายถึงสวิตช์ตัวบนเปิดวงจร และ '1' หมายถึงสวิตช์ตัวบนปิดวงจร ยกตัวอย่างเช่น ในกรณี $V_4 [100]$ จะเป็นกรณีที่สวิตช์หมายเลข 1, 6, 2 ปิดวงจร จะได้แรงดันระหว่างสายดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} v_{ab} &= v_a - v_b = U_{dc} \\ v_{bc} &= v_b - v_c = 0 \\ v_{ca} &= v_c - v_a = -U_{dc} \end{aligned} \tag{2.6}$$

และ $v_a + v_b + v_c = 0$

โดยที่ v_a, v_b, v_c เป็นแรงดันเฟสเทียบกับจุดสะเทิน (neutral) ในมอเตอร์

เพราะฉะนั้นเราจะได้ว่าแรงดันเฟส

$$v_a = \frac{2}{3}U_{dc} \quad , \quad v_b = -\frac{1}{3}U_{dc} \quad , \quad v_c = -\frac{1}{3}U_{dc} \tag{2.7}$$

ซึ่งสามารถแปลงเป็นเวกเตอร์แรงดันได้ดังนี้

$$\vec{v} = v_d + jv_q = \sqrt{\frac{2}{3}} (v_s + v_s e^{j\gamma} + v_c e^{j2\gamma}) \quad (2.8)$$

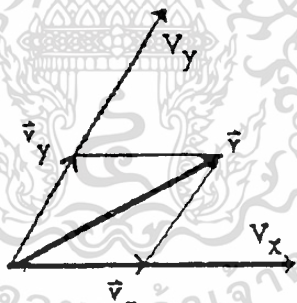
แทนค่า (2.7) ลงใน (2.8) จะได้

$$v_d = \sqrt{\frac{2}{3}} U_{dc} \quad , \quad v_q = 0$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_d^2 + v_q^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_{dc}$$

เนื่องจากเวกเตอร์แรงดันที่เราสามารถสร้างได้มีเพียง 8 แบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เราจึงไม่สามารถที่จะสร้างเวกเตอร์แรงดันตามต้องการได้โดยตรง แต่เราจะใช้วิธีการสร้างเวกเตอร์แรงดันที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับแรงดันที่ต้องการแทน โดยอาศัยเวกเตอร์ศูนย์ และเวกเตอร์แรงดัน 2 เวกเตอร์ที่อยู่ข้างเคียงกัน เช่น V_4 และ V_5 เป็นต้น

2.4.1 หลักการทำ พัลส์วิดมอดูเลชัน แบบเวกเตอร์แรงดัน



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของเวกเตอร์แรงดัน

ในที่นี้เรากำหนดให้เวลาที่ใช้ในการสวิตช์ทั้งหมดเท่ากับ T_s , t_x เท่ากับเวลาในการต่อวงจรของสวิตช์ตามเวกเตอร์ V_x และ t_y เท่ากับเวลาในการต่อวงจรของสวิตช์ตามเวกเตอร์ V_y ที่อยู่ข้างเคียงกัน โดยที่ช่วงเวลาที่เหลือจะเป็นเวกเตอร์ศูนย์ ดังนั้นเราจะได้ค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์แรงดัน \vec{v} ในช่วงเวลา T_s เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{v} * T_s = (V_x * t_x) + (V_y * t_y) + V_0 * (t_0 / 2) + V_7 * (t_0 / 2)$$

$$T_s = t_x + t_y + t_0 \quad (2.9)$$

$$\vec{v} = (t_x / T_s) V_x + (t_y / T_s) V_y$$

ในทางกลับกันถ้าเรากำหนดเวกเตอร์แรงดันเฉลี่ยที่ควรได้เป็น \vec{v} เราก็สามารถคำนวณค่า t_x , t_y และ t_0 ได้จากความสัมพันธ์ข้างต้น โดยการแตกเวกเตอร์แรงดันที่ต้องการ ลงในแนวของเวกเตอร์ที่ใช้ในการสวิตช์เป็น $\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$ โดยที่ \vec{v}_x เป็นเวกเตอร์องค์ประกอบในแนว V_x และ \vec{v}_y เป็นเวกเตอร์องค์ประกอบในแนว V_y เราจะได้ว่า

$$t_x = (\vec{v}_x / V_x) * T_s$$

$$t_y = (\vec{v}_y / V_y) * T_s \quad (2.10)$$

$$t_0 = T_s - t_x - t_y$$

ดังนั้นเมื่อทราบค่าแรงดันเวกเตอร์เฉลี่ย (V) อยู่ที่เซกเตอร์ใด เช่นในรูปที่ 2.7 เราสามารถคำนวณขนาดขนาดของเวกเตอร์ประกอบทั้งสองกรณีต่างๆได้ดังต่อไปนี้

เซกเตอร์ที่1

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(|v_4| + \frac{1}{2} |v_3| \right) + j \frac{\sqrt{3}}{2} |v_3|$$

$$|v_4| = x - \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_3| = \frac{2y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่2

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(\frac{1}{2} |v_3| - \frac{1}{2} |v_1| \right) + j \frac{\sqrt{3}}{2} (|v_3| + |v_1|)$$

$$|v_3| = x + \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_1| = -x + \frac{y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่3

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(-\frac{1}{2} |v_1| - |v_3| \right) + j \frac{\sqrt{3}}{2} |v_1|$$

$$|v_3| = -x - \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_1| = \frac{2y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่4

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(-|v_3| - \frac{1}{2} |v_2| \right) - j \frac{\sqrt{3}}{2} |v_2|$$

$$|v_3| = -x + \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_2| = -\frac{2y}{\sqrt{3}}$$

เซกเตอร์ที่5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(\frac{1}{2}|v_d| - \frac{1}{2}|v_2| \right) - j \frac{\sqrt{3}}{2} (v_d + v_2)$$

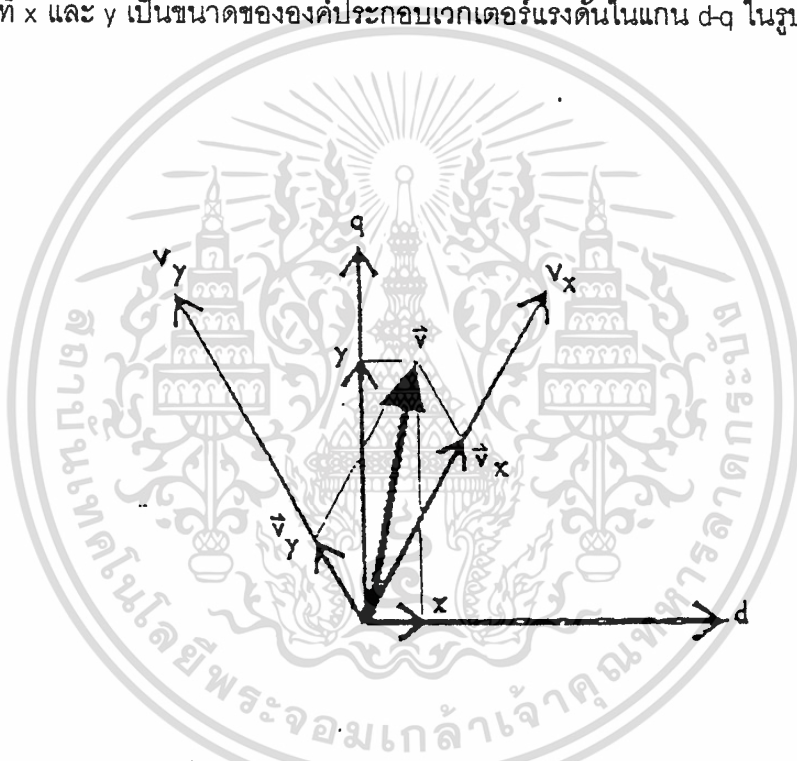
$$|v_d| = x - \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_2| = -x - \frac{y}{\sqrt{3}}$$

เวกเตอร์ที่ 6

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y = x + jy = \left(|v_4| + \frac{1}{2}|v_d| \right) - j \frac{\sqrt{3}}{2} |v_d|$$

$$|v_4| = x + \frac{y}{\sqrt{3}} \quad ; \quad |v_d| = -\frac{2y}{\sqrt{3}}$$

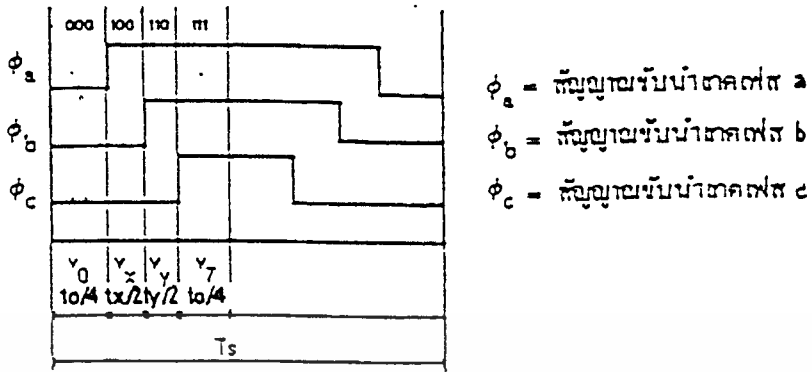
โดยที่ x และ y เป็นขนาดขององค์ประกอบเวกเตอร์แรงดันในแกน d - q ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ (d - q)

ถึงแม้ว่าเราจะคำนวณช่วงเวลา t_x , t_y และ t_0 ของเวกเตอร์แรงดันได้แล้วก็ตาม เรายังสามารถกำหนดรูปแบบในการสวิตช์ได้อย่างอิสระ แต่ในรายงานนี้เราจะกำหนดรูปแบบการสวิตช์ตามรูปที่ 2.10 อันจะทำให้เกิดการมอดูเลต แบบขอบเขตคู่ (double edge) ซึ่งมีลักษณะสมมาตรและมีคุณสมบัติในด้านการกระจายฮาร์มอนิกที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีถือนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แผนผังเวลารูปแบบการสวิตช์

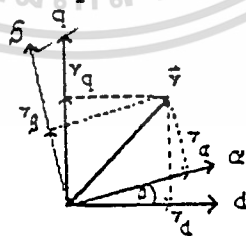
2.4.2 หลักการเลือกเซกเตอร์

เมื่อทราบแรงดันเวกเตอร์จากการคำนวณของการควบคุมแบบแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นค่าที่วัดเทียบกับแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ เราสามารถที่จะหาว่าเวกเตอร์นั้นอยู่มุมเท่าไรเทียบกับแกนอ้างอิงสเตเตอร์ ทำให้ทราบว่าเลือกใช้เวกเตอร์คู่ใดในเวกเตอร์ทั้ง 6

กล่าวคือ สมมติให้แรงดันเวกเตอร์เฉลี่ยที่เราต้องการสร้างคือ $v = v_a - jv_b$ ซึ่งเทียบกับแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์จากรูปที่ 2.11 การย้ายแกนมาเป็นแกนอ้างอิงสเตเตอร์กระทำดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \rho & -\sin \rho \\ \sin \rho & \cos \rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix}$$

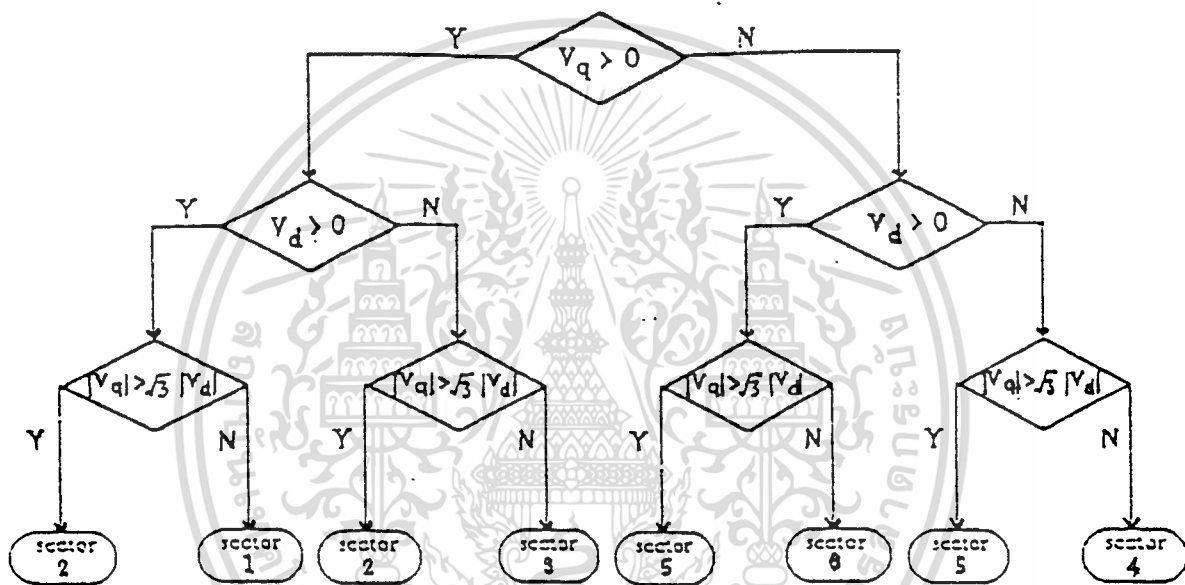
โดยที่ ρ = มุมระหว่างแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ ทำกับแกนอ้างอิงสเตเตอร์



รูปที่ 2.11 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิง d-q และแกนอ้างอิง a-b

แต่เนื่องมาจาก ในการทำการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน และการย้ายแกนอ้างอิง มายังแกน สเตเตอร์ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เราจะทราบเพียงค่าเวกเตอร์ประกอบแรงดัน (v_d, v_q) เท่านั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากเราต้องการทราบมุมของเวกเตอร์นั้นจะต้องทำการคำนวณ $\arctan(v_q/v_d)$ ซึ่งในกรณีที่นำไปเขียนด้วยซอฟต์แวร์จะยุ่งยากและเกิดความผิดพลาดสูงในช่วงมุมใกล้ 90 ดังนั้นในรายงานนี้จึงเสนอแนวทางการหาเซกเตอร์แรงดันโดยไม่ต้องคำนวณค่ามุมของเวกเตอร์แรงดัน ซึ่งมีวิธีการดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 2.12



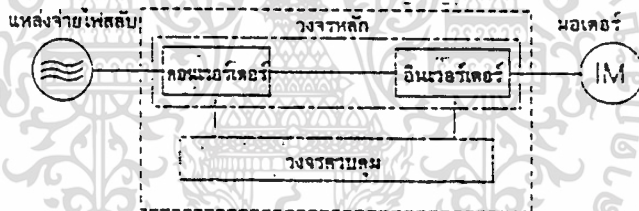
รูปที่ 2.12 แผนภาพวิธีการหาเซกเตอร์ของเวกเตอร์แรงดัน

วิธีการสร้างรูปแบบการสวิตช์ดังกล่าวอาศัยการเปรียบเทียบค่าเท่านั้นจึงง่ายและเหมาะสมสำหรับการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในรายงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 96 โดยอาศัยตัวจับเวลาภายใน และพอร์ตรับและส่งสัญญาณที่มีความเร็ว (High speed Input/output port) เมื่อทราบรูปแบบการสวิตช์และเมื่อถึงเวลาในการสวิตช์ของรูปแบบนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่ง พอร์ตอินพุท - เอาท์พุท แบบความเร็วสูง ให้ส่งรูปแบบการสวิตช์นั้น เป็นสัญญาณสำหรับการตัด-ต่อสวิตช์ที่ความถี่การสวิตช์เป็นหลัก kHz ได้

บทที่ 3

วงจรส่วนกำลัง

ส่วน ฮาร์ดแวร์ (HARDWARE) ที่จะกล่าวถึงคือส่วนของวงจรกำลัง (POWER) ทั้งหมด ตั้งแต่ส่วนรับไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟตามปกติ เข้ามาแปลงเป็นไฟกระแสตรงโดยอาศัยชุด คอนเวอร์เตอร์ (CONVERTER) หลังจากนั้นไฟตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับอีกทีโดยอาศัย ชุด สวิตซ์ซิ่ง (SWITCHING) เพื่อให้ได้ความถี่และแรงดันตามที่ต้องการ ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจร อินเวอร์เตอร์ (INVERTER) วงจรทั้งสองส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญในการทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และส่งผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์นอกจากนั้นแล้วยังมีส่วนวงจรป้องกัน (PROTECTION) ป้องกันกระแสและแรงดันเกิน แรงดันตก ที่จะมึผลทำให้อุปกรณ์ภายในหรือมอเตอร์ที่เราควบคุมเสียหายได้ โดยเฉพาะ ไอจีบีที (Isolated Gate Bipolar Transistor)

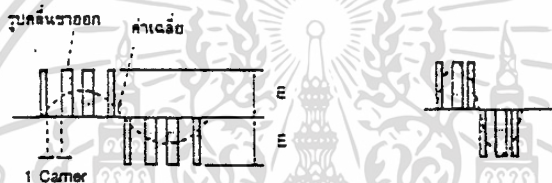


รูป 3.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอุปกรณ์แปลงไฟชนิดหนึ่ง ส่วนอินเวอร์เตอร์ จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งสองส่วนจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันและมีการทำงานที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอินเวอร์เตอร์นั้นจะใช้ ไอจีบีที เป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์ซิ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติการใช้งานที่ความถี่สูง ๆ ได้เป็นอย่างดี ในการทำเราจะใช้ความถี่ประมาณ 16 kHz ถ้าใช้ทรานซิสเตอร์ (TRANSISTER) ทั่วไปจะทำงานได้ไม่ดี เพราะมีช่วงเวลานิ่ง (Delay Time) มากในขณะที่ทำการเปิด (Turn-on) และ ปิด (Turn-off) ถึงแม้จะมีการพัฒนาทรานซิสเตอร์ให้ใช้งานที่ค่าความถี่สูงแล้วก็ตาม ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของ ไอจีบีที คือสามารถรับกระแสได้สูง ๆ จากข้อดีทั้งสองข้อที่มีมากกว่าทรานซิสเตอร์ทั่ว ๆ ไปเราจึงเลือกใช้ ไอจีบีที นอกจากนี้แล้วจะช่วยในการลดเสียงรบกวนที่เกิดจากการ สวิตซ์ซิ่ง ได้เนื่องจากความถี่ที่เราใช้นั้นสูงเกินกว่าที่คนเราจะได้ยิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่เราเลือกใช้ความถี่สูงๆในการสวิตซ์ซิ่ง เพราะเนื่องจากว่ายิ่งใช้ความถี่ในการเปิดปิดมากเท่าใด ก็สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเลียนแบบ รูปกราฟ (Waveform) ของ ซายน์ (SINE) ได้ใกล้เคียงและละเอียดมากเท่านั้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการทำงานของมอเตอร์ (MOTOR) ทั้งในด้านความเร็วและทอร์ก (TORQUE) ในขณะที่มอเตอร์มีการหมุนเร็ว ๆ เราจะได้มาโดยการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง คาบจะแคบ ทำให้สร้างสัญญาณเลียนแบบคลื่น ซายน์ ได้ใกล้เคียงโดยที่ความถี่ในการสวิตซ์ซิ่งไม่ต้องสูงมาก แต่ถ้าเราจะควบคุมมอเตอร์ให้หมุนช้า ๆ เราจะต้องป้อนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ ทำให้คาบกว้าง ถ้าใช้ความถี่ค่าเดิมนั้นจะไม่สามารถสร้างคลื่นเลียนแบบได้สวยดังที่แสดงในรูป



รูป 3.2 การควบคุมคลื่นแรงดัน

ความไม่ละเอียดในการสร้างคลื่นเลียนแบบ ซายน์ ยิ่งหยาบมากจะทำให้ขณะที่หมุนช้าๆนั้นมอเตอร์จะหมุนได้ไม่เรียบ จะเกิดการสะดุดตลอดเวลาตามลักษณะของแรงดันที่เราผลิตออกมา

3.1 ไอจีบีที และการป้องกัน

วงจรสับเบอร์ดูกใช้ป้องกัน ไอจีบีที จากการเปิดปิดอย่างรวดเร็วทำให้เกิดแรงดันทรานเซียน (Voltage Transient) มีการใช้วิธีป้องกันหลายวิธีได้แก่ ดีคัปปลิงคาปาซิเตอร์ (De-coupling capacitors), อาร์ซีดีโวลเตจแคลมป์ (RCD voltage clamp circuit) , อาร์ซีดีชาร์จ-ดิสชาร์จสับเบอร์ด (RCD charge-discharge snubber)

เมื่อ ไอจีบีที ปิด อย่างรวดเร็ว พลังงานจาก สเต็ยอินดักแตนซ์ (stray inductance) จะแพร่ผ่าน ไอจีบีที ซึ่งทำให้เกิด โวลเตจโอเวอร์ชูท (voltage overshoot) ผ่านอุปกรณ์ ขนาดของแรงดันทรานเซียนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ สเต็ยอินดักแตนซ์ และอัตราการลดลงของกระแสขณะที่มี

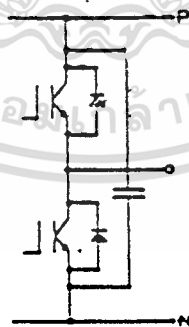
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การปิด ไอจีบีที การสวิตช์กระแสสูงๆในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อให้เกิดความเสียหายจากแรงดันทรานเซียน สำหรับชุดอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กระแสสูง ๆ จะประกอบด้วย ไอจีบีที หลายตัวต่อขนานกัน กระแสไหลจะแบ่งผ่าน ไอจีบีที ที่ต่อขนานเท่าๆกัน ทำให้กระแสไหลที่ผ่าน ไอจีบีที แต่ละตัวลดลง อัตรา di/dt ก็ลดลง อัตรา di/dt มีหน่วยเป็น 2 - 3000 Amp/ms การใส่ใจในจุดนี้จึงควรป้องกันอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเสียหาย โดยในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์ เพราะเหมาะสมกับกระแสปานกลางที่ใช้

ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์

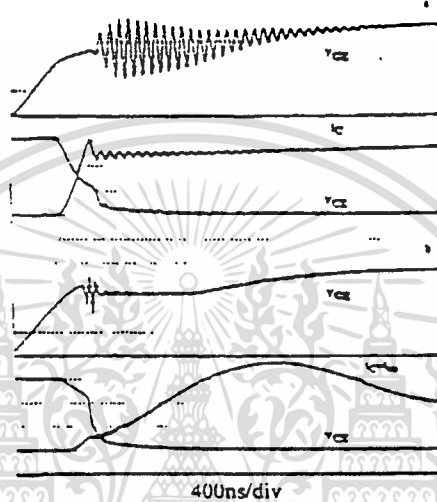
จากที่กล่าวมาในขั้นตอนขนาดของแรงดันทรานเซียน ขึ้นอยู่กับพลังงานในรูป สเตรย์อินดักแตนซ์ หรือเรียกว่า ดีซีลูปอินดักแตนซ์ ('Dc loop' inductance,) L_s การป้องกันนี้จะต้องปรับปรุงการจัดวางวงจร การใช้แผ่นทองแดงบางทำให้ลดขนาดของ ดีซีลูป และการเลือกใช้คาปาซิเตอร์ที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำเป็นวิธีที่ทำให้ สเตรย์อินดักแตนซ์ ต่ำลง ใช้คาปาซิเตอร์ต่อที่ เทอร์มินอล (terminal) ดังในรูป 3.3 ซึ่งจะพบว่า เป็นประโยชน์สำหรับการใช้กระแสต่ำ ๆ ถึง ปานกลาง (high-frequency polypropylene film capacitors ถูกออกแบบให้ใช้กับ ไอจีบีที ที่ต่อในระยะที่เหมาะสมกับการต่อโดยตรง) อินดักแตนซ์ภายใน(internal inductance) จะมีผลน้อยมาก รูป 3.4a , 3.4b , 3.5a และ 3.5b แสดงการเปิด-ปิดรูปกราฟ ที่ใช้และไม่ใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 1 μF ในการดีคัปปลิ่ง



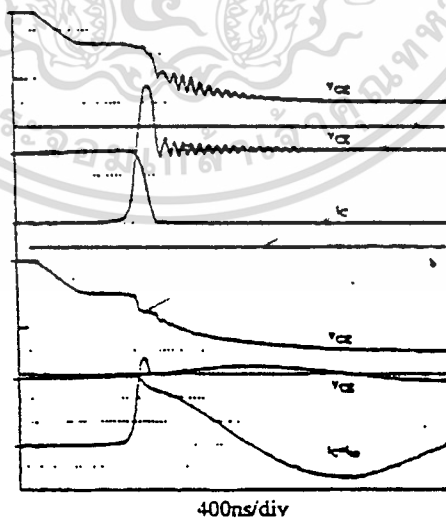
รูป 3.3 ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์

รูปทั้งหมดนี้แสดง แรงดัน ที่ตกคล่อม ไอจีบีที (V_{ce}) ,กระแส ดีซีบัส (เช่น I_c ในรูป 3.4a และ 3.5a และ $I_c + I_{sn}$ ในรูป 3.4b และ 3.5b) และ แรงดันเกต(gate voltage , V_{ge}) กระแสจริงที่ผ่าน ไอจีบีที ไม่ได้แสดงในรูป 3.4b และ 3.5b เมื่อต่อ ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์ โดยตรงบน

เทอร์มินอล ของ โมดูล (module) และ เส้นทาง (path) ที่ไอจีบีที จะไม่สามารถวัดกระแสได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อกระแสขึ้นอยู่กัับ อินдукแตนซ์ภายนอก (external inductance) , L_s (จุดที่แตกต่างระหว่าง 2 ตัวอย่าง) โดยสมมติว่าเกือบจะเท่ากันทั้ง 2 กรณี สามารถแสดงให้เห็นได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดความสูญเสีย สวิตซ์ซิงลอส (switching loss) ขึ้นอยู่กับ สเตรย์อินдукแตนซ์ภายนอก (external stray inductance)



รูป 3.4a,b รูปคลื่นขณะเปิด ไอจีบีที ที่ติดและไม่ติด ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์



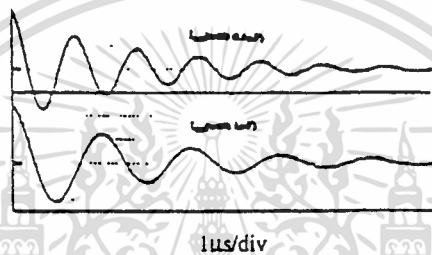
รูป 3.5a,b รูปคลื่นขณะเปิด ไอจีบีที ที่ติดและไม่ติด ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์

จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าประโยชน์ของ ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์ คือการกำจัด แรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานเซียนที่รุนแรงขณะสวิตซ์ซิ่ง และทำให้ รูปกราฟ เรียบโดยการจัดหาเส้นทาง นอนอินดักแตนท์ (non-inductance) ขณะทำการสวิตซ์ซิ่ง จากรูปสังเกตุ 3.5b ว่าแรงดันทรานเซียนขณะเปิด จะลดลงไปที่ระดับ 370 V จากค่าอันตราย 570 V ในรูป 3.5a

เนื่องจากอันตรายจากการทำลายอุปกรณ์โดย แรงดันเกิน (over voltage) ความเร็วของการเปิดของ ไอจีบีที ถูกจำกัดโดยการใช้ ตัวต้านทานขาเกต (gate resistor) ที่มีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้ ดีคัปปลิ่ง ข้อจำกัดนี้จะหมดไป ค่าของ ตัวต้านทานขาเกต สามารถลดค่าให้ต่ำลงได้ ดังนั้น จะทำให้ ไอจีบีทีเปิด ได้เร็วกว่าและลดค่า การสูญเสียในการสวิตซ์ ทั้งหมด



รูป 3.6 คลื่นกระแส snubber ขณะ ไอจีบีที ปิด ที่ค่าคาปาซิเตอร์ 0.5 μF และ 1 μF

ค่า snubber คาปาซิเตอร์ (snubber capacitance) สามารถได้จากค่า อินดักแตนท์ในวงจร, L_s ค่ากระแส สวิตซ์ซิ่ง, I_o DC rail voltage, V_{CC} และค่าที่ยอดแรงดัน (peak voltage) ที่ยอมรับได้ V_{PK}

$$C_{SN} = L_s * I_o^2 / (V_{PK} * V_{CC})^2 \quad \text{--- (1)}$$

ค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ในการเลือกคาปาซิเตอร์ อาจเป็นค่าจำกัดกระแสของ ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์ไอจีบีที การ สวิตซ์ซิ่ง ไอจีบีที ทำให้เกิดการ ออสซิลเลท(oscillate) กระแสขึ้นใน ดีคัปปลิ่งระหว่างตัวดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์ (de-coupling capacitor snubber current) ดังแสดงในรูป 4 และ ดังสมการ

$$I_{SN} = I_o e^{-a t} \cos(b t) \quad \text{--- (2)}$$

$$\text{โดย } a = R / 2L_s \text{ และ } b = [4 / L_s C_{SN} * (R / 2 L_s)^2]^{1/2}$$

R เป็นค่า สเตรย์อินดักแตนท์ ใน รูป รวมถึง ESR ของ คาปาซิเตอร์ I_{rms} หาได้จาก

$$I_{rms} = I_o (f_{sw} * L_s / R_s)^{-1/2} \quad \text{--- (3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสูญเสีย ใน คาปาซิเตอร์ หาได้จาก

$$ESR * I_{rms}^2 = 2 * (1/2 L_s I_o^2) * f_{sw} \quad \text{---(4)}$$

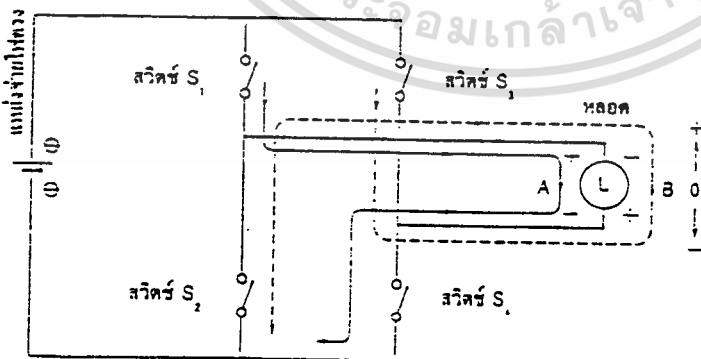
ที่ความถี่สูงๆ และกระแสสูงๆอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความร้อนใน คาปาซิเตอร์ควรเลือก คาปาซิเตอร์ โดยพิจารณาค่าที่ได้จากสมการ (1) และ (2) สำหรับ load ที่มีกระแสถึง 150 A และการสวิตซ์ที่ความถี่ไม่มาก ดีคัปปลิ่งคาปาซิเตอร์ จะเหมาะสมที่ใช้ในการป้องกันทรานเซียน (transient) ที่เกิดจากการสวิตซ์โดยปกติ

3.2 การทำงานของภาค อินเวอร์เตอร์

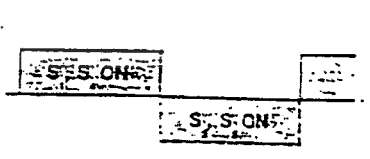
3.2.1 วิธีสร้างไฟสลับไฟตรง

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตไฟสลับได้จากแหล่งจ่ายไฟตรง การทำความเข้าใจกับ หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ควรเริ่มจากการสร้างไฟสลับเฟสเดียวก่อน รูป 3.7 อธิบายหลัก การทำงานเปลี่ยนไฟตรงเป็นไฟกระแสสลับ โดยเปลี่ยนโหนดจากมอเตอร์มาเป็นหลอดไฟเพื่อให้ เข้าใจการทำงานได้ง่ายขึ้น

สวิตซ์ 4 ตัว S1, S2, S3, S4 ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟตรงและโหนด จะเปิดปิด สลับกันเป็นจังหวะเพื่อสร้างไฟสลับจ่ายแก่หลอดไฟ ตามรูป 3.8



รูป 3.7 วิธีการสร้างไฟสลับ



รูป 3.8 รูปคลื่นกระแส

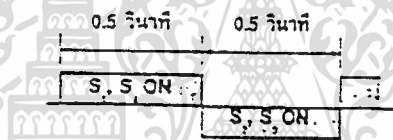
เมื่อสวิตช์ S1 และ S4 ปิดจะมีกระแสวิ่งผ่านหลอดไฟและสวิตช์ตามทิศทาง A

เมื่อสวิตช์ S2 และ S3 ปิด จะมีกระแสไหลผ่านหลอดไฟ และสวิตช์ตามทิศทาง B ซึ่ง
 ย้อนทางกับทิศทาง A ดังนั้นถ้าทำให้สวิตช์ S1 และ S4 ปิดเปิดสลับกับสวิตช์ S2 และ S3 ก็จะทำให้เกิดกระแสไหลไปที่หลอดกลับทิศทางกัน สลับไปมา เป็นไฟสลับนั่นเอง

3.2.2 วิธีการแปรความถี่

ถ้าควบคุมเวลาที่เปิดปิดสวิตช์ S1-S4 ได้ ก็สามารถแปรความถี่ของไฟสลับได้ ตัวอย่าง
 เช่น

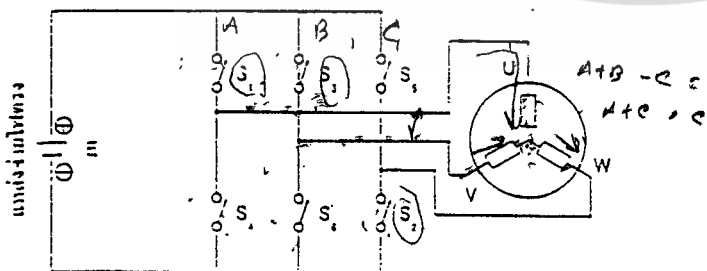
ให้สวิตช์ S1 และ S4 ปิด 0.5 วินาที ต่อมาสวิตช์ S2 และ S3 ปิด 0.5 วินาที และทำ
 การปิดเปิดสลับกันเช่นนี้เรื่อยไปดังนั้นใน 1 วินาที ไฟสลับจะวิ่งไปกลับครบ 1 รอบ (cycle) ไฟ
 สลับนี้จึงมีความถี่ครบ 1 Hz นั่นเอง



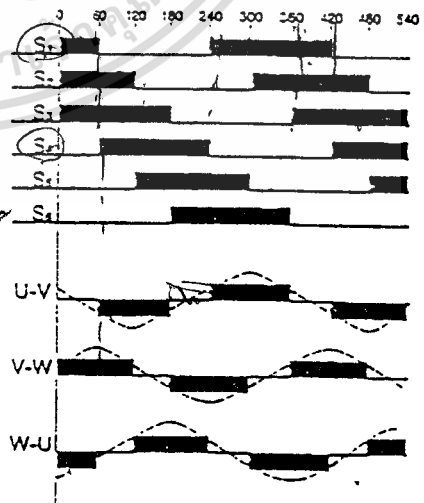
รูป 3.9 รูปคลื่นไฟสลับ 1 Hz

360
 240
 120

3.2.3 กรณีของไฟ 3 เฟส



รูป 3.10 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพื้นฐาน



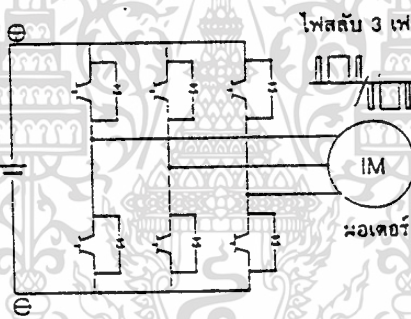
รูป 3.11 การสร้างไฟสลับ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้สวิตช์ S1 ถึง S6 ในวงจรเปิดปิด ตามจังหวะที่แสดงในรูป 3.11 ก็จะมีกระแสไหลผ่านขั้ว U-V,V-W และ W-U ของมอเตอร์ ตามรูปคลื่นที่แสดงในรูป 3.11 รูปคลื่นของกระแสนี้จะทำให้ความกว้างของไฟสลับ และช่วงห่างระหว่างคลื่นเท่ากัน ถ้าเปลี่ยนช่วงเวลาของการเปิดปิดสวิตช์เหล่านี้ ก็จะทำให้ความถี่ของกระแสสลับเปลี่ยนไปได้ และถ้าเปลี่ยนขนาดของแรงดันไฟตรง ก็จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟสลับของรูปคลื่นเปลี่ยนไปได้เช่นกัน

3.2.4 โครงสร้างส่วนที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะใช้แทนสวิตช์ทั้ง 6 ตัว ดังที่แสดงในรูป 3.12 เมื่อต่อกับมอเตอร์ 3 เฟส และควบคุมให้ เปิดปิดตามจังหวะในรูป 3.11 ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ และถ้าเปลี่ยนลำดับการเปิดปิดของ ไอจีบีที ก็สามารถทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางได้

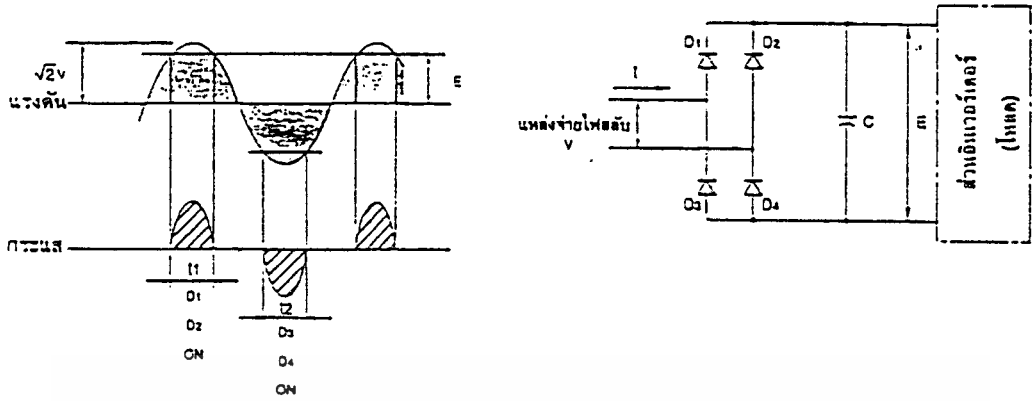


รูป 3.12 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

3.3 การทำงานภาค คอนเวอร์เตอร์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแหล่งจ่ายไฟตรงที่ป้อนเป็น อินพุต(Input) ของอินเวอร์เตอร์นั้นผลิตมาจากคอนเวอร์เตอร์ วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง วงจรประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ

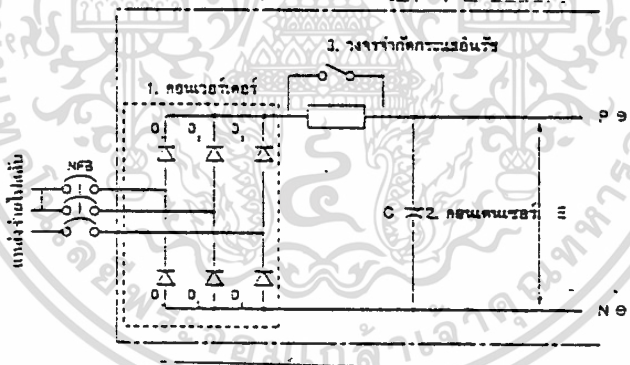
1. ส่วนคอนเวอร์เตอร์
2. ส่วนคอนเดนเซอร์(condenser)
3. วงจรจำกัดกระแสอินรัช (inrush)



รูป 3.13 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์

3.3.1 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

รูป 3.14 แสดงหลักการทำงานของ คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไปสลับเฟสเดียวเป็นไฟตรง



รูป 3.14 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

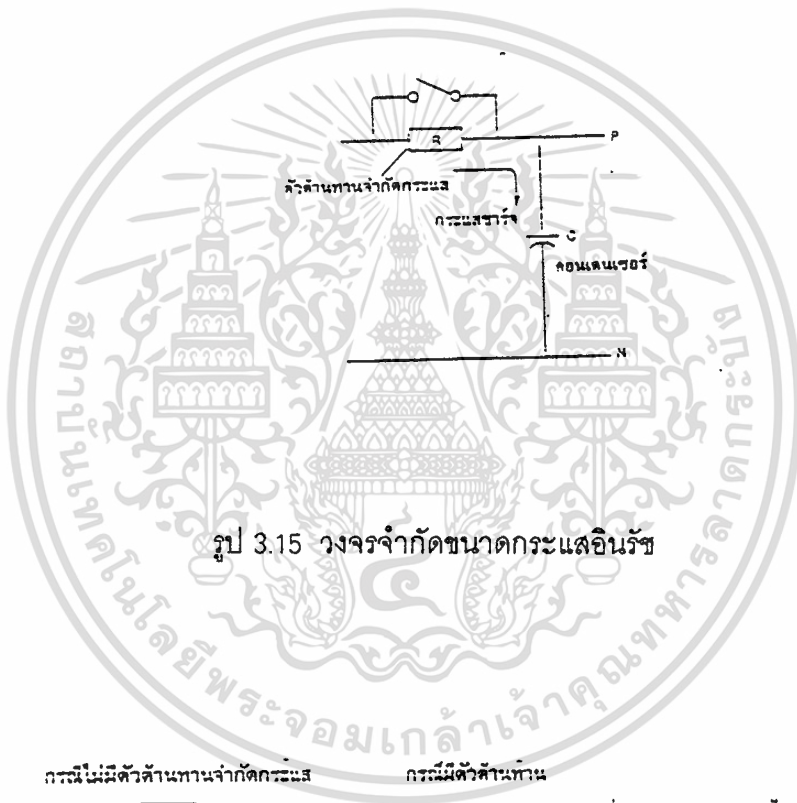
อธิบายถึงคลื่นกระแสไฟสลับขาเข้า

- อินพุท ของ คอนเวอร์เตอร์ เป็นไฟสลับรูป กราฟซายน์ มีค่า $RMS = V$ (ค่ายอด = $\sqrt{2} * V$) ถ้าให้แรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ E จากรูป 2.13 จะเห็นว่าจะมี ส่วนของแรงดันไฟสลับ ที่มีแรงดันสูงกว่าระดับ E ส่วนนี้มีช่วงเวลาเท่ากับ T_1 เป็นช่วงเวลา ที่ กระแสไหลผ่าน D_1 และ ไหลกลับทาง D_4

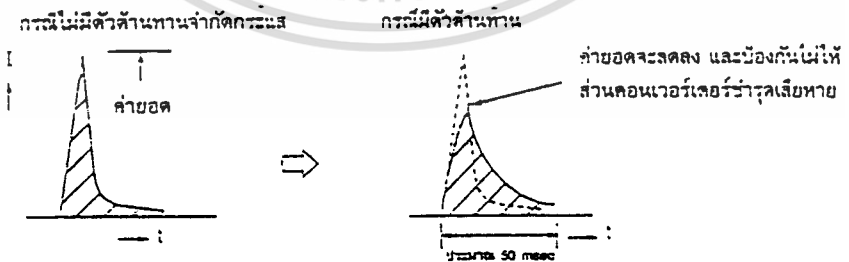
- แรงแดับไฟลดับส่วนที่เป็นลบ ช่วงเวลาที่แรงดันต่ำกว่าระดับ - E คือช่วงเวลา T2 ช่วงเวลานี้ กระแสจะไหลเข้าทางไดโอด D2 และไหลกลับทาง D3 ตามในรูป

3.3.2 กระแสเข้าเมื่อเปิดสวิตช์

เมื่อเปิดสวิตช์อินเวอร์เตอร์ครั้งแรก จะต้องมีการชาร์จ(Charge) ประจุให้แก่คอนเดนเซอร์ จึงมีกระแสเข้ามาขนาดใหญ่ ไหลเข้ามาในวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดกระแส (Inrush Current) โดยใช้วงจรในรูป 3.15



รูป 3.15 วงจรจำกัดขนาดกระแสอินรัช



รูป 3.16 กระแสอินรัช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกระแสประจุคอนเดนเซอร์จนเต็มแล้ว จึงใช้หน้าสัมผัสรีเลย์ตัดวงจรด้านทานจำกัด กระแสในเวลาไม่ต่ำกว่า 50 มิลลิวินาที

ถ้าต่อ หน้าสัมผัส (Contactor) เปิดปิดไฟเข้า อินเวอร์เตอร์ ทุกครั้งที่เปิดจะมีกระแสไหล เข้า คอนเวอร์เตอร์ ถ้าเปิดปิดบ่อยๆจะทำให้อายุการใช้งานของ คอนเวอร์เตอร์ ลดลง ดังนั้น ไม่ควรเปิดปิดบ่อย ๆ เพราะว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีหน้าที่สร้างแรงดันไฟกระแสตรงเท่านั้น การ เริ่มหมุนมอเตอร์เป็นหน้าที่ของอินเวอร์เตอร์เท่านั้น

3.4 การสร้างและการคำนวณ

อินเวอร์เตอร์ที่ทำขึ้นนั้นใช้กับ มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า 1 เฟส 220 โวลต์ ซึ่งกินกระแสพิคกัที่ $2 \times 746 / (220 \times 0.8) = 8.48$ แอมป์แอมป์ อุปกรณ์ที่จะกล่าวถึงในส่วนวงจรกำลังมีดังต่อไปนี้

-บริดจ์เรกติไฟเออร์ (BRIDGE RECTIFIER) ซึ่งเราจะเลือกให้ขนาด 600 โวลต์ 35 แอมป์แอมป์ ใน การแปลงแรงดันกระแสสลับเป็นกระแสตรง

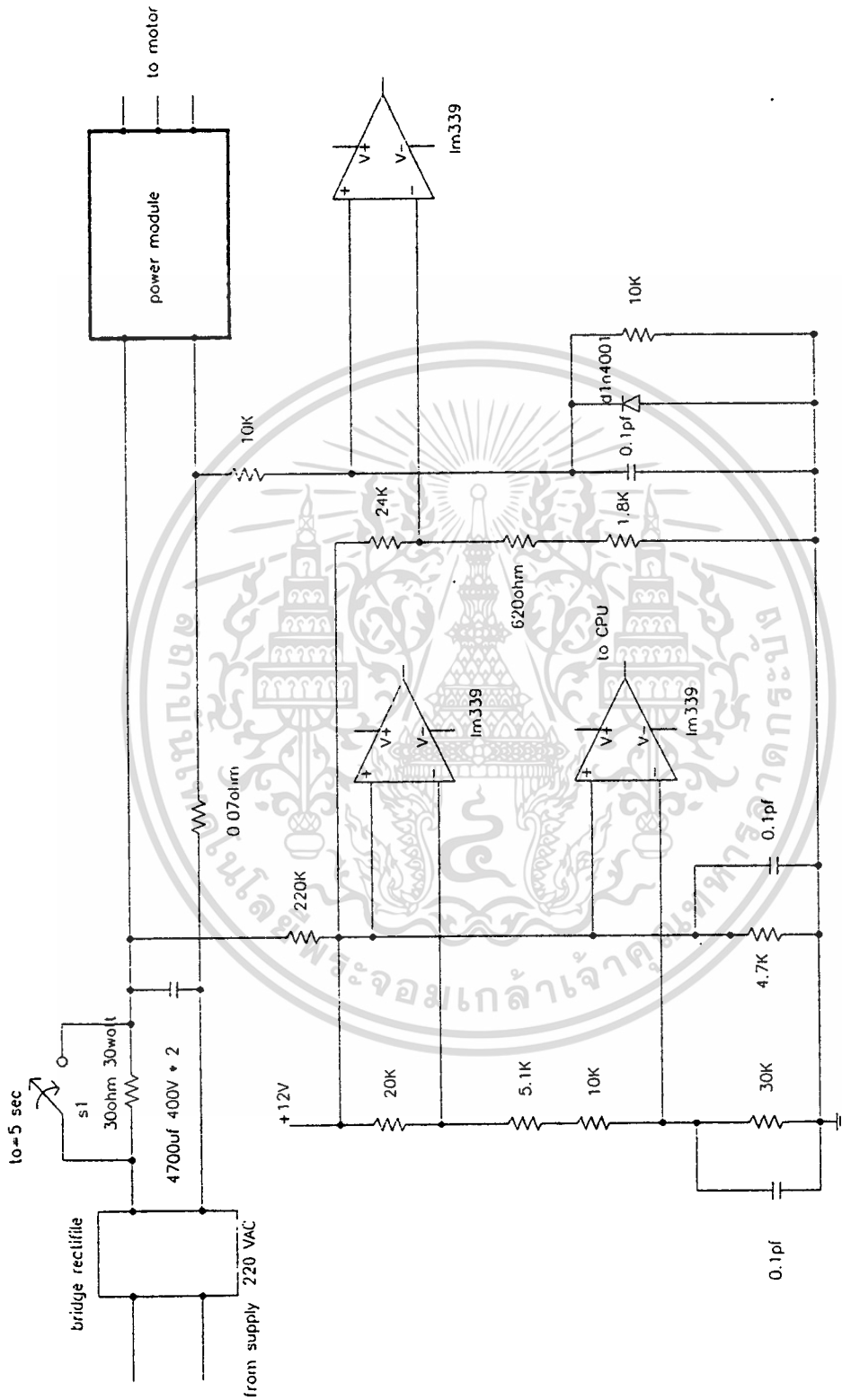
- ตัวต้านทานลดกระแสขณะประจุตัวเก็บประจุครั้งแรก ซึ่งจะมีค่าสูงมาก เพราะผลจากอัตราการ เปลี่ยนแปลงของแรงดัน ในขณะที่ประจุตัวเก็บประจุ ประจุอย่างรวดเร็ว จากศูนย์โวลต์ เป็นแรง ดันพิคกัใช้งาน 310 โวลต์กระแสตรง จากบริดจ์เรกติไฟเออร์ ซึ่งตัวต้านทานนี้จะทำหน้าที่ในการลด กระแสลงเพื่อป้องกันชุดบริดจ์เรกติไฟเออร์ ซึ่งใช้ค่าความต้านทานขนาด 30 โอห์ม (OHM) 30 วัตต์ (watt)

_แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (MAGNETIC CONTACTOR) จะนำมาต่อพร้อมตัวต้านทานเพื่อทำการ ลัดตัวต้านทานจากวงจรหลังการประจุตัวเก็บประจุ โดยจะเริ่มทำการลัดวงจรเมื่อเวลาผ่านไป แล้ว 5 วินาที และจะลัดวงจรตลอดการทำงานซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียดอีกทีในส่วนของวงจรป้องกันกระแสอินรัช (INRUSH CURRENT) ขนาด พิกัดของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ต้องเหมาะสมกับ พิกัดของมอเตอร์

-ตัวต้านทานตรวจจับสนกระแสในส่วนนี้จะใช้ตัวต้านทานขนาดประมาณ 0.07 โอห์ม ทำหน้าที่ในการตรวจจับสน กระแสที่ขนาดต่างของมอเตอร์แต่ต้องไม่เกิน 2 เท่าของพิกัดกระแสมอเตอร์ เพื่อส่งค่าที่ได้ไปตัดการทำงานของส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวต้านทานตัวนี้จะต่อก่อนเข้าขั้วลบของตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เรียงกระแส

-ชุดโมดูลกำลัง (POWER MODULE) ชุดนี้เป็นชุดที่ทำหน้าที่ในการเปิดปิดไฟกระแสตรงที่รับมาจากตัวเก็บประจุ ที่ทำหน้าที่เรียงกระแสเพื่อทำให้เป็นไฟกระแสสลับเข้าตัวมอเตอร์โดยรับสัญญาณการเปิดปิดมาจากส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านชุดขับอีกที ภายในชุดโมดูลกำลังประกอบไปด้วยไอจีบีที (IGBT) 6 ตัว พร้อมทั้งมีรีคอปเฟอร์ ไดโอด ต่อกับขั้วที่ขา คอลเลคเตอร์ (COLLECTOR) และ อีมิตเตอร์ (EMITTER) แต่ละตัวทั้งชุดจะเปิดปิดไฟตามคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลกำลังที่เลือกใช้ ไอจีบีที ขนาด 20 แอมป์ ทนแรงดันดัน 600 โวลต์ มีช่วงเวลาในการเปิดปิดนานที่สุด 3 ไมโครวินาที รายละเอียดทั้งหมดนอกจากนี้ดูได้จากภาคผนวก ข

-วงจรป้องกัน การป้องกันภายในตัวอินเวอร์เตอร์นั้นมีการป้องกันที่สำคัญคือ ป้องกันไฟเกิน ป้องกันไฟตก ป้องกันกระแสเกิน 1.5 เท่าของพิกัดกระแสมอเตอร์ และ ป้องกันกระแสเกิน 2 เท่าของพิกัดกระแสมอเตอร์ การทำงานจะใช้วงจรเปรียบเทียบโดยใช้ ไอซี (IC) สำเร็จรูปเบอร์ (LM339) โดยอาศัยการแบ่งแรงดัน เป็นค่าต่าง ๆ ตามที่ต้องการเป็นแรงดันเข้าที่ขาอ้างอิงของไอซี และขาอีกด้านหนึ่งใช้แรงดันจริง และกระแสจริงที่ตรวจจับสนได้จากวงจรจริง โดยแบ่งระดับแรงดันลงมาสำหรับการแบ่งระดับแรงดันในการตรวจจับสน ที่ระดับแรงดันไฟเกินเราจะคิดที่ 400 โวลต์กระแสตรง และที่ระดับแรงดันไฟตกนั้นคิดที่ 85% ของแรงดันพิกัดใช้งาน ซึ่งจะมีค่าประมาณ 263 โวลต์กระแสตรง โดยพิกัดแรงดันปกติมีค่าประมาณ 310 โวลต์กระแสตรงซึ่งเป็นค่าที่คิดมาจากแรงดันไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ($220 * 1.414 = 310$) เป็นระดับแรงดันที่ตกคร่อมขั้วตัวเก็บประจุเรียงกระแส ภาพการทำงานของวงจรอย่างคร่าว ๆ เป็นดังนี้

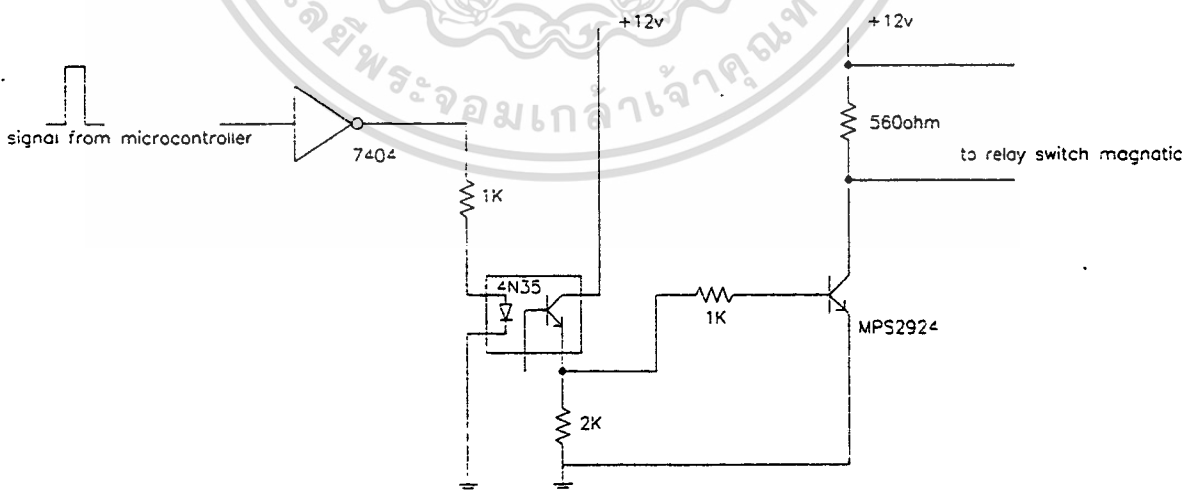


รูปที่ 3.17 ฎปการทํางานของวงจรถองกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรดังภาพอาศัยหลักการทำงานของไอซีเบอร์ LM339 เมื่อ ระดับแรงดันที่ขาอ้างอิง กับแรงดัน ที่ตรวจจับมาได้จากวงจรการทำงานจริง มีค่าเท่ากัน ก็จะทำให้มีการส่งสัญญาณ ออกที่ขาออกซึ่งจะเป็นระดับ แรงดันขนาด 12 โวลต์กระแสตรง และจะมีการส่งสัญญาณค่านี้ไว้ ตลอด จนกว่าระดับแรงดันจะต่ำกว่าระดับแรงดันอ้างอิงที่อ้างอิงไว้ ระดับแรงดัน 12 โวลต์ กระแสตรงนี้ จะนำไปใช้งานในทันทีไม่ได้ เพราะต้องนำไปเข้าที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้น จึงต้องนำไปต่อผ่านออปโตได (OPTO) เพื่อแปลงเป็นระดับแรงดัน 5 โวลต์ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

-วงจรป้องกันกระแสอินรัช ซึ่งเป็นกระแสกระชากขณะตอนเริ่มมีการป้อนไฟเข้าตั้งแต่ตอนเริ่มเปิด เครื่อง เพราะผลของตัวเก็บประจุ ที่ทำหน้าที่เรียงกระแส การทำงานของวงจรนี้ มีเพื่อให้มี ตัวต้านทานช่วยลดกระแสตอนเริ่มเปิดเครื่อง เมื่อมีการประจุตัวเก็บจนเต็มแล้ว ก็จะทำให้มีการ ลัดวงจรเพื่อตัดตัวต้านทานออกจากวงจรโดยอาศัยแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ซึ่งจะทำให้การลัดวงจรตลอด การทำงานของ อินเวอร์เตอร์จนกว่า จะมีการปิดและทำการเปิดเครื่องขึ้นมาใหม่ก็จะทำอีกครั้ง การทำงานจะทำงานโดยรับคำสั่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการหน่วงเวลาไปประมาณ 5 วินาทีแล้วค่อยส่งสัญญาณเพื่อให้มีการลัดวงจรเอาตัวต้านทานออกจากวงจรภาพการทำงาน เป็นดังนี้



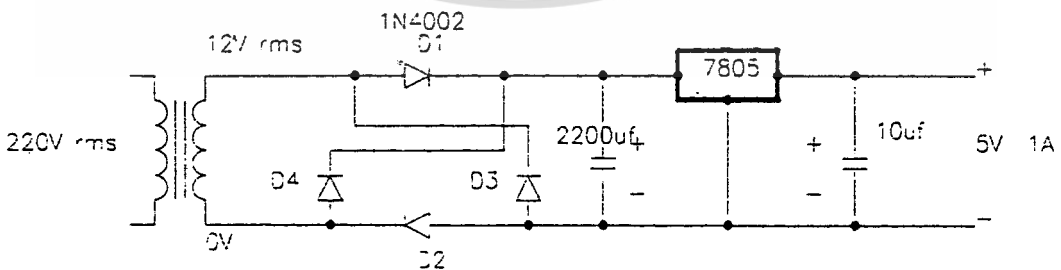
รูปที่ 3.18 รูปการทำงานของของวงจรอินรัช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเป็นดังนี้คือ เมื่อมีสัญญาณขนาด 12 โวลต์ที่ส่งมาจากทรานซิสเตอร์จะทำให้หน้าสัมผัส (CONTACT) ของตัวรีเลย์ ปิดลงทำให้ไฟ 220 โวลต์กระแสสลับมาเลี้ยงคอยล์ (COIL) ของแมกเนติก ทำให้แมกเนติกทำงานโดยการลัดวงจรเอาตัวต้านทานลัดกระแสออกจากวงจร แต่เนื่องจากเราต้องการให้แมกเนติกทำงานตลอดเวลา เราจึงใช้หน้าสัมผัสของตัวเองมาต่อวงจร เพื่อให้มีการจ่ายไฟ 220 โวลต์ให้กับคอยล์ตัวเองตลอดเวลา ดังวงจรตามภาพ แมกเนติกที่ใช้ใช้แบบปกติเปิด (NORMAL OPEN)

-ชุดวงจรไฟเลี้ยงไฟเลี้ยงวงจรที่ต้องการมีดังนี้

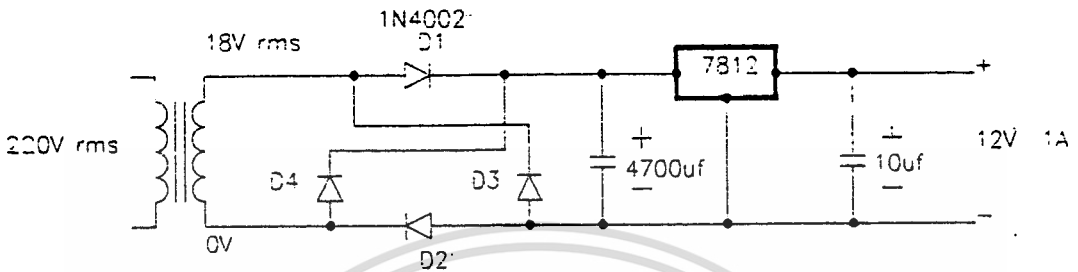
1. 5 โวลต์กระแสตรง 1 แอมป์ จ่ายชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 ชุด
2. 5 โวลต์กระแสตรง 1 แอมป์ จ่ายให้แก่ไอซีต่างๆในวงจรป้องกัน
3. 12 โวลต์กระแสตรง 1 แอมป์จ่ายให้แก่ไอซีต่างๆในวงจรป้องกันและทุกจุดในวงจรที่ต้องการไฟเลี้ยงขนาด 12 โวลต์กระแสตรง
4. ชุดวงจรไฟเลี้ยงปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-25 โวลต์กระแสตรง 1 แอมป์ 4ชุดเพื่อจ่ายให้แก่ชุดขับเคลื่อน คือ EXB840 โดย 3 ชุดแรกจ่ายให้แก่ชุดขับเคลื่อน 3 ชุดที่ที่ขับไอซีบีทีชุดบน ซึ่งเป็นชุดที่กราวด์ (GROUND) แยก ส่วนชุดที่เหลือ ใช้สำหรับจ่ายให้แก่ชุดขับเคลื่อนที่ขับไอซีบีที 3 ตัวล่าง ซึ่งเป็นกราวด์ร่วมขนาดแรงดันที่ใช้งานประมาณ 18 โวลต์กระแสตรงวงจรการทำงานเป็นดังนี้



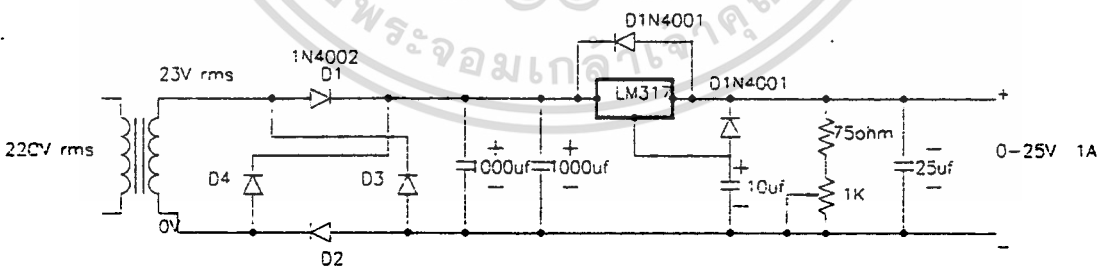
รูปที่ 3.20 รูปวงจรไฟเลี้ยงขนาด 5 โวลต์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.21 รูปวงจรไฟเลี้ยง 12 โวลต์กระแสตรง

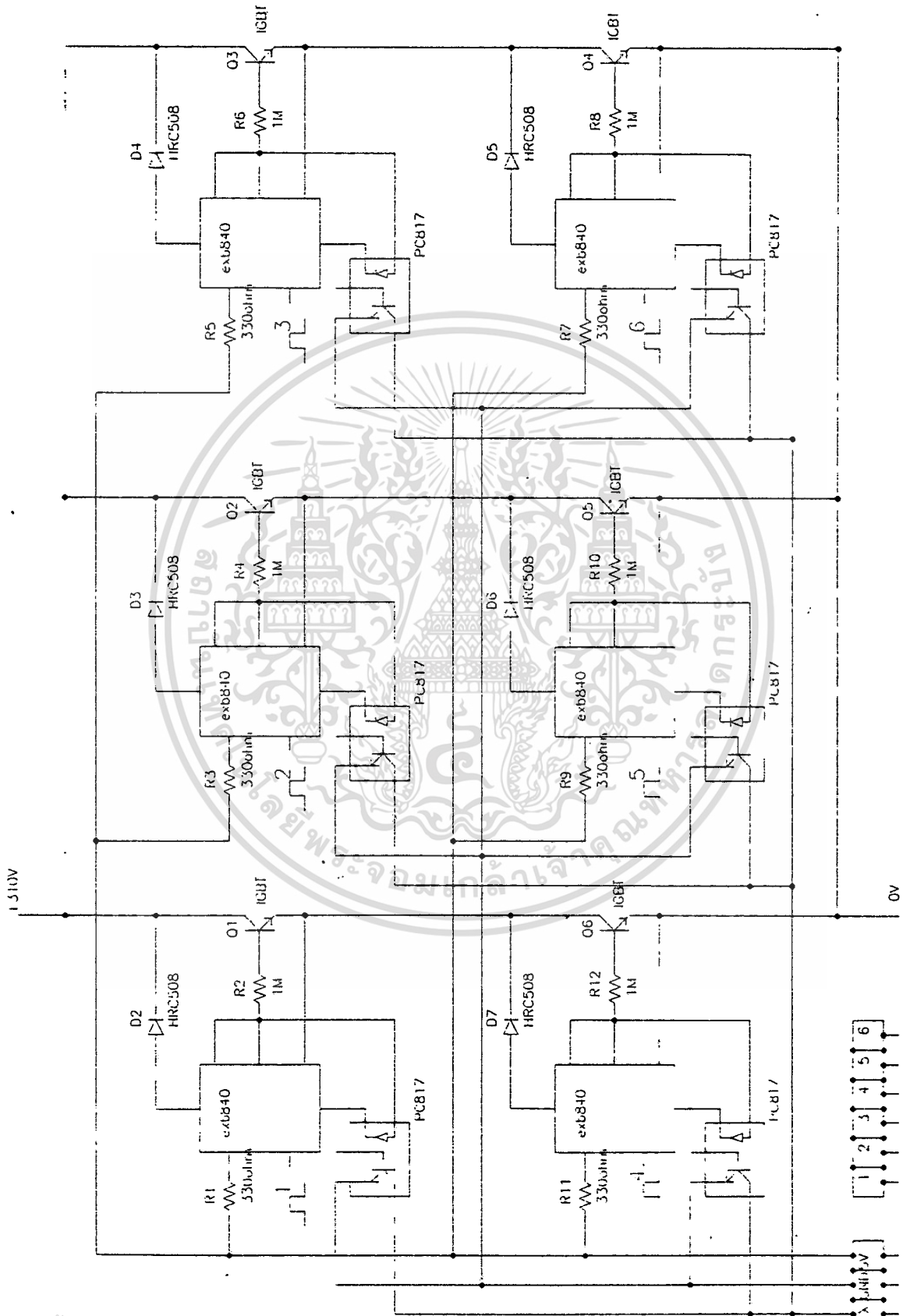


รูปที่3.22 รูปวงจรไฟเลี้ยงปรับค่าได้ 0-25 โวลต์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

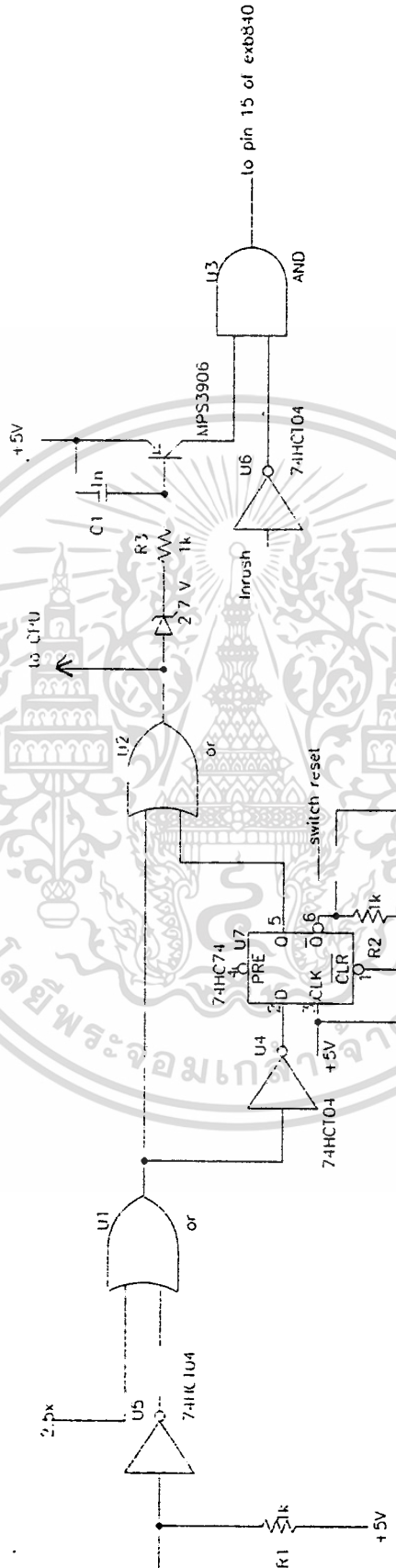
ไอซีเบอร์ 7805 และ 7812 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันให้ได้แรงดันขาออก 5 และ 12 โวลต์คงที่ตามลำดับ ไอซีเบอร์ LM 317 เป็นไอซีที่ควบคุมแรงดันปรับค่าได้

-ชุดวงจรขับเกท และการป้องกัน ชุดขับเกทนี้สามารถตรวจสอบ และ ป้องกันการลัดวงจรที่ตัว ไอจีบีทีได้ โดยจะส่งสัญญาณออกที่ขา 2 เข้าขา 5 ผ่านออปโตไดโอด ทำให้จุด X ซึ่งตอนแรก เป็น 5 โวลต์มีแรงดันเป็นศูนย์ และตรงจุด x (จุดนี้จะต่อผ่านตัวต้านทานเชื่อมกับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ไว้) จะต่อเข้ากับชุดนอเททเบอร์ 7404 และขาออกจากนอเททจะนำไปต่อกับออร์เกท (OR GATE) ซึ่งออร์กับชุดตรวจสอบกระแส 2 เท้าซึ่งส่งผ่านมาจากออปโตไดโอด เมื่อเกิดการลัดวงจร หรือเกิดกระแสเกิน 2 เท้า ของกระแสที่กีดสัญญาณก็จะส่งผ่านออร์เกทและจะหยุดการส่งไฟ 5 โวลต์ไปยังที่ขา 15 ของ EXB840 ซึ่งขา 15 นี้จะต่อผ่านออปโตไดโอดภายในไปยังขาที่ 14 โดยขาที่ 14 นี้ จะรับสัญญาณการเปิดปิดขาเกทที่ไอจีบีทีจากไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนั้นถ้าไม่มีไฟ 5 โวลต์ต่อเข้า ที่ขา 15 แล้วก็จะไม่สามารถส่งสัญญาณผ่านออปโตไดโอดไปขับขาเกทได้ ซึ่งก็เท่ากับเป็นการหยุดการทำงานที่ส่วนวงจรขับเกทและจะส่งสัญญาณไปตัดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมกัน ภาพวงจรการทำงานอย่างคร่าว ๆ เป็นดังนี้



รูปที่ 3.23 รูปการทำงานในส่วนชุดขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 รูปภาพทำงานในส่วนที่รับสัญญาณจากชุดพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการต่อวงจรมอเตอร์ในส่ววงจรชุดขับอย่างละเอียดอีกทีในภาคผนวก ข ซึ่งจะมีรายละเอียดของตัว EXB840 ทุกอย่างพร้อมการต่อ



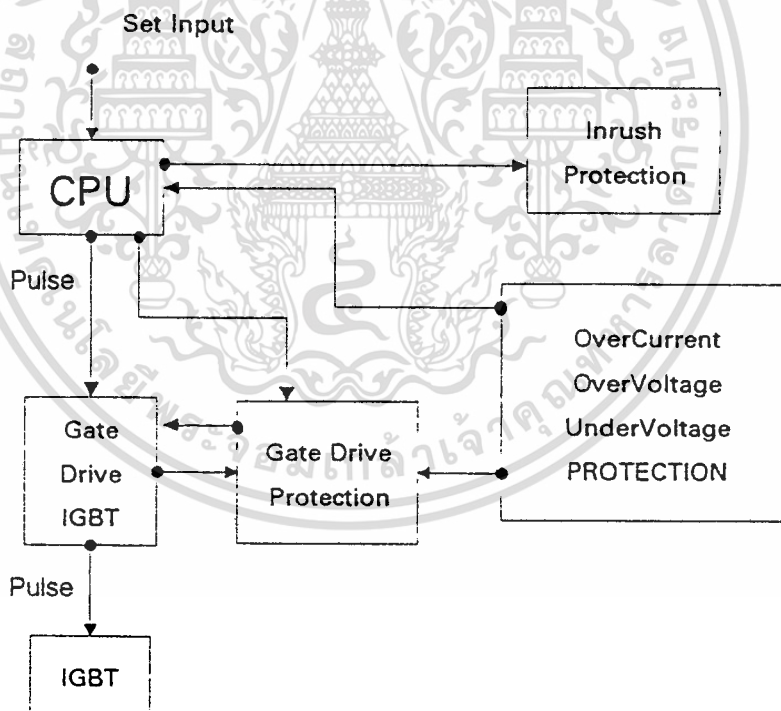
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

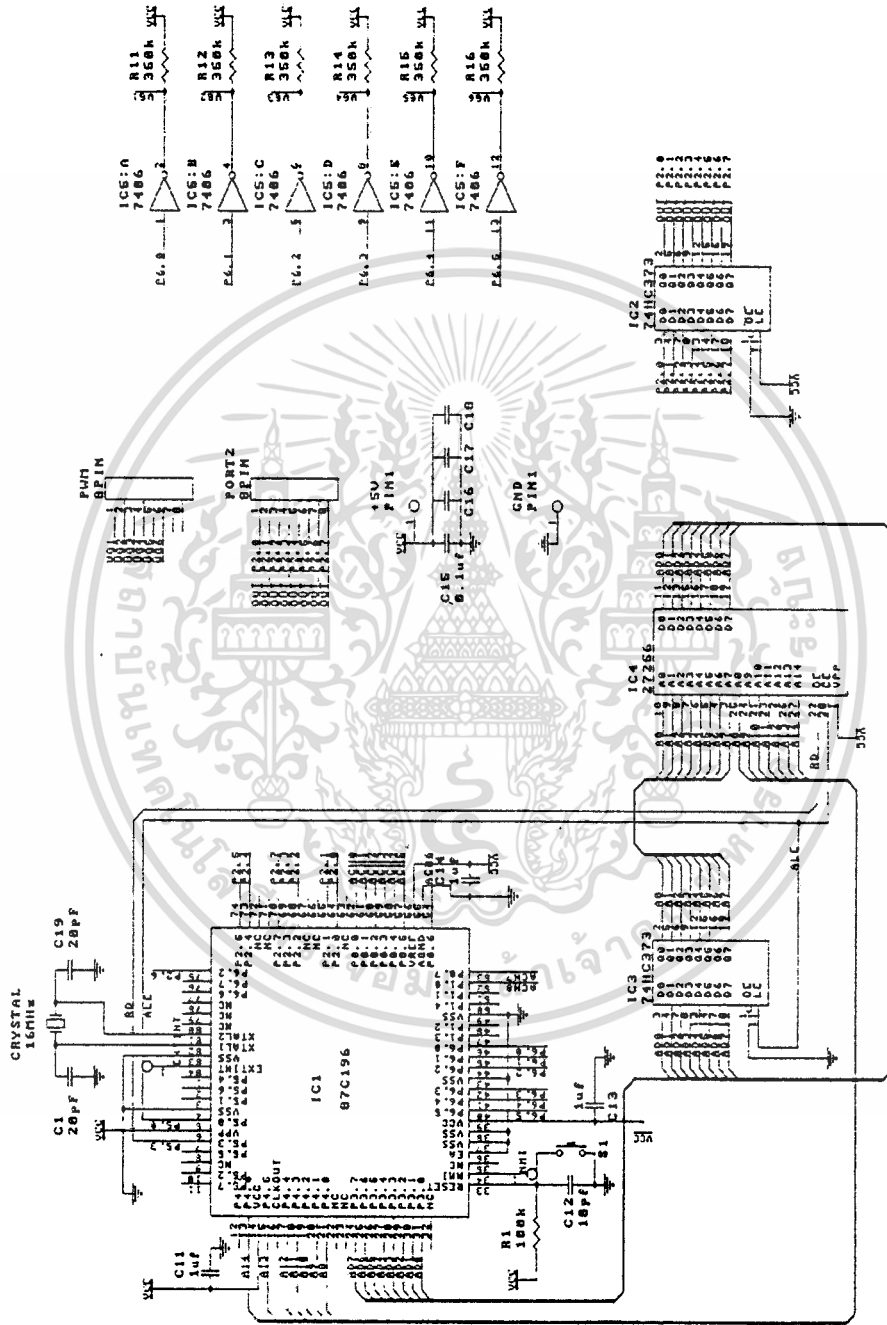
การคำนวณและการสร้างทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 96 เข้ามาควบคุมและสร้างสัญญาณพัลส์ เนื่องจากมีความเร็วในการประมวลผลที่เร็ว ตอบสนองต่อโปรแกรมหรืออัลกอริทึมได้ทัน (ดูเพิ่มเติมในส่วน ภาคผนวก ก) ทำให้การสร้างสัญญาณพัลส์เป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2

ในรูปที่ 4.1 เป็นรูปไดอะแกรมอย่างคร่าว ๆ ของ ระบบ ทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน หลัก ๆ คือ ส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ , ส่วนเกตไดรฟ์ไอจีบีทีและไอจีบีที และ ส่วนป้องกัน

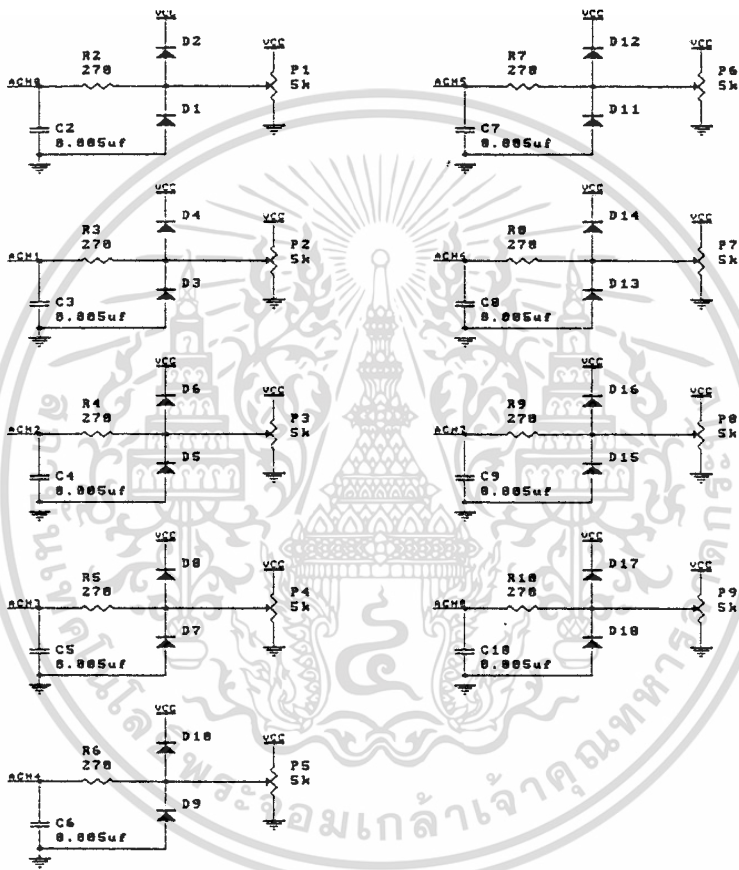


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



รูปที่ 4.2 วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (ต่อ) วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ยังมี คุณลักษณะที่สำคัญของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ของส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ ดังต่อไปนี้

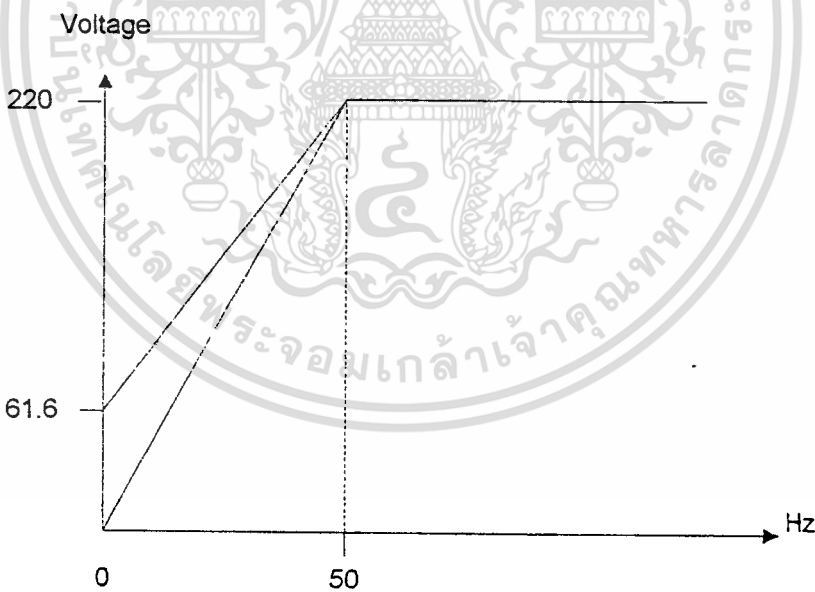
4.1 ส่วนรับค่าอินพุต

4.1a ความถี่

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับค่าจาก ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตาม ความต้านทาน เปลี่ยนค่าได้ ผ่าน ขาอนาล็อกเป็นดิจิตอล ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้ สามารถ ปรับค่าความถี่ได้จาก 0 - 127 Hz

4.1b ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันบูส (% voltage Boost)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับค่าจาก ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตาม ความต้านทาน เปลี่ยนค่าได้ ผ่าน ขาอนาล็อกเป็นดิจิตอล ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้ สามารถ ปรับค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันบูสจาก 0-28 เปอร์เซ็นต์ของ 220 โวลท์ โดย เป็นการ เปลี่ยนค่าความชันของ กราฟ แรงดัน-ความถี่ ช่วงก่อน 50 Hz ดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 รูปกราฟช่วงการเปลี่ยนความชันกราฟแรงดัน-ความถี่

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อปรับความถี่ไป (ภายใน 50 Hz) เราจะได้แรงดันเปลี่ยนไปในลักษณะ แปรผันตรงด้วย และยังสามารถเลือกความชันได้ดังในรูปกราฟข้างต้นได้อีกด้วย

4.1c เวลาในการ เร่ง-ลด

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับค่าจาก ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตาม ความต้านทาน เปลี่ยนค่าได้ ผ่าน ขาอนาล็อกเป็นดิจิตอล ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้ สามารถ ปรับค่าเวลาการเร่ง-ลดภายใน 0.1 - 12.7 วินาที โดยมีความละเอียด 0.1 วินาที

4.1d ทิศทางการหมุน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับค่าจาก ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตาม สวิตช์ 2 ทิศทางเลือก ต่อกับ กราวน์และไฟเลี้ยง 5 โวลท์ ส่งผ่านขาอนาล็อกเป็นดิจิตอลของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้การหมุน ของมอเตอร์เป็นแบบเดินหน้า (Forward) หรือ ถอยหลัง (Reverse)

4.1e เปอร์เซนต์แรงดันดีซีเบรก

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับค่าจาก ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตาม ความต้านทาน เปลี่ยนค่าได้ ผ่าน ขาอนาล็อกเป็นดิจิตอล ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้ สามารถ ปรับค่าเปอร์เซนต์แรงดันเบรกได้ตั้งแต่ 0 - 31 เปอร์เซนต์ของ 220 โวลท์ ซึ่งเป็นค่าแรงดันกระแสตรงที่ส่งออกขณะเกิดการเบรก ทำให้มอเตอร์มีแรงเบรกต่าง ๆ กันตาม ต้องการ

4.1f ความถี่ที่ดีซีเบรกเริ่มทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับค่าจาก ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตาม ความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ ผ่าน ขาอนาล็อกเป็นดิจิตอล ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้ สามารถ ปรับค่าได้ในช่วง 0 - 31 Hz ซึ่ง เป็นค่าความถี่ ซึ่งมอเตอร์จะทำการเบรกด้วยดีซีเบรกเมื่อความเร็วลดลงมาถึงความถี่ดังกล่าว

4.2 ส่วนป้องกัน

4.2.1 การป้องกันแรงดันตก

เมื่อส่วนป้องกันส่งสัญญาณแรงดันตกมา (ดูเพิ่มเติมในส่วนป้องกันการเสียหายเนื่องจากแรงดันตก ในบทที่ 3) เป็นสัญญาณ 5 โวลท์ สัญญาณดังกล่าวจะต่อเข้ากับขาอินพุทของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ขา อนาล็อกเป็นดิจิตอล ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่นี้ ซึ่งถ้ามีสัญญาณ แรงดันตกส่งมา ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการหยุดส่ง สัญญาณพัลส์ และส่งสัญญาณตัดการทำงานของเกตไดรฟ์ไอจีบีที และแสดงผลออกมาจอว่าเกิด แรงดันตกเกินกว่ากำหนด

4.2.2 การป้องกันแรงดันเกิน และกระแสเกิน

สัญญาณดังกล่าวจะส่งมาจากส่วนป้องกัน 2 แบบ (ดูเพิ่มเติมในส่วน ป้องกันการเสียหายเนื่องจากแรงดันเกิน และกระแสเกิน) โดย ส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะนำไปใช้ 2 กรณี คือ

4.2.2a สัญญาณที่ส่งมาจากการออร์ (OR GATE) ของ สัญญาณแรงดันเกินและกระแสเกิน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ จะให้ความสำคัญต่อสัญญาณนี้สูงสุด ดังนั้น จึงต่อสัญญาณนี้เข้ากับ ขา เอกซ์เทอนอลอินเทอร์พท์ (External Interrupt) ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะทำการตัดสัญญาณพัลส์ ที่ส่งออกทั้ง 6 ขาทันที โดยไม่มีเงื่อนไข และทำการแสดงผลว่าเกิดการตัดเนื่องจากสาเหตุใด (ข้อ 4.2.2b) ก่อนที่จะหยุดการทำงานของโปรแกรมจนกว่าจะทำการรีเซ็ต ไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่

4.2.2b สัญญาณแรงดันเกิน ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้สัญญาณนี้เพื่อนำไปแสดงผลว่า เมื่อเกิดการอินเทอร์พท์ จาก ข้อ 4.2.2a แล้ว ถ้าสัญญาณนี้ติดแสดงว่าเกิดการตัดการทำงานของข้อ 4.2.2a เนื่องจากแรงดันเกินกว่าค่าที่กำหนด แต่ถ้าสัญญาณนี้ไม่ติดแสดงว่าเกิดการตัดการทำงานของข้อ 4.2.2a เนื่องจากค่ากระแสเกินกว่าที่กำหนด

4.2.3 ส่วนป้องกันกระแสอินรัช

จะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาจับเวลา แทนการใช้ฮาร์ดแวร์เพื่อป้องกันกระแสอินรัช โดยเป็นสัญญาณ 0 หรือ 5 โวลต์ จากขาเอาร์ทพุท พอร์ท 2 1 ขา ส่งไปส่วน ป้องกันกระแสอินรัช (ดูเพิ่มเติมในส่วนการป้องกันการเสียหายเนื่องจากกระแสอินรัช) คือเมื่อเริ่มรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีสัญญาณ 5 โวลต์ ออกที่ขาหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นโปรแกรมจะเริ่มจับเวลาไปอีกประมาณ 5 วินาที แล้วโปรแกรมจะส่ง 0 โวลต์ ออก เพื่อสั่งให้คอนแทกส่วนวงจรกำลังทำงาน

4.2.4 ส่วนตัดต่อการทำงานของเกตไดรว์ไอจีบีที

ส่วนนี้จะทำงานเมื่อขณะกตรีเซตเครื่อง และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยังมีได้หยุดส่งค่า 1 (5 โวลต์) ออกไปขับเกตไดรว์ไอจีบีที (ขณะไมโครคอนโทรลเลอร์ ยังมีได้เข้าควบคุมการส่งออกสัญญาณขับเกตไดรว์ไอจีบีที) โดยจะใช้ขา ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขาเดียวกันกับ ส่วนควบคุมการป้องกันกระแสอินรัช คือ ใช้ ขาพอร์ท 2 เอาร์ทพุท 1 ขา

เหตุที่ต้องมีส่วนนี้ขึ้นมาเนื่องจากถ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งสัญญาณขับเกตไดรว์ไอจีบีที เป็น 1 (5 โวลต์) พร้อมกันทั้ง 6 ชุด ในขณะที่ ไอจีบีทีมีไฟเลี้ยงอยู่ 310 โวลต์กระแสตรง จะทำ

ให้ ไอจีบีที่เสียหายทันที ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงให้ความสำคัญกับสัญญาฉบับนี้มาก โดยจะตัดการทำงาน ของเกตไดรว์ไอจีบีที่ ออกชั่วคราว ไม่ให้รับสัญญาณพัลส์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ (ทำให้ไอจีบีที่ไม่มี สัญญาณส่งออกชั่วคราวไปด้วย)

4.3 ส่วนแสดงผล

ทางกลุ่มใช้ หน้าจอรุ่น DMC 162 ของ ซิลาร์ลีเร็กซ์ มีขนาด 2 บรรทัด บรรทัดละ 16 ตัวอักษร โดยต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทางพอร์ต 2 เอาร์ทพุท 7ขา แบ่งออกเป็น ขาข้อมูล 4 ขา และขาควบคุม 3 ขา (ปกติ ต้องใช้ ขาข้อมูล 8 ขา แต่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เลือกต่อ แบบ 4 ขา เนื่องจากต้องการประหยัดขาเอาร์ทพุท ทำให้ต้องทำการส่งข้อมูล 2 ครั้ง ซึ่งไม่มีผลเสียใด ๆ)

บนหน้าจอ จะแสดงค่าที่ต้องการ ทุกค่าพร้อมกันหมด โดยค่าดังกล่าวประกอบไปด้วย

4.3.1 ความถี่ที่ส่งออก

4.3.2 ความถี่ที่ตั้งไว้

4.3.3 อัตราเร่ง

4.3.4 อัตราลด

4.3.5 เปอร์เซนต์แรงดันบูต

4.3.6 ทิศทางการหมุน

4.3.7 ความถี่เบรค

4.3.8 เปอร์เซนต์แรงดันเบรค

แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติเช่น แรงดันเกิน แรงดันตก หน้าจอก็จะแสดงข้อความนั้นออกมาเป็นตัวอักษรดังกล่าวแทน

ในการทำงาน หน้าจอจะแสดงค่าใหม่ที่ผู้ใช้ตั้ง แต่ละค่าเรียงกันไปตามข้างต้นวนไปเรื่อย ๆ อย่างรวดเร็ว เนื่องจากหน้าจอนี้ ต้องหน่วงเวลาการส่งข้อมูลไว้ครั้งละ 40 ไมโครวินาที ซึ่งพบว่า ถ้าทำการหน่วงเวลาโดยตรง จะทำให้ช่วงเวลาในการทำงาน 1 รอบ โปรแกรม เกิน 500 ไมโครวินาที ได้ในบางรอบ ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้ ไทมเมอร์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาช่วยจับเวลา เมื่อครบ 40 ไมโครวินาที จึงสั่ง ให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หยุดส่งข้อมูล ดังนั้นในช่วง 40 ไมโครวินาที ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถทำงานอื่นต่อในช่วง 40 ไมโครวินาทีที่หน่วงเวลาส่งข้อมูลการแสดงผล

4.4 ส่วนฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

4.4a การรีเซ็ต

ขารีเซตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะ เชื่อมกับขารีเซตของส่วนป้องกัน และ สวิตช์รีเซตบนหน้ากาก เมื่อกดสวิตช์รีเซตที่ใดที่หนึ่ง ก็จะเกิดการรีเซตทั้งสองจุด (วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรส่วนป้องกัน) เพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำงาน ไม่ต้องทำการรีเซตครั้งละ 2 หน เนื่องจากโปรแกรมถูกออกแบบให้หยุดการำงานพร้อมกันทั้งสองส่วนทุกครั้ง

4.4b หน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ อีพรอม ขนาด 32 kByte ต่อกับพอร์ต 3 และ พอร์ต 4 ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ พอร์ต 3 ทั้ง 8 ขา แต่ใช้ พอร์ต 4 แค่ 7 ขา

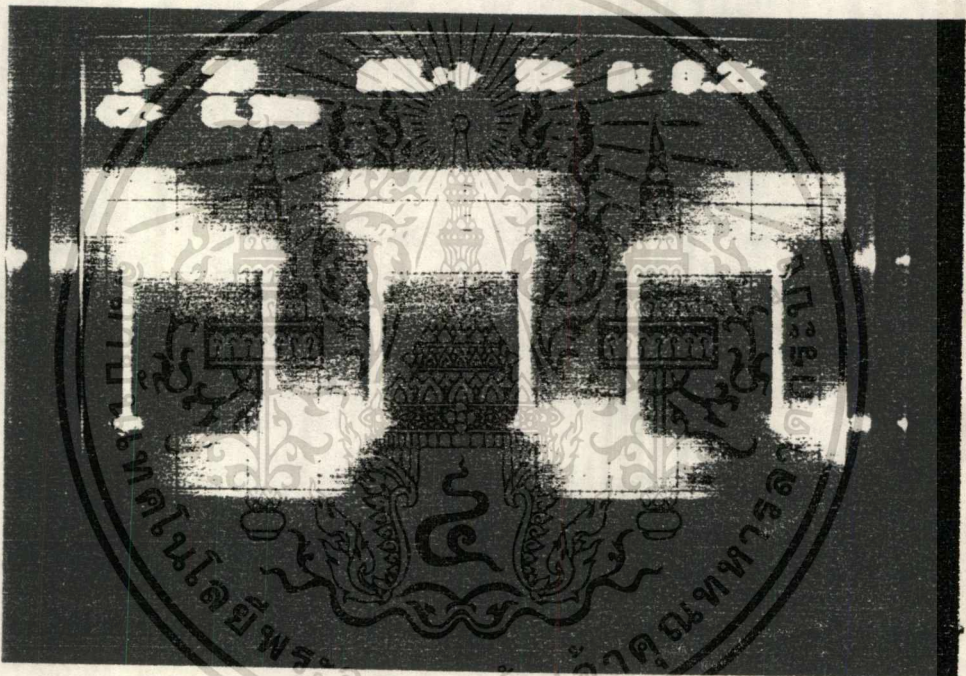
4.4c ส่วนส่งออกสัญญาณพัลส์ 6 ชุด

ส่วนส่งออกสัญญาณพัลส์ ใน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะต่อขา 6 ขานี้ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ กับไอซี อินเวอร์เตอร์ 7406 ซึ่งเป็นไอซี ทีทีแอล แบบ โอเพิลคอลเล็กเตอร์ (Open Collector) เพื่อขยายสัญญาณพัลส์ให้ส่งไปขับ เกตไดรว์ไอจีบีทีได้

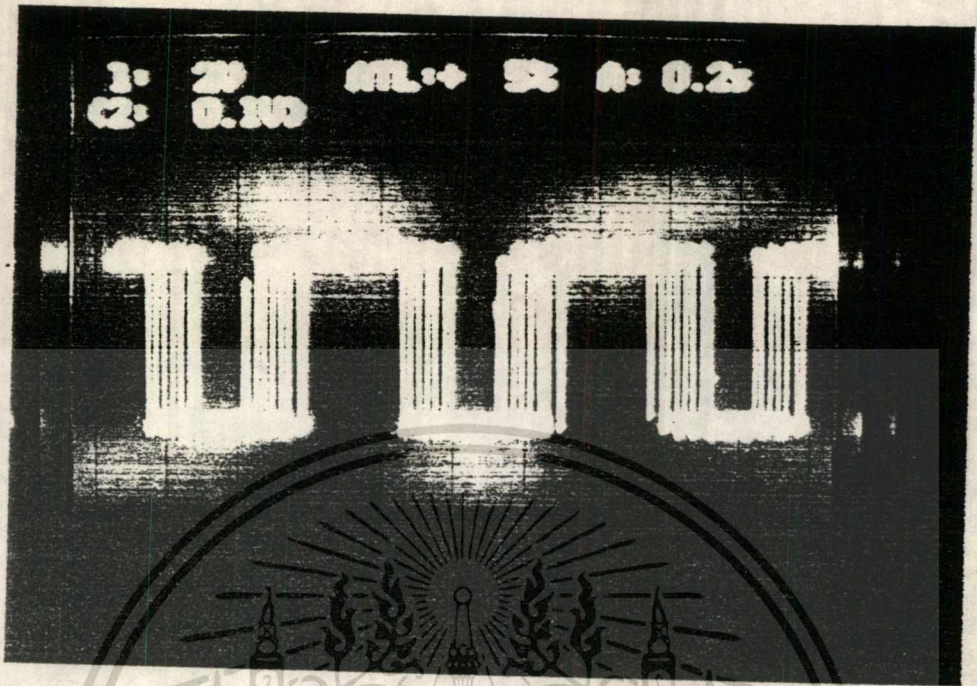
บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

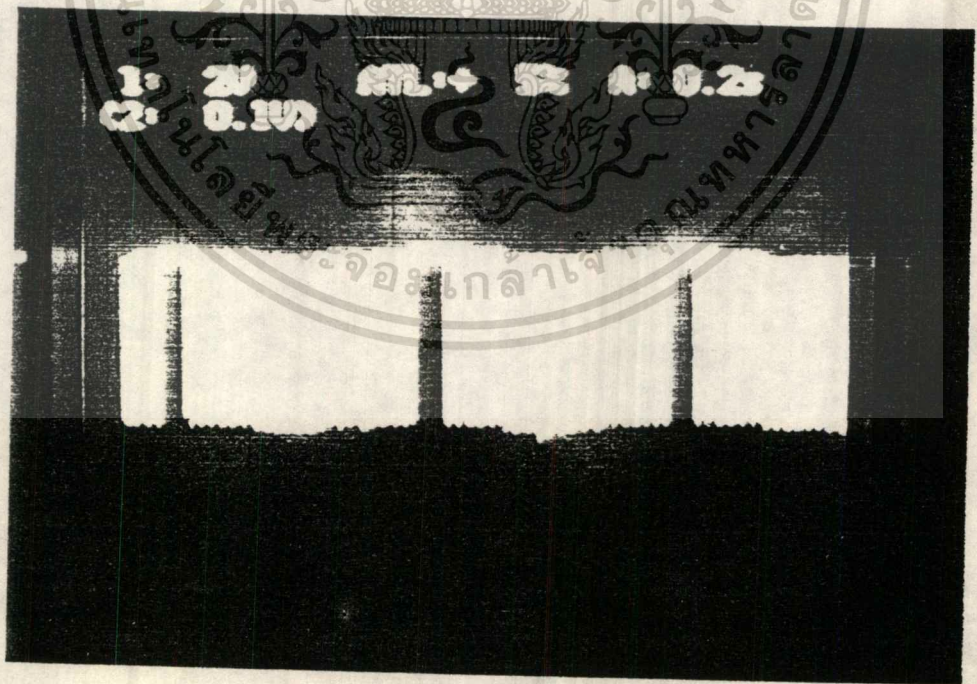
ได้ทำการทดลองขับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า แล้วได้ผลสัญญาณที่พิกัด ความถี่ต่างๆ และ พังค์ชันการทำงานต่างๆ โดยใช้ Storage scope ของภาควิชาไฟฟ้า ได้ดังนี้



รูปที่ 5.1 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 0 Hz

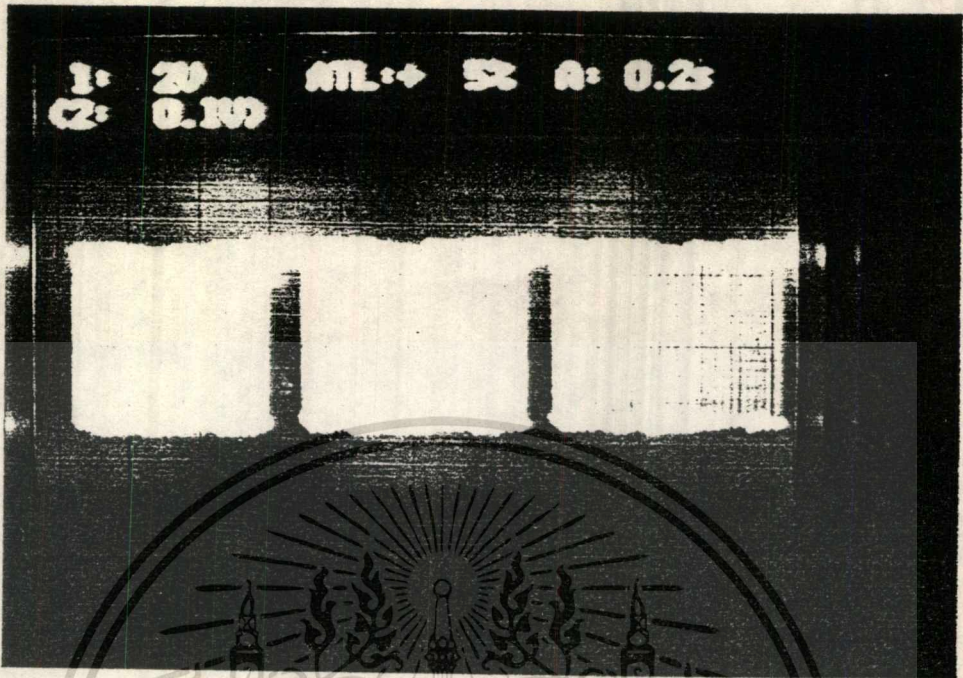


รูปที่ 5.2 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 25 Hz

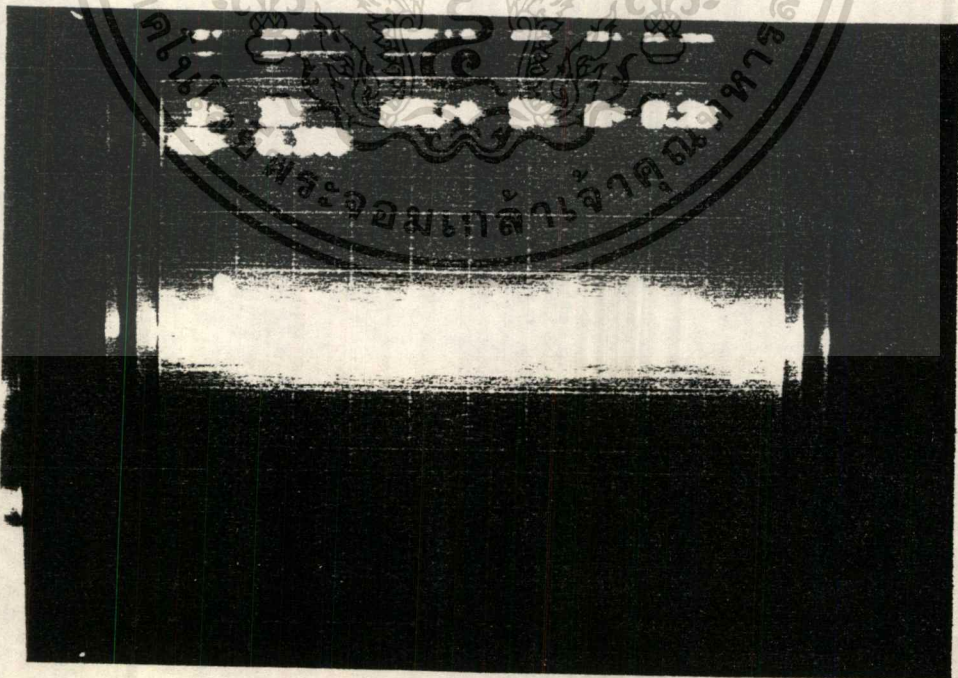


รูปที่ 5.3 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

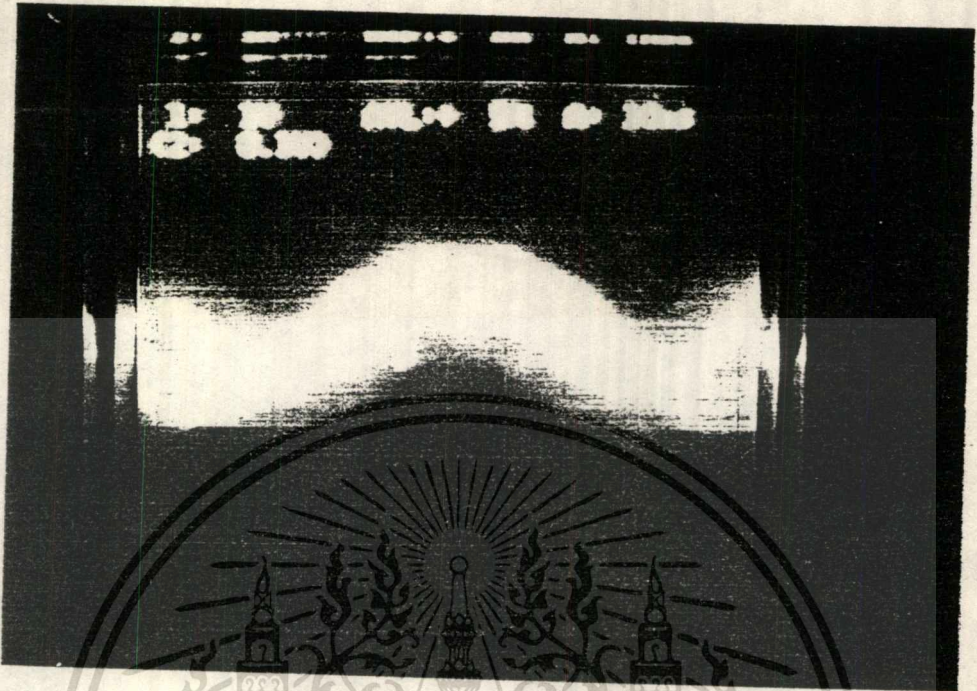


รูปที่ 5.4 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 127 Hz

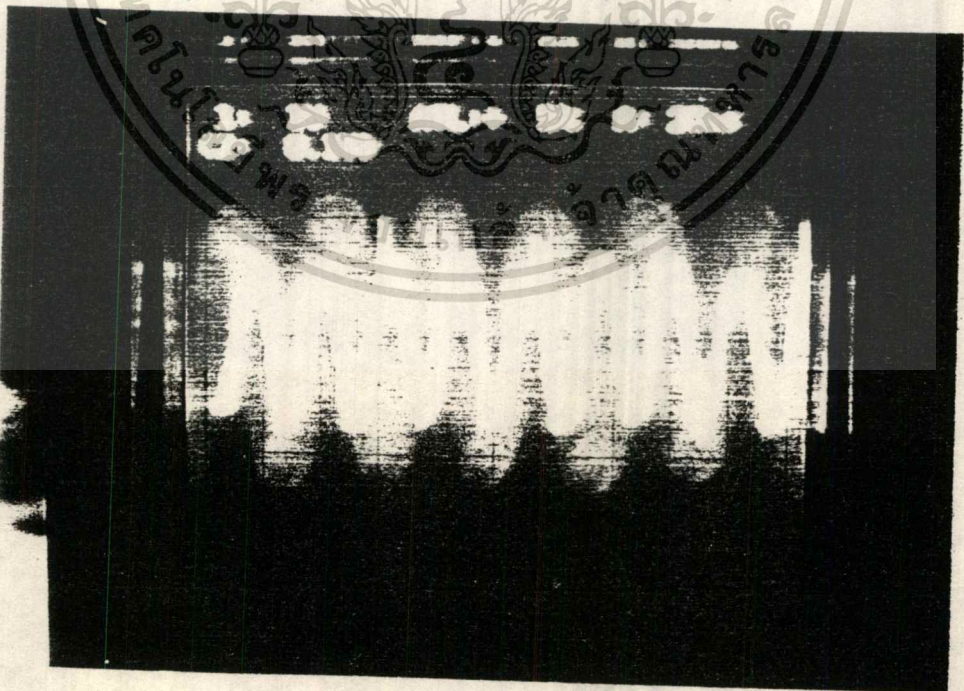


รูปที่ 5.5 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



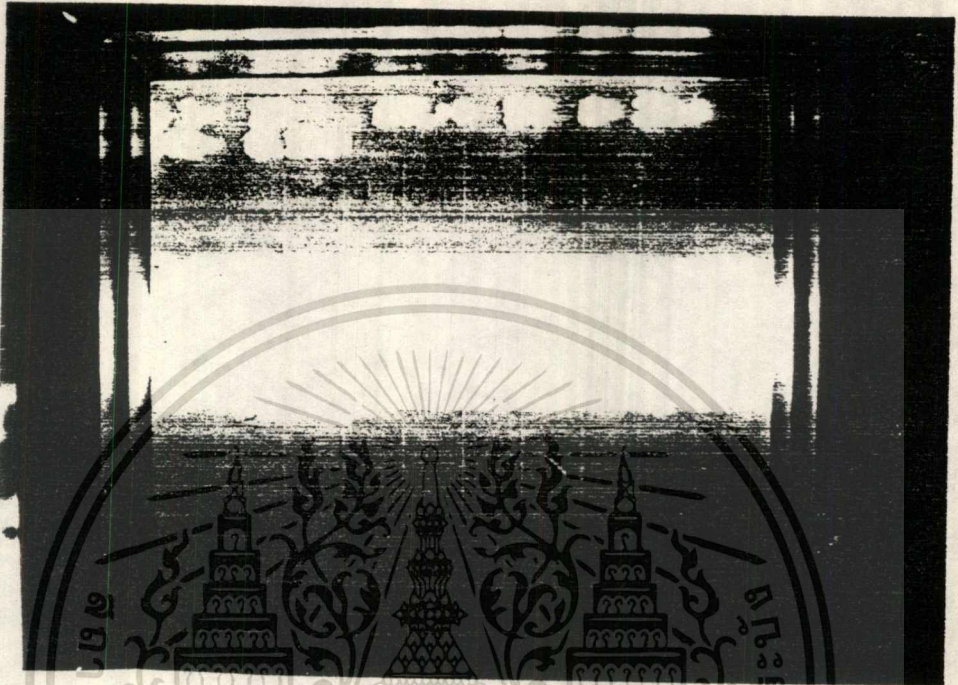
รูปที่ 5.6 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 20 Hz



รูปที่ 5.7 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 50 Hz

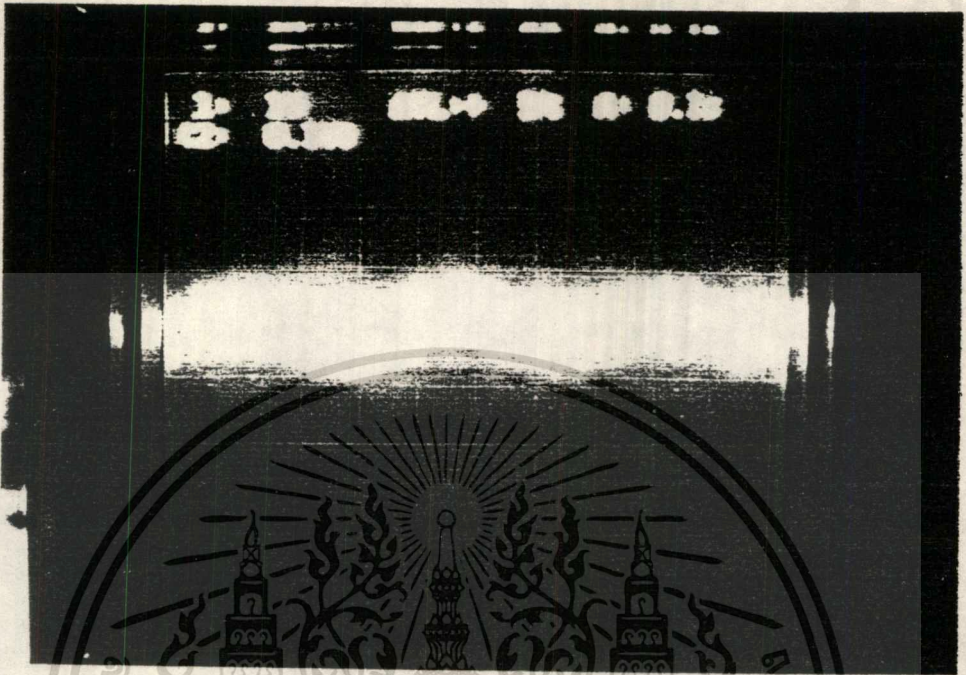
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

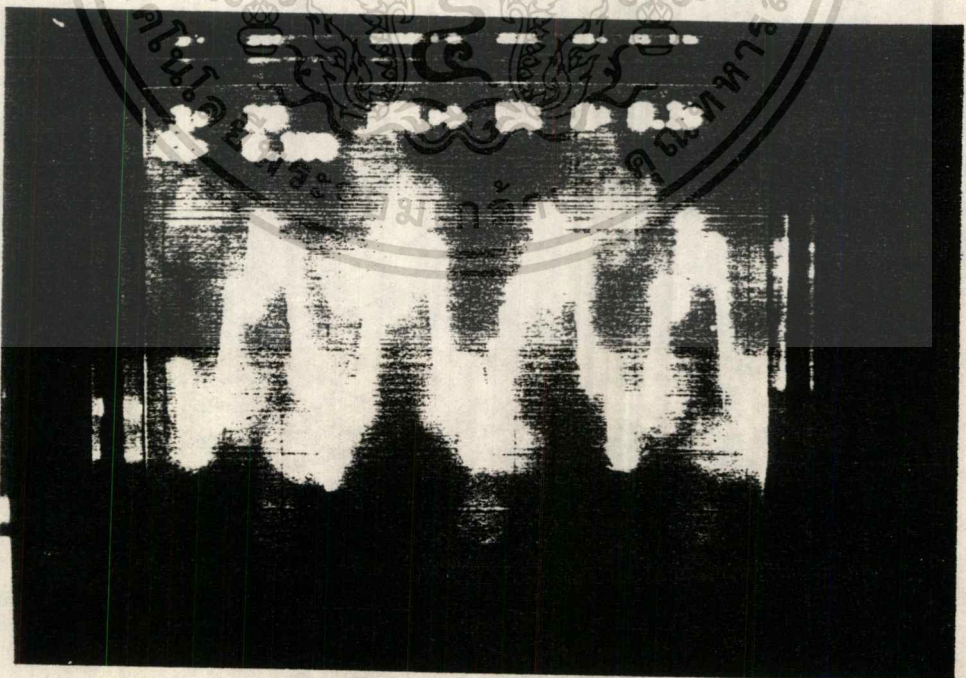


รูปที่ 5.3 เป็นรูปคลื่นกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ที่วัดมาจาก CT ที่ความถี่ 100 Hz

* หมายเหตุ จากรูปคลื่นกระแสจะเห็นได้ว่ากราฟจะมียอดแหลม เล็ก ๆ ปรากฏขึ้นบนรูปคลื่นซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงตัวนำกระแส จาก IGBT เป็น ไดโอด (หรือกลับกัน) ช่วงนี้แรงดันจะตกลง แต่กระแสจะต่อเนื่อง เนื่องจากโหลดเป็นมอเตอร์ ดังนั้นจึงต้องมีการเสริมแรงดันเข้ามาช่วยทำให้ สัญญาณ \sin ที่ได้ต่อเนื่องมากขึ้น ซึ่งวิธีการปรับปรุงนี้จะได้อธิบายไว้ภายหลัง

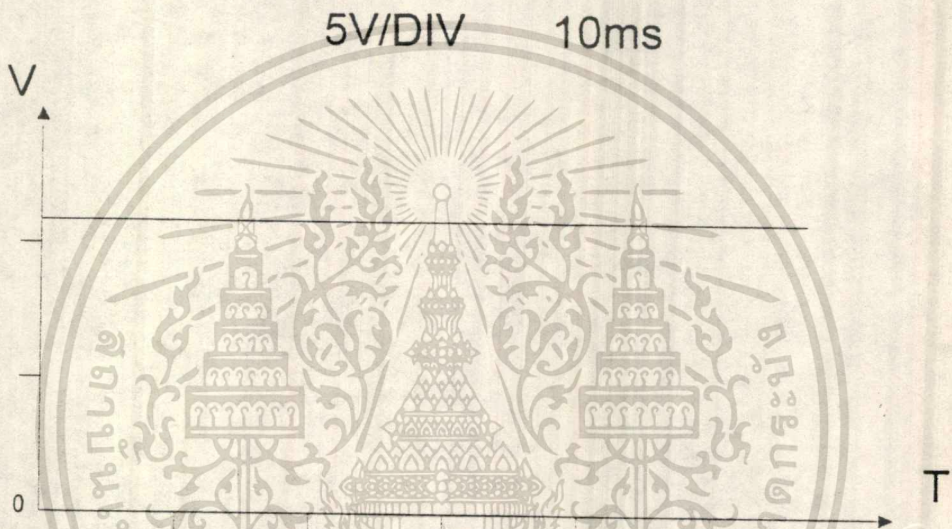


รูป 5.9 เป็นรูปสัญญาณกระแสที่ความถี่ 5 Hz โดยมีการเพิ่มแรงบิดเริ่มต้น ที่ 15%



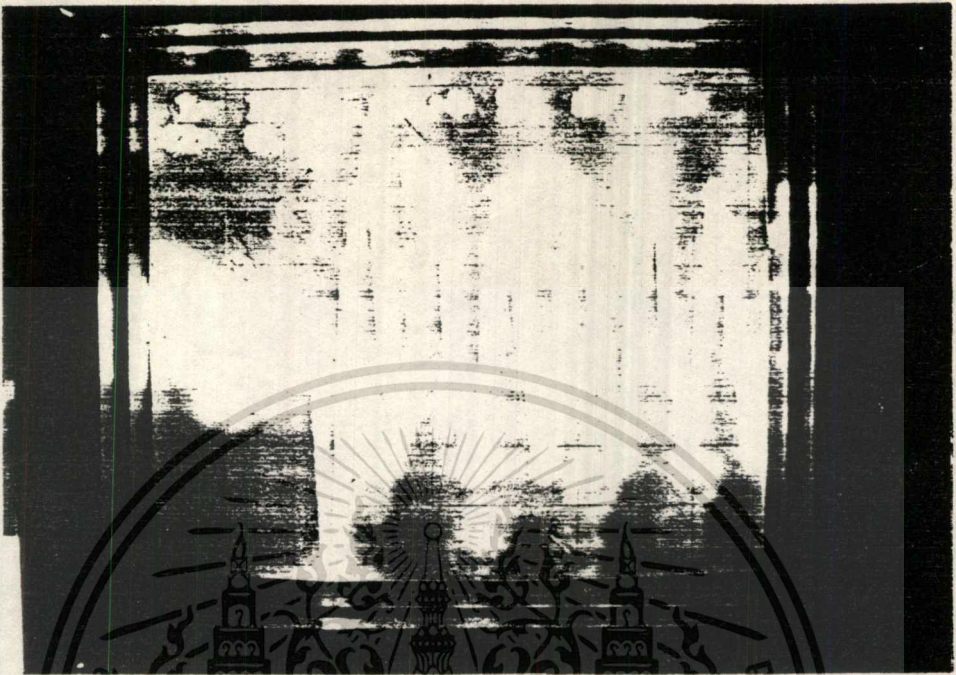
รูปที่ 5.10 เป็นรูปสัญญาณกระแสที่ความถี่ 5 Hz โดยมีการเพิ่มแรงบิดเริ่มต้น ที่ 28% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่ายิ่งเพิ่มแรงบิดมาก ๆ (เพิ่มแรงดันสูงขึ้น) จะทำให้ผลของการเปลี่ยนช่วงการนำกระแสชัดเจนมากยิ่งขึ้น ทำให้มอเตอร์ที่หมุนความถี่ต่ำ ๆ ที่มีแรงบิดเริ่มต้นสูง ๆ นี้จะมีการกระตุกขณะมอเตอร์หมุน

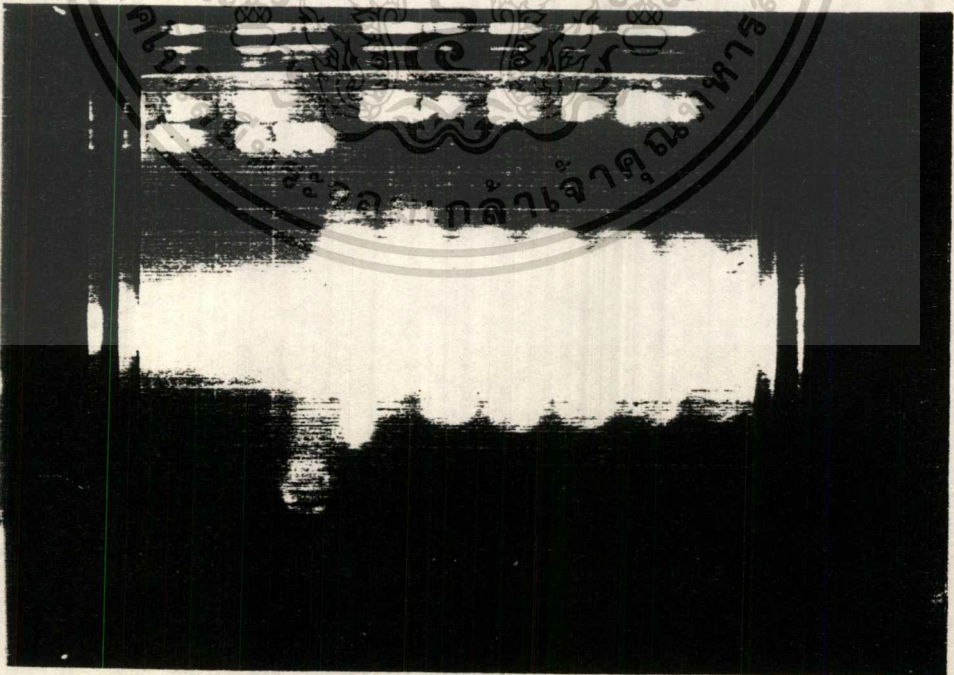


รูปที่ 5.11 เป็นรูปสัญญาณการทำเบรคกระแสตรง

การทำเบรคกระแสตรง (DC BREAK) คือการใส่แรงดันกระแสตรงเข้าไปที่ขั้วของมอเตอร์โดยตรง เพื่อให้มีการลัดโรเตอร์เอาไว้ด้วยแรงค่านึง แต่การทำเช่นนี้ควรทำเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เนื่องจากความร้อน ของขดลวดจะเพิ่มมากขึ้น อยู่ตลอดเวลา



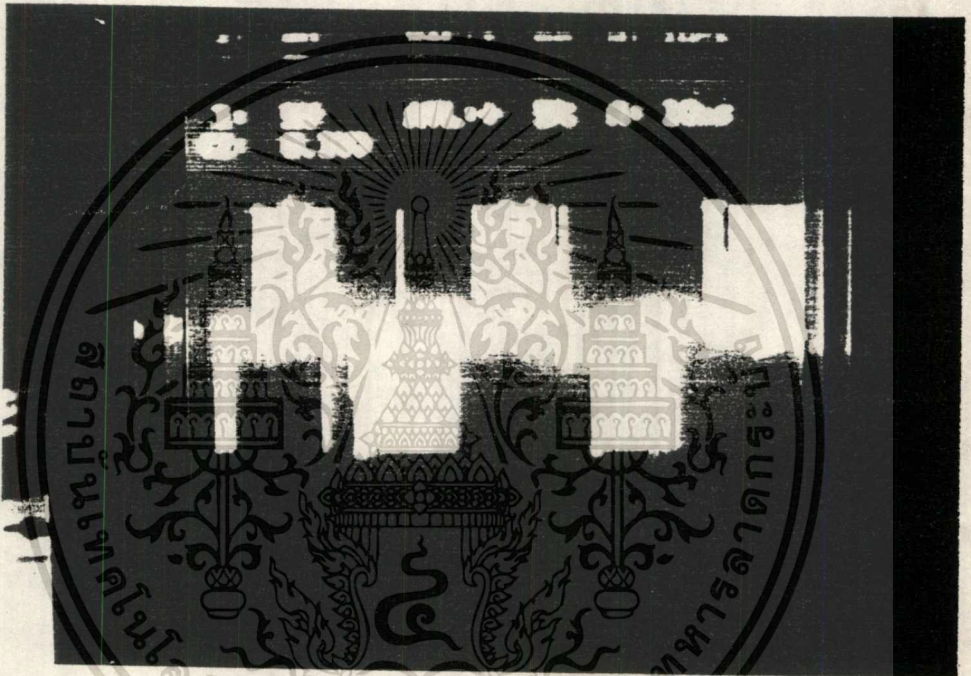
รูปที่ 5.12 เป็นรูปของกระแสมอเตอร์ขณะกลับทางหมุนที่ความถี่ 20 Hz



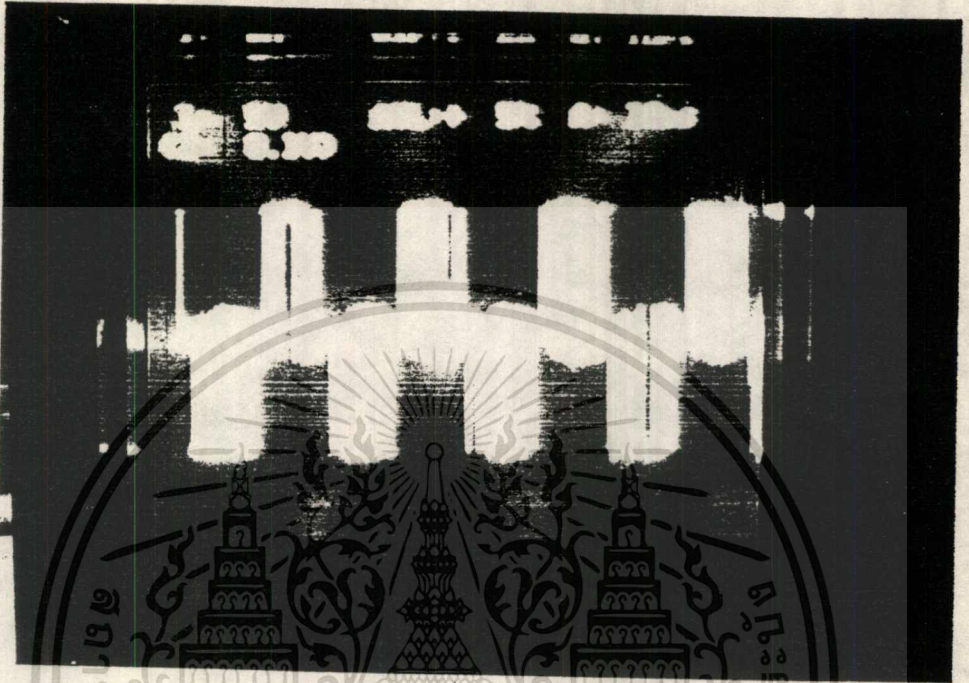
รูปที่ 5.13 เป็นรูปของกระแสมอเตอร์ขณะกลับทางหมุนที่ความถี่ 30 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

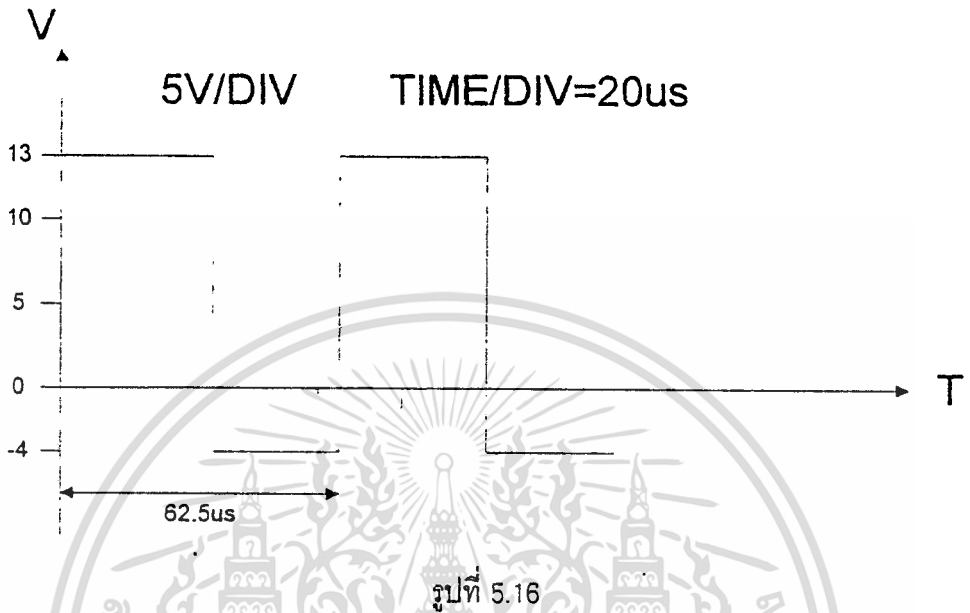
จะเห็นว่ายิ่งความถี่สูงขึ้นกระแสขณะกลับทางหมุนจะสวิตเป็นช่วงกว้างมากขึ้น เป็นผลให้ วงจรกระแสเกิน (over current) ทำการตัดวงจร (ค่าความถี่สูงสุดที่สามารถกลับทางหมุนได้นั้น จะขึ้นกับขนาดของมอเตอร์ด้วย)



รูปที่ 5.14 เป็นรูปแรงดันที่ขั้วมอเตอร์ที่มีความถี่ 30 Hz



รูปที่ 5.15 เป็นรูปแรงดันที่ข้ามมอเตอร์ที่มีความถี่ 50 Hz
รูปแรงดันที่ข้ามมอเตอร์ที่มีความถี่ 30 , 50 Hz นั้นแรงดันที่ได้จะเป็น รูป พัลส์ที่ซี่ อยู่บน
แรงดันขายนซ์ของมอเตอร์ ($V_{dc}/2$)



รูปที่ 5.16

รูป 5.16 คือรูปของสัญญาณที่ออกจากชุด ขับเกต (base drive IGBT) ให้แรงดันอยู่ในช่วง +13 โวลต์ , -5 โวลต์ ช่วงกระแสที่มาจาก gate drive นี้จะได้ประจุที่สะสมใน รอยต่อ เกต อิมิตเตอร์ เพื่อช่วยลดเวลาการ เปิด-ปิด เกต ของ IGBT

บทที่ 6

บทสรุปโครงการ อินเวอร์เตอร์

จากวัตถุประสงค์เริ่มต้นทำโครงการนี้ เพื่อสร้างอินเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ ได้ตามต้องการ และสามารถหยุดการหมุนมอเตอร์ไว้ด้วยแรงค้ำหนึ่ง โดยชิ้นงานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ก็สามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ตามที่ได้ตั้งไว้ พิกัดมอเตอร์ที่ อินเวอร์เตอร์สามารถขับได้สูงสุดอยู่ที่ 1.5 kW ความเร็วสูงสุดที่ที่ขับมอเตอร์ ขนาด 4 โพล คือ 3810 รอบต่อนาที

6.1 ข้อได้ติของอินเวอร์เตอร์ที่ทำนี้

6.1.1 เนื่องจากใช้ความถี่ในการสวิตซิ่งสูงจึงทำให้ไม่มีเสียงรบกวน

6.1.2 หน่วยประมวลผลมีขนาด 16 บิตดาต้าบัส ใช้คาบการทำงาน 125 นาโนวินาที ดังนั้นทำให้การ ประมวลผล ทำได้เร็ว จึงสามารถทำคำสั่งได้มากกว่าในช่วงเวลาที่เท่ากัน (เทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาด 8 บิต)

6.1.3 การสร้างสัญญาณพัลลวดมอดูเลชั่น เกิดจากการประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผล จึงดีกว่าวิธีการสร้าง สัญญาณด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสามารถหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนได้

6.1.4 การมีไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะ สามารถขยายความสามารถการทำงาน ออกไปได้อีกและสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการดิสทริบิวชั่น ได้อีกด้วย

6.1.5 ส่วนวงจรกำลัง ใช้ไอซีบีทีชนิดที่สร้างขึ้นมาสสำหรับ อินเวอร์เตอร์โดยเฉพาะ สามารถสวิตซิ่งที่ความถี่ สูงและทนกระแสได้สูงอีกด้วย

6.1.6 ขนาดของชิ้นงานรวม มีขนาดเล็กมาก

6.1.7 มีฟังก์ชันการทำงานที่ครบตามที่ใช้ในอุตสาหกรรมเช่น การตั้งเวลาเร่ง-ลด , ปรับความเร็ว , ความถี่เบรค ฯลฯ

6.2 ปัญหาในระหว่างการทำโครงการนี้

6.2.1 ด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผู้ร่วมงานไม่มีประสบการณ์ในการต่อวงจรมาก่อน จึงทำให้ในช่วงเริ่มต้นมีปัญหาอยู่บ้าง แต่ก็สามารถแก้ไขให้ลุล่วงไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ด้านการเขียนโปรแกรม เนื่องจากผู้ร่วมงานไม่เคยสร้างวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และเขียนโปรแกรมควบคุมจริงมาก่อน ประกอบกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ นี้ ไม่มีชุดคิท สำเร็จรูป หรือข้อมูลรายละเอียดจากท้องตลาด ทำให้ผู้ร่วมงานต้องเริ่มศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล ใหม่หมด ตั้งแต่เขียนลายวงจร สร้างปริ้นท์ จนถึงการผลิตลงใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ ที่มีในไมโคร คอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ ทำให้ต้องเสียเวลาใน ช่วงเริ่มต้นอย่างมาก

6.2.3 ชิ้นงานที่ใช้มีราคาแพงทำให้ต้องใช้เงินทุนมาก ทำให้การซื้ออุปกรณ์เป็นไปด้วย ความล่าช้า

6.3 สิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับโครงการนี้

6.3.1 ควรมีวงจรรีเจนเนอเรทีฟ เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้งานได้สมบูรณ์ขึ้น

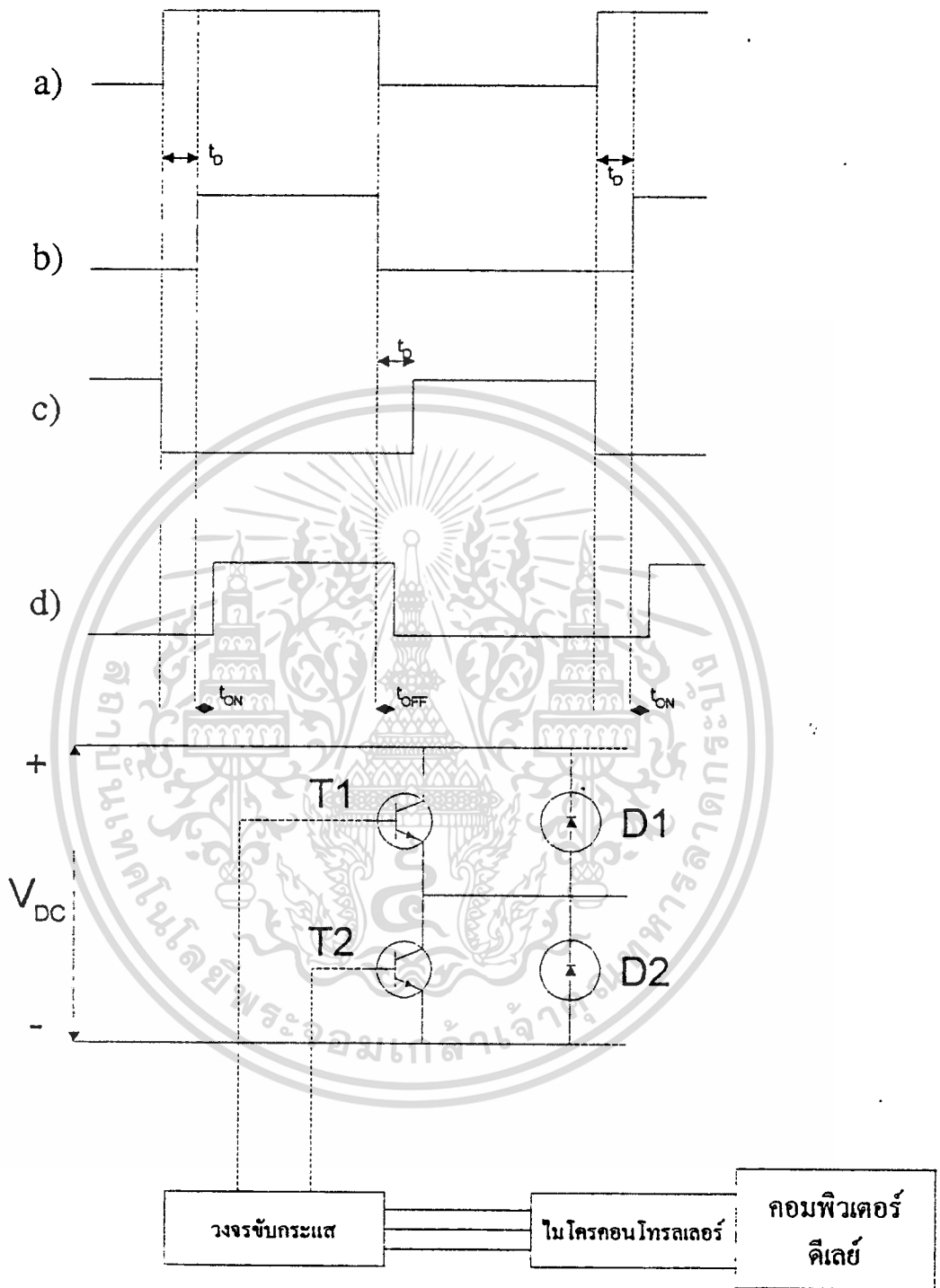
6.3.2 โปรแกรม ซดเซย เดดไทม์ จะช่วยแก้ปัญหาค่าการเดินไม่เรียบของมอเตอร์ที่ความถี่ต่ำ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังมีได้สร้างขึ้น แต่ได้ทำการศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

6.4 ปัญหาจากผลของการผิดเพี้ยน (distortion) ของกราฟกระแสที่ความถี่ต่ำ

เนื่องจากสภาพความเป็นจริงของอุปกรณ์จำพวกสวิตท้อิเลคทรอนิกมีขีดจำกัดในด้าน ความเร็ว และ ความแม่นยำในการเปิด - ปิด (on - off) ได้สนิท เมื่ออุปกรณ์ได้รับสัญญาณควบคุมให้ เปิด - ปิด เข้ามา หรือที่เรียกว่า ดีไวซ์ สตอลเลจ ไทม์ (device storage time) ด้วยเหตุนี้ทำให้เราไม่สามารถทำให้ T1 และ T2 เปิด - ปิด สลับกันได้ทันที เพราะจะทำให้เกิดปัญหา ช็อตทรู (short-through) ขึ้นในระบบ อันจะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ใน อินเวอร์เตอร์ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาเช่นนี้

โดยทั่วไปแล้วใน อินเวอร์เตอร์ จะต้องมีกรรเมื่อเวลาช่วงหนึ่งเพื่อให้ ไอจีบีที ตัวหนึ่ง ปิด (off) สนิทเสียก่อน จึงยอมให้ ไอจีบีที อีกตัวหนึ่ง เริ่ม เปิดได้ ช่วงเวลาที่เรานี้เพื่อสำหรับความปลอดภัย เราเรียกว่า เดดไทม์ (Dead time)

ชิ้นงานในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้ โปรแกรมใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่วย ในการสร้าง เดดไทม์ ขึ้นมา ปัญหาที่เกิดตามจาก เดดไทม์ จะทำให้แรงดันที่โหลดได้รับจะผิดเพี้ยนจากสัญญาณ สเปซเวกเตอร์พัลลวิตมอดูเลชัน ที่สร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ นั่นคือเกิด การลดทอน สัญญาณ (waveform distortions) ซึ่งจะมีผลกระทบมากในช่วงที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการ สร้างสัญญาณสเปซเวกเตอร์ พัลลวิตมอดูเลชันที่ ความถี่ต่ำ



รูป 6.1a รูปกราฟสัญญาณพัลลวดิตมอดูเลต

รูป 6.1b สัญญาณลอจิก สำหรับ T1

รูป 6.1c สัญญาณลอจิก สำหรับ T2

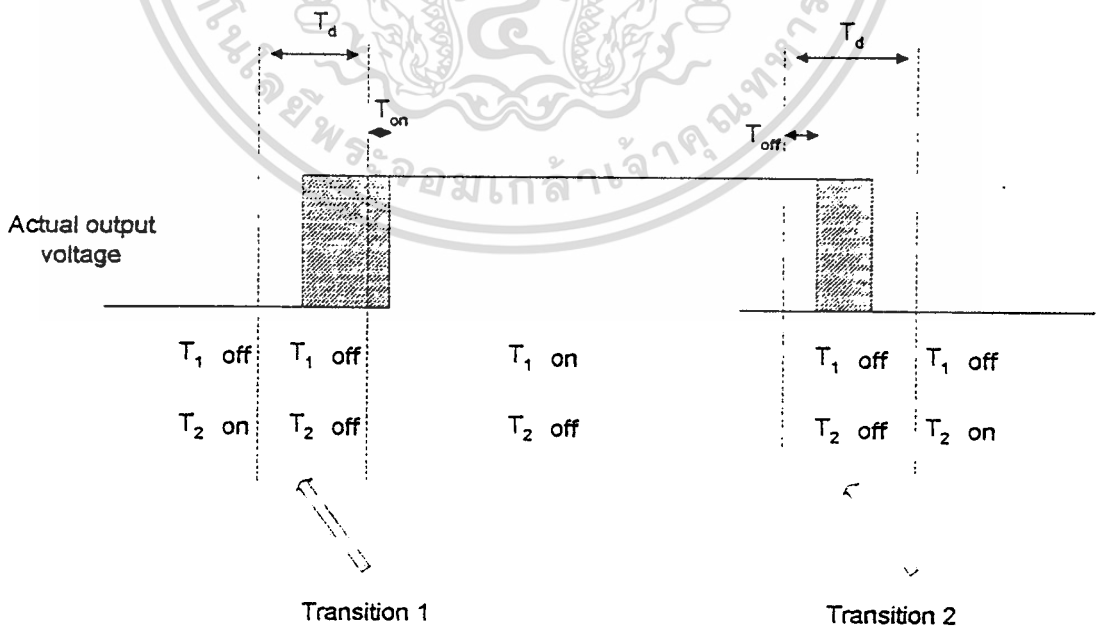
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 6.1d รูปกราฟแรงดันเอาต์พุตจริง

จากรูปไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่สร้างสเปซเวคเตอร์ดังรูป 6.1a) ซึ่งสัญญาณพัลด์วิตนี้จะถูกส่ง เข้าวงจรหมว่งเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมการ ปิด T1 และ T2 ให้ปลอดภัยโดยมีเดดไทม์เท่ากับ t_d ดังรูป 6.1b) และ 6.1c) ตามลำดับ และสัญญาณเหล่านี้จะถูกเข้าวงจร ขั้วเบสเพื่อขับการ ปิด-เปิด T₁ และ T₂ ส่วนรูป 6.1d) แสดงรูปคลื่นของแรงดันขาออกที่เกิดขึ้นจริง เปรียบเทียบ รูป 6.1a) กับ รูป 6.1d)เราจะเห็นได้ว่า รูปคลื่นแรงดันขาออกจริง ที่ได้มีความกว้างการเปิด ไม่เท่ากับสัญญาณที่ได้จาก ส่วนประมวลผลทำให้แรงดันที่กลับเฟส จ่ายโหลดไม่เป็นรูปคลื่นพัลวิตมอดูเลตชั้น ที่สมบูรณ์ กล่าวคือเกิด การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นขึ้น และ แรงดันตก

หมายเหตุ

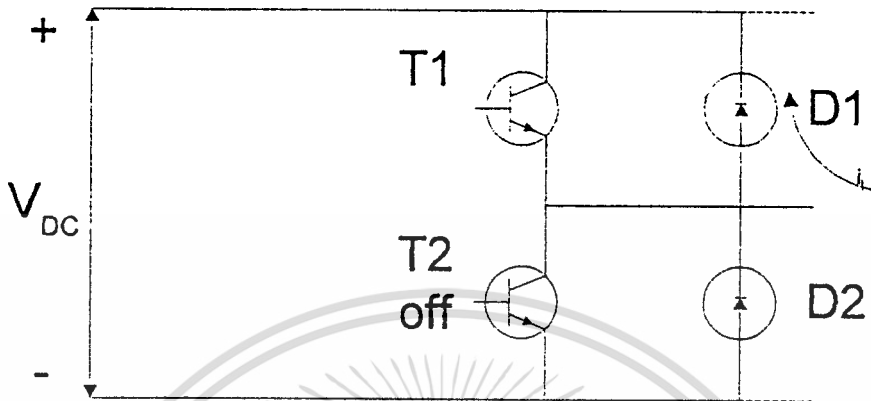
ในกรณีของโหลดเหนี่ยวนำ รูปคลื่นแรงดันที่แท้จริง ที่ได้อาจจะแตกต่างจากรูป 6.1d) โดยทั้งนี้ส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงสภาวะจะขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสโหลดดังรูปต่อไปนี้



รูป 6.2 รูปกราฟการชดเชยแรงดันของสัญญาณพัลวิตมอดูเลตชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

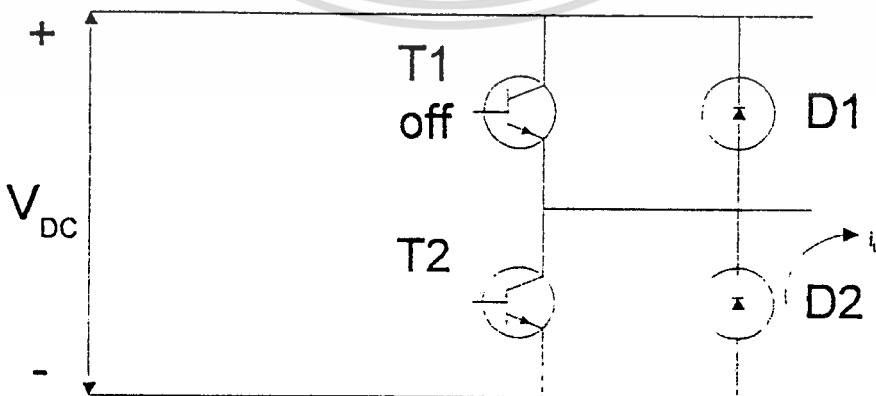
ช่วง สภาวะที่ 1 ($i_f < 0$)



รูป 6.3 ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 1

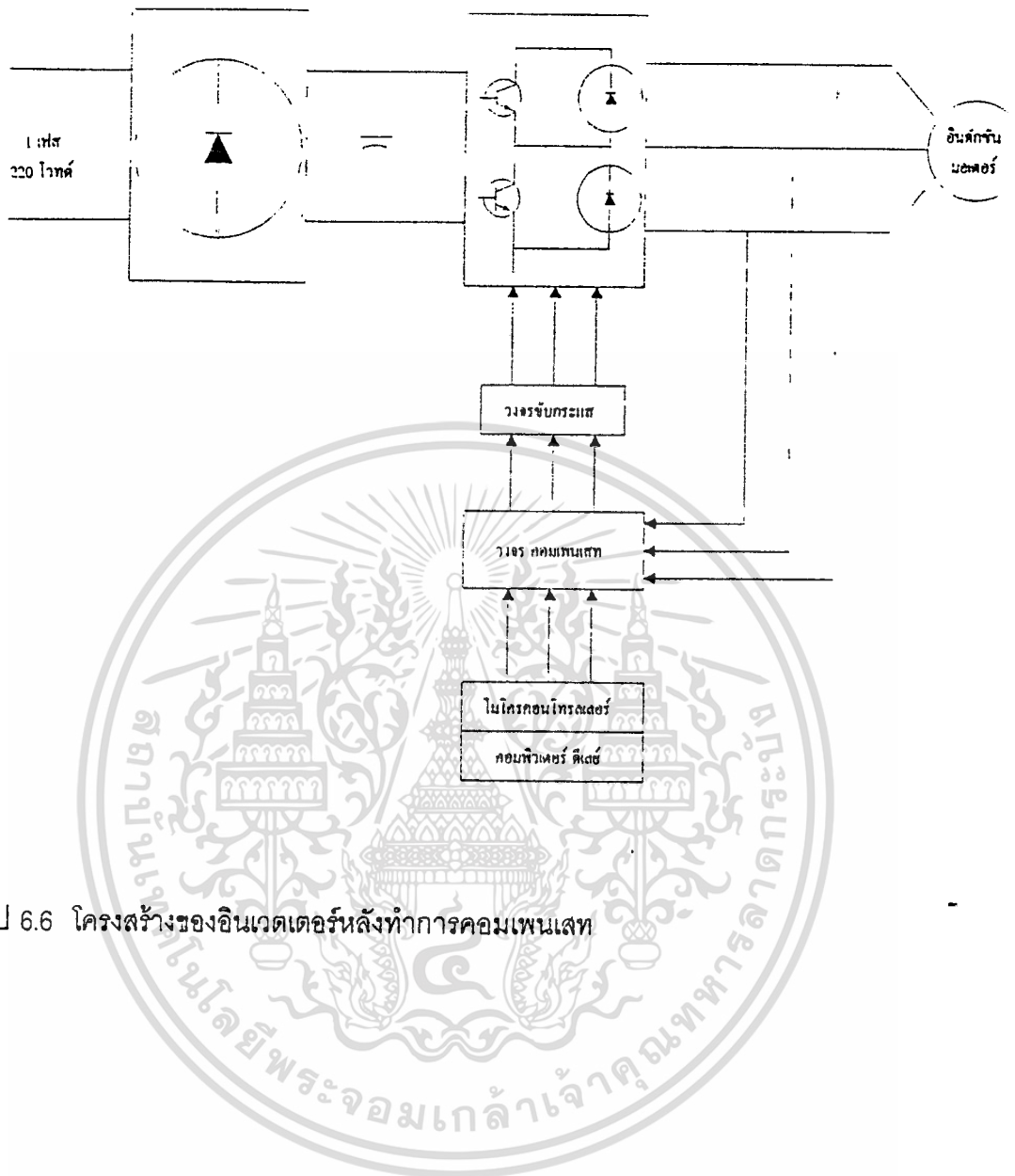
ในช่วงขณะนี้ ขณะที่ T_2 กำลัง ปิด กระแสไหลจะเปลี่ยนทางการไหลจากไหลผ่าน T_2 มาเป็นการไหลจากไหลผ่านเข้า ฟรียิ่งริงไดโอด (freewheeling diode) D_1 เนื่องจากกระแสไหลเป็นกระแส ต่อเนื่องจึงทำให้ระดับแรงดันที่จุด a เปลี่ยนเป็นระดับ สูง ขึ้นก่อนที่ T_1 จะถูกสั่งให้ เปิด จริง ๆ

ช่วง สภาวะที่ 2



รูป 6.4 ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 6.6 โครงสร้างของอินเวอเตอร์หลังทำการคอมเพนเสท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 96

ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96 เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาถัดมาจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 48 และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 51 ซึ่งเมื่อดูจากโครงสร้างคร่าว ๆ แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96 มีลักษณะคล้าย MCS-48 แต่ได้ขยายและปรับปรุงส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ใช้งานได้ดีกว่าเดิมมาก โดยมีส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นดังนี้

ก.1 ระบบบัสและรีจิสเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96 ได้ขยายระบบบัสและรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณให้เป็นแบบ 16 บิต เพื่อประสิทธิภาพโดยรวมให้ดีขึ้น มี รีจิสเตอร์ ไฟล์ (Register file) ซึ่งเป็น แรมขนาด 232 ไบต์ ซึ่งอำนวยความสะดวกมากมาย

ก.2 ส่วนคำสั่ง

มีวงจร ฮาร์ดแวร์การคูณและหารทำให้คำนวณได้เร็ว และละเอียด โดยสามารถคูณเลขขนาด 16 บิต กับ 16 บิต ได้ 1 ล้านครั้งภายในเวลาเพียง 6.5 ไมโครวินาที

ก.3 พอร์ต

มีจำนวนพอร์ตเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีพอร์ตความเร็วสูง ที่ใช้ในการวัดหรือสร้างพัลส์ที่มีความละเอียด อีกทั้งยังมี พอร์ตอนุาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งเป็น พอร์ตอินพุต รับค่าอนุาลอกได้โดยตรงได้

ก.4 วงจร Watchdog

คอยเช็คการทำงานของระบบเมื่อเกิดการแองก์ขึ้น

ก.5 หน่วยความจำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96 เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 16 บิต ที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพในเรื่องการอ้างแอดเดรสโดยอ้างแอดเดรสได้ถึง 64 กิโลไบต์ โดยใช้ขาแอดเดรสของแรมและรอมเดียวกัน โดยจะแสดงส่วนต่าง ๆ ของหน่วยความจำได้ดังรูปข้างล่าง

65535	หน่วยความจำ ภายนอก หรือ I/O	FFFFH
16384	หน่วยความจำเก็บ โปรแกรมภายในชิพ	4000H 3FFFH
8320	รหัสสำหรับโรงงาน	2080H 207FH
8210	เวกเตอร์อินเตอร์รัพต์	2012H 2011H
8192	พอร์ต 4 พอร์ต 3	2000H 1FFFH
8190	หน่วยความจำ ภายนอก หรือ I/O	1FFEh 1FF0H
256	หน่วยความจำภายใน รีจิสเตอร์ไฟล์ สแต็คพอยน์เตอร์ ฟังก์ชันรีจิสเตอร์พิเศษ (เมื่อใช้แบบข้อมุล)	0100H 00FFH
255		
00		0000H

255	หน่วยความจำภายนอก ที่ส่งงานไว้สำหรับชุด พัฒนาระบบของอินเทล	00
-----	--	----

รูป 1 พื้นที่หน่วยความจำของ ไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น 96

พื้นที่ของหน่วยความจำจาก 0000H - 00FFH เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำแรมที่อยู่ภายในชิพ โดยสามารถอ้างอิงได้โดยตรง ซึ่งเราจะใช้ประโยชน์จากหน่วยความจำส่วนนี้มากเป็นพิเศษ แบ่ง เป็น รีจิสเตอร์ สองชนิดคือ

1. รีจิสเตอร์ไฟล์ (Register file) เป็น รีจิสเตอร์ ที่เรากำหนดขึ้นได้ เอง และสามารถอ้างอิงได้โดยตรง เหมือนกับเป็น แอ็กคัมมูลเตอร์ (Accumulator) 232ไบต์
2. รีจิสเตอร์พิเศษ (SpecialRegister file) เป็นที่อยู่ของรีจิสเตอร์ พิเศษ (ตำแหน่ง 00H - 17 H) ที่ ไมโครคอนโทรเลอร์ ใช้ติดต่อกับส่วนต่าง ๆ ของมัน เช่น อินเตอร์รัพต์ต่าง ๆ (INT_MASK , INT_PEND)

พื้นที่ของหน่วยความจำจาก 0100H - 01FFH สามารถอ้างอิงได้แบบโดยอ้อม (Indirect) เท่านั้น

พื้นที่ของหน่วยความจำจาก 01F00H - 01FFFH เป็นรีจิสเตอร์พิเศษอีกชุดหนึ่ง

พื้นที่ของหน่วยความจำจาก 02000H - 02013H และ 02030H - 0203FH เป็นอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์ของ อินเตอร์รัพต์ต่าง ๆ

พื้นที่ของหน่วยความจำจาก 02080H - 0FFFFH เป็นส่วนเก็บตัวโปรแกรมทั้งหมด

ก.6 การใช้งานคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96

ชุดคำสั่งของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96 จะประกอบด้วยกลุ่มคำสั่งทางด้านคณิตศาสตร์ และลอจิก โดยมี ไอเปอร์แรนด์เป็นได้หลายแบบ คือ

1. ข้อมูล 8 บิต แบ่งเป็นแบบ

1.1 แบบไม่คิดเครื่องหมาย (แบบไบต์)

นั่นคือจะมีช่วงตั้งแต่ 0-255

1.2 แบบคิดเครื่องหมาย (แบบชอร์ตอินทิเชอร์ [Short Integer])

นั่นคือจะมีช่วงข้อมูลตั้งแต่ -128 ถึง 127

2. ข้อมูล 16 บิต แบ่งเป็นแบบ

2.1 แบบไม่คิดเครื่องหมาย (แบบเวิร์ด [Word])

นั่นคือจะมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 65535

2.2 แบบคิดเครื่องหมาย (แบบอินทิเชอร์ [Integer])

นั่นคือจะมีช่วงข้อมูลตั้งแต่ -32768 ถึง 32767

3. ข้อมูล 32 บิต แบ่งเป็นแบบ

3.1 แบบไม่คิดเครื่องหมาย (แบบดับเบิลเวิร์ด [Dobble Word])

นั่นคือ จะมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 4,294,967,295

3.2 แบบคิดเครื่องหมาย (แบบลองอินทิเชอร์ [Long Integer])

นั่นคือจะมีช่วงข้อมูลตั้งแต่ -2,147,483,648 ถึง 2,147,483,647

ซึ่งข้อมูลแบบ 32 บิต นั้นอาจเกิดจาก การคูณ เลข 16 บิต กับ 16 บิต หรือหารเลข 32 บิต กับ 16 บิต (ได้ ทศนิยม 16 บิต กับ จำนวนเต็ม 16 บิต)

การใช้งานคำสั่งของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96 ใช้ได้สะดวกมาก ไม่ต้องผูกพันกับ ตัว แออสซิลเลเตอร์ ตัวเดียวเหมือนกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 51 หรือ 48 เนื่องจากเราสามารถ

กำหนด รีจิสเตอร์ ใช้งานเองได้ ถึง 232 ไบต์ ที่เปรียบเสมือน แออสซิลเลเตอร์ 232 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น MUL A,B,C คือ ใช้ รีจิสเตอร์ B คูณ C (ขนาด 16 บิต) แล้วเก็บไว้ใน
รีจิสเตอร์ A ขนาด 32 บิต ได้ผลลัพธ์ เป็น รีจิสเตอร์ A (ดับเบิลเวิร์ด)

DIVB X,Y คือ ใช้ รีจิสเตอร์ X (ขนาด 16 บิต) หาร รีจิสเตอร์ Y
(ขนาด 8 บิต) ได้ผลลัพธ์เป็นเวิร์ดที่เก็บทศนิยม 8 บิต และ จำนวนเต็ม 8 บิต

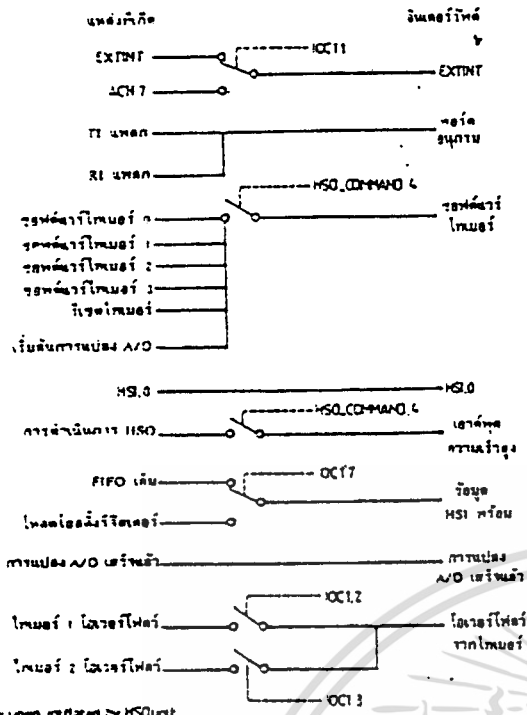
MULU Z,C,X คือ ใช้ รีจิสเตอร์ C (ขนาด 16 บิต [อินทิเชอร์]) คูณกับ
รีจิสเตอร์ X (ขนาด 16 บิต [อินทิเชอร์]) ได้ผลลัพธ์เป็น รีจิสเตอร์ Z
(ขนาด 32 บิต [ลองอินท่าเชอร์])

นอกจากนี้ เรายังสามารถสร้างเงื่อนไขได้อีกมากมายหลายรูปแบบ โดยใช้คำสั่ง จัมป์ (Jump)
ต่าง ๆ เช่น จัมป์เมื่อ เกิดเครื่องหมายลบ หรือจัมป์เมื่อเกิด ศูนย์

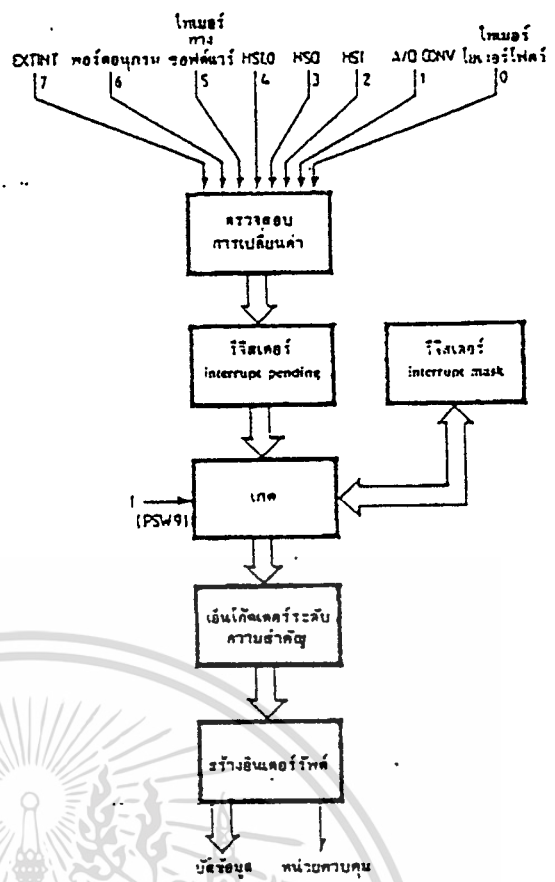
ก.7 โครงสร้างการอินเทอร์พท์

ไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น 96 ได้รับการออกแบบมาไว้ใช้กับงานควบคุม ดังนั้นจึงมีแหล่งของการ
อินเทอร์พท์ ได้หลายทาง โดย การอินเทอร์พท์ จะทำการชี้ไปกระทำที่แอดเดรสของหน่วยความ
จำ (ของช่วงโปรแกรมอินเทอร์พท์ ที่เราสร้างขึ้น) โดยอาศัยอินเทอร์พท์เวกเตอร์ที่จะเก็บ แอดเด
รสเริ่มต้น (ของช่วงโปรแกรมดังกล่าว) ไว้

นอกจาก นี้ อินเทอร์พท์จากแหล่งต่าง ๆ นั้น เราสามารถกำหนดลำดับความสำคัญได้
เป็นระดับว่า อินเทอร์พท์ จากแหล่งใดควร ทำก่อน-หลัง เพื่อให้ การเขียนโปรแกรมได้ง่ายและ
แยกการควบคุมเหตุการณ์ได้เป็นระดับ ดังรูป



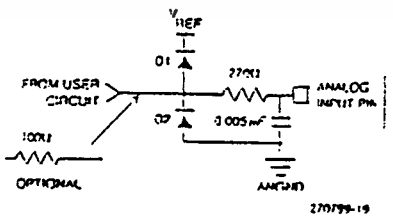
รูป 2 แหล่งกำเนิด อินเทอร์รัพต์



รูป 3 ระบบ อินเทอร์รัพต์ของ 8096

ก.8 ส่วนวงจรแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นดิจิตอล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น 96 ได้ถูกออกแบบให้มี วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล ได้ละเอียดถึง 10 บิต โดยค่าที่ได้จะมาจากค่าโดยประมาณของอัตราส่วนระหว่างสัญญาณอินพุตต่อแหล่งจ่ายไฟเปรียบเทียบกัน จึงไม่ต้องใช้วงจรแปลง อนาลอกเป็นดิจิตอลมาต่อเพิ่มภายนอกอีก แต่ควรต้อง วงจรป้องกันแรงดันสูงหรือต่ำกว่ากำหนดป้องกันไว้ดังวงจรดังรูป 4



รูปที่ 4 วงจรป้องกันต่อเพิ่มเติมภายนอกชิพ 8096

ภาคผนวก ข ข้อมูลชุดขับเคลื่อนและชุดโมดูลกำลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Introduction

The insulated gate bipolar transistor (IGBT) is increasingly being used in small, low-noise, high-performance power supplies, inverters, uninterruptable power supplies (UPS), and motor speed controls.

Fuji's Hybrid IC driver for IGBTs was developed to take full advantage of the IGBT.

2. Features

- Various series
 - Standard series: For up to 10 kHz operation
 - High-speed series: For up to 40 kHz operation
- These series cover the full range of IGBT products.
- Built-in photocoupler for high isolation voltage: 2500 AC for one minute
- Single supply operation
- Built-in overcurrent protection circuit
- Overcurrent detection output
- SIL package for high-density mounting

3. Applications

- General-purpose inverter and motor control
- Servo control
- Uninterruptable power supplies (UPS)
- Welding machines

4. Comprehensive Chart

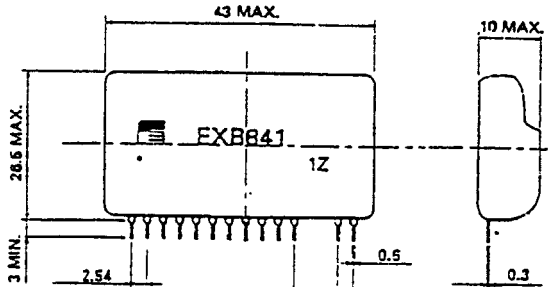
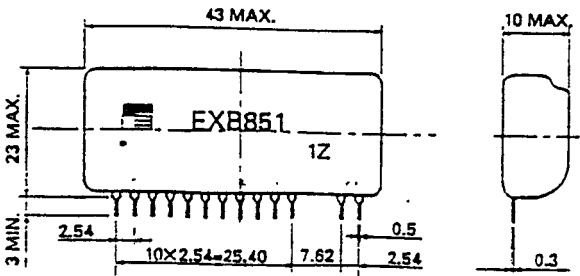
IGBT	600 V IGBT drive		1200 V IGBT drive	
	Up to 150A	Up to 400A	Up to 75A	Up to 300A
Standard type	EXB850	EXB851	EXB850	EXB851
High-speed type	EXB840	EXB841	EXB840	EXB841

Notes: 1. Standard type: Signal delay in drive circuit: Up to 4µs (max.)
 2. High-speed type: Signal delay in drive circuit: Up to 1.5µs (max.)

5. Dimensions, mm

- EXB850
- EXB840

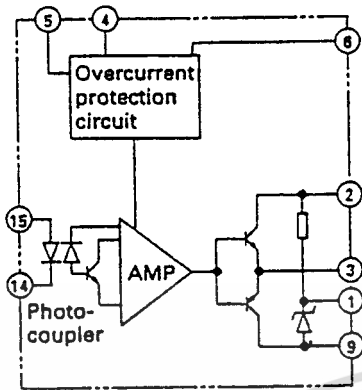
- EXB851
- EXB841



เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท Fuji Electric Co., Ltd. ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXB840, 841

Notation common to all EXB series



Pin number	Description
①	Connected to smoothing capacitor for reverse bias power supply
②	Power supply (+20 V)
③	Drive output
④	For connecting an external capacitor to protect against malfunction of the overcurrent protection circuit. (The capacitor is not needed in most cases.)
⑤	Overcurrent detection output
⑥	Collector voltage monitoring
⑦ ⑧	Not connected
⑨	Power supply (0 V)
⑩ ⑪	Not connected
⑭	Drive signal input (-)
⑮	Drive signal input (+)

Recommended gate resistance and current consumption

IGBT rating	600 V	10 A	15 A	30 A	50 A	75 A	100 A	150 A
	1200 V	—	8 A	15 A	25 A	—	50 A	75 A
RG	250 Ω		150 Ω	82 Ω	50 Ω	33 Ω	25 Ω	15 Ω
I _{cc}	5 kHz				17 mA			
	10 kHz	17 mA			18 mA	19 mA		
	15 kHz	18 mA			20 mA	22 mA		
								25 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Operation

1 Outline

The following built-in functions make the fullest use of the IGBT.

- Signal isolation circuit
- Drive amplifier
- Overcurrent detector
- Low speed overcurrent cut-off circuit
- Gate turn-off power supply

2 Signal isolation circuit

A photocoupler with a high isolation voltage is used for signal isolation. Therefore, this hybrid IC can be used in devices powered from 480 V AC.

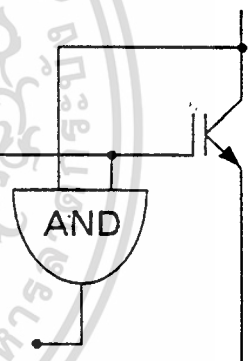
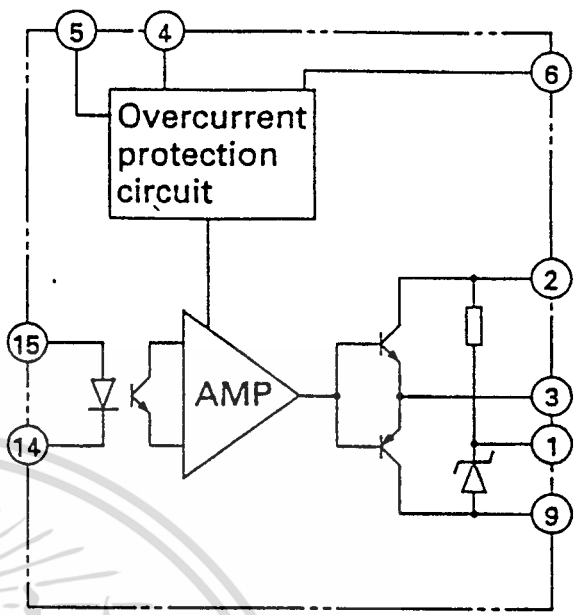
High-speed or general-purpose photocouplers are selected according to the specifications of the hybrid IC because the drive circuit signal delay depends on the photocoupler characteristics.

3 Overcurrent detector

The IGBT can withstand an overcurrent of only 10 μ s duration when short-circuited. An extremely fast protection circuit is necessary for this reason.

This hybrid IC incorporates an overcurrent protection circuit. An overcurrent is detected according to the relationship between the drive signal and the collector voltage.

The principle of overcurrent detection is shown at the right. An overcurrent is considered present when the collector voltage is high although an on signal is inputted.



	VCE low	VCE high
On signal	Normal	Overcurrent
Off signal	—	Normal

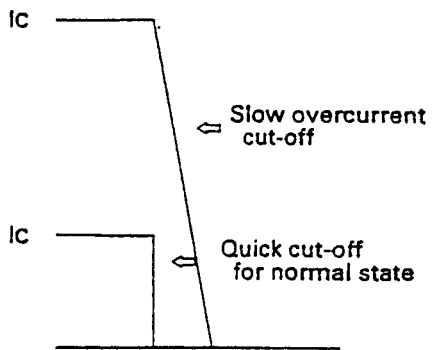
4 Low-speed overcurrent cut-off circuit

A low-speed cut-off circuit slowly turns off the IGBT in response to an overcurrent.

When an overcurrent is cut off at normal drive speed, the collector voltage spike generated is large enough to damage the IGBT.

The low-speed cut-off circuit protects the IGBT against damage.

(The low-speed cut-off circuit does not operate for overcurrents of 10 μ s or less duration.)

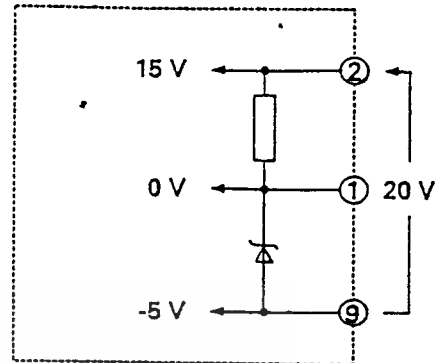


5 Gate turn-off power supply

The IGBT needs a +15 V on-gate voltage to get a low on-voltage and -5 V off-gate voltage to protect against malfunction in the off state.

This is a built-in circuit which generates a constant-voltage supply from the 20 V supply for IGBT gate turn-off.

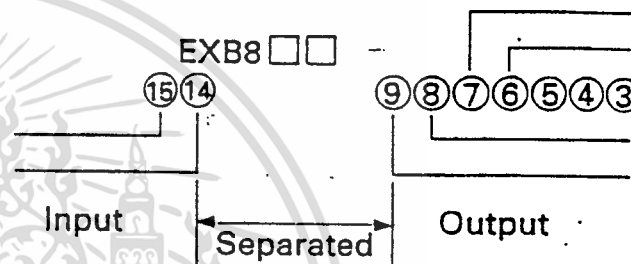
Do not apply external voltage to pin 1.



10. Notes

1 Separation of input circuit from output circuit

Keep the wiring of the input circuit (photocoupler) away from the output circuit wiring to assure that the proper dielectric strength and high noise resistance are maintained.



2 Use under recommended operating conditions

The IGBT works best if the recommended operating conditions driven in Section 7 are observed.

- Note that an excessive drive supply voltage could damage the IGBT due to excess IGBT gate voltage, and that an insufficient drive voltage could abnormally increase the IGBT's ON voltage.
- Note that an excessive input current could increase the signal delay in the drive circuit, and that an insufficient input current could cause unstable operation of the drive circuit.
- Note that an insufficient gate resistance can increase the switching noise of the IGBT and freewheeling diode.
- Note the points above where the recommended operating conditions cannot be observed.

1. Operating Waveforms

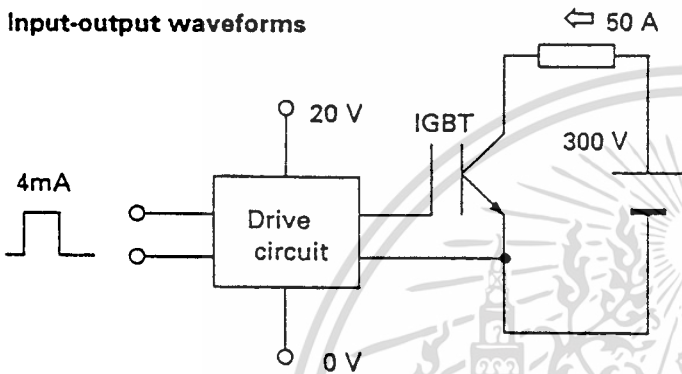
EXB850

Operating conditions

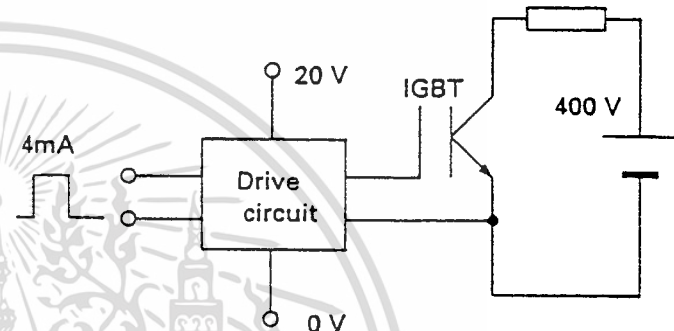
$V_{cc} = 20\text{ V}$, $I_{in} = 4\text{ mA}$, IGBT module: 2MB150-060

Test circuits

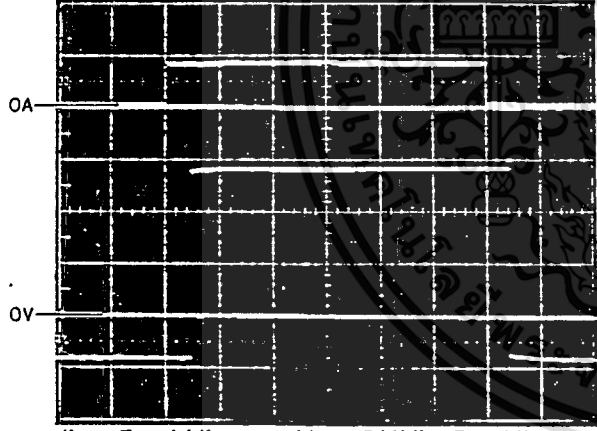
Input-output waveforms



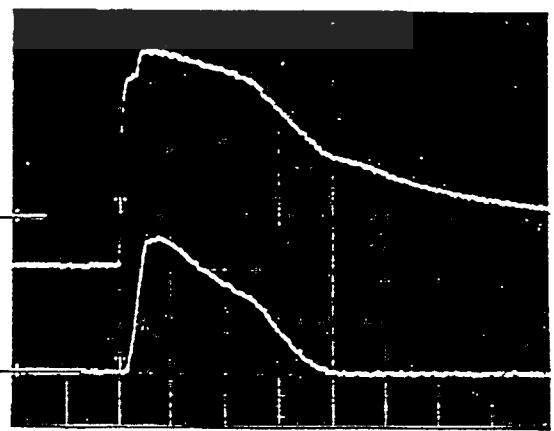
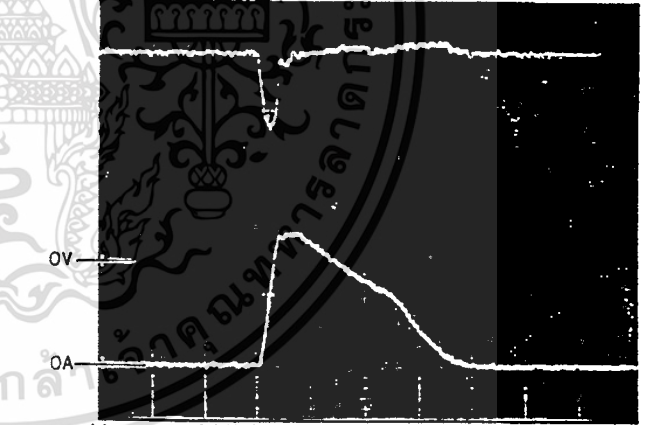
Waveforms at overcurrent



Input-Output waveforms



Waveforms at overcurrent



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

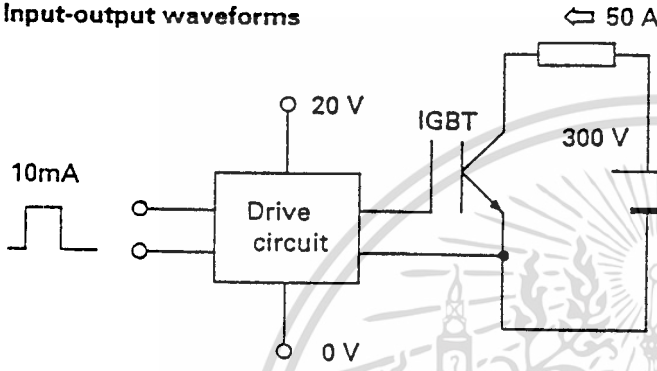
2 EXB841

Operating conditions

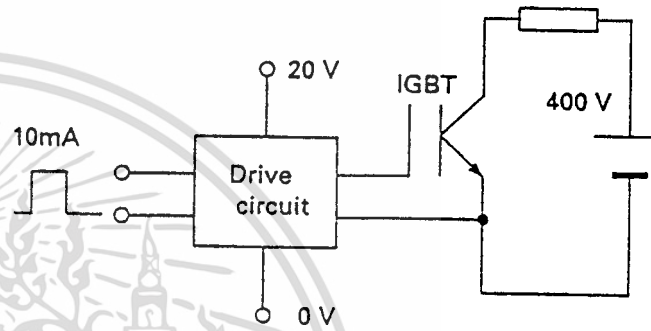
V_{cc} = 20 V, I_{in} = 10 mA, IGBT module: 2MB150-060

Test circuit

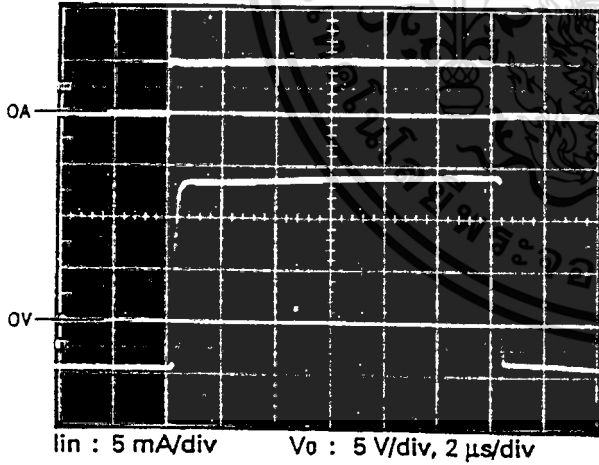
Input-output waveforms



Waveforms at overcurrent



Input-Output waveforms



I_{in} : 5 mA/div V_o : 5 V/div, 2 μs/div

Waveforms at overcurrent are the same as for EXB851.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6MBI20L-060(20A)

富士パワーモジュール

IGBTモジュール

IGBT MODULE

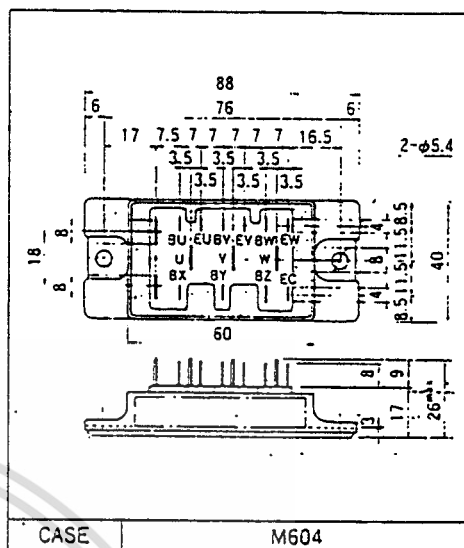
■特長：Features

- 高速スイッチング High Speed Switching
- 低飽和電圧 Low Saturation Voltage
- 高入力ゲート抵抗(MOSゲート構造) High Input Impedance
- モジュールパッケージ Module Packaging

■用途：Applications

- 汎用インバータ General Purpose Inverter
- 無停電電源装置 Uninterruptible Power Supply
- AC, DCサーボアンプ AC・DC Servo Drive Amplifier
- 溶接機のスイッチング電源 Switching Power Supplies for Welding Machine

■外形寸法：Outline Drawings



■定格と特性：Maximum Ratings and Characteristics

●絶対最大定格：Absolute Maximum Ratings

Items	Symbols	Ratings	Units
コレクタ・エミッタ間電圧	V _{CEs}	600	V
ゲート・エミッタ間電圧	V _{GES}	±20	V
コレクタ電流	連続	I _c	20
	1ms	I _{c puls}	40
	Duty=83%	-I _c	20
	1ms	-I _{c puls}	40
最大損失	P _c	80	W
接合部温度	T _j	+150	°C
保存温度	T _{stg}	-40~+125	°C
絶縁耐電圧	V _{isol}	2500	V
締付けトルク	Mounting *1	3.5	N・m

*1 推奨値：Recommendable Value 2.5~3.5 N・m {25~35kgf・cm} (M5)

●電気的特性：Electrical Characteristics (T_j=25°C)

Items	Symbols	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
コレクタ・エミッタ間遮断電流	I _{CEs}	V _{GE} =0V V _{CE} =600V T _j =25°C			1.0	mA
ゲート・エミッタ間漏れ電流	I _{GES}	V _{CE} =0V V _{GE} =±20V			100	nA
ゲート・エミッタ間しきい値電圧	V _{GE(th)}	V _{CE} =20V I _c =20mA	3.0	4.5	6.0	V
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	V _{CE(sat)}	V _{GE} =15V I _c =20A		2.7	3.5	V
入力容量	C _{ies}	V _{CE} =0V		1900		pF
出力容量	C _{oes}	V _{CE} =10V		—		
掃退容量	C _{res}	f=1MHz		—		
ターンオン時間*2	t _{on}	V _{CE} =300V		0.4	0.8	μs
	t _r	I _c =20A		0.3	0.6	
ターンオフ時間*3	t _{off}	V _{GE} =±15V		0.6	1.0	
	t _f	R _G =120Ω		0.2	0.35	
ダイオード順電圧	V _F	I _F =20A V _{GE} =0V			2.5	V
逆回復時間	t _{rr}	I _F =20A -di/dt=100A/μs V _{GE} =-10V			300	ns

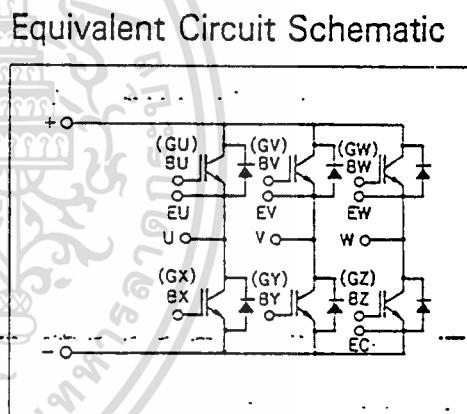
*2 抵抗負荷：Resistive load

*3 誘導負荷：Inductive load

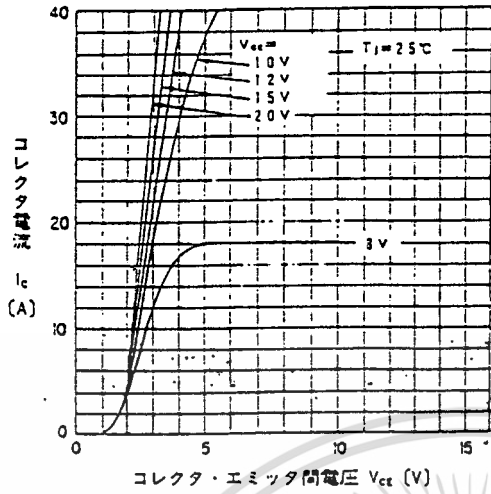
●熱的特性：Thermal Characteristics

Items	Symbols	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
熱抵抗	R _{th(j-c)}	IGBT		1.56		°C/W
	R _{th(j-c)}	Diode			3.01	
	R _{th(c-a)}	With Thermal compound		0.06		

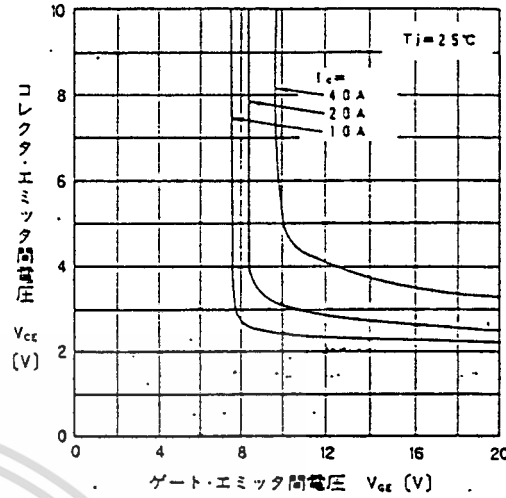
■等価回路：Equivalent Circuit Schematic



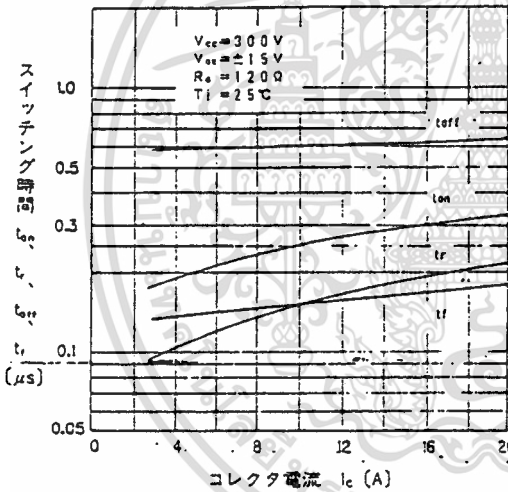
■特性曲線：Characteristics



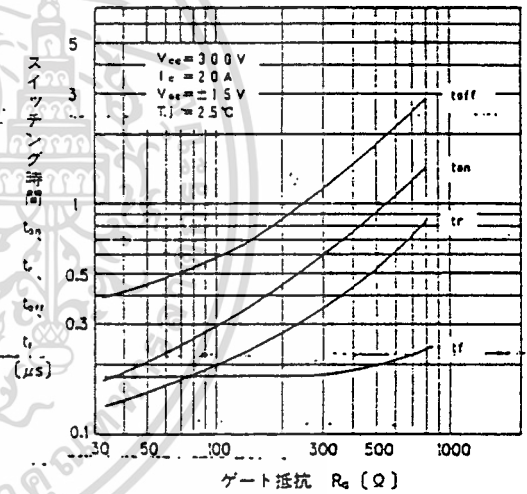
コレクタ電流—コレクタ・エミッタ間電圧特性
Collector Current vs. Collector-Emitter Voltage



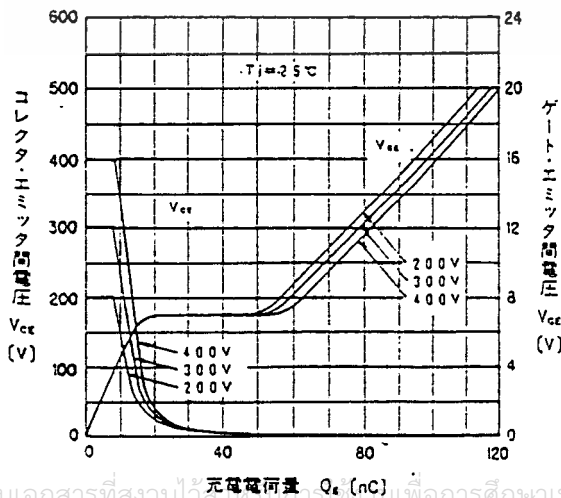
コレクタ・エミッタ間電圧—ゲート・エミッタ間電圧
Collector-Emitter Voltage vs. Gate-Emitter Voltage



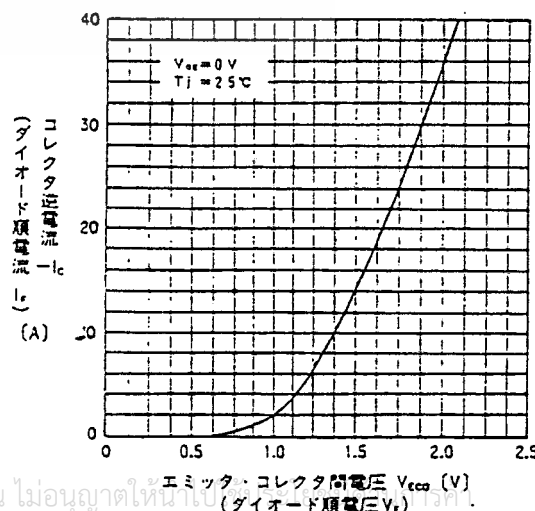
スイッチング時間—コレクタ電流特性
Switching Time vs. Collector Current



スイッチング時間—ゲート抵抗特性
Switching Time vs. Gate Resistance

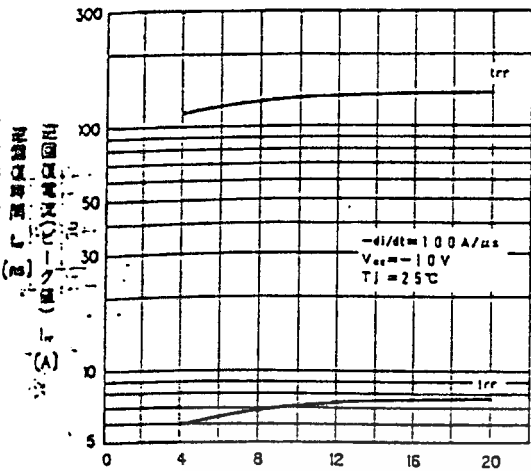


ダイナミック入力特性
Dynamic Input Characteristic

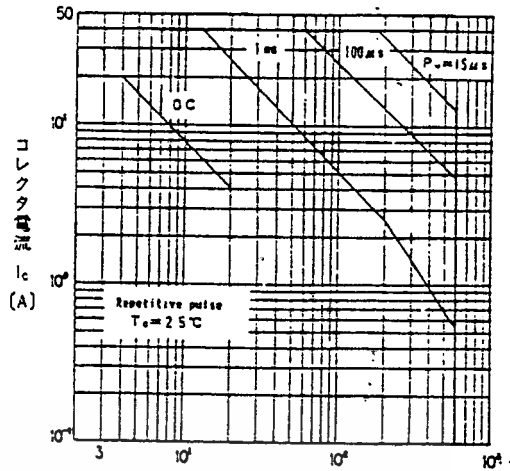


高速フリーホイールダイオード順電圧特性
Forward Voltage of Free Wheel Diode

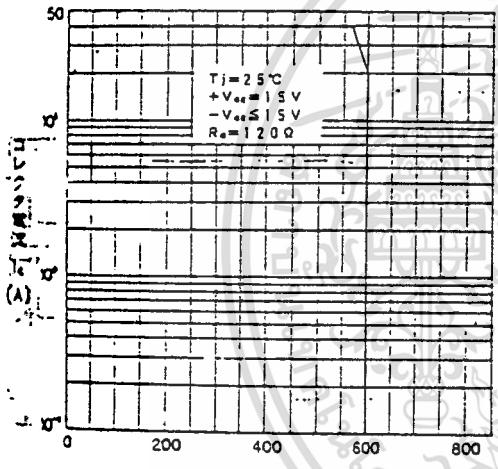
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์



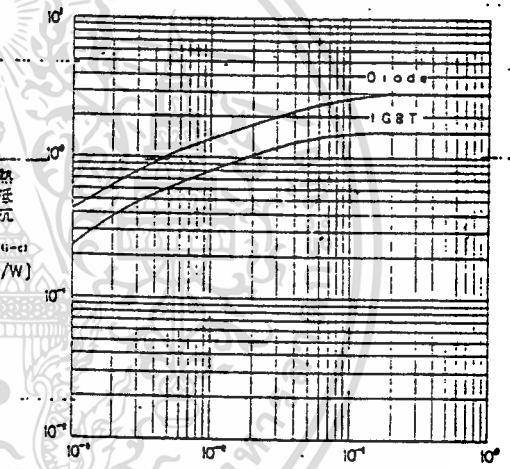
順電流 I_r (A)
 t_{rr} , I_{rr} - I_r 特性
 t_{rr} , I_{rr} - I_r



コレクタ・エミッタ間電圧 V_{ce} (V)
 安全動作領域(繰り返し)
 Safe Operating Area



コレクタ・エミッタ間電圧 V_{ce} (V)
 安全動作領域(逆バイアス)
 Reverse Biased Safe Operating Area



過渡熱抵抗
 Transient Thermal Resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค โปรแกรมรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CPU      "8096.TBL"      ; CPU TABLE
HOF      "INT8"         ; HEX FORMAT

R0:      EQU      00H      ;ZERO REGISTER
PTSSSEL: EQU      04H      ;HIGH SPEED TRIGGER TIME
PTSSRV:  EQU      06H      ;HSI STATUS REGISTERS
INT_MASK: EQU      08H      ;INTERRUPT MASK
INT_PENDING: EQU      09H      ;INTERRUPT PENDING REGISTER
WATCHDOG: EQU      0AH      ;WATCHDOG TIMER REGISTER
INT_PEND1: EQU      12H
INT_MASK1: EQU      13H
WSR:     EQU      14H
SP:      EQU      18H
P2_MODE: EQU      1FD0H
P2_DIR:  EQU      1FD2H
P2_REG:  EQU      1FD4H
P2_PIN:  EQU      1FD6H
AD_TIME: EQU      1FAFH
AD_COMMAND: EQU      1FACH
AD_RESULT: EQU      1FAAH
T1RELOAD: EQU      1F72H
T1CONTROL: EQU      1F78H
TIMER1:  EQU      1F7AH
T2CONTROL: EQU      1F7CH
TIMER2:  EQU      1F7EH
P0_PIN:  EQU      1FA8H
P1_PIN:  EQU      1FA9H
AD_TEST: EQU      1FAEH
PI_MASK: EQU      1FBCH
PI_PEND: EQU      1FBEH

;*****
; MATH EQU
;*****
SQR2X1000: EQU      1414
SQR3X1000: EQU      1732
PIX1000:   EQU      3142
V_BASE:    EQU      2540
VB_2NEG:   EQU      -1270

;*****
; INTERNAL RAM FOR DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
                                ORG 0020H
V_STATOR:                      DFS 4
VD_STATOR:                     DFS 4
VQ_STATOR:                     DFS 4
TEMPL:                         DFS 4
F_STEP:                        DFS 4
F_STEP_L:                      EQU F_STEP
F_STEP_H:                      EQU F_STEP+2
DW:                             DFS 4
DW1:                           DFS 4
DW1L:                          EQU DW1
DW2:                            DFS 4
DEC1:                           DFS 4
COUNT_DEC2:                   DFS 4
MX:                             DFS 2
ML:                             EQU MX
MH:                             EQU MX+1
V:                              DFS 2
F:                              DFS 2
THATA:                         DFS 2
AX:                             DFS 2
AL:                             EQU AX
AH:                             EQU AX+1
DISPLAY:                       DFS 2
COUNT_DEC:                    DFS 2
AA:                             DFS 2
A0:                             DFS 2
D0:                             DFS 2
D1:                             DFS 2
D2:                             DFS 2
N0:                             DFS 2
N1:                             DFS 2
N2:                             DFS 2
T0:                             DFS 2
T1:                             DFS 2
T2:                             DFS 2
T3:                             DFS 2
T4:                             DFS 2
T5:                             DFS 2
DEL_ANG:                       DFS 2
FSET:                          DFS 2
ANG:                            DFS 2
LOOP_1:                        DFS 2
LOOP_2:                        DFS 2
DEL_BUFF:                      DFS 2
TEMP1:                         DFS 2
TEMP2:                         DFS 2
A1:                             DFS 2
A2:                             DFS 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A3:	DFS	2
A5:	DFS	2
A6:	DFS	2
A7:	DFS	2
A8:	DFS	2
C_DWN:	DFS	2
F_NEW:	DFS	2
F_NEW_L:	EQU	F_NEW
F_NEW_H:	EQU	F_NEW+1
F_OLD:	DFS	2
F_DELTA:	DFS	2
TACC:	DFS	2
TDCC:	DFS	2
T_ACC_RUN:	DFS	2
T_DCC_RUN:	DFS	2
F_RUN:	DFS	2
F_MATH:	DFS	2
F_BREAK_MATH:	DFS	2
V_BREAK_MATH:	DFS	2
LOOP1:	DFS	2
LOOP2:	DFS	2
LOOP3:	DFS	2
LOOP4:	DFS	2
VSEGM:	DFS	1
ATER:	DFS	1
A4:	DFS	1
INT_COT:	DFS	1
A10:	DFS	1
A11:	DFS	1
A12:	DFS	1
A13:	DFS	1
TEMP_P:	DFS	1
COUNT_DI:	DFS	1
FLAG_TIM:	DFS	1
TEMP_G:	DFS	1
M:	DFS	1
N:	DFS	1
X:	DFS	1
Y:	DFS	1
COUNT_DI2:	DFS	1
OUT_DIS:	DFS	1
DISP_U1:	DFS	1
DISP_U2:	DFS	1
DISP_U3:	DFS	1
DISP_U4:	DFS	1
DISP_B1:	DFS	1
DISP_B2:	DFS	1
DISP_B3:	DFS	1
DISP_B4:	DFS	1
F_R:	DFS	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BOOST:           DFS      1
T_ACC_READ:     DFS      1
T_DCC_READ:     DFS      1
AD_RESULT_ACC:  DFS      1
AD_RESULT_DCC:  DFS      1
F_RESULT:       DFS      1
F_BREAK_READ:   DFS      1
V_BREAK_READ:   DFS      1
COUNT_DC1:    DFS      1
COUNT_DC2:    DFS      1
DC_STATUS:     DFS      1

DATA0:          DFS      1
DATA1:          DFS      1
DATA2:          DFS      1
DATA3:          DFS      1
DATA4:          DFS      1
DATA5:          DFS      1
DATA6:          DFS      1
DATA7:          DFS      1
DATA8:          DFS      1
DATA9:          DFS      1
DATA10:         DFS      1
M1:             DFS      1
M2:             DFS      1
M3:             DFS      1
UD_VOL:         DFS      1
EXT_STA:        DFS      1

ORG 2018H
DFB 0E4H
DFB 20H ; CCB
ORG 201AH
DFB 0DEH
DFB 20H ; CCB1

ORG 2000H
DWL TIMER1_VEC
ORG 203EH
DWL NMI_VEC
ORG 203AH
DWL WG_VEC
ORG 203CH
DWL EXT_VEC
ORG 2080H
DI
STB R0,P2_MODE
STB R0,P2_DIR
ldb temp_p,#10000000b
stb temp_p,p2_reg

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD SP, #01FAH
LDB A4,#11100000B
STB A4,INT_MASK1
LDB A4,#00000001B
STB A4,INT_MASK
LDB A4,#00010001B
STB A4,PI_MASK

```

```

LDB DATA0,R0
LDB DATA1, #100
LDB DATA2, #100
LDB DATA3,R0
LDB DATA4,R0
LDB DATA5,R0
LDB DATA6, #10
LDB DATA7, #5
LDB DATA8,R0
LDB DATA9,R0
LDB DATA10,R0
LD AA,R0

LDB M2,00010000B
LDB M3,#00101111B
STB M3,AD_TIME
LDB M3,R0
STB M3,AD_TEST
LDB UD_VOL,R0 ;*****
LDB EXT_STA,R0 ;*****

LDB ATER, #0FFH
LD C_DWN, #7B00H

```

***** INITIAL DISPLAY *****

```

LDB FLAG_TIM , #0H
LDB COUNT_DI , #1H
LDB COUNT_DI2 , #1H

```

```

LDB M,#10000000B
LDB N,#11000000B
LDB X,#10000001B
LDB Y,#11000001B

```

```

STB M,P2_REG
STB N,P2_REG

```

```

ld loop_2 , #04EFFh

```

```

DELAY1C: DEC LOOP_2

```

```

JNE DELAY1C

STB M,P2_REG
STB X,P2_REG
STB Y,P2_REG

ld loop_2 , #04EFFh

DELAY2C:    DEC LOOP_2
            JNE DELAY2C

            STB X,P2_REG

            LDB M,#10000010B
            LDB N,#11000010B
            LDB X,#10001100B
            LDB Y,#11001100B

            LCALL OUT_INITIAL

DIS_ON:    LDB M,#10000000B
            LDB N,#11000000B
            LDB X,#10001100B
            LDB Y,#11001100B

            LCALL OUT_INITIAL

ENTRY:    LDB M,#10000000B
            LDB N,#11000000B
            LDB X,#10000110B
            LDB Y,#11000110B
                                           ;ENTRY MODE SET

            LCALL OUT_INITIAL

;***** FINISH INITIAL DISPLAY *****

FINISH:    LD T1,R0
            LD T2,R0
            LD T3,R0
            LD A2,#0FAH
            ST A2,WG_RELOAD
            LD A1 , #0E73FH
            LD A3 , #0428H
            LDB A4 , #00001101b
            ST A1,WG_OUT
            STB A4,WG_PROTECT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LDB INT_COT,#8
ST A3,WG_CON
LDB A12,R0
LDB A13,R0

LDB F_R      , #0FFH
LD  THATA    , R0
LDB BOOST    , R0
LD  V        , R0

INRUSH_LOOP: LD LOOP_1,#26
INRUSH0:     ld loop_2 , #0FFFFh

INRUSH1:     DEC LOOP_2
             JNE INRUSH1
             DEC LOOP_1
             JNE INRUSH0

             ldb temp_p,#00001111b
             STB temp_p,P2_REG
FINISH_INRUSH: nop

CHART:
LD  AA, R0
LD  T3, R0
LD  T2, R0
LD  T1, R0
ST  T3, WG_COMP1
ST  T2, WG_COMP2
ST  T1, WG_COMP3
SJMP START

SET1: LDB TEMP_G, #00101111B
      STB TEMP_G, AD_TIME

      LDB TEMP_G, #00010000B
      STB TEMP_G, AD_COMMAND

SOL2: LD  AA, AD_RESULT
      NOP
      NOP
      JBS AA, 4, SOL2
      LDB TEMP_G, AD_RESULT+1
      CMPB TEMP_G, #1
      JC  START
      SJMP SOL2 ;CHART

START: LD  TACC, R0
      LD  TDCC, R0

```

```

LD      F_STEP_L,      R0
LD      F_STEP_H,      R0
LD      F_RUN,  R0
LD      F_OLD,  R0
LD      F_NEW,  R0                      ;F= 0-127 Hz

LDB     A11,  #4
LD      AX,  R0

LDB     COUNT_DC1,  #50
LDB     COUNT_DC2,  #30
LDB     DC_STATUS,  R0

GET_ACC_DCC:  EI
LDB     AD_RESULT_ACC,  DATA1
SHRB    AD_RESULT_ACC,  #1
INCB    AD_RESULT_ACC
LDB     T_ACC_READ,  AD_RESULT_ACC
MULUB   T_ACC_RUN,  T_ACC_READ,  #12

LDB     AD_RESULT_DCC,  DATA2
SHRB    AD_RESULT_DCC,  #1
INCB    AD_RESULT_DCC
LDB     T_DCC_READ,  AD_RESULT_DCC
MULUB   T_DCC_RUN,  T_DCC_READ,  #12

GET_F:  LD      F_OLD,  F_NEW

LDBZE   F_NEW,  DATA0
SHR     F_NEW,  #1
MULUB   F_MATH,  F_NEW_L,  #255

CMP     F_NEW,  F_OLD
JC      DELTA_F
CMP     F_OLD,  F_NEW
JC      DELTA_F
SJMP    TA_CHECK

DELTA_F:  SUB     F_DELTA,  F_MATH,  F_RUN
JNC     DCC_RUN
SJMP    ACC_RUN

TA_CHECK:  CMP     TACC,  R0
JNC     FRUN_ACC
CMP     TDCC,  R0
JNC     FRUN_DCC

TEMP_LABEL_2:  PUSHF
LCALL   F_MOTOR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        POPF
        SJMP      GET_ACC_DCC

ACC_RUN:    LD      TACC,      T_ACC_RUN
            LD      F_STEP_H,   R0
            LD      F_STEP_L,   F_DELTA
            DIVU    F_STEP,     T_ACC_RUN
            INC     F_STEP_L

FRUN_ACC:   ADD     F_RUN,     F_STEP_L

            PUSHF
            LCALL   F_MOTOR
            POPF
            DEC     TACC

            CMP     TACC,     R0
            JC      GET_ACC_DCC
            SJMP    GET_ACC_DCC

DCC_RUN:    LD      TDCC,     T_DCC_RUN
            NOT    F_DELTA
            INC     F_DELTA

            LD      F_STEP_H,   R0
            LD      F_STEP_L,   F_DELTA
            DIVU    F_STEP,     T_DCC_RUN
            INC     F_STEP_L

FRUN_DCC:

CHECK_DC_BREAK:

            LD      F_BREAK_MATH, R0
            LD      V_BREAK_MATH, R0
            LDB     DC_STATUS,    R0
            LDB     F_BREAK_READ, DATA7
            SHRB    F_BREAK_READ, #3
            LDB     V_BREAK_READ, DATA6
            SHRB    V_BREAK_READ, #3
            MULUB   F_BREAK_MATH, F_BREAK_READ, #255
            MULUB   V_BREAK_MATH, V_BREAK_READ, #22

            CMP     F_RUN,     F_BREAK_MATH
            JLE     TEMP_LABEL3
            LJMP    FRUN_DCC_NOR

TEMP_LABEL3:  LJMP    DC_BREAK

```

```

FRUN_DCC_NOR:  SUB    F_RUN,  F_STEP_L

                PUSHF
                LCALL  F_MOTOR
                POPF

                DEC    TDCC

                CMP    TDCC,  R0
                JC     TEMP_LABEL1
                SJMP   GET_ACC_DCC

TEMP_LABEL1:   LJMP   GET_ACC_DCC

F_MOTOR:
MAINPROG:      EI
                LDB   INT_COT,#8
                LD    F,  F_RUN

START_2:      SUB    W1,  F, #31CEH
                JLT   FIND_V
                LD    V,  #2200
                SJMP  FIND_DEL

FIND_V:       ldb boost, data3
                LDB   TEMP_G, BOOST
                SHRB  TEMP_G, #2
                MULUB W2, TEMP_G, #10

                MULUB W3,TEMP_G,#5
                DIVUB W3,#11
                LD    DISP_B1,W3

                LD    W3, #2200
                SUB   W3, W2
                DIVUB W3, #50
                CLRB W3+1
                MULU DW1, W3, F
                DIVU DW1, #0FFH

                LD    W3, DW1L
                ADD   V, W3, W2

FIND_DEL:     MULU  DW1, F, #8
                DIVU DW1, #1000

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD      W1      ,   DW1L
ldb     f_r ,   data5

LDB     DISP_B2,F_R

JBC     F_R     ,   7      ,REW

FOR:    ADD     THATA ,   W1
        SJMP   FIND_VQ
REW:    SUB     THATA ,   W1

        LJMP   FIND_VQ

DC_BREAK:
        LDB    DC_STATUS, #0FFH
        LD     V, V_BREAK_MATH
        LD     THATA , #0400H
        EI

FIND_VQ:
        AND    THATA , #0FFFH
        MUL    DW2 , THATA ,#2H
        LD     W2 , DW2
        ADD    W3 , W2 ,#SINADDR
        LD     W1 , [W3]
        MUL    VQ_STATOR , V ,W1
        DIV    VQ_STATOR , #7FFFH
        CLR    VQ_STATOR+2
SIN_COS:
        SUB    W3 ,THATA , #400H
        AND    W3 , #0FFFH

        MUL    DW2 , W3 ,#2H
        LD     W2 , DW2

FIND_VD:
        ADD    W3 , W2 ,#SINADDR
        LD     W1 , [W3]
        MUL    VD_STATOR , V ,W1
        DIV    VD_STATOR , #7FFFH
        CLR    VD_STATOR+2

```

```

NORM1: LD TEMP1,VD_STATOR
        CLR VD_STATOR+2
        LD TEMP2,VQ_STATOR
        CLR VQ_STATOR+2
        JBC TEMP1+1,7,POS_VALUE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NEG TEMP1
POS_VALUE: MUL TEMPL,TEMP1,#1732
DIV TEMPL,#1000
JBS VQ_STATOR+1,7,VQ_NEG
JBC VD_STATOR+1,7,VQD_NEG
CMP VQ_STATOR,TEMPL
JC VD2_L_VO2
LDB VSEGM,#1
SJMP SEL_WEC
VD2_L_VO2: LDB VSEGM,#2
SJMP SEL_WEC
VQD_NEG:
CMP VQ_STATOR,TEMPL
JC VD2_L
LDB VSEGM,#3
SJMP SEL_WEC
VD2_L: LDB VSEGM,#2
SJMP SEL_WEC
VQ_NEG:
NEG TEMP2
JBS VD_STATOR+1,7,VD_NEG
CMP TEMP2,TEMPL
JNC VD2_L_VO21
LDB VSEGM,#6
SJMP SEL_WEC
VD2_L_VO21: LDB VSEGM,#5
SJMP SEL_WEC
VD_NEG:
CMP TEMP2,TEMPL
JC VD2_L1
LDB VSEGM,#4
SJMP SEL_WEC
VD2_L1: LDB VSEGM,#5
SEL_WEC:
MUL VQ_STATOR,#90H
MUL VD_STATOR,#0FAH
VSEG6: CMPB VSEGM,#6
JNC VSEG5
CLRC
ADD VD_STATOR,VQ_STATOR
ADDC VD_STATOR+2,VQ_STATOR+2
DIV VD_STATOR,#V_BASE ; 2^8 * 10 DEL 2200
CLR VD_STATOR+2
ST VD_STATOR,N1
DIV VQ_STATOR,#VB_2NEG ; -[(2^8)/2]*10
CLR VQ_STATOR+2
ST VQ_STATOR,N2
ADD TEMP1,N1,N2
LD NO,#250

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SUB NO,TEMP1
SHR NO,#1
LD T3,N0
ADD N1,N0
LD T2,N1
ADD N2,N1
LD T1,N2
SJMP OUT_WG
```

```
VSEG_4: SJMP VSEG4
VSEG5:
```

```
CMPB VSEGM,#5
JNC VSEG_4
LD TEMPL,VD_STATOR
LD TEMPL+2,VD_STATOR+2
SUB TEMPL,VQ_STATOR
SUBC TEMPL+2,VQ_STATOR+2
DIV TEMPL,#V_BASE
CLRC
ADD VD_STATOR,VQ_STATOR
ADDC VD_STATOR+2,VQ_STATOR+2
DIV VD_STATOR,#V_BASE
NEG VD_STATOR
CLR VD_STATOR+2
ST VD_STATOR,N1
CLR TEMPL+2
ST TEMPL,N2
ADD TEMP1,N1,N2
LD NO,#250
SUB NO,TEMP1
SHL NO,#1
LD T2,N0
ADD N1,N0
LD T3,N1
ADD N2,N1
LD T1,N2
SJMP OUT_WG
```

```
VSEG_3: SJMP VSEG3
VSEG4:
```

```
CMPB VSEGM,#4
JNC VSEG_3
LD TEMPL,VQ_STATOR
LD TEMPL+2,VQ_STATOR+2
SUB TEMPL,VD_STATOR
SUBC TEMPL+2,VD_STATOR+2
DIV TEMPL,#V_BASE
ST TEMPL,N2
DIV VQ_STATOR,#VB_2NEG
ST VQ_STATOR,N1
ADD TEMP1,N1,N2
```

```

LD NO,#250
SUB NO,TEMP1
SHL NO,#1
LD T2,NO
ADD N1,NO
LD T1,N1
ADD N2,N1
LD T3,N2
SJMP OUT_WG
VSEG_2: SJMP VSEG2
VSEG3:
CMPB VSEGM,#3
JNC VSEG_2
CLRC
ADD VD_STATOR,VQ_STATOR
ADDC VD_STATOR+2,VQ_STATOR+2
DIV VD_STATOR,#V_BASE
NEG VD_STATOR
ST VD_STATOR,N2
SHLL VQ_STATOR,#1
DIV VQ_STATOR,#V_BASE
ST VQ_STATOR,N1
ADD TEMP1,N1,N2
LD NO,#250
SUB NO,TEMP1
SHR NO,#1
LD T1,NO
ADD N1,NO
LD T2,N1
ADD N2,N1
LD T3,N2
SJMP OUT_WG
VSEG_1: SJMP VSEG1
VSEG2:
CMPB VSEGM,#2
JNC VSEG_1
LD TEMPL,VQ_STATOR
LD TEMPL+2,VQ_STATOR+2
SUB TEMPL,VD_STATOR
SUBC TEMPL+2,VD_STATOR+2
DIV TEMPL,#V_BASE
CLRC
ADD VD_STATOR,VQ_STATOR
ADDC VD_STATOR+2,VQ_STATOR+2
DIV VD_STATOR,#V_BASE
ST VD_STATOR,N2
ST TEMPL,N1
ADD TEMP1,N1,N2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LD NO,#250
SUB NO,TEMP1
SHR NO,#1
LD T1,NO
ADD N1,NO
LD T3,N1
ADD N2,N1
LD T2,N2
SJMP OUT_WG

```

```

VSEG1: SUB VD_STATOR,VQ_STATOR
SUBC VD_STATOR+2,VQ_STATOR+2
DIV VD_STATOR,#V_BASE
ST VD_STATOR,N1
SHLL VQ_STATOR,#1
DIV VQ_STATOR,#V_BASE
ST VQ_STATOR,N2
ADD TEMP1,N1,N2
LD NO,#250
SUB NO,TEMP1
SHR NO,#1
LD T3,NO
ADD N1,NO
LD T1,N1
ADD N2,N1
LD T2,N2

```

```

LD AX, F_RUN
DIVUB AX, #0FFH
LDB DISP_U1, AX
LDB DISP_U2, F_NEW
LDB DISP_U3, AD_RESULT_ACC
LDB DISP_U4, AD_RESULT_DCC
LDB DISP_B3, F_BREAK_READ
LDB DISP_B4, V_BREAK_READ

```

```

DELAY_DISPLAY: DECB COUNT_DI2
JE DISPLAY_PART
LJMP FINISH_LCD

```

```

DISPLAY_PART: JBS FLAG_TIM, 0 , DISPLAY_PART

LDB COUNT_DI2 , #5H

DECB COUNT_DI
JBS COUNT_DI , 0 , to_SENDXY
JE TO_SETADDR_U1

```

```

SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #50
JE TO_SETADDR_U2
SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #42
JE TO_SETADDR_U3
SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #34
JE TO_SETADDR_U4
SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #26
JE TO_SETADDR_B1
SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #20
JE TO_SETADDR_B2

SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #18
JE TO_1ST_FR
SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #16
JE TO_2ND_FR
SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #14
JE TO_3RD_FR

SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #12
JE TO_SETADDR_B3
SUBB TEMP_G , COUNT_DI , #6
JE TO_SETADDR_B4

LJMP CAL
to_sendxy:      ljmp send_xy
TO_SETADDR_U1:  LJMP SETADDR_U1
TO_SETADDR_U2:  LJMP SETADDR_U2
TO_SETADDR_U3:  LJMP SETADDR_U3
TO_SETADDR_U4:  LJMP SETADDR_U4
TO_SETADDR_B1:  LJMP SETADDR_B1
TO_SETADDR_B2:  LJMP SETADDR_B2
TO_1ST_FR:     LJMP ST_FR
TO_2ND_FR:     LJMP ND_FR
TO_3RD_FR:     LJMP RD_FR
TO_SETADDR_B3:  LJMP SETADDR_B3
TO_SETADDR_B4:  LJMP SETADDR_B4

```

```
LJMP CAL
```

```

SETADDR_U1:    EI
                LDB COUNT_DI , #58
                LD COUNT_DEC2 , #100
                CLR COUNT_DEC2+2
                LDB DEC1 , DISP_U1
                CLRB DEC1+1
                CLR DEC1+2
                LDB M,#00001000B
                LDB N,#01001000B
                LDB X,#00000000B
                LDB Y,#01000000B                ;SET ADDR

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LJMP SEND_MN

SETADDR_U2: EI
LD COUNT_DEC2 , #100
CLR COUNT_DEC2+2
LDB DEC1 , DISP_U2
CLRB DEC1+1
CLR DEC1+2
LDB M,#00001000B
LDB N,#01001000B
LDB X,#00000100B
LDB Y,#01000100B ;SET ADDR
LJMP SEND_MN

SETADDR_U3: EI
LD COUNT_DEC2 , #100
CLR COUNT_DEC2+2
LDB DEC1 , DISP_U3
CLRB DEC1+1
CLR DEC1+2
LDB M,#00001000B
LDB N,#01001000B
LDB X,#00001001B
LDB Y,#01001001B ;SET ADDR
LJMP SEND_MN

SETADDR_U4: EI
LD COUNT_DEC2 , #100
CLR COUNT_DEC2+2
LDB DEC1 , DISP_U4
CLRB DEC1+1
CLR DEC1+2
LDB M,#00001000B
LDB N,#01001000B
LDB X,#00001101B
LDB Y,#01001101B ;SET ADDR
LJMP SEND_MN

SETADDR_B1: EI
LD COUNT_DEC2 , #10
CLR COUNT_DEC2+2
LDB DEC1 , DISP_B1
CLRB DEC1+1
CLR DEC1+2
LDB M,#00001100B
LDB N,#01001100B
LDB X,#00000001B
LDB Y,#01000001B ;SET ADDR
LJMP SEND_MN

```

SETADDR_B2:      EI
                  LDB M,#00001100B
                  LDB N,#01001100B
                  LDB X,#00000100B
                  LDB Y,#01000100B           ;SET ADDR
                  LJMP SEND_MN

```

```

ST_FR:           EI
                  JBC DISP_B2 , 7 , ST_REV
                  LDB M,#00010100B
                  LDB N,#01010100B           ; F
                  LDB X,#00010110B
                  LDB Y,#01010110B
                  LJMP SEND_MN

```

```

ST_REV:          LDB M,#00010101B
                  LDB N,#01010101B           ;
                  LDB X,#00010010B
                  LDB Y,#01010010B
                  LJMP SEND_MN

```

```

ND_FR:           EI
                  JBC DISP_B2 , 7 , ND_REV
                  LDB M,#00010110B
                  LDB N,#01010110B           ; O
                  LDB X,#00011111B
                  LDB Y,#01011111B
                  LJMP SEND_MN

```

```

ND_REV:          LDB M,#00010110B
                  LDB N,#01010110B           ;
                  LDB X,#00010101B
                  LDB Y,#01010101B
                  LJMP SEND_MN

```

```

RD_FR:           EI
                  JBC DISP_B2 , 7 , RD_REV
                  LDB M,#00010111B
                  LDB N,#01010111B           ; R
                  LDB X,#00010010B
                  LDB Y,#01010010B
                  LJMP SEND_MN

```

```

RD_REV:          LDB M,#00010111B
                  LDB N,#01010111B           ;
                  LDB X,#00010110B
                  LDB Y,#01010110B
                  LJMP SEND_MN

```

```

SETADDR_B3:      EI
                  LD COUNT_DEC2 , #10
                  CLR COUNT_DEC2+2
                  LDB DEC1 , DISP_B3
                  CLRB DEC1+1

```

```

CLR DEC1+2
LDB M,#00001100B
LDB N,#01001100B
LDB X,#00001010B
LDB Y,#01001010B           ;SET ADDR
LJMP SEND_MN

SETADDR_B4:
EI
LD COUNT_DEC2 , #10
CLR COUNT_DEC2+2
LDB DEC1 , DISP_B4
CLRB DEC1+1
CLR DEC1+2
LDB M,#00001100B
LDB N,#01001100B
LDB X,#00001110B
LDB Y,#01001110B           ;SET ADDR
LJMP SEND_MN

CAL:
EI
DIVU DEC1 , COUNT_DEC2
LDB OUT_DIS , DEC1
XCH DEC1 , DEC1+2
CLR DEC1+2
DIVU COUNT_DEC2 , #10

OPEN_LIB:
ADDB OUT_DIS , #30H
LDB X , OUT_DIS
ANDB X , #00001111B
ORB X , #00010000B
LDB Y , X
ORB Y , #01000000B
LDB M , OUT_DIS
SHRB M , #4H
ANDB M , #00001111B
ORB M , #00010000B
LDB N , M
ORB N , #01000000B

SEND_MN:
STB M,P2_REG
STB N,P2_REG

LD w1 , #45
ST w1, TIMER1
LDB TEMP_G, #10000010B
STB TEMP_G, T1CONTROL
LDB FLAG_TIM , #1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LJMP FINISH_LCD

SEND_XY:      EI
              STB X, P2_REG
              STB Y, P2_REG
              LD w1 , #45
              ST w1 , TIMER1
              LDB TEMP_G, #10000010B
              STB TEMP_G, T1CONTROL
              LDB FLAG_TIM, #1

FINISH_LCD:  CMPB INT_COT,R0
              JE CIR2
              SJMP FINISH_LCD

CIR2:

CIR3:      LD    MX,AD_RESULT
           CMPB  M2, #00011011B
           JNC   LESS
           LDB   M2,#00010000B
LESS:      STB   M2,AD_COMMAND
           ANDB  ML,#00001111B
           LDB   M1,ML

CHANEL_0:  CMPB  M1,#0
           JNE   CHANEL_1
           LDB   DATA0,MH
CHANEL_1:  CMPB  M1,#1
           JNE   CHANEL_2
           LDB   DATA1,MH
CHANEL_2:  CMPB  M1,#2
           JNE   CHANEL_3
           LDB   DATA2,MH
CHANEL_3:  CMPB  M1,#3
           JNE   CHANEL_4
           LDB   DATA3,MH
CHANEL_4:  CMPB  M1,#4
           JNE   CHANEL_5
           LDB   DATA4,MH
CHANEL_5:  CMPB  M1,#5
           JNE   CHANEL_6
           LDB   DATA5,MH
CHANEL_6:  CMPB  M1,#6
           JNE   CHANEL_7
           LDB   DATA6,MH
CHANEL_7:  CMPB  M1,#7
           JNE   CHANEL_8
           LDB   DATA7,MH
CHANEL_8:  CMPB  M1,#8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

JNE CHANEL_9
LDB DATA8,MH
CHANEL_9:  CMPB M1,#9
JNE CHANEL_10
LDB DATA9,MH
CHANEL_10: CMPB M1,#10
JNE COMPLET
LDB DATA10,MH
CHK_UNDER_VOLTAGE:
JBC DATA8 , 6 , COMPLET
LDB UD_VOL ,#0FH
COMPLET:
INCB M2
JBS DC_STATUS, 7, DC_BREAK_1
LDB INT_COT,#8
DJNZ A11, LONG_F ;F_MOTOR
LDB A11, #4
RET
LONG_F:
LJMP F_MOTOR
DC_BREAK_1:
LDB INT_COT,#8
DJNZ COUNT_DC1, DC_BREAK_2
DJNZ COUNT_DC2, DC_BREAK_2
LDB COUNT_DC1, #50
LDB COUNT_DC2, #30
LDB DC_STATUS, R0
LJMP CHART
DC_BREAK_2: LJMP DC_BREAK
WG_VEC: PUSH A
DECB INT_COT
POP A
RET
NMI_VEC: PUSH A
LDB INT_MASK1, #01000000B
LDB A13 , #01000000B
STB A13 , INT_PEND1
EI
POP A
RET
EXT_VEC:
PUSH A

```

```
LDB EXT_STA , #0FH
POPA
RET
```

```
TIMER1_VEC: PUSHF
LDB TEMP_P, #00000010B
STB TEMP_P, T1CONTROL
JBS COUNT_DI , 0 , CLOSE_X
STB M , P2_REG
SJMP END_TIMER
CLOSE_X: STB X , P2_REG
END_TIMER: LDB FLAG_TIM, #0H
POPF
RET
```

```
;*****FOR INITIAL DISPLAY*VVVVVVVV
```

```
OUT_INITIAL: STB M,P2_REG
STB N,P2_REG
```

```
DELAY_INI_MN: ld loop_2 , #03FFh
DEC LOOP_2
JNE DELAY_INI_MN
```

```
STB M,P2_REG
STB X,P2_REG
STB Y,P2_REG
```

```
DELAY_INI_XY: ld loop_2 , #03FFh
DEC LOOP_2
JNE DELAY_INI_XY
```

```
STB X,P2_REG
RET
```

```
;END ENTRY
```

```
;*****FOR INITIAL DISP*~
```

```
ORG 40A0H
```

```
SINADDR:
```

```
DWL 0 ,50 ,101 ,151 ,201 ,251 ,302 ,352 ,402 ,452
DWL 503 ,553 ,603 ,653 ,704 ,754 ,804 ,854 ,905 ,955
DWL 1005,1055,1106,1156,1206,1256,1307,1357,1407,1457
DWL 1507,1558,1608,1658,1708,1758,1809,1859,1909,1959
DWL 2009,2060,2110,2160,2210,2260,2310,2360,2411,2461
DWL 2511,2561,2611,2661,2711,2761,2811,2861,2912,2962
DWL 3012,3062,3112,3162,3212,3262,3312,3362,3412,3462
DWL 3512,3562,3612,3662,3712,3762,3812,3861,3911,3961
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWL 4011,4061,4111,4161,4211,4260,4310,4360,4410,4460
DWL 4510,4559,4609,4659,4709,4758,4808,4858,4907,4957
DWL 5007,5057,5106,5156,5205,5255,5305,5354,5404,5453
DWL 5503,5553,5602,5652,5701,5751,5800,5850,5899,5948
DWL 5998,6047,6097,6146,6195,6245,6294,6343,6393,6442
DWL 6491,6541,6590,6639,6688,6737,6787,6836,6885,6934
DWL 6983,7032,7081,7130,7180,7229,7278,7327,7376,7425
DWL 7473,7522,7571,7620,7669,7718,7767,7816,7864,7913
DWL 7962,8011,8059,8108,8157,8206,8254,8303,8351,8400
DWL 8449,8497,8546,8594,8643,8691,8740,8788,8836,8885
DWL 8933,8982,9030,9078,9127,9175,9223,9271,9319,9368
DWL 9416,9464,9512,9560,9608,9656,9704,9752,9800,9848
DWL 9896,9944,9992,10040,10088,10135,10183,10231,10279,10326
DWL 10374,10422,10469,10517,10565,10612,10660,10707,10755,10802
DWL 10850,10897,10945,10992,11039,11087,11134,11181,11228,11276
DWL 11323,11370,11417,11464,11511,11558,11605,11652,11699,11746
DWL 11793,11840,11887,11934,11980,12027,12074,12121,12167,12214
DWL 12261,12307,12354,12400,12447,12493,12540,12586,12633,12679
DWL 12725,12772,12818,12864,12910,12957,13003,13049,13095,13141
DWL 13187,13233,13279,13325,13371,13417,13463,13508,13554,13600
DWL 13646,13691,13737,13783,13828,13874,13919,13965,14010,14056
DWL 14101,14146,14192,14237,14282,14327,14373,14418,14463,14508
DWL 14553,14598,14643,14688,14733,14778,14823,14867,14912,14957
DWL 15002,15046,15091,15136,15180,15225,15269,15314,15358,15402
DWL 15447,15491,15535,15580,15624,15668,15712,15756,15800,15844
DWL 15888,15932,15976,16020,16064,16108,16151,16195,16239,16282
DWL 16326,16369,16413,16456,16500,16543,16587,16630,16673,16717
DWL 16760,16803,16846,16889,16932,16975,17018,17061,17104,17147
DWL 17190,17233,17275,17318,17361,17403,17446,17488,17531,17573
DWL 17616,17658,17700,17743,17785,17827,17869,17911,17953,17995
DWL 18037,18079,18121,18163,18205,18247,18288,18330,18372,18413
DWL 18455,18496,18538,18579,18621,18662,18703,18745,18786,18827
DWL 18868,18909,18950,18991,19032,19073,19114,19155,19195,19236
DWL 19277,19317,19358,19399,19439,19479,19520,19560,19601,19641
DWL 19681,19721,19761,19801,19841,19881,19921,19961,20001,20041
DWL 20081,20120,20160,20200,20239,20279,20318,20357,20397,20436
DWL 20475,20515,20554,20593,20632,20671,20710,20749,20788,20827
DWL 20865,20904,20943,20981,21020,21059,21097,21136,21174,21212
DWL 21251,21289,21327,21365,21403,21441,21479,21517,21555,21593
DWL 21631,21668,21706,21744,21781,21819,21856,21894,21931,21968
DWL 22006,22043,22080,22117,22154,22191,22228,22265,22302,22339
DWL 22375,22412,22449,22485,22522,22558,22595,22631,22668,22704
DWL 22740,22776,22812,22848,22884,22920,22956,22992,23028,23064
DWL 23099,23135,23170,23206,23241,23277,23312,23348,23383,23418
DWL 23453,23488,23523,23558,23593,23628,23663,23697,23732,23767
DWL 23801,23836,23870,23905,23939,23973,24008,24042,24076,24110
DWL 24144,24178,24212,24246,24279,24313,24347,24380,24414,24448
DWL 24481,24514,24548,24581,24614,24647,24680,24713,24746,24779
DWL 24812,24845,24878,24910,24943,24976,25008,25041,25073,25105
DWL 25138,25170,25202,25234,25266,25298,25330,25362,25394,25425

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWL 25457, 25489, 25520, 25552, 25583, 25615, 25646, 25677, 25708, 25739
DWL 25771, 25802, 25833, 25863, 25894, 25925, 25956, 25986, 26017, 26048
DWL 26078, 26108, 26139, 26169, 26199, 26229, 26259, 26290, 26320, 26349
DWL 26379, 26409, 26439, 26468, 26498, 26528, 26557, 26586, 26616, 26645
DWL 26674, 26704, 26733, 26762, 26791, 26820, 26848, 26877, 26906, 26935
DWL 26963, 26992, 27020, 27049, 27077, 27105, 27133, 27162, 27190, 27218
DWL 27246, 27273, 27301, 27329, 27357, 27384, 27412, 27440, 27467, 27494
DWL 27522, 27549, 27576, 27603, 27630, 27657, 27684, 27711, 27738, 27765
DWL 27791, 27818, 27844, 27871, 27897, 27924, 27950, 27976, 28002, 28028
DWL 28054, 28080, 28106, 28132, 28158, 28183, 28209, 28234, 28260, 28285
DWL 28311, 28336, 28361, 28386, 28411, 28436, 28461, 28486, 28511, 28536
DWL 28560, 28585, 28610, 28634, 28658, 28683, 28707, 28731, 28755, 28779
DWL 28803, 28827, 28851, 28875, 28899, 28922, 28946, 28970, 28993, 29016
DWL 29040, 29063, 29086, 29109, 29132, 29155, 29178, 29201, 29224, 29247
DWL 29269, 29292, 29314, 29337, 29359, 29381, 29404, 29426, 29448, 29470
DWL 29492, 29514, 29535, 29557, 29579, 29600, 29622, 29643, 29665, 29686
DWL 29707, 29729, 29750, 29771, 29792, 29813, 29833, 29854, 29875, 29895
DWL 29916, 29936, 29957, 29977, 29997, 30018, 30038, 30058, 30078, 30098
DWL 30118, 30137, 30157, 30177, 30196, 30216, 30235, 30254, 30274, 30293
DWL 30312, 30331, 30350, 30369, 30388, 30407, 30425, 30444, 30462, 30481
DWL 30499, 30518, 30536, 30554, 30572, 30590, 30608, 30626, 30644, 30662
DWL 30680, 30697, 30715, 30732, 30750, 30767, 30784, 30801, 30819, 30836
DWL 30853, 30869, 30886, 30903, 30920, 30936, 30953, 30969, 30986, 31002
DWL 31018, 31034, 31050, 31067, 31082, 31098, 31114, 31130, 31146, 31161
DWL 31177, 31192, 31207, 31223, 31238, 31253, 31268, 31283, 31298, 31313
DWL 31328, 31342, 31357, 31372, 31386, 31400, 31415, 31429, 31443, 31457
DWL 31471, 31485, 31499, 31513, 31527, 31540, 31554, 31568, 31581, 31594
DWL 31608, 31621, 31634, 31647, 31660, 31673, 31686, 31699, 31711, 31724
DWL 31737, 31749, 31761, 31774, 31786, 31798, 31810, 31822, 31834, 31846
DWL 31858, 31870, 31881, 31893, 31904, 31916, 31927, 31938, 31950, 31961
DWL 31972, 31983, 31994, 32005, 32015, 32026, 32037, 32047, 32058, 32068
DWL 32078, 32088, 32099, 32109, 32119, 32129, 32138, 32148, 32158, 32167
DWL 32177, 32186, 32196, 32205, 32214, 32224, 32233, 32242, 32251, 32259
DWL 32268, 32277, 32286, 32294, 32303, 32311, 32319, 32328, 32336, 32344
DWL 32352, 32360, 32368, 32376, 32383, 32391, 32398, 32406, 32413, 32421
DWL 32428, 32435, 32442, 32449, 32456, 32463, 32470, 32477, 32483, 32490
DWL 32496, 32503, 32509, 32515, 32522, 32528, 32534, 32540, 32546, 32551
DWL 32557, 32563, 32568, 32574, 32579, 32585, 32590, 32595, 32600, 32605
DWL 32610, 32615, 32620, 32625, 32629, 32634, 32638, 32643, 32647, 32651
DWL 32656, 32660, 32664, 32668, 32672, 32675, 32679, 32683, 32686, 32690
DWL 32693, 32697, 32700, 32703, 32706, 32709, 32712, 32715, 32718, 32721
DWL 32723, 32726, 32729, 32731, 32733, 32736, 32738, 32740, 32742, 32744
DWL 32746, 32748, 32749, 32751, 32753, 32754, 32756, 32757, 32758, 32759
DWL 32760, 32761, 32762, 32763, 32764, 32765, 32766, 32766, 32767, 32767
DWL 32767, 32767, 32767, 32767, 32767, 32767, 32767, 32767, 32767, 32767
DWL 32767, 32766, 32766, 32765, 32764, 32763, 32762, 32761, 32760, 32759
DWL 32758, 32757, 32756, 32754, 32753, 32751, 32749, 32748, 32746, 32744
DWL 32742, 32740, 32738, 32736, 32733, 32731, 32729, 32726, 32723, 32721
DWL 32718, 32715, 32712, 32709, 32706, 32703, 32700, 32697, 32693, 32690
DWL 32686, 32683, 32679, 32675, 32672, 32668, 32664, 32660, 32656, 32651

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWL 32647, 32643, 32638, 32634, 32629, 32625, 32620, 32615, 32610, 32605
DWL 32600, 32595, 32590, 32585, 32579, 32574, 32568, 32563, 32557, 32551
DWL 32546, 32540, 32534, 32528, 32522, 32515, 32509, 32503, 32496, 32490
DWL 32483, 32477, 32470, 32463, 32456, 32449, 32442, 32435, 32428, 32421
DWL 32413, 32406, 32398, 32391, 32383, 32376, 32368, 32360, 32352, 32344
DWL 32336, 32328, 32319, 32311, 32303, 32294, 32286, 32277, 32268, 32259
DWL 32251, 32242, 32233, 32224, 32214, 32205, 32196, 32186, 32177, 32167
DWL 32158, 32148, 32138, 32129, 32119, 32109, 32099, 32088, 32078, 32068
DWL 32058, 32047, 32037, 32026, 32015, 32005, 31994, 31983, 31972, 31961
DWL 31950, 31938, 31927, 31916, 31904, 31893, 31881, 31870, 31858, 31846
DWL 31834, 31822, 31810, 31798, 31786, 31774, 31761, 31749, 31737, 31724
DWL 31711, 31699, 31686, 31673, 31660, 31647, 31634, 31621, 31608, 31594
DWL 31581, 31568, 31554, 31540, 31527, 31513, 31499, 31485, 31471, 31457
DWL 31443, 31429, 31415, 31400, 31386, 31372, 31357, 31342, 31328, 31313
DWL 31298, 31283, 31268, 31253, 31238, 31223, 31207, 31192, 31177, 31161
DWL 31146, 31130, 31114, 31098, 31082, 31067, 31050, 31034, 31018, 31002
DWL 30986, 30969, 30953, 30936, 30920, 30903, 30886, 30869, 30853, 30836
DWL 30819, 30801, 30784, 30767, 30750, 30732, 30715, 30697, 30680, 30662
DWL 30644, 30626, 30608, 30590, 30572, 30554, 30536, 30518, 30499, 30481
DWL 30462, 30444, 30425, 30407, 30388, 30369, 30350, 30331, 30312, 30293
DWL 30274, 30254, 30235, 30216, 30196, 30177, 30157, 30137, 30118, 30098
DWL 30078, 30058, 30038, 30018, 29997, 29977, 29957, 29936, 29916, 29895
DWL 29875, 29854, 29833, 29813, 29792, 29771, 29750, 29729, 29707, 29686
DWL 29665, 29643, 29622, 29600, 29579, 29557, 29535, 29514, 29492, 29470
DWL 29448, 29426, 29404, 29381, 29359, 29337, 29314, 29292, 29269, 29247
DWL 29224, 29201, 29178, 29155, 29132, 29109, 29086, 29063, 29040, 29016
DWL 28993, 28970, 28946, 28922, 28899, 28875, 28851, 28827, 28803, 28779
DWL 28755, 28731, 28707, 28683, 28658, 28634, 28610, 28585, 28560, 28536
DWL 28511, 28486, 28461, 28436, 28411, 28386, 28361, 28336, 28311, 28285
DWL 28260, 28234, 28209, 28183, 28158, 28132, 28106, 28080, 28054, 28028
DWL 28002, 27976, 27950, 27924, 27897, 27871, 27844, 27818, 27791, 27765
DWL 27738, 27711, 27684, 27657, 27630, 27603, 27576, 27549, 27522, 27494
DWL 27467, 27440, 27412, 27384, 27357, 27329, 27301, 27273, 27246, 27218
DWL 27190, 27162, 27133, 27105, 27077, 27049, 27020, 26992, 26963, 26935
DWL 26906, 26877, 26848, 26820, 26791, 26762, 26733, 26704, 26674, 26645
DWL 26616, 26586, 26557, 26528, 26498, 26468, 26439, 26409, 26379, 26349
DWL 26320, 26290, 26259, 26229, 26199, 26169, 26139, 26108, 26078, 26048
DWL 26017, 25986, 25956, 25925, 25894, 25863, 25833, 25802, 25771, 25739
DWL 25708, 25677, 25646, 25615, 25583, 25552, 25520, 25489, 25457, 25425
DWL 25394, 25362, 25330, 25298, 25266, 25234, 25202, 25170, 25138, 25105
DWL 25073, 25041, 25008, 24976, 24943, 24910, 24878, 24845, 24812, 24779
DWL 24746, 24713, 24680, 24647, 24614, 24581, 24548, 24514, 24481, 24448
DWL 24414, 24380, 24347, 24313, 24279, 24246, 24212, 24178, 24144, 24110
DWL 24076, 24042, 24008, 23973, 23939, 23905, 23870, 23836, 23801, 23767
DWL 23732, 23697, 23663, 23628, 23593, 23558, 23523, 23488, 23453, 23418
DWL 23383, 23348, 23312, 23277, 23241, 23206, 23170, 23135, 23099, 23064
DWL 23028, 22992, 22956, 22920, 22884, 22848, 22812, 22776, 22740, 22704
DWL 22668, 22631, 22595, 22558, 22522, 22485, 22449, 22412, 22375, 22339
DWL 22302, 22265, 22228, 22191, 22154, 22117, 22080, 22043, 22006, 21968
DWL 21931, 21894, 21856, 21819, 21781, 21744, 21706, 21668, 21631, 21593

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWL 21555, 21517, 21479, 21441, 21403, 21365, 21327, 21289, 21251, 21212
 DWL 21174, 21136, 21097, 21059, 21020, 20981, 20943, 20904, 20865, 20827
 DWL 20788, 20749, 20710, 20671, 20632, 20593, 20554, 20515, 20475, 20436
 DWL 20397, 20357, 20318, 20279, 20239, 20200, 20160, 20120, 20081, 20041
 DWL 20001, 19961, 19921, 19881, 19841, 19801, 19761, 19721, 19681, 19641
 DWL 19601, 19560, 19520, 19479, 19439, 19399, 19358, 19317, 19277, 19236
 DWL 19195, 19155, 19114, 19073, 19032, 18991, 18950, 18909, 18868, 18827
 DWL 18786, 18745, 18703, 18662, 18621, 18579, 18538, 18496, 18455, 18413
 DWL 18372, 18330, 18288, 18247, 18205, 18163, 18121, 18079, 18037, 17995
 DWL 17953, 17911, 17869, 17827, 17785, 17743, 17700, 17658, 17616, 17573
 DWL 17531, 17488, 17446, 17403, 17361, 17318, 17275, 17233, 17190, 17147
 DWL 17104, 17061, 17018, 16975, 16932, 16889, 16846, 16803, 16760, 16717
 DWL 16673, 16630, 16587, 16543, 16500, 16456, 16413, 16369, 16326, 16282
 DWL 16239, 16195, 16151, 16108, 16064, 16020, 15976, 15932, 15888, 15844
 DWL 15800, 15756, 15712, 15668, 15624, 15580, 15535, 15491, 15447, 15402
 DWL 15358, 15314, 15269, 15225, 15180, 15136, 15091, 15046, 15002, 14957
 DWL 14912, 14867, 14823, 14778, 14733, 14688, 14643, 14598, 14553, 14508
 DWL 14463, 14418, 14373, 14327, 14282, 14237, 14192, 14146, 14101, 14056
 DWL 14010, 13965, 13919, 13874, 13828, 13783, 13737, 13691, 13646, 13600
 DWL 13554, 13508, 13463, 13417, 13371, 13325, 13279, 13233, 13187, 13141
 DWL 13095, 13049, 13003, 12957, 12910, 12864, 12818, 12772, 12725, 12679
 DWL 12633, 12586, 12540, 12493, 12447, 12400, 12354, 12307, 12261, 12214
 DWL 12167, 12121, 12074, 12027, 11980, 11934, 11887, 11840, 11793, 11746
 DWL 11699, 11652, 11605, 11558, 11511, 11464, 11417, 11370, 11323, 11276
 DWL 11228, 11181, 11134, 11087, 11039, 10992, 10945, 10897, 10850, 10802
 DWL 10755, 10707, 10660, 10612, 10565, 10517, 10469, 10422, 10374, 10326
 DWL 10279, 10231, 10183, 10135, 10088, 10040, 9992, 9944, 9896, 9848
 DWL 9800, 9752, 9704, 9656, 9608, 9560, 9512, 9464, 9416, 9368
 DWL 9319, 9271, 9223, 9175, 9127, 9078, 9030, 8982, 8933, 8885
 DWL 8836, 8788, 8740, 8691, 8643, 8594, 8546, 8497, 8449, 8400
 DWL 8351, 8303, 8254, 8206, 8157, 8108, 8059, 8011, 7962, 7913
 DWL 7864, 7816, 7767, 7718, 7669, 7620, 7571, 7522, 7473, 7425
 DWL 7376, 7327, 7278, 7229, 7180, 7130, 7081, 7032, 6983, 6934
 DWL 6885, 6836, 6787, 6737, 6688, 6639, 6590, 6541, 6491, 6442
 DWL 6393, 6343, 6294, 6245, 6195, 6146, 6097, 6047, 5998, 5948
 DWL 5899, 5850, 5800, 5751, 5701, 5652, 5602, 5553, 5503, 5453
 DWL 5404, 5354, 5305, 5255, 5205, 5156, 5106, 5057, 5007, 4957
 DWL 4907, 4858, 4808, 4758, 4709, 4659, 4609, 4559, 4510, 4460
 DWL 4410, 4360, 4310, 4260, 4211, 4161, 4111, 4061, 4011, 3961
 DWL 3911, 3861, 3812, 3762, 3712, 3662, 3612, 3562, 3512, 3462
 DWL 3412, 3362, 3312, 3262, 3212, 3162, 3112, 3062, 3012, 2962
 DWL 2912, 2861, 2811, 2761, 2711, 2661, 2611, 2561, 2511, 2461
 DWL 2411, 2360, 2310, 2260, 2210, 2160, 2110, 2060, 2009, 1959
 DWL 1909, 1859, 1809, 1758, 1708, 1658, 1608, 1558, 1507, 1457
 DWL 1407, 1357, 1307, 1256, 1206, 1156, 1106, 1055, 1005, 955
 DWL 905, 854, 804, 754, 704, 653, 603, 553, 503, 452
 DWL 402, 352, 302, 251, 201, 151, 101, 50, 0, -50
 DWL -101, -151, -201, -251, -302, -352, -402, -452, -503, -553
 DWL -603, -653, -704, -754, -804, -854, -905, -955, -1005, -1055
 DWL -1106, -1156, -1206, -1256, -1307, -1357, -1407, -1457, -1507, -1558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-1608, -1658, -1708, -1758, -1809, -1859, -1909, -1959, -2009, -2060
-2110, -2160, -2210, -2260, -2310, -2360, -2411, -2461, -2511, -2561
-2611, -2661, -2711, -2761, -2811, -2861, -2912, -2962, -3012, -3062
-3112, -3162, -3212, -3262, -3312, -3362, -3412, -3462, -3512, -3562
-3612, -3662, -3712, -3762, -3812, -3861, -3911, -3961, -4011, -4061
-4111, -4161, -4211, -4260, -4310, -4360, -4410, -4460, -4510, -4559
-4609, -4659, -4709, -4758, -4808, -4858, -4907, -4957, -5007, -5057
-5106, -5156, -5205, -5255, -5305, -5354, -5404, -5453, -5503, -5553
-5602, -5652, -5701, -5751, -5800, -5850, -5899, -5948, -5998, -6047
-6097, -6146, -6195, -6245, -6294, -6343, -6393, -6442, -6491, -6541
-6590, -6639, -6688, -6737, -6787, -6836, -6885, -6934, -6983, -7032
-7081, -7130, -7180, -7229, -7278, -7327, -7376, -7425, -7473, -7522
-7571, -7620, -7669, -7718, -7767, -7816, -7864, -7913, -7962, -8011
-8059, -8108, -8157, -8206, -8254, -8303, -8351, -8400, -8449, -8497
-8546, -8594, -8643, -8691, -8740, -8788, -8836, -8885, -8933, -8982
-9030, -9078, -9127, -9175, -9223, -9271, -9319, -9368, -9416, -9464
-9512, -9560, -9608, -9656, -9704, -9752, -9800, -9848, -9896, -9944
-9992, -10040, -10088, -10135, -10183, -10231, -10279, -10326, -10374, -10422
-10469, -10517, -10565, -10612, -10660, -10707, -10755, -10802, -10850, -10897
-10945, -10992, -11039, -11087, -11134, -11181, -11228, -11276, -11323, -11370
-11417, -11464, -11511, -11558, -11605, -11652, -11699, -11746, -11793, -11840
-11887, -11934, -11980, -12027, -12074, -12121, -12167, -12214, -12261, -12307
-12354, -12400, -12447, -12493, -12540, -12586, -12633, -12679, -12725, -12772
-12818, -12864, -12910, -12957, -13003, -13049, -13095, -13141, -13187, -13233
-13279, -13325, -13371, -13417, -13463, -13508, -13554, -13600, -13646, -13691
-13737, -13783, -13828, -13874, -13919, -13965, -14010, -14056, -14101, -14146
-14192, -14237, -14282, -14327, -14373, -14418, -14463, -14508, -14553, -14598
-14643, -14688, -14733, -14778, -14823, -14867, -14912, -14957, -15002, -15046
-15091, -15136, -15180, -15225, -15269, -15314, -15358, -15402, -15447, -15491
-15535, -15580, -15624, -15668, -15712, -15756, -15800, -15844, -15888, -15932
-15976, -16020, -16064, -16108, -16151, -16195, -16239, -16282, -16326, -16369
-16413, -16456, -16500, -16543, -16587, -16630, -16673, -16717, -16760, -16803
-16846, -16889, -16932, -16975, -17018, -17061, -17104, -17147, -17190, -17233
-17275, -17318, -17361, -17403, -17446, -17488, -17531, -17573, -17616, -17658
-17700, -17743, -17785, -17827, -17869, -17911, -17953, -17995, -18037, -18079
-18121, -18163, -18205, -18247, -18288, -18330, -18372, -18413, -18455, -18496
-18538, -18579, -18621, -18662, -18703, -18745, -18786, -18827, -18868, -18909
-18950, -18991, -19032, -19073, -19114, -19155, -19195, -19236, -19277, -19317
-19358, -19399, -19439, -19479, -19520, -19560, -19601, -19641, -19681, -19721
-19761, -19801, -19841, -19881, -19921, -19961, -20001, -20041, -20081, -20120
-20160, -20200, -20239, -20279, -20318, -20357, -20397, -20436, -20475, -20515
-20554, -20593, -20632, -20671, -20710, -20749, -20788, -20827, -20865, -20904
-20943, -20981, -21020, -21059, -21097, -21136, -21174, -21212, -21251, -21289
-21327, -21365, -21403, -21441, -21479, -21517, -21555, -21593, -21631, -21668
-21706, -21744, -21781, -21819, -21856, -21894, -21931, -21968, -22006, -22043
-22080, -22117, -22154, -22191, -22228, -22265, -22302, -22339, -22375, -22412
-22449, -22485, -22522, -22558, -22595, -22631, -22668, -22704, -22740, -22776
-22812, -22848, -22884, -22920, -22956, -22992, -23028, -23064, -23099, -23135
-23170, -23206, -23241, -23277, -23312, -23348, -23383, -23418, -23453, -23488
-23523, -23558, -23593, -23628, -23663, -23697, -23732, -23767, -23801, -23836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWL -23870, -23905, -23939, -23973, -24008, -24042, -24076, -24110, -24144, -24178
DWL -24212, -24246, -24279, -24313, -24347, -24380, -24414, -24448, -24481, -24514
DWL -24548, -24581, -24614, -24647, -24680, -24713, -24746, -24779, -24812, -24845
DWL -24878, -24910, -24943, -24976, -25008, -25041, -25073, -25105, -25138, -25170
DWL -25202, -25234, -25266, -25298, -25330, -25362, -25394, -25425, -25457, -25489
DWL -25520, -25552, -25583, -25615, -25646, -25677, -25708, -25739, -25771, -25802
DWL -25833, -25863, -25894, -25925, -25956, -25986, -26017, -26048, -26078, -26108
DWL -26139, -26169, -26199, -26229, -26259, -26290, -26320, -26349, -26379, -26409
DWL -26439, -26468, -26498, -26528, -26557, -26586, -26616, -26645, -26674, -26704
DWL -26733, -26762, -26791, -26820, -26848, -26877, -26906, -26935, -26963, -26992
DWL -27020, -27049, -27077, -27105, -27133, -27162, -27190, -27218, -27246, -27273
DWL -27301, -27329, -27357, -27384, -27412, -27440, -27467, -27494, -27522, -27549
DWL -27576, -27603, -27630, -27657, -27684, -27711, -27738, -27765, -27791, -27818
DWL -27844, -27871, -27897, -27924, -27950, -27976, -28002, -28028, -28054, -28080
DWL -28106, -28132, -28158, -28183, -28209, -28234, -28260, -28285, -28311, -28336
DWL -28361, -28386, -28411, -28436, -28461, -28486, -28511, -28536, -28560, -28585
DWL -28610, -28634, -28658, -28683, -28707, -28731, -28755, -28779, -28803, -28827
DWL -28851, -28875, -28899, -28922, -28946, -28970, -28993, -29016, -29040, -29063
DWL -29086, -29109, -29132, -29155, -29178, -29201, -29224, -29247, -29269, -29292
DWL -29314, -29337, -29359, -29381, -29404, -29426, -29448, -29470, -29492, -29514
DWL -29535, -29557, -29579, -29600, -29622, -29643, -29665, -29686, -29707, -29729
DWL -29750, -29771, -29792, -29813, -29833, -29854, -29875, -29895, -29916, -29936
DWL -29957, -29977, -29997, -30018, -30038, -30058, -30078, -30098, -30118, -30137
DWL -30157, -30177, -30196, -30216, -30235, -30254, -30274, -30293, -30312, -30331
DWL -30350, -30369, -30388, -30407, -30425, -30444, -30462, -30481, -30499, -30518
DWL -30536, -30554, -30572, -30590, -30608, -30626, -30644, -30662, -30680, -30697
DWL -30715, -30732, -30750, -30767, -30784, -30801, -30819, -30836, -30853, -30869
DWL -30886, -30903, -30920, -30936, -30953, -30969, -30986, -31002, -31018, -31034
DWL -31050, -31067, -31082, -31098, -31114, -31130, -31146, -31161, -31177, -31192
DWL -31207, -31223, -31238, -31253, -31268, -31283, -31298, -31313, -31328, -31342
DWL -31357, -31372, -31386, -31400, -31415, -31429, -31443, -31457, -31471, -31485
DWL -31499, -31513, -31527, -31540, -31554, -31568, -31581, -31594, -31608, -31621
DWL -31634, -31647, -31660, -31673, -31686, -31699, -31711, -31724, -31737, -31749
DWL -31761, -31774, -31786, -31798, -31810, -31822, -31834, -31846, -31858, -31870
DWL -31881, -31893, -31904, -31916, -31927, -31938, -31950, -31961, -31972, -31983
DWL -31994, -32005, -32015, -32026, -32037, -32047, -32058, -32068, -32078, -32088
DWL -32099, -32109, -32119, -32129, -32138, -32148, -32158, -32167, -32177, -32186
DWL -32196, -32205, -32214, -32224, -32233, -32242, -32251, -32259, -32268, -32277
DWL -32286, -32294, -32303, -32311, -32319, -32328, -32336, -32344, -32352, -32360
DWL -32368, -32376, -32383, -32391, -32398, -32406, -32413, -32421, -32428, -32435
DWL -32442, -32449, -32456, -32463, -32470, -32477, -32483, -32490, -32496, -32503
DWL -32509, -32515, -32522, -32528, -32534, -32540, -32546, -32551, -32557, -32563
DWL -32568, -32574, -32579, -32585, -32590, -32595, -32600, -32605, -32610, -32615
DWL -32620, -32625, -32629, -32634, -32638, -32643, -32647, -32651, -32656, -32660
DWL -32664, -32668, -32672, -32675, -32679, -32683, -32686, -32690, -32693, -32697
DWL -32700, -32703, -32706, -32709, -32712, -32715, -32718, -32721, -32723, -32726
DWL -32729, -32731, -32733, -32736, -32738, -32740, -32742, -32744, -32746, -32748
DWL -32749, -32751, -32753, -32754, -32756, -32757, -32758, -32759, -32760, -32761
DWL -32762, -32763, -32764, -32765, -32766, -32766, -32767, -32767, -32767, -32768
DWL -32768, -32768, -32768, -32768, -32768, -32768, -32767, -32767, -32767, -32768

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWL -32766, -32765, -32764, -32763, -32762, -32761, -32760, -32759, -32758, -32757
DWL -32756, -32754, -32753, -32751, -32749, -32748, -32746, -32744, -32742, -32740
DWL -32738, -32736, -32733, -32731, -32729, -32726, -32723, -32721, -32718, -32715
DWL -32712, -32709, -32706, -32703, -32700, -32697, -32693, -32690, -32686, -32683
DWL -32679, -32675, -32672, -32668, -32664, -32660, -32656, -32651, -32647, -32643
DWL -32638, -32634, -32629, -32625, -32620, -32615, -32610, -32605, -32600, -32595
DWL -32590, -32585, -32579, -32574, -32568, -32563, -32557, -32551, -32546, -32540
DWL -32534, -32528, -32522, -32515, -32509, -32503, -32496, -32490, -32483, -32477
DWL -32470, -32463, -32456, -32449, -32442, -32435, -32428, -32421, -32413, -32406
DWL -32398, -32391, -32383, -32376, -32368, -32360, -32352, -32344, -32336, -32328
DWL -32319, -32311, -32303, -32294, -32286, -32277, -32268, -32259, -32251, -32242
DWL -32233, -32224, -32214, -32205, -32196, -32186, -32177, -32167, -32158, -32148
DWL -32138, -32129, -32119, -32109, -32099, -32088, -32078, -32068, -32058, -32047
DWL -32037, -32026, -32015, -32005, -31994, -31983, -31972, -31961, -31950, -31938
DWL -31927, -31916, -31904, -31893, -31881, -31870, -31858, -31846, -31834, -31822
DWL -31810, -31798, -31786, -31774, -31761, -31749, -31737, -31724, -31711, -31699
DWL -31686, -31673, -31660, -31647, -31634, -31621, -31608, -31594, -31581, -31568
DWL -31554, -31540, -31527, -31513, -31499, -31485, -31471, -31457, -31443, -31429
DWL -31415, -31400, -31386, -31372, -31357, -31342, -31328, -31313, -31298, -31283
DWL -31268, -31253, -31238, -31223, -31207, -31192, -31177, -31161, -31146, -31130
DWL -31114, -31098, -31082, -31067, -31050, -31034, -31018, -31002, -30986, -30969
DWL -30953, -30936, -30920, -30903, -30886, -30869, -30853, -30836, -30819, -30801
DWL -30784, -30767, -30750, -30732, -30715, -30697, -30680, -30662, -30644, -30626
DWL -30608, -30590, -30572, -30554, -30536, -30518, -30499, -30481, -30462, -30444
DWL -30425, -30407, -30388, -30369, -30350, -30331, -30312, -30293, -30274, -30254
DWL -30235, -30216, -30196, -30177, -30157, -30137, -30118, -30098, -30078, -30058
DWL -30038, -30018, -29997, -29977, -29957, -29936, -29916, -29895, -29875, -29854
DWL -29833, -29813, -29792, -29771, -29750, -29729, -29707, -29686, -29665, -29643
DWL -29622, -29600, -29579, -29557, -29535, -29514, -29492, -29470, -29448, -29426
DWL -29404, -29381, -29359, -29337, -29314, -29292, -29269, -29247, -29224, -29201
DWL -29178, -29155, -29132, -29109, -29086, -29063, -29040, -29016, -28993, -28970
DWL -28946, -28922, -28899, -28875, -28851, -28827, -28803, -28779, -28755, -28731
DWL -28707, -28683, -28658, -28634, -28610, -28585, -28560, -28536, -28511, -28486
DWL -28461, -28436, -28411, -28386, -28361, -28336, -28311, -28285, -28260, -28234
DWL -28209, -28183, -28158, -28132, -28106, -28080, -28054, -28028, -28002, -27976
DWL -27950, -27924, -27897, -27871, -27844, -27818, -27791, -27765, -27738, -27711
DWL -27684, -27657, -27630, -27603, -27576, -27549, -27522, -27494, -27467, -27440
DWL -27412, -27384, -27357, -27329, -27301, -27273, -27246, -27218, -27190, -27162
DWL -27133, -27105, -27077, -27049, -27020, -26992, -26963, -26935, -26906, -26877
DWL -26848, -26820, -26791, -26762, -26733, -26704, -26674, -26645, -26616, -26586
DWL -26557, -26528, -26498, -26468, -26439, -26409, -26379, -26349, -26320, -26290
DWL -26259, -26229, -26199, -26169, -26139, -26108, -26078, -26048, -26017, -25986
DWL -25956, -25925, -25894, -25863, -25833, -25802, -25771, -25739, -25708, -25677
DWL -25646, -25615, -25583, -25552, -25520, -25489, -25457, -25425, -25394, -25362
DWL -25330, -25298, -25266, -25234, -25202, -25170, -25138, -25105, -25073, -25041
DWL -25008, -24976, -24943, -24910, -24878, -24845, -24812, -24779, -24746, -24713
DWL -24680, -24647, -24614, -24581, -24548, -24514, -24481, -24448, -24414, -24380
DWL -24347, -24313, -24279, -24246, -24212, -24178, -24144, -24110, -24076, -24042
DWL -24008, -23973, -23939, -23905, -23870, -23836, -23801, -23767, -23732, -23697
DWL -23663, -23628, -23593, -23558, -23523, -23488, -23453, -23418, -23383, -23348

DWL -23312,-23277,-23241,-23206,-23170,-23135,-23099,-23064,-23028,-22992
DWL -22956,-22920,-22884,-22848,-22812,-22776,-22740,-22704,-22668,-22631
DWL -22595,-22558,-22522,-22485,-22449,-22412,-22375,-22339,-22302,-22265
DWL -22228,-22191,-22154,-22117,-22080,-22043,-22006,-21968,-21931,-21894
DWL -21856,-21819,-21781,-21744,-21706,-21668,-21631,-21593,-21555,-21517
DWL -21479,-21441,-21403,-21365,-21327,-21289,-21251,-21212,-21174,-21136
DWL -21097,-21059,-21020,-20981,-20943,-20904,-20865,-20827,-20788,-20749
DWL -20710,-20671,-20632,-20593,-20554,-20515,-20475,-20436,-20397,-20357
DWL -20318,-20279,-20239,-20200,-20160,-20120,-20081,-20041,-20001,-19961
DWL -19921,-19881,-19841,-19801,-19761,-19721,-19681,-19641,-19601,-19560
DWL -19520,-19479,-19439,-19399,-19358,-19317,-19277,-19236,-19195,-19155
DWL -19114,-19073,-19032,-18991,-18950,-18909,-18868,-18827,-18786,-18745
DWL -18703,-18662,-18621,-18579,-18538,-18496,-18455,-18413,-18372,-18330
DWL -18288,-18247,-18205,-18163,-18121,-18079,-18037,-17995,-17953,-17911
DWL -17869,-17827,-17785,-17743,-17700,-17658,-17616,-17573,-17531,-17488
DWL -17446,-17403,-17361,-17318,-17275,-17233,-17190,-17147,-17104,-17061
DWL -17018,-16975,-16932,-16889,-16846,-16803,-16760,-16717,-16673,-16630
DWL -16587,-16543,-16500,-16456,-16413,-16369,-16326,-16282,-16239,-16195
DWL -16151,-16108,-16064,-16020,-15976,-15932,-15888,-15844,-15800,-15756
DWL -15712,-15668,-15624,-15580,-15535,-15491,-15447,-15402,-15358,-15314
DWL -15269,-15225,-15180,-15136,-15091,-15046,-15002,-14957,-14912,-14867
DWL -14823,-14778,-14733,-14688,-14643,-14598,-14553,-14508,-14463,-14418
DWL -14373,-14327,-14282,-14237,-14192,-14146,-14101,-14056,-14010,-13965
DWL -13919,-13874,-13828,-13783,-13737,-13691,-13646,-13600,-13554,-13508
DWL -13463,-13417,-13371,-13325,-13279,-13233,-13187,-13141,-13095,-13049
DWL -13003,-12957,-12910,-12864,-12818,-12772,-12725,-12679,-12633,-12586
DWL -12540,-12493,-12447,-12400,-12354,-12307,-12261,-12214,-12167,-12121
DWL -12074,-12027,-11980,-11934,-11887,-11840,-11793,-11746,-11699,-11652
DWL -11605,-11558,-11511,-11464,-11417,-11370,-11323,-11276,-11228,-11181
DWL -11134,-11087,-11039,-10992,-10945,-10897,-10850,-10802,-10755,-10707
DWL -10660,-10612,-10565,-10517,-10469,-10422,-10374,-10326,-10279,-10231
DWL -10183,-10135,-10088,-10040,-9992,-9944,-9896,-9848,-9800,-9752
DWL -9704,-9656,-9608,-9560,-9512,-9464,-9416,-9368,-9319,-9271
DWL -9223,-9175,-9127,-9078,-9030,-8982,-8933,-8885,-8836,-8788
DWL -8740,-8691,-8643,-8594,-8546,-8497,-8449,-8400,-8351,-8303
DWL -8254,-8206,-8157,-8108,-8059,-8011,-7962,-7913,-7864,-7816
DWL -7767,-7718,-7669,-7620,-7571,-7522,-7473,-7425,-7376,-7327
DWL -7278,-7229,-7180,-7130,-7081,-7032,-6983,-6934,-6885,-6836
DWL -6787,-6737,-6688,-6639,-6590,-6541,-6491,-6442,-6393,-6343
DWL -6294,-6245,-6195,-6146,-6097,-6047,-5998,-5948,-5899,-5850
DWL -5800,-5751,-5701,-5652,-5602,-5553,-5503,-5453,-5404,-5354
DWL -5305,-5255,-5205,-5156,-5106,-5057,-5007,-4957,-4907,-4858
DWL -4808,-4758,-4709,-4659,-4609,-4559,-4510,-4460,-4410,-4360
DWL -4310,-4260,-4211,-4161,-4111,-4061,-4011,-3961,-3911,-3861
DWL -3812,-3762,-3712,-3662,-3612,-3562,-3512,-3462,-3412,-3362
DWL -3312,-3262,-3212,-3162,-3112,-3062,-3012,-2962,-2912,-2861
DWL -2811,-2761,-2711,-2661,-2611,-2561,-2511,-2461,-2411,-2360
DWL -2310,-2260,-2210,-2160,-2110,-2060,-2009,-1959,-1909,-1859
DWL -1809,-1758,-1708,-1658,-1608,-1558,-1507,-1457,-1407,-1357
DWL -1307,-1256,-1206,-1156,-1106,-1055,-1005,-955,-905,-854

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DWL -804 , -754 , -704 , -653 , -603 , -553 , -503 , -452 , -402 , -352
DWL -302 , -251 , -201 , -151 , -101 , -50

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จร่างด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือสนับสนุนอำนวยความสะดวก จาก หลายท่าน ผู้จัดทำขอกล่าวขอบพระคุณ อ. พิชิต ล่ายอง ซึ่งช่วยให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือ ด้านการเงินมาโดยตลอด , อ. จิรวัดณ์ ปานกลาง ให้คำปรึกษาด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และให้ ความสะดวกในการใช้ห้อง Lab ,อ. กิตติ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ , บริษัท novem engineering ที่ให้ความรู้และ ช่วยแก้ปัญหาทางเทคนิค จนประสบความสำเร็จ และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ ทุกคนที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด ขอกราบขอบคุณ บุคคลทุกท่านไว้ ณ. โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง



- [1] กฤษดา วิศวธีรานนท์ , "Inverter หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน", คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536
- [2] เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, "เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์", 2538
- [3] Universal Cross-Assemblers, " Cross-32 Meta-Assembler for MS-DOS User's guide", Canada, 1993
- [4] Yi Zhang , Saed Sobhani , Rahul Chokhawala , "Snubber Considerations for IGBT Applications", International Rectifier, 1993

