สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อินเวอร์เตอร์สามเฟส แบบ SV PWM

SPACE VECTOR OF INVERTER 3 PHASE

โดย

นาย จรินทร์ พูลพนัง

นาย วิโรจน์ อ่อนคง

นาย อนันตพงศ์ พิมใจดี

นาย นิกรณ์ จูสิงห์

TO55585

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ประภาษ ไพรฐวรรณา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่

เลขทะเบียน 55585

วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์สามเฟส แบบ SPACE VECTOR

ผู้จัดทำ

1. นาย จรินทร์	พูลพนัง	44015098
2. นาย วิโรจน์	อ่อนคง	44015125
3. นาย อนันตพงศ์	พิมใจดี	44015136
4. นาย นิกรณ์	ฐสิงห์	44015154

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ SPACE VECTOR

นาย จรินทร์ พูลพนัง

นาย วิโรจน์ อ่อนคง

นาย อนันตพงศ์ พิมใจดี

นาย นิกรณ์ จูสิงห์

รศ.ประภาษ ไพรสุวรรณา

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างสัญญาณ พัลส์วิทมอดดูเลชั่นด้วยการใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิตซึ่งมีความละเอียดของข้อมูล และความเร็วในการทำงานสูงกว่าไมโครคอนโทลเลอร์ขนาด 8 บิตโดยการใช้หลักการของโวลต์เตจเวคเตอร์ และใช้ IGBT เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ ซึ่งสามารถสวิตช์ได้ที่ความถี่สูง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ความถี่ในการสวิตช์ที่ 10khz เป็นความถี่ที่สูงพอที่จะทำให้สัญญาณซายน์ที่ได้มีความต่อเนื่องและสวยงาม และยังอยู่ในขอบเขตความสามารถของ IGBT และใช้ขับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 380 โวลท์ 50 Hz จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทฤษฎีของโวลท์เตจสเปสเวคเตอร์สามารถประยุกต์งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPACE VECTOR OF INVERTER THREE PHASE

JARIN POOLPANANG
WIROTE ONKONG
ANANTAPONG PIMJAIDEE
NIKORN JUSING
Assoc.prof.PRAPAS PRAISUWANNA ADVISOR

ABSTRACT

This report presents using 16 bit Microcontroller to directly generate the pulsewidth modulation pattern based on the voltage space vector and switching by IGBT at high frequency. The Microcontroller gives the perfect data and operates with highspeed. It has more efficiency than 8 bit Microcontroller. Implemental is done byusing 10 kHZ which is sufficient high quality sine wave. Experimental results verifythe feasibility of the proposed system todrive 3 phase 380 v 50Hz motor

.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ประภาษ ไพรสุวรรณาอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

วิโรจน์ อ่อนคง

จรินทร์ พูลพนัง

นิกรณ์ จูสิงห์

อนันตพงศ์ พิมใจดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ VI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเบื้องต้น 1

1.2 การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 1

1.2.1 การควบคุมแบบวงรอบเปิด 2

1.2.2 การควบคุมแบบเวกเตอร์ 3

1.3 วัตถุประสงค์ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ 4

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น 4

2.2 หลักการควบคุมแบบ v/f 6

2.3 แรงบิด (Torque) 8

2.4 สเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (Voltage space vector) 9

2.4.1 หลักการทำพัลส์วิดมอดูเลชั่น แบบเวกเตอร์แรงดัน 11

2.4.2 หลักการเลือกเซกเตอร์ 12

2.5 การควบคุมแบบฟิลด์โอเรียนท์ (field orientate control) 13

2.5.1 การไดรฟ์แบบเอซี (classic ac drive) 14

2.5.2 การควบคุมแบบฟิลด์โอเรียนท์ (field orientate control) 14

2.5.3 การควบคุมแบบ PI 20

2.6 การแปลงแบบคลาร์ค และปาร์คใน FOC 21

2.6.1 โดยทั่วไป 21

2.6.2 การแปลงแบบคลาร์กและปาร์คใน FOC (clarke and park transforms in the field orientated control) 21

2.6.3 เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ (mathematical consideration) 22

2.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในปาร์ค และคลาร์คบน c2xx 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วงจรส่วนกำลัง 23
3.1 ไอจีบีทีและการป้องกัน 25
3.2 การทำงานของภาค อินเวอร์เตอร์ 27
3.3 การทำงานภาค คอนเวอร์เตอร์ 31
3.4 การสร้างและคำนวณ 33
บทที่ 4 การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล(Digital Signal Processing) 38
4.1 สถาปัตยกรรมของ DSP Controller เบอร์ TMS320LF2406 38
4.2 ภาคประมวลผล กลางของ TMS320LF2406 39
4.3 ฟังก์ชั่นบล็อกไดอะแกรม (Function Block Diagram) 40
4.4 ลักษณะฮาร์ดแวร์ภายใน 41
4.5 การจัดผังหน่วยความจำ (Memory) 42
4.6 การจัดผังหน่วยความจำอุปกรณ์รอบข้าง (Peripheral Memory Map) 43
4.7 หน่วยความประมวลผล (Central Processing Unit) 44
4.8 หน่วยคณิตศาสตร์รีจิสเตอร์ช่วย(Auxiliary Register Arithmetic Unit ARAU) 45
4.9 ชุดคำสั่งของ TMS320LF240 46
4.10 คุณสมบัติเด่นของ TMS320LF2406 ในการประยุกต์ใช้งาน 55
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง 57
บทที่ 6 บทสรุปโครงงาน อินเวอร์เตอร์ 65
6.1 ข้อดีของอินเวอร์เตอร์นี้ 65
6.2 ปัญหาในการทำโครงงานนี้ 65
6.3 สิ่งที่ควรพัฒนาต่อไปสำหรับโครงงานนี้ 65
6.4 ปัญหาจากผลของการผิดเพี้ยน(distortion)ของกราฟกระแสที่ความถี่ต่ำ 66
ภาคผนวก ก ข้อมูลของโมดูลชุดขับเกทและชุดกำลัง
ภาคผนวก ข โปรแกรมรวม
เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

รูป 1.1 การควบคุมแบบ v/f 1

รูป 2.1 เวกเตอร์ A,B,C 4

รูป 2.2 เวกเตอร์แรงดันอินเวอร์เตอร์ 5

รูป 2.3 เวกเตอร์แรงดันที่ขาของอินเวอร์เตอร์ 6

รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันกับความถี่ 7

รูป 2.5 การสวิตช์ของเวกเตอร์ 9

รูป 2.6 การทำงานย่านแรงบิดคงที่ 9

รูป 2.8 ส่วนประกอบของเวกเตอร์แรงดัน 11

รูป 2.9 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ (d,q) 12

รูป 2.10 แผนผังเวลารูปแบบการสวิทช์ 12

รูป 2.11 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิง d – q และแกนอ้างอิง a – bรูปที่ 13

รูป 2 .12 แผนภาพวิธีการหาเซกเตอร์ของเวกเตอร์แรงดัน 15

รูป 2.13 กระแสสเปซเวกเตอร์ของสเตเตอร์และ องค์ประกอบ (a,b,c) 16

รูป 2.14 กระแสสเปซเวกเตอร์ของสเตเตอร์ และองค์ประกอบ (a,b) 17

รูป 2.15 กระแสสเปซเวกเตอร์ของสเตเตอร์ และองค์ประกอบ (a,b)และในแกนหมุน d,qอ้างอิง 18

รูป 2.16 schematic พื้นฐานของ foc สำหรับมอเตอร์กระแสสลับ 19

รูป 2.17 กระแส แรงดัน และ โรเตอร์ฟลักซ์สเปซเวกเตอร์ในแกนหมุนอ้างอิง d,q
และความสัมพันธ์กับ a,b,cและแกนคงที่อ้างอิง a,b 19

รูป 2.18โครงสร้างของ pI เรกูเรเตอร์ 20

รูป 2.19 กระแสสเตเตอร์ในแกนหมุนd,q อ้างอิงและความสัมพันธ์กับแกนอ้างอิง a,bและ c 23

รูป 3.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ 24

รูป 3.2 การควบคุมคลื่นแรงดัน 25

รูป 3.3 ดีดัปปลิ้งคาปาซิเตอร์ 26

รูป 3.4 วิธีการสร้างไฟสลับ 28

รูป 3.5 รูปคลื่นกระแส 28

รูป 3.6 การสร้างไฟสลับ 3 เฟส 29

รูป 3.7 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสพื้นฐาน 30

รูป 3.8 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ 31

รูป 3.9 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์ 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.10 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไฟสลับเฟสเดียวเป็นไฟตรง 32
รูป 3.11 วงจรจำกัดขนาดกระแสอินรัช 33
รูป 3.12 กระแสอินรัช 33
รูป 3.13 แสดงไฟเลี้ยงแยกกราวด์ของชุดขับไอจีบีที 34
รูป 3.14 แสดงไฟเลี้ยงของวงจรตรวจจับกระแส 35
รูป 3.15 รูปวงจรตรวจจับกระแส 35
รูป 3.16 วงจรการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟดีซีก่อนเข้าไอจีบีที 36
รูป 3.17 วงจรการยกระดับสัญญาณก่อนเข้าวงจรขับไอจีบีที 37
รูป 4.1 บล็อกไดอะแกรมของ 240 dsp cpu 40
รูป 4.2 การจัดหน่วยความจำ (Memory Map) 43
รูป 4.3 การจัดหน่วยความจำอุปกรณ์รอบข้าง (Peripheral Memory Map) 44
รูป 5.1ค่าการประวิงเวลาของสัญญาณ pwm 56
รูป 5.2 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 25 เฮิร์ต 57
รูป 5.3 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 50 เฮิร์ต 57
รูป 5.4 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 75 เฮิร์ต 58
รูป 5.5 รูปคลื่นของสัญญาณ กระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ความถี่ 25 เฮิร์ต 58
รูป 5.6 รูปคลื่นของสัญญาณ กระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ความถี่50 เฮิร์ต 59
รูป 5.7 รูปคลื่นของสัญญาณ กระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ความถี่ 75 เฮิร์ต 59
รูป 6.1 a รูปกราฟสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลต 67
รูป 6.1 b สัญญาณลอจิก สำหรับ T1 67
รูป 6.1 c สัญญาณลอจิก สำหรับ T2 67
รูป 6.1 d รูปกราฟแรงดันเอาท์พุทจริง 67
รูป 6.2 รูปกราฟการชดเชยแรงดันของสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่นช่วงสภาวะที่ 1 (il < 0) 68
รูป 6.3 ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 1 69
รูป 6.4 ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 2 69
รูป 6.5 โครงสร้างของอินเวตเตอร์ก่อนทำการคอมเพนเสท 70
รูป 6.6 โครงสร้างของอินเวตเตอร์หลังทำการคอมเพนเสท 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเบื้องต้น

ในอดีตระบบขับเคลื่อนต่างๆ ในอุตสาหกรรมที่ต้องการปรับความเร็วรอบ จะใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากฟลั๊กซ์และแรงบิดสามารถควบคุมได้ง่าย โดยการควบคุมกระแสสนามและกระแสอาเมเจอร์ ซึ่งทำให้ระบบควบคุมไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงต้องมีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน ทำให้มีข้อเสียคือ

1.ทำให้ต้องมีการดูแลรักษาอยู่เป็นประจำ

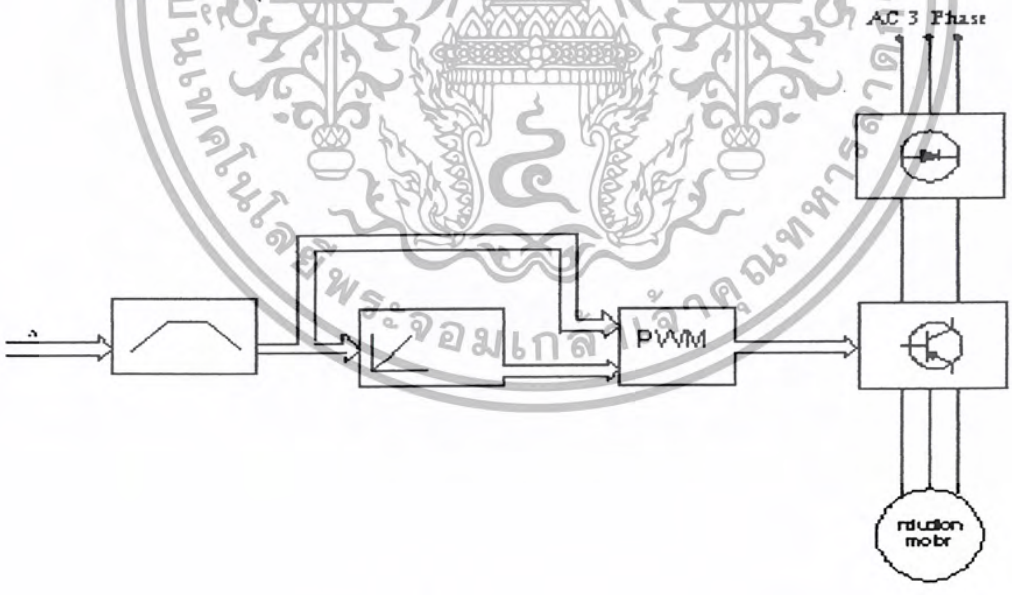
2.ไม่สามารถใช้ในสภาวะที่อาจจะเกิดระเบิด หรือในที่ที่มีการกัดกร่อนจากสารเคมีได้

3.มอเตอร์มีราคาสูง

ปัญหาทางด้านโครงสร้างเหล่านี้สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้าใช้มอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแทน โดยมีวิธีการควบคุมดังจะกล่าวต่อไป

1.2 การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

1.2.1 การควบคุมแบบวงรอบเปิด



รูปที่ 1.1 การควบคุมแบบ v/f

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการควบคุมในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะเป็นแบบ v/f ดังแสดงในรูปที่1.1 ซึ่งจะประสบปัญหาดังต่อไปนี้คือ

1.2.1.1 คุณสมบัติการควบคุมแรงบิดทำได้ไม่ดีพอ

1.2.1.2 ขาดเสถียรภาพที่บางความถี่

1.2.1.3 มีขีดจำกัดในการตอบสนองของความเร็ว

1.2.1.4 ในการควบคุมความเร็วยังไม่เที่ยงตรงดีพอ

แม้ว่าจะมีข้อดีคือง่ายต่อการออกแบบและสร้าง ไม่จำเป็นต้องมีตัวตรวจจับความเร็ว และไม่ต้องการข้อมูลพารามิเตอร์ของมอเตอร์

จากปัญหาของระบบควบคุมแบบ v/f ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงมีการพัฒนาการควบคุมแบบเวกเตอร์ซึ่งเป็นการควบคุมแบบวงรอบปิด

1.2.2 การควบคุมแบบเวกเตอร์

การควบคุมแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นทำได้ โดยการควบคุมกระแสของมอเตอร์โดยอาศัยหลักการควบคุมแบบเวกเตอร์ หรือการควบคุมอิงสนามแม่เหล็ก(vector control of field orient control) ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะการควบคุมของมอเตอร์เหนี่ยวนำในกรณีนี้คล้ายคลึงกับการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก อย่างไรก็ตามยังมีข้อแตกต่างคือ ในมอเตอร์กระแสตรงตำแหน่งเชิงมุมของกระแสสนาม และกระแสอาร์เมเจอร์จะอยู่กับที่ด้วยการทำงานของคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน ในขณะที่มอเตอร์กระแสสลับตำแหน่งเชิงมุมของฟลั๊กซ์และกระแสสเตเตอร์ต้องการควบคุมจากภายนอกซึ่งการควบคุมแบบเวกเตอร์ จะทำให้แรงบิดและฟลั๊กซ์ในโรเตอร์ถูกควบคุม อย่างมีอิสระต่อกัน โดยจะควบคุมขนาดและมุมเฟสของกระแสทั้ง 3 เฟส หรืออีกนัยหนึ่งเวกเตอร์รวมของกระแสจะถูกควบ ซึ่งเป็นที่มาของคำว่าการควบคุมแบบเวกเตอร์

การควบคุมแบบเวกเตอร์แบ่งตามลักษณะการควบคุมได้ 2 แบบ คือ

1.2.2.1 แบบควบคุมกระแส (current control)

1.2.2.2 แบบควบแรงดันหรือการแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน (voltage controllor decoupling control)

การควบคุมแบบเวกเตอร์โดยการควบคุมกระแส ไม่จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ทางด้านสเตเตอร์ทำให้การควบคุมนั้นลดความยุ่งยากลง การควบแบบนี้โดยทั่วๆไป จะเป็นการควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันโดยมีการป้อนกลับของวงรอบควบคุมกระแสไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างกระแสที่สร้างฟลั๊กซ์และกระแสที่ทำให้เกิดแรงบิด อีกทั้งยังอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของโรเตอร์เนื่องจากความร้อนซึ่งจะทำให้โรเตอร์ฟลั๊กซ์ไม่คงที่ แนวทางแก้ไขทำได้ 2 วิธีคือการเพิ่มอัตราขยายของวงรอบป้อนกลับของกระแสให้มีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อที่จะให้ตัวแปลงผันพลังงาน (power converter) จ่ายกระแสได้แบบอุดมคติ ดังนั้นตัวแปลงผันพลังงานจะต้องมีความถี่สวิทช์ที่สูงมาก ซึ่งเป็นขีดจำกัดในการใช้งานในระบบขนาดใหญ่ อีกวิธีหนึ่งคือใช้การควบคุมแบบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรายงานนี้จึงใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ โดยการควบคุมแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ด้วยหลักการแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน ของกระแสที่สร้างฟลั๊กซ์ และกระแสที่ทำให้เกิดแรงบิด ทำให้กระแสทั้งสองตั้งฉากกันตามที่ต้องการ

ข้อดีประการอื่นของระบบควบคุมแรงดันคือ

- สามารถสร้างสัญญาณมอดูเลตตามความกว้างพัลซ์วิดมอดูเลชั่น (pulse width modulation) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง

- ไม่ต้องมีการป้อนกลับของกระแสเพื่อการควบคุม

- เป็นการง่ายที่จะนำไปใช้ ในการพัฒนาระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ ที่มีสมรรถนะสูงต่อไปเช่น การควบแบบเวกเตอร์ ที่ปราศจากตัวตรวจจับความเร็ว (speed sensor – less vector control)

อย่างไรก็ตามการนำหลักการควบคุมแบบเวกเตอร์มาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม ต้องอาศัยการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อให้อุปกรณ์แปลงผันพลังงานมีราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมทั้งการพัฒนาทางการควบคุมเชิงเลขด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีสมรรถภาพสูงก็เป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ในการทำงาน

1.3 วัตถุประสงค์

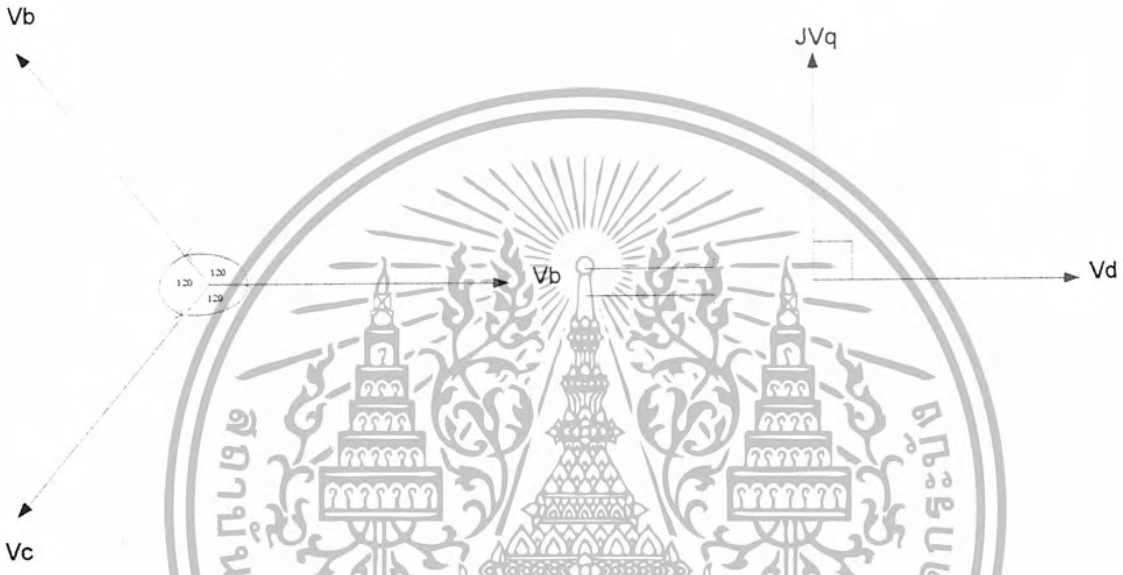
เพื่อศึกษาค้นคว้าออกแบบ และสร้างระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้ได้ลักษณะการควบคุมที่คล้ายคลึงกับมอเตอร์กระแสตรง เพื่อเป็นการพัฒนาระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีสมรรถนะสูง ซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแรงบิดและความเร็ว โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนที่สำคัญในการควบคุมแรงดัน เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบเวกเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และสามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

สเปซเวกเตอร์ (vector space) เป็นเหมือนการรวมค่าปริมาณต่างๆ ทางไฟฟ้าที่มีเฟสต่างกัน 120 องศา จะทำให้ได้เวกเตอร์ในปริภูมิ 1 เวกเตอร์ ถ้าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เป็น ซายน์ ก็จะได้เวกเตอร์ที่มีขนาดคงที่ และหมุนเป็นวงกลมเทียบกับแกนอ้างอิงที่อยู่กับที่โดยหมุนด้วยความถี่ของแรงดันที่จ่าย

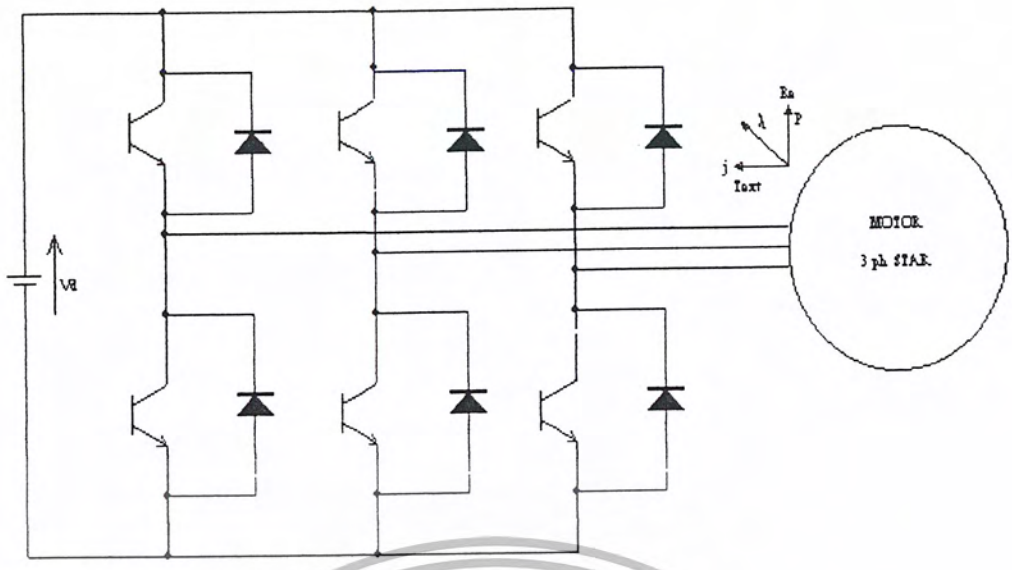


รูปที่ 2.1 เวกเตอร์ A,B,C

การแปลงแรงดันสามเฟสเป็นสเปซเวกเตอร์ สามารถเขียนในรูปการแปลงโดยใช้เมตริกซ์การแปลงโดยมองให้สเปซเวกเตอร์ของแรงดันที่แปลงได้อยู่บนแกนอ้างอิงที่อยู่กับที่ 2 แกนที่ตั้งฉากกันคือแกน D และแกนQ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Vd \\ Vq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & (3/2) & -(3/2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} \qquad ;V = Vd + jVq \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เวกเตอร์แรงดันอินเวอร์เตอร์

การเกิดสวิทช์ชิ่ง ปิด – เปิดเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ของวงจรอินเวอร์เตอร์ จะทำให้เกิดรูปแบบและการสวิทช์ทั้ง 8 แบบสามารถแปลงให้อยู่ในรูปสเปซเวกเตอร์ได้ เราเรียกสเปซเวกเตอร์ของแรงดันนี้ว่า เวกเตอร์แรงดัน

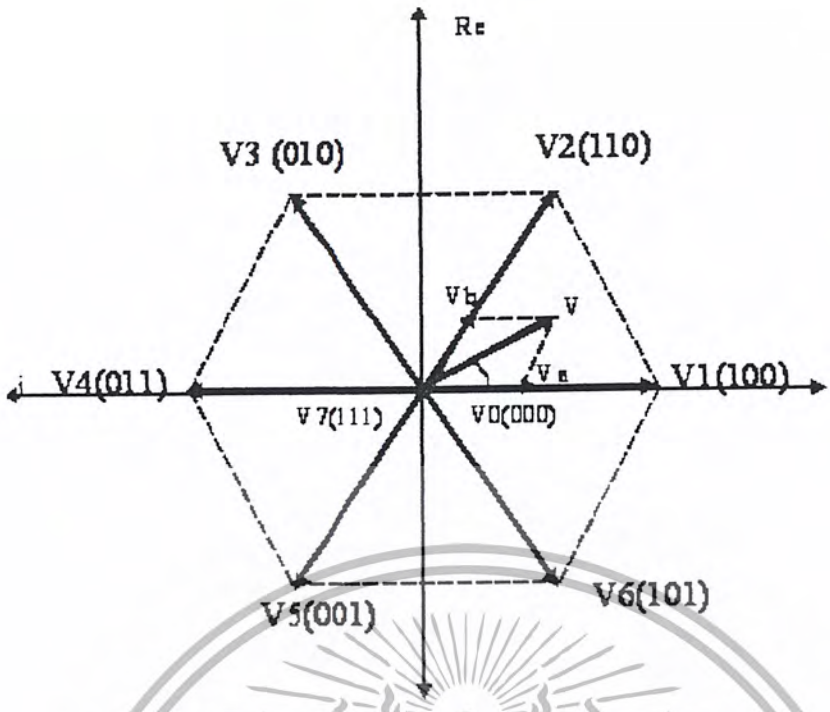
$$V = Va + aVb + a^2Vc \quad \text{----------} \quad (2.3)$$

โดย Va = แรงดันที่ขั้ว a เทียบกับจุดสะเทิน (neutral) ของมอเตอร์

Vb = แรงดันที่ขั้ว b เทียบกับจุดสะเทิน (neutral) ของมอเตอร์

Vc = แรงดันที่ขั้ว c เทียบกับจุดสะเทิน (neutral) ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เวกเตอร์แรงดันที่ขาของอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3 แสดงเวกเตอร์แรงดันที่ได้ขาออกของอินเวอร์เตอร์ เมื่อสวิทช์แบบต่างๆ ตัวเลขฐาน 2 ในวงเล็บแสดงถึงรูปแบบการเปิด – ปิด เช่นหมายเลข (110) หมายถึงทรานซิสเตอร์ (Transistor) ตัวเฟสaและเฟส b เปิด และทรานซิสเตอร์ตัวล่างของเฟส c เปิด (ทรานซิสเตอร์ตัวบนและตัวล่างในเฟสเดียวกัน จะต้องไม่ทำงาน (เปิด) พร้อมกัน) ตัวเลขที่ตามหลัง v คือ ค่าตัวเลขฐาน 10 ที่ตรงกับเลขฐาน 2 ในเวกเตอร์นั้น แกนอ้างอิงของ เวกเตอร์แรงดัน ใช้เฟส a เป็นหลัก

2.2 หลักการ v/f control

จากความสัมพันธ์ที่ว่าฟลักซ์ที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์แปรผันตรงกับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์และแปรผกผันกับความถี่ของแรงดันที่จ่าย

$$\emptyset \quad \propto \quad v/f \qquad \text{----------} \qquad (2.4)$$

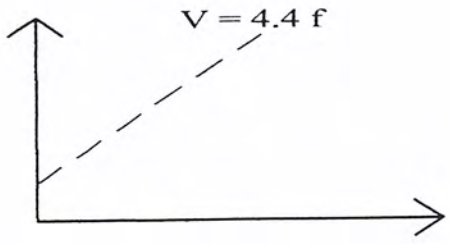
ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการปรับความถี่ของแรงดันที่ป้อน จึงต้องมีการเปลี่ยนค่าขนาดแรงดันที่ป้อนด้วย เพื่อให้มีค่าคงที่ เพื่อทำให้แรงบิดที่มอเตอร์ ให้มีค่าคงที่เพราะแรงบิดแปรผันโดยตรงกับ Ø

เช่น v/f = 220 v / 50 Hz = ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย 220 v คือค่าแรงดัน เฟส – เฟส

เราสามารถแปลงแรงดัน เฟส – เฟส นี้ไปเป็นแรงดันในสเปซเวกเตอร์ ที่สัมพันธ์กับความถี่คือ

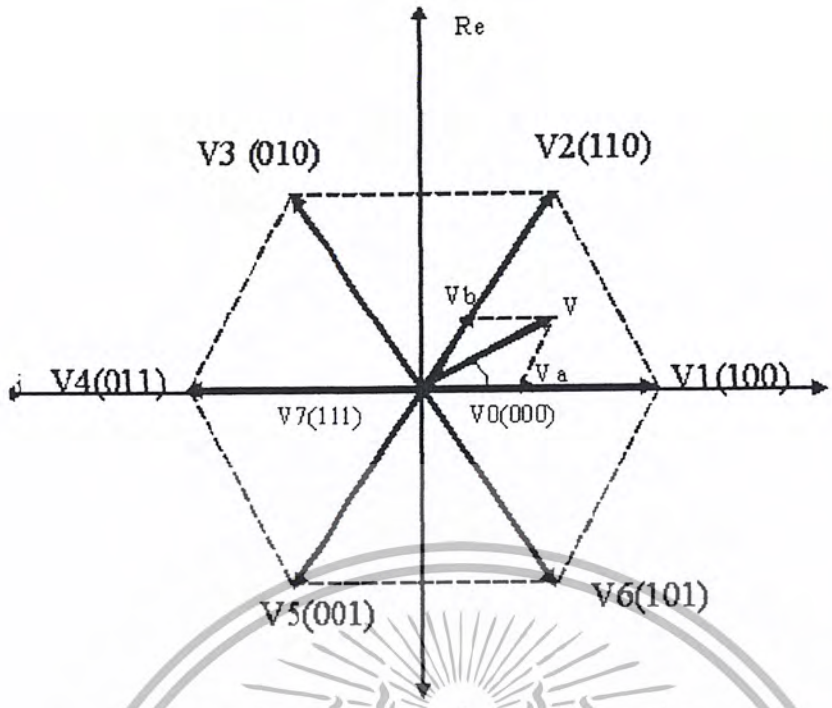


รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันกับความถี่

ดังนั้นถ้าเราทราบความถี่ที่ต้องการ เราสามารถหาแรงดันสเปซเวกเตอร์ได้ และเนื่องจากแรงดันที่คำนวณเป็น ซายน์ดังนั้นสเปซเวกเตอร์ของแรงดันที่ได้จะมีขนาดคงที่ที่ความถี่ค่าหนึ่ง และหมุนด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของแรงดันที่ต้องการ แรงดันสเปซเวกเตอร์นี้สามารถทำให้กำเนิดได้โดยการให้อินเวอร์เตอร์ ทำการสวิทช์โดยสามารถอธิบายได้ดังรูป 2.5

จากรูป เมื่อต้องการ โวลท์เตจสเปซที่มีขนาด v ของที่ทำมุมกับแกนอ้างอิง D Q สามารถทำได้โดยการเปิด – ปิดของทรานซิสเตอร์ ที่มีรูปแบบของ V1 (100) กับ V2 (110) เป็นอัตราส่วน Vb/V2 เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ย V ออกมาเป็น V แต่แรงดันสเปซเวกเตอร์นี้จะหมุน ไปเป็นวงกลม ดังนั้นเมื่อ V หมุนไปอยู่ตำแหน่งใดๆ อินเวอร์เตอร์ก็ต้องทำการสวิทช์ที่อยู่ระหว่างเวกเตอร์นั้นจึงเป็นเหมือนการแปลงแรงดันที่ต้องการจะจ่ายให้กับมอเตอร์ไปเป็นแรงดันบนสเปซเวกเตอร์ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การสวิตช์ของเวกเตอร์

แปลงกลับโดยใช้ อินเวอร์เตอร์ เมื่อเราเปลี่ยนความถี่ ขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์จะเปลี่ยนและความถี่ในการหมุนก็จะเปลี่ยนไปด้วย

2.3 แรงบิด (Torque)

สมการที่2.5 แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิด (T) กับแรงดัน (V) และความถี่ (F)

$$T = K * V/F * I \quad \text{---------- (2.5)}$$

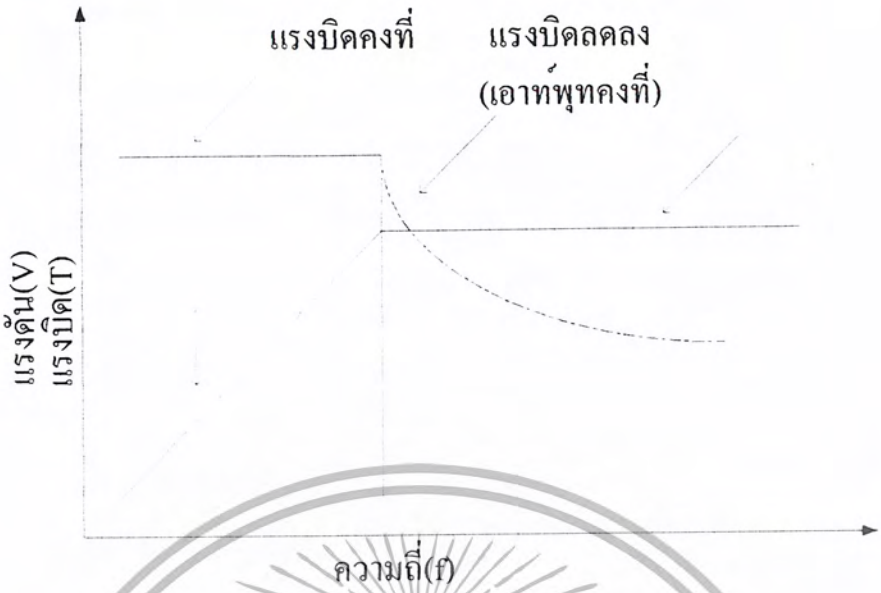
K = ค่าคงที่

I = กระแส

1. ถ้าอัตราส่วน V/F คงที่ ก็จะทำให้แรงบิดคงที่ด้วย
2. ถ้าให้แรงดันคงที่ และความถี่แปรค่าไป แรงบิดก็จะแปรค่าไป

ในขณะที่รักษากระแสมอเตอร์ ให้คงที่ แรงบิดจะแปรผกผันความถี่ที่แปรไปนั้น ตามรูป2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กับแรงดัน และแรงบิดอัตราส่วนระหว่างแรงดันกับความถี่ เราเรียกว่ารูปแบบ v/f (v/f pattern) ค่านี้มีความสำคัญมากในการควบคุมมอเตอร์ โดยแรงบิดสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ หมายถึง แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ซึ่งไม่ทำให้อินเวอร์เตอร์จ่ายกระแสเกินค่าพิกัด (rated over load current) มักจะตั้งค่าไว้ที่ 150 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสพิกัด ซึ่งทั้งนี้ช่วงเวลาสั้นๆ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1 นาที ตามการตั้งเวลากระแสเกินของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



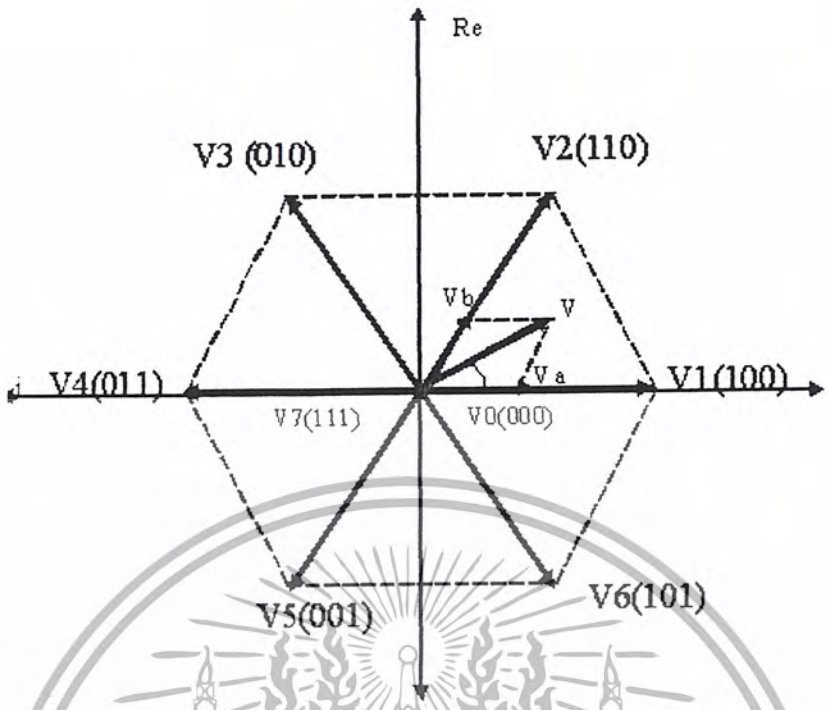
รูปที่ 2.6การทำงานย่านแรงบิดคงที่

2.4 สเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (voltage space vector)

จากหัวข้อที่2.1กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุม โดยอาศัยสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน (voltage space vector) จะเป็นแบบควบคุมแรงดัน (voltage control) ซึ่งเป็นการง่ายที่จะทำโดยหลักการของเวกเตอร์แรงดัน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญโดยตรงของอินเวอร์เตอร์ที่จะกล่าวถึง ทำให้เราสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณพัลส์วิดมอด ซึ่งจะได้อธิบายโดยละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7 (ก) เป็นชุดอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_{dc} และสวิทช์กำลัง 6 ตัว ซึ่งสามารถสร้างเวกเตอร์ได้ 8 แบบกล่าวคือเวกเตอร์ศูนย์V0,V7และเวกเตอร์ V1 – V6 ซึ่งมีขนาด $\sqrt{2/3} * V_{dc}$ ดังแสดงในรูป โดยที่ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงลักษณะการเปิดปิดวงจรของสวิทช์ในเฟส a ,b และ c ตามลำดับ "0"หมายถึงสวิทช์ตัวบนเปิดวงจร และ "1" หมายถึงสวิทช์ตัวบนปิดวงจร ยกตัวอย่างเช่นกรณี V4 (100) จะเป็นกรณีที่สวิทช์ หมายเลข 1,6,2ปิดวงจร จะได้แรงดันระหว่างสายดังต่อไปนี้

$$V_{ab} = V_a - V_b = V_{dc}$$

$$V_{bc} = V_b - V_c = 0$$

$$V_{ca} = V_c - V_a = -V_{dc}$$

และ $$V_a + V_b + V_c = 0$$

โดยที่ V_a , V_b , V_c เป็นแรงดันเฟสเทียบกับจุดสะเทิน (neutral)ในมอเตอร์

เพราะฉะนั้นเราจะได้ว่าแรงดันเฟส

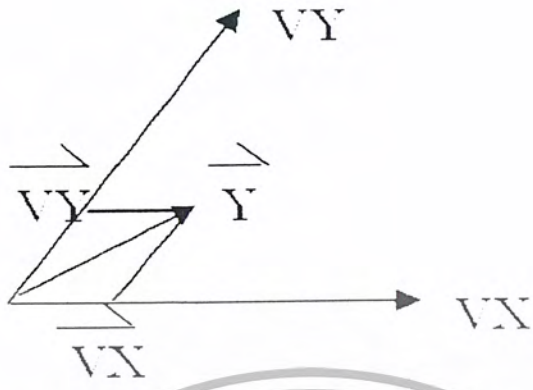
$$V_a = 2/3\ V_{dc} \quad . \quad V_b = -1/3\ V_{dc} \quad , \quad V_c = -1/3\ V_{dc}$$

ซึ่งสามารถแปลงเป็นเวกเตอร์แรงดันได้ดังนี้

เนื่องจากเวกเตอร์ที่เราสามารถสร้างได้มีเพียง 8 แบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เราจึงไม่สามารถที่จะสร้างเวกเตอร์แรงดันได้ตามต้องการได้โดยตรง แต่เราจะใช้วิธีการสร้างเวกเตอร์แรงดันที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับแรงดันที่ต้องการแทนโดยอาศัยเวกเตอร์ศูนย์ และเวกเตอร์แรงดัน 2 เวกเตอร์ที่อยู่ข้างเคียงกัน เช่น v4 และ v5 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 หลักการทำ พัลล์วิดมอดูเลชั่น แบบเวกเตอร์แรงดัน



รูปที่2.8 ส่วนประกอบของเวกเตอร์แรงดัน

ดังนั้นเมื่อเราทราบแรงดันเวกเตอร์เฉลี่ย (v) อยู่ที่เซกเตอร์ใด เช่นในรูปที่ 2.7 เราสามารถคำนวณขนาดของเวกเตอร์ประกอบทั้งสองกรณีต่างๆได้ดังต่อไปนี้

เซกเตอร์ที่ 1

$$V = Vx + Vy = X + jY = (V4 + (1/2)V5) + j(3/2)V5$$

$$V4 = X - (Y/3) \; ; \; V5 = 2Y/3$$

เซกเตอร์ที่ 2

$$V = Vx + Vy = X + jY = ((-1/2)V1 - (V3)) + j(3/2)(V1)$$

$$V3 = -X - (Y/3) \; ; \; V1 = (2Y/3)$$

เซกเตอร์ที่ 3

$$V = Vx + Vy = X + jY = (V4 + (1/2)V5) + j(3/2)V5$$

$$V4 = X - (Y/3) \; ; \; V5 = 2Y/3$$

เซกเตอร์ที่ 4

$$V = Vx + Vy = X + jY = (-V3 - (1/2)V2) + j(3/2)V2$$

$$V3 = -X + (Y/3) \; ; \; V5 = -2Y/3$$

เซกเตอร์ที่ 5

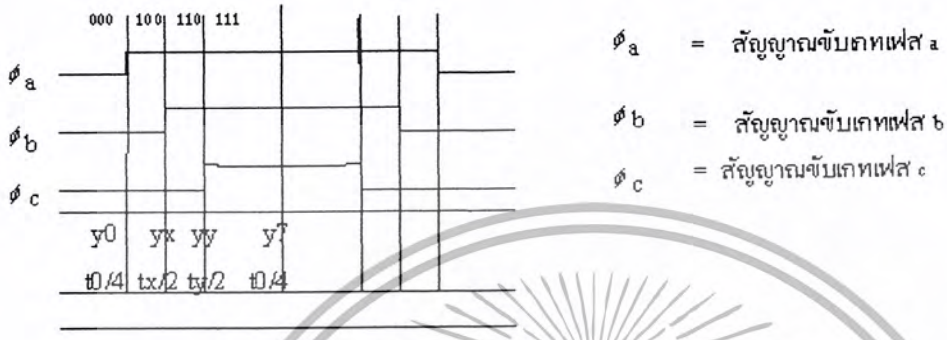
$$V = Vx + Vy = X + jY = ((1/2)V6 + (1/2)V\2) - j(3/2)(V6 + V2)$$

$$V6 = X - (Y/3) \; ; \; V2 = -X - (Y/3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

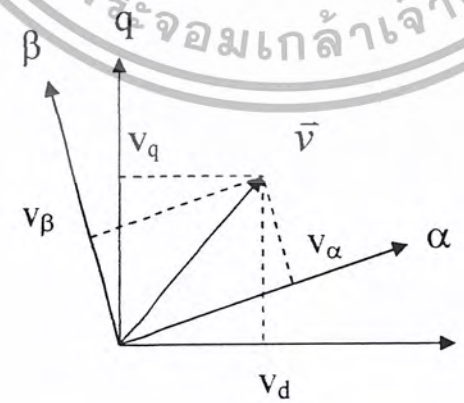
ถึงแม้ว่าเราจะคำนวณช่วงเวลา tx, ty และ to ของเวคเตอร์โดยที่ x และ y เป็นขนาดขององค์ประกอบเวคเตอร์แรงดันในแกน d-q

ถึงแม้ว่าเราจะคำนวณช่วงเวลา tx,ty และ to ของเวคเตอร์แรงดันได้แล้วก็ตาม เรายังกำหนดรูปแบบการสวิตช์ได้อย่างอิสระ แต่ในรายงานนี้เราจะกำหนดรูปแบบในการสวิตช์ อันจะทำให้เกิดการมอดดูเลตแบบขอบคู่ ซึ่งมีลักษณะแบบสมมาตร และมีคุณสมบัติในด้านการกระจายฮาโมนิกที่ดี



รูปที่ 2.9 รูปแผนผังเวลาการสวิทช์

เมื่อทราบแรงดันเวคเตอร์จากการคำนวณของการควบคุมแบบแยกการควบคุมให้มีอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นค่าที่วัดเทียบกับแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ เราสามารถที่จะหาว่าเวคเตอร์อยู่มุมเท่าไหร่เทียบกับแกนอ้างอิงที่แกนสเตเตอร์ ทำให้ทราบว่าจะเลือกใช้เวคเตอร์ใดในเวคเตอร์ทั้ง 6 กล่าวคือ สมมุติให้แรงดันเวคเตอร์เฉลี่ยที่เราต้องการสร้างคือ V= Va -jVq ซึ่งเทียบกับแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ การย้ายแกนมาเป็นแกนอ้างอิงสเตเตอร์กระทำได้ดังต่อไปนี้

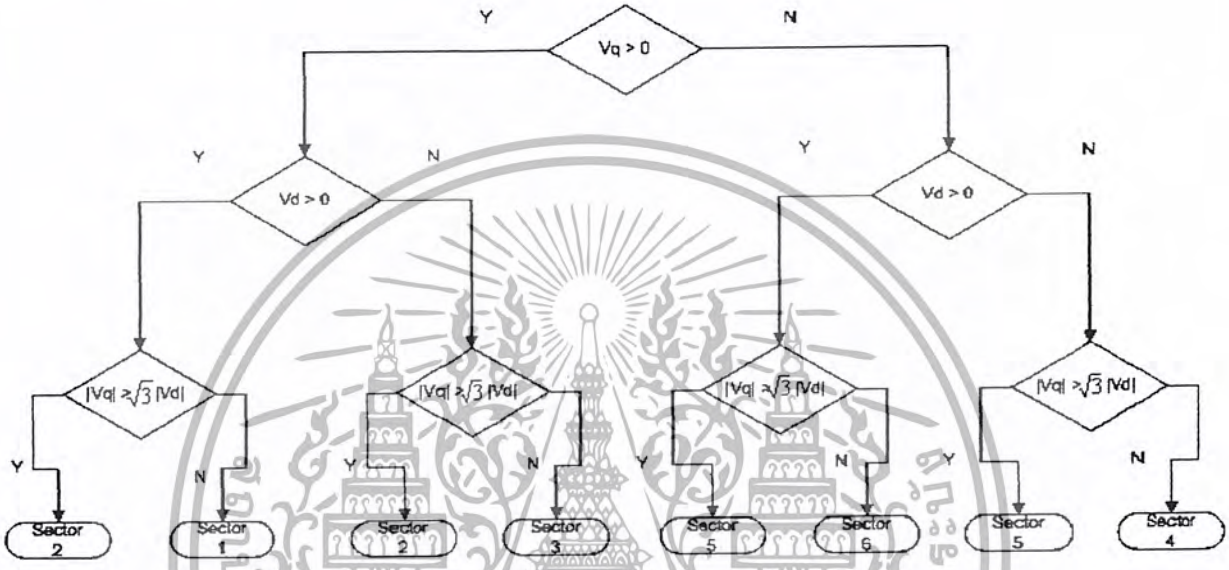


รูปที่ 2.10 เวกเตอร์แรงดันบนแกนอ้างอิง d – q และแกนอ้างอิง a – b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องมาจากในการทำควบคุมให้มีอิสระต่อกัน และการย้ายแกนอ้าวอิงมายังแกนสเตเตอร์ที่ได้กล่างมาแล้วนั้น เราจะเทียบเคียงค่าเวคเตอร์ประกอบแรงดัน (Vd,Vq) เท่านั้น

ดังนั้นหากเราต้องการทราบมุมของเวกเตอร์นั้นจะต้องทำการคำนวณ arctan (vq/vd) ซึ่งในกรณีที่นำไปเขียนด้วยซอฟแวร์จะยุ่งยากและเกิดความผิดพลาดสูงในช่วงมุมใกล้ 90 ดังนั้นในรายงานนี้จึงเสนอแนวทางการหาเซกเตอร์แรงดันโดยไม่ต้องคำนวณค่ามุมของเวกเตอร์แรงดัน ซึ่งมีวิธีการดังเสนอแผนภาพรูปที่ 2 . 12



รูปที่ 2 . 11 แผนภาพวิธีการหาเซกเตอร์ของเวกเตอร์แรงดัน

วิธีการสร้างรูปแบบการสวิตช์ดังกล่าวอาศัยการเปรียบเทียบค่าเท่านั้นจึงง่ายและเหมาะสำหรับการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในรายงานนี้จึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsp โดยอาศัยตัวจับเวลาภายใน และพอร์ตรับและส่งสัญญาณที่มีความเร็ว (High speed Input/output port) เมื่อทราบรูปแบบการสวิตช์และเมื่อถึงเวลาในการสวิตช์ของรูปแบบนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งพอร์ตอินพุท - เอาท์พุต แบบความเร็วสูง ให้ส่งรูปแบบการสวิตช์นั้น เป็นสัญญาณสำหรับการตัด-ต่อสวิตช์ที่ความถี่การสวิตช์เป็นหลัก kHz

2.5 field orientate control

ช่วงหลายปีที่ผ่านมา การควบคุม electric drive ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงครั้งยิ่งใหญ่ ได้มีการพัฒนาความได้เปรียบของสารกึ่งตัวนำทั้งในด้านกำลังและทางด้านสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ และจุดสุดยอดของไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ไมโครโปรเซสเซอร์ และ DSP เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนี้ทำให้สามารถนำไปพัฒนา และใช้ในการควบคุม ac drive กับการหายไปของ hard ware และเป็นการควบคุมที่เที่ยงตรงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุม electric drive จึงกลายเป็นความแม่นยำยิ่งกว่าในการวินิจฉัยไม่เพียงแต่ dc current และ voltage control แต่เป็นกระแสและแรงดัน 3 เฟส โดยการดำเนินการดังที่เรียกว่า vector control

เอกสารฉบับนี้บรรยายถึงประสิทธิภาพสูงสุดของ vector control ซึ่ง field orient control มี 3 หัวข้อหลัก คือ ค่าแรงดันและกระแสแบบเวกเตอร์ของเครื่องจักร (the machine current and voltage space vector) การแปลงของระบบ 3 เฟสและระบบที่ขึ้นกับเวลาในระบบ 2 แกนที่แปรตามเวลา (the transformation of a three phase speed and time depedent system in a two coordinate time variant system) และ การกำเนิด pwm (effective pulse width modulation pattern generation) การควบคุม ac machine ได้เรียนรู้ประโยชน์ของการควบคุมของ dc machine และไม่มีปัญหาเรื่อง คอมมิวเตชั่น นอกจากนั้นโครงสร้างของการควบคุมแบบนี้ มีความเที่ยงตรงมากๆทั้งในสภาวะ steady state และ การควบคุมในสภาวะ transient

2.5.1 classic ac drive

โครงสร้างการควบคุม ตามปกติใช้แรงดันไซน์ 3 เฟส ห่างกัน 120° ไปที่สเตเตอร์ การขับเคลื่อน ac motor การกำเนิดของ sin 3 เฟส อยู่บนพื้นฐานคุณสมบัติของการขับเคลื่อนทางแม่เหล็กของมอเตอร์และวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ในสภาวะคงตัว การควบคุมที่เหมือนการแยกการควบคุมแบบ 3 เฟส ออกเป็นแต่ละเฟสจะดีกว่าการควบคุมรวมของระบบ 3 เฟส

- แบบจำลองและคุณสมบัติของมอเตอร์ใช้ในสภาวะ คงตัว อย่างเดียวสาเหตุนี้การควบคุมยอมให้มีแรงดันสูงและกระแสช่วง transient ได้ความเสียหายนี้ไม่เพียงแต่สมรรถนะการขับเคลื่อนอย่างเดียว แต่ประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานด้วย รวมถึงอุปกรณ์ด้านกำลังที่ต้องใหญ่ขึ้นเพื่อให้ทนกับสภาวะ transient และ spike

- อุปสรรคอย่างมากในการควบคุมแบบปรับค่าสัญญาณไซน์เปรียบเทียบการควบคุมแบบ PI ไม่สามารถปรับค่าไซน์ได้ถ้าปราศจากการผิดเพี้ยนของสัญญาณไซน์อ้างอิง และ การควบคุมฮีสเตอร์รีซิส นำมาใช้ทำให้มีการขยายสัญญาณ รบกวน เข้าในระบบ และเป็นการยากที่จะกรองออกได้

-ไม่มีการจัดการระบบ 3 เฟส ที่ไม่สมดุลย์ไม่คำนึงถึง phase interaction

-โครงสร้างของการควบคุมต้องเป็นไปตามชนิดของมอเตอร์ (synchronous or asynchronous)

สิ่งที่ตามมาในการบรรยาย field orient control ของ ac drive วิธีการควบคุมแบบนี้จะเอาชนะแต่ละข้อเสีย และปรับปรุงโดยรวมให้ ac drive ดีขึ้น

2.5.2 control field orientate

field orientat control ประกอบด้วยการควบคุมกระแสสเตเตอร์ที่บรรยายโดยเวกเตอร์ การควบคุมนี้อยู่บนพื้นฐานการถ่ายทอดซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลาและความเร็วของระบบ 3 เฟส ไปยัง 2 พิกัด (พิกัด d และ q) การถ่ายทอดนี้โครงสร้างคล้ายๆกับการควบคุม dc machine การควบคุมเครื่องจักรแบบ FOC ต้องการ

ค่าอินพุท เป็น การอ้างอิง 2 ตัว คือ ส่วนประกอบแรงบิด (q co-ordinate) และส่วนประกอบฟลั๊กซ์ (d co-ordinate) การควบคุม field orient control อยู่บนพื้นฐานง่ายๆบนการถ่ายทอดโครงสร้างของการควบคุมจัดการกับปริมาณทางไฟฟ้าที่เป็น instantaneous การควบคุมนี้ทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องในทุกๆการทำงาน (steady state and transient) และการเป็นอิสระของย่านของโมเดลทางคณิตศาสตร์ วิธีการ FOC เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ละเอียดตามวิธีการนี้

- การเป็นอิสระของค่าคงที่อ้างอิง (ส่วนประกอบ แรงบิดและฟลั๊กซ์ของกระแสสเตอร์)
- การเป็นอิสระของการใช้การควบคุมแรงบิดโดยตรงเพราะในการอ้างอิง (d,q) การบรรยายของแรงบิด คือ

$$m \propto \Psi_R \, i_{sq}$$

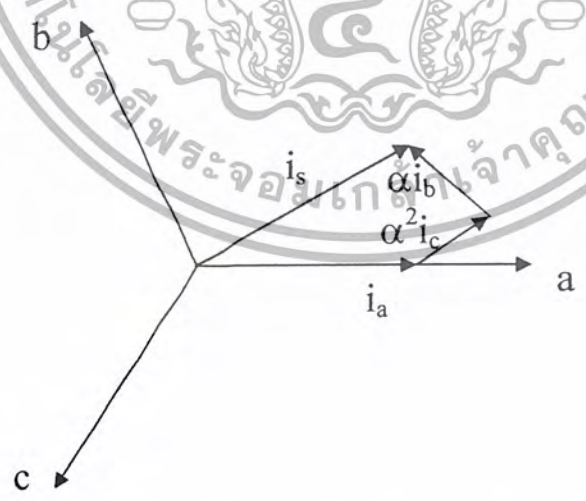
การรักษาค่าขนาดของ rotor flux (Ψ_R) ที่มีการกำหนดค่าตายตัวเราใช้ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่าง แรงบิดและ องค์ประกอบแรงบิด (i_{sq}) เราสามารถควบคุม แรงบิดโดยการควบคุมองค์ประกอบแรงบิด ของเวกเตอร์กระแสของสเตเตอร์

2.5.2.1 คำจำกัดความและการอธิบายสเปซเวกเตอร์ (space vector definition and projection)

ค่าแรงดันกระแสและฟลั๊กซ์ 3 เฟส ของ มอเตอร์กระแสสลับ สามารถวิเคราะห์ได้ในเทอมของ complex space vector) ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับกระแส สเปซเวกเตอร์ สามารถอธิบายได้ตามนี้ สมมติว่า i_a, i_b, i_c เป็นกระแส instantaneous ในสเตเตอร์ ดังนั้นค่า complex stator current vector สามารถอธิบายโดย

$$is = i_a + \alpha i_b + \alpha^2 i_c$$

เมื่อ $\alpha = e^{j(2/3)\pi}$ และ $\alpha^2 = e^{j(4/3)\pi}$ บรรยายการกระทำตามโคอะแกรมแสดงถึงกระแสสเตเตอร์ที่เป็น complex space vector



รูปที่ 2.12 กระแสสเปซเวกเตอร์ของสเตเตอร์และ องค์ประกอบ (a,b,c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

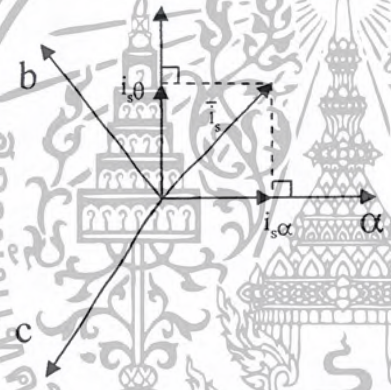
เมื่อ (a,b,c) เป็นระนาบ 3 เฟส ของระบบซึ่งกระแส space vector บรรยายถึงระบบไซน์ 3 เฟส จนกระทั่งมีการแปลงไปเป็นระบบ สองแกนที่แปรตามเวลา(two time invariant co-ordinate) การแปลงนี้สามารถแยกออกเป็น 2 ระบบ

- (a,b,c) $\longrightarrow$ (α,β) (การแปลงแบบคลาก) ซึ่งเอาท์พุทที่ได้เป็นระบบสองแกนที่แปรตามเวลา(two co-ordinate time variant system)

- (α,β) $\longrightarrow$ (d,q) (การแปลงแบบปาร์ค) ซึ่งเอาท์พุทที่ได้เป็นระบบสองแกนที่แปรตามเวลา (two co-ordinate time invariant system)

การแปลงจากระบบ a,b,cไปยัง ระบบ α,β (clarke transformation)

สเปซเวกเตอร์ สามารถบรรยายในการอ้างอิงอีกหนึ่งอย่างกับแกน 2 แกน (α,β) สมมติแกน a และ α มีทิศทางเดียวกันมี เวกเตอร์ไดอะแกรม β



รูปที่ 2.13 กระแสสเปซเวกเตอร์ของสเตเตอร์ และองค์ประกอบ (a,b)

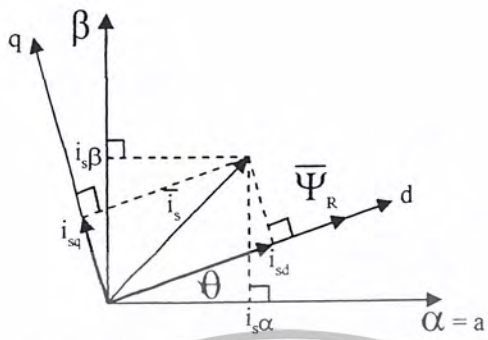
แสดงการแก้ไขระบบ 3 เฟส ไปเป็น (α,β) ระบบ 2 มิติ โดยบรรยายได้ตามข้างล่าง

$$i_{s\alpha} = i_a$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สำหรับ TMS320F240 เป็น ซอฟท์แวร์ อ้างถึงการรายงาน (BPRA048) เราได้ระบบ สองแกน การแปลงจากระบบ α,β ไปยัง ระบบ t d,q (parke transformation)



รูปที่ 2.14 กระแสสเปซเวกเตอร์ของสเตเตอร์ และองค์ประกอบ (a,b) และในแกนหมุน d,q อ้างอิง

นี้คือสิ่งที่สำคัญที่สุดของการแปลงใน FOC ในความเป็นจริงนี้คือการแสดงการปรับแต่งของระบบ 2 เฟส ที่ตั้งฉากกัน (α,β) ในแกนหมุน d q อ้างอิง ถ้าเราพิจารณาแกน d ให้ตรงกับแนวโรเตอร์ฟลั๊กซ์ไดอะแกรมถัดไปจะแสดงกระแสเวกเตอร์ความสัมพันธ์จาก 2 แกน อ้างอิง เมื่อ θ คือ ตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์องค์ประกอบแรงบิดและแรงบิดของเวกเตอร์กระแสสามารถหาได้โดยสมการนี้

$$i_{sd} = i_{s\alpha} \cdot \cos(\theta) + i_{s\beta} \cdot \sin(\theta)$$
$$i_{sq} = -i_{s\alpha} \cdot \sin(\theta) + i_{s\beta} \cdot \cos(\theta)$$

องค์ประกอบนี้จะขึ้นกับองค์ประกอบเวกเตอร์กระแสและตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ถ้าเรารู้ตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ด้านขวาจากการแสดงนี้องค์ประกอบ d,q ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- ระบบ สองแกนที่แปรตามเวลา
- ซึ่ง i_{sd} (flux component) และ i_{sq} (torque component) การควบคุมแรงบิดโดยตรงและเป็นไปได้ง่าย

การแปลงจากระบบ d,q ไปยัง ระบบ α,β (inverse parke transformation)

เรานำเข้ามาจากการแปลงแรงดันนี้ซึ่งสมการจะปรับแต่งแรงดันในแกน d,q อ้างอิงไปเป็นระบบ 2 เฟส ที่ตั้งฉากกัน

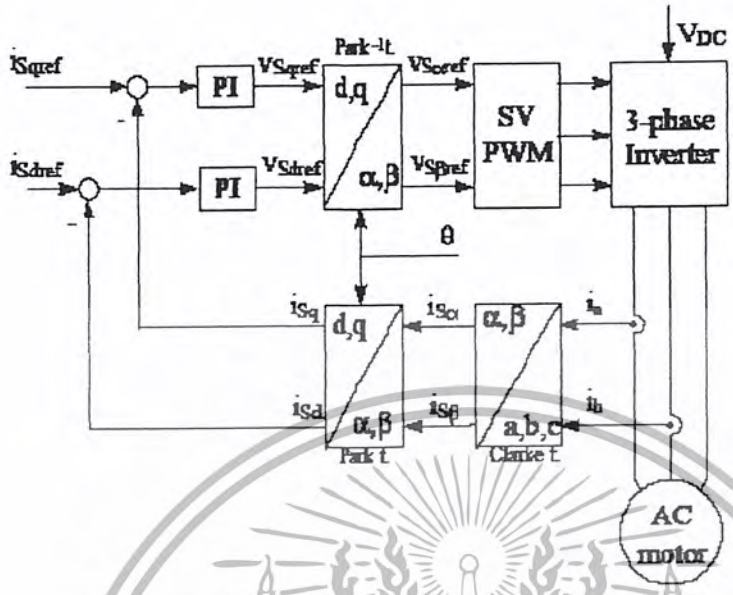
$$v_{s\alpha ref} = v_{sdref} \cos\theta - v_{sqref} \sin\theta$$
$$v_{s\beta ref} = v_{sdref} \sin\theta + v_{sqref} \cos\theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55585

2.5.2.2 schematic พื้นฐานของ FOC

ไดอะแกรมนี้เป็นการรวมการควบคุมพื้นฐานของการควบคุมแรงบิดของ FOC



รูปที่ 2.15 schemetic พื้นฐานของ foc สำหรับมอเตอร์กระแสสลับ

กระแส 2 เฟส ของมอเตอร์จะถูกวัดออกมา ซึ่งการวัดนี้จะป้อนให้กับโมดูลการแปลงค่าของ clarke ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จะแสดงค่าเป็น $i_{s\alpha}$ และ $i_{s\beta}$ ซึ่ง 2 องค์ประกอบของกระแสนี้จะเป็นอินพุทของการแปลงของ park และจะให้ผลออกของกระแสออกมาเป็นแกนหมุนอ้างอิง d,q ซึ่งค่า i_{sd} และ i_{sq} จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ i_{sdref} (the flux reference) และ i_{sqref} (the torque reference) ณ จุดนี้โครงสร้างของการควบคุมนี้จะแสดงให้เห็นถึงความน่าสนใจที่เป็นประโยชน์มันสามารถใช้ในการควบคุมอย่างใดอย่างหนึ่ง ซิงโครนัส หรือ อินดักชั่น โดยการเปลี่ยนแปลงง่ายๆของฟลั๊กซ์อ้างอิงและตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ เช่น ในมอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร ค่าโรเตอร์ฟลั๊กจะคงที่ (กำหนดโดยแม่เหล็ก) และไม่ต้องการสร้างขึ้นอีก นอกจากนั้นเมื่อเราควบคุม PMSM, I_{sdref} จะถูกเซตค่าสู่ศูนย์ อินดัคชั่นมอเตอร์ต้องการสร้างโรเตอร์ฟลั๊กซ์เพื่อให้ทำงานได้ ค่ากระแสฟลั๊กซ์อ้างอิงจะไม่เป็นศูนย์ ความเหมาะสมของการแก้ปัญหานี้จะถูกนำไปแก้ข้อบกพร่องของโครงสร้างของการควบคุมแบบ “ classic “

การเคลื่อนย้ายจากซิงโครนัสไปยังการขับเคลื่อนแบบซิงโครนัส คำสั่งแรงบิด I_{sqref} จะเป็นเอาท์พุทของ speed regulator เมื่อเราใช้ FOC ค่า เอาท์พุท ของ กระแส regular to คือ v_{sdref} และ v_{sqref} จะถูกใช้ในการแปลงแบบ inverse park ค่าเอาท์พุท คือ $v_{s\beta ref}$ ซึ่งคือ องค์ประกอบแรงดันเวกเตอร์ของสเตเตอร์ใน α,β เป็นค่าคงที่อ้างอิงที่ตั้งฉากกัน นี้คือ อินพุทของสเปซเวกเตอร์ PWM ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จาก บล็อก นี้ จะเป็นสัญญาณนำไปขับ อินเวอร์เตอร์ ทั้งการแปลงแบบ park และ inverse park ต้องการตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ ซึ่งตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กนี้จะแปรตามชนิดของ ac machine(synchronous or asynchronous) ตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ พิจารณาได้จาก paragraph ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

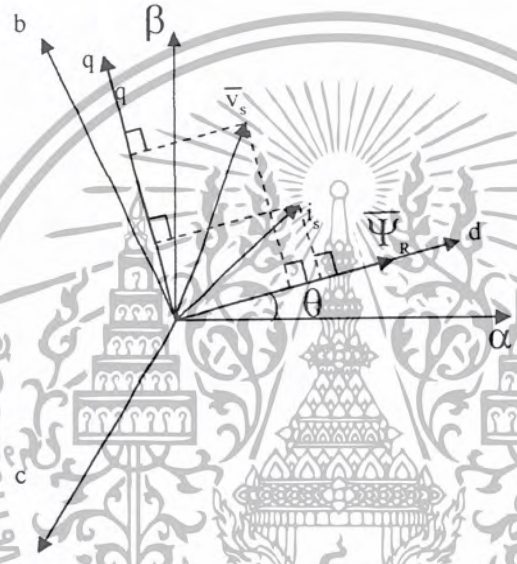
2.52.3 ค่าอินพุทของ FOC

ค่า fundamental ที่ FOC ต้องการคือ กระแส 2 เฟส (มอเตอร์ต่อแบบสตาร์และกระแสสามเฟส $i_a + i_b + i_c = 0$) และตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์

- current sampling

การวัดกระแส i_a และ i_b โดยใช้การเปลี่ยนแบบ a/d converter ค่าการทำงานที่ถูกต้องของ FOC จะขึ้นอยู่กับการวัดค่ากระแสที่ถูกต้อง

- ตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ (rotor flux position)



รูปที่ 2.16 กระแส แรงดัน และ โรเตอร์ฟลั๊กซ์สเปซเวกเตอร์ในแกนหมุนอ้างอิง d,q และความสัมพันธ์กับ a,b,c และแกนคงที่อ้างอิง a,b

การรู้ตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์เป็นหัวใจสำคัญของ FOC ในความเป็นจริง ถ้านั่นคือค่าความผิดพลาดของการเปลี่ยนแปลงของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ ไม่เป็นเส้นตรงกับแกน d และ i_{sd} และ i_{sq} (คือ ค่าฟลั๊กซ์และค่าแรงบิด) ที่ไม่ถูกต้องของกระแสสเตเตอร์ ในไดอะแกรมนี้แสดงให้เห็นถึง (a,b,c),(α,β) และ (d,q) อ้างอิง และตำแหน่งที่ถูกต้องของโรเตอร์ฟลั๊กซ์ กระแสสเตเตอร์และแรงดันสเตเตอร์ของสเปซเวกเตอร์ที่หมุนกับ d,q อ้างอิงที่ ซิงโครนัส

การวัดตำแหน่งของ โรเตอร์ฟลั๊กซ์ จะแตกต่าง ถ้าเราพิจารณาซิงโครนัส หรือ อินดักชั่นมอเตอร์

- ใน ซิงโครนัส ค่าความเร็วของโรเตอร์ จะเท่ากับความเร็วฟลั๊กซ์ของโรเตอร์ ดังนั้น θ (ตำแหน่งของโรเตอร์ฟลั๊กซ์) สามารถวัดได้โดยตรงโดยตำแหน่งของ เซนเซอร์ หรือการ interaction ของความเร็วโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

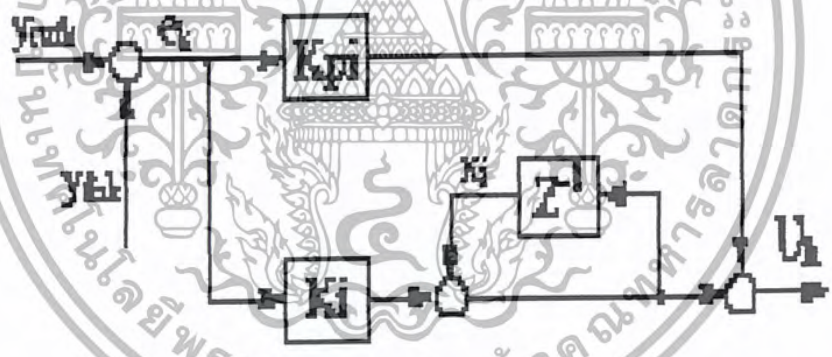
- ใน อินดักชั่น ค่า ความเร็วของโรเตอร์ ไม่เท่ากับ ความเร็วฟลั๊กซ์ของโรเตอร์ (มี slip speed) ดังนั้นจึงต้องการวิธีที่เจาะจงที่คำนวณหา θ วิธีพื้นฐานที่ใช้ของ โมเดลของกระแส ซึ่งต้องการสองสมการของโมเดลของมอเตอร์ ใน dq อ้างอิง

2.5.2.4 บทสรุป

FOC กลายเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมโดยตรง และสามารถแยกการควบคุมได้ คือ แรงบิด และฟลั๊กซ์ ของ ac machine FOC ได้นำเอาสิ่งที่เป็นประโยชน์ของ dc machine การควบคุม instantaneous ของปริมาณที่แยกกันยอมให้การจักการที่แม่นยำของสภาวะเริ่มต้น และสภาวะคงตัวในการเพิ่มสิ่งที่เป็นประโยชน์นี้ field orient control ของ ac machine แก้ปัญหา mechanical commutation โดยธรรมชาติเกี่ยวกับ dc machine

2.5.3 การควบคุมแบบ PI

electrical drive บนพื้นฐานของ FOC ต้องการค่าคงที่ 2 ตัวในการควบคุมพารามิเตอร์ ค่าองค์ประกอบ แรงบิดอ้างอิง I_{sqref} และค่าองค์ประกอบฟลั๊กซ์อ้างอิง I_{sdref} การควบคุมแบบ PI เหมาะสมที่จะทำการปรับ feed lack ของ ฟลั๊กซ์ และ แรงบิดตามค่าที่ต้องการ และสามารถบรรลุถึงค่าคงที่อ้างอิงโดยจะเซตทั้งเทอมของ P (K_{pi}) และเทอมของ I (K_i) ซึ่งระยะผิดชอบตามลำดับสำหรับการตรวจจับค่า error และสำหรับค่า error ในสภาวะคงตัว ระบบตัวเลขของ PI requlator ตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ pI regulator

จุดจำกัดอยู่ระหว่างการทำงานปกติ หรือระหว่างค่าทดสอบอ้างอิง การเปลี่ยนแปลง หรือสิ่งรบกวนภายนอก (disturbances) จะปรากฏเป็นผลในสภาวะอิ่มตัว และค่าที่เกินของการควบคุมและเอาท์พุท ถ้าพวกมันไม่สามารถควบคุมได้ ชนิดของความเสียหายที่ไม่เป็นเชิงเส้นของสมรรถนะการเปลี่ยนแปลงของระบบที่จะแก้ปัญหานี้วิธีการหนึ่งที่เพิ่มโครงสร้างของการแก้ไขก่อนขององค์ประกอบการอินทิเกรทอธิบายได้ตามไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

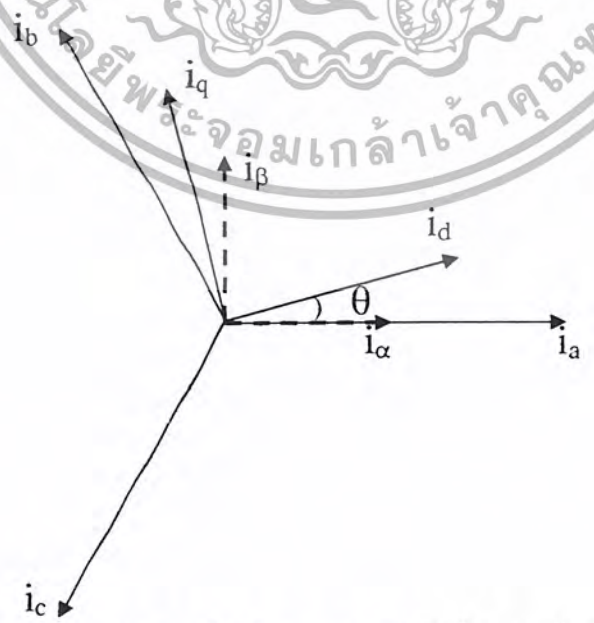
2.6 การแปลงแบบ CLARKE และ PARK ใน FOC

2.6.1 โดยทั่วไป

การแปลงแบบ CLARKE และ PARK ใช้ในสมรรถนะการขับชั้นสูง (vector control) ซึ่งเกี่ยวกับมอเตอร์ซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร และอะซิงโครนัสมอเตอร์ในบทความนี้ผู้ใช้จะหาฟังก์ชั่นที่ง่ายในการแปลงของวงจร PARK และ CLARKE เพื่อประยุกต์ใช้งานต่างๆ ตลอดในการใช้ของวงจรการแปลงของ CLARKE ค่ากระแสจริง (I_{ds}) และกระแสจินตภาพ (I_{qs}) สามารถพิสูจน์ได้ การแปลงของ PARK สามารถใช้ในการแปลงของกระแส I_{ds} และ I_{qs} จากหยุดนิ่ง ไปยังค่าอ้างอิงแบบเคลื่อนที่และควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเวกเตอร์ของสเตเตอร์ และค่ากระแสฟลั๊กซ์เวกเตอร์ของโรเตอร์

2.6.2 การแปลงแบบ CLARKE และ PARK ใน FOC (clarke and park transforms in the field orientated control)

FOC ประกอบด้วยการควบคุมองค์ประกอบของกระแสสเตเตอร์ของมอเตอร์ที่แสดงโดยเวกเตอร์ ในแกนหมุนอ้างอิง d วางแนวเดียวกับฟลั๊กซ์โรเตอร์ระบบเวกเตอร์คอนโทรลต้องการสมการของการเคลื่อนที่ของอินดักชั่นมอเตอร์และผลตอบแบบ instantaneous ของกระแส และ แรงดันใช้ในการคำนวณหาและควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงบิดทางไฟฟ้าของอินดักชั่นมอเตอร์สามารถอธิบายโดยมีผลระหว่างกระแสโรเตอร์ และคลื่นฟลั๊กซ์เป็นผลจากการเหนี่ยวนำของกระแสสเตเตอร์ กระแสนี้จะเปลี่ยนโดยค่าของวงจรสมมูลย์อธิบายในระบบแกนหมุน เรียกว่า d ตามโรเตอร์ฟลั๊กซ์ในการแปลงของ CLARKE ใช้กระแส 3 เฟส คือ i_a,i_b และ i_c เพื่อคำนวณกระแสสเตเตอร์ของพิกัดที่ตั้งฉาก i_α และ i_β ซึ่งกระแส 2 ตัวนี้ในการจำกัดของระบบ พิกัด ของสเตเตอร์จะถูกแปลงไปยัง i_{sd} และ i_{sq} ในแกนของ dq โดยการแปลงของ PARK กระแส i_{sd} และ i_{sq} และมุมฟลั๊กซ์ชั่วขณะ ρ คำนวณโดยแบบจำลองของฟลั๊กซ์มอเตอร์ และใช้ในการคำนวณหาแรงบิด ของ อินดักชั่น



รูปที่ 2.18 กระแสสเตเตอร์ในแกนหมุน d,q อ้างอิงและความสัมพันธ์กับแกนอ้างอิง a,b และ c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงของสเตเตอร์ (กระแสและมุม) สามารถแปลงไปยังแบบจำลองของฟลั๊กซ์ ซึ่งแบบจำลองของฟลั๊กซ์นี้จะถูกเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง และปรับปรุงค่าโดย PI control หลังจากการแปลงกลับจากพื้นที่ไปยังระบบ coordinate ของสเตเตอร์ค่าแรงดันเอาท์พุทจะถูกนำออกมายังเครื่องจักรโดยเป็น PWM (pulse width modulation)

2.6.3 เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ (mathematical consideration)

2.6.3.1 เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ ของการแปลงแบบ CLARKE (mathematical clarke transform)

การแปลงค่าทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการแปลงของ CLARKE นี้จะแปลงระบบ 3 เฟส ไปยังระบบ 2 เฟส ที่ตั้งฉากกัน

$$i_\alpha = \frac{2}{3} \cdot i_a - \frac{1}{3}(i_b - i_c)$$

$$i_\beta = \frac{2}{\sqrt{3}}(i_b - i_c)$$

$$i_0 = \frac{2}{3}(i_a + i_b + i_c)$$

ซึ่ง i_α และ i_β เป็นองค์ประกอบของค่าอ้างอิงที่ตั้งฉากกัน และ i_0 คือองค์ประกอบ homopolar ของระบบ

ในการประยุกต์ใช้องค์ประกอบของ homopolar จะไม่มี หรือมีความสำคัญน้อยในแนวทางนี้ การไม่มีขององค์ประกอบ homopolar ค่า สเปซเวกเตอร์ $u = u_\alpha + ju_\beta$ แทนค่าสัญญาณอินพุท 3 เฟส ของระบบเดิมเงื่อนไขปัจจุบัน ซึ่ง i_α จะทับซ้อนกับ i_a และ $i_a + i_b + i_c = 0$ ซึ่งเงื่อนไขนี้ i_a, i_b และ i_c สามารถแปลงเป็น i_α และ i_β

โดยสมการทางคณิตศาสตร์ตามนี้

$$i_\alpha = i_a$$

$$i_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot i_a + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot i_b$$

$$i_a + i_b + i_c = 0$$

2.6.3.2 เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ ของการแปลงแบบ PARK (mathematical park transform).

ค่า α,β ของ 2 เฟส คำนวณโดยการแปลงของ CLAKE และป้อนให้กับบล๊อคของเวกเตอร์แบบหมุนเมื่อมันหมุนที่มุม θ และ อยู่ในแกน dq และเกี่ยวพันกับฟลั๊กซ์ของโรเตอร์

การหมุนที่มุม θ เป็นไปตามสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_{sd} = i_\alpha \cdot \cos(\theta) + i_\beta \cdot \sin(\theta)$$
$$i_{sq} = -i_\alpha \cdot \sin(\theta) + i_\beta \cdot \cos(\theta)$$

2.6.3.3 เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ ของการแปลงแบบ inverse PARK และ CLAKE (mathematical invers park and clarke transforms).

ค่าเวกเตอร์ในแกน d q จะถูกเปลี่ยนจากแกน d q ไปยังระบบ 2 เฟส α,β แสดงการคำนวณมุม θ แบบหมุนสูตร

$$i_\alpha = i_{sd} \cdot \cos(\theta) - I_{sq} \cdot \sin(\theta)$$
$$i_\beta = i_{sd} \cdot \sin(\theta) + i_q \cdot \cos(\theta)$$

การเปลี่ยนแปลงจากระบบ 2 เฟส ที่ตั้งฉากกัน α,β ไปยังระบบ 3 เฟส จะใช้สมการ

$$i_a = i_\alpha$$
$$i_b = -\frac{1}{2} \cdot i_a + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_\beta$$
$$I_c = -\frac{1}{2} \cdot i_a - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_\beta$$

2.6.3.4 ผลรวมของการแปลง.

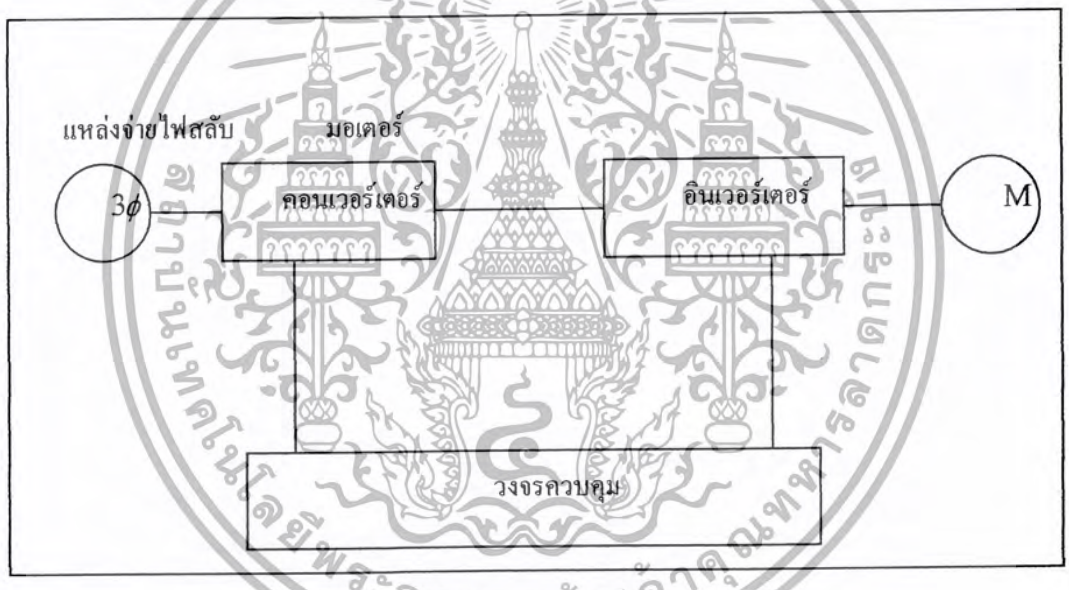
a,b,c -> α,β	d,q -> α,β
$i_\alpha = \frac{2}{3} \cdot i_a - \frac{1}{3}(i_b - i_c)$ $i_\beta = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot (i_b - i_c)$ $i_0 = \frac{2}{3}(i_a + i_b + i_c)$ $\Rightarrow$ $i_\alpha = i_a$ $I_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot i_a + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot i_b$ $i_a + i_b + i_c = 0$	$i_\alpha = i_{sd} \cdot \cos(\theta) - I_{sq} \cdot \sin(\theta)$ $i_\beta = i_{sd} \cdot \sin(\theta) + i_q \cdot \cos(\theta)$
α,β -> d,q	α,β -> a,b,c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรส่วนกำลัง

ส่วนฮาร์ดแวร์ (hardware) ที่จะกล่าวถึงคือส่วนของวงจรกำลัง (power) ทั้งหมดตั้งแต่ส่วนรับไฟกระแสสลับจากแหล่งไฟตามปกติ เข้ามาแปลงเป็นไฟกระแสตรงโดยอาศัยชุดคอนเวอร์เตอร์ (converter) หลังจากนั้นไฟตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับอีกทีโดยอาศัยชุดสวิตช์ชิ่ง (switching) เพื่อให้ได้ความถี่และแรงดันที่ต้องการ ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรอินเวอร์ (inverter) วงจรทั้งสองส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญในการทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นและส่งผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์นอกจากนั้นยังมีส่วนของวงจรป้องกัน (protection) ป้องกันกระแสและแรงดันเกิน แรงดันตก ที่จะมีผลทำให้อุปกรณ์ภายใน หรือมอเตอร์ที่เราควบคุมเสียหายได้ โดยเฉพาะ ไอจีบีที (isolated gate bipolar transistor)

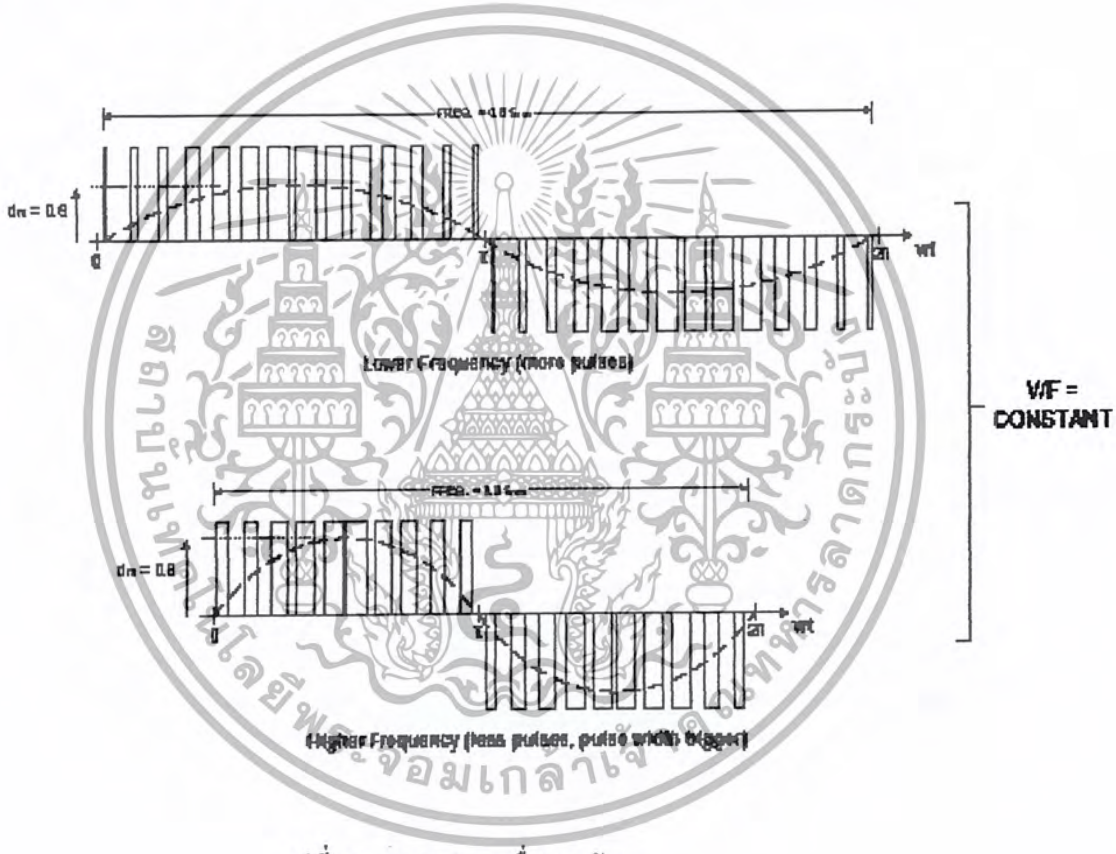


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ส่วนอินเวอร์เตอร์ จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งสองส่วนจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอินเวอร์เตอร์นั้นจะใช้ ไอจีบีที เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ชิ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติการใช้งานที่ความถี่สูง ๆ ได้เป็นอย่างดีในการทำเราจะใช้ความถี่ประมาณ 10 Hz ถ้าใช้ทรานซิสเตอร์ (transistor)ทั่วไปจะทำงานได้ไม่ดีเพราะมีช่วงเวลาหน่วง (Delay Time) มากในการเปิด และปิด ถึงแม้จะมีการพัฒนาทรานซิสเตอร์ให้ใช้งานที่ความถี่สูงแล้วก็ตาม ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีบีที คือสามารถรับกระแสสูง ๆ จากข้อดีทั้งสองข้อที่มีมากจากทรานซิสเตอร์ทั่ว ๆไปเราจึงเลือกใช้ไอจีบีที นอกจากนี้แล้วจะช่วยในการลดเสียงรบกวนที่เกิดที่เกิดจาก สวิตช์ชิ่ง ได้เนื่องจากความถี่ที่เราใช้นั้นสูงกว่าที่คนเราจะได้ยิน การที่เราเลือกใช้ความถี่สูงๆในการสวิตช์ชิ่ง เพราะเนื่องจากว่ายิ่งใช้ความถี่ในการเปิด-ปิดมากเท่าใด ก็สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเลียนแบบ รูปกราฟ (wave from) ของซายน์ ได้ใกล้เคียงและละเอียดมากเท่านั้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการควบคุมมอเตอร์ (motor) ทั้งในด้านความเร็วและแรงบิด ในขณะที่มอเตอร์มีการหมุนเร็วๆ เราจะทำได้โดยการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง คาบจะแคบทำให้สร้างสัญญาณเลียนแบบซายน์ได้ใกล้เคียงโดยที่ความถี่ในการสวิตช์ไม่ต้องสูงมาก แต่ถ้าเราจะควบคุมมอเตอร์ให้หมุนช้าๆ เราจะต้องป้อนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ ทำให้คาบกว้าง ถ้าใช้ความถี่ค่าเดิมนั้นจะไม่สามารถสร้างคลื่นเลียนแบบได้สวยดังรูป



รูปที่ 3.2 การควบคุมคลื่นแรงดัน

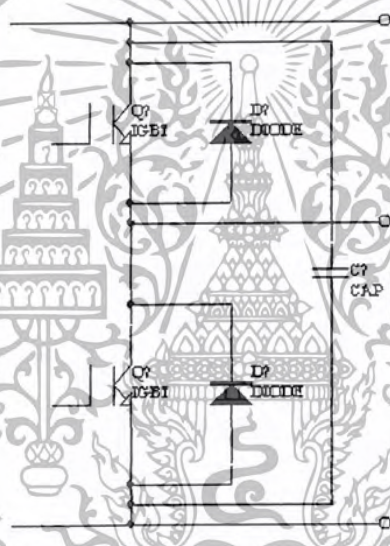
3.1 ไอจีบีทีและการป้องกัน

วงจรสนับเบอร์ถูกป้องกันไอจีบีที จากการเปิดปิดอย่างรวดเร็วโดยใช้แรงดัน transient

การปิด ไอจีบีที การสวิตช์กระแสสูงๆในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อให้เกิดความเสียหายจากแรงดันtransient สำหรับชุดอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กระแสสูงๆ จะประกอบด้วย ไอจีบีที หลายตัวต่อขนานกัน กระแสโหลดจะแบ่งผ่าน ไอจีบีที ที่ต่อขนานเท่าๆกัน ทำให้กระแสโหลดที่ผ่าน ไอจีบีที แต่ละตัวลดลง อัตรา di/dt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็ลดลง อัตรา di/dt มีหน่วยเป็น 2 – 3000 Amp/ms การใส่ใจในจุดนี้จึงควรป้องกันอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเสียหาย โดยในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ ดีคิปปลิงคาปาซิเตอร์ เพราะเหมาะสมกับกระแสปานกลางที่ใช้ ดีคิปปลิ้งคาปาซิเตอร์จากที่กล่าวมาในขั้นต้นขนาดของแรงดันทรานเซี้ยน ขึ้นอยู่กับพลังงานในรูป สเตร์ยอินดัคแตนซ์ หรือเรียกว่า ดีซีลูปอินดัคแตนซ์ ('Dc loop' inductance,) Ls การป้องกันนี้จะต้องปรับปรุงการจัดวงจร การใช้แผ่นทองแดงบางทำให้ลดขนาดของ ดีซีลูป และการเลือกใช้คาปาซิเตอร์ที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำเป็นวิธีที่ทำให้ stray inductance ต่ำลง ใช้คาปาซิเตอร์ต่อที่ เทอร์มินอล (terminal) ดังในรูป 3.3 ซึ่งจะพบว่า เป็นประโยชน์สำหรับการใช้กระแสต่ำๆ ถึง ปานกลาง (high-frequency poiypropyiene film capaciters ถูกออกแบบให้ใช้กับ ไอจีบีที ที่ต่อในระยะที่เหมาะสมกับการต่อโดยตรง) อินดัคแตนซ์ภายใน (internal inductance) จะมีผลน้อยมาก รูป 3.4a , 3.4b , 3.5a และ 3.5b แสดงการเปิด – ปิดรูปกราฟ ที่ใช้และไม่ใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 1 uF ในการดีคัปปลิ้ง



รูปที่ 3.3 ดีคัปปลิ้งคาปาซิเตอร์

รูปทั้งหมดนี้แสดง แรงดัน ที่ตกคร่อม ไอจีบีที (Vce), กระแส ดีซีบัส (เช่น Ic ในรูป 3.4a และ 3.5a และ Ic + Isn ในรูป 3.4b และ 3.5b) และ แรงดันเกท (gate voltage, Vge) กระแสจริงที่ผ่าน ไอจีบีที ไม่ได้แสดงในรูป 3.4b และ 3.5b เมื่อต่อ ดีคัปปลิ้งคาปาซิเตอร์โดยตรงแทนบนเทอร์มินอลของ โมดูล (module) และ เส้นทาง (path) ที่ไอจีบีที จะไม่สามารถวัดกระแสได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อกระแสขึ้นอยู่กับ อินดัคแตนซ์ภายนอก (external inductance), Ls (จุดที่แตกต่างระหว่าง 2 ตัวอย่าง) โดยสมมติว่าเกือบจะเท่ากันทั้ง 2 กรณี สามารถแสดงให้เห็นได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดความสูญเสียสวิทช์ชิ่งลอส (swithing loss) ขึ้นอยู่กับ สเตร์ยอินดัคแตนซ์ภายนอก (external stray inductance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าประโยชน์ของ ดีคิปปลิ้งคาปาซิเตอร์ คือการกำจัด แรงดันทรานเชี้ยนที่รุนแรงขณะสวิทช์ชิ่ง และทำให้ รูปกราฟ เรียบโดยการจัดหาเส้นทาง นอนอินดัคแตนซ์ (non-inductance) ขณะปิด จะลดลงไปที่ระดับ 370 V จากค่าอันตราย 570 V ในรูป 3.5a

เนื่องจากอันตรายจากการทำลายอุปกรณ์โดย แรงดันเกิน (over voltage) ความเร็วของการเปิดของ ไอจีบีที ถูกจำกัดโดยการใช้ ตัวต้านทานขาเกท (gate resister) ที่มีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้ดีคิปปลิ้งข้อจำกัดนี้จะหมดไป ค่าของตัวต้านทานขาเกท สามารถลดค่าให้ต่ำลงได้ ดังนั้น จะทำให้ ไอจีบีทีเปิดได้เร็วกว่าและลดค่า การสูญเสียในการสวิทช์ทั้งหมด

ค่าสนับเบอร์คาปาซิเตอร์ (snubber capacitance) สามารถได้จากค่า อินดัคแตนซ์ในวงจร,Ls ค่ากระแส สวิทช์ชิ่ง,Io DC rail voltage,Vcc และค่าที่ยอดแรงดัน (peak voltage) ที่ยอมรับได้ Vpk

$$Csn = Ls * Io / (Vpk + Vcc) \quad \text{_____ (1)}$$

ค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ในการเลือกคาปาซิเตอร์ อาจเป็นค่าจำกัดกระแสของ ดีคัปปลิ้งคาปาซิเตอร์ไอจีบีที การสวิทช์ชิ่ง ไอจีบีที ทำให้เกิดการ ออสสิลเลท (oscillate) กระแสขึ้นใน ดีซีลูป ระหว่างตัวดีคัปปลิ้งคาปาซิเตอร์ (de-coupling snubber current) ดังแสดงในรูป 4 และดังสมการ

$$Isn = Io\, e^{-at} \cos(bt) \quad \text{_____ (2)}$$

โดย $a = R/2Ls$ และ $b = [\, 4/Ls\, Csn - (R / 2Ls)^2 \,]$

R เป็นค่า สเตร์ยอินดัคแตนซ์ ในลูป รวมถึง ESR ของ คาปาซิเตอร์ Irms หาได้จาก

$$Irms = Io (fsw * Ls / Rs) \quad \text{_____ (3)}$$

ค่าความสูญเสียใน คาปาซิเตอร์ หาได้จาก

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

ที่ความถี่สูงๆและกระแสสูงๆอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความร้อนในคาปาซิเตอร์ควรเลือกคาปาซิเตอร์โดยพิจารณาค่าที่ได้จากสมการ (1) (2) สำหรับ load ที่มีกระแสถึง 150 A และการสวิตช์ที่ความถี่ไม่มาก ดีคัปปลิ้งคาปาซิเตอร์ จะเหมาะที่จะใช้ในการป้องกันทรานเชี้ยน (transient) ที่เกิดจากการสวิตช์โดยปกติ

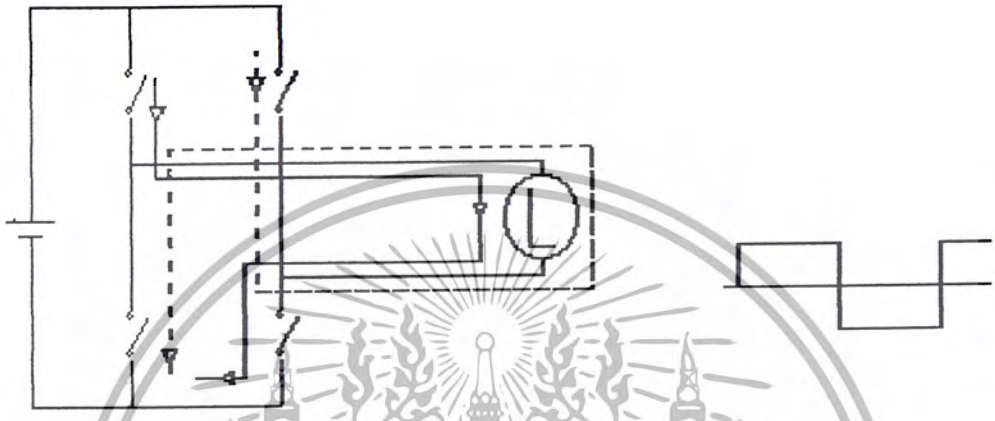
3.2 การทำงานของภาค อินเวอร์เตอร์

3.2.1 วิธีสร้างไฟสลับจากไฟตรง

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตไฟสลับได้จากแหล่งจ่ายไฟตรง การทำความเข้าใจกับหลักการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของอินเวอร์เตอร์ควรเริ่มจากการสร้างไฟสลับเฟสเดียวก่อน รูป 3.7 อธิบายหลักการทำงาน เปลี่ยนไฟตรงเป็นไฟกระแสสลับ โดยเปลี่ยนโหลดจากมอเตอร์มาเป็นหลอดไฟเพื่อให้เข้าใจการทำงานได้ง่ายขึ้นสวิตช์ 4 ตัว S1, S2, S3, S4 ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟตรงและโหลด จะเปิดปิดสลับกันเป็นจังหวะเพื่อสร้างไฟสลับจ่ายแก่หลอดไฟ ตามรูป 3.8



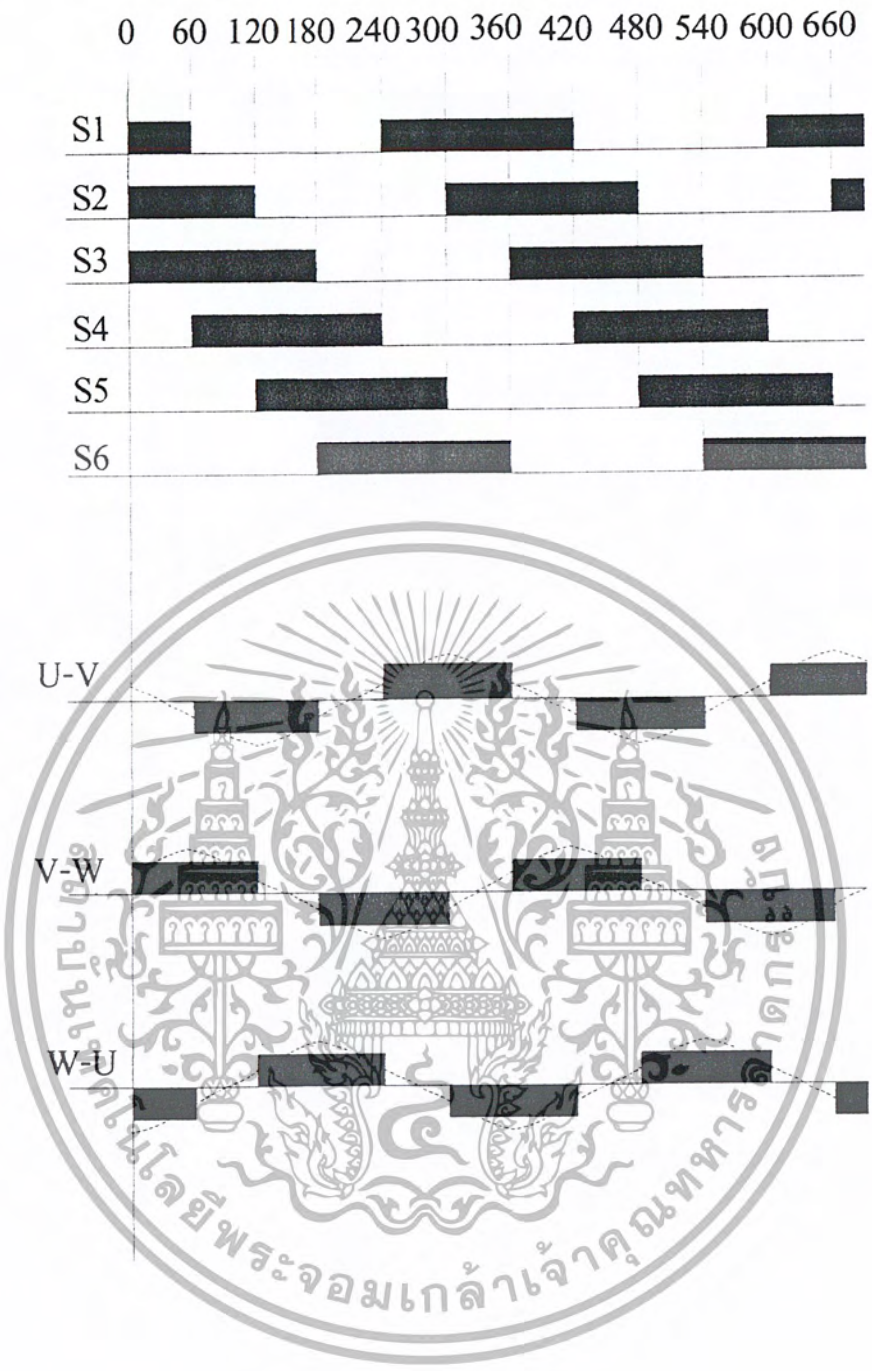
รูปที่ 3.4 วิธีการสร้างไฟสลับ

รูปที่ 3.5 รูปคลื่นกระแส

เมื่อสวิตช์ s1 และ s4 ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านหลอดไฟและสวิตช์ตามทิศทาง Aเมื่อสวิตช์ s2 และ s3 ปิด จะมีกระแสไหลผ่านหลอดไฟ และสวิตช์ตามทิศทาง B ซึ่งย้อนกลับทิศทาง A ดังนั้นถ้าทำให้สวิตช์ S1 และ S4 ปิดเปิดสลับกับสวิตช์ S2 และ S3 ก็จะทำให้เกิดกระแสไหลไปที่หลอดกลับทิศทางกัน สลับไปมาเป็นไฟสลับนั่นเอง

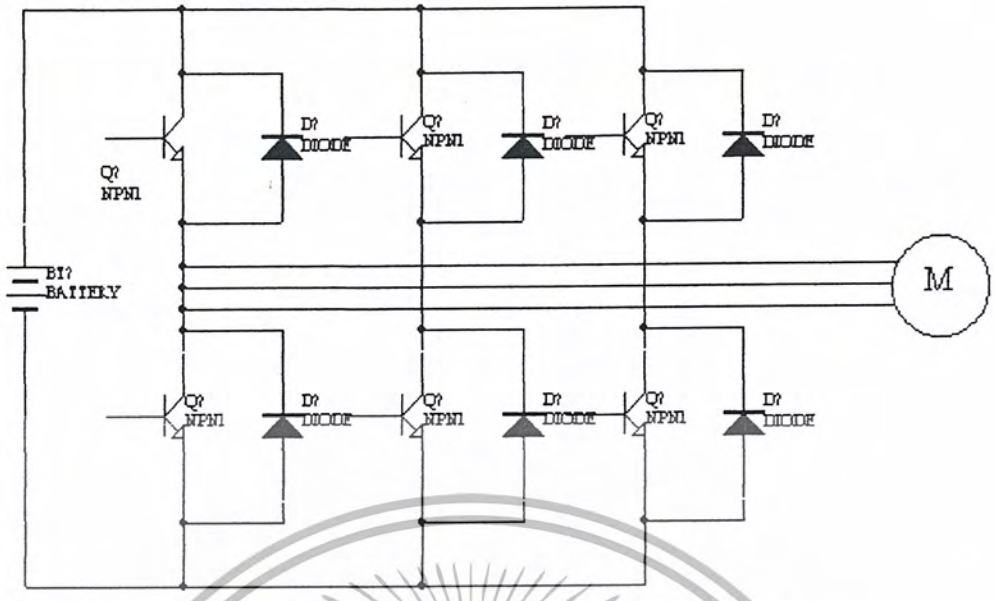
3.2.3 กรณีไฟ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การสร้างไฟสลับ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



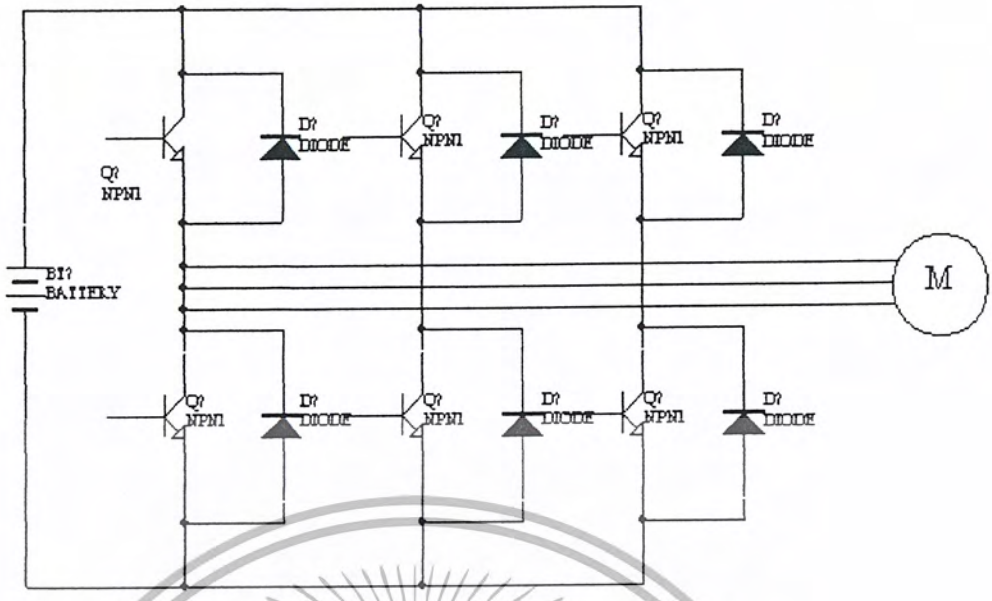
รูปที่ 3.7 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสพื้นฐาน

ถ้าให้สวิตช์ s1 ถึง s2 ในวงจรตามจังหวะที่แสดงในรูป ก็จะมีกระแสไหลผ่านขั้ว U-V,V-W และ W-Uของมอเตอร์ ตามรูปคลื่นที่แสดงในรูป รูปคลื่นของกระแสนี้จะทำให้ความกว้างของไฟสลับและช่วงห่างระหว่างคลื่นเท่ากัน ถ้าเลื่อนช่วงเวลาของการเปิดสวิตช์เหล่านี้ ก็จะทำให้ความถี่ของกระแสสลับเปลี่ยนได้ และถ้าเปลี่ยนขนาดของแรงดันไฟตรง ก็จะทำให้ขนาดของแรงดันไฟสลับของรูปคลื่นเปลี่ยนได้เช่นกัน

3.2.4 โครงสร้างของส่วนที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะใช้แทนสวิตช์ทั้ง 6 ตัว ดังที่แสดงในรูป เมื่อต่อกับมอเตอร์ 3 เฟส และควบคุมให้ เกิดตามจังหวะในรูป ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ และถ้าเลี่ยนลำดับการเกิดของ ไอจีบีที ก็สามารถทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

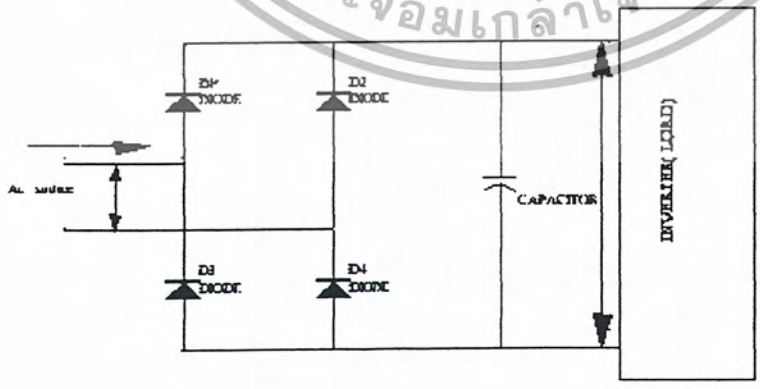


รูปที่ 3.8 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

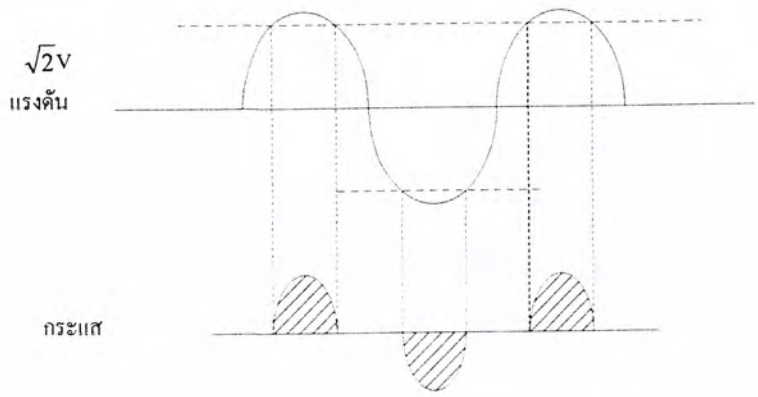
3.3 การทำงานภาค คอนเวอร์เตอร์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแหล่งจ่ายไฟตรงที่ป้อนเป็น อินพุท (input) ของอินเวอร์เตอร์นั้นผลิตมาจากคอนเวอร์เตอร์ วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง วงจรประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ

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

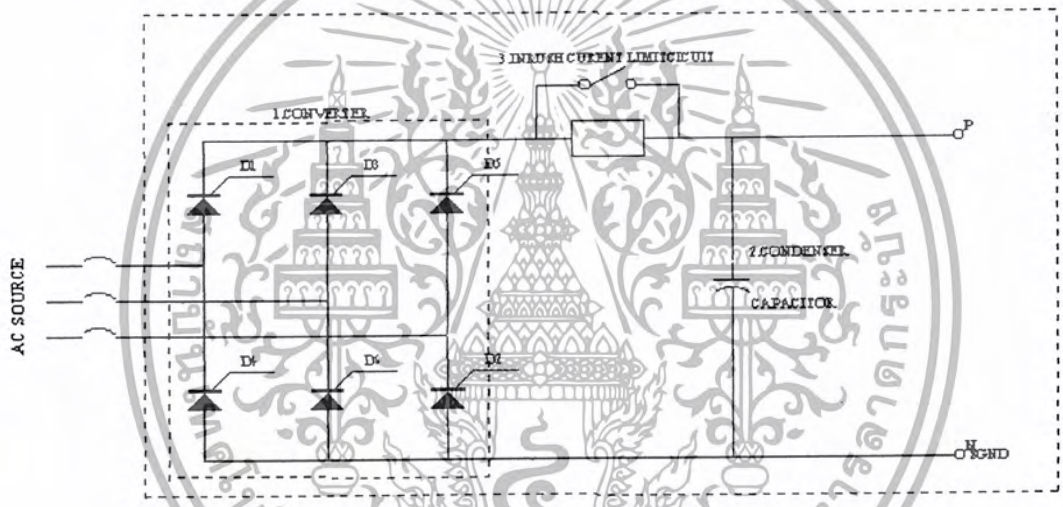


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรภายในของคอนเวอร์เตอร์

3.3.1 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์



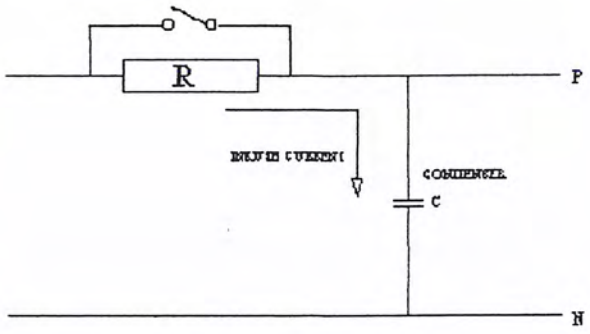
รูปที่ 3.10 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไฟสลับเฟสเดียวเป็นไฟตรงอธิบายถึงคลื่นกระแสไฟสลับขาเข้า

อินพุทของคอนเวอร์เตอร์เป็นไฟสลับรูปกราฟซายน์ มีค่าRMS = V (ค่ายอด = $\sqrt{2}$ *v) ถ้าให้แรงดันขาออกของคอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ E จากรูป 2.13 จะเห็นว่ามีส่วนของแรงดันไฟสลับ ที่มีแรงดันสูงกว่าระดับ E ส่วนนี้มีช่วงเวลาเท่ากับ T1 เป็นช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่าน D1 และไหลกลับทาง D4แรงดันไฟสลับส่วนที่เป็นลบ ช่วงเวลาที่แรงดันต่ำกว่าระดับ –E คือช่วงเวลา T2ช่วงเวลานี้กระแสจะไหลเข้าทางไดโอด D2 และกระแสไหลกับทาง D3ตามในรูป

3.3.2 กระแสขาเข้าเมื่อเปิดสวิทช์

เมื่อเปิดสวิทช์อินเวอร์เตอร์ครั้งแรก จะต้องมีการชาร์จ (Charge) ประจุให้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 วงจรจำกัดขนาดกระแสอินรัช

คอนเดนเซอร์จึงมีกระแสเข้ามาขนาดใหญ่ ไหลเข้ามาในวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำกัดกระแสอินรัช (Inrush current)โดยใช้วงจรในรูป3.15

รูปที่ 3.12 กระแสอินรัช

เมื่อกระแสประจุคอนเดนเซอร์จนเต็มแล้ว จึงใช้หน้าสัมผัสรีเลย์ตัดวงจรความต้านทานจำกัดกระแสในเวลาไม่ต่ำกว่า 50 มิลลิวินาที

ถ้าต่อหน้าสัมผัส (contactor)เปิดปิดไฟเข้าอินเวอร์เตอร์ทุกครั้งที่เปิดจะมีกระแสไหลเข้าคอนเวอร์เตอร์ ถ้าเปิดปิดบ่อยๆอายุการใช้งานของคอนเวอร์เตอร์จะลดลง ดังนั้นไม่ควรเปิดปิด บ่อยๆ เพราะว่าคอนเวอร์เตอร์จะมีหน้าที่สร้างแรงดันไฟกระแสตรงเท่านั้น การเริ่มหมุนมอเตอร์ เป็นหน้าที่ของอินเวอร์เตอร์เท่านั้น

3.4 การสร้างและคำนวณ

- บริดจ์เรกติฟายเออร์(bridge rectifier)ซึ่งเราจะเลือกใช้ขนาด 600 โวลท์ 35 แอมแปร์ ในการแปลงแรงดันกระแสสลับเป็นกระแสตรง
- อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับมอเตอร์ 1 แรงม้า 3 เฟส 380 โวลท์

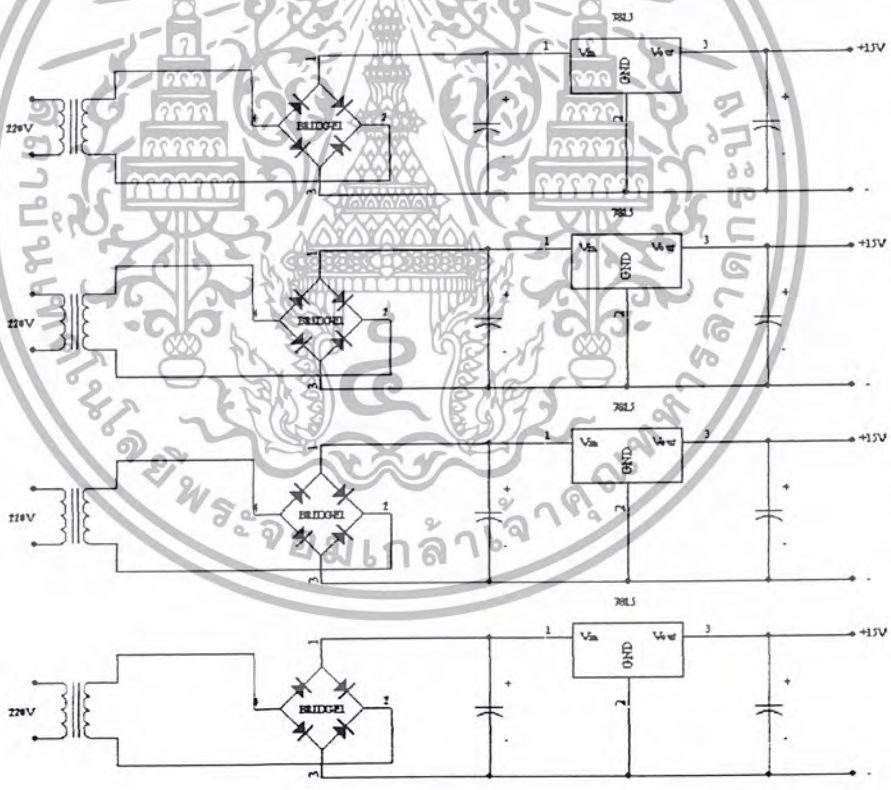
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวต้านทานคายประจุขณะหยุดวงจรเมื่อตัวเก็บประจุตัวเก็บประจุครั้งแรก ซึ่งจะมีค่าสูงมาก เพราะผลจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน มีค่า 10 w 50กิโลโอห์ม เพื่อทำการคายประจุที่เหลืออยู่ในตัวเก็บประจุ และป้องกันอันตราย จากการไปสัมผัสกับขั้วของตัวเก็บประจุ

- ชุดโมดูลกำลัง (power module) ชุดนี้เป็นชุดที่ทำหน้าที่ในการเปิดปิดไฟฟ้ากระแสตรงที่รับมาจากตัวเก็บประจุ ที่ทำหน้าที่เรียงกระแสเพื่อทำให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าตัวมอเตอร์โดยรับสัญญาณการเปิดปิดมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านชุดขับอีกที ภายในชุดโมดูลกำลังประกอบไปด้วยไอจีบีที (IGBT) 6 ตัว พร้อมทั้งมีรีคัฟเวอรีไดโอด ต่อคร่อมที่ขาคอลเลคเตอร์ (collector) และอีมิตเตอร์ (emitter) แต่ละตัว ทั้งชุดจะเปิดปิดไฟตามคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลกำลังที่เลือกใช้ไอจีบีทีขนาด25 แอมป์ ทนแรงดันไฟฟ้า 600โวลท์ มีช่วงเวลาในการเปิดปิด นานที่สุด 3 ไมโครวินาที

- วงจรไฟเลี้ยงแยกกราวด์ของชุดขับไอจีบีที

จากรูปสาเหตุที่ทำการแยกกราวด์ของวงจรขับเพื่อให้ไอจีบีทีแต่ละตัวถูกควบได้โดยเป็นอิสระต่อกันโดยที่ไอจีบีที3 ตัวด้านบนแยกกราวด์กันแต่ไอจีบีที ที่เหลือด้านล่างสามารถใช้กราวด์ร่วมกันได้

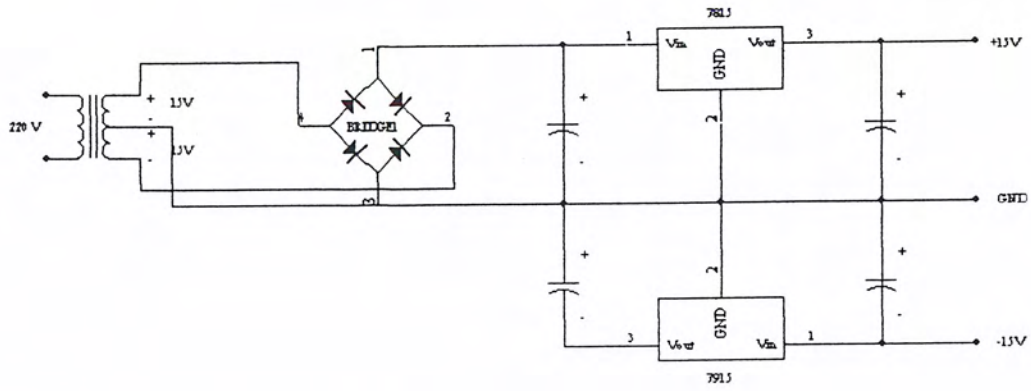


รูปที่ 3.13 แสดงไฟเลี้ยงแยกกราวด์ของชุดขับไอจีบีที

- ชุดไฟเลี้ยงของวงจรตรวจจับกระแส

ซึ่งวงจรตรวจจับกระแสต้องการไฟเลี้ยงที่เป็นบวกและลบสิบห้าโวลท์

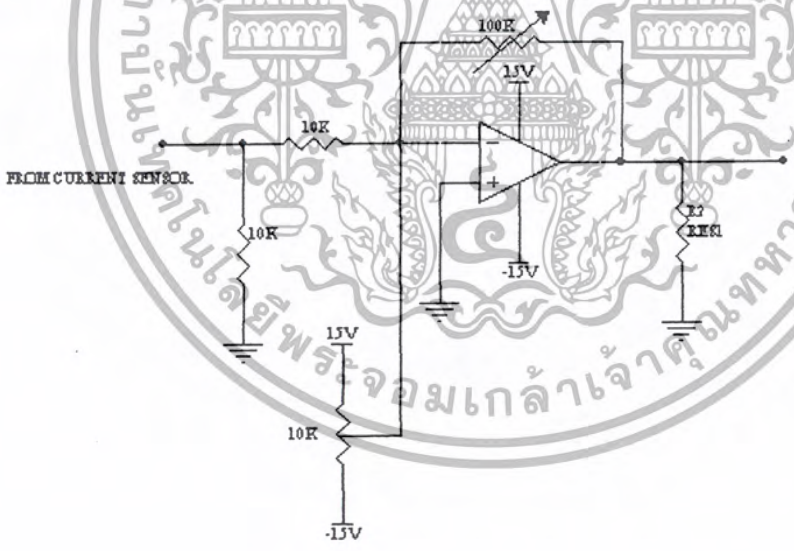
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงไฟเลี้ยงของวงจรตรวจจับกระแส

- วงจรตรวจจับกระแส

โดยจากรูปของวงจรนี้ทำการปรับค่าได้สองอย่างคือ ทำการปรับค่า ออฟเซต และทำการปรับค่าเกน (gain)โดยค่าเกนของวงจรมีค่า 10 เท่า และสามารถทำการปรับค่าออฟเซตโดยการยกแรงดันเอซีขึ้นไปทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถมองเห็นเป็นแรงดันไฟดีซีได้โดย พอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์รับไฟฟ้าดีซีขาเข้าได้ 3.3 โวลท์

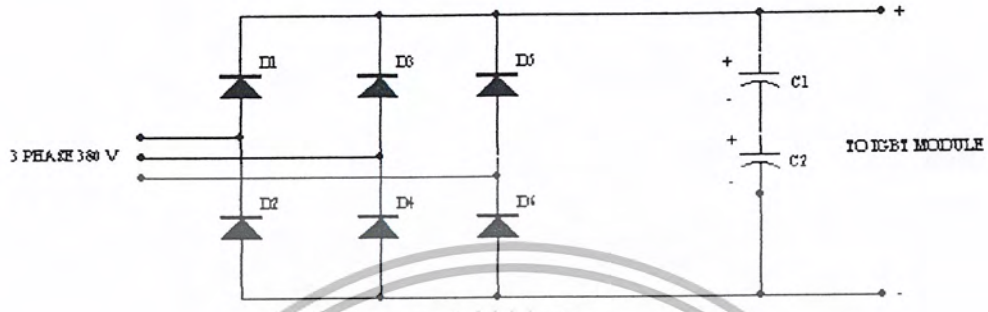


รูปที่ 3.15 รูปวงจรตรวจจับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปวงจรการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟดีซีก่อนเข้าไอจีบีที

สาเหตุที่นำค่าคาปาซิแตนซ์มาทำการต่อ อนุกรมกันสองตัวเพราะว่าค่าปาซิเตอร์ที่ใช้มีขนาดการทนแรงดันแค่ 400 โวลท์แต่ค่าแรงดันไฟฟ้ามีขนาดถึง 520 โวลท์ซึ่งถ้าทำการต่อแบบขนานจะทำให้คาปาซิเตอร์เกิดการระเบิดเพราะแรงดันเกินได้

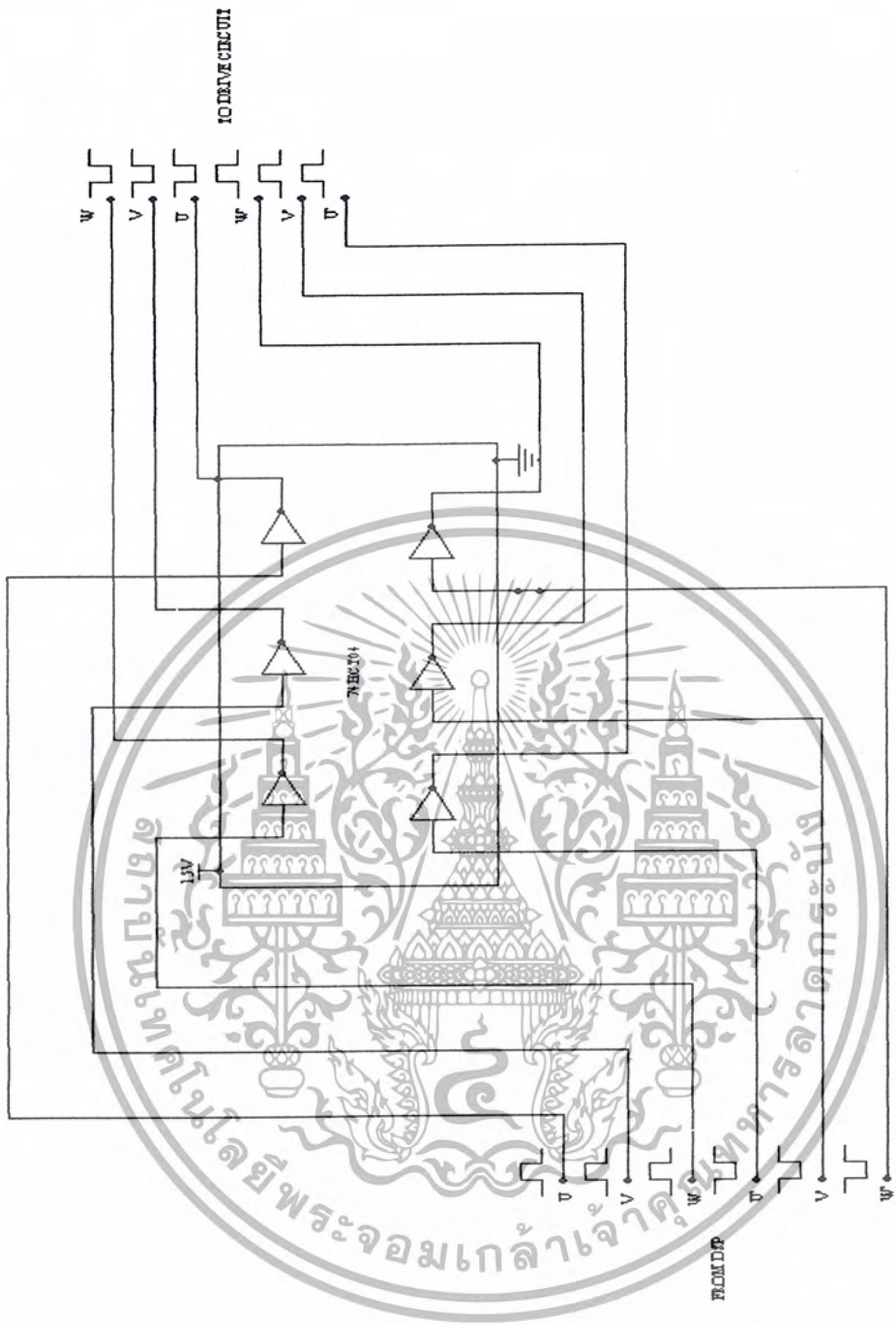


รูปที่ 3.16 วงจรการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟดีซีก่อนเข้าไอจีบีที

- วงจรการยกระดับสัญญาณก่อนเข้าวงจรขับไอจีบีที

โดยสาเหตุที่ต้องทำการยกระดับแรงดันขึ้นไปเพราะสัญญาณที่ออกมาจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่า 3.3 โวลท์ไม่เพียงพอที่จะนำไปขับ ไอจีบีทีได้ ต้องทำการยกระดับสัญญาณขึ้นไปเป็น 15 โวลท์เสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 วงจรการยกระดับสัญญาณก่อนเข้าวงจรขับไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processing)

4.1 สถาปัตยกรรมของ DSP Controller เบอร์ TMS320LF2406

ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเบอร์ TMS320LF2406 เป็นของบริษัทเทคซัสอินเตอร์เมนท์ (TexasInstrument) ซึ่งถือว่าเป็นตัวควบคุมประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DSP Controller) ตระกูลแรกที่มีใช้ในเชิงพานิชสำหรับประยุกต์ใช้ในงานควบคุมมอเตอร์ โดยเฉพาะโครงสร้างที่เน้นความอ่อนตัวในการประยุกต์ใช้งานด้านควบคุมมอเตอร์หลายลักษณะ เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำดีซีมอเตอร์แบบไร้แปลงถ่าน , ซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร , รีแอกแตนซ์มอเตอร์ เป็นต้น โดยใช้โครงสร้างของตัวควบคุมประมวลผลสัญญาณดิจิตอลแบบจุดทศนิยมคงที่ขนาด 16 บิต (16-bit fixed-point digital signal processor) ความเร็ว 40 MIPS และเกือบทุกคำสั่งใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 1 รอบ คือ 25ns ทางด้านฮาร์ดแวร์ภายในถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมมอเตอร์โดยเฉพาะ ซึ่งภายในประกอบด้วยอุปกรณ์รอบข้างที่ใช้ในงานควบคุมมอเตอร์ ตัวอย่างเช่น

- ตัวสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (Pulse Width Modulstion : PWM) 12 ช่องอิสระ
- ตัวสร้างการประวิงเวลา (Dead Time)
- ตัวขนาด 16 บิต 4 ช่องอิสระ
- ตัวนับพัลส์จากเอ็นโคดเดอร์ เพื่อกำหนดตำแหน่ง
- ตัวติดต่อสื่อสารอนุกรม
- อินพุต/เอาท์พุต พอร์ท 41 ช่อง
- ตัวรับอินเตอร์รัพท์จากภายนอก 6 ช่อง
- ฮาร์ดแวร์การคูณแบบขนานขนาด 16*16 ผลลัพท์ 32 บิต
- หน่วยความจำ RAM ขนาด 544-16 Bit และ Flash EEPROM ขนาด 32 K *16 bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

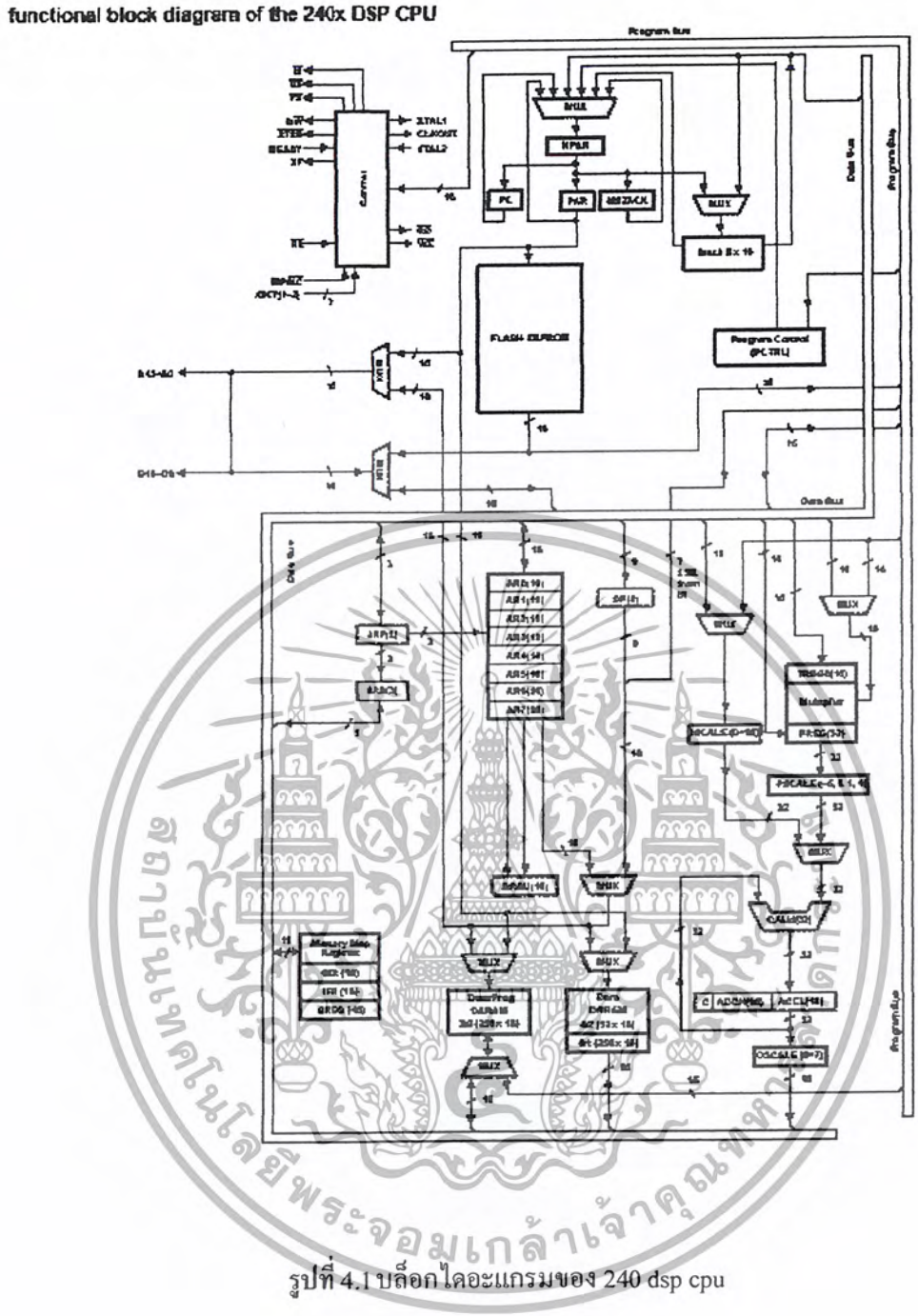
4.1 ภาคประมวลผล กลางของ TMS320LF2406

TMS320LF2406 ในสถาปัตยกรรมเป็นแบบฮาร์ดแวร์ (Hardware Architecture) ซึ่งแยกหน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory) แยกอิสระออกจากกัน จึงเป็นผลให้สามารถอ่านหรือเขียนโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน ทำให้การทำงานต่าง ๆ มีความรวดเร็วและคล่องตัวยิ่งขึ้นและยังใช้หลักการทำงานแบบ Pipelining โดยกระทำการ Fetch ,Decode และ Execute ในช่องเวลาเดียวกัน ทำให้คำสั่งสวนใหญ่ใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 1 รอบ (Cycle)

4.2 ฟังก์ชั่นบล็อกไดอะแกรม (Function Block Diagram)

ฟังก์ชั่นบล็อกไดอะแกรมที่แสดงตามรูปที่ 5.2 แสดงการทำงานของ TMS320LF24 โดยมีบัสโปรแกรม เป็นทางเข้า/ออก รหัสคำสั่งและการทำโอเปอร์แรนด์ ส่วนบัสข้อมูลจะเชื่อมต่อโดยตรงกับวงจรประมวลผล เช่น CALU (Central Arithmetic Logic Unit) และรีจีสเตอร์ที่เป็นไฟล์ข้อมูลย่อย AR0-AR7 ซึ่งโครงสร้างการทำงานคำนวณทางคณิตศาสตร์จะเป็นฮาร์ดแวร์แยกอิสระ จึงทำให้กระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพสูงมาก ทั้งการเลื่อนบิต การทำคำสั่งคูณ/หาร หรือ คำสั่งทางลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของ 240 dsp cpu

4.3 ลักษณะฮาร์ดแวร์ภายใน

ตารางที่ 5.1 จะสรุปลักษณะฮาร์ดแวร์ภายในของ TMS320LF2406 อันประกอบด้วยวงจรประมวลผลภายในชิพรีจิสเตอร์ต่าง ๆ และบัส โดยจะเรียงตามอักษร

ตารางที่ 5.2 ลักษณะฮาร์ดแวร์ภายในของ TMS230LF2406

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อระบบ	สัญลักษณ์	การทำงาน
หน่วยคณิตศาสตร์และลอจิกส่วนกลาง (Central Arithmetic Logic Unit)	CALU	หน่วยคณิตศาสตร์และลอจิก 32 บิตต่อกับค่าอินพุต 32 บิต 2 ค่า และเอาท์พุท 32 บิต 1 ค่า
แรมแบบเข้าถึงได้ 2 ทิศทาง (Dual-Access RAM)	DARAM	หน่วยความจำแบบแรมที่สามารถอ่านและเขียนได้ 2 ทิศทางคือ โปรแกรมบัสและดาต้าบัส
ตัวชี้เพจบนหน่วยความจำ (Data Memory Page Pointer)	DP	รีจีเตอร์ 9 บิตชี้แอสเดรสของเพจปัจจุบันแต่ละเพจข้อมูลมีขนาด 128 เวิร์ด ทั้งหมด 512 เพจของพื้นที่แอดเดรสหน่วยความจำข้อมูล(บางพื้นที่สงวนไว้)
รีจีสเตอร์หน่วยความจำทั่วไป (Global Memory Allocation Register)	GREG	รีจีสเตอร์บนหน่วยความจำ 8 บิต เป็นตำแหน่งขนาดพื้นที่หน่วยความจำทั่วไป
รีจีสเตอร์ปิดอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Mask Register)	IMR	เปิดและปิด การอินเตอร์รัพท์
รีจีสเตอร์อินเตอร์รัพท์แฟลก (Interrupt Flag Register)	IFR	รีจีสเตอร์ 7 บิตใช้การเก็บสถานะของการถูกกระต้นอินเตอร์รัพท์
ช่องอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Traps)	INT#	ช่องสถานะอินเตอร์รัพท์ที่เกิดจากฮาร์ดแวร์
ตัวปรับตัวเลขเลื่อนบิตอินพุต (Input Data-Scaling Shifter)	ISCALE	ตัวเลื่อนบิต 0-16 ตำแหน่งแบบขนาน เก็บคำตอบขนาน 32 บิต สำหรับปรับค่าก่อนการคำนวณ
ตัวคูณ (Multiplier)	MPY	การคูณแบบขนาน ขนานเก็บคำตอบขนาด 32 บิต
ไมโคร สแตค (Micro Stack)	MSTACK	ที่เก็บชั่วคราวค่าแอดเดรสของคำสั่งถัดไปในขณะที่ ตัวจัดค่าแอดเดรสกำลังทำงานอย่างอื่นอยู่
รีจีสเตอร์แอดเดรสคำสั่งถัดไป (Next Program Address Register)	NPAR	ค้างค่าแอดเดรสของคำสั่งถัดไป สำหรับให้ PAR ใช้ในวงรอบต่อไป
ตัวปรับตัวเลขเลื่อนบิตเอาท์พุต (Output Data-Scaling Shifter)	OSCALE	ตัวเลื่อนบิตทางซ้าย 0-7 ตำแหน่งแบบขนาน กระการผลลัพท์จาก ACC ขนาด 32 บิต สำหรับปรับค่าหลังการคำนวณ

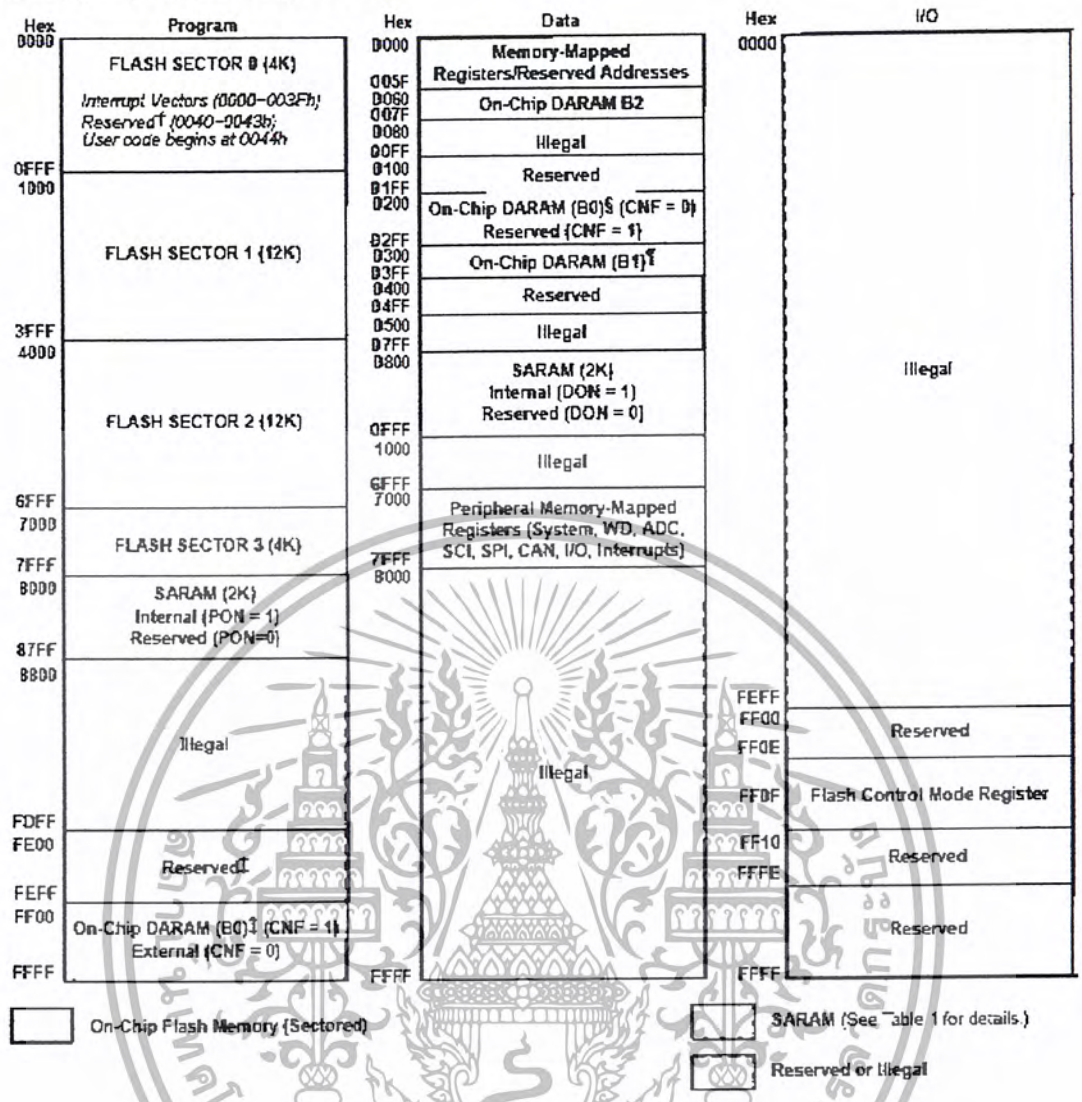
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจีสเตอร์แอดเดรสคำสั่งปัจจุบัน (Program Address Register)	**PAR**	ค้างค่าแอดเดรสของคำสั่งปัจจุบัน สำหรับใช้ในวงรอบต่อไป กรณีเป็นการทำงานซ้ำ
โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter)	**PC**	โปรแกรมเคาน์เตอร์ จะเพิ่มค่าแอดเดรสหน่วยความจำโปรแกรมมร NPAR โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อแต่ละคำสั่งการทำการ Fetch
ตัวควบคุมการทำคำสั่ง (Program Controller)	**PCTRL**	ควบคุมกลไกการทำงานของกระบวนการเรียกโปรแกรมคำสั่งการทำงาน
รีจีสเตอร์ผลลัพธ์การคูณ (Product Register)	**PREG**	รีจีสเตอร์ผลลัพธ์ 32 บิต ใช้ในการเก็บผลการคูณ (16*16)
ตัวปรับตัวเลขเลื่อนบิตผลคูณ (Product-Scaling Shifter)	**PSCALE**	ตัวเลื่อนบิตทางซ้าย 0 , 1 , 4 ตำแหน่งหรือเลื่อนบิตทางขวา 6 ตำแหน่ง แบบขนานกระทำกับผลลัพท์จากคูณ
สแตค (Stack)	**STACK**	ฮาร์ดแวร์สแตคขนาด 8*16 ใช้ในการเก็บค่าจากโปรแกรมเคาน์เตอร์ สำหรับการคืนคืนสู่โปรแกรมหลัก
รีจีสเตอร์ชั่วคราว (Temporary Register)	**TREG**	รีจีสเตอร์ 16 บิตใช้เก็บค่าโอเปอร์แลนของการคูณ

4.5 การจัดผังหน่วยความจำ (Memory)

ในการอ้างแอดเดรสของ TMS320LF2406 จะมีการอ้างแอดเดรสแยกระหว่างหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล และหน่วยความจำอินพุตเอาท์พุต ในทุกหน่วยความจำสามารถอ้างแอดเดรสได้ 64 kword

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

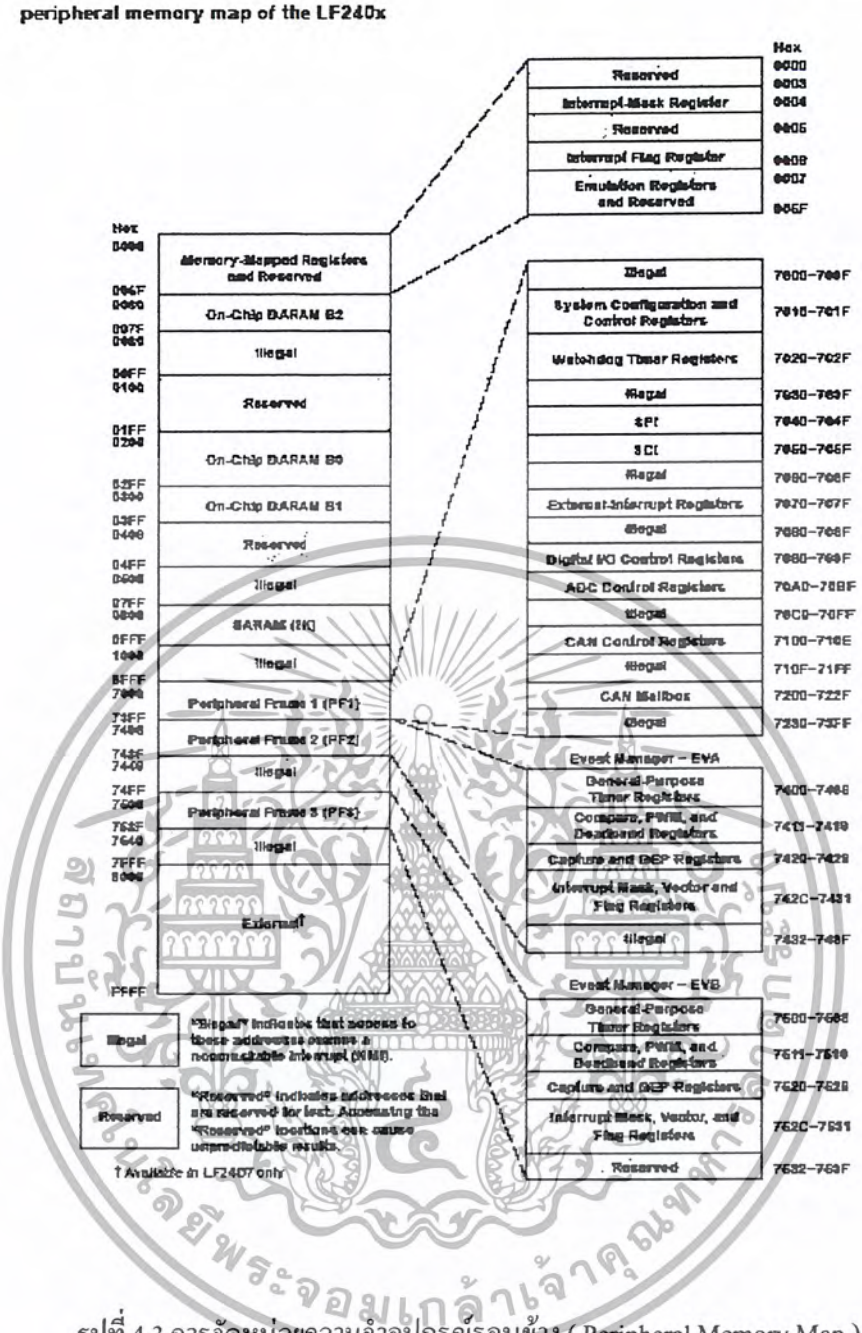


รูปที่ 4.2 การจัดหน่วยความจำ (Memory Map)

4.6 การจัดผังหน่วยความจำอุปกรณ์รอบข้าง (Peripheral Memory Map)

ในการควบคุมสั่งงานหรืออ่านสถานะการทำงานของอุปกรณ์รอบของภายใน TMS320LF2406 สามารถอ่านหรือเขียนลงในหน่วยความจำอินพุตเอาท์พุตตำแหน่ง 0000-7FFF โดยอุปกรณ์รอบข้างแต่ละตัวมีตำแหน่ง ดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การจัดหน่วยความจำอุปกรณ์รอบข้าง (Peripheral Memory Map)

4.7 หน่วยความประมวลผล (Central Processing Unit)

หน่วยประมวลผลกลางของ TMS320LF2406 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 5 โดยมีส่วนสำคัญ คือ

- ตัวปรับตัวเลขเลื่อนบิตอินพุต
- ตัวปรับตัวเลขเลื่อนบิตเอาท์พุต
- ตัวเลขแบบขนาด 16*16 บิต
- หน่วยคณิตศาสตร์และลอจิกส่วนกลางขนาน 32 บิต
- แอคคิวมูเลเตอร์ขนาน 32 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวเลื่อนบิตเอาท์พุต

โดยแต่ละส่วนมีการทำงานดังนี้

การเลื่อนบิต (Scaling Shifter) การเลื่อนบิตมีประโยชน์ในการสเกลข้อมูล แยกข้อมูล เพิ่มค่าทางคณิตศาสตร์และป้องกัน Over Flow โดย TMS320LF2406 มีวงจรเลื่อนบิต 3 ตำแหน่ง คือ

1. ที่ตำแหน่งเลื่อนบิตอินพุต (Input Shifter) ตัวเลื่อนบิตรับค่าอินพุต 16 บิตจากบัสข้อมูลแล้วเลื่อนบิตไปทางซ้ายได้ตั้งแต่ 0-16 บิต โดยเลื่อนไปทางที่มีเลขนัยสำคัญสูงกว่า และบิตที่มีนัยสำคัญต่ำกว่าจะเติมด้วย 0 ถ้ากำหนดค่าของรีจิสเตอร์สถานะ STI ในโหมดบิตเครื่องหมายบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะเติม 0 (ไม่แสดง Sign)

2 .ที่ตำแหน่งเอาท์พุตตัวคูณ (Product Shifter) ตัวเลื่อนบิตอินพุตจากรีจิสเตอร์ผลคูณ (PREG) ขนาด 32 บิต (ค่าของผลลัพธ์จากการคูณแบบขนาน ขนาด 16*16 บิต แล้วเลื่อนบิตทางซ้ายได้ 0,1,4 บิต หรือเลื่อนทางขวาได้ 6 บิต โดยการกำหนดค่าของรีจิสเตอร์สถานะ STI ในโหมดเลื่อนบิตผลลัพธ์

3. ที่ตำแหน่งเอาท์พุตแอคคิวมูลเลเตอร์ (Output Shifter) ตัวเลื่อนรับค่าอินพุตจาก ACC ขนาด 32 บิต แล้วเลื่อนไปทางซ้าย 0-7 ตำแหน่ง เมื่อค่า ACCH ถูกเลื่อนไปทางซ้าย ค่า ACCL จะเลื่อนไปทางซ้ายด้วย ขณะที่ตำแหน่งเดิมจะเติมด้วย 0 แล้วส่งเอาท์พุตทีละ 16 บิตไปเก็บในบัสข้อมูล

หน่วยคณิตศาสตร์และลอจิกส่วนกลาง (Central Arithmetic Logic Unit)

โครงสร้างภายใน TMS320LF2406 มีหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU) ขนาด 32 บิต เป็นหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ทั่วไปหลังการประมวลผลจะเก็บผลไว้ที่ (ALU) และสำหรับข้อมูล ACC ขนาด 32 บิต หลังรับค่ามาจาก ALU จะแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 16 บิตแล้วส่งเอาท์พุตไปที่วงจรเลื่อนบิต เพื่อเลื่อนบิตก่อนส่งค่าไปเก็บที่บัสข้อมูล เพื่อตอบสนองการประมวณสัญญาณดิจิตอลที่ต้องการความละเอียดของตัวเลขมากโดยใช้เวลาการทำงานเพียง 1 รอบ

ตัวคูณ (Multiplier)

ภายใน TMS320LF2406 มีวงจรคูณแบบขนาน ขนาด 16*16 และจะกระทำได้ทั้งแบบติดเครื่องหมายและไม่ติดเครื่องหมายได้ผลลัพธ์เอาท์ขนาด 32 บิต ต่อการทำงาน 1 รอบ คำสั่งการคูณทั้งหมด (ยกเว้น MDYU) จะกระทำแบบคิดเครื่องหมาย โดยที่ตัวคูณมาจากบัสข้อมูลและรีจิสเตอร์ TREG ใช้เก็บตัวตั้งแต่ขนาด 16 บิต และรีจิสเตอร์ PREG เก็บผลลัพธ์ของการคูณมีขนาด 32 บิต

4.8 หน่วยคณิตศาสตร์รีจิสเตอร์ช่วย (Auxiliary Register Arithmetic Unit ARAU)

TMS320LF2406 มีรีจิสเตอร์ช่วย 16 บิต 8 ตัวได้แก่ AR0-AR7 สำหรับช่วยในการอ้างแอดเดรสทางอ้อมของหน่วยความจำข้อมูล หรือเป็นที่เก็บข้อมูลชั่วคราว โดยการชี้ตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูลของการกระทำคำสั่งต่อรีจิสเตอร์ 1 ตัวรีจิสเตอร์ช่วยเหล่านี้สามารถอ้างจากรีจิสเตอร์ ARP (Auxiliary Register Pointer) ขนาด 3 บิต และสามารถโหลดเข้าโดยตรงจากข้อมูลในหน่วยความจำหรือโหลดเข้ากับเข้าไปในหน่วยความจำข้อมูลก็ได้

หน่วยคณิตศาสตร์รีจิสเตอร์ช่วยมีโครงสร้างดั่งรูปที่ 6 ซึ่งเป็นส่วนช่วยคำนวณแยกอิสระจาก CALU โดยมีหน้าที่คำนวณเพิ่มหรือลดค่ารีจิสเตอร์ช่วยโดยอัตโนมัติในการใช้รีจิสเตอร์ช่วยในการอ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดเดรสทางอ้อมของหน่วยความจำข้อมูล การเพิ่มค่าหรือลดค่าแต่ละครั้งสามารถทำได้ที่ละ 1 ค่าหรือกำหนดค่าทาง AR0 ด้วยการทำงานของหน่วยความจำคณิตศาสตร์รีจิสเตอร์ช่วยนี้เองจึงเป็นผลทำให้การอ้างแอดเดรสทางอ้อมเพื่อนำชุดข้อมูลลักษณะแบบตารางทำได้และรวดเร็ว

การอ้างแอดเดรสของหน่วยความจำ (Memory Addressing Mode)

TMS320LF2406 สามารถอ้างแอดเดรสได้ทั้งหมด 65 kword ของหน่วยความจำโปรแกรมและ 64 kword ของหน่วยความจำข้อมูล ROM ข้อมูลภายในจะเป็นส่วนหนึ่งบนหน่วยความจำข้อมูลและถ้ากำหนดเป็นโหมดไมโครคอมพิวเตอร์ ROM ภายในจะอยู่บนหน่วยความจำโปรแกรมการอ้างแอดเดรสจะอ้างด้วยสำคัญ 3 โหมดดังรูปที่ 7

- การอ้างแอดเดรสทางตรง จะใช้คำสั่ง 16 บิต แยกเป็น Opcode 9 บิต และอีก 7 บิตเป็น Opcode ในการทำงานจะใช้ 7 บิต ว่าง ทำหน้าที่ชี้เวิร์คบนเพจ

- การอ้างแอดเดรสทางอ้อมจะใช้รีจิสเตอร์ช่วย ARP 3 บิตในการชี้ตัวรีจิสเตอร์ AR 16 บิตที่อ้างแอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูล

- การอ้างแอดเดรสแบบอิมมิเดียต จะมีส่วนของ Operand ประกอบในคำสั่งโดยค่าตัวเลขนี้เป็นได้ 2 ขนาด คือ แบบ 8 บิต หรือ 13 บิต และคำสั่งที่มีขนาด 2 เวิร์คจะมีขนาดตัวเลขของการใช้งานขนาด 16 บิต

4.9 ชุดคำสั่งของ TMS320LF240

ชุดคำสั่งของ DSP ชุดคำสั่งของ DSP ถูกออกแบบเพื่อให้ความสามารถทำงานแบบขนานประมวลผล และประสิทธิภาพการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งชุดคำสั่งที่โหมดสามารถแบ่งการทำงานได้ 6 กลุ่ม คือ

- กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก
- กลุ่มคำสั่งด้านรีจิสเตอร์ช่วยและตัวชี้ข้อมูล
- กลุ่มคำสั่งทางด้านการกระโดดข้ามขั้นตอนการทำงาน
- กลุ่มคำสั่งทางด้านการควบคุมภายใน
- กลุ่มคำสั่งด้าน Input,Output ของหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก

Mnemonic	Description	Words	Cycles	Opcode
ABS	Absolute value of ACC	1	1	1011 1110
ADD	Add to ACC with shift of 0 to 15, direct or indirect	1	1	0000 0000
	Add to ACC with shift 0 to 15, long immediate			0010 SHIFT
	Add to ACC with shift of 16, direct or indirect	2	2	IAAA
	Add to ACC, short immediate			AAAA
	Add to ACC with carry, direct or indirect	1	1	1011 1111
	Add to LOW acc with sign-extension suppressed,			1001
	direct or indirect	1	1	SHIFT+1
ADDC	Add to ACC with shift(0 to 15) specified by TREG,	1	1	word
	direct or indirect			0110 0001
ADDS	And ACC with data value, direct or indirect	1	1	IAAA
	AND with ACC with shift of 0 to 15, long immediate			AAAA
ADDT	AND with ACC with shift of 16, long immediate	1	1	1011 1000
	Complement ACC			IIII IIII
AND	Load ACC with shift of 0 to 15, direct or indirect	1	1	0110 0010
	Load ACC with shift of 0 to 15, long immediate			IAAA
	Load ACC with shift of 16, direct or in direct	2	2	AAAA
	Load low word of ACC, direct or indirect			0110 0010
	Load low word of ACC, short immediate	2	2	IAAA
	Load ACC with shift(0 to 15) specified by TREG,			AAAA
CMPL	direct or indirect	1	1	0110 0011
LACC		1	1	IAAA
	Negate ACC			AAAA
	Normalize the contents of ACC, indirect	2	2	0110 1110
				IAAA
	OR ACC with data value direct or indirect	1	1	AAAA
	OR with ACC with shift of 0 to 15 long immediate			1011 1111
LACL	OR with ACC with shift of 16 long immediate	1	1	1011
	Rotate ACC left			SHIFT+1
	Rotate ACC right	1	1	word

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Store high ACC with shift of 0 to 7,			1011 1110
LACT	direct or indirect	1	1	1000
	Store low ACC with shift of 0 to 7,			0001+1
	direct or indirect			word
NEG	Shift ACC left	1	1	1011 1110
NORM	Shift ACC right	1	1	0000 0001
	Subtract from ACC with shift of 0 to 15 , direct or			0001 SHIFT
OR	indirect	1	1	IAAA
	Subtract from ACC with shift of 0 to			AAAA
	15, long immediate	2	2	1011 1111
	Subtract from ACC shot immediate			1000
	Subtract from ACC with borrow direct or indirect	2	2	SHIFT+1
	Conditional subtract, direct or indirect			word
ROL		1	1	0110 1010
ROR	Subtract from ACC with sign-extension	1	1	IAAA
SACH	Suppressed ,direct or indirect	1	1	AAAA
	Subtract from ACC with shift 0 to 15			0110 1001
SACL	specified by TREG direct or indirect	1	1	IAAA
	Exclusive OR ACC with data value direct or indirect			AAAA
SFL	Exclusive OR ACC with with shift 0 to 15 direct or	1	1	1011 1001
SFR	indirect	1	1	IIII IIII
SUB		1	1	
				0110 1011
		2	2	IAAA
				AAAA
		1	1	
SUBB		1	1	1011 1110
				0000 0010
SUBC		1	1	1010 0000
				IAAA
SUBS		1	1	AAAA
				0110 1101
SUBT		1	1	IAAA
				AAAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XOR		1	1	1011 1111 1100 SHFT
		2	2	+ 1 word 1011 1110 1000 0010 + 1 word 1011 1110 0000 1100 1011 1110 0000 1101 1001 1SHF 1AAA AAAA 1001 0SHF 1AAA AAAA 1011 1110 0000 1001 1011 1110 0000 1010 0011 SHFT 1AAA AAAA 1011 1111 1010 SHFT + 1 word 1011 1010 1111 1111 0110 0100 1AAA AAAA 0000 1010 1AAA AAAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				0110 0110 1AAA AAAA 0110 0111 1AAA AAAA 0110 1100 1AAA AAAA 1011 1110 1000 SHFT + 1 word

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มคำสั่งรีจิสเตอร์ช่วยและตัวชี้ข้อมูล

Mnemonic	Description	Words	Cycles	Opcode
ADRK	Add constant to current AR, short immediate	1	1	0111 1000 IIII
	Branch on current AR not 0, indirect			IIII
BANZ	Compare on current AR with ARO	2	4(true)	
	Load specified AR from specified data location,		2(false)	0111 1011
CMPR	direct or indirect	1	1	1AAA
LAR	Load specified AR with constant, short	1	2	AAAA+1word
	immediate			1011 1111
	Load specified AR with constant, long	1	2	0100 01CM
	immediate			0000 0ARX
	Modify current AR and/or ARP,	2	2	IAAA AAAA
	indirect(performs no operation when direct)			1011 0ARX
MAR	Store specified AR to specified data location,	1	1	IIII IIII
	direct or indirect			1011 1111
	Subtract constant from current AR, short			0000 1ARX
SAR	immediate	1	1	+1 word
				1000 1011
SBRK		1	1	IAAA AAAA
				1000 0ARX
				IAAA AAAA
				0111 1100 IIII
				IIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มคำสั่งทางด้านการคูณ

Mnemonic	Description	Words	Cycles	Opcode
APAC	Add PREG to ACC	1	1	1011 1110
LPH	Load high PREG, direct or indirect	1	1	0000 0100 0111 0101
LT	Load TREG, direct or indirect	1	1	IAAA AAAA
LTA	Load TREG and accumulate previous product, direct or indirect	1	1	0111 0011 IAAA
LTD	Load TREG, accumulate previous product, and move data, direct or indirect	1	1	AAAA 0111 0000 IAAA
LTP	Load TREG and store PREG in accumulator, direct or indirect	1	1	AAAA 0111 0010
LTS	Load TREG subtract previous product, direct or indirect	1	1	IAAA AAAA
MAC	Multiply and accumulate, direct or indirect Multiply and accumulate with data move, direct or indirect	2	3	0111 0100
MACD	Multiply TREG by data value, direct or indirect	2	3	IAAA AAAA
MPY	Multiply TREG by 13-bit constant, short immediate	1	1	0111 0100 IAAA
	Multiply and accumulate previous product, direct or indirect	1	1	AAAA 1010 0010
MPYA	Multiply and subtract previous product, direct or indirect	1	1	IAAA AAAA +1
MPYS	Multiply unsigned, direct or indirect	1	1	word 1010 0011
MPYU	Load ACC with PREG	1	1	IAAA
	Subtract PREG from ACC			AAAA +1
PAC	Store high PREG, direct or indirect	1	1	word
SPAC		1	1	0101 0100
SPH	Store low PREG, direct or indirect	1	1	IAAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				AAAA
SPL	Set product shift mode	1	1	1101 IIII IIII
	Square and accumulate previous product,			IIII
SPM	direct or indirect	1	1	
SQRA	Square and subtract previous product, direct	1	1	0101 0000
	or indirect			IAAA
SQRS		1	1	AAAA
				0101 0001
				IAAA
				AAAA
				0101 0101
				IAAA
				AAAA
				1011 1110
				0000 0011
				1011 1110
				0000 0101
				1000 1101
				IAAA
				AAAA
				1000 1100
				IAAA
				AAAA
				1011 1111
				0000 00PM
				0101 0010
				IAAA
				AAAA
				0101 0011
				IAAA
				AAAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มคำสั่งด้าน input และ output ของหน่วยความจำ

BLDD	Block move from data memory to data Memory ,direct/indirect with long immediate source	2	3	1010 1000 IAAA AAAA+1word
	Block move from data memory to data Memory ,direct/indirect with long immediate destination	2	3	1010 1001 IAAA AAAA+1word
BLPD	Block move from data memory to data Memory ,direct/indirect with long immediate source	2	3	1010 0101 IAAA AAAA+1word
DMOV	Data move in data memory ,direct or indirect	2	1	0111 0111 IAAA AAAA
IN	Input data from I/O location, direct or indirect	2	2	1010 1111 IAAA AAAA+1word
OUT	Out put data to port ,direct or indirect	2	3	0000 1100 IAAA AAAA+1word
SPLK	Store long immediate to data location, direct or indirect	2	2	1010 1110 IAAA AAAA+1word
TBLR	Table read, direct or indirect	1	3	1010 0110 IAAA AAAA
TBLW	Table write, direct or indirect	1	3	1010 0111 IAAA AAAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 คุณสมบัติเด่นของ TMS320LF2406 ในการประยุกต์ใช้งาน

1. หน่วยประมวลผลกลางทำงานขนาน สามารถประมวลผลได้หลายอย่างในเวลาเดียวกัน เช่น คูณแล้วบวกจึงทำให้มีความเร็วกว่าตัวประมวลผลทั่วไป เมื่อเทียบ ณ ความเร็วของตัวประมวลผลที่เท่ากัน

2. มีชุดคำสั่งที่ช่วยประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล เช่น คูณแล้วบวก , คูณแล้วลบ , การกรองความถี่ เป็นต้น

3. มีตัวแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลความละเอียด 10 บิต 2 ชุด (Dual 10 bit analog to digital converter) ซึ่งสามารถอ่านค่า analog ได้ 2 สัญญาณในเวลาเดียวกัน ซึ่งจำเป็นอย่างมากในการวัดกระแสของมอเตอร์อย่างน้อย 2 เฟส

4. มีตัวสร้างสัญญาณ pwm พร้อมทั้งสร้างการประวิงเวลา (Dead Time)

5. มีตัวนับพัลส์จากเอ็นโคดเดอร์ แบบสัญญาณต่างเฟส 90° สำหรับการประยุกต์ใช้วัดความเร็วหรือวัดตำแหน่ง

6. ภายในประกอบประกอบด้วยอุปกรณ์รอบข้างให้ใช้งานครบถ้วน จึงไม่จำเป็นต้องมีฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม เช่น อินพุต/เอาท์พุตพอร์ท , ตัวติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม , ตัวนับ เป็นต้น

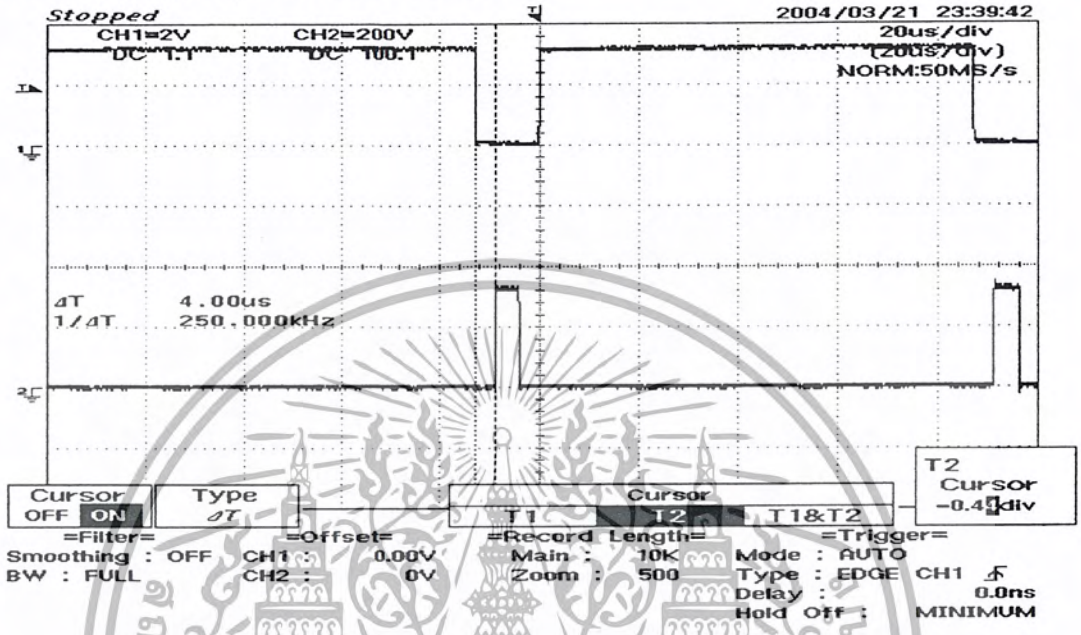
7. สามารถใช้งานแบบชิงเกิลชิปได้เนื่องจากภายในมีหน่วยความจำแบบ Flash EEPROM ขนาด 16 K * 16 Bit และ RAM ขนาด 544*16 B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

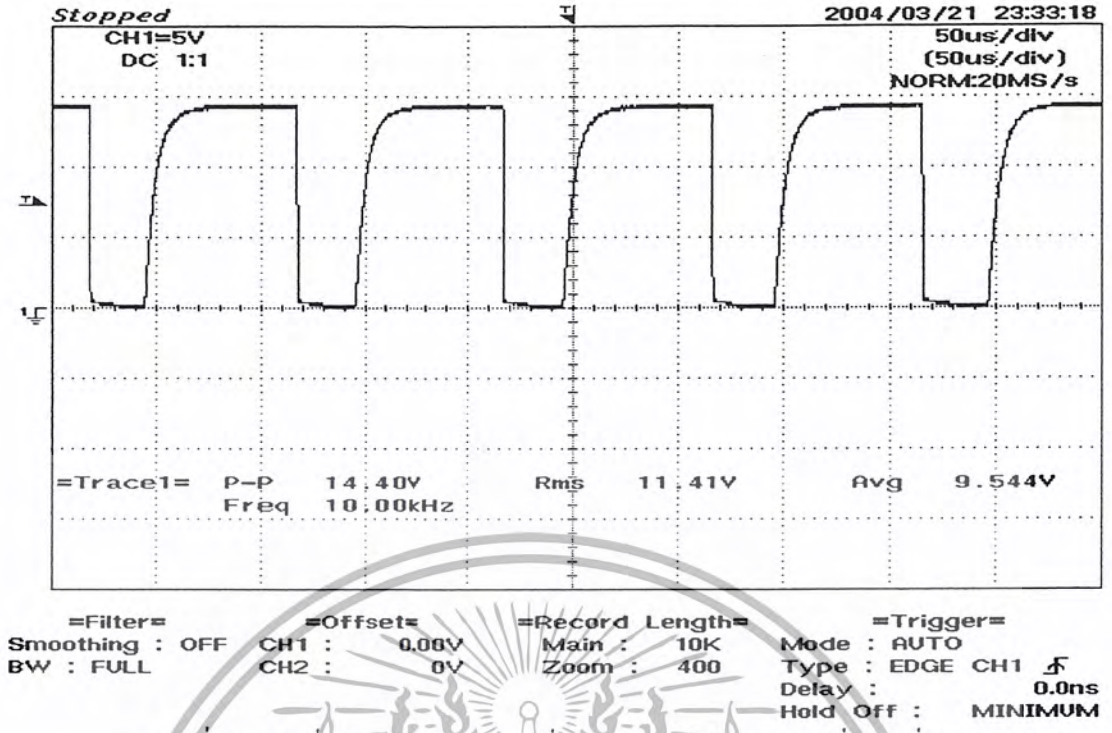
การทดลองและผลการทดลอง

ได้ทำการทดลองขับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าและได้ผลสัญญาณที่พิกัดความถี่ต่างๆ และฟังก์ชั่นการทำงานโดยใช้ storage scope โดยได้ผลการทดลองดังนี้

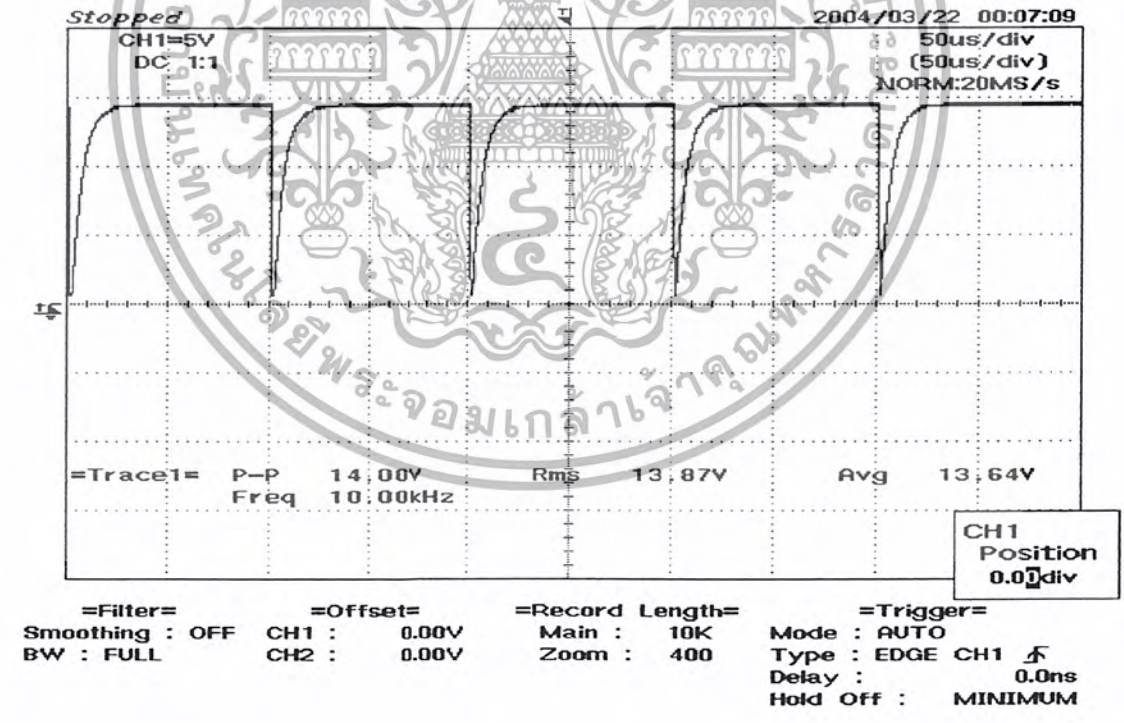


รูปที่ 5.1 ค่าการประวิงเวลาของสัญญาณ pwm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

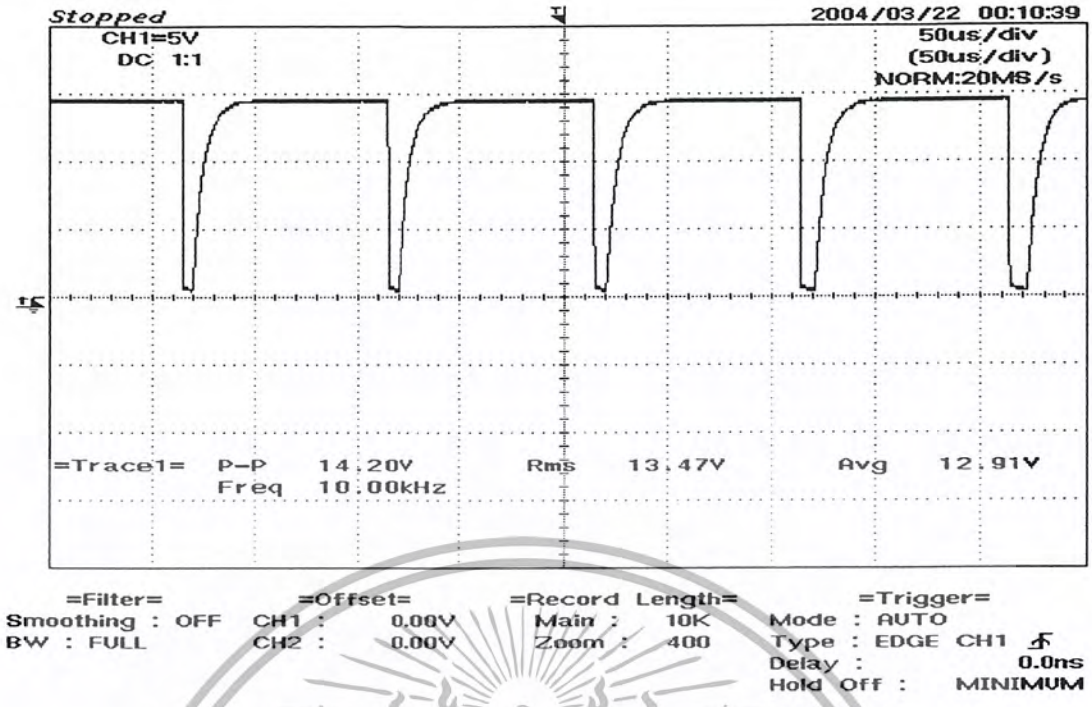


รูปที่ 5.2 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 25 Hz

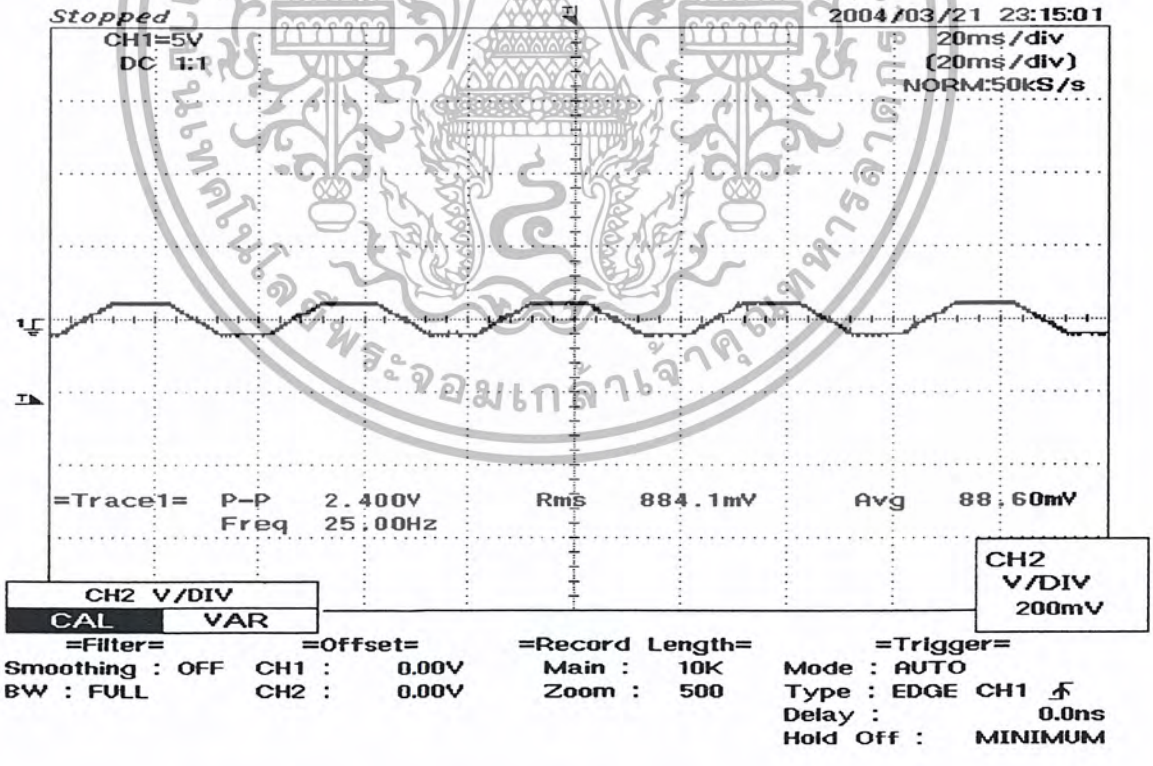


รูปที่ 5.3 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

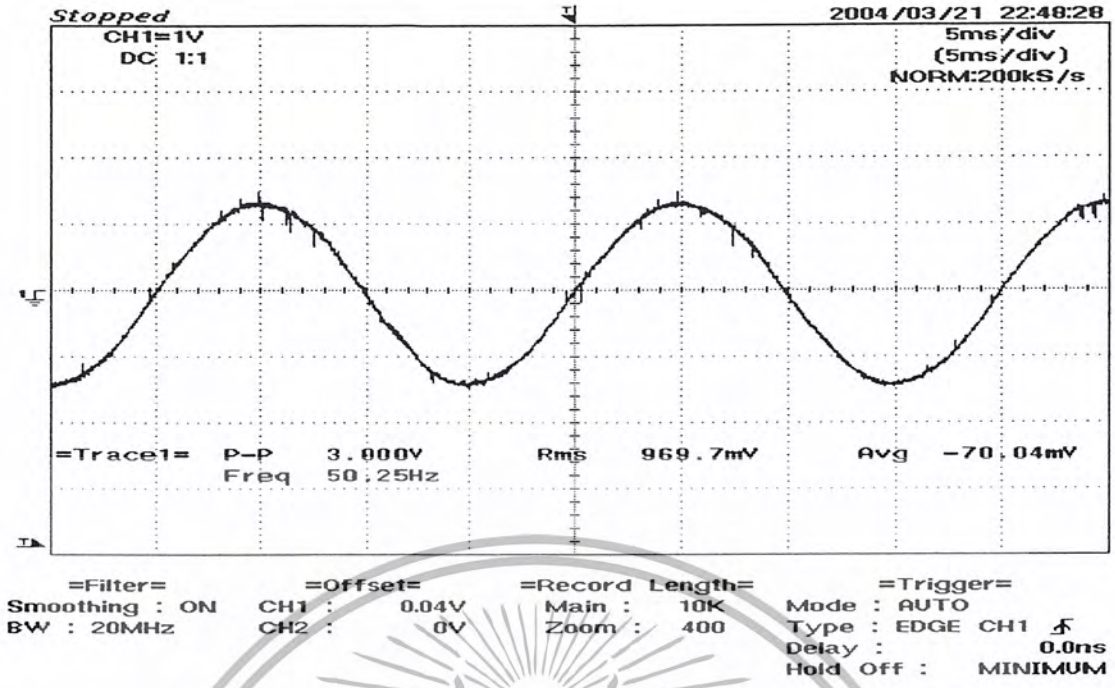


รูปที่ 5.4 รูปคลื่นของสัญญาณ pwm ที่ออกมาจากตัวประมวลผลที่ความถี่ 75 Hz

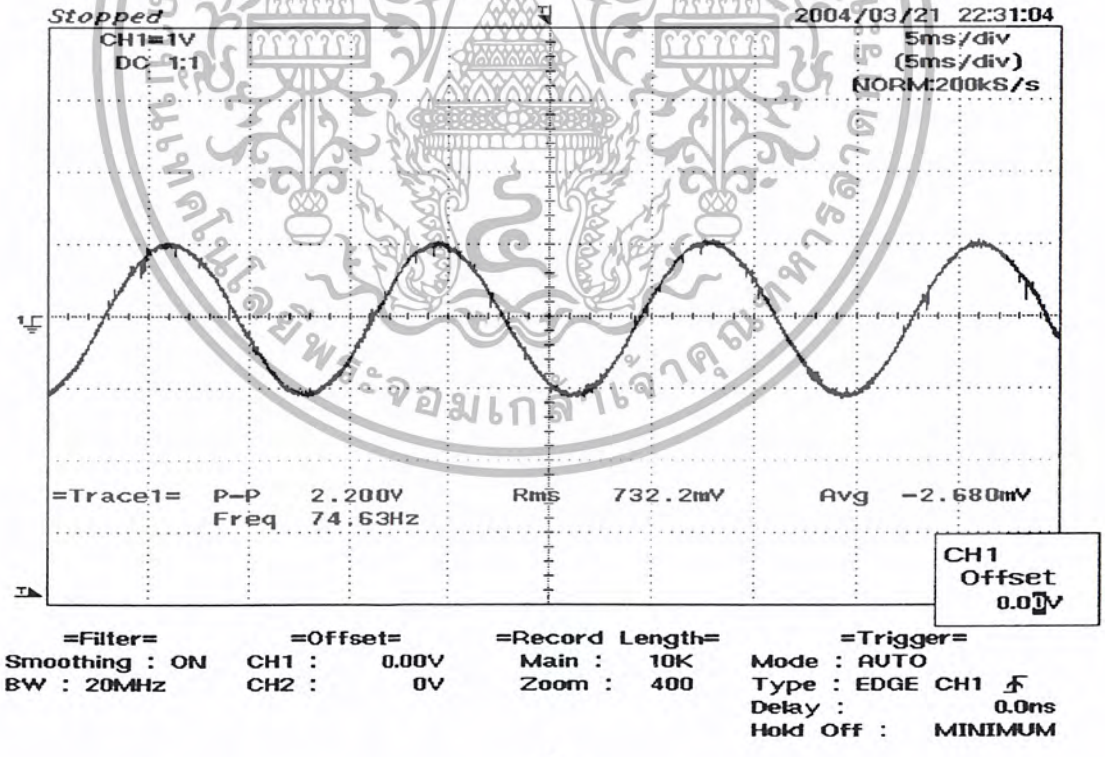


รูปที่ 5.5 รูปคลื่นของสัญญาณ กระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ความถี่ 25 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



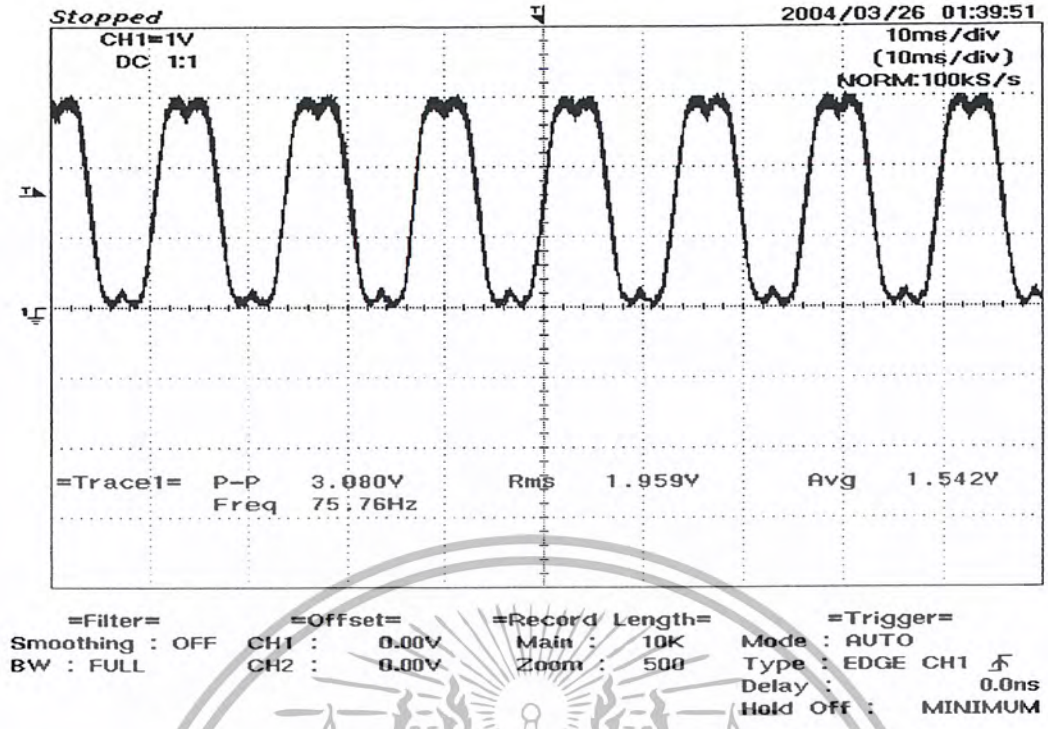
รูปที่ 5.6 รูปคลื่นของสัญญาณ กระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ความถี่ 50 Hz



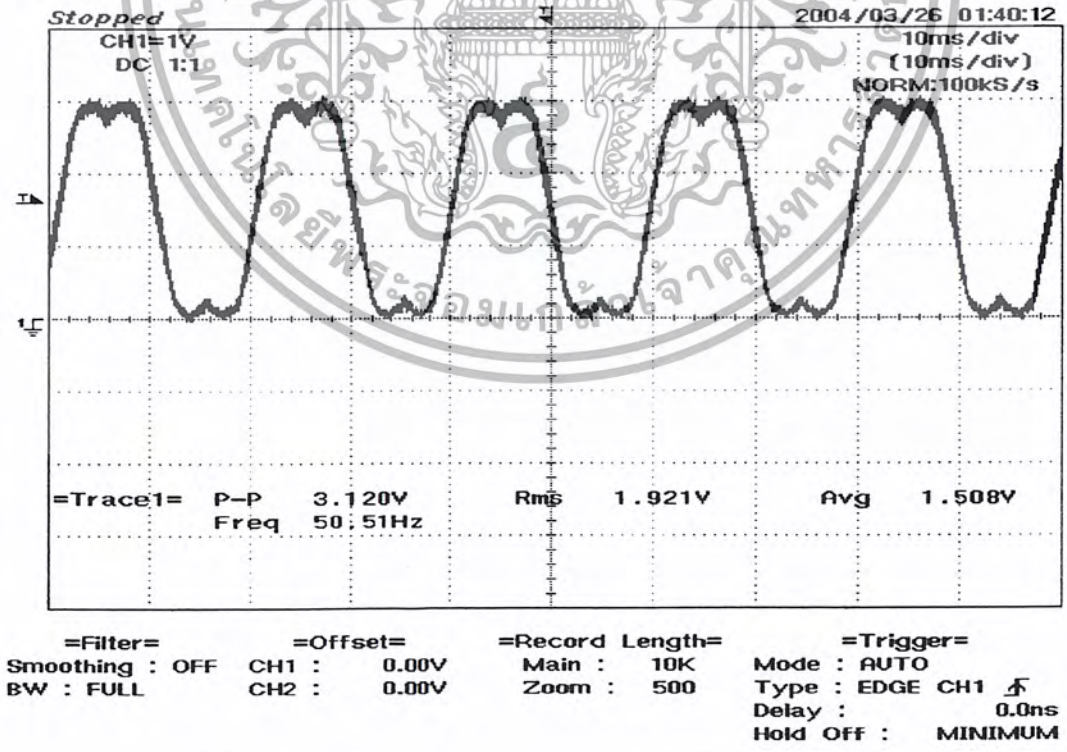
ล

รูปที่ 5.7 รูปคลื่นของสัญญาณ กระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ความถี่ 75 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

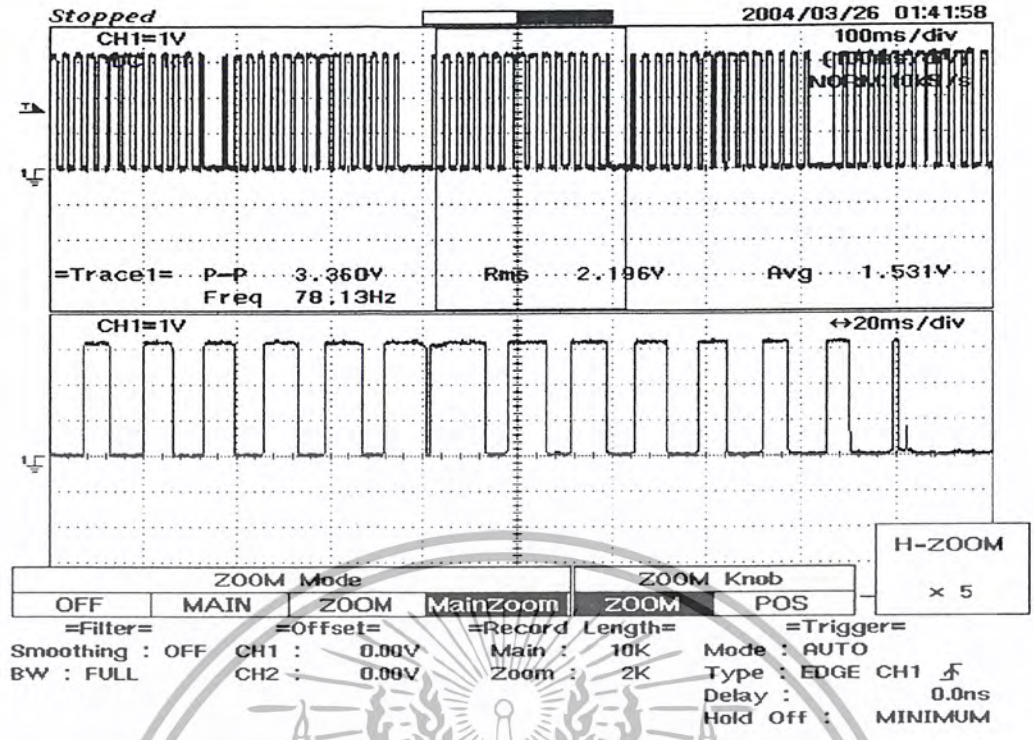


รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณที่ขับไอจีบีทีที่ผ่านวงจรอินทิเกรทที่ความถี่ 75 Hz

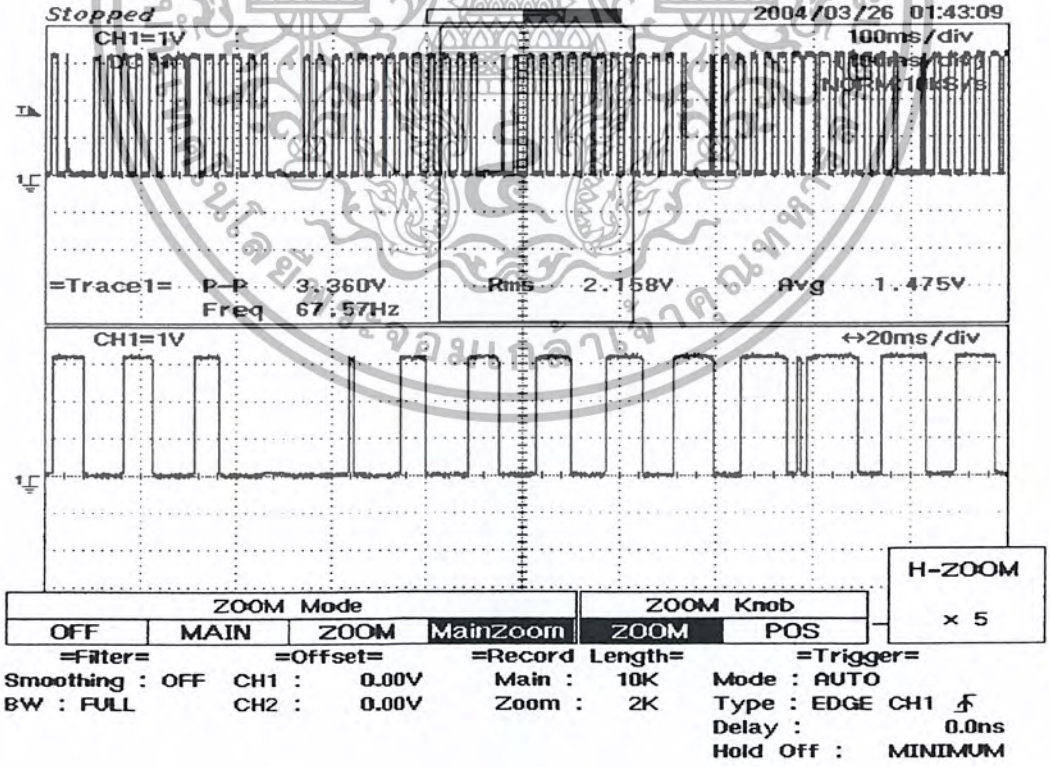


รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณที่ขับไอจีบีทีที่ผ่านวงจรอินทิเกรทที่ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



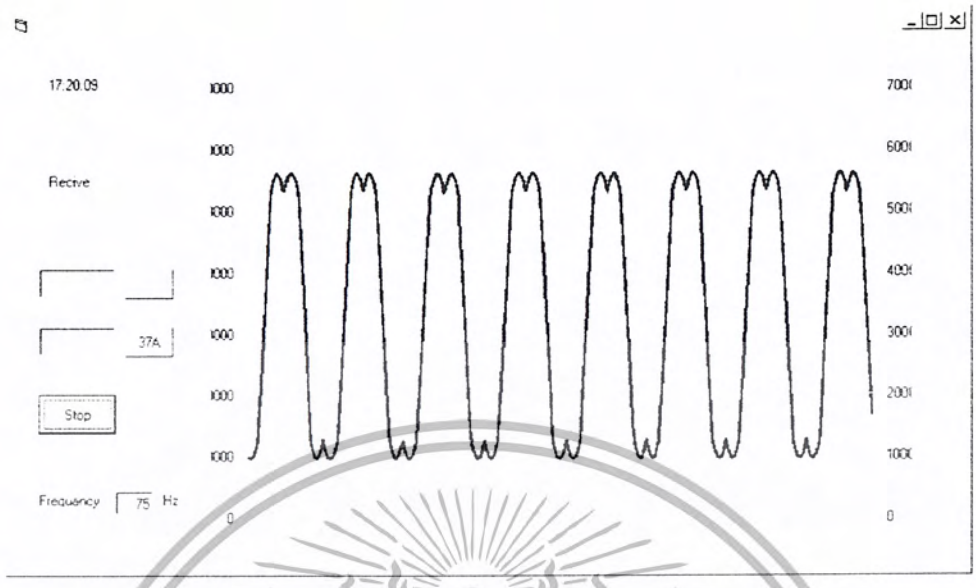
รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณที่ขับ ไอจีบีทีที่ความถี่ 78 Hz



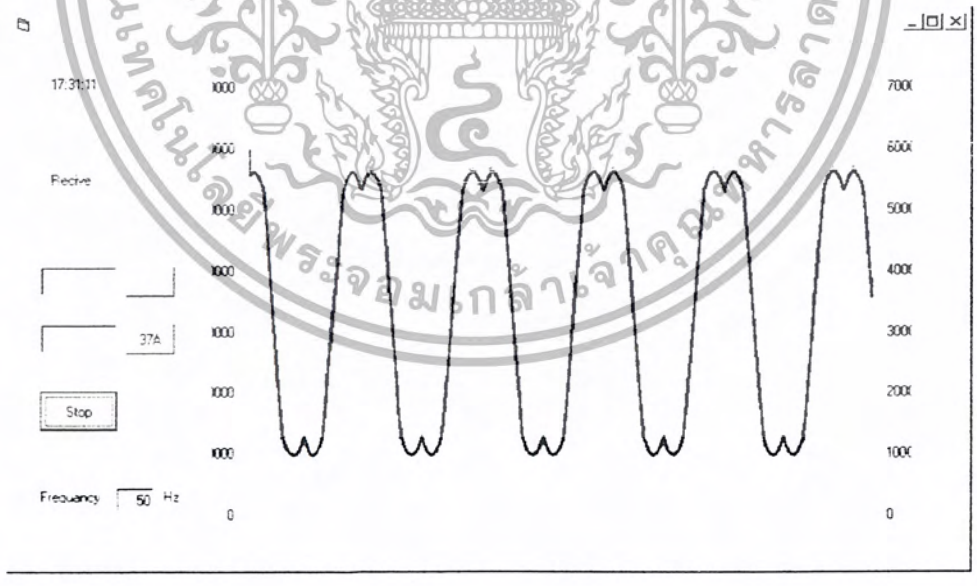
รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณที่ขับไอจีบีทีที่ความถี่ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

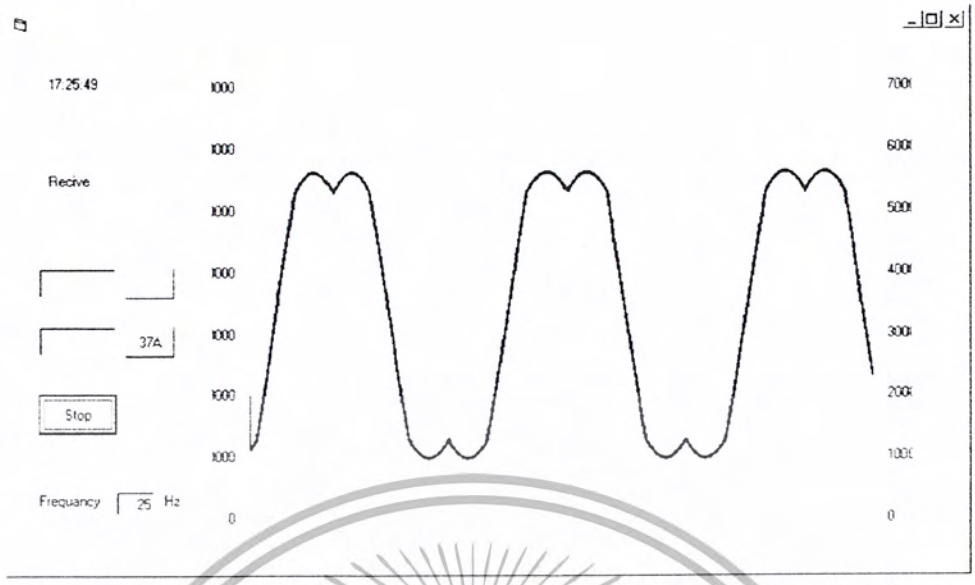


รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรอินทิเกรทที่ 75 Hz

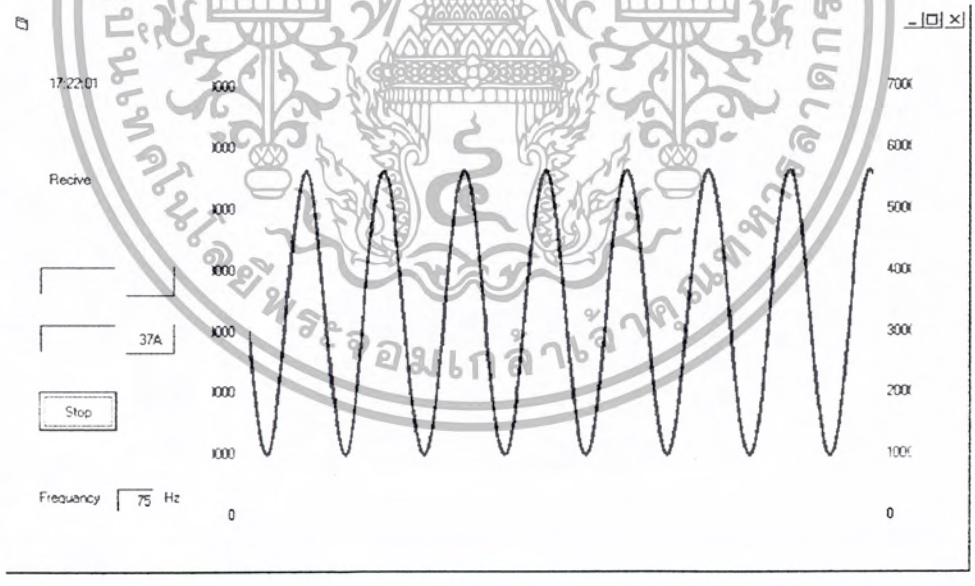


รูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรอินทิเกรทที่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

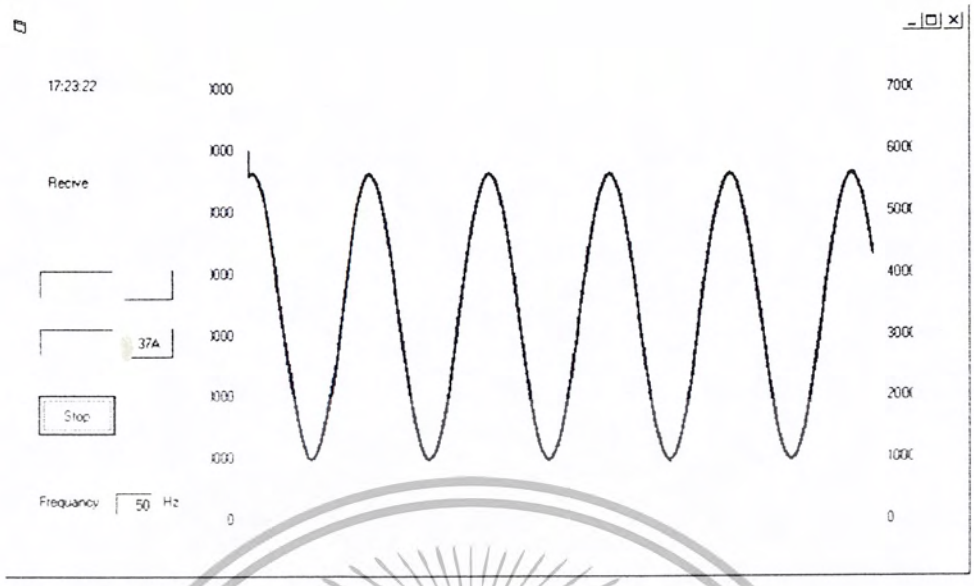


รูปที่ 5.13 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรอินทิเกรทที่ 25 Hz

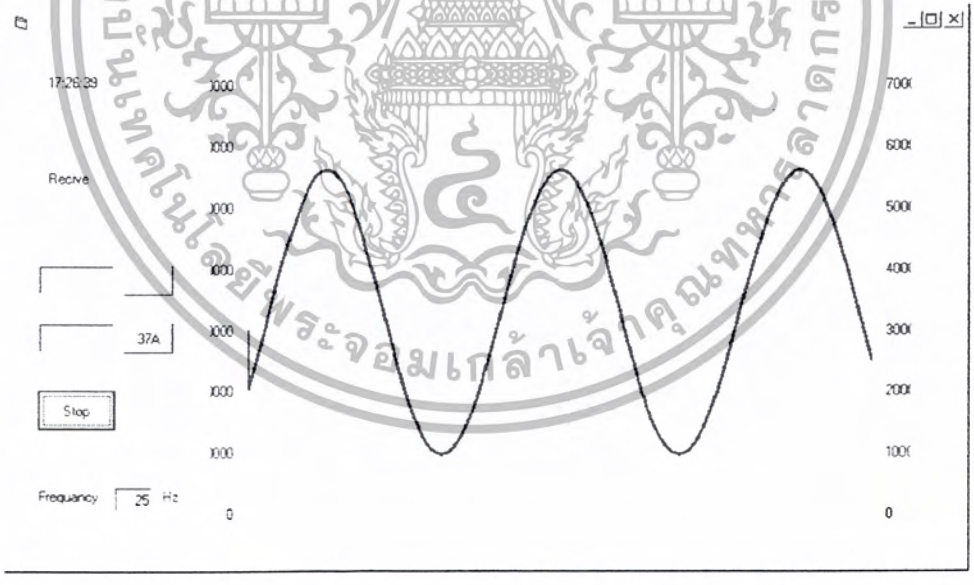


รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณที่ผ่านตัวตรวจจับกระแสที่ 75 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณที่ผ่านตัวตรวจจับกระแสที่ 50 Hz



รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณที่ผ่านตัวตรวจจับกระแสที่ 25 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่6
บทสรุปโครงงานอินเวอร์เตอร์

จากวัตถุประสงค์ที่เริ่มต้นทำโครงงานนี้ เพื่อสร้างอินเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ตามต้องการ โดยชิ้นงานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการขับมอเตอร์ที่มีขนาด 1 แรงม้า 380 โวลท์

6.1 ข้อดีของอินเวอร์เตอร์นี้

6.1.1 เนื่องจากใช้ความถี่ในการสวิทช์สูงจึงไม่มีเสียงรบกวน

6.1.2 หน่วยประมวลผลมีขนาด 16 บิต ดังนั้นทำให้การประมวลผล ทำได้เร็ว จึงสามารถทำคำสั่งได้มากกว่าในช่วงเวลาที่เท่ากัน (โดยเปรียบเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิท)

6.1.3 การสร้างสัญญาณ พัลซ์วิดมอดูเลชั่น เกิดจากการประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผล จึงดีกว่าวิธีการสร้าง สัญญาณด้วยวิธีการทางอิเล็คทรอนิกส์ เพื่อสามารถหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนได้

6.1.4 การมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถเพิ่มฟังก์ชั่นการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อดูฟังก์ชั่นการทำงานได้ด้วย

6.1.5 วงจรกำลัง ใช้ไอจีบีที่ ที่สร้างขึ้นสำหรับการทำอินเวอร์เตอร์โดยเฉพาะ สามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ และสามารถทนกระแสได้สูงอีกด้วย

6.2 ปัญหาในการทำโครงงานนี้

6.2.1 ทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผู้ร่วมงานไม่มีประสบการณ์ในการต่อวงจรเท่าไรนักจึงทำให้ช่วงเริ่มต้นมีปัญหาอยู่บ้าง

6.2.2 เนื่องจากไม่มีวงจรจำกัดกระแส อินรัชเวลาจะทำการทดลองอินเวอร์เตอร์จึงต้องใช้ variac 3 เฟส

6.2.3 ทางด้านการเขียนโปรแกรม เนื่องจากผู้ร่วมงานไม่เคย สร้างวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และเขียนโปรแกรมด้วย dsp มาก่อน ประกอบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้นี้ ไม่มีบอร์ดทดลองสำเร็จรูปทำให้ต้องหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดและการทดลองใช้งานฟังก์ชั่นต่างๆ ที่มีในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้ต้องเสียเวลาในการเริ่มต้นอย่างมาก

6.2.4 อุปกรณ์บางตัวมีราคาแพงและไม่มีขายตามห้องตลาดทำให้มีความล่าช้าในการสั่งซื้อ

6.3 สิ่งที่ควรพัฒนาต่อไปสำหรับโครงงานนี้

6.3.1 ควรมีวงจรรีเจนเนอเรทีฟเพื่อให้อินเวอร์เตอร์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้งานได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

6.3.2 ควรมีวงจรจำกัดกระแสอินรัช เพื่อจำกัดกระแสตอนเข้าอินเวอร์เตอร์ เพราะจะไม่ต้องใช้ variac 3 เฟส เวลาทดลอง

6.3.3 โปรแกรมชดเชย เดดไทม์ จะช่วยแก้ปัญหาการเดินไม่เรียบของมอเตอร์ที่ความถี่ต่ำซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้สร้างขึ้น แต่ได้ทำการศึกษาไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

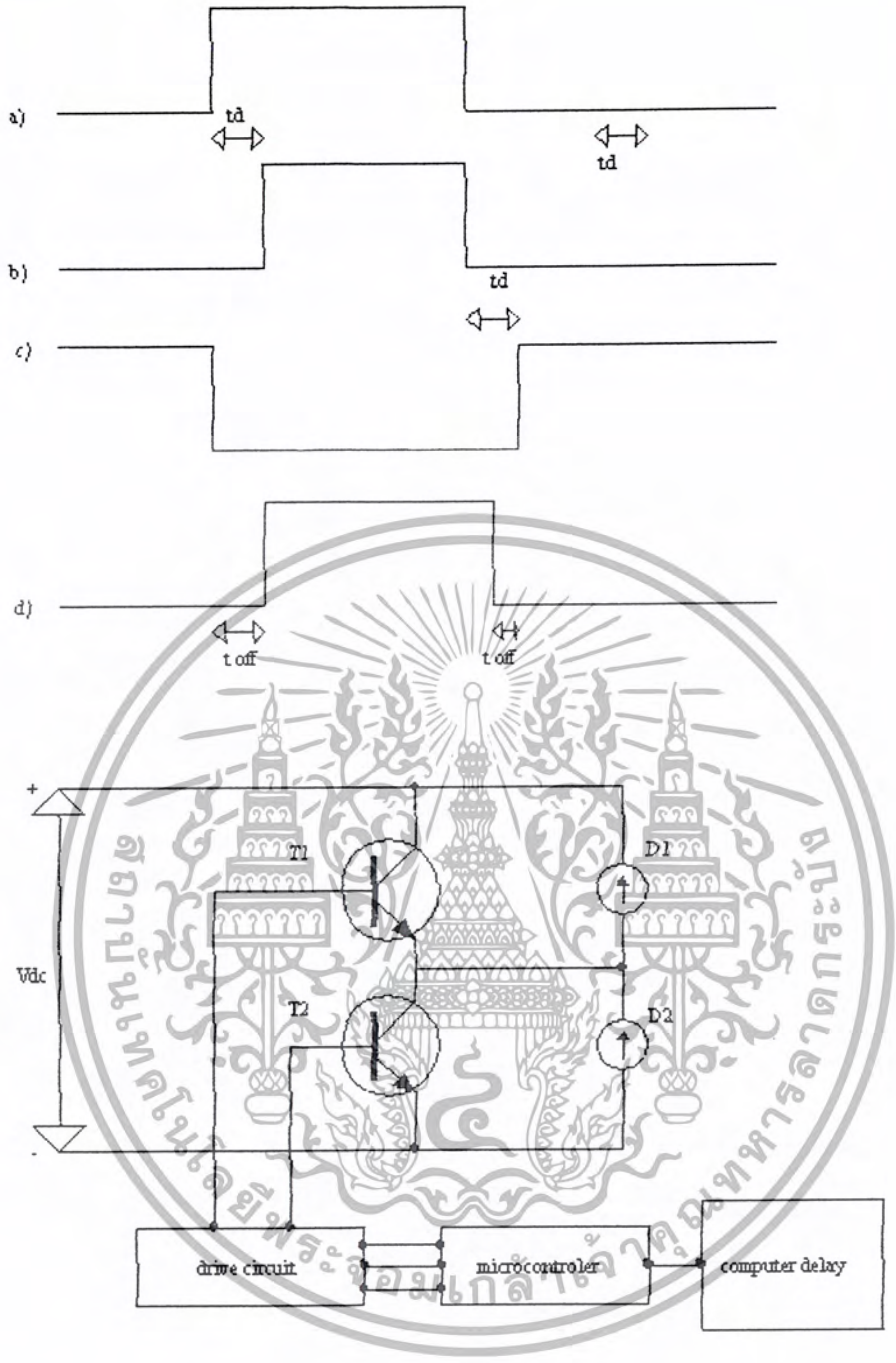
6.4 ปัญหาจากผลของการผิดเพี้ยน (distortion) ของกราฟกระแสที่ความถี่ต่ำ

เนื่องจากความเป็นจริงของพวกอุปกรณ์ จำพวกสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีขีดจำกัดในด้านความเร็ว และความแม่นยำในการเปิด – ปิด ได้สนิทเมื่ออุปกรณ์ได้รับสัญญาณควบคุมเข้ามาเรียกว่า ดีไวซ์ สตอลเลจ ไทม์ (device storage time) ด้วยเหตุนี้ทำให้เราไม่สามารถที่ทำให้ t1 และ t2 เปิด- ปิดสลับกันได้ทันทีเพราะทำให้เกิดปัญหา short through ขึ้นในระบบเกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์ในอินเวอร์เตอร์ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาเช่นนี้

โดยทั่วไปแล้วในอินเวอร์เตอร์ ต้องมีการเผื่อเวลาไว้ช่วงหนึ่งเพื่อให้ ไอจีบีทีตัวหนึ่งปิดสนิทเสียก่อนจึงเริ่มให้ไอจีบีทีอีกตัวเริ่ม เปิดได้ช่วงเวลาที่เราเผื่อความปลอดภัยเรียกว่าเดดไทม์ (dead time)

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ฟังก์ชั่นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างเดดไทม์ ปัญหาที่เกิดขึ้นมาหลังจากการมีเดดไทม์ ทำให้แรงดันที่โหลดจะผิดเพี้ยนจากสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่น ที่สร้างโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ นั่นคือเกิดการลดทอนสัญญาณ (wave form distortion) ซึ่งจะมีผลอย่างมากในช่วงที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการสร้างสัญญาณสเปซเวกเตอร์พัลส์วิดมอดูเลชั่นที่ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 a รูปกราฟสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลต

รูปที่ 6.1 b สัญญาณลอจิก สำหรับ T1

รูปที่ 6.1 c สัญญาณลอจิก สำหรับ T2

รูปที่ 6.1 d รูปกราฟแรงดันเอาท์พุทจริง

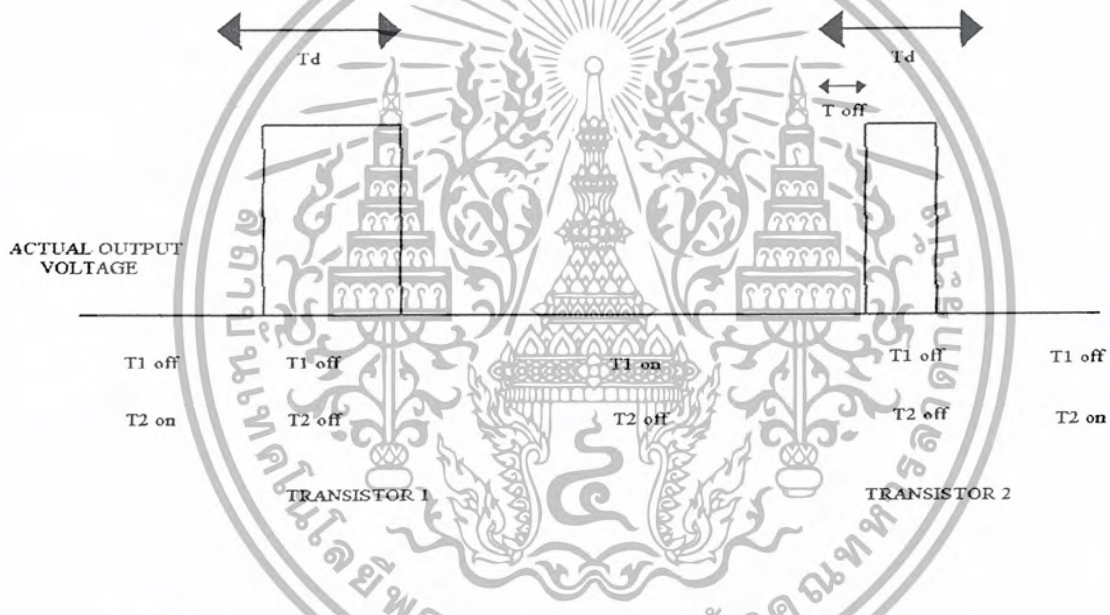
จากรูปไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่สร้างสเปซเวกเตอร์ดังรูป 6.1 a ซึ่งสัญญาณพัลส์วิดนี้จะถูกส่งเข้าวงจรหน่วงเพื่อควบคุมการปิด t1 และ t2 ให้ปลอดภัยโดยมีเดดไทม์เท่ากับ Td ดังรูป 6.1b และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1c ตามลำดับ และสัญญาณเหล่านี้จะถูกส่งเข้าวงจรขับเบสเพื่อขับการเปิด-ปิด t1 และ t2ส่วนรูป 6.1d แสดงรูปคลื่นแรงดันขาออกที่เกิดขึ้นจริงเปรียบเทียบรูป 6.1a กับรูป 6.1d เราจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นแรงดันขาออกจริง ที่ได้มีความกว้างการเปิด — ปิด ไม่เท่ากับสัญญาณที่ได้จาก ส่วนประมวลผลทำให้แรงดันที่กลับเฟส จ่ายรูปคลื่นไม่เป็นพัลส์วิดมอดูเลชั่น ที่สมบูรณ์คือเกิด การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นและแรงดันตก

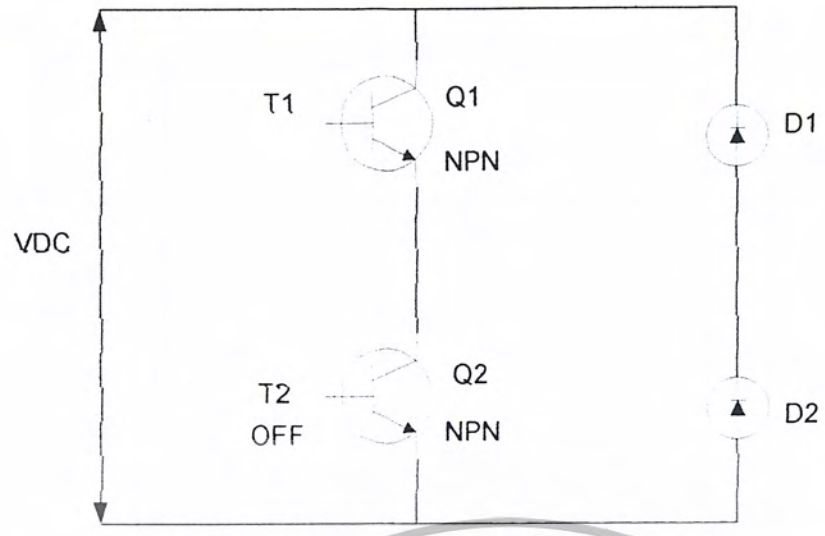
หมายเหตุ

ในกรณีของโหลดเหนี่ยวนำรูปคลื่นแรงดันที่แท้จริงที่ได้อาจจะแตกต่างจากรูป 6.1d โดยทั้งนี้ส่วนเปลี่ยนแปลงไปในช่วงสภาวะจะเกิดขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสโหลดดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 6.2 รูปกราฟการชดเชยแรงดันของสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่นช่วงสภาวะที่ 1 (il < 0)

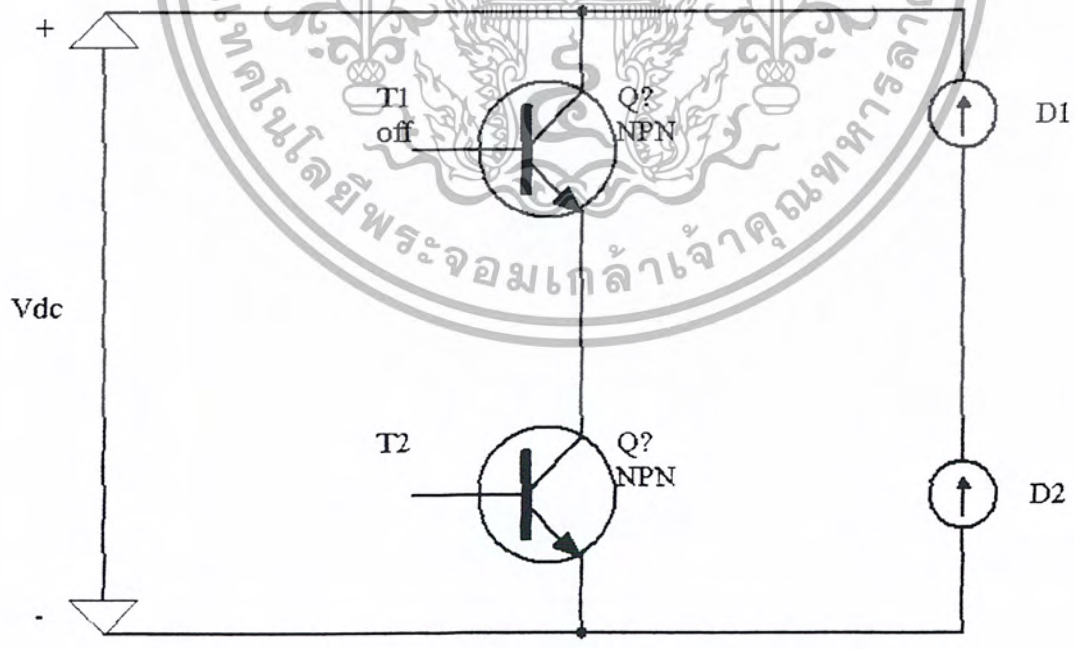
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 1

ในช่วงขณะนี้ ขณะที่ t2 กำลังปิด กระแสโหลดจะเปลี่ยนทางการไหลจากโหลดผ่าน t2 มาเป็นการไหลจากโหลดผ่านเข้าฟรีวีลลิ่งไดโอด (free wheeling diode) d1 เนื่องจากกระแสโหลดเป็นกระแสต่อเนื่องจึงทำให้ระดับแรงดันที่จุดa เปลี่ยนเป็นระดับสูงขึ้นก่อนที่ T1 จะถูกสั่งให้เปิดจริงๆ

ช่วงสภาวะที่ 2



รูปที่ 6.4 **ช่วงสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์และไดโอดสภาวะที่ 2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

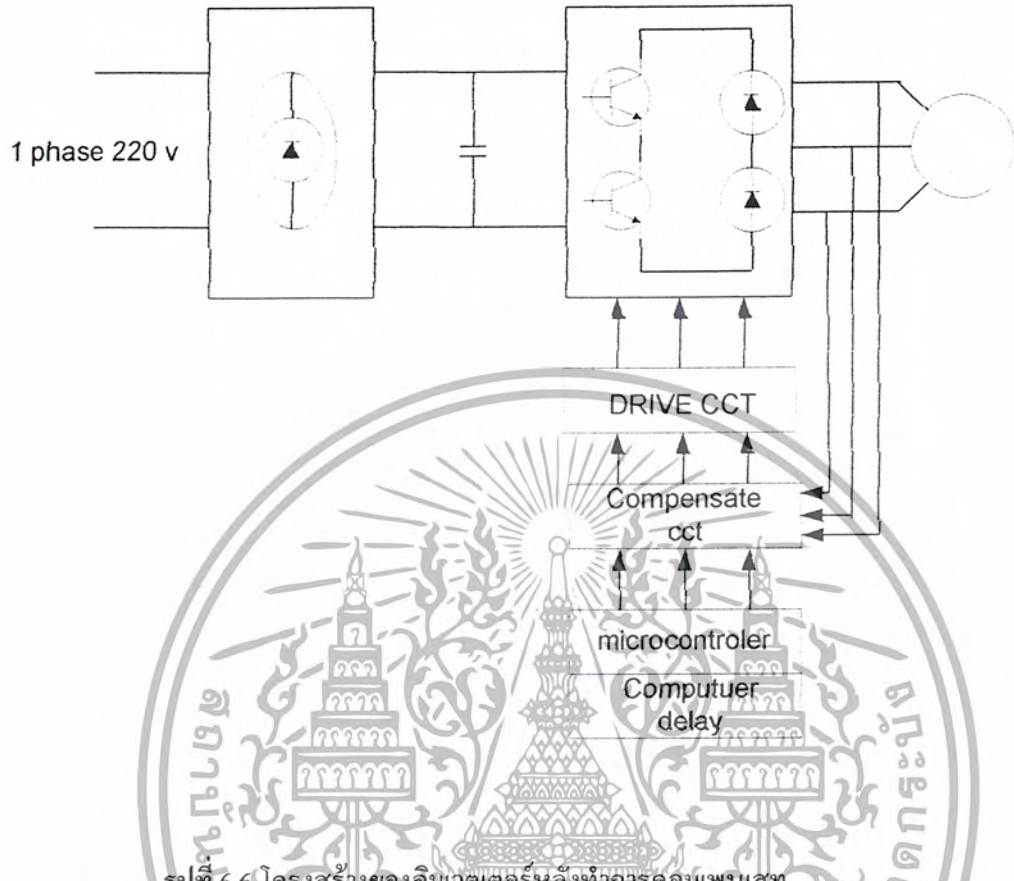
ในช่วงสภาวะนี้ ขณะที่ t1 กำลังปิด กระแสโหลดจะเปลี่ยนทางการไหลผ่าน t1 ไปยังโหลด มาเป็นการไหลผ่านฟรีวิลลิ่งไดโอด d2 ไปยังโหลด อันเนื่องจากกระแสโหลด เป็นกระแสต่อเนื่องเช่นกัน จึงทำให้ระดับแรงดันที่จุด a เป็นระดับต่ำ ช้าลง

แนวทางการแก้ปัญหา

เราจะแก้ปัญหาการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้น โดยการออกแบบ วงจรชดเชยที่มีหน้าที่สร้างสัญญาณชดเชยสัญญาณจริงจากตัวประมวลผล เพื่อให้ถูกต้องตามแบบของสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่นที่ถูกสร้างโดยส่วนประมวลผล วงจรชดเชยที่ออกแบบขึ้นนี้จะเอาสัญญาณ รูปคลื่นจริง มาเปรียบเทียบกับสัญญาณจากส่วนประมวลผล เพื่อให้รู้ปริมาณเวลาที่จะต้องสร้างเพิ่มหรือหักออกสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่น ในการสร้างสัญญาณชดเชยต่อไป

รูปที่ 6.5 โครงสร้างของอินเวตเตอร์ก่อนทำการคอมเพนเสท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 โครงสร้างของอินเวสเตอร์หลังทำการคอมเพนเสท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

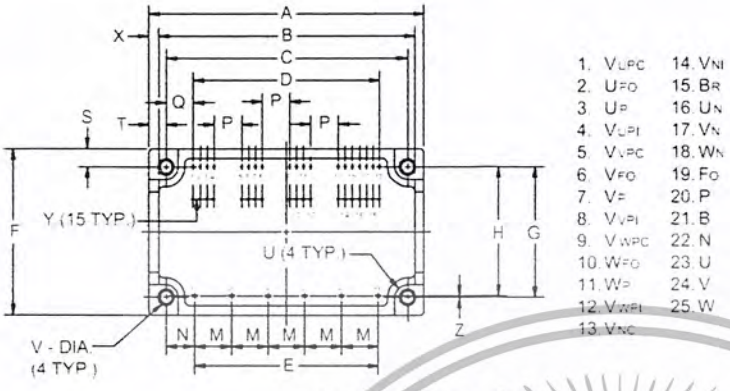
ภาคผนวก ก.ข้อมูลของโมดูลชุดขับเกท

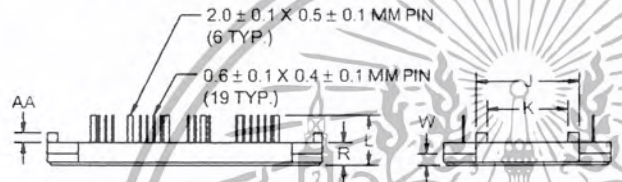
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

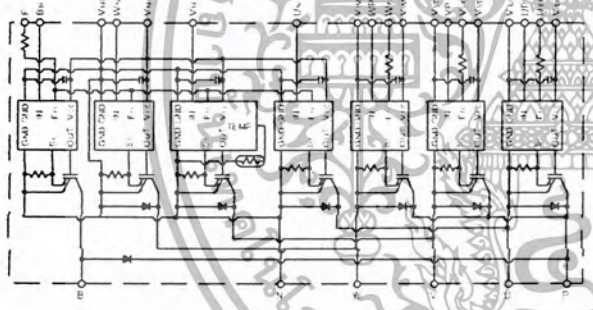
MITSUBISHI INTELLIGENT POWER MODULES

PM10RSH120

FLAT-BASE TYPE
INSULATED PACKAGE



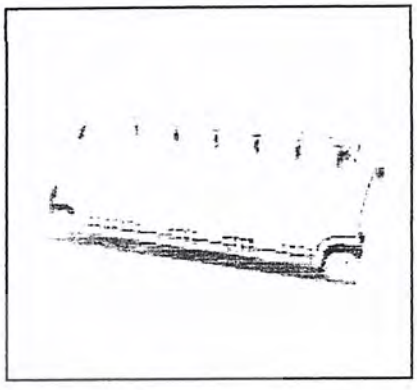




Outline Drawing and Circuit Diagram

Dimensions	Inches	Millimeters
A	3.98±0.04	101.0±1.0
B	3.78	96.0
C	3.48±0.03	88.5±0.8
D	2.700±0.03	68.58±0.8
E	2.66±0.02	67.5±0.5
F	2.36±0.04	60.0±1.0
G	1.85±0.02	47.0±0.5
H	1.83±0.03	46.5±0.8
J	1.28	32.6
K	0.97	24.6
L	0.71±0.04	18.0±1.0
M	0.53±0.01	13.5±0.3

Dimensions	Inches	Millimeters
N	0.41	10.5
P	0.400	10.16
Q	0.392	9.96
R	0.31	8.0
S	0.26	6.5
T	0.246	6.25
U	0.18 Rad.	Rad. 4.5
V	0.18 Dia.	Dia. 4.5
W	0.17±0.02	4.4±0.5
X	0.10	2.5
Y	0.100±0.01	2.54±0.25
Z	0.02	0.5
AA	0.14	3.5



Description:
Mitsubishi Intelligent Power Modules are isolated base modules designed for power switching applications operating at frequencies to 20kHz. Built-in control circuits provide optimum gate drive and protection for the IGBT and free-wheel diode power devices.

Features:
- ☐ Complete Output Power Circuit
- ☐ Gate Drive Circuit
- ☐ Protection Logic
  - Short Circuit
  - Over Current
  - Over Temperature
  - Under Voltage

Applications:
- ☐ Inverters
- ☐ UPS
- ☐ Motion/Servo Control
- ☐ *Power Supplies*

Ordering Information:
Example: Select the complete part number from the table below -i.e. PM10RSH120 is a 1200V, 10 Ampere Intelligent Power Module.

Type	Current Rating Amperes	V_{CES} Volts (x 10)
PM	10	120

Sep.2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI ELECTRIC

PM10RSH120

FLAT-BASE TYPE
INSULATED PACKAGE

Absolute Maximum Ratings, T_j = 25°C unless otherwise specified

	Symbol	Ratings	Units
Power Device Junction Temperature	T_j	-20 to 150	°C
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to 125	°C
Case Operating Temperature	T_C	-20 to 100	°C
Mounting Torque, M4 Mounting Screws	—	0.98 ~ 1.47	N · m
Module Weight (Typical)	—	100	Grams
Supply Voltage Protected by OC and SC (V_D = 13.5 - 16.5V, Inverter Part, T_j = 125°C)	$V_{CC(prot.)}$	800	Volts
Isolation Voltage (Main Terminal to Baseplate, AC 1 min.)	V_{iso}	2500	Vrms

Control Sector

Supply Voltage (Applied between V_{UP1}-V_{UPC}, V_{VP1}-V_{VPC}, V_{WP1}-V_{WPC}, V_{N1}-V_{NC})	V_D	20	Volts
Input Voltage (Applied between U_P-V_{UPC}, V_P-V_{VPC}, W_P-V_{WPC}, U_N, V_N, W_N, B_r-V_{NC})	V_{CIN}	20	Volts
Fault Output Supply Voltage Applied between (U_{FO}-V_{UPC}, V_{FO}-V_{VPC}, W_{FO}-V_{WPC}, F_O-V_{NC})	V_{FO}	20	Volts
Fault Output Current (Sink Current at U_{FO}, V_{FO}, W_{FO} and F_O Terminal)	I_{FO}	20	mA

IGBT Inverter Sector

Collector-Emitter Voltage (V_D = 15V, V_{CIN} = 15V)	V_{CES}	1200	Volts
Collector Current, (T_C = 25°C)	I_C	10	Amperes
Peak Collector Current, (T_C = 25°C)	I_{CP}	20	Amperes
Supply Voltage (Applied between P - N)	V_{CC}	900	Volts
Supply Voltage, Surge (Applied between P - N)	$V_{CC(surge)}$	1000	Volts
Collector Dissipation	P_C	62	Watts

Brake Sector

Collector-Emitter Voltage (V_D = 15V, V_{CIN} = 15V)	V_{CES}	1200	Volts
Collector Current, (T_C = 25°C)	I_C	10	Amperes
Peak Collector Current, (T_C = 25°C)	I_{CP}	20	Amperes
Supply Voltage (Applied between P - N)	V_{CC}	900	Volts
Supply Voltage, Surge (Applied between P - N)	$V_{CC(surge)}$	1000	Volts
Collector Dissipation	P_C	41	Watts
Diode Forward Current	I_F	10	Amperes
Diode DC Reverse Voltage	$V_{R(DC)}$	1200	Volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical and Mechanical Characteristics, T_j = 25°C unless otherwise specified

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Control Sector						
Over Current Trip Level Inverter Part	OC	-20°C ≤ T ≤ 125°C, V_D = 15V	15	27	—	Amperes
Over Current Trip Level Brake Part			15	27	—	Amperes
Short Circuit Trip Level Inverter Part	SC	-20°C ≤ T ≤ 125°C, V_D = 15V	—	41	—	Amperes
Short Circuit Trip Level Brake Part			—	41	—	Amperes
Over Current Delay Time	$t_{off(OC)}$	V_D = 15V	—	10	—	µs
Over Temperature Protection	OT	Trip Level	100	110	125	°C
	OT_r	Reset Level	—	90	—	°C
Supply Circuit Under Voltage Protection	UV	Trip Level	11.5	12.0	12.5	Volts
	UV_r	Reset Level	—	12.5	—	Volts
Supply Voltage	V_D	Applied between V_{UP1}-V_{UPC}, V_{VP1}-V_{VPC}, V_{WP1}-V_{WPC}, V_{N1}-V_{NC}	13.5	15	16.5	Volts
Circuit Current	I_D	V_D = 15V, V_{CIN} = 15V, V_{N1}-V_{NC}	—	25	35	mA
		V_D = 15V, V_{CIN} = 15V, V_{XP1}-V_{XPC}	—	7	10	mA
Input ON Threshold Voltage	$V_{th(on)}$	Applied between	1.2	1.5	1.8	Volts
Input OFF Threshold Voltage	$V_{th(off)}$	U_P-V_{UPC}, V_P-V_{VPC}, W_P-V_{WPC}, U_N, V_N, W_N, B_r-V_{NC}	1.7	2.0	2.3	Volts
PWM Input Frequency	f_{PWM}	3-φ Sinusoidal	—	15	20	kHz
Fault Output Current	$I_{FO(H)}$	V_D = 15V, V_{FO} = 15V	—	—	0.01	mA
	$I_{FO(L)}$	V_D = 15V, V_{FO} = 15V	—	10	15	mA
Minimum Fault Output Pulse Width	t_{FO}	V_D = 15V	1.0	1.8	—	ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical and Mechanical Characteristics, T_j = 25°C unless otherwise specified

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
IGBT Inverter Sector						
Collector Cutoff Current	I_{CES}	$V_{CE} = V_{CES}$, T_j = 25°C	—	—	1.0	mA
		$V_{CE} = V_{CES}$, T_j = 125°C	—	—	10	mA
Emitter-Collector Voltage	V_{EC}	$-I_C$ = 10A, V_D = 15V, V_{CIN} = 5V	—	2.5	3.5	Volts
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	V_D = 15V, V_{CIN} = 0V, I_C = 10A	—	2.3	3.3	Volts
		V_D = 15V, V_{CIN} = 0V, I_C = 10A, T_j = 125°C	—	2.1	3.1	Volts
Inductive Load Switching Times	t_{on}	V_D = 15V, V_{CIN} = 0V ↔ 15V, V_{CC} = 600V, I_C = 10A, T_j = 125°C	0.4	0.7	1.5	µs
	t_{rr}		—	0.15	0.3	µs
	$t_{C(on)}$		—	0.3	1.0	µs
	t_{off}		—	1.7	2.9	µs
	$t_{C(off)}$		—	0.6	1.2	µs
Brake Sector						
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	V_D = 15V, V_{CIN} = 0V, I_C = 10A, T_j = 25°C	—	2.8	3.8	Volts
		V_D = 15V, V_{CIN} = 0V, I_C = 10A, T_j = 125°C	—	2.5	3.5	Volts
Diode Forward Voltage	V_{FM}	I_F = 10A, V_D = 15V, V_{CIN} = 5V	—	2.5	3.5	Volts
Collector Cutoff Current	I_{CES}	$V_{CE} = V_{CES}$, T_j = 25°C	—	—	1	mA
		$V_{CE} = V_{CES}$, T_j = 125°C	—	—	10	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Characteristics

Characteristic	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Junction to Case Thermal Resistance	$R_{th(j-c)Q}$	Each Inverter IGBT	—	—	2.0	°C/Watt
	$R_{th(j-c)F}$	Each Inverter FWDi	—	—	5.5	°C/Watt
	$R_{th(c-f)Q}$	Each Brake IGBT	—	—	3.0	°C/Watt
	$R_{th(c-f)F}$	Each Brake FWDi	—	—	5.5	°C/Watt
Contact Thermal Resistance	$R_{th(c-f)}$	Case to Fin Per Module, Thermal Grease Applied	—	—	0.044	°C/Watt

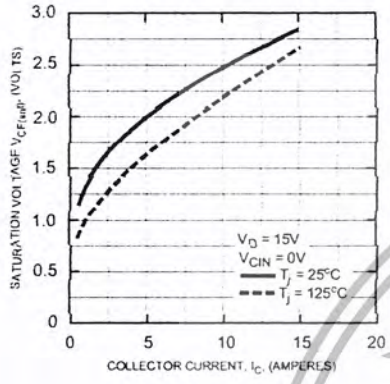
Recommended Conditions for Use

Characteristic	Symbol	Condition	Value	Units
Supply Voltage	V_{CC}	Applied across P-N Terminals	0 ~ 800	Volts
	V_D	Applied between V_{UP1}-V_{UPC}, V_{N1}-V_{NC}, V_{VP1}-V_{VPC}, V_{WP1}-V_{WPC}	15 ± 1.5	Volts
Input ON Voltage	$V_{CIN(on)}$	Applied between	0 ~ 0.8	Volts
Input OFF Voltage	$V_{CIN(off)}$	U_P, V_P, W_P, U_N, V_N, W_N, B_r	4.0 ~ V_D	Volts
PWM Input Frequency	f_{PWM}	Using Application Circuit	5 ~ 20	kHz
Minimum Dead Time	t_{dead}	Input Signal	≥ 2.5	µs

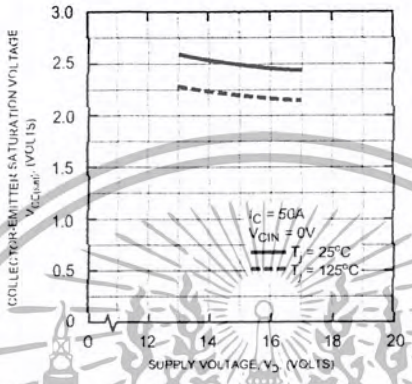
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inverter Part

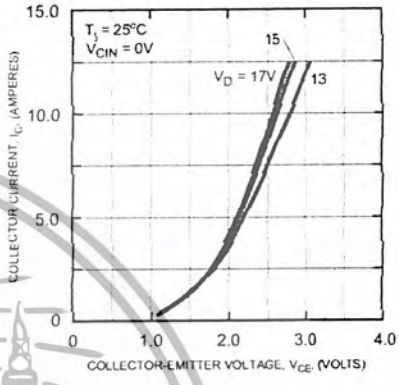
SATURATION VOLTAGE CHARACTERISTICS (TYPICAL)



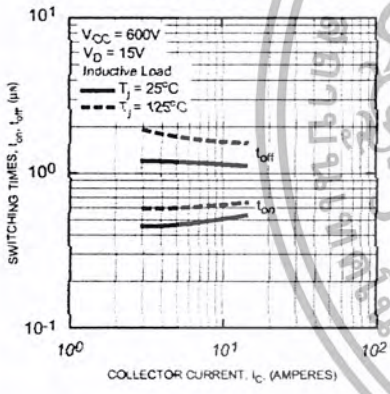
COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE CHARACTERISTICS (TYPICAL)



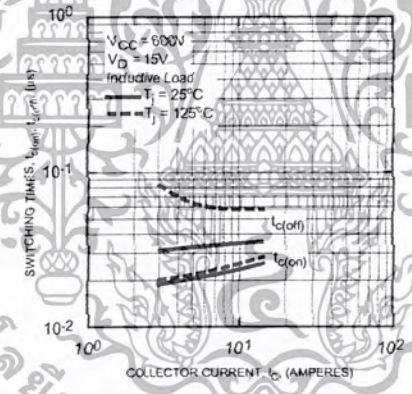
OUTPUT CHARACTERISTICS (TYPICAL)



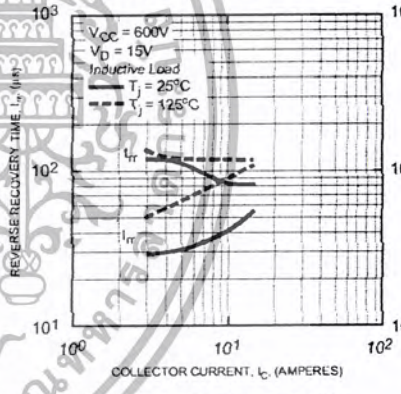
SWITCHING TIME VS. COLLECTOR CURRENT (TYPICAL)



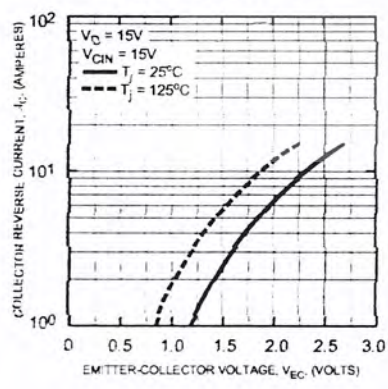
SWITCHING TIME VS. COLLECTOR CURRENT (TYPICAL)



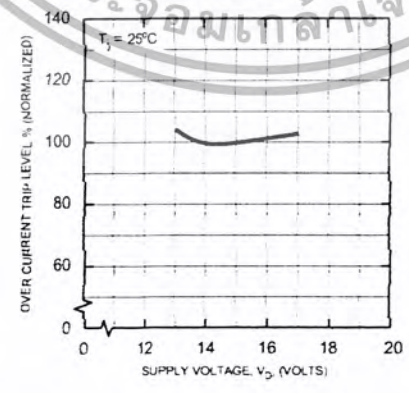
REVERSE RECOVERY CURRENT VS. COLLECTOR CURRENT (TYPICAL)



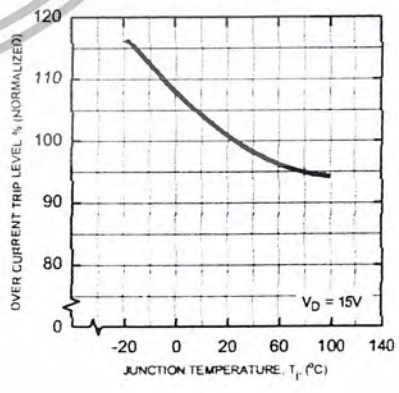
DIODE FORWARD CHARACTERISTICS



OVER CURRENT TRIP LEVEL VS. SUPPLY VOLTAGE (TYPICAL)



OVER CURRENT TRIP LEVEL VS. TEMPERATURE (TYPICAL)

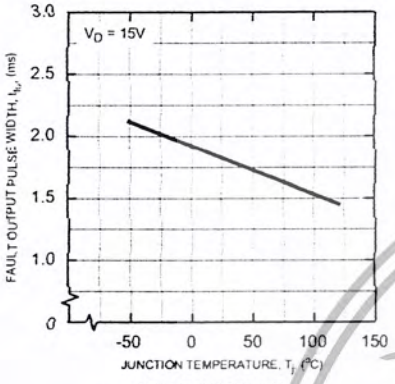


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

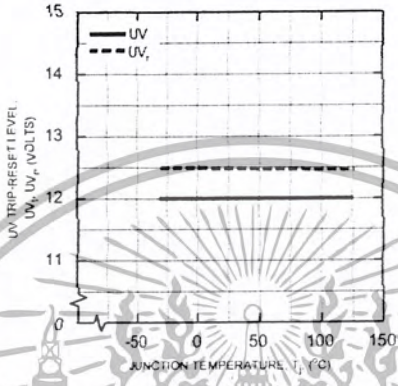
MITSUBISHI ELECTRIC

Inverter Part

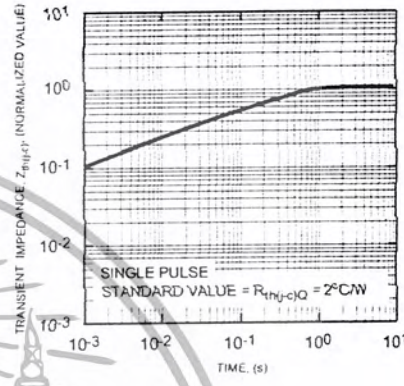
FAULT OUTPUT PULSE WIDTH VS. TEMPERATURE (TYPICAL)



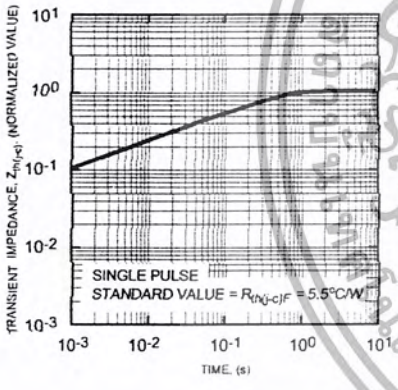
CONTROL SUPPLY VOLTAGE TRIP-RESET LEVEL TEMPERATURE DEPENDENCY (TYPICAL)



TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE CHARACTERISTICS (Each IGBT)



TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE CHARACTERISTICS (Each FWDI)



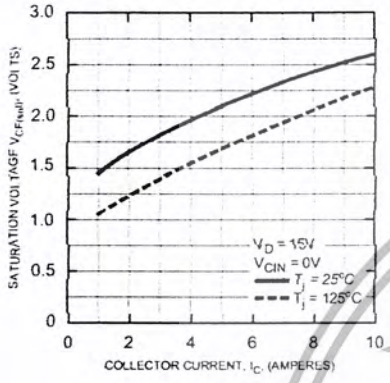
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PM10RSH120

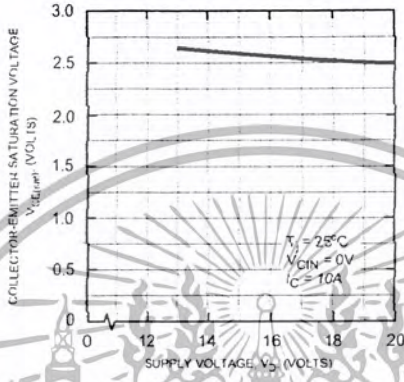
FLAT-BASE TYPE
INSULATED PACKAGE

Brake Part

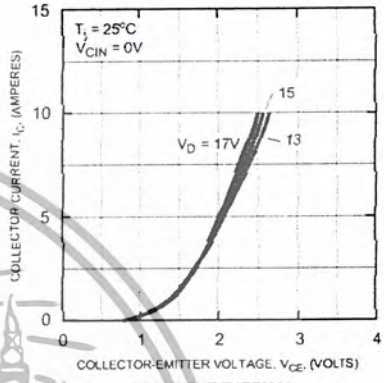
SATURATION VOLTAGE CHARACTERISTICS (TYPICAL)



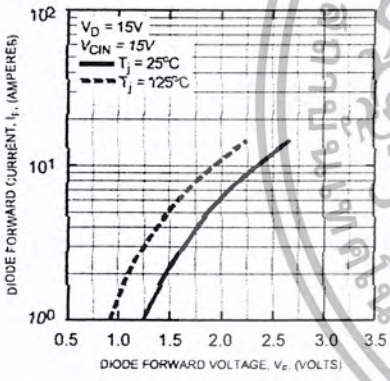
COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE CHARACTERISTICS (TYPICAL)



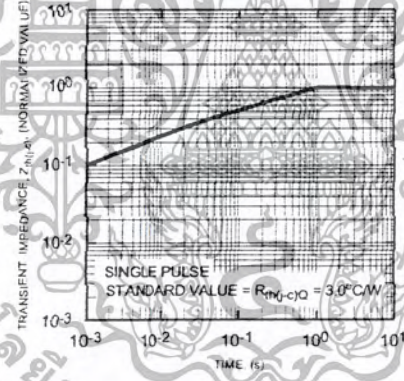
OUTPUT CHARACTERISTICS (TYPICAL)



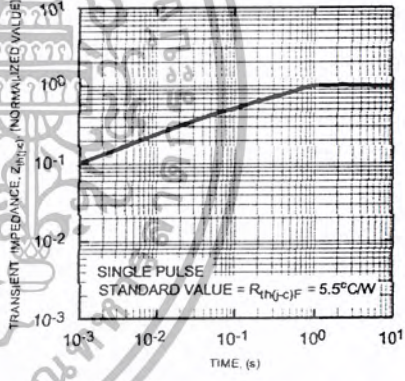
DIODE FORWARD CHARACTERISTICS



TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE CHARACTERISTICS (Each IGBT)



TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE CHARACTERISTICS (Each FWDI)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stromwandler LA 25-NP

I_{PN} = 5-6-8-12-25 A

Für die elektronische Strommessung : DC, AC, Impuls...,
mit galvanischer Trennung zwischen dem Primärkreis
(Starkstromkreis) und dem Sekundärkreis (elektronischer Kreis).

Elektrische Daten

I_{PN}	Primärnennstrom, effektiv		25		At
I_P	Primärstrom, Messbereich		0 .. ± 36		At
R_M	Messwiderstand		$R_{M\,min}$	$R_{M\,max}$	
	mit ± 15 V	@ ± 25 At_{max}	100	320	Ω
		@ ± 36 At_{max}	100	190	Ω
I_{SN}	Sekundärnennstrom, effektiv		25		mA
K_N	Übersetzungsverhältnis		1-2-3-4-5 : 1000		
V_C	Versorgungsspannung (± 5 %)		± 15		V
I_C	Stromaufnahme		10 + I_S		mA
V_d	Prüfspannung, effektiv, 50 Hz, 1 mn		2.5		kV
V_b	Bemessungsspannung [1], sichere Trennung		600		V
	Basisisolierung		1700		V

Genauigkeit - Dynamisches Verhalten

X	Genauigkeit @ I_{PN}, T_A = 25°C	± 0.5		%
ε_L	Linearität	< 0.2		%
		Typ	Max	
I_O	Offsetstrom [2] @ I_P = 0, T_A = 25°C	± 0.05	± 0.15	mA
I_{OM}	Reststrom [3] @ I_P = 0,			
	als Folge eines Primärstroms von 3 x I_{PN}	*± 0.05*	*± 0.15*	*mA*
I_{OT}	Temperaturdrift von I_O 0°C .. + 25°C	± 0.06	± 0.25	mA
	+ 25°C .. + 70°C	± 0.10	± 0.35	mA
t_r	Ansprechzeit [4] @ 90 % von $I_{P\,max}$	< 1		µs
di/dt	*di/dt bei optimaler Kopplung*	*> 50*		*A/µs*
f	Frequenzbereich (- 1 dB)	DC .. 150		kHz

Allgemeine Daten

T_A	*Umgebungstemperatur*	*0 .. + 70*	°C
T_S	Lagertemperatur	- 25 .. + 85	°C
R_P	Widerstand einer Primärwindung @ T_A = 25°C	< 1.25	mΩ
R_S	Sekundärspulenwiderstand @ T_A = 70°C	110	Ω
R_{IS}	Isolationswiderstand @ 500 V, T_A = 25°C	> 1500	MΩ
m	Masse	22	g
	Normen [5]	EN 50178	

Eigenschaften

- Halleffekt - Mehrbereichskompensationswandler
- Gehäuse aus isolierendem selbstlöschendem Material UL 94-V0.

Vorteile

- *Hervorragende Messgenauigkeit*
- Sehr gute Linearität
- Geringe Temperaturdrift
- Kurze Ansprechzeit
- Weiter Frequenzbereich
- Keine Zusatzverluste im Messkreis
- Geringe Störanfälligkeit gegenüber *Fremdfeldern*
- Überstehen Überströme ohne Schaden.

Anwendungen

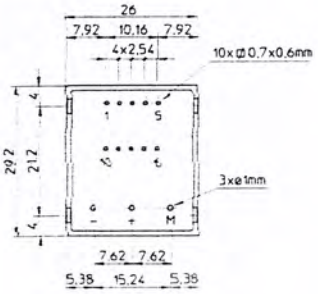
- Drehstrom- und Servoantriebe, Generatoren
- Stromrichter für Gleichstromantriebe
- Batteriebetriebene Anwendungen
- *Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)*
- Schaltnetzteile
- Stromversorgungen für Schweissanlagen.

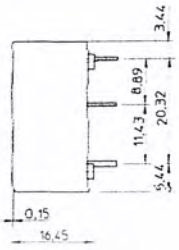
Anmerkungen :
[1] Verschmutzungsgrad 2
[2] 15 mn nach Anlegen der Speisespannung gemessen
[3] *Folge des Koerzitivfeldes des Magnetkreises*
[4] Mit einem di/dt von 100 A/µs
[5] Die Liste der durchgeführten Versuche ist auf Anfrage erhältlich

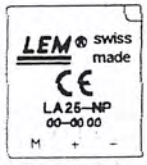
980908/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abmessungen LA 25-NP (in mm)

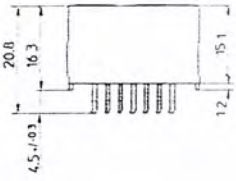






Standard 00 oder N° SP..

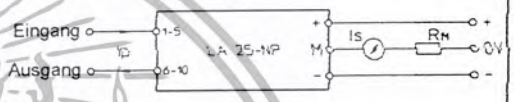
Jahr Woche

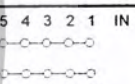
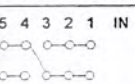
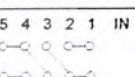
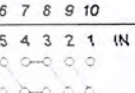
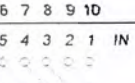


Sekundäranschlüsse

Klemme + : Versorgungsspannung + 15 V
Klemme M : Messausgang
Klemme - : Versorgungsspannung - 15 V

Anschlussbeispiel



Anzahl Primär-windungen	Primärstrom nominal I_{PN} [A]	Primärstrom maximal I_P [A]	Ausgangsstrom nominal I_{SN} [mA]	Übersetzungs-verhältnis K_N	Primär-widerstand R_P [mΩ]	Primär induktivität L_P [µH]	Empfohlene Verbindungen
1	25	36	25	1/1000	0.3	0.023	
2	12	18	24	2/1000	1.1	0.09	
3	8	12	24	3/1000	2.5	0.21	
4	6	9	24	4/1000	4.4	0.37	
5	5	7	25	5/1000	6.3	0.58	

Mechanische Eigenschaften

Allgemeine Toleranz	± 0.2 mm
Befestigung und Primäranschlüsse	10 Stifte *0.7 x 0.6 mm*
Befestigung und Sekundäranschlüsse	3 Stifte *Ø 1 mm*
Empfohlener Bohrungsdurchmesser	1.2 mm

Bemerkungen

- I_S ist positiv, wenn I_P von den Anschlüssen 1, 2, 3, 4, 5 zu den Anschlüssen 10, 9, 8, 7, 6 fliesst.
- *Dieser Wandler ist ein Standardmodell. Sollten davon abweichende Parameter (Versorgungsspannung, Übersetzungsverhältnis, unipolare Messungen...) benötigt* werden, nehmen Sie bitte Kontakt mit uns auf.

LEM behält sich das Recht vor, Änderungen im Sinne einer Verbesserung vorzunehmen, ohne Sie zu informieren.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.โปรแกรมรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************************************************
; File Name              :        nntest.asm
; Originator       :       nn_9@hotmail.com
; Target System    :       TMS320LF2406
;
; Description      :       Pulse Width Modulator (Basic)
;                                  for an symmetric PWM output. The output is a
;                                  square wave PWM mod with sinwave.
;                                  Period of Fs is 100.0us => 10kHz
;*****************************************************************

        .title  "pwmsin"

         .include 2406.h

     .ref SYS_INIT

     .ref    PORT_INIT
     .ref system_flag

     .ref SEND_DATA
     .ref data_out0,data_out1,data_out2
     .ref data_out3,data_out4,data_out5
     .ref data_out6,data_out7

     .ref RAMP_GEN, RAMP_GEN_INIT                    ;function call
              .ref     rmp_gain, rmp_offset, rmp_freq   ;Inputs
        .ref     step_angle_max                        ;Input
              .ref     rmp_out                                  ;Outputs

              .ref     I_PARK, I_PARK_INIT                          ;function call
              .ref     ipark_D, ipark_Q, theta_ip       ;Inputs
              .ref     ipark_d, ipark_q                      ;Outputs
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ;.ref   DAC_VIEW_DRV,DAC_VIEW_DRV_INIT              ; function call
        ;.ref   DAC_IPTR0,DAC_IPTR1,DAC_IPTR2,DAC_IPTR3    ; Inputs

        .ref    SVGEN_DQ,SVGEN_DQ_INIT                     ;function call
        .ref    Ualfa,Ubeta                                ;Inputs
        .ref    Ta,Tb,Tc                                   ;Outputs

        .ref  FC_PWM_DRV,FC_PWM_DRV_INIT                   ;function calls
        .ref  Mfunc_c1,Mfunc_c2,Mfunc_c3,Mfunc_p    ;Inputs
        .ref  n_period                              ;Input

        .ref    ILEG2DRV, ILEG2DRV_INIT
;function call
        .ref    Ia_gain,Ib_gain,Ia_offset,Ib_offset   ;Inputs
        .ref    Ia_out, Ib_out                                 ;Outputs

.ref    CLARKE, CLARKE_INIT                                ;function call
        .ref    clark_a, clark_b                           ;Inputs
        .ref    clark_d, clark_q                           ;Outputs

        .ref    PARK, PARK_INIT                                ;function call
        .ref    park_d, park_q, theta_p                    ;Inputs
        .ref    park_D, park_Q                             ;Outputs

.ref    QEP_THETA_DRV,QEP_THETA_DRV_INIT; function call
        .ref    polepairs,cal_angle,mech_scale    ; Inputs
        .ref    theta_elec,theta_mech,dir_QEP     ; Outputs

        .ref    QEP_INDEX_ISR_DRV                          ; function call
        .ref    index_sync_flg,QEP_cnt_idx          ; Output

.ref    SPEED_FRQ, SPEED_FRQ_INIT          ;function call
        .ref    shaft_angle, direction                ;Inputs
        .ref    speed_frq, speed_frq_rpm          ;Outputs
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        .def    GPR0                    ;General purpose registers.

        .bss    GPR0,1          ;General purpose register
        .bss    my_iq_ref,1
        .bss    my_id_ref,1
        .bss    speed_reference,1
        .bss    isr_ticker,1


.def    _c_int0
        .def    _c_int4         ; int4-EV group C dispatcher/service
        .def    _c_int6   ; for send data to computer

        .sect   ".vectors"

RSVECT      B       _c_int0             ; Reset Vector
INT1        B       PHANTOM             ; Interrupt Level 1
INT2        B       SINE2       ; Interrupt Level 2
INT3        B       PHANTOM             ; Interrupt Level 3
INT4        B       _c_int4             ; Interrupt Level 4
INT5        B       PHANTOM             ; Interrupt Level 5
INT6        B       _c_int6         ; Interrupt Level 6
RESERVED    B       PHANTOM             ; Reserved
SW_INT8     B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT9     B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT10    B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT11    B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT12    B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT13    B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT14    B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT15    B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
SW_INT16    B       PHANTOM             ; User S/W Interrupt
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TRAP        B       PHANTOM         ; Trap vector
NMINT       B       PHANTOM         ; Non-maskable Interrupt
EMU_TRAP    B       PHANTOM         ; Emulator Trap
SW_INT20    B       PHANTOM         ; User S/W Interrupt
SW_INT21    B       PHANTOM         ; User S/W Interrupt
SW_INT22    B       PHANTOM         ; User S/W Interrupt
SW_INT23    B       PHANTOM         ; User S/W Interrupt

;=================================================================
; M A C R O - Definitions
;=================================================================

KICK_DOG    .macro                  ; Watchdog reset macro
        LDP   #00E0h            ; DP=>7000h-707Fh
        SPLK  #05555h,WDKEY
        SPLK  #0AAAAh,WDKEY
        LDP   #0h               ; DP=>0000h-007Fh
        .endm

;=================================================================
; M A I N C O D E - starts here
;=================================================================

; CNF = 1. B0 is used for program space.
; CNF = 0. B0 is used for data space.


                .text


_c_int0:    CALL  SYS_INIT
            ;     CALL  PORT_INIT


PWM_PERIOD  .set  200               ; PWM period in uS (10KHz)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
T1PER_   .set    PWM_PERIOD*10          ; *1000nS/(2*50nS)
;T1PER_          .set    PWM_PERIOD*20          ; *1000nS/(2*25nS)

;*************************************************************************

                CALL    RAMP_GEN_INIT
                CALL    FC_PWM_DRV_INIT



                CALL    I_PARK_INIT
                CALL    SVGEN_DQ_INIT
        CALL    ILEG2DRV_INIT
                CALL    CLARKE_INIT
                CALL    PARK_INIT
                CALL    QEP_THETA_DRV_INIT
                CALL    SPEED_FRQ_INIT
; DAC display
;       LDP     #DAC_IPTR0
;       SPLK    #rmp_out,DAC_IPTR0
;       LDP     #DAC_IPTR1
;       SPLK    #ipark_d,DAC_IPTR1
;       LDP     #DAC_IPTR2
;       SPLK    #ipark_q,DAC_IPTR2
;       LDP     #DAC_IPTR3
;       SPLK    #Ta,DAC_IPTR3

            LDP  #n_period
            SPLK  #T1PER_,n_period; initialize the PWM period to 10kHz

            LDP  #rmp_freq
            ;SPLK  #5400h,rmp_freq; 100Hz frequency for RAMPGEN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ;SPLK  #3F00h,rmp_freq; 75Hz frequency for RAMPGEN

    SPLK  #2A00h,rmp_freq; 50Hz frequency for RAMPGEN

    ;SPLK  #1500h,rmp_freq; 25Hz frequency for RAMPGEN


    LDP   #my_iq_ref
    SPLK  #0000h,my_iq_ref
    LDP   #my_id_ref
    SPLK  #0000h,my_id_ref
    LDP   #speed_reference
    SPLK  #0000h,speed_reference

    CALL        PORT_INIT

;-------------------------------
; Generate Sine Wave Modulated PWM
;-------------------------------

lo_freq         .set    5376 ;   1500
hi_freq         .set    16128  ;3F00

                .text

                LDP             #system_flag
                SPLK    #0FFFFh,system_flag
                LDP     #0                                      ; DP
= 0
                CLRC    INTM                                    ; Enable
interrupts

                LDP             #0E8h
                ;5432109876543210
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;                       SPLK    #1000100001000010b,T1CON

;END            B               END                                     ; End of
Program


;=================================================================
MAIN:           ;Main system background loop
;=================================================================

M_1     NOP
    NOP
    NOP
    CLRC XF
    B   MAIN
;=================================================================

;=================================================================
==
; Routine Name: T1_PERIOD_ISR                   Routine Type: ISR
;
; Description:
;
;
; Originator: Digital control systems Group - Texas Instruments
;
; History:
;
;
; Last Update:      13-Jan 00
;=================================================================
==
SINE2:
;Context save regs
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
POINT_PG0
        MAR    *,AR1   ;AR1 is stack pointer
        MAR    *+      ;skip one position
        SST    #1, *+   ;save ST1
        SST  #0, *+    ;save ST0
        SACH   *+      ;save acc high
        SACL   *               ;save acc low

        POINT_EV
        SPLK   #0FFFFh,IFRA   ; Clear all Group A interrupt flags (T1 ISR)
SETC   XF
SETC    SXM                    ; set sign extension mode
        CLRC   OVM                     ; clear overflow mode
POINT_B0

;verifying the ISR

        LDP            #isr_ticker
        LACC   isr_ticker
        ADD            #0001h
        SACL   isr_ticker
                                       ;2710 as 1 cycle for 10khz
                                       ;4e20 as 2 cycle for 10khz
                                       ;7530 as 3 cycle for 10khz
        POINT_PF2

        LACL   PFDATDIR
        AND            #000FFh
        LDP            #system_flag
        AND            system_flag
        SACL   system_flag
        POINT_PF2
        SPLK   #0h,PFDATDIR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LDP     #isr_ticker
        LACC    isr_ticker
        SUB     #3000h
        BCND    NEQ_20K,NEQ
        LDP     #isr_ticker
        SPLK    #0h,isr_ticker

        LDP     #system_flag
CHK_INC:                    ;chk_inc for increment motor frequency
        LDP     #system_flag
    BIT     system_flag,BIT1
        BCND    CHK_DEC,TC
        LDP     #rmp_freq
        LACL    rmp_freq
        SUB     #hi_freq
        BCND    NO_CHG_FREQ,GEQ
        LACL    rmp_freq
        ADD     #00D7h
        SACL    rmp_freq
        LDP     #system_flag
        SPLK    #0FFFFh,system_flag

        B       OUT_CHG_FREQ

CHK_DEC:                    ;chk_dec for decrement motor frequency
        LDP     #system_flag
        BIT     system_flag,BIT0
        BCND    OUT_CHG_FREQ,TC
        LDP     #rmp_freq
        LACL    rmp_freq
        SUB     #lo_freq
        BCND    NO_CHG_FREQ,LEQ
        LACL    rmp_freq
        SUB     #00D7h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SACL    rmp_freq

OUT_CHG_FREQ:


NO_CHG_FREQ:
                LDP             #system_flag
                SPLK    #0FFFFh,system_flag
NEQ_20K:
;=================================================================
;Start main section of ISR
;=================================================================


; Current leg measurement, Ileg2drv module
    CALL    ILEG2DRV
; Clarke module
    LDP     #clark_a
    BLDD    #Ia_out,clark_a
    BLDD    #Ib_out,clark_b
    CALL    CLARKE
; QEP Module
    CALL QEP_THETA_DRV
; SPEED_FR Module
    LDP         #shaft_angle
    BLDD        #theta_mech,shaft_angle
    BLDD        #dir_QEP,direction
    CALL        SPEED_FRQ
; PARK module
    LDP     #park_d
    BLDD    #clark_d,park_d
    BLDD    #clark_q,park_q
    BLDD    #rmp_out,theta_p
    CALL    PARK
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; Ramp generation module
        CALL    RAMP_GEN
; Inverse-Park module
        LDP             #theta_ip
        BLDD    #rmp_out,theta_ip
    CALL    I_PARK
; Space-Vector DQ module
        LDP             #Ualfa
        BLDD    #ipark_d,Ualfa
        BLDD    #ipark_q,Ubeta
        CALL    SVGEN_DQ
; PWM driver
        LDP             #Mfunc_c1
        BLDD    #Ta,Mfunc_c1
        BLDD    #Tb,Mfunc_c2
        BLDD    #Tc,Mfunc_c3
        CALL    FC_PWM_DRV
;DATA OUT
        LDP             #data_out0
        SPLK    #0h,data_out0
        BLDD    #isr_ticker,data_out1
        BLDD    #rmp_freq,data_out3
        BLDD    #Ta,data_out4
        BLDD    #ipark_q,data_out5
        BLDD    #rmp_out,data_out6
        BLDD    #rmp_out,data_out7
        CALL    READ_DATA
        CALL    SEND_DATA

END_ISR:
        POINT_PG0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MAR    *, AR1          ;make stack pointer active

        LACL   *-              ;Restore Acc low
        ADDH   *-              ;Restore Acc high
        LST    #0, *-    ;load ST0
        LST    #1, *-    ;load ST1

        EINT
        RET

*********************************************************
* INT4 - EV group C Ints
* Enabled: Capture 3 int as QEP index
*********************************************************
CAP3_ID       .set 035H                ; Capture 3 int vector ID
CAP3_CLR .set 04H                      ; Capture 3 int flag clear

_c_int4

    MAR       *,AR1                    ; Save context
              MAR    *+                ; point to a guaranteed unused location
              SST    #1, *+            ; save ST1
              SST    #0, *+            ; save ST0
              SACH   *+        ; save acc high
              SACL   *+                ; save acc low and point to an unused loca.

              ;More context save if needed
              .if    x243 | x2407
              LDP    #PIVR>>7          ; set DP
              LACC   PIVR              ; load peripheral int vector/ID/offset
              .endif

              .if    x240
              LDP    #EVIVRC>>7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                IACC    EVIVRC
                .endif

                SUB     #CAP3_ID                ; Capture 1 int?
                BCND    CAP3_INT,EQ             ; to PDPISR if zero
                CALL    PHANTOM                 ; got a phantom int if not
                B       REST_INT4               ; return
CAP3_INT
        .if     x243 | x2407
                LDP     #EVIFRC>>7
                SPLK    #CAP3_CLR,EVIFRC        ; Clear Capture 1 int flag
                .endif

                CALL    QEP_INDEX_ISR_DRV       ; QEP index routine

;================================================================
;End main section of ISR INT4 -EV GROUP C INTS
;================================================================
;Context restore regs

REST_INT4               ;More context restore if needed
                MAR     *,AR1                   ; make stack pointer active
                MAR     *-      ; point to top of stack
                LACL    *-                      ; Restore Acc low
                add     *-,16                   ; Restore Acc high
                LST     #0, *-          ; restore ST0
                LST     #1, *-  ; restore ST1 and pointer
                EINT
                RET                             ; return


*********************************************************

* INT6 - XINT2 Ints

* Enabled:  External 2 int as IOPD0,MCRB.8
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
* For send data form dsp up to computer
*********************************************************


_c_int6


    MAR     *,AR1                   ; Save context
            MAR     *+                      ; point to a guaranteed unused location
            SST     #1, *+          ; save ST1
            SST     #0, *+          ; save ST0
            SACH    *+      ; save acc high
            SACL    *+                      ; save acc low and point to an unused loca.

            ;More context save if needed

;=================================================================
;End main section of send data to computer
;=================================================================
;Context restore regs

REST_INT6           ;More context restore if needed
            MAR     *, AR1                  ; make stack pointer active
            MAR     *-      ; point to top of stack
            LACL    *-                      ; Restore Acc low
            add     *-,16                   ; Restore Acc high
            LST     #0, *-          ; restore ST0
            LST     #1, *-  ; restore ST1 and pointer
            EINT
            RET                             ; return


;=================================================================
; I S R - PHANTOM
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; Description: Dummy ISR, used to trap spurious interrupts.
;
; Modifies: Nothing
;
; Last Update: 9/11/2002
;=================================================================

PHANTOM     KICK_DOG                ;Resets WD counter
            B       PHANTOM


READ_DATA
            POINT_PF2
            LACC    PEDATDIR,4
            AND     #0F00h
            LDP     #data_out2
            SACH    data_out2
    LACC    data_out2
    SUB     #01h
    BCND    NOT_1,NEQ
    BLDD    #ipark_d,data_out2
            B       END_READ
NOT_1:
    LACC    #data_out2
    SUB     #02h
    BCND    NOT_2,NEQ
    BLDD    #ipark_q,data_out2
            B       END_READ
NOT_2:
            LACC    #data_out2
    SUB     #03h
    BCND    NOT_3,NEQ
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        BLDD    #Ta,data_out2
                B               END_READ
NOT_3:
                LACC    #data_out2
        SUB             #04h
        BCND    NOT_4,NEQ
        BLDD    #Tb,data_out2
                B               END_READ
NOT_4:
                LACC    #data_out2
        SUB             #05h
        BCND    NOT_5,NEQ
        BLDD    #Tc,data_out2
                B               END_READ
NOT_5:
                LACC    #data_out2
        SUB             #06h
        BCND    NOT_6,NEQ
        BLDD    #Ia_out,data_out2
                B               END_READ
NOT_6:
                LACC    #data_out2
        SUB             #07h
        BCND    NOT_7,NEQ
        BLDD    #Ib_out,data_out2
                B               END_READ
NOT_7:

;recive command

                LACC    #data_out2
        SUB             #09h
        BCND    NOT_9,NEQ
        LDP             #system_flag
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    LACC    system_flag
    AND             #00FEh
    SACL    system_flag
    B       END_READ
NOT_9:
            LACC    #data_out2
    SUB             #0Ah
    BCND    NOT_A,NEQ
    LDP             #system_flag
    LACC    system_flag
    AND             #00FDh
    SACL    system_flag
    B       END_READ
NOT_A:
            LACC    #data_out2
    SUB             #0Bh
    BCND    NOT_B,NEQ
    LDP             #ipark_D
    LACC    ipark_D
    SUB             #0001h
    SACL    ipark_D
    BCND    NOT_IPD_0,NEQ
    SPLK    #0001h,ipark_D
NOT_IPD_0:
    B       END_READ
NOT_B:
            LACC    #data_out2
    SUB             #0Ch
    BCND    NOT_C,NEQ
    LDP             #ipark_D
    LACC    ipark_D
    SUB     #0FFFEh
    BCND    NOT_IPD_F,NEQ
    SPLK    #0FFFEh,ipark_D
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    B       END_READ
NOT_IPD_F:
            LACC  ipark_D
    ADD             #0001h
    SACL    ipark_D
    B       END_READ
NOT_C:
            LACC  #data_out2
    SUB             #0Dh
    BCND    NOT_D,NEQ
    LDP             #ipark_Q
    LACC    ipark_Q
    SUB             #0001h
    BCND    NOT_IPQ_0,NEQ
    SPLK    #0001h,ipark_Q
NOT_IPQ_0:
    B       END_READ
NOT_D:
            LACC  #data_out2
    SUB             #0Eh
    BCND    NOT_E,NEQ
    LDP             #ipark_Q
    LACC    ipark_Q
    SUB             #0FFFEh
    BCND    NOT_IPQ_F,NEQ
    SPLK    #0FFFEh,ipark_Q
    B       END_READ
NOT_IPQ_F:
            LACC  #ipark_Q
            ADD           #0001h
            SACL  ipark_Q
    B       END_READ
NOT_E:
            LACC  #data_out2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    SUB         #0Fh
    BCND        NOT_F,NEQ
    LDP         #system_flag
    LACC        system_flag
    AND         #00FBh
    SACL        system_flag
    B           END_READ
NOT_F:

END_READ:
            RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

(1) กฤษดา วิศวกรรมรานนท์ , " Inverter หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรมมหาวิทยาลัย , 2536

(2) เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ , " เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ " , 2538

(3) Umiversal Cross-Asseblers, " 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

(5) โสภณ สมัยรัฐ , " ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเวกเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรมมหาวิทยาลัย , 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้