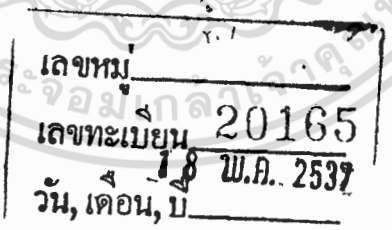
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยไบมอสอินเวอร์เตอร์ โดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก

INDUCTION MOTOR DRIVE WITH BIMOS INVERTER BY MAGNETIC FLUX CONTROL

นายพงศ์พิชญ์ วิภาสุรมณฑล

MR. PONGPIT WIPASURAMONTON



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2536

ISBN 974-621-055-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUCTION MOTOR DRIVE WITH BIMOS INVERTER BY MAGNETIC FLUX CONTROL

PONGPIT WIPASURAMONTON

A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF ELECTRICAL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1993

ISBN 974-621-055-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยไบมอสอินเวอร์เตอร์โดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก
นักศึกษา	นายพงศ์พิชญ์ วิภาสุรมณฑล
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ สุระกำพลธร
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2536

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ อธิบายถึงการออกแบบและทดลองสร้างอินเวอร์เตอร์ชนิดพีดับบลิวเอ็มซึ่งใช้ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ไบมอสสวิทช์ทำหน้าที่เป็นสวิทช์กำลัง ทรานซิสเตอร์กำลังที่นำมาประยุกต์ใช้ในไบมอสสวิทช์จะให้พิกัดความถี่การทำงานสูงกว่า และมีพื้นที่การทำงานปลอดภัยกว้างกว่าทรานซิสเตอร์กำลังพิกัดเดียวกันที่ใช้เป็นสวิทช์กำลัง แรงดันที่เอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่สร้างขึ้นโดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อเปรียบเทียบวิธีการนี้กับวิธีการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยวิธี SHM (Subharmonic modulation) วิธีนี้ให้ค่าสูงสุดของแรงดันเอาท์พุตได้สูงกว่าประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และลดจำนวนการสวิทช์ในสวิทช์กำลังได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความถี่พาห์หรือความถี่สุ่มเท่ากัน ทั้งวงจรควบคุมระบบและวงจรสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นบนฐานของไมโครโปรเซสเซอร์ อินเทล 8031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Induction Motor Drive with BiMOS Inverter by Magnetic Flux Control
Student	Mr.Pongpit Wipasuramonton
Thesis Advisor	Prof.Dr.Wanlop Surakampontorn
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Electronic Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1993

ABSTRACT

This thesis presents the design and development of the induction motor drive system by using the PWM inverter with cascode-connected BiMOSs as power switching devices. The main advantages of each BiMOS switch are that, its has higher operating frequency and wider safe operating area (SOA) than conventional transistor switch. PWM output voltage is optained by magnetic flux control method. By comparing with SHM method,the proposed method gives maximum output voltage about 15 percent greater and the number of switching in each power switching device is about 30 percent lesser, at the same sampling (carrier) frequency. In this study, the design and implementation of the control circuits and the PWM signal generation are based on INTEL 8031 microprocessor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ สุระกำพลธร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆแก่ศิษย์ รวมทั้งให้อภัยแก่ศิษย์ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณวรศักดิ์ จิตรภักดี (พี่ไข่) อดีตอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม และ ดร.วันชัย ริ้วรุจา (พี่ริ้ว) อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ บริษัท เบรนนิคส์ เทคโนโลยี จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์บางส่วน รวมทั้งให้ความช่วยเหลือในการสร้างชุดต้นแบบและชุดทดสอบ

ขอขอบคุณ บริษัท โยโกกาวา (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ยืมเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าคุณภาพสูงเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะของชุดต้นแบบ

ขอขอบคุณ คุณสุภานี มุขพันธ์ (พี่แอ๊ด) และคุณเศรษฐลักษณ์ เหงาจิ้น (น้องเอ) ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านงานพิมพ์วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่ๆ "วิภาสุรมณฑล" ทุกท่าน โดยเฉพาะ พี่ปิยจินต์ วิภาสุรมณฑล (พี่อุ๊) ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือแก่น้องอย่างมากทั้งทางด้านกำลังใจและทุนในการทำวิจัย

และท้ายสุดของกิตติกรรมประกาศนี้ ขอขอบพระคุณ คุณแม่ กิ้มหลี ผู้ล่วงลับ ที่ได้ให้ชีวิตนี้แก่ลูก

นายพงศ์พิชญ์ วิภาสุรมณฑล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญตาราง		VI
สารบัญรูป		VII
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	หลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก	6
	2.1 นำบท	6
	2.2 การแทนปริมาณระบบสามเฟสในรูปของสเปซเวกเตอร์	8
	2.3 หลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม	11
บทที่ 3	ไบมอสอินเวอร์เตอร์และวงจรขับไบมอสสวิทช์	22
	3.1 นำบท	22
	3.2 ไบมอสสวิทช์แบบคาสโคด	23
	3.3 วงจรไบมอสอินเวอร์เตอร์	27
	3.4 ชุดตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติ	30
	3.5 วงจรขับไบมอสสวิทช์	32
บทที่ 4	ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	35
	4.1 นำบท	35
	4.2 คุณสมบัติของชุดควบคุม	35
	4.2.1 สัญญาณอินพุตควบคุม	35
	4.2.2 การเข้าถึงพารามิเตอร์	38
	4.3 ลักษณะทางฮาร์ดแวร์ของชุดควบคุม	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
4.4	ลักษณะทางซอฟท์แวร์ของชุดควบคุม	49
4.5	ผลการวิจัย	59
บทที่ 5	บทสรุป	67
เอกสารอ้างอิง		69
ภาคผนวก ก	ส่วนโปรแกรมสำหรับชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	71
ภาคผนวก ข	บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมสาร	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การแทนชุดแรงดันเฟสในรูปเวกเตอร์แรงดัน 8

ตารางที่ 2.2 การเลือกเวกเตอร์แรงดัน เมื่อค่ามุมเฟส θ_v อยู่ในช่วงมุมต่างๆ 17

ตารางที่ 4.1 พิสัยและความละเอียดในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
รูปที่ 2.1	รูปแบบพื้นฐานของวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน(VSI)	6
รูปที่ 2.2	หลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยวิธีการ SHM	7
รูปที่ 2.3	แสดงแรงดันเฟสสูงสุดเมื่อสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยวิธีการ SHM	7
รูปที่ 2.4	เวกเตอร์แรงดันที่สร้างจากวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน	9
รูปที่ 2.5	ลักษณะของโลกัสของ λ^* และ λ และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวกเตอร์แรงดันในหนึ่งในหนึ่งช่วงคาบการสุ่ม ΔT	12
รูปที่ 2.6	โลกัสของ λ^* และ λ ที่ครบรอบสมบูรณ์ที่ $\Delta\theta = 15$ องศา	16
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ K_1, K_2 และ K_3 กับมุมเฟส θ_r	20
รูปที่ 3.1	สัญญลักษณ์พื้นฐานของไบมอสสวิทช์	24
รูปที่ 3.2	แสดง RBSOA ของทรานซิสเตอร์กำลังและไบมอสสวิทช์	24
รูปที่ 3.3	ลักษณะไบมอสสวิทช์ที่เพิ่มวงจรต้านการอิ่มตัว	25
รูปที่ 3.4	ปรากฏการณ์กระแสไหลกลับทิศในไบมอสสวิทช์	25
รูปที่ 3.5	กิ่งหนึ่งของวงจรไบมอสอินเวอร์เตอร์สามเฟส	26
รูปที่ 3.6	แสดงเส้นทางการไหลของกระแสโหลดและเปรียบเทียบกับตำแหน่งสวิทช์เทียบเท่า	28
รูปที่ 3.7	วงจรสมบูรณ์ของไบมอสอินเวอรเตอร์สามเฟส	29
รูปที่ 3.8	วงจรตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติ	31
รูปที่ 3.9	วงจรขับส่วนมอสเฟ็ตกำลังในไบมอสสวิทช์	33
รูปที่ 3.10	แสดงรูปคลื่นที่จุดต่างๆในวงจรขับ	34
รูปที่ 4.1	ไดอะแกรมโครงสร้างของชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	36
รูปที่ 4.2	ลักษณะการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	37
รูปที่ 4.3	รายละเอียดทางฮาร์ดแวร์ของชุดควบคุม	42-47
รูปที่ 4.4	แสดงลักษณะสัญญาณที่จุดต่างๆในส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม	48
รูปที่ 4.5	โฟลว์ชาร์ตของส่วนโปรแกรมหลัก	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.6	โฟลว์ชาร์ตของส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์กระตุ้นด้วยตัวตั้งเวลา	51-52
รูปที่ 4.7	แสดงการเข้าทำโปรแกรมของซีพียู	53
รูปที่ 4.8	ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของสับรูทีนต่างๆในส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์	54
รูปที่ 4.9	โฟลว์ชาร์ตของสับรูทีน BOOST_SUB	56
รูปที่ 4.10	โฟลว์ชาร์ตของสับรูทีน PWM_SUB	57
รูปที่ 4.11	โฟลว์ชาร์ตของสับรูทีน DSCAN_SUB	58
รูปที่ 4.12	ภาพถ่ายชุดต้นแบบของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	60
รูปที่ 4.13	ภาพถ่ายชุดทดสอบระบบขับเคลื่อน	60
รูปที่ 4.14	แสดงรูปคลื่นต่างๆ ที่ความถี่ 33 Hz (แนวระดับ:5 ms/Div)	61
รูปที่ 4.15	แสดงรูปคลื่นต่างๆ ที่ความถี่ 50 Hz (แนวระดับ:5 ms/Div)	62
รูปที่ 4.16	แสดงรูปคลื่นต่างๆ ที่ความถี่ 70 Hz (แนวระดับ:5 ms/Div)	63
รูปที่ 4.17	แสดงผลการเสริมแรงดัน ที่ความถี่ 4 Hz (แนวระดับ:20 ms/Div)	64
รูปที่ 4.18	แสดงผลการเสริมแรงดัน ที่ความถี่ 10 Hz (แนวระดับ:20 ms/Div)	65-66
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงกำลังเอาท์พุตและประสิทธิภาพเทียบกับกำลังอินพุต	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งสำหรับการสร้างงานทางอุตสาหกรรมมาเป็นเวลานานแล้ว และงานทางอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากต้องการ การขับเคลื่อนมอเตอร์ในลักษณะที่ปรับความเร็วรอบได้ ดังนั้น การวิจัยและพัฒนาระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อปรับความเร็วรอบ จึงมีมาอย่างต่อเนื่องในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้รับความนิยมอย่างสูง เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ง่าย ความแม่นยำสูงและใช้อุปกรณ์ประกอบน้อยส่วน อย่างไรก็ดี ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง ก็มีข้อเสียมากเช่นกัน โดยเฉพาะในส่วนของมอเตอร์กระแสตรง กล่าวคือมีโครงสร้างทางกลที่ซับซ้อน ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีราคาแพง บำรุงรักษาได้ยาก และมีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักต่ำ นอกจากนี้ อุปกรณ์แปรงถ่าน (Brush) และคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ต้องการ การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ความน่าเชื่อถือต่ำและไม่เหมาะสมกับงานที่ใช้ความเร็วรอบสูงๆ หรืองานในบริเวณที่เสี่ยงอันตราย และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก (Squirrel-cage Induction Motor) พบว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำมีคุณสมบัติที่ดีกว่ามอเตอร์กระแสตรงหลายประการด้วยกัน กล่าวคือมีโครงสร้างทางกลที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีราคาถูกกว่า แข็งแรงทนทานมากกว่า มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักสูงกว่าและไม่ต้องการการบำรุงรักษา ในอดีตที่ผ่านมา มอเตอร์ชนิดนี้นิยมนำไปใช้งานในลักษณะความเร็วรอบคงที่ เนื่องจากการที่จะปรับความเร็วรอบมอเตอร์ชนิดนี้ให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องอาศัยวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและต้องใช้อุปกรณ์มากชิ้น จึงทำให้ระบบขับเคลื่อนมีราคาแพง อย่างไรก็ดี เทคโนโลยีการขับเคลื่อนเพื่อปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ถูกวิจัยและพัฒนาอย่างจริงจังในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมา ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางด้านไมโครอิเลกทรอนิกส์ และอิเลกทรอนิกส์กำลัง เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนสูงขึ้นแต่ขนาดและราคาลดลงอย่างมาก ความนิยมในการใช้งานมอเตอร์กระแสสลับเพื่อปรับความเร็วรอบจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มที่เห็นได้ชัดเจนว่า มอเตอร์กระแสสลับโดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก จะเป็นต้นกำลังที่สำคัญแทนมอเตอร์กระแสตรง ในอนาคตอันใกล้ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับคือ การปรับเปลี่ยนความถี่พร้อมกับการปรับเปลี่ยนแรงดันที่จะป้อนให้กับมอเตอร์ ด้วยอินเวอร์เตอร์ชนิด พีดับบลิวเอ็ม (PWM inverter) วิธีการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบเก่า แต่ยังมีการใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ วิธีการมอดูเลทด้วยฮาร์โมนิกย่อย หรือ SHM (Subharmonic modulation method) ซึ่งเป็นวิธีการสร้างรูปคลื่นโดยการนำคลื่นไซน์อ้างอิง มาทำการเปรียบเทียบกับ คลื่นพาห์รูปสามเหลี่ยม วิธีการนี้สามารถข่ม (subpressed) แอมปลิจูดของฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆได้ดี และสามารถสร้างวงจรได้ง่ายโดยวิธีการทางอนาลอก แต่อย่างไรก็ดี วิธีนี้ให้ค่าสูงสุดของแรงดันเอาท์พุทค่อนข้างต่ำ และมีจำนวนการสวิทช์ในอุปกรณ์สวิทช์กำลังค่อนข้างสูง นอกจากนี้ การสร้างวงจรทางอนาลอก ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมากชิ้น มีผลให้ขนาดและราคาสูง แต่ความน่าเชื่อถือต่ำ และยังทำให้สัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบได้ง่าย

เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วทางเทคโนโลยีไมโครอิเลกทรอนิกส์ โดยเฉพาะ ทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ ทำให้ระบบความคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากการใช้เทคนิคการสร้างวงจรด้วยวิธีการทางอนาลอก มาสร้างด้วยวิธีการทางดิจิตอล โดยเฉพาะวงจรทางดิจิตอลที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐานนั้น มีจุดเด่นหลายประการ ที่เหนือกว่าวงจรทางอนาลอก กล่าวคือ...

- การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการทำงานสามารถทำได้ง่าย และคล่องตัว โดยการแก้ไขในส่วนที่เป็นซอฟแวร์
- สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ในวงจรได้อย่างมาก
- สัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบได้ยากกว่าวงจรอนาลอก
- อัลกอริทึมที่สลับซับซ้อน โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องใช้การคำนวณมากๆ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถทำได้ง่ายกว่าโดยอาศัย ซอฟท์แวร์
- สามารถสร้างระบบตรวจสอบการทำงาน (Diagnostic System) ได้

ด้วยเหตุผลต่างๆที่กล่าวมานี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้ทำการศึกษาวิจัย และทดลองสร้าง ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

(1) ศึกษาหลักการ และออกแบบวิธีการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม โดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งเหมาะสมที่จะสร้างสัญญาณด้วยวิธีการทางดิจิตอล และสามารถแก้ไขจุดบกพร่องที่สำคัญ ที่เกิดขึ้นในวิธีการ SHM ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ศึกษาคุณสมบัติของไบมอสสวิทช์แบบคาสโคด วิธีการขับไบมอสสวิทช์ และทดลองสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์โดยนำไบมอสสวิทช์มาใช้เป็นสวิทช์กำลัง

(3) ศึกษา ออกแบบ และทดลองสร้างชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนเพื่อการปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอกด้วยวิธีการทางดิจิตอลโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐาน

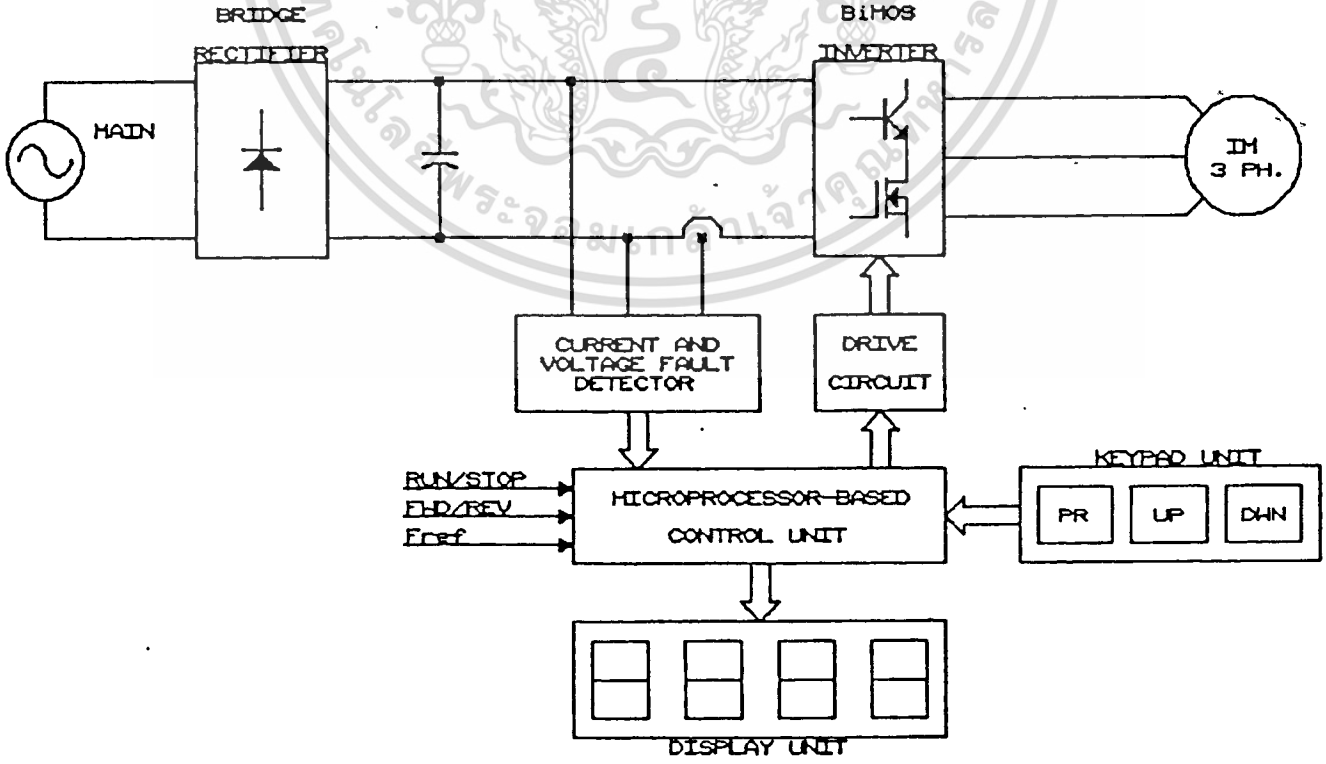
ลักษณะของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำการวิจัย และทดลองสร้างขึ้น ได้กำหนดขอบเขตเอาไว้ดังนี้

- แรงดันอินพุต :220 Vac 1เฟส 2สาย
- แรงดันเอาท์พุต :ประมาณ 0-220 Vac(line-line) 3 เฟส
- พิสัยความถี่เอาท์พุต :ตั้งแต่ 0.5-120 Hz โดยมีความละเอียดในการตั้งค่าขั้นละ 0.5 Hz
- ลักษณะแรงดันเอาท์พุท :พีดับบลิวเอ็มคลื่นไซน์ชนิดอะซิงโครนัสสร้างด้วยวิธีการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก
  :ใช้ความถี่สุ่ม(Sampling frequency) ในการสร้างแรงดันพีดับบลิวเอ็ม 3.6 kHz ซึ่งทำให้เกิดความถี่การสวิทช์ในแต่ละอุปกรณ์สวิทช์กำลัง 2.4 kHz
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง :ใช้ไบมอสสวิทช์แบบคาสโคด ทำหน้าที่เป็นสวิทช์กำลังสร้างเป็นวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ชนิดสามเฟส เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ
- การควบคุมระบบและสร้างรูปคลื่น :โดยชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ อินเทล 8031 เป็นฐาน
- ชุดแสดงผล :ใช้สำหรับแสดงค่าความถี่เอาท์พุต แสดงหมายเลขและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และใช้แสดงสถานะของระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดปุ่มกด : สำหรับการเลือกตำแหน่ง และตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และยังใช้ในการจัดเก็บพารามิเตอร์ที่ตั้งค่าแล้ว ลงในหน่วยความจำชนิด NVSRAM
- การป้องกันระบบ : ตรวจสอบความผิดปกติ ของกระแสและแรงดันเกินที่บัสไฟตรง เพื่อทำการหยุดนำกระแสสวิทช์กำลังทั้งหมดในชุดอินเวอร์เตอร์ เมื่อพบความผิดปกติ

โครงสร้างของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ มีลักษณะดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1.1 โดยมีลักษณะการทำงานทั่วไปดังนี้ ชุดบริดจ์เร็กติไฟเออร์ (Bridge rectifier unit) จะแปลงไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟหลัก ให้เป็นแรงดันไฟตรง แล้วใช้ตัวเก็บประจุไฟตรง (DC link capacitor) ทำการกรองแรงดันไฟตรงให้ค่อนข้างราบเรียบและคงที่ เพื่อจ่ายให้กับ ชุดไบมอสอินเวอร์เตอร์ (BiMOS inverter unit) สำหรับการแปลงแรงดันไฟตรงให้เป็นไฟสลับชนิดสามเฟสสามสาย ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันและความถี่ได้ แรงดันนี้มีลักษณะเป็นรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม ที่มีความถี่มูลฐานเป็นความถี่ที่ต้องการป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมซึ่งสร้างขึ้นบนฐานไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานต่างๆของระบบโดยทำการประมวลผลสัญญาณคำสั่งและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วทำการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่เหมาะสมไปควบคุมชุดอินเวอร์เตอร์ โดยสัญญาณควบคุมจะถูกส่งผ่านทางวงจรขับ (Drive circuit) ซึ่งทำหน้าที่ขยายกำลังให้เหมาะสมกับสวิทช์กำลังที่ต้องการขับ รวมถึงการแยกจุดอ้างอิงทางไฟฟ้า (isolated) ของชุดกำลังและชุดควบคุมออกจากกัน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆสามารถป้อนเข้าสู่ชุดควบคุมด้วย ชุดปุ่มกด (Keypad unit) ชุดแสดงผล (Display unit) ซึ่งใช้สำหรับแสดงสถานะของระบบและค่าพารามิเตอร์ต่างๆถูกควบคุมการทำงานด้วยชุดควบคุมเช่นกัน

การป้องกันความเสียหายในระบบขับเคลื่อน ใช้การตรวจจับความผิดปกติของกระแสและแรงดันที่บัสไฟตรง ด้วยตัวตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติ (current and voltage fault detector) แล้วส่งผลการตรวจสอบไปยังชุดควบคุม หากมีเหตุผิดปกติเกิดขึ้น ชุดควบคุมจะหยุดการทำงานของสวิทช์กำลังทั้งหมดในชุดอินเวอร์เตอร์โดยทันที

สำหรับรายละเอียดต่างๆของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีเนื้อหาแยกเป็นบทๆดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม โดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก รวมทั้งลักษณะและคุณสมบัติต่างๆของหลักการนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงคุณลักษณะต่างๆ ของไบมอสสวิทช์ชนิดคาสโคด การประยุกต์ใช้ไบมอสสวิทช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ การตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติในชุดอินเวอร์เตอร์ และได้กล่าวถึงวิธีการขับ รวมทั้งวงจรขับไบมอสสวิทช์

บทที่ 4 กล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆของชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้น และกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ ของชุดควบคุม ทั้งในส่วนของอาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ รวมทั้งกล่าวถึง ผลการวิจัยต่างๆของระบบขับเคลื่อนที่ได้สร้างขึ้น

บทที่ 5 เป็นการสรุปงานวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ทั้งหมด

ภาคผนวก แสดงรายละเอียด ส่วนที่เป็นโปรแกรมทั้งหมด ซึ่งเป็นภาษาแอสเซมบลีสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ ในตระกูล MCS-51 ที่ใช้ในชุดควบคุมของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสาร วิศวกรรมสาร เล่มที่ 6 ปีที่ 46 มิถุนายน 2536

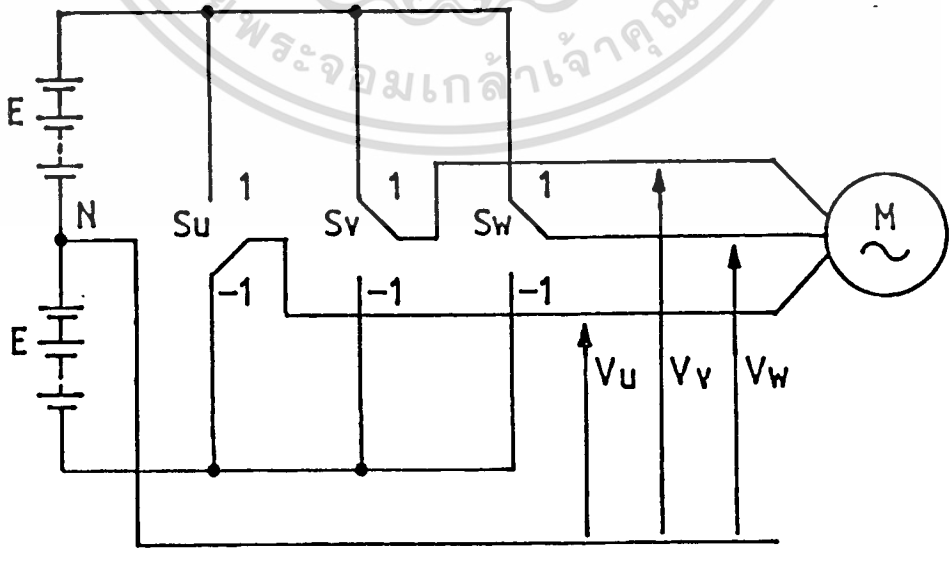
การใช้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก

2.1 นำบท

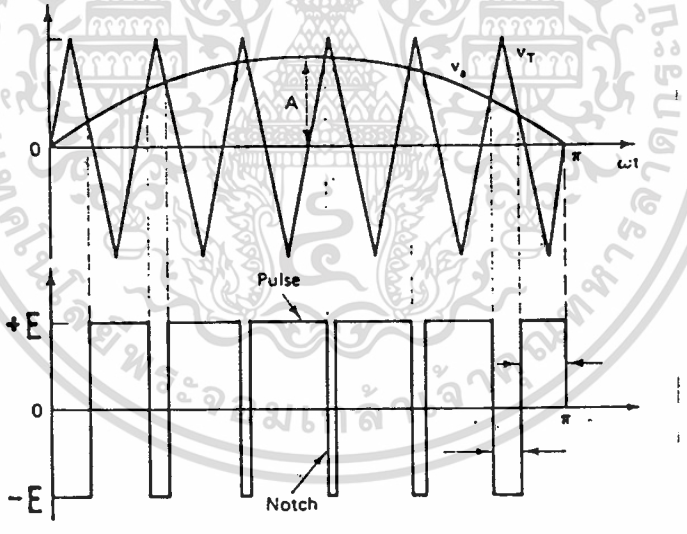
แรงดันรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มนั้นสามารถสร้างได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน(Voltage source inverter; VSI) ซึ่งมีลักษณะพื้นฐานดังในรูปที่ 2.1 วิธีการ SHM (Subharmonic modulation)[15] เป็นวิธีการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่นำคลื่นไซน์อ้างอิงมาทำการเปรียบเทียบกับคลื่นพาห์สามเหลี่ยมความถี่สูงดังแสดงในรูปที่ 2.2 ค่าแรงดันเฟสมูลฐานเทียบกับจุดอ้างอิง N และค่าความถี่ของแรงดันพีดับบลิวเอ็ม ถูกควบคุมด้วยการปรับเปลี่ยนระดับแรงดัน และการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของคลื่นไซน์อ้างอิงตามลำดับ ค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันเฟสที่สามารถสร้างได้จากวิธีการนี้จะมีค่าเท่ากับ E ดังแสดงในรูปที่ 2.3



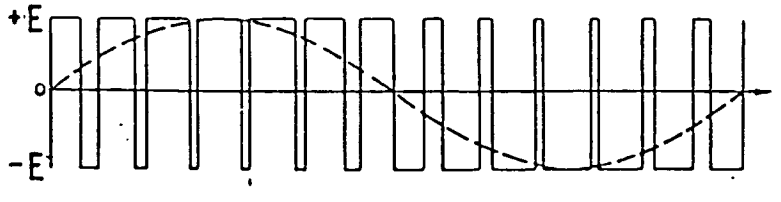
รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานของวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน(VSI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนี้ต้องการอธิบายถึงหลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งเหมาะที่จะสร้างและควบคุมโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐาน การแทนปริมาณตัวแปรต่างๆ ในระบบสามเฟสให้มาอยู่ในรูปของสเปซเวกเตอร์ ช่วยลดจำนวนตัวแปรลง ทำให้ง่ายต่อการคำนวณ และช่วยให้มองภาพตัวแปรต่าง ๆ ได้ชัดเจนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบวิธีการนี้กับวิธีการ SHM (Subharmonic modulation) วิธีการนี้ให้ค่าสูงสุดของแรงดันเอาท์พุตได้สูงกว่า 15 เปอร์เซนต์ โดยประมาณ และที่ความถี่พาห์(เทียบเท่ากับความถี่สุ่มในการสร้างโดยวิธีดิจิตอล)เท่ากัน จะทำให้เกิดจำนวนการสวิทช์ในอุปกรณ์สวิทช์กำลังเป็นอัตราส่วนสองในสาม ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียในสวิทช์ลดลง เนื่องจากวิธีการนี้สร้างรูปคลื่นในโหมดอะซิงโครนัส จึงไม่เกิดการกระตุกของแรงบิด (Torque) ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับวิธีการสร้างรูปคลื่นพีดับ-บลิวเอ็มในโหมดซิงโครนัสในขณะเปลี่ยนเกียร์ (Gear changing) เมื่อมีการเร่งหรือหน่วงความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 2.2 หลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยวิธีการ SHM



รูปที่ 2.3 แสดงแรงดันเฟสสูงสุดเมื่อสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มด้วยวิธีการ SHM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแทนปริมาณระบบสามเฟสในรูปของสเปซเวกเตอร์

สมมุติให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดที่สมดุลย์ (balance load) แรงดันเฟส v_u, v_v, และ v_w ขณะใด ๆ ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ สามารถแทนในรูปของเวกเตอร์แรงดัน (Voltage vector) โดยการนิยามได้ดังนี้ [4]

$$V_s = (2/3)[v_u + av_v + a^2 v_w] \qquad (2.1)$$

โดยที่

$$a = exp\ (j2\pi/3)$$

ตารางที่ 2.1

การแทนชุดแรงดันเฟสในรูปเวกเตอร์แรงดัน

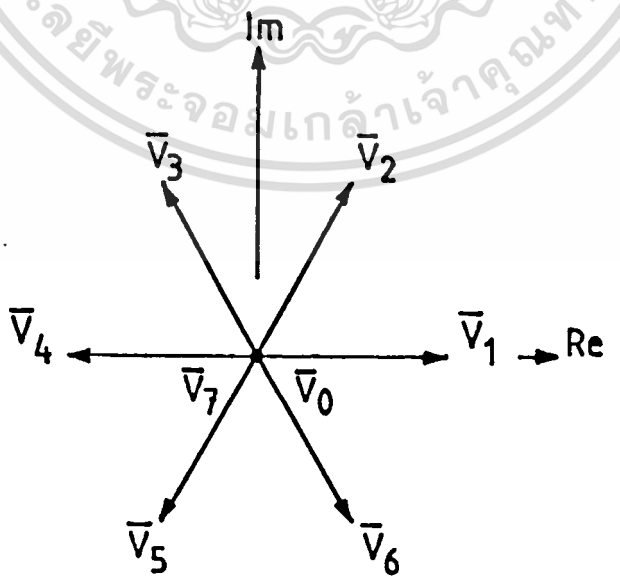
ตำแหน่งสวิทช์ S_u, S_v, S_w	เวกเตอร์แรงดัน V_n ที่นำมาใช้แทน
-1, -1, -1	V_0
1, -1, -1	V_1
1, 1, -1	V_2
-1, 1, -1	V_3
-1, 1, 1	V_4
-1, -1, 1	V_5
1, -1, 1	V_6
1, 1, 1	V_7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.1 พบว่า การจัดตำแหน่งสวิทช์ S_u, S_v, และ S_w สามารถป้อนแรงดันให้กับมอเตอร์ได้ 8 รูปแบบ ดังในตารางที่ 2.1 และสามารถแทนในรูปของเวกเตอร์แรงดันที่มีขนาดและทิศทางดังในรูปที่ 2.4 และสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$V_n = \begin{cases} (4E/3)\exp[j(n-1)\pi/3]; & n = 1,2,\ldots,6 \\ 0 & ; n = 0,7 \end{cases} \qquad (2.2)$$

นั่นคือ V_n มีขนาดคงที่เท่ากับ 4E/3 เมื่อ n = 1,2,...,6 และมีขนาดเป็นศูนย์ เมื่อ n = 0,7



รูปที่ 2.4 เวกเตอร์แรงดันที่สร้างจากอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการละเลยค่าความต้านทานภายในขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งมีค่าน้อยมาก[6] ดังนั้น เวกเตอร์ฟลักซ์แม่เหล็ก $\lambda(t)$ ที่ขดลวดสเตเตอร์สามารถคำนวณหาได้จากเวกเตอร์แรงดันดังนี้

$$\lambda(t) = \int V_s(t)dt \qquad (2.3)$$

แทนค่า $V_s(t)$ ด้วย V_n ตามสมการ (2.2) ลงใน (2.3) จะได้

$$\lambda(t) = V_n \Delta t + \lambda_o \qquad (2.4)$$

สมการ (2.4) แสดงให้เห็นว่าโลกัสของ λ เคลื่อนที่ไปในทิศทางของ V_n ($n = 1,2,\ldots,6$) ด้วยอัตราเร็วคงที่เท่ากับ $4E/3$ ภายในช่วงเวลา Δt ในกรณีที่ $n = 0,7$ หมายความว่า λ หยุดการเคลื่อนที่ภายในช่วงเวลา Δt

กำหนดให้ v_u^*, v_v^*, และ v_w^* เป็นแรงดันเฟสคลื่นไซน์ความถี่มูลฐานของรูปคลื่นพีดับบลิว-เอ็มที่สร้างจากวงจรอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.1 ซึ่งจากรูปนี้จะพบว่าค่าแรงดันยอด (Peak voltage) ของแรงดันระหว่างไลน์ (Line voltage) ที่เกิดจากแรงดันเฟสคลื่นไซน์เหล่านี้ มีค่าเท่ากับ $2E$ ดังนั้นแรงดันเฟสเหล่านี้สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} v_u^*(t) &= (2/\sqrt{3})M\cos(\omega t) \\ v_v^*(t) &= (2/\sqrt{3})M\cos(\omega t - 2\pi/3) \\ v_w^*(t) &= (2/\sqrt{3})M\cos(\omega t - 4\pi/3) \end{aligned}\right\} \qquad (2.5)$$

โดยที่ M คือค่าดัชนีการมอดูเลชั่น (Modulation index) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 < M < 1$ เมื่อแทนค่า แรงดันเฟสจาก (2.5) ลงใน (2.1) เพื่อให้อยู่ในรูปเวกเตอร์แรงดัน จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_n^*(t) = (2/\sqrt{3})ME\exp(j\omega t) \qquad (2.6)$$

แทนค่า เวกเตอร์แรงดันจาก (2.6) ลงใน (2.3) จะได้

$$\lambda^*(t) = \int_0^t V_n^*(t)dt = -j[(2/\sqrt{3})(ME/\omega)]\exp(j\omega t) \qquad (2.7)$$

สมการ (2.7) นี้ แสดงให้เห็นว่า โลกัสของฟลักซ์แม่เหล็ก λ^* ที่เกิดจากการป้อนแรงดันคลื่นไซน์จะมีลักษณะเป็นวงกลมที่หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา มีรัศมีขนาด $(2/\sqrt{3})(ME/\omega)$ และหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω และ λ^* นี้ถูกนำมาใช้เป็นฟลักซ์แม่เหล็กอ้างอิง (Reference magnetig flux) สำหรับการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

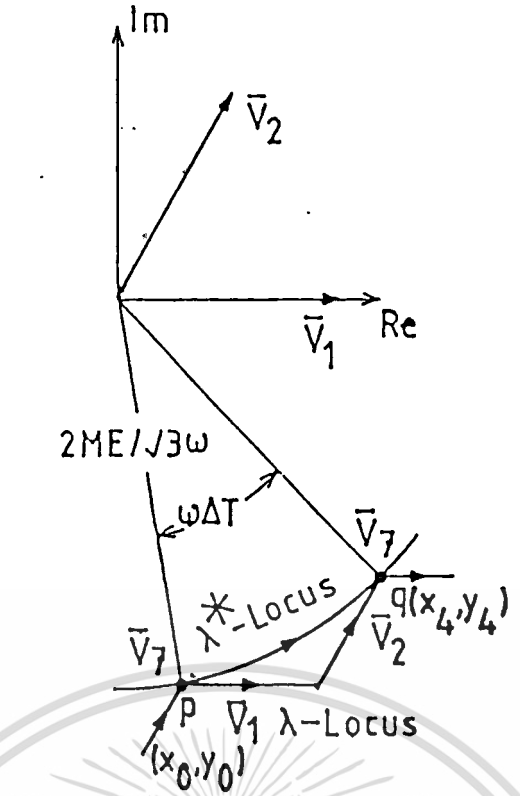
ในการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม ตามวิธีการ SHM นั้น แรงดันเฟสความถี่มูลฐานที่เกิดขึ้นจะมีค่าดันยอดสูงสุดเท่ากับ E ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอนี้ให้ค่ายอดสูงสุดเท่ากับ $2E/\sqrt{3}$ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว วิธีการนี้จะให้ค่าแรงดันสูงสุดได้สูงกว่าประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์

2.3 หลักการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม

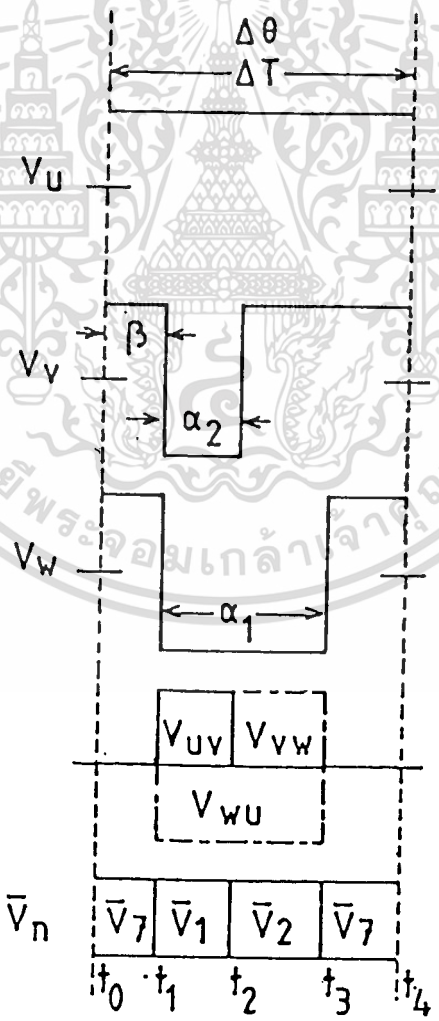
โดยการเลือกเวกเตอร์แรงดัน V_n $(n = 0,1,\ldots,7)$ และปรับความของกว้างเวลาในการใช้เวกเตอร์นั้นอย่างเหมาะสมเพื่อสร้างและควบคุมโลกัส (Locus) ของฟลักซ์แม่เหล็ก λ ให้เคลื่อนไปตามโลกัสของฟลักซ์แม่เหล็กอ้างอิง λ^* อย่างแนบชิดที่สุด วิธีการนี้เรียกว่า วิธี QCLM (Quasi Circular Locus Method) [3] รายละเอียดของวิธีการนี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

กำหนดให้ ΔT และ $\Delta\theta$ เป็นคาบการสุ่ม (Sampling period) และมุมการสุ่ม (Sampling angle) ตามลำดับ โดย ΔT นี้ เทียบได้กับคาบพาห์ (Carrier period) ในวิธีการ SHM เพื่อความสะดวกในการพิจารณา สมมุติให้ $\Delta\theta$ แบ่งวงกลมโลกัสฟลักซ์อ้างอิง λ^* ออกเป็นจำนวนเต็ม 6 ส่วน เซ็กเตอร์พอดี (สมมุติให้ทำงานในโหมดซิงโครนัส) เมื่อควบคุมโลกัสตามวิธีการ QCLM จะพบว่า โลกัส λ จะเกิดความสมมาตรขึ้นทุกๆช่วงคาบ $\pi/3$ ดังนั้น พิจารณาการสร้างโลกัส λ เพียงในช่วงคาบ $0 < \theta < \pi/3$ ก็เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 (ก) ลักษณะโลกัสของ λ^* และ λ ในหนึ่งช่วงคาบการสุ่ม ΔT

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวกเตอร์แรงดันในหนึ่งช่วงคาบการสุ่ม ΔT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 (ก) แสดงโลกัสของ λ^* และ λ ในหนึ่งช่วงมุมการสุ่ม $\Delta\theta$ จากรูปสมมุติให้ขณะเวลา $t = t_o$ (หรือ $\theta = \theta_o$) ตำแหน่ง λ^* อยู่ที่ $p(x_o, y_o)$ โดยที่

$$\left.\begin{aligned} x_o &= (2/\sqrt{3})(ME/\omega)\sin(\omega t_o) \\ y_o &= -(2/\sqrt{3})(ME/\omega)\cos(\omega t_o) \end{aligned}\right\} \quad (2.8)$$

และที่เวลา $t = t_o + \Delta T$ (หรือ $\theta = \theta_o + \Delta\theta$) λ^* เคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่ง $q(x_4, y_4)$ โดยที่

$$\left.\begin{aligned} x_4 &= (2/\sqrt{3})(ME/\omega)\sin(\omega(t+\Delta T)) \\ y_4 &= -(2/\sqrt{3})(ME/\omega)\cos(\omega(t+\Delta T)) \end{aligned}\right\} \quad (2.9)$$

λ^* นี้ จะเคลื่อนที่ตามส่วนโค้ง p-q ด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ω

เพื่อให้ λ เคลื่อนที่ตามส่วนโค้ง p-q อย่างแนบชิดที่สุด การเลือกเวกเตอร์แรงดัน V_m และปรับความกว้างของช่วงเวลา ต้องกระทำภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

1) ตำแหน่งของ λ และ λ^* อยู่ที่เดียวกันที่เวลาเริ่มต้น ($t = t_o$) และเวลาสิ้นสุด ($t = t_4 = t_o + \Delta T$) ของแต่ละช่วงมุม
2) ในแต่ละช่วงมุม $\Delta\theta$ สามารถเลือกเวกเตอร์แรงดันที่ขนาดไม่เป็นศูนย์ได้ 2 ชนิด จากที่มีอยู่ 6 ชนิด และเลือกใช้เวกเตอร์ศูนย์ได้ 1 ชนิด จาก 2 ชนิด
3) เวกเตอร์ศูนย์ ถูกนำมาใช้เฉพาะในช่วงเริ่มต้น และสิ้นสุดของแต่ช่วงมุม $\Delta\theta$

จากรูปที่ 2.5 (ก) เห็นได้ว่า V_i และ V_2 เป็นเวกเตอร์แรงดันที่เหมาะสมสำหรับช่วงมุมนี้ เพราะทำให้เส้นทางของ λ เข้าใกล้เส้นทางของ λ^* มากที่สุด λ^* เคลื่อนที่ไปตามส่วนโค้ง p-q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยอัตราเร็ว $(2/\sqrt{3})ME$ ในขณะที่ λ เคลื่อนที่ด้วยอัตราที่เร็วกว่า คือ $|V_n| = (4/3)E$; $n = 1, 2, 3, \ldots, 6$ เพื่อให้การใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของ λ^* และ λ เท่ากับ ΔT เท่ากัน (ตามเงื่อนไข 1)) จึงจำเป็นต้องเลือกใช้เวกเตอร์ที่ขนาดเป็นศูนย์สำหรับ λ ในช่วงเริ่มต้นและช่วงสิ้นสุดของแต่ละช่วงมุม

คาบการสุ่ม ΔT ถูกแบ่งย่อยออกเป็น 4 ช่วงย่อย สำหรับเวกเตอร์แรงดัน 4 เวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) และโลกัส λ ของแต่ละช่วงย่อยสามารถเขียนเป็นรูปสมการดังนี้

ช่วงย่อยที่ 1 : $t_0 \le t \le t_1$, เลือก V_7

$$\lambda(t) = \lambda^*(t_0)$$

ช่วงย่อยที่ 2 : $t_1 \le t \le t_2$, เลือก V_1

$$\lambda(t) = \lambda^*(t_0) + (4/3)E(t-t_1)$$

ช่วงย่อยที่ 3 : $t_2 \le t \le t_3$, เลือก V_2

$$\lambda(t) = \lambda^*(t_0) + (4/3)E(t_2-t_1) + (2/3+j2/\sqrt{3})E(t-t_2)$$

ช่วงย่อยที่ 4 : $t_3 \le t \le t_4$, เลือก V_7

$$\lambda(t) = \lambda(t_3) = \lambda^*(t_4) = \lambda^*(t+\Delta T)$$

นิยามความกว้างพัลส์สำหรับ V_1 และ V_2 ดังนี้ $\alpha_2 = t_2 - t_1$ และ $\alpha_1 - \alpha_2 = t_3 - t_2$ ตามลำดับ และตำแหน่งพัลส์ $\beta = t_1 - t_0$ (รูปที่ 2.5 (ข))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการเชื่อมสมการของช่วงย่อยที่ 3 เข้ากับช่วงย่อยที่ 4 และจัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$\lambda^*(t_o+\Delta T) - \lambda^*(t_o) = [(2/3)(\alpha_1+\alpha_2) + j(2/\sqrt{3})(\alpha_1-\alpha_2)]E \qquad (2.10)$$

จากสมการ (2.8) และ (2.9) จะได้

$$\begin{aligned}\lambda^*(t+\Delta T) - \lambda^*(t_o) &= (2/\sqrt{3})(ME/\omega)[\{\sin \omega(t_o+\Delta T)-\sin (\omega t_o)\} \\ &\quad - j\{\cos \omega(t_o+\Delta T)-\cos (\omega t_o)\}] \\ &= (4/\sqrt{3})(ME/\omega)[\{2\cos \omega(t_o+\Delta T/2)\sin (\omega\Delta T/2)\} \\ &\quad + j\{2\sin \omega(t_o+\Delta T)\sin (\omega\Delta T/2)\}] \\ &= (4/\sqrt{3})(ME/\omega)\sin (\omega\Delta T/2)[\cos \omega(t_o+\Delta T/2) \\ &\quad + j\sin \omega(t_o+\Delta T/2)] \qquad (2.11)\end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติ เนื่องจาก $\omega\Delta T/2$ เป็นมุมที่เล็กมาก ดังนั้น

$$\sin (\omega\Delta T/2) \simeq \omega\Delta T/2$$

และกำหนดให้ มุมเฟส θ_r ใช้แทนมุมการสุ่ม $\Delta\theta$ ใดๆ ที่กำลังพิจารณา นั่นคือ

$$\theta_r = \theta_o + \Delta\theta/2 = \omega(t_o+\Delta T/2)$$

แทนค่าเหล่านี้ลงใน สมการ (2.11) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda^*(t_o+\Delta T) - \lambda^*(t_o) = (2/\sqrt{3})ME\Delta T[\cos(\theta_r)+j\sin(\theta_r)] \qquad (2.12)$$

เชื่อมสมการ (2.10) เข้ากับ (2.12)

$$[(2/3)(\alpha_1+\alpha_2) + j(2/\sqrt{3})(\alpha_1-\alpha_2)]E = (2/\sqrt{3})ME\Delta T[\cos(\theta_r) + j\sin(\theta_r)] \qquad (2.13)$$

เมื่อทำการแก้สมการ (2.13) จะได้ค่า α_1 และ α_2 ดังนี้

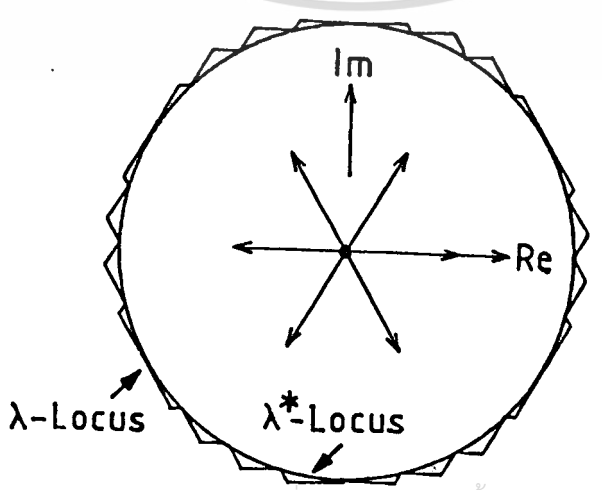
$$\left.\begin{aligned}\alpha_1 &= K_1(\theta_r)M \\ \alpha_2 &= K_2(\theta_r)M\end{aligned}\right\} \qquad (2.14)$$

โดยที่กำหนด

$$K_1(\theta_r) = \Delta T\cos(\theta_r-\pi/6)$$

และ

$$K_1(\theta_r) = \Delta T\cos(\theta_r+\pi/6)$$



รูปที่ 2.6 โลกัสของ λ^* และ λ ที่ครบรอบสมบูรณ์ที่ $\Delta\theta$ = 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2

การเลือกเวกเตอร์แรงดัน เมื่อค่ามุมเฟส θ_r อยู่ในช่วงมุมต่างๆ

ช่วงมุมที่	θ_r	ชุด V_n ที่ถูกเลือกเมื่อ λ^* มีเส้นทางในทิศ	
		ทวนเข็มนาฬิกา	ตามเข็มนาฬิกา
1	0 - 60 องศา	V_1, V_2, V_7	V_1, V_6, V_0
2	60 - 120 องศา	V_2, V_3, V_0	V_6, V_5, V_7
3	120 - 180 องศา	V_3, V_4, V_7	V_5, V_4, V_0
4	180 - 240 องศา	V_4, V_5, V_0	V_4, V_3, V_7
5	240 - 300 องศา	V_5, V_6, V_7	V_3, V_2, V_0
6	300 - 360 องศา	V_6, V_1, V_0	V_2, V_1, V_7

รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างโลกัสของ λ^* และ λ ที่ $\Delta\theta = 15$ องศา สำหรับการเลือกใช้ชุดเวกเตอร์แรงดันที่เหมาะสม จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งมุมเฟส θ_r ที่วางอยู่ในช่วงมุมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ในแต่ละช่วง ΔT ใดๆที่พิจารณา จะพบว่ามีการสวิทช์เกิดขึ้นสองเฟสและหยุดการสวิทช์หนึ่งเฟสดังในรูปที่ 2.5 (ข) ในขณะที่วิธีการ SHM มีการสวิทช์เกิดขึ้นทั้งสามเฟส ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่า วิธีนี้ทำให้จำนวนการสวิทช์ลดลงประมาณ 30 เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับวิธีการ SHM ที่ความถี่สุ่ม (หรือความถี่พาห์) เท่ากัน

เนื่องจากโลกัสของ λ_s มีลักษณะคล้ายวงกลม (Quasi circle) ซึ่งไม่ได้แนบทับกับโลกัสของฟลักซ์แม่เหล็กอ้างอิง λ^* ตลอดเวลา ส่วนที่คลาดเคลื่อนออกไปนี้ ทำให้เกิดส่วนฮาร์โมนิคส์ขึ้นที่แรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ ส่วนของฮาร์โมนิคส์ที่เกิดขึ้นควรจะลดให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20165

กำหนดให้ ϵ เป็นเวกเตอร์คลาดเคลื่อน (Errer vector) โดยที่

$$\epsilon = \lambda^* - \lambda \qquad (2.15)$$

เวกเตอร์คลาดเคลื่อนนี้เป็นฟังก์ชั่นของการวางตำแหน่งพัลส์ β ($= t_1 - t_0$) เท่านั้น เนื่องจาก α_1 และ α_2 สามารถหาได้จากสมการ (2.14)

นิยาม ดัชนีสมรรถนะ (Performance index) สำหรับเซกเตอร์ที่ m ใด ๆ ดังนี้

$$J_m(\beta_m) = \int_{t_0}^{t_0+\Delta T} |\epsilon|^2 \, dt \qquad (2.16)$$

ดังนั้นผลรวมของดัชนีสมรรถนะ คือ

$$J = \oint |\epsilon|^2 \, dt = 6 \sum_{m=0}^{*} J_m \qquad (2.17)$$

ค่าของ J นี้ ควรถูกลดให้มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือค่า Jm ในแต่ละช่วงการสุ่ม ΔT ใดๆ ควรจะลดให้เหลือน้อยที่สุด เนื่องจาก Jm ประกอบขึ้นเป็น J อย่างอิสระ ดังนั้น

$$\textit{minimize } Jm(\beta_m) \qquad \text{สำหรับ } 0 < \beta_m < \Delta T - \alpha_{1m} \qquad (2.18)$$

จะให้ค่าตำแหน่งพัลส์ β_m ที่ดีที่สุด สำหรับเซกเตอร์ที่ m ใดๆ การคำนวณนี้ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนมาก อย่างไรก็ดี เนื่องจากมุมการสุ่ม $\Delta\theta$ มีค่าเล็กมากในทางปฏิบัติ จึงอาจประมาณโลกัส λ^* ด้วยเส้นตรงที่ต่อระหว่างจุด p-q (อ้างถึงรูปที่ 2.5 (ก)) เพื่อให้ตำแหน่งพัลส์ β_m สามารถหาค่าได้ในเชิงวิเคราะห์ จากการประมาณดังกล่าว สามารถคำนวณหาโลกัส λ^* ได้ดังนี้

$$\lambda^*(t) = E(2/J3)(t-t_0)\exp(j\theta_r) + \lambda^*(t_0) \qquad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโลกัสของ λ ในช่วงมุม $\Delta\theta$ ใดๆ ถูกแบ่งออกเป็น 4 ช่วงย่อย ดังนั้น สมการ (2.16) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$J_m(\beta_m) = \left.\begin{aligned} &\int_{t_0}^{t_1} |\epsilon|^2\,dt + \int_{t_1}^{t_2} |\epsilon|^2\,dt + \int_{t_2}^{t_3} |\epsilon|^2\,dt + \int_{t_3}^{t_4} |\epsilon|^2\,dt \\ &= J_{m1} + J_{m2} + J_{m3} + J_{m4} \end{aligned}\right\} \qquad (2.20)$$

ทำการคำนวณในแต่ละเทอมของสมการ (2.20) จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$J_{m1} = E^2[(4/9)M^2\beta^3]$$

$$J_{m2} = E^2[(4/9)M^2\{(\beta+\alpha_2)^3-\beta^3\} + (16/27)\alpha_2^2 - (8/9\sqrt{3})M\alpha_2^2(3\beta+2\alpha_2)\cos(\theta_p)]$$

$$J_{m3} = E^2[(4/9)M^2\{(\beta+\alpha_1)^3-(\beta+\alpha_2)^3\} + (4/27)(\alpha_1-\alpha_2)(4\alpha_1^2+7\alpha_1\alpha_2+10\alpha_2^2) - (4/9)M(\alpha_1-\alpha_2)(2\alpha_1^2+3\beta\alpha_1-\alpha_2^2-\alpha_1\alpha_2-3\beta\alpha_2)\sin(\theta_p) - (4/9\sqrt{3})M(\alpha_1-\alpha_2)(2\alpha_1^2+3\beta\alpha_1+5\alpha_2^2+9\beta\alpha_2+12\alpha_2 t_0+5\alpha_1\alpha_2)\cos(\theta_p)]$$

$$J_{m4} = E^2[(4/9)M^2(\Delta T-\beta-\alpha_1)]$$

ทำการหาค่า β ที่ทำให้ $J_m(\beta_m)$ ใดๆมีค่าน้อยที่สุด โดยการกำหนดให้

$$dJ_m(\beta_m)/d\beta = dJ_{m1}/dt + dJ_{m2}/dt + dJ_{m3}/dt + dJ_{m4}/dt = 0 \qquad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการแทนค่า J_{m1}, J_{m2}, J_{m3}, และ J_{m4} ลงใน สมการ (2.21) แล้วทำการคำนวณจะได้

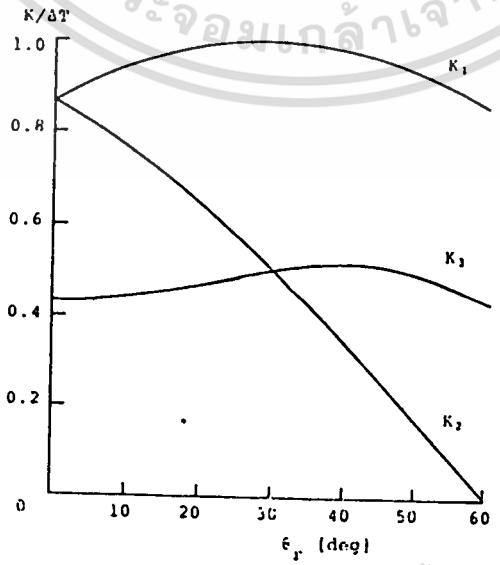
$$\beta = (\Delta T/2) - K_3(\theta_r)M \qquad (2.22)$$

โดยที่

$$K_3(\theta_r) = [(\sqrt{3}/2)\Delta T][(5\cos(\theta_r)/6) - (\cos\theta_r\cos(2\theta_r)/3)]$$

เมื่อสมการ (2.18) ให้ค่า β ที่เป็นลบ ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้จะกำหนดให้ $\beta = 0$

จะเห็นว่า ค่าของ K_1, K_2 และ K_3 เป็นฟังก์ชั่นของมุมเฟส θ_r เพียงตัวแปรเดียวเท่านั้นเพราะ ΔT เป็นค่าคงที่ และเนื่องจากความสมมาตรในทุกๆ 60 องศา จึงพิจารณาค่า K เหล่านี้ภายในช่วงมุม $0 < \theta_r < 60$ องศา ร่วมกับการเลือกชุดเวกเตอร์แรงดัน(ตารางที่ 2.2) ก็ครอบคลุมทุกๆค่าของมุมเฟส θ_r รูปที่ 2.7 แสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ K_1, K_2 และ K_3 กับมุมเฟส θ_r



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ K_1, K_2 และ K_3 กับมุมเฟส θ_r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบทันเวลา (Real time) บนฐานของไมโครโปรเซสเซอร์นั้น จะต้องประมวลผลให้เสร็จสิ้นภายในทุกๆช่วงเวลาสุ่ม ΔT เพื่อให้เวลาประมวลผลสั้น ค่าของ K_1, K_2 และ K_3 ภายในช่วงมุม $0 < \theta_r < 60$ องศา และการเลือกชุดเวกเตอร์แรงดัน ตามตารางที่ 2.2 ควรเก็บไว้ในหน่วยความจำถาวร (ROM) ในรูปของตาราง เพื่อทำให้การคำนวณหาค่าความกว้างพัลส์ α_1, α_2 และ β ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของ M สามารถคำนวณได้ง่ายขึ้น และการเลือกชุดเวกเตอร์แรงดันก็สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว สำหรับรายละเอียดในการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มทั้งในส่วนซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ไบมอสอินเวอร์เตอร์และวงจรขับไบมอสสวิทช์

3.1 นำบท

ในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์กำลังนั้น การเลือกตัวสวิทช์กำลังที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบโดยรวม สวิทช์กำลังที่ดีนั้นควรมีการสูญเสียขณะสวิทช์ (Switching losses) ต่ำ และการสูญเสียขณะนำกระแส (On-state losses) ต่ำด้วย ในวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ขนาดพิกัดกำลังต่ำจนถึงปานกลางนั้น นิยมใช้ทรานซิสเตอร์กำลังชนิดไบ-โพลาร์ (Power bipolar junction transistor) เป็นสวิทช์กำลังเนื่องจากมีพิกัดกำลังอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ควบคุมการสวิทช์ได้ค่อนข้างง่าย และมีการสูญเสียในสภาวะนำกระแสต่ำ อย่างไรก็ดี การที่ทรานซิสเตอร์กำลังมีเวลาสะสม (Storage times) ค่อนข้างยาวนาน มีผลให้การสูญเสียการสวิทช์ในขณะสวิทช์หยุดนำกระแสสูง เพื่อจำกัดการสูญเสียพลังงานโดยรวม จึงจำเป็นต้องจำกัดความถี่การใช้งานของทรานซิสเตอร์กำลังด้วย นอกจากนี้ เมื่อนำมาใช้ในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์เพื่อสร้างกระแสคลื่นไซน์ เวลาสะสมเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ต้องควบคุมช่วงหยุดการสวิทช์ (Blanking times) ในระดับที่ไม่อาจจะละเลยได้ จึงมีผลให้กระแสคลื่นไซน์ที่สร้างขึ้นผิดเพี้ยนไปจากที่ต้องการมาก

มอสเฟ็ตกำลัง (Power MOSFET) เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งซึ่งอาจนำมาใช้เป็นสวิทช์กำลังได้เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างคือ มีความเร็วในการสวิทช์สูงมาก (เวลาในการเปลี่ยนสถานะอยู่ในระดับนาโนวินาที) ทำให้เกิดการสูญเสียการสวิทช์ต่ำมาก ควบคุมการสวิทช์ได้ง่าย และในพวกพิกัดแรงดันต่ำจะมีการสูญเสียขณะนำกระแสต่ำ อย่างไรก็ดี ในพวกที่ทนพิกัดแรงดันสูงจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระ-แส ($r_{DS(on)}$) สูง ทำให้การสูญเสียขณะนำกระแสค่อนข้างสูง และสวิทช์กำลังตระกูลนี้มีพิกัดกำลังค่อนข้างจำกัด ทำให้มอสเฟ็ตกำลังถูกนำมาใช้งานเป็นสวิทช์กำลัง ในระดับพิกัดกำลังต่ำ ๆ เท่านั้น

เพื่อที่จะลดข้อบกพร่องของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดที่กล่าวมา วิธีการหนึ่งที่อาจนำมาใช้ได้คือการจัดรวมทรานซิสเตอร์กำลังและมอสเฟ็ตกำลังเข้าด้วยกันเป็นสวิทช์กำลัง โดยเรียกสวิทช์กำลังนี้ว่า ไบมอสสวิทช์ (BiMOS switch) การจัดรวมแบบคาสโคด (Cascode combination) เป็นแบบหนึ่งในการจัดรวมหลายแบบ [9] ที่มีคุณสมบัติที่น่าสนใจ สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทนี้ ต้องการอธิบายถึงลักษณะและคุณสมบัติของไบมอสสวิทช์แบบคาสโคด ลักษณะของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ไบมอสสวิทช์เป็นอุปกรณ์สวิทช์กำลัง และการตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติซึ่งอาจเกิดขึ้นในวงจรอินเวอร์เตอร์ รวมทั้งวงจรสำหรับขับไบมอสสวิทช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์

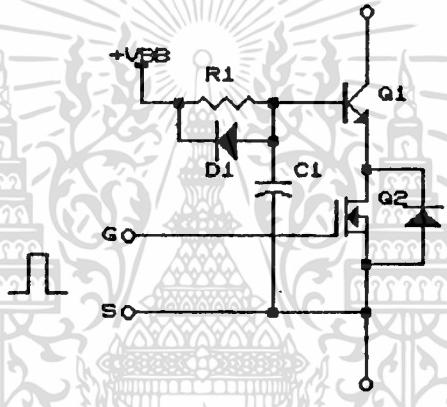
3.2 ไบมอสสวิทช์แบบคาสโคด

ลักษณะของไบมอสสวิทช์แบบคาสโคดเป็นการนำเอาทรานซิสเตอร์กำลังชนิดทนแรงดันสูงต่ออนุกรมกับมอสเฟ็ตกำลังแรงดันต่ำ และต่อแรงดันไฟตรงบวกเลี้ยงไว้ที่ขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ โดยใช้ขั้วซอร์สของมอสเฟ็ตเป็นจุดอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 การควบคุมการสวิทช์ จะกระทำที่ขั้วเกทของมอสเฟ็ต กล่าวคือ เมื่อต้องการสวิทช์นำกระแสจะต้องป้อนแรงดันไฟบวกที่ขั้วเกท (เทียบกับขั้วซอร์ส) ทำให้มอสเฟ็ตนำกระแส ดังนั้นกระแสจากขั้วเบสจะสามารถไหลได้ และทำให้ทรานซิสเตอร์เข้าสู่สภาวะนำกระแส นั่นคือไบมอสสวิทช์เข้าสู่สภาวะนำกระแสอย่างสมบูรณ์ และเมื่อต้องการสวิทช์หยุดนำกระแสจะต้องป้อนแรงดันศูนย์หรือลบที่ขั้วเกท ซึ่งจะทำให้มอสเฟ็ตหยุดนำกระแส มีผลให้กระแสอีมิตเตอร์หยุดไหลอย่างทันที และกระแสคอลเลคเตอร์จะถูกเบี่ยง (diverted) ให้ไหลออกทางขั้วเบสเข้าอัดประจุตัวเก็บประจุ C1 แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ V_{c1} นี้ จะถูกจำกัดด้วยไฟเลี้ยงขั้วเบสซึ่งอาจทำให้กระแสบางส่วนไหลผ่านไดโอด D1 เข้าสู่ไฟเลี้ยงขั้วเบส กระแสเบสลบซึ่งมีขนาดเท่ากับกระแสคอลเลคเตอร์นี้เองที่ทำให้ พาหะส่วนเกินต่างๆ (Excessive carriers) ถูกกวาดออกทางขั้วเบสอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เวลาสะสมและเวลาไต่ลงของกระแสลั้น แรงดันตกคร่อมมอสเฟ็ต V_{DS} ในขณะหยุดนำกระแส จะถูกจำกัดด้วยไฟเลี้ยงขั้วเบส และแรงดัน V_{c1} ที่ถูกอัดประจุในกระบวนการหยุดนำกระแส มีส่วนช่วยให้สวิทช์นำกระแสได้รวดเร็วขึ้นเมื่อทำการสวิทช์นำกระแสในครั้งต่อไป เนื่องจากใช้วิธีการสวิทช์หยุดนำกระแสด้วยการเปิดวงจรที่ขั้วอีมิตเตอร์ จึงอาจเรียกไบมอสสวิทช์แบบคาสโคดได้อีกอย่างหนึ่งว่า สวิทช์แบบเปิดวงจรอีมิตเตอร์ (Open-emitter switch)

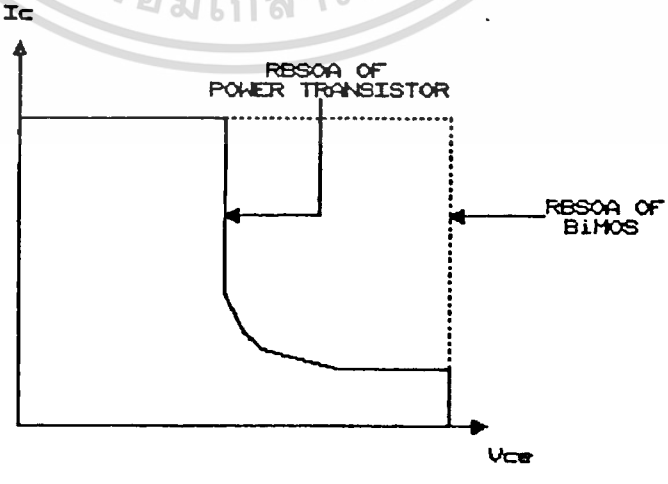
การหยุดนำกระแสแบบเปิดวงจรอีมิตเตอร์นี้ เปรียบเสมือนกับการหยุดนำกระแสของไดโอดกำลังที่ประกอบขึ้นจากรอยต่อ C-B ของทรานซิสเตอร์กำลัง มีผลให้ทรานซิสเตอร์กำลังสามารถทนแรงดันที่พิกัด BV_{CEO} ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าประมาณสองเท่าของ BV_{CEO} (พิกัด BV_{CEO} เป็นพิกัดแรงดัน ที่ใช้เลือกทรานซิสเตอร์กำลังเมื่อสวิทช์หยุดนำกระแสด้วยวิธีไบอัสกลับรอยต่อ B-E) และยังทำให้ ปรากฏการณ์เซคคั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรกดาวน์ (Second breakdown) หายไปด้วย รูปที่ 3.2 แสดงถึงการเปรียบเทียบพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยขณะไบแอสกลับ หรือ RBSOA (Reverse Bias Safe Operating Area) ของการสวิทช์หยุดนำกระแสด้วยวิธีไบอัสกลับรอยต่อ B-E กับการสวิทชหยุดนำกระแสแบบเปิดวงจรอิมิตเตอร์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์กำลังชนิดเดียวกัน จากรูปจะเห็นว่า การสวิทช์หยุดนำกระแสแบบเปิดวงจรอิมิตเตอร์จะให้ RBSOA เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ ผลดีที่ตามมาคือทำให้ลดจำนวนและขนาดของวงจรสนับเบอร์



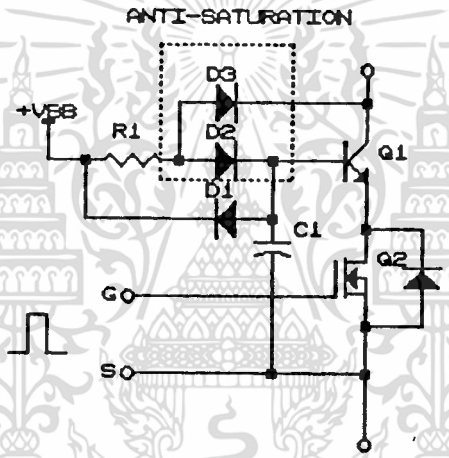
รูปที่ 3.1 ลักษณะพื้นฐานของไบมอสสวิทช์



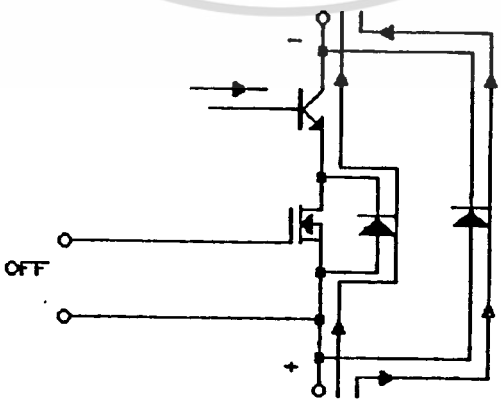
รูปที่ 3.2 แสดง RBSOA ของทรานซิสเตอร์กำลังและไบมอสสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าไบมอสสวิทช์ที่มีลักษณะดังในรูปที่ 3.1 จะมีเวลาสะสมสั้น แต่ในการนำไบมอสสวิทช์ไปใช้ในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ควรลดเวลาสะสมให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ โดยอาศัยวงจรต้านการอิ่มตัว (Anti-saturation) เพื่อบังคับให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะกึ่งอิ่มตัว (Quasi-saturation) ในขณะนำกระแส ลักษณะไบมอสสวิทช์ที่เพิ่มวงจรต้านการอิ่มตัวแสดงดังในรูปที่ 3.3 ถึงแม้ว่าวงจรนี้จะทำให้การสูญเสียขณะนำกระแสเพิ่มขึ้น แต่ก็ทำให้การสูญเสียขณะสวิทช์ลดลง และความน่าเชื่อถือของไบมอสสวิทช์เพิ่มมากขึ้น



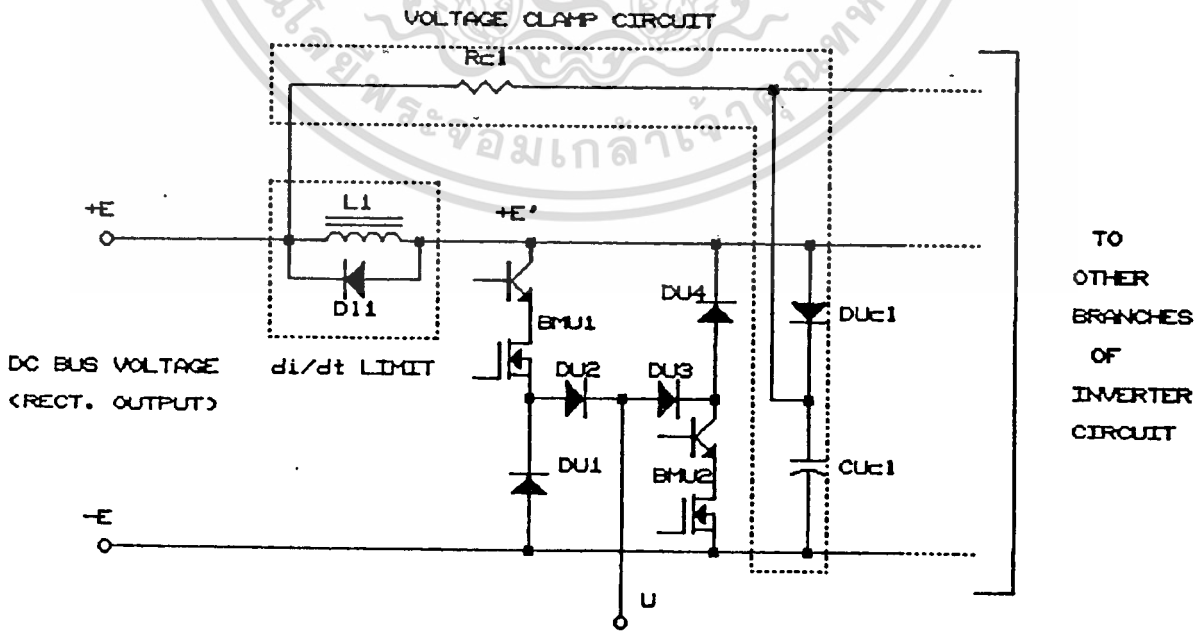
รูปที่ 3.3 ลักษณะไบมอสสวิทช์ที่เพิ่มวงจรต้านการอิ่มตัว



รูปที่ 3.4 ปรากฏการณ์กระแสไหลกลับทิศในไบมอสสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดี ไบมอสสวิทช์มีข้อเสียบางประการ จึงไม่สามารถนำไปแทนทรานซิสเตอร์กำลังโดยตรงในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ทั่วไปได้ กล่าวคือ ประการแรก ในขณะที่มีกระแสไหลในไดโอด ที่ต่อขนานสวนกลับ (Antiparallel diode) กับไบมอสสวิทช์ ดังในรูปที่ 3.4 ทำให้เกิดแรงดันกลับทิศค่าต่ำๆตกคร่อมไบมอสสวิทช์ เนื่องจากที่ขั้วเบสมีแรงดันไฟบวกเลี้ยงไว้ตลอดเวลาจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์กระแสกลับทิศขึ้นในไบมอสสวิทช์ นั่นคือ ขั้วคอลเลคเตอร์และขั้วอีมิตเตอร์หน้าที่สลับกัน และเมื่อมีการสวิทช์นำกระแสไบมอสสวิทช์อีกชุดหนึ่งในกิ่งเดียวกัน จะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นในบัสไฟตรง ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องหากระบบป้องกันไม่มีความไวพอ ประการที่สอง เมื่อกระแสไหลผ่านไบมอสสวิทช์ลดลงผ่านจุดศูนย์ก่อนทำการหยุดนำกระแส ซึ่งเกิดขึ้นในขณะกระแสโหลดเริ่มไหลกลับทิศ ทำให้ประจุสะสมไม่ถูกกวาดออกทางขั้วเบสของทรานซิสเตอร์กำลัง จึงมีผลให้เวลาสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมาก และจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นในบัสไฟตรง หากมีการสวิทช์นำกระแสไบมอสสวิทช์ที่อยู่ในกิ่งเดียวกันเช่นเดียวกับประการแรก



รูปที่ 3.5 กิ่งหนึ่งของวงจรไบมอสอินเวอร์เตอร์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

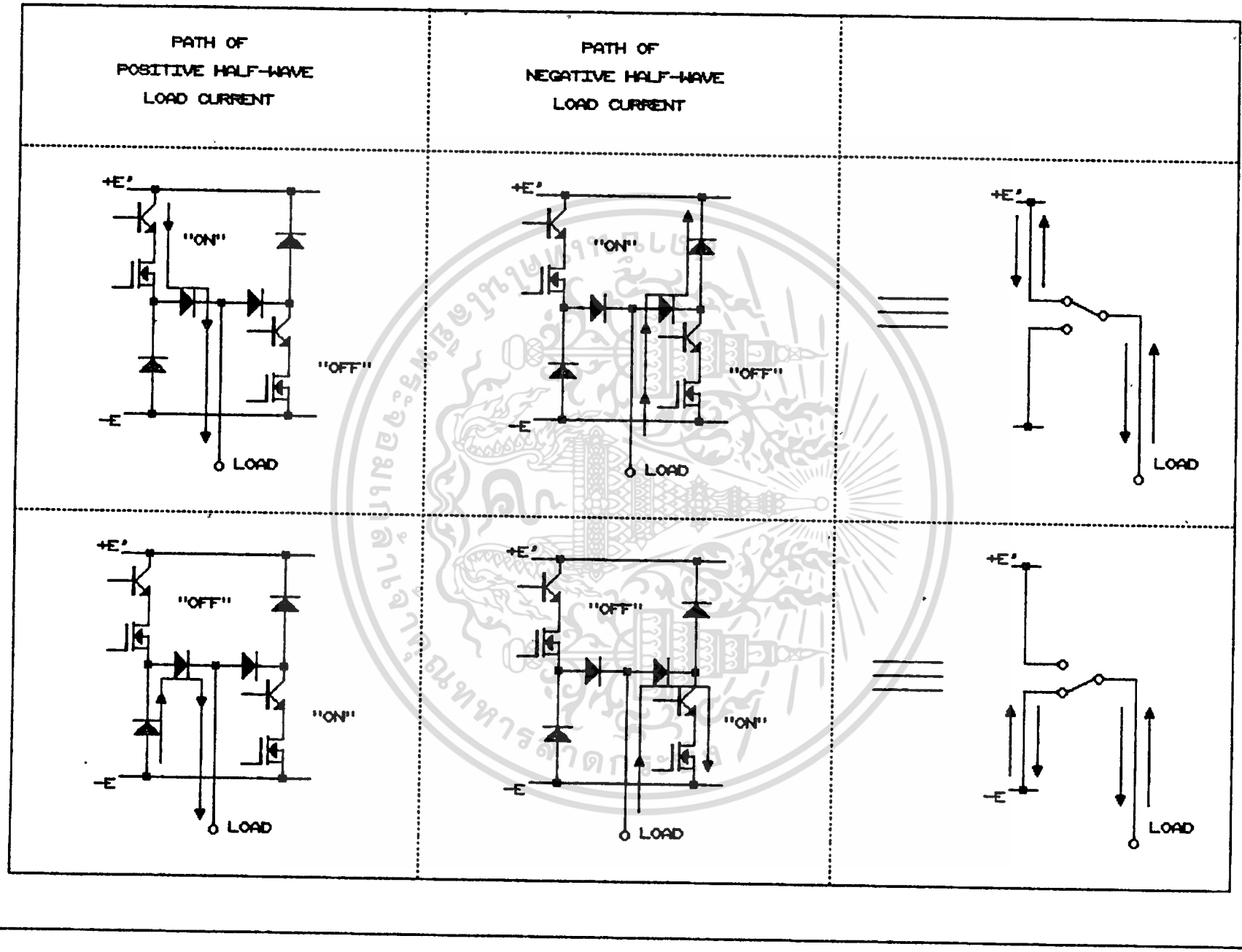
3.3 วงจรไบมอสอินเวอร์เตอร์

จากลักษณะและคุณสมบัติของไบมอสสวิทช์ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว จะเห็นว่าเราไม่สามารถนำไบมอสสวิทช์มาแทนแทรานซิสเตอร์กำลังโดยตรงในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปได้ จึงต้องมีการดัดแปลงแก้ไขวงจรอินเวอร์เตอร์ตามความเหมาะสม รูปที่ 3.5 แสดงกิ่งหนึ่งของวงจรไบมอสอินเวอร์-เตอร์สามเฟสที่นำไปใช้ในการสร้างกระแสคลื่นไซน์เพื่อจ่ายให้กับโหลด (โหลดในที่นี้คือเฟสหนึ่งของมอ-เตอร์เหนี่ยวนำ) แต่ละกิ่งของอินเวอร์เตอร์จะมีการทำงานคล้ายคลึงกัน โดยสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ ไดโอด D2 และ D3 ทำหน้าที่แยกส่วน (decoupling) วงจรอินเวอร์เตอร์ ตามทิศทางการไหลของกระแสโหลด โดยจะรับกระแสในแต่ละครึ่งคลื่นของความถี่มูลฐานของกระแสโหลด และมีผลให้ชุดอุปกรณ์ BM1, D1, D2 และ BM2, D3, D4 แยกกันทำงานอย่างอิสระในแต่ละครึ่งคลื่น รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานของชุดอุปกรณ์ตามทิศทางการไหลของกระแสโหลด และแทนชุดอุปกรณ์ด้วยตำแหน่งของสวิทช์เทียบเท่า จะเห็นว่า การต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ในลักษณะนี้จะไม่มีเส้นทางให้เกิดกระแสกลับทิศในไบมอสสวิทช์ได้ ดังนั้น ปรากฏการณ์กระแสกลับทิศจึงถูกขจัดไป

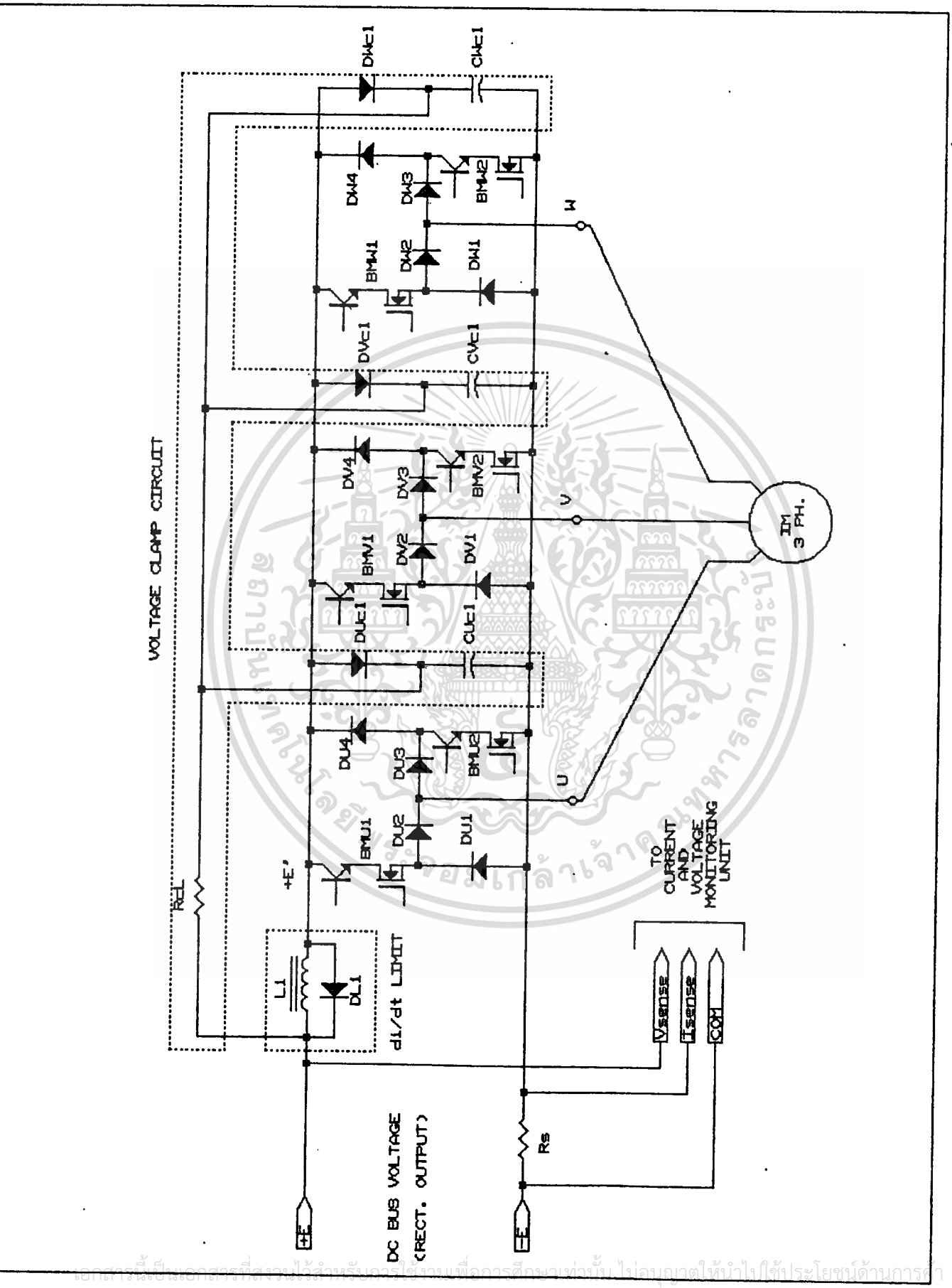
วงจรจำกัดการเพิ่มกระแส (di/dt limit) ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับชุดไบมอสอินเวอร์-เตอร์มากขึ้น กล่าวคือ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรในบัสไฟตรง เนื่องจากเวลาสะสม ที่เพิ่มขึ้นในไบมอสสวิทช์ เมื่อกระแสโหลดเริ่มไหลกลับทิศ ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว นอกจากนี้วงจรนี้ยังช่วยหน่วงการเพิ่มอย่างฉับพลันของกระแสเมื่อเกิดเหตุผิดปกติขึ้นในไบมอสอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้วงจรป้องกันระบบสามารถทำงานได้ทันท่วงที และยังช่วยลดการสูญเสียพลังงานในช่วงเวลาคืนตัว (recovery time) ของไดโอด D1 และ D4 ด้วย

วงจรจำกัดแรงดัน (voltage-clamp circuit) ใช้สำหรับลดผลของค่าความเหนี่ยวนำแฝงในสายบัสไฟตรง ค่าความเหนี่ยวนำแฝงนี้ จะทำให้เกิดแรงดันสไปค์ (spike voltage) ในขณะทำการหยุดนำกระแสไบมอสสวิทช์ ซึ่งอาจเกินพิกัดแรงดันของทรานซิสเตอร์กำลังที่จะทนได้ แรงดันสไปค์จะถูกหน่วงด้วยแรงดันตกคร่อม C_{c1} และแรงดันที่เพิ่มขึ้นใน C_{c1} จะถูกสลายไปใน R_{c1} ในทางปฏิบัติ D_{c1} และ C_{c1} ควรวางให้ใกล้กับชุดไบมอสอินเวอร์เตอร์ในแต่ละกิ่งมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงเส้นทางการไหลของกระแสโหลดและเปรียบเทียบกับตำแหน่งสวิทช์เทียบเท่า



รูปที่ 3.7 วงจรสมบูรณ์ของไมโครอินเวอร์เตอร์สามเฟส

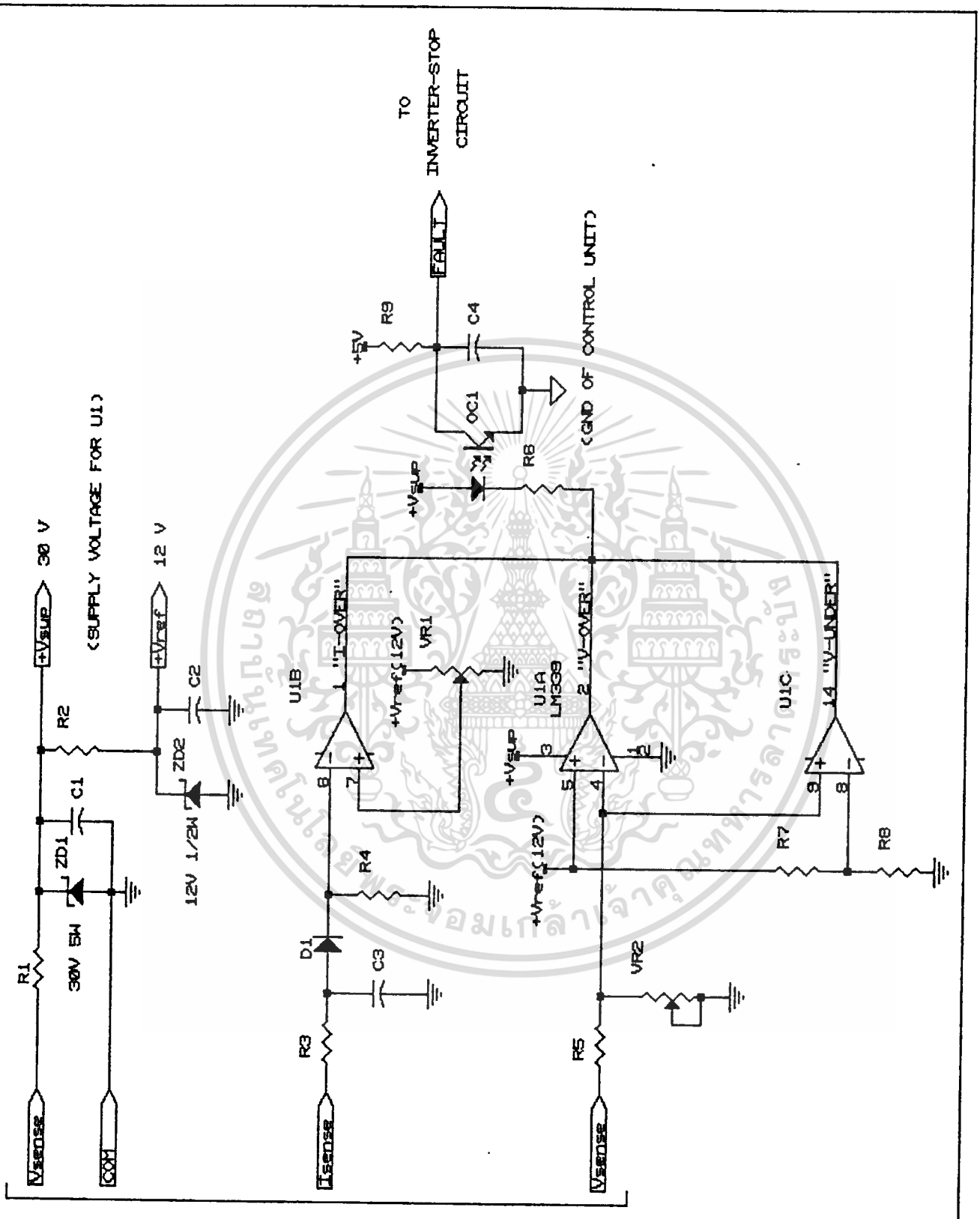
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความถี่การสวิทช์ที่เกิดขึ้นในไบมอสสวิทช์ค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้ผลให้ไดโอด D1 และ D4 รับกระแสการสวิทช์ความถี่สูงไปด้วย ไดโอดชนิดคืนตัวเร็ว (Fast recovery diode) จึงควรจะถูกเลือกใช้ในตำแหน่งเหล่านี้ สำหรับ ไดโอด D2 และ D3 ซึ่งมีขั้วหนึ่งต่ออยู่กับโหลด เป็นอุปกรณ์ที่รับกระแสที่ความถี่มูลฐานของโหลดซึ่งเป็นความถี่ต่ำ และรับแรงดันตกคร่อมต่ำ จึงอาจเลือกใช้ไดโอดพิกัดแรงดันต่ำทั่วไปได้ อย่างไรก็ดี เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในขณะไดโอดนำกระแส ไดโอดเหล่านี้จึงควรเลือกใช้ไดโอดชนิดชอทท์กี้ (Shottky diode) รูปที่ 3.7 แสดงวงจรไบมอสอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่สมบูรณ์ สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.4 ชุดตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติ

เมื่อนำระบบขับเคลื่อนไปใช้งาน ความเสียหายอาจเกิดขึ้นในระบบได้ด้วยสาเหตุต่างๆ ความเสียหายโดยส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากเป็นส่วนของวงจรกำลังที่มีความซับซ้อนมากที่สุดทั้งทางด้านจำนวนอุปกรณ์และการทำงาน ดังนั้นการป้องกันความเสียหายในระบบขับเคลื่อนโดยเฉพาะในส่วนอินเวอร์เตอร์จึงเป็นสิ่งจำเป็น ส่วนหนึ่งของวิธีการป้องกันความเสียหายคือ การตรวจจับกระแสสูงเกินพิกัดและแรงดันบัสไฟตรงสูงหรือต่ำกว่าพิกัด สาเหตุของกระแสเกินพิกัดอาจเกิดจากการใช้เวลาในการเร่งความเร็วรอบมอเตอร์สั้นเกินไป หรือเกิดการลัดวงจรขึ้นที่ขั้วต่อของมอเตอร์ แรงดันเกินพิกัดอาจเกิดจากการใช้เวลาหน่วงความเร็วรอบมอเตอร์สั้นเกินไป หรือเกิดจากแหล่งจ่ายไฟหลักสูงเกินพิกัด ส่วนแรงดันต่ำกว่าพิกัดมักเกิดขึ้นจากส่วนของแหล่งจ่ายไฟหลัก สำหรับระบบขับเคลื่อนที่ทดลองสร้างขึ้น การตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติจะกระทำที่บัสไฟตรงที่ตำแหน่งดังในรูปที่ 3.7 ในการตรวจวัดกระแสจะใช้การวัดแรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_s ซึ่งเป็นความต้านทานค่าต่ำๆ วงจรตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติมีลักษณะดังในรูปที่ 3.8 เมื่อวงจรนี้ตรวจสอบพบความผิดปกติก็จะส่งสัญญาน "FAULT" (ตื่นตัวในสถานะ "0") ผ่านตัวเชื่อมต่อทางแสง (Optocoupler) OC1 ซึ่งใช้แยกจุดอ้างอิงทางไฟฟ้า ไปยังชุดควบคุมเพื่อทำหน้าที่ป้องกันระบบขับเคลื่อนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรตรวจจับการขาดและแรงดันผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรขับไบมอสสวิทช์

วงจรขับไบมอสสวิทช์ สามารถนำวงจรขับมอสเฟ็ตกำลังมาใช้ขับได้โดยตรง โดยต่อแรงดันไฟตรง +VBB เลี้ยงไว้ที่ขั้วเบสเทียบกับขั้วซอร์สเป็นส่วนที่เพิ่มเติม ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2

ในชุดต้นแบบวงจรขับมอสเฟ็ตกำลังในไบมอสสวิทช์มีลักษณะดังในรูปที่ 3.9 ข้อดีของวงจรนี้มีดังต่อไปนี้

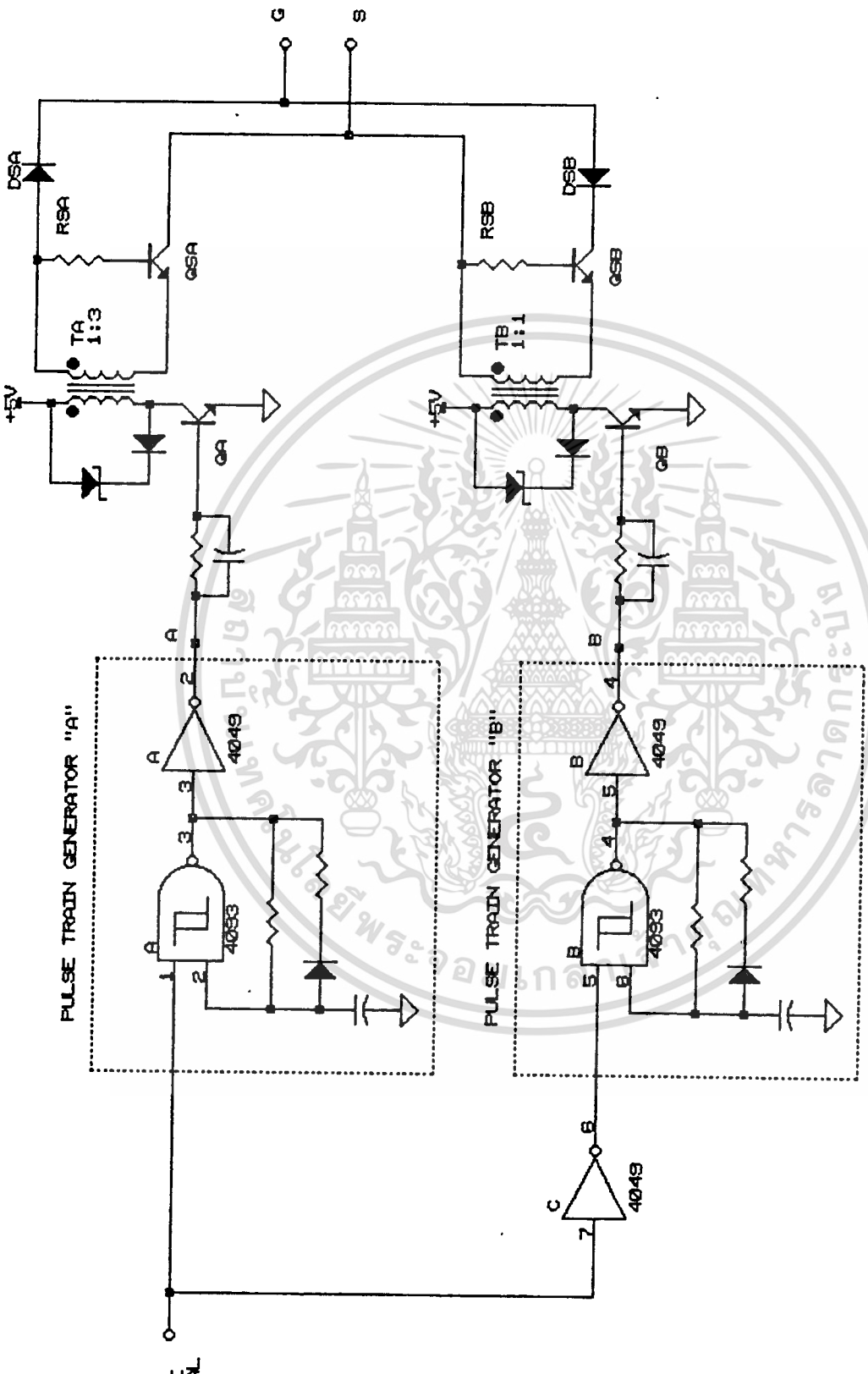
- แรงดัน V_{GS} แยกจุดอ้างอิงทางไฟฟ้าโดยอิสระจากชุดควบคุม
- ใช้งานได้ในช่วงความถี่กว้าง จาก 0 Hz ไปจนถึงระดับ 10 KHz
- ในสภาวะหยุดนำกระแสให้แรงดัน V_{GS} เป็นไฟลบ ทำให้ทนค่า dV/dt ได้สูงมาก
- เวลาหน่วงระหว่างสัญญาณอินพุตและแรงดันเอาท์พุต VGS เกิดขึ้นน้อยมาก
- วงจรมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและต้นทุนต่ำ

การทำงานของวงจรมีดังนี้ เมื่อสัญญาณอินพุทเข้าสู่สถานะ "1" ทำให้ตัวกำเนิดขบวนสัญญาณพัลส์ "A" (pulse train generator "A") สร้างขบวนพัลส์ความถี่สูงเพื่อขับทรานซิสเตอร์ QA ซึ่งจะขับหม้อแปลงพัลส์เพื่อส่งขบวนสัญญาณพัลส์ไปยังด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์ ในช่วงที่ขบวนพัลส์เป็นบวกมีผลให้ทรานซิสเตอร์ QSA และไดโอด DSA นำกระแส ทำให้เกิดพัลส์บวกตกคร่อมที่เอาท์พุต

เมื่อสัญญาณอินพุทเข้าสู่สถานะ "0" ตัวกำเนิดขบวนสัญญาณพัลส์ "A" จะหยุดทำงาน และทำให้ตัวกำเนิดขบวนสัญญาณพัลส์ "B" เริ่มทำงาน ขบวนสัญญาณพัลส์จะถูกส่งไปขับทรานซิสเตอร์ QB เพื่อขับหม้อแปลงพัลส์ และทำให้เกิดขบวนสัญญาณพัลส์ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงพัลส์ ในช่วงที่ขบวนพัลส์เป็นบวกมีผลให้ทรานซิสเตอร์ QSB และไดโอด DSB นำกระแส ทำให้เกิดขบวนพัลส์ลบตกคร่อมที่เอาท์พุต

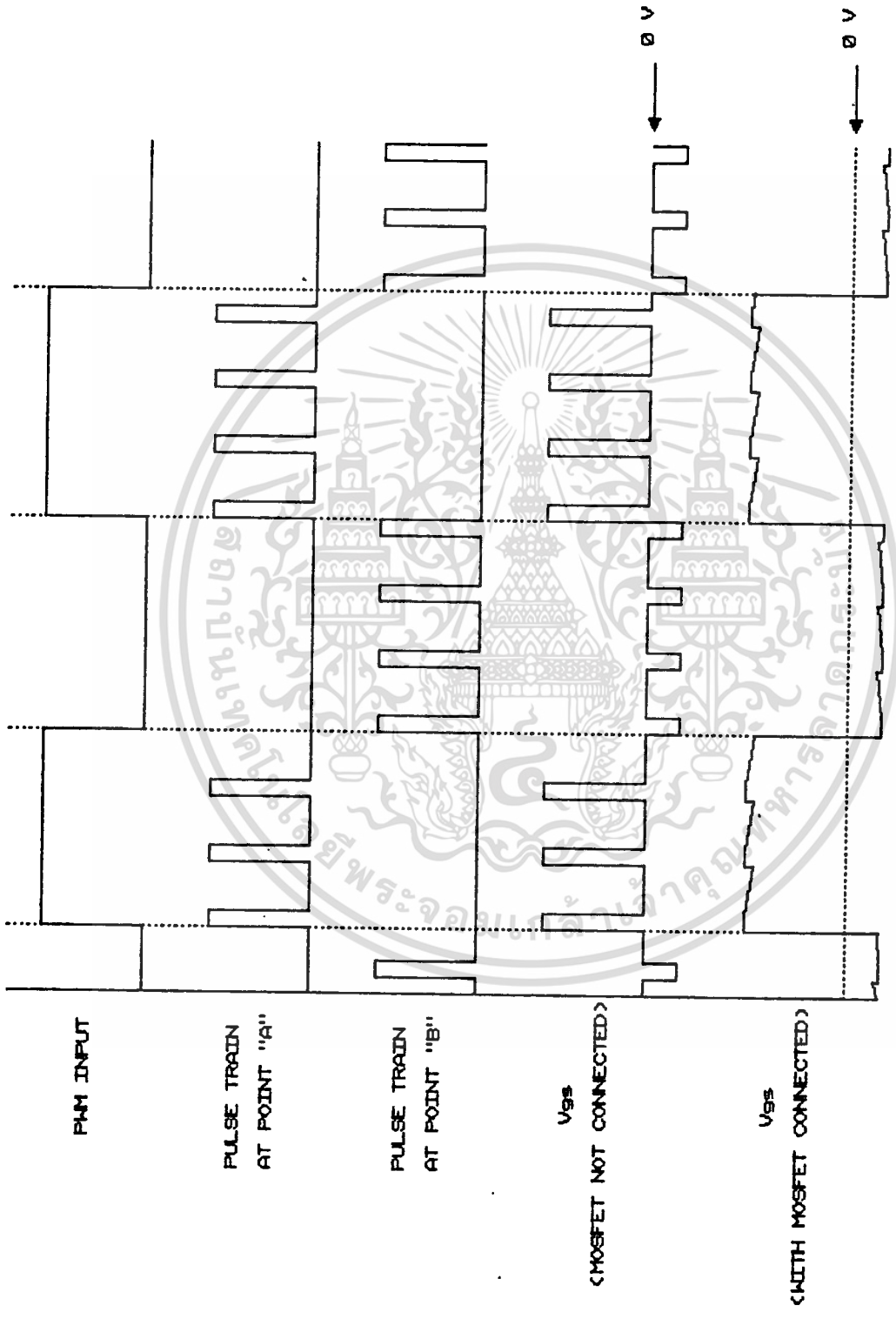
เนื่องจากขั้ว เกท-ซอร์ส ของมอสเฟ็ตกำลังมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุค่าต่ำๆเมื่อต่อสัญญาณเอาท์-พุตของวงจรขับเข้ากับมอสเฟ็ตกำลัง มีผลให้ขบวนสัญญาณพัลส์ที่เอาท์พุตถูกกรอง และมีลักษณะรูปคลื่นใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตของวงจรขับ ลักษณะของรูปคลื่นที่จุดต่าง ๆ ของวงจรขับถูกแสดงในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรขับส่วนของเพาเวอร์มอสเฟตกำลังในไมอสอินเวิร์ทเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงรูปคลื่นที่จุดต่างๆในวงจรขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

4.1 บทนำ

ในบทนี้ กล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆของชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทั้งคุณสมบัติ ลักษณะทางฮาร์ดแวร์ และลักษณะทางซอฟท์แวร์ ชุดควบคุมนี้ออกแบบโดยการใช้ ไมโครโปรเซสเซอร์ อินเทล 8031 เป็นฐาน ซึ่งไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูลนี้นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย สำหรับข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์นี้ มีรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง[14] ในส่วนท้ายของบทนี้ ยังได้กล่าวถึงผลการวิจัยโดยทำการทดสอบชุดต้นแบบของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้ทดลองสร้างขึ้นด้วย

4.2 คุณสมบัติของชุดควบคุม

โครงสร้างของชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำมีลักษณะดังไดอะแกรมในรูปที่ 4.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของชุดควบคุมถูกกำหนดด้วยซอฟท์แวร์ในระบบซีพียู โดยมีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการทำงานของชุดไบมอสอินเวอร์เตอร์ด้วยสัญญาณพีดับบลิวเอ็มให้ขับเคลื่อนตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ และจะต้องไม่ทำให้ระบบขับเคลื่อนเกิดความเสียหาย

4.2.1 สัญญาณอินพุตควบคุม

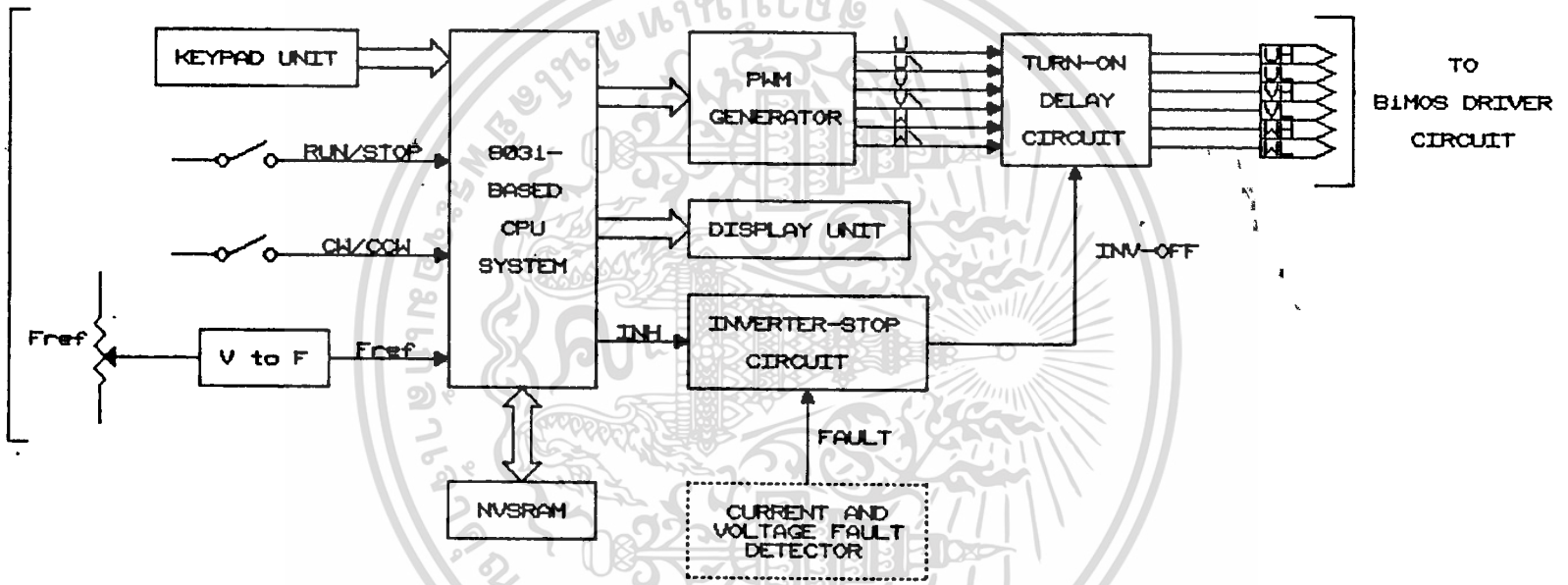
สัญญาณอินพุตที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบมีดังนี้

RUN/STOP :-เป็นสัญญาณคำสั่งในรูปสถานะ ("0" หรือ "1") เพื่อควบคุมให้เกิดการหมุนหรือหยุดหมุนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

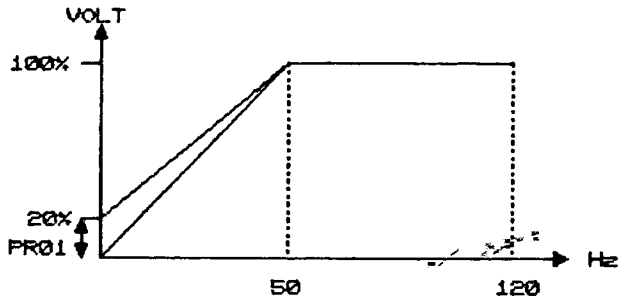
CW/CCW :-เป็นสัญญาณคำสั่งในรูปสถานะเพื่อใช้ควบคุมการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ไปในทิศทางตามเข็ม (CW) หรือทวนเข็มนาฬิกา (CCW)

Fref :-เป็นสัญญาณอนาลอกในรูปแรงดัน ซึ่งใช้สำหรับปรับเปลี่ยนค่าความถี่อ้างอิงที่ผู้ใช้ระบบต้องการป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ อย่างไรก็ดีสัญญาณนี้อาจถูกละเลยในกรณีที่ผู้ใช้ระบบกำหนดให้อ่านค่าความถี่อ้างอิงจากชุดปุ่มกด

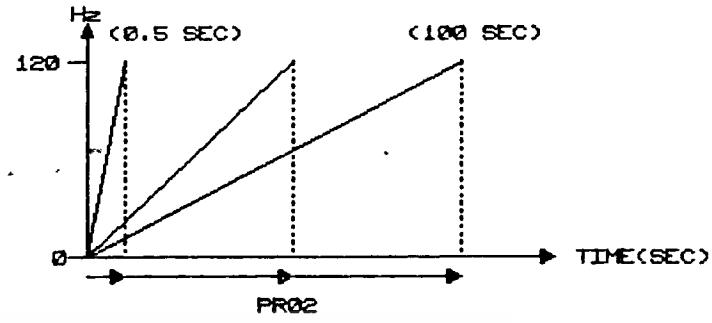
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



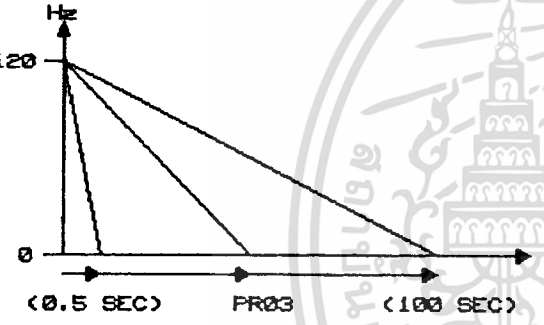
รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมโครงสร้างของชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ



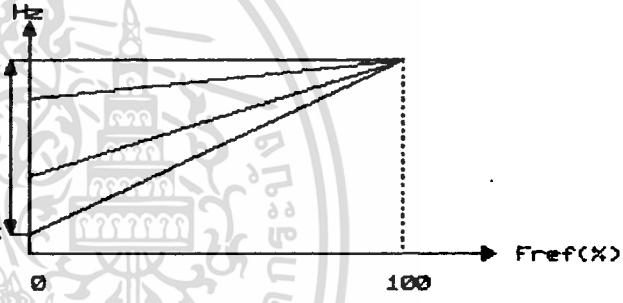
(ก)



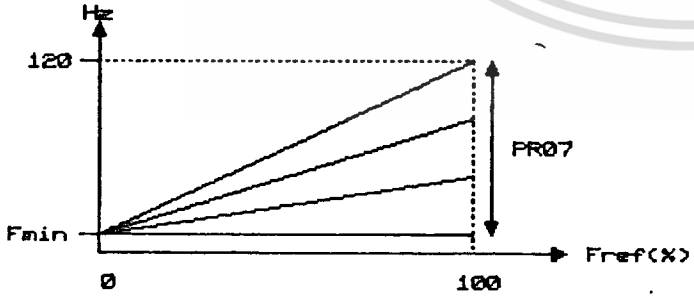
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.2 ลักษณะการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การเข้าถึงค่าพารามิเตอร์

เพื่อให้ระบบขับเคลื่อนสามารถประยุกต์ใช้งานกับโหลดต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของระบบขับเคลื่อนให้เข้ากับลักษณะงานของโหลดแต่ละชนิดจึงเป็นสิ่งจำเป็น การเข้าถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของผู้ให้ระบบสามารถติดต่อผ่านทางชุดปุ่มกดและชุดแสดงผล ชุดปุ่มกดใช้สำหรับเข้าถึงตำแหน่งพารามิเตอร์ และข้อมูลในตำแหน่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ส่วนชุดแสดงผลใช้บอกสถานะของการติดต่อกับพารามิเตอร์แก่ผู้ใช้ระบบ และยังใช้บอกสถานะของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย

ปุ่มกดในชุดปุ่มกดมีจำนวนสามปุ่มด้วยกันคือ ปุ่มกด "PR","UP", และ "DWN" ปุ่มกด "PR" ใช้สำหรับสับเปลี่ยนโหมดการเข้าถึงพารามิเตอร์ ซึ่งมีอยู่สองโหมดคือ โหมดตำแหน่งพารามิเตอร์และโหมดข้อมูลพารามิเตอร์ เมื่ออยู่ในโหมดตำแหน่งพารามิเตอร์ ปุ่มกด "UP" และ "DWN" จะใช้ในการเพิ่มและลดเลขตำแหน่งของพารามิเตอร์ตามลำดับ เพื่อใช้ในการเข้าถึงตำแหน่งพารามิเตอร์ที่ต้องการ และเมื่ออยู่ในโหมดข้อมูลพารามิเตอร์ ปุ่มกด "UP"และ "DWN" จะใช้ในการเพิ่มและลดค่าของข้อมูลพารามิเตอร์ในตำแหน่งพารามิเตอร์ที่เข้าถึง เมื่อเลือกค่าได้ตามต้องการและทำการกดปุ่ม "PR" จะทำให้ข้อมูลที่ถูกปรับตั้งใหม่ถูกนำไปเก็บในหน่วยความจำชนิด NVSRAM พร้อมกับเข้าสู่โหมดตำแหน่งพารามิเตอร์ ซึ่งจะบอกแก่ผู้ใช้ระบบทางชุดแสดงผล พารามิเตอร์ต่างๆ มีความหมายและรายละเอียดดังต่อไปนี้

- PR00 (System status) เป็นพารามิเตอร์ที่ชุดควบคุมใช้บอกสถานะของระบบแก่ผู้ใช้ระบบผ่านทางชุดแสดงผล เช่น ความถี่เอาท์พุตเป็นต้น
- PR01 (Voltage boost) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับเสริมแรงดัน เพื่อชดเชยการสูญเสียในขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่ต่ำ และ/หรือ ใช้เพื่อเพิ่มค่าแรงบิดในขณะเริ่มหมุน (Starting torgue) โดยสามารถตั้งค่าได้ในช่วง 0.0% ถึง 20.0% ของแรงดันที่ป้อนเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ และสามารถเพิ่ม/ลดได้ ขั้นละ 0.4% การปรับตั้งต่ามีลักษณะดังในรูปที่ 4.2 (ก)
- PR02 (Ramp-up time) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับปรับตั้งค่าอัตราการเพิ่มความถี่เอาท์พุตเมื่อต้องการเร่งความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ อัตราการเพิ่มที่ต้องการปรับอยู่ในรูปของเวลาที่ใช้เพิ่มความถี่จาก 0.0 Hz จนถึง 120.0 Hz โดยสามารถปรับตั้งค่าได้ในช่วง 0.4 วินาที ถึง 100 วินาที และสามารถเพิ่ม/ลดได้ขั้นละ 0.4 วินาที การปรับตั้งค่ามีลักษณะดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.2 (ข)

- PR03 (Ramp-down time) เป็นพารามิเตอร์สำหรับปรับตั้งค่าอัตราการลดความถี่เอาท์พุต เมื่อต้องการหน่วงความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ อัตราการเพิ่มที่ต้องการปรับอยู่ในรูปของเวลาที่ใช้ลดความถี่จาก 120.0 Hz จนถึง 0.0 Hz โดยสามารถปรับตั้งค่าได้ในช่วง 0.4 วินาที ถึง 100 วินาที และสามารถเพิ่ม/ลดได้ขั้นละ 0.4 วินาที การปรับตั้งค่ามีลักษณะดังในรูปที่ 4.2 (ค)
- PR04 (Frequency control mode) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เลือกแหล่งการอ่านค่าความถี่อ้างอิง Fref ระหว่าง โพเทนชิโอมิเตอร์ VR1 กับชุดปุ่มกด
- PR05 (Stop mode) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เลือกวิธีการหยุดการขับเคลื่อนมอเตอร์ เมื่อได้รับคำสั่ง Stop จากผู้ใช้ระบบโดยสามารถเลือกได้สองโหมดคือ โหมดลดค่าความถี่เอาท์พุตจนความถี่เป็นศูนย์ (Ramp-down mode) และโหมดระงับการทำงานชุดอินเวอร์เตอร์ (Inhibit mode)
- PR06 (Minimum Frequency) เป็นพารามิเตอร์สำหรับปรับตั้งค่าความถี่ต่ำสุดเมื่อระบบอยู่ในสถานะ Run โดยสามารถปรับตั้งค่าได้ในช่วง 0.5 Hz จนถึง 120.0 Hz (แต่จะต้องไม่เกินค่าความถี่สูงสุดที่ตั้งไว้ใน PR07) และสามารถเพิ่ม/ลดได้ขั้นละ 0.5 Hz การปรับตั้งค่ามีลักษณะดังในรูปที่ 4.2 (ง)
- PR07 (Maximum Frequency) เป็นพารามิเตอร์สำหรับปรับตั้งค่าความถี่สูงสุดเมื่อระบบอยู่ในสถานะ Run โดยสามารถปรับตั้งค่าได้ในช่วง 0.5 Hz จนถึง 120.0 Hz (แต่จะต้องไม่ต่ำกว่าค่าความถี่ต่ำสุดที่ตั้งไว้ใน PR06) และสามารถเพิ่ม/ลดได้ขั้นละ 0.5 Hz การปรับตั้งค่ามีลักษณะดังในรูปที่ 4.2 (จ)
- PR08 (Digital set-point frequency) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับปรับตั้งค่าความถี่อ้างอิง Fref เมื่อเลือกโหมดการควบคุมความถี่ด้วยชุดปุ่มกด (ที่ PR04) โดยสามารถปรับตั้งค่าได้จากค่าความถี่ต่ำสุดที่ตั้งไว้ใน PR06 จนถึงความถี่สูงสุดที่ตั้งค่าไว้ใน PR07 และสามารถ เพิ่ม/ลดได้ขั้นละ 0.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับตั้งค่าความถี่ต่ำสุด (ที่ PR06) และความถี่สูงสุด (ที่ PR07) นั้น จะมีผลต่อค่าความถี่อ้างอิง Fref ที่อ่านค่าจาก VR1 ด้วย ตาราง 4.1 เป็นการสรุป พิสัยและความละเอียดในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1

พิสัยและความละเอียดในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์

หมายเลขพารามิเตอร์	ชื่อพารามิเตอร์	พิสัยการตั้งค่า	ความละเอียดการตั้งค่า
PR00	System status	-	-
PR01	Voltage boost	0.0 % - 20.0 %	0.4 %
PR02	Ramp-up time	0.4 - 100.0 sec	0.4 sec
PR03	Ramp-down time	0.4 - 100.0 sec	0.4 sec
PR04	Freq control mode	000 - potentioneter	-
		001 - keypad	
PR05	Stop mode	000 - ramp down	-
		001 - inhibit	
PR06	Minimum freq.	0.5 - 120.0 Hz	0.5 Hz
PR07	Maximum freq.	0.5 - 120.0 Hz	0.5 Hz
PR08	Digital set-point freq.	0.5 - 120.0 Hz	0.5 Hz

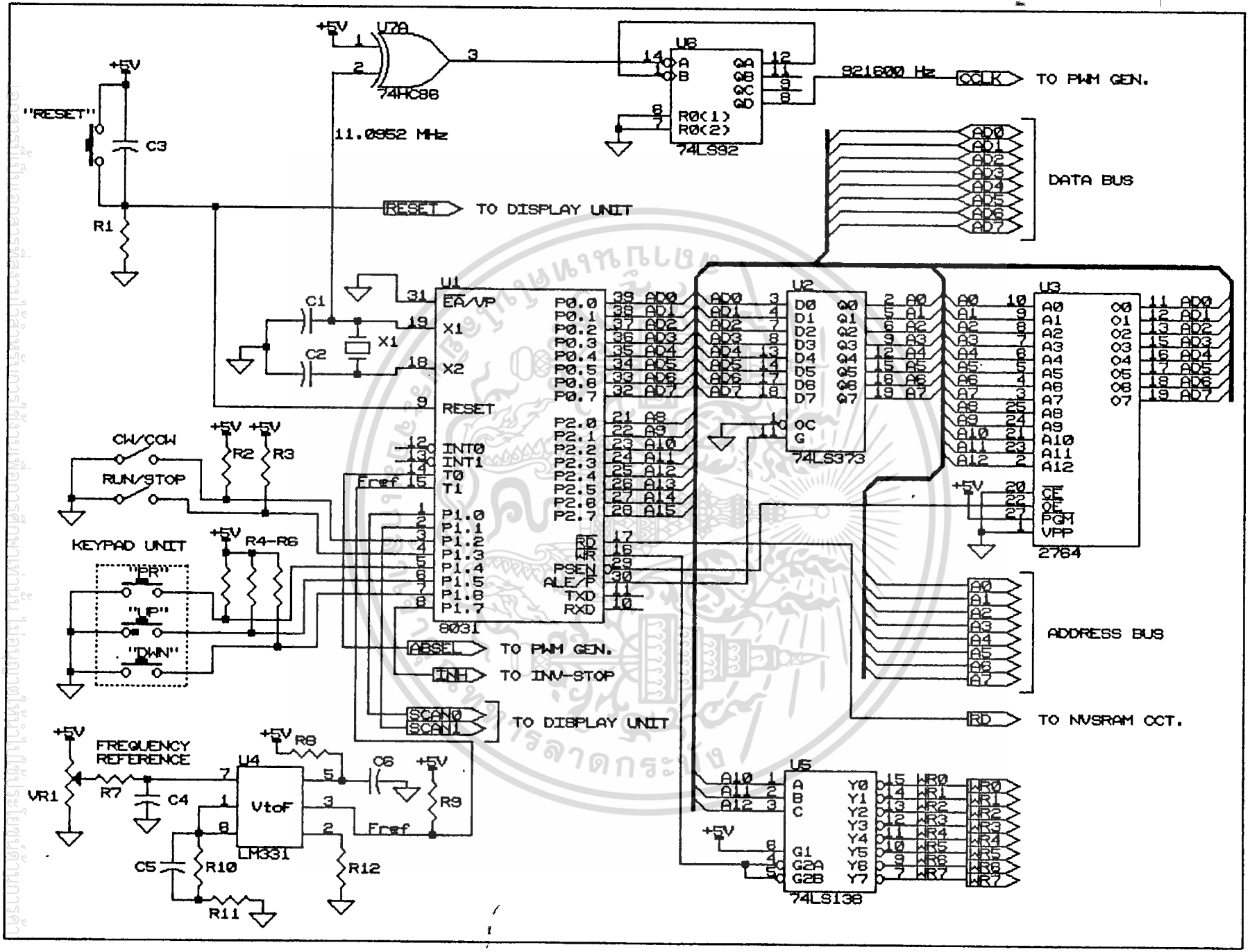
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ลักษณะทางฮาร์ดแวร์ของชุดควบคุม

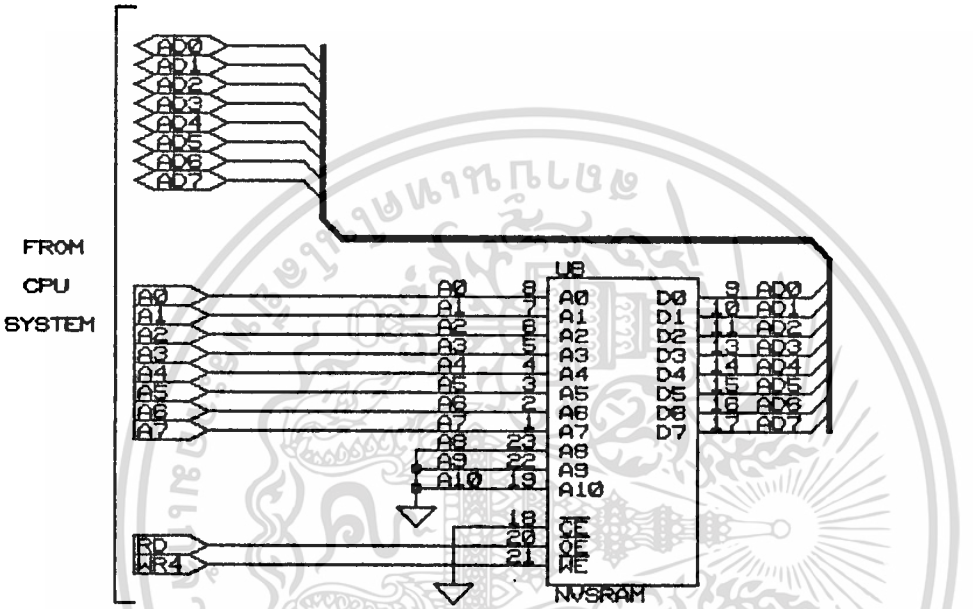
จากโครงสร้างของชุดควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4.1 สามารถนำมาเขียนรายละเอียดทางฮาร์ดแวร์ดังในรูปที่ 4.3 ระบบซีพียูซึ่งอยู่บนฐานของไมโครโปรเซสเซอร์ 8031 (รูปที่ 4.3 (ก)) ใช้เป็นศูนย์ควบคุมการทำงานของระบบโดยเป้าหมายการทำงานถูกกำหนดด้วยซอฟท์แวร์ สัญญาณอินพุตต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปตรรก สามารถป้อนเข้าสู่พอร์ทของ 8031ได้โดยตรง สำหรับสัญญาณความถี่อ้างอิง Fref ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกในรูปแรงดัน จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของพัลส์ความถี่ โดยใช้ไอซี U4 เป็นหลัก แล้วป้อนเข้าสู่ตัวนับภายในทางขา T1 ของ 8031 พิสัยของพัลส์ความถี่ถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 0-20 KHz รูปที่ 4.3 (ข) แสดงการเชื่อมต่อ NVSRAM เข้ากับระบบซีพียู NVSRAM นี้ใช้เป็นแหล่งเก็บค่าพารามิเตอร์ PRO1 ถึง PRO8 ซึ่งถูกตั้งค่าให้เหมาะกับโหลดของระบบขับเคลื่อนโดยผู้ใช้ระบบเพื่อจะได้ไม่ต้องทำการตั้งค่าใหม่ทุกครั้งที่มีการเริ่มใช้งานหรือมีการรีเซ็ตระบบ

ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม เป็นส่วนฮาร์ดแวร์ที่สำคัญมากส่วนหนึ่งของชุดควบคุม โดยทำงานร่วมกับซอฟท์แวร์อย่างใกล้ชิด จากรูปที่ 4.3 (ค) ตัวนับภายในไอซี U9 (8253) คือตัวนับ #0, ตัวนับ #1,และตัวนับ #2 ถูกตั้งโปรแกรมให้ทำงานในโหมด 1 (Programmable one-shot) ทั้งหมด และถูกกำหนดให้รับข้อมูลความกว้างพัลส์จากระบบซีพียู คือค่า β, $\beta + \alpha_2$,และ $\beta + \alpha_1$ ตามลำดับ ส่วนเวกเตอร์ไฟล์ A และ B ใช้เป็นตัวกลางในการเก็บชุดเวกเตอร์แรงดันชั่วคราว ก่อนจะนำไปสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม และจะถูกสับเปลี่ยนกันใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนชุดเวกเตอร์แรงดันใหม่ในขณะเปลี่ยนช่วงมุมของมุมเฟส θ_r หลักการคำนวณค่า β, $\alpha 2$,และ $\alpha 1$ และการเลือกชุดเวกเตอร์แรงดันสำหรับแต่ละช่วงมุมได้อธิบายเอาไว้ในบทที่ 2และนำมาสร้างในรูปซอฟท์แวร์โดยสับรูทีน PWM-SUB ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป สำหรับการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มในแต่ละช่วงมุม ΔT เริ่มต้นที่ระบบซีพียูส่งสัญญาณ WR6 มากระตุ้นการนับของไอซี U9 โดยสัญญาณ WR6 นี้จะถูกส่งมากระตุ้นในทุก ๆ ช่วงคาบการสุ่ม ΔT เอาท์พุตของตัวนับทั้งสามของไอซี U9 จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรเข้ารหัส (Encoder) แล้วนำผลการเข้ารหัสคือสัญญาณ RA และ RB ไปอ่านข้อมูลเวกเตอร์แรงดันในเวกเตอร์ไฟล์ (A หรือ B) ที่ถูกเลือกไว้ ผลของการอ่านจะมีลักษณะของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มความต้องการ รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะสัญญาณต่างๆ โดยสมมุติว่าค่ามุมเฟส θ_r อยู่ในช่วงมุมที่ 1 (0-60 องศา) และในระหว่างการอ่านสัญญาณเอาท์พุตนี้ระบบซีพียูจะทำการประมวลผลเพื่อนำข้อมูลมาสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มสำหรับช่วงคาบการสุ่มถัดไป

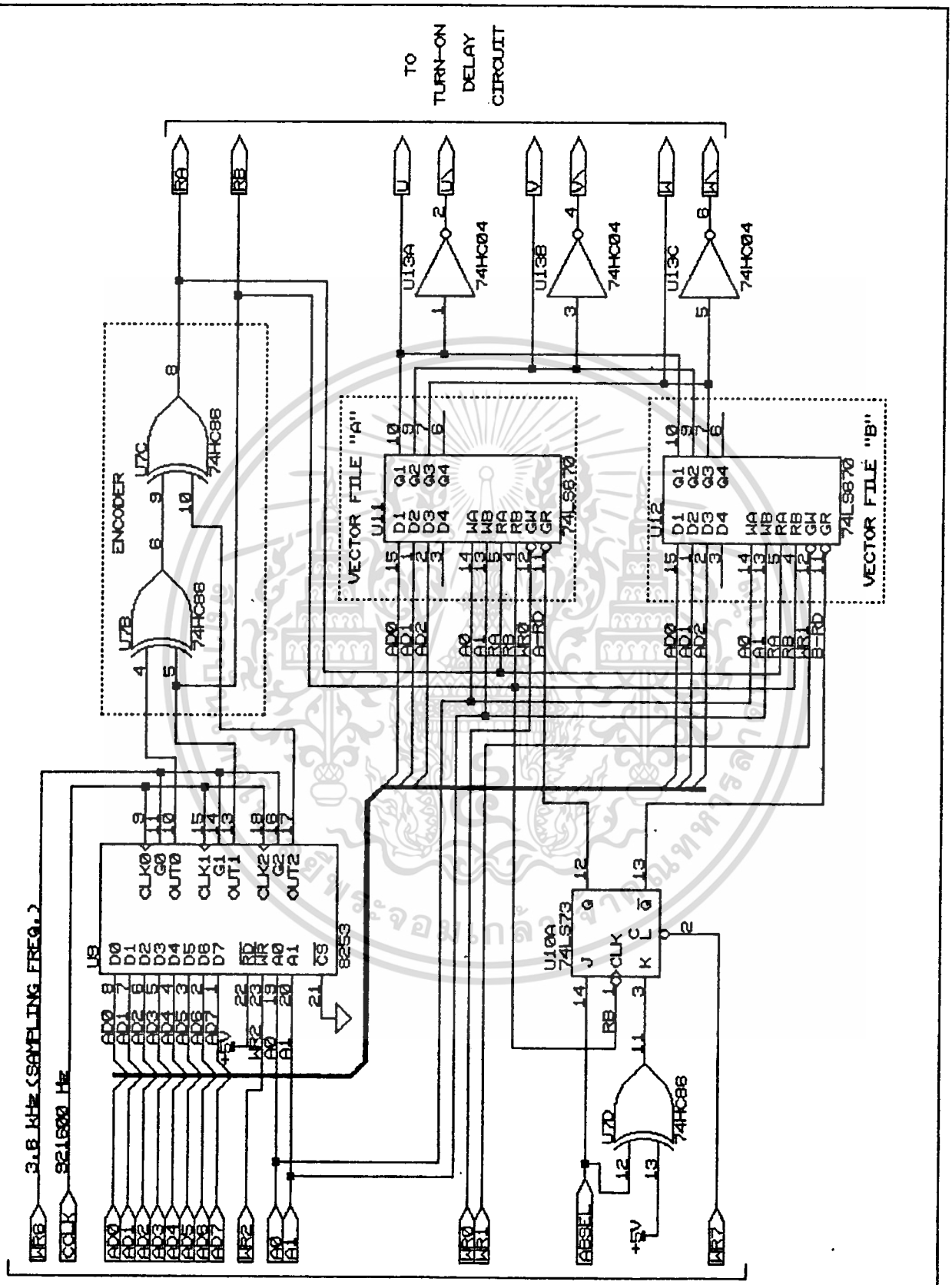
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รายละเอียดทางฮาร์ดแวร์ของชุดควบคุม (ก) ระบบซีพียูและส่วนอินพุต

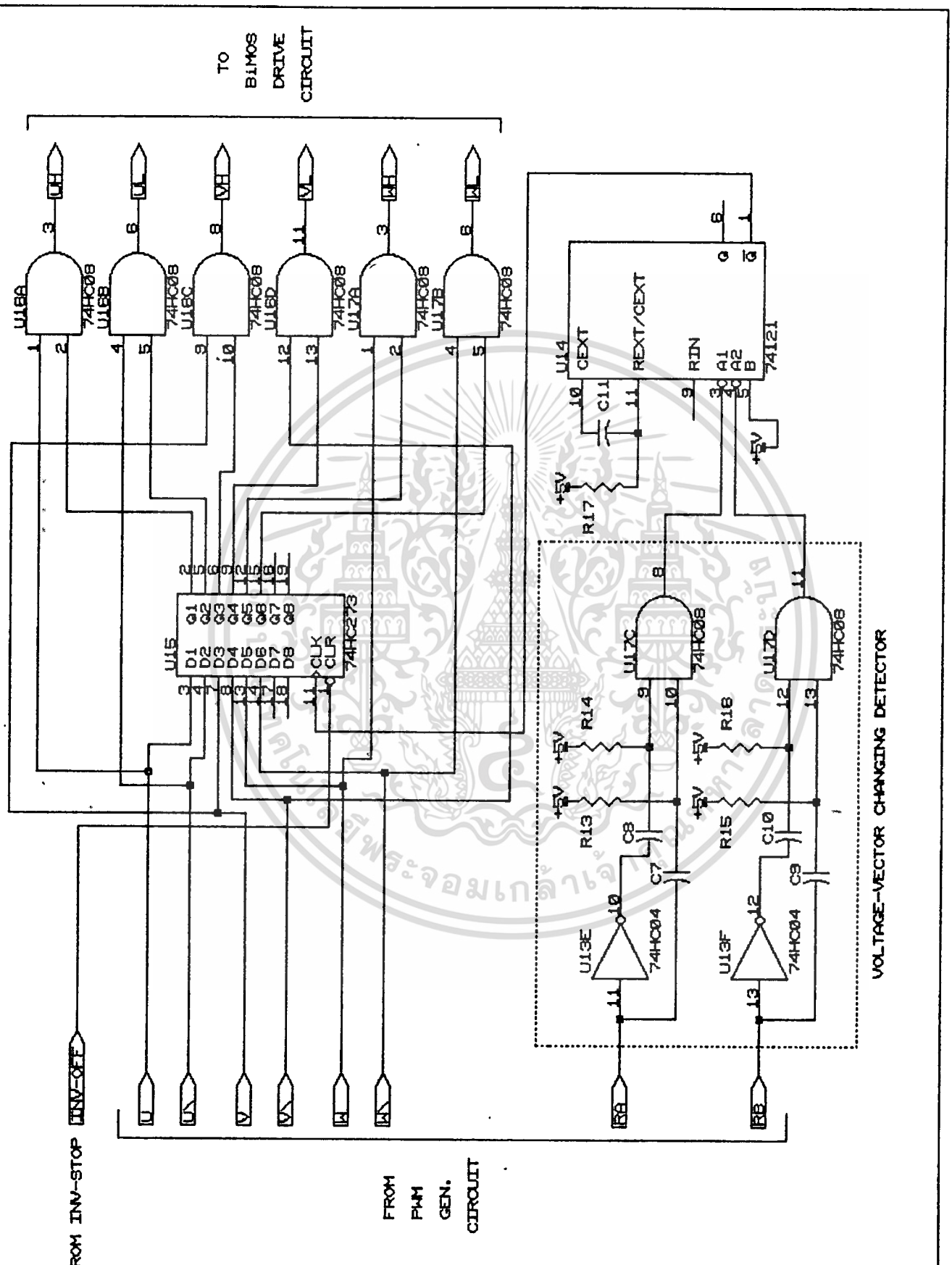


รูปที่ 4.3 (ข) แสดงการต่อ NVSRAM เข้ากับระบบซีพียู



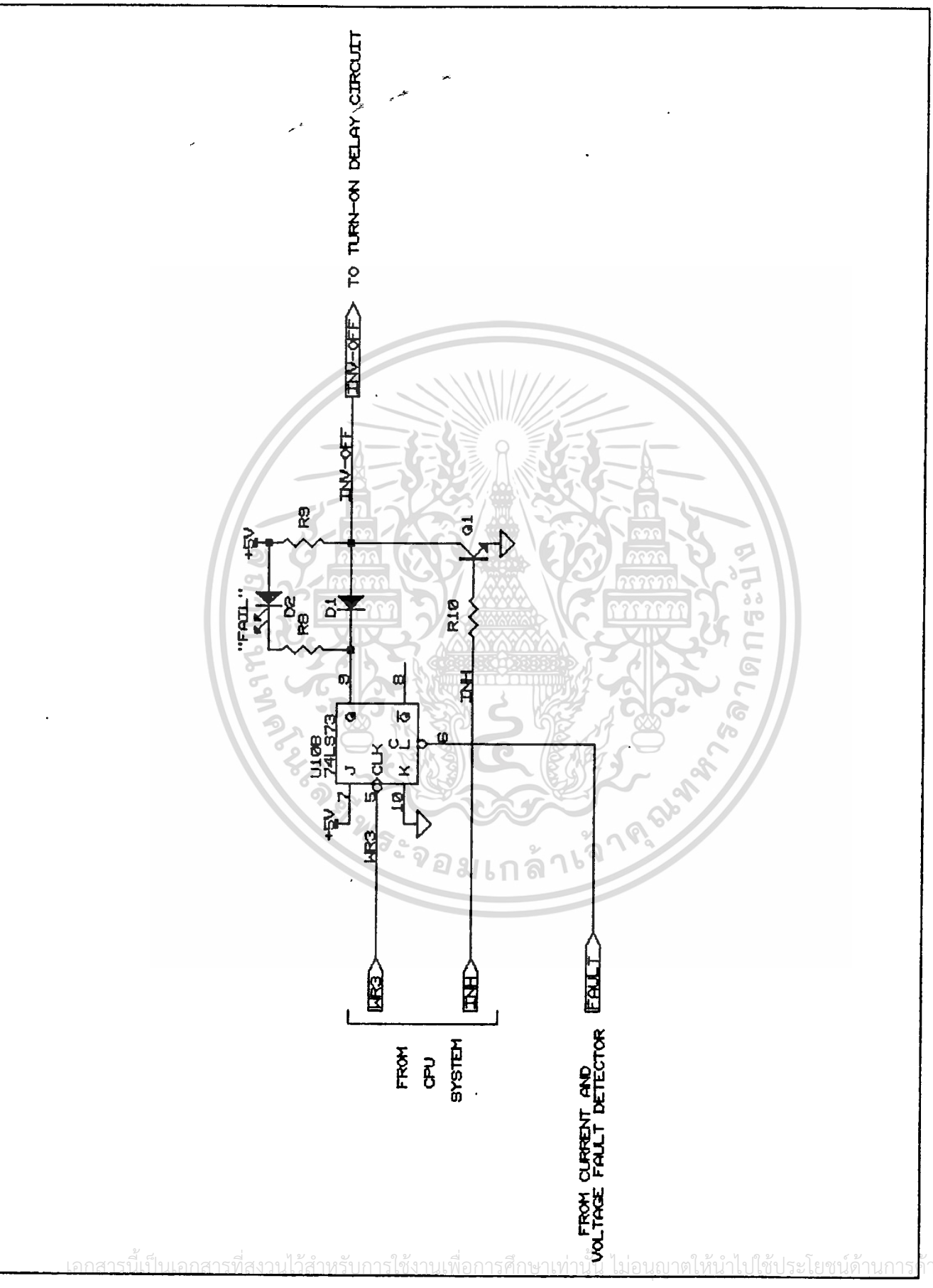
รูปที่ 4.3 (ค) ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



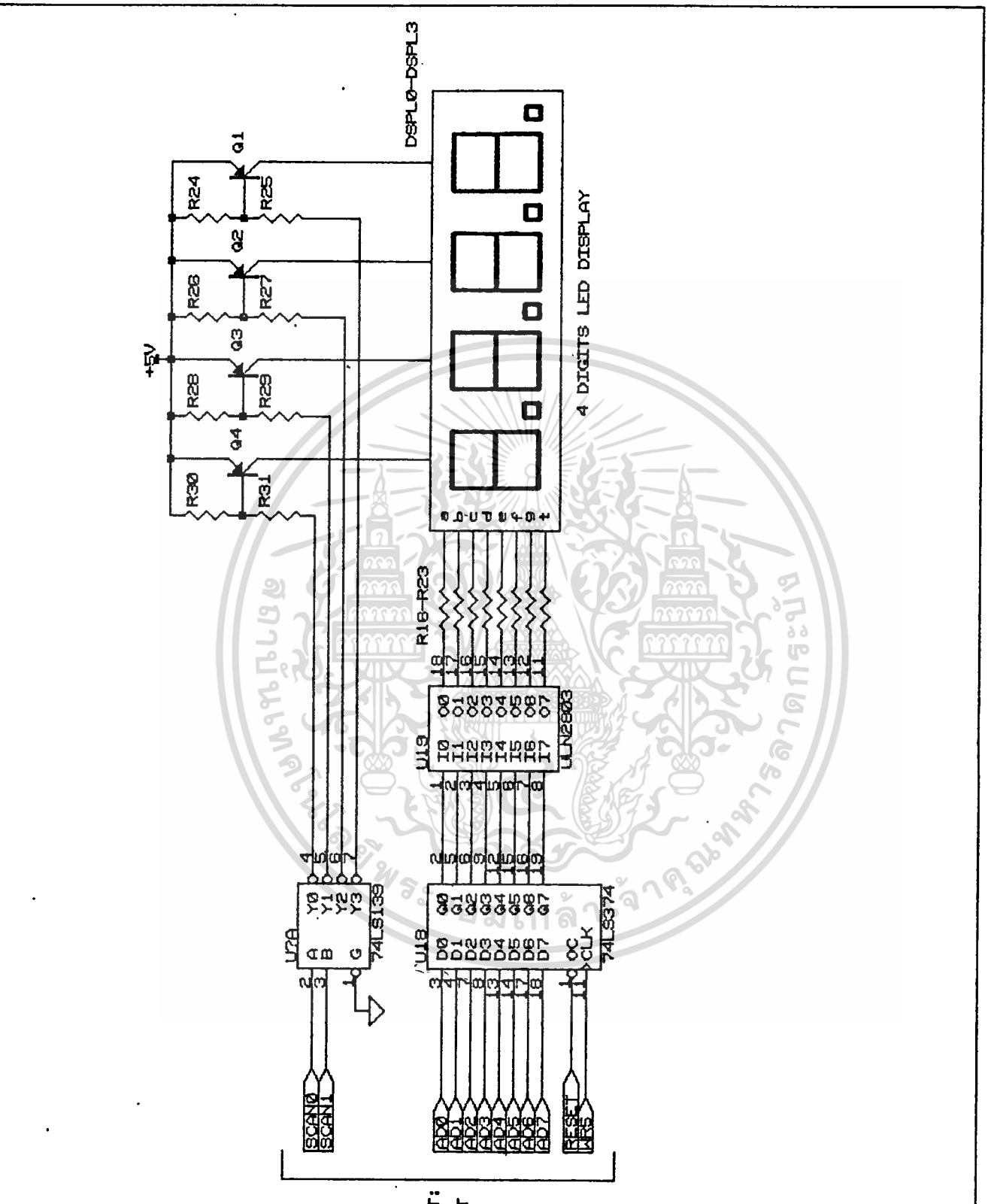
รูปที่ 4.3 (ง) ส่วนวงจรหน่วงเวลาและสวิทช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



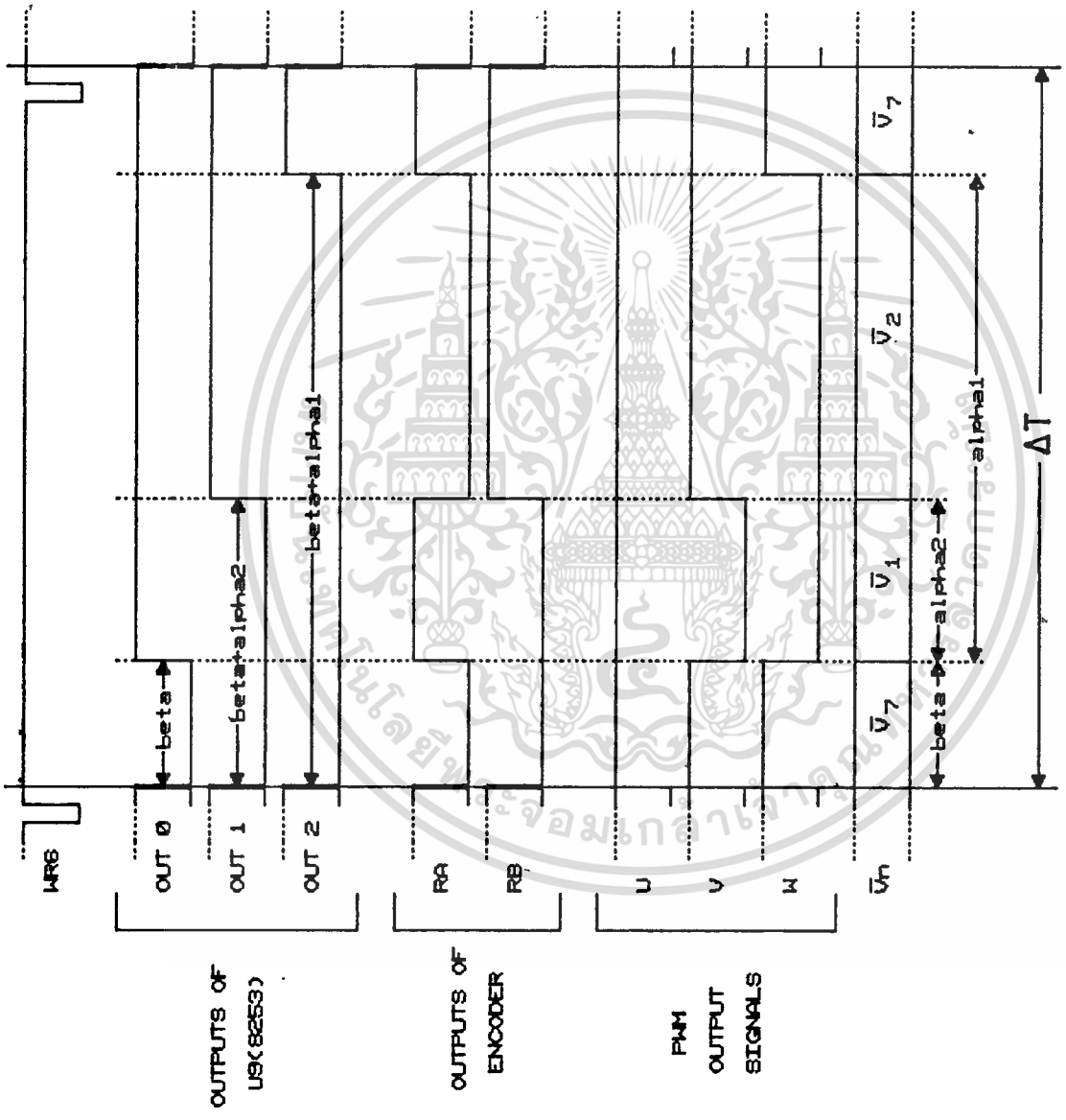
รูปที่ 4.3 (ง) ส่วนวงจรหยุดการทำงานชุดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ฉ) ส่วนวงจรขับแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะสัญญาณที่จุดต่างๆในส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

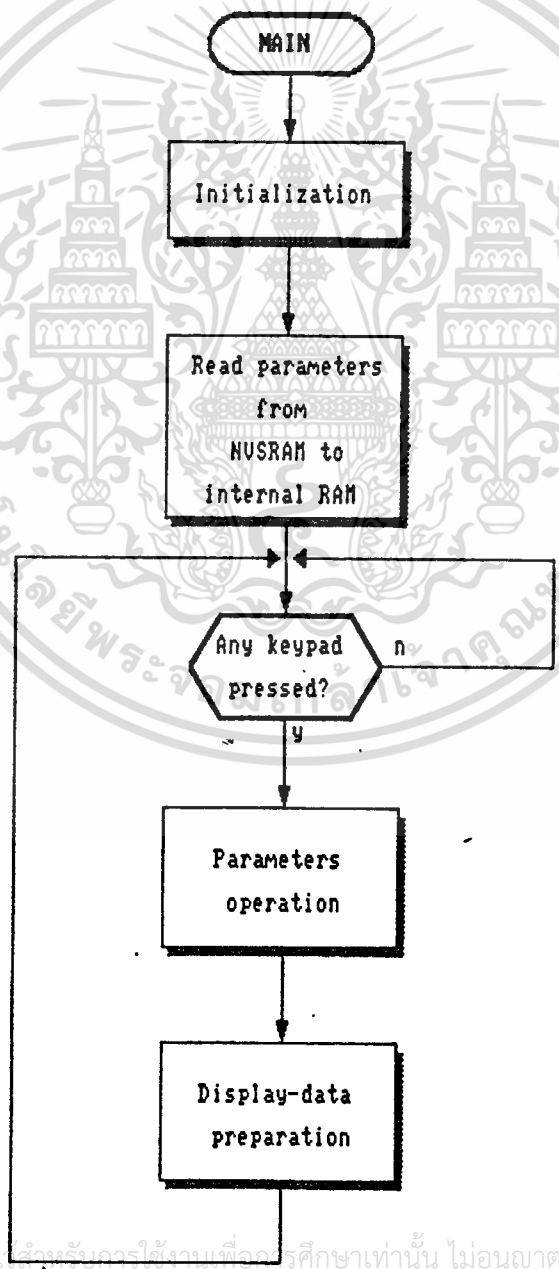
รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มนี้ ยังไม่สามารถนำไปขับสวิทช์กำลังได้ โดยจะต้องนำมาผ่านกระบวนการหน่วงเวลาที่ขอบขาขึ้นเสียก่อนเพื่อป้องกันการลัดวงจรในบัสไปตรง ช่วงเวลาที่ถูกหน่วงนี้ จะต้องมากกว่าช่วงเวลาที่ใช้ในการหยุดนำกระแสของตัวสวิทช์กำลังเพื่อให้ชุดอินเวอร์เตอร์ทำงานได้อย่างปลอดภัย วงจรที่ใช้สร้างเวลาหน่วงมีลักษณะดังในรูปที่ 4.3 (ง) วงจรนี้ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยตรวจจับที่สัญญาณ RA และ RB (สัญญาณเหล่านี้ใช้ในการอ่านข้อมูลเวกเตอร์แรงดันในวงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม) และช่วงเวลาที่ถูกหน่วงกำหนดโดยค่า R17 และ C11ในส่วนวงจรโมโนสเตเบิ้ล (U14) การหยุดนำกระแสสวิทช์กำลังทั้งหมดอย่างทันทีทันใดสามารถทำได้ที่วงจรนี้เช่นกัน เมื่อสัญญาณ INV-OFF ถูกบังคับให้มีสถานะ "0"โดยแสดงเป็นวงจรดังในรูปที่ 4.3 (จ) ซึ่งเกิดขึ้นได้ในสองกรณี กรณีแรกเมื่อระบบซีพียูบังคับให้สัญญาณ INH มีสถานะ "1" (เกิดขึ้นเมื่อระบบซีพียูได้รับคำสั่ง Stop เมื่อค่าใน PR04 เป็น 001) และกรณีหลังเมื่อมีสัญญาณ FAULT จากชุดตรวจจับกระแสและแรงดันผิดปกติ สัญญาณนี้จะถูกคงสถานะ (latch) ด้วยไอซี U10B และบังคับให้ไดโอดเปล่งแสง D2 สว่างขึ้น เพื่อบอกแก่ผู้ใช้ระบบว่ามีสิ่งผิดปกติขึ้นในระบบ การลบล้างสัญญาณ INV-OFF ที่เกิดจากสัญญาณ FAULT นี้ สามารถทำได้เมื่อเริ่มทำการจ่ายไฟใหม่หรือมีการรีเซ็ตระบบเท่านั้น

4.4 ลักษณะทางซอฟท์แวร์ของชุดควบคุม

คุณสมบัติต่าง ๆ ของชุดควบคุมดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.2 นั้น ถูกสร้างขึ้นจากซอฟท์แวร์ของชุดควบคุม นอกจากนี้ ซอฟท์แวร์ยังถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความกว้างพัลส์ α_1 และ α_2 รวมทั้งตำแหน่งพัลส์ β ด้วย โครงสร้างของซอฟท์แวร์ถูกออกแบบให้มีสองส่วนคือ ส่วนโปรแกรมหลัก (Main-program) และส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์ที่กระตุ้นด้วยตัวตั้งเวลา (Timer inturrupt program) ส่วนโปรแกรมหลักมีลักษณะดังโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 4.5 โดยจะเริ่มทำงานเมื่อเริ่มจ่ายไฟเข้าหรือทำการรีเซ็ตระบบ การทำงานเริ่มจากการกำหนดสถานะเริ่มต้นให้กับระบบ (Initialization) จากนั้นจะทำการโหลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆจาก NVSRAM เข้าสู่แรมภายในซีพียูเพื่อให้พร้อมสำหรับการประมวลผลต่อไป การทำงานของส่วนโปรแกรมหลักจะดำเนินต่อไปเมื่อพบว่าการใช้งานชุดปุ่มกด (ตรวจจับโดยสับรูทีน DETECT_SUB ในส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป) โดยเข้าสู่การทำโปรแกรม

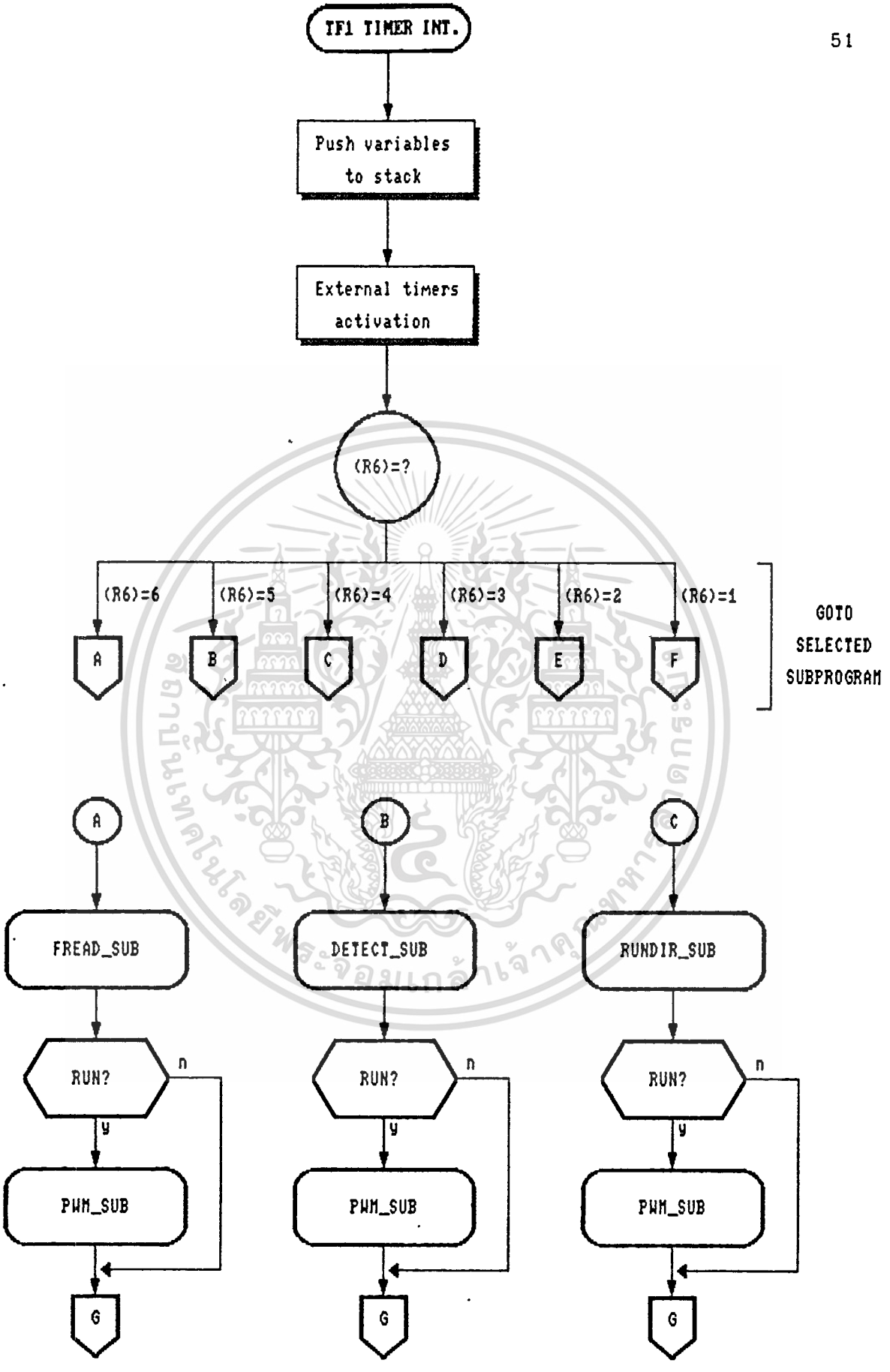
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติการพารามิเตอร์ (Parameter operation) และโปรแกรมจัดเตรียมข้อมูลแสดงผล (Display data preparation) ตามลำดับ โปรแกรมปฏิบัติการพารามิเตอร์นี้เป็นโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการจัดเก็บค่าพารมิเตอร์ลงใน NVSRAM ส่วนโปรแกรมจัดเตรียมข้อมูลแสดงผล ใช้เตรียมข้อมูลสำหรับนำไปแสดงผล (การนำไปแสดงผล จัดการโดยสับรูทีน DSCAN-SUB ในส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป) เพื่อแสดงสถานะของระบบขับเคลื่อนแก่ผู้ใช้ระบบและอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้ระบบ



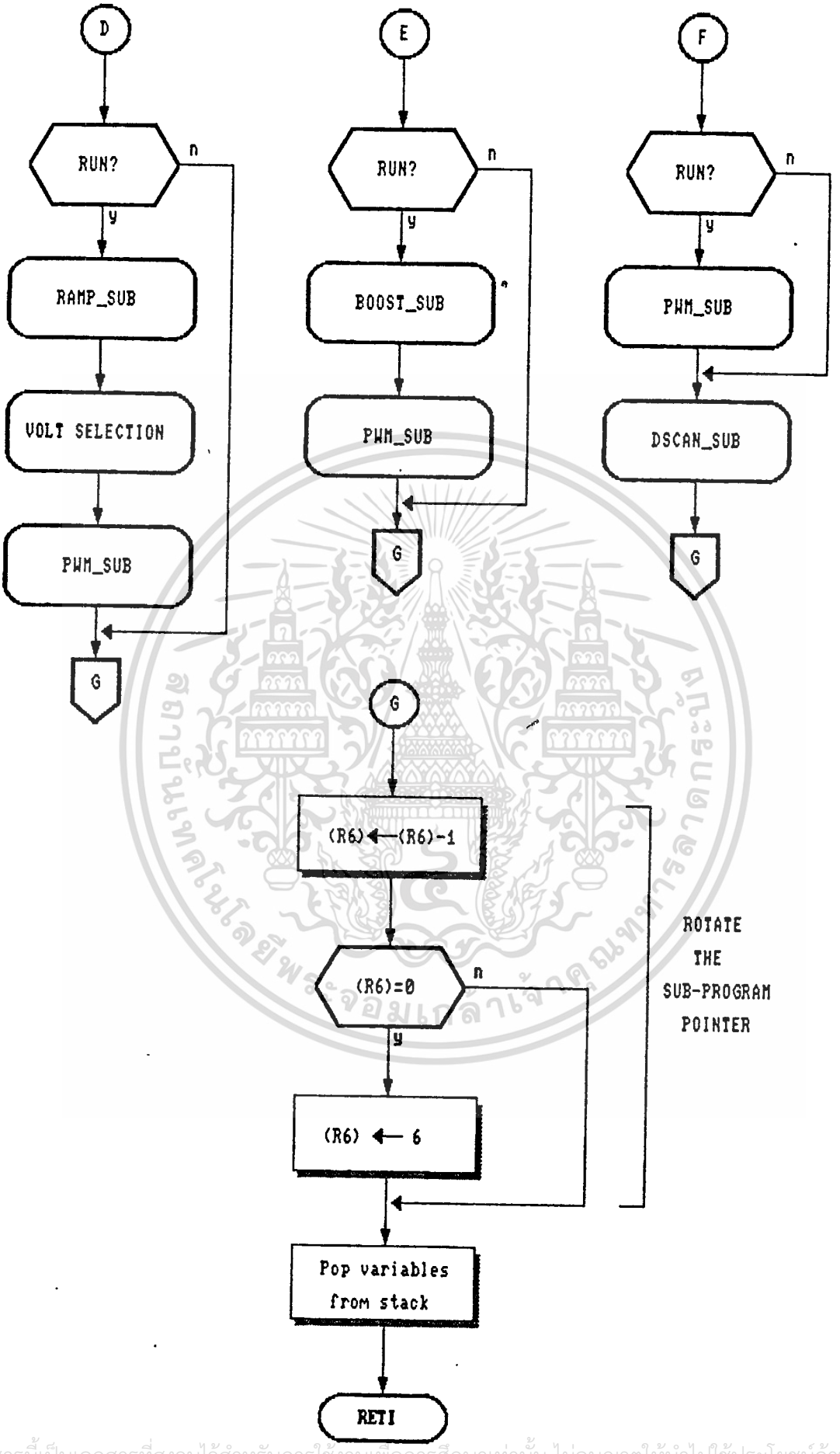
รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ตของส่วนโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



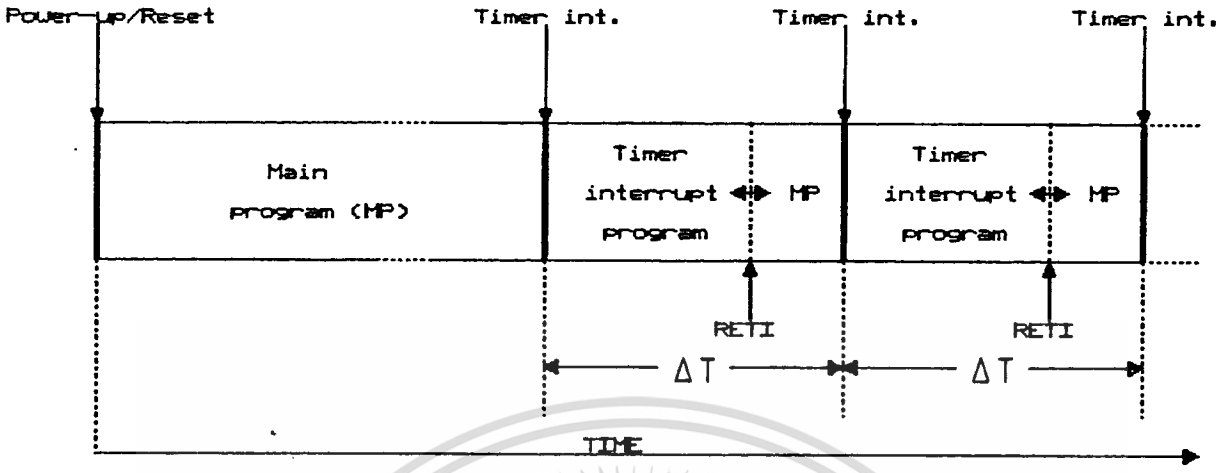
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 โฟลว์ชาร์ตของส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์กระตุ้นด้วยตัวตั้งเวลา



รูปที่ 4.6 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

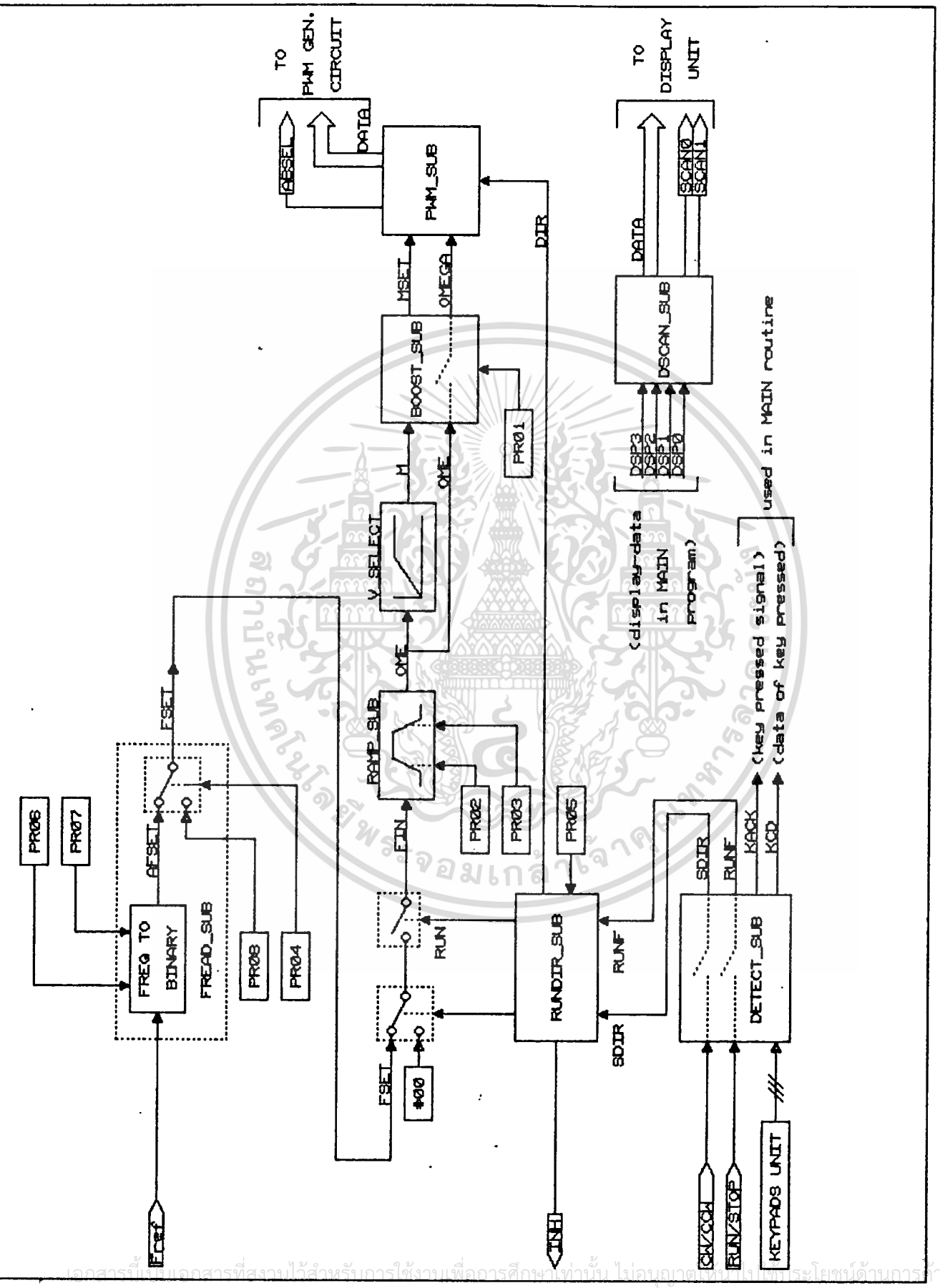


รูปที่ 4.7 แสดงการเข้าทำโปรแกรมของซีพียู

ส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์กระตุ้นด้วยตัวตั้งเวลานั้น มีลักษณะดังโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 4.6 เป็นส่วนโปรแกรมที่ถูกกระตุ้นการทำงานด้วยตัวตั้งเวลาภายในซีพียู ในทุกๆช่วงคาบการสุ่ม ΔT ของการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มและการทำงานจะต้องเสร็จสิ้นภายในช่วงเวลาดังกล่าว รูปที่ 4.7 แสดงการเข้าทำงานของซีพียูในแต่ละส่วนโปรแกรม หน้าที่หลักของส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์คือการควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ให้ดำเนินไปตามความเหมาะสมตามสถานะของสัญญาณอินพุตและค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดไว้โดยผู้ใช้ระบบ เนื่องจากการทำส่วนโปรแกรมนี้มีเวลาจำกัด บางส่วนของส่วนโปรแกรมนี้จึงถูกผลัดเปลี่ยนหมุนเวียนกันทำงานโดยใช้คาบเวลาการเข้าสู่โปรแกรมอินเตอร์รัพท์ (ΔT) เป็นฐานเวลาและใช้รีจิสเตอร์ภายใน (R6) เป็นตัวชี้เส้นทางการเข้าสู่โปรแกรมย่อยของซีพียู ความสัมพันธ์ของสับรูทีนต่างๆของส่วนโปรแกรมนี้สามารถแทนด้วยบล็อกไดอะแกรมดังในรูปที่ 4.8 โดยหน้าที่และการทำงานของสับรูทีนต่างๆภายในส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์มีดังนี้

FREAD_SUB :-เป็นสับรูทีนสำหรับอ่านค่าความถี่อ้างอิง Fref เข้าสู่ซีพียูโดยความถี่อ้างอิงที่ต้องการใช้งานจะถูกเก็บไว้ในตัวแปร FSET การทำงานเริ่มจากการอ่านค่าจำนวนพัลส์จาก TH1 และ TL1 ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ภายในซีพียู ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นตัวนับจำนวนพัลส์จากวงจรแปลงแรงดันสู่ความถี่ภายในช่วงเวลาที่กำหนดค่าที่อ่านมาได้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลไบนารี่ การแปลงนี้จะนำค่าใน PRO6 และ PRO7 มาทำการคำนวณร่วมด้วย ค่าที่ถูกแปลงจะถูกนำมาเก็บไว้ในตัวแปร AFSET ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 โดยแกรมแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณต่างๆในส่วนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะทำการเลือกค่าความถี่ระหว่างค่าใน AFSET กับ ค่าใน PRO8 โดยพิจารณาจากค่าใน PRO4 ค่าที่ถูกเลือกจะถูกนำมาเก็บไว้ในตัวแปร FSET เพื่อรอการนำไปประมวลผลโดยสับรูทีนอื่นต่อไป

DETECT_SUB :- เป็นสับรูทีนที่ใช้ในการตรวจจับสถานะของสัญญาณอินพุตควบคุม RUN/STOP และ CW/CCW เพื่อนำไปประมวลผลในสับรูทีน RUNDIR-SUB ในรูปของสัญญาณ RUNF และ SDIR ตามลำดับ รวมทั้งตรวจสอบการใช้งานและรับรหัสปุ่มกดจากชุดปุ่มกดเพื่อนำไปทำการประมวลผลในส่วนโปรแกรมหลัก

RUNDIR_SUB :- เป็นสับรูทีนที่ใช้ควบคุม การเดิน/หยุดและทิศทางการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยนำสัญญาณ RUNF และ SDIR มาทำการประมวลผล รวมทั้งเลือกวิธีการหยุดการทำงานของระบบขับเคลื่อนระหว่างการลดค่าความถี่เอาท์พุตกับการระงับการทำงานชุดอินเวอร์เตอร์ โดยพิจารณาจากค่าใน PRO5 เพื่อควบคุมสัญญาณ INH ซึ่งถูกส่งไปยังวงจรหยุดการทำงานชุดอินเวอร์เตอร์

RAMP_SUB :- เป็นสับรูทีนที่ควบคุมอัตราการเพิ่ม/ลดความถี่เอาท์พุต เมื่อค่าความถี่เอาท์พุตแตกต่างจากค่าความถี่อ้างอิงโดยการนำค่าใน PRO2 และ PRO3 มาทำการประมวลผล ค่าความถี่เอาท์พุตของสับรูทีนนี้จะถูกเก็บไว้ในตัวแปร OME เพื่อใช้เป็นความถี่อินพุตของสับรูทีน V_SELECT และ BOOST_SUB ต่อไป

V_SELECT :- เป็นสับรูทีนที่ใช้เลือกค่าแรงดัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความถี่ในตัวแปร OME โดยเลือกตามลักษณะแรงดันต่อความถี่คงที่ (V/f constant) เมื่อค่าใน OME มีค่าไม่เกิน 50 Hz และเลือกตามลักษณะแรงดันคงที่ (V constant) เมื่อค่าใน OME มีค่าในช่วง 50-120 Hz ค่าแรงดันเอาท์พุตที่ถูกเลือก จะถูกเก็บไว้ในตัวแปร M เพื่อใช้เป็นแรงดันอินพุตสำหรับสับรูทีน BOOST_SUB ต่อไป

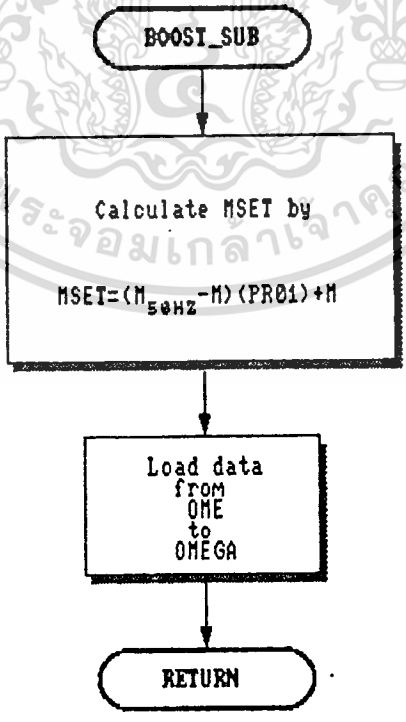
BOOST_SUB :- เป็นสับรูทีนสำหรับเสริมค่าแรงดันที่ความถี่ต่ำ เพื่อชดเชยความสูญเสียจากความต้านทานภายในขดลวด โดยเริ่มจากการนำค่าใน M และ PRO1 มาทำการประมวลผล ผลลัพธ์จะถูกเก็บไว้ในตัวแปร MSET เพื่อเป็นแรงดันอินพุตสำหรับ สับรูทีน PWM-SUB นอกจากนี้สับรูทีนนี้ยังทำหน้าที่เตรียมค่าความถี่อินพุตให้กับสับรูทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PWM-SUB โดยการโหลดค่าจากตัวแปร OME เข้าสู่ตัวแปร OMEGA การทำงานของสับรูทีนนี้มีลักษณะดังโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 4.9

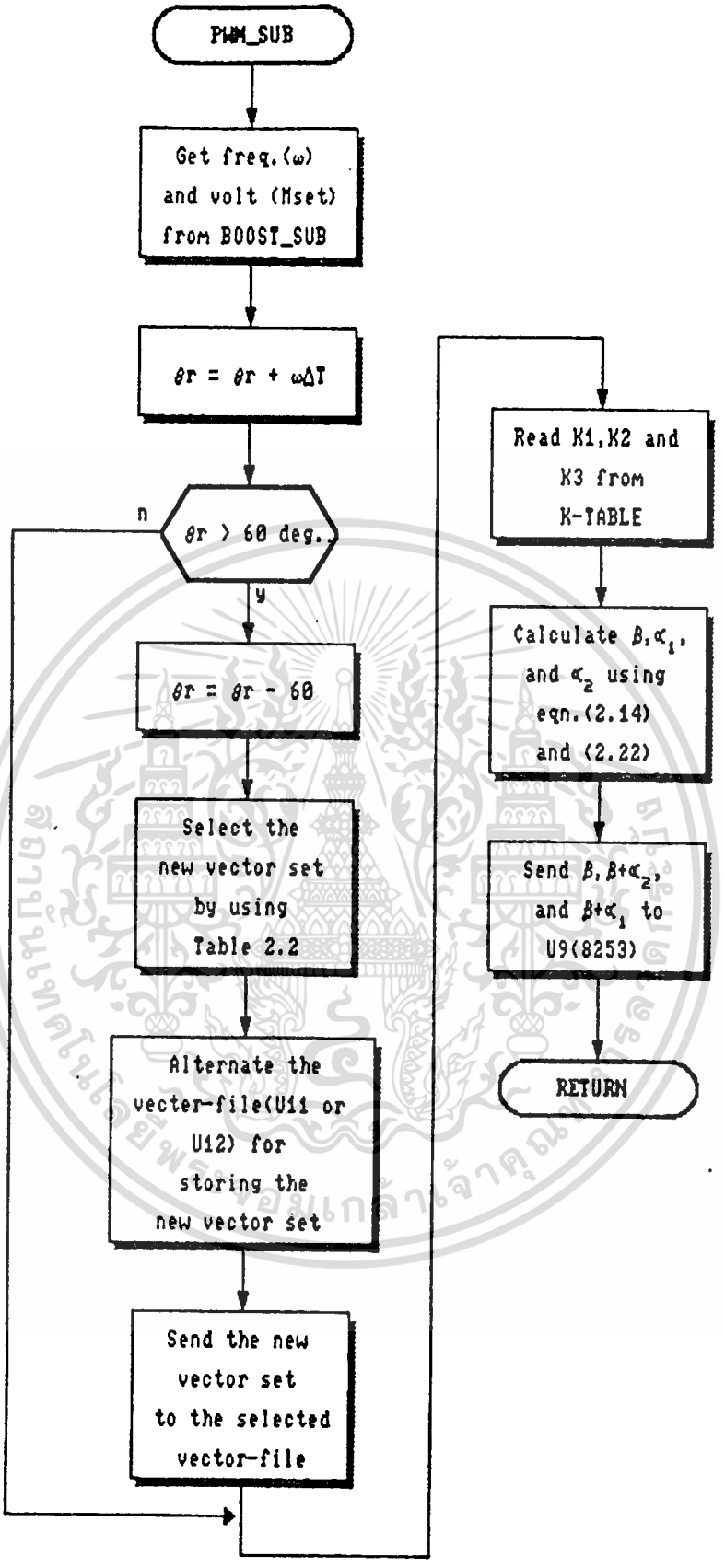
PWM_SUB :-เป็นสับรูทีนที่นำตัวแปร OMEGA และ MSET จาก สับรูทีน BOOST-SUB และสัญญาณ DIR จากสับรูทีน RUNDIR_SUB มาทำการประมวลผล เพื่อคำนวณหาความกว้างพัลส์ α_1 และ α_2 และตำแหน่งพัลส์ β รวมทั้งการเลือกชุดเวกเตอร์แรงดัน แล้วจัดข้อมูลเหล่านี้ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมเพื่อส่งไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม การทำงานของสับรูทีนนี้มีลักษณะดังโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 4.8

DSCAN_SUB :-เป็นสับรูทีนที่มีหน้าที่นำข้อมูลแสดงผลไปทำการแสดงผล ข้อมูลแสดงผลนี้ได้จากการประมวลผลของ โปรแกรมจัดเตรียมข้อมูลแสดงผล ซึ่งอยู่ในส่วนโปรแกรมหลัก การทำงานของสับรูทีนนี้มีลักษณะดังโฟล์วชาร์ตในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 โฟลว์ชาร์ตของสับรูทีน BOOST_SUB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 โฟลว์ชาร์ตของลับรูทีน PWM_SUB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 โฟลว์ชาร์ตของลับรูทีน DSCAN_SUB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการวิจัย

โดยการนำส่วนประกอบต่างๆของระบบขับเคลื่อนที่ได้กล่าวรายละเอียดมาแล้วในบทต่างๆมาสร้างเป็นชุดต้นแบบซึ่งประกอบตามลักษณะไดอะแกรมในรูปที่ 1.1 ชุดต้นแบบที่ทดลองสร้างขึ้นมีลักษณะดังภาพถ่ายในรูปที่ 4.12 ชุดทดสอบถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติบางส่วนของชุดต้นแบบซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำกับตัวกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรซึ่งเพลาทั้งสองเชื่อมต่อกันด้วยสายพานดังภาพถ่ายในรูปที่ 4.13

เมื่อทำการเดินระบบ แล้วทำการตรวจวัดลักษณะรูปคลื่นกระแส, แรงดันไลน์ระหว่างขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำและแรงดันตกคร่อมสวิทช์กำลังที่ความถี่ต่างๆ ผลการวัดแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 - 4.16 ซึ่งจากรูปเหล่านี้จะเห็นว่า

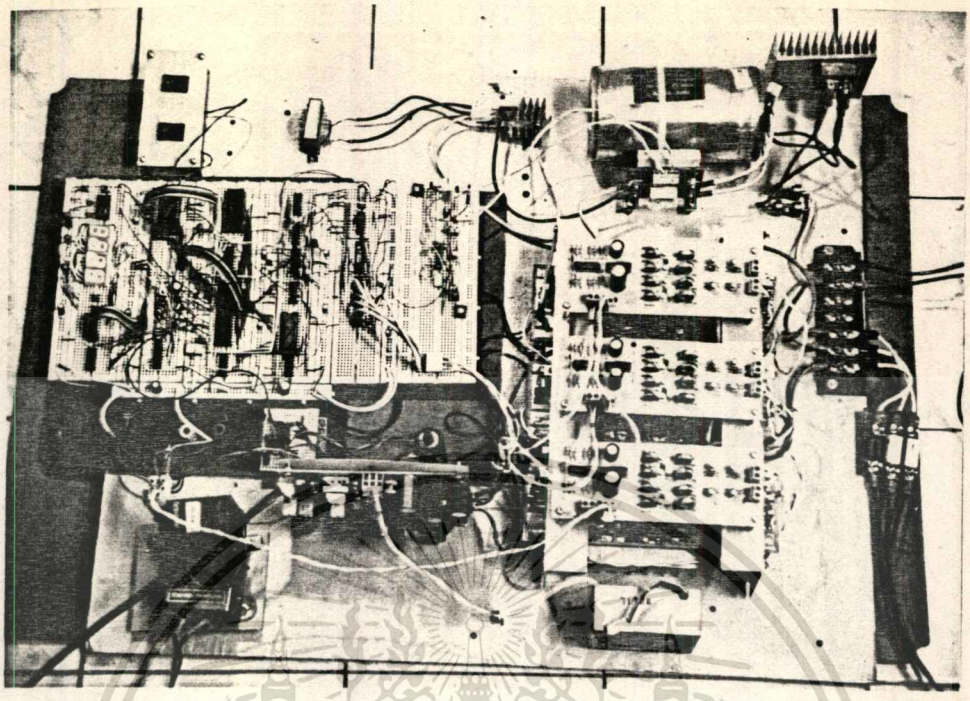
-แรงดันไลน์ระหว่างขั้วของมอเตอร์มีลักษณะเป็นรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม ที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ให้เกิดกระแสที่มีลักษณะใกล้เคียงคลื่นไซน์

-เมื่อพิจารณาแรงดันที่ตกคร่อมสวิทช์กำลังจะพบว่า เกิดช่วงหยุดการสวิทช์ขึ้นสองช่วงในแต่ละคาบความถี่มูลฐาน คือ ช่วงนำกระแสและช่วงหยุดนำกระแส ซึ่งคิดเป็นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์รอบการทำงาน(Duty cycle)ของคาบความถี่มูลฐาน ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มด้วยวิธีการนี้ สามารถช่วยลดการสูญเสียจากการสวิทช์ได้

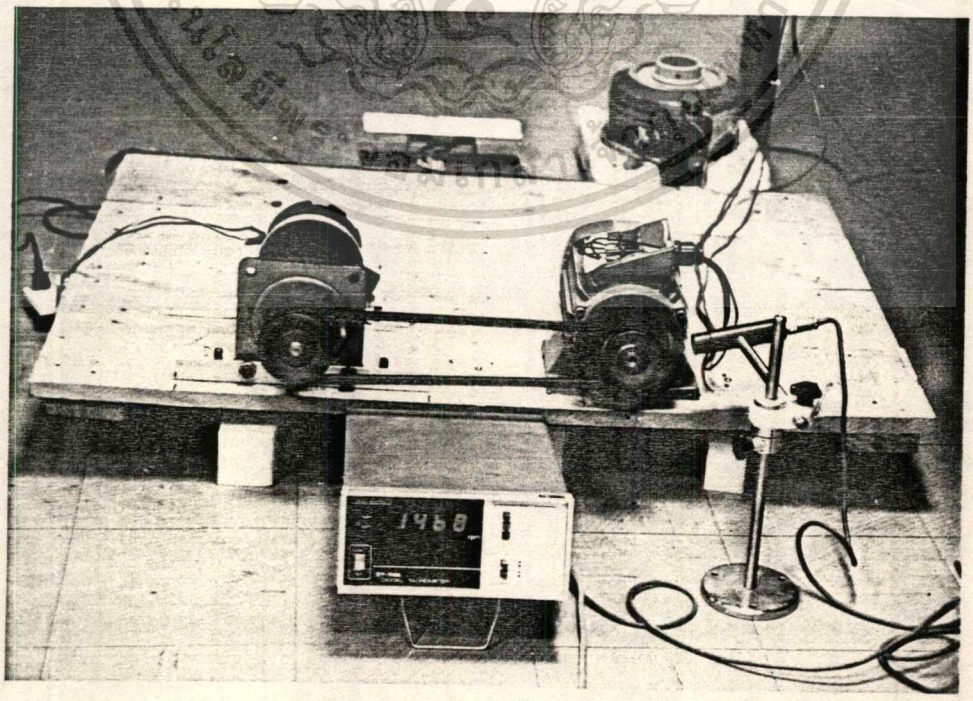
รูปที่ 4.17 - 4.18 แสดงผลของการเสริมแรงดันที่มีต่อกระแสที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจากรูปเหล่านี้จะเห็นว่า การเสริมแรงดันจะทำให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้แรงบิดเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อทำการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของชุดต้นแบบโดยการป้อนความถี่พิกัด (50 Hz) ให้กับชุดทดสอบ และทำการต่อโหลดไฟฟ้าขนาดต่างๆที่เอาท์พุตของตัวกำเนิดไฟฟ้า แล้วทำการวัดกำลังไฟฟ้าทั้งทางด้านอินพุตและเอาท์พุตของชุดต้นแบบ ผลการทดสอบแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

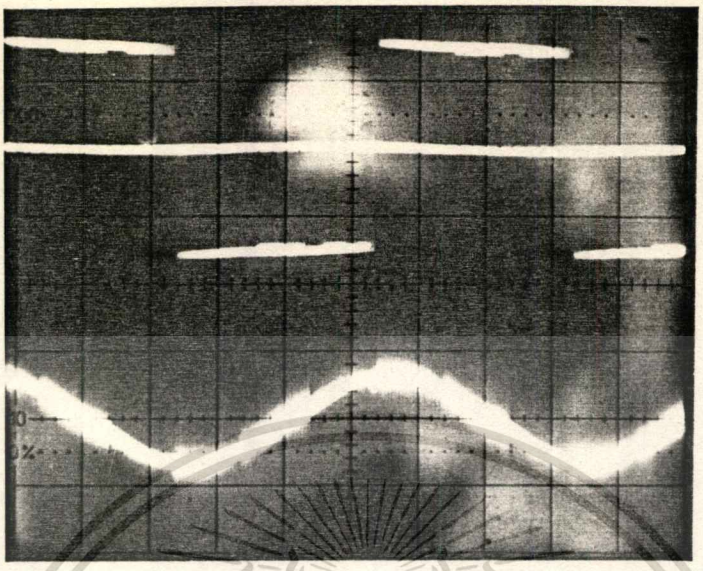


รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายชุดต้นแบบของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

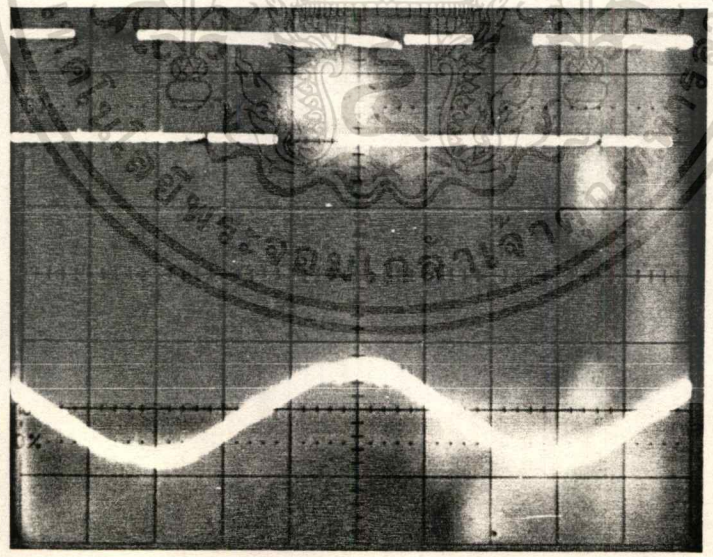


รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายชุดทดสอบระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



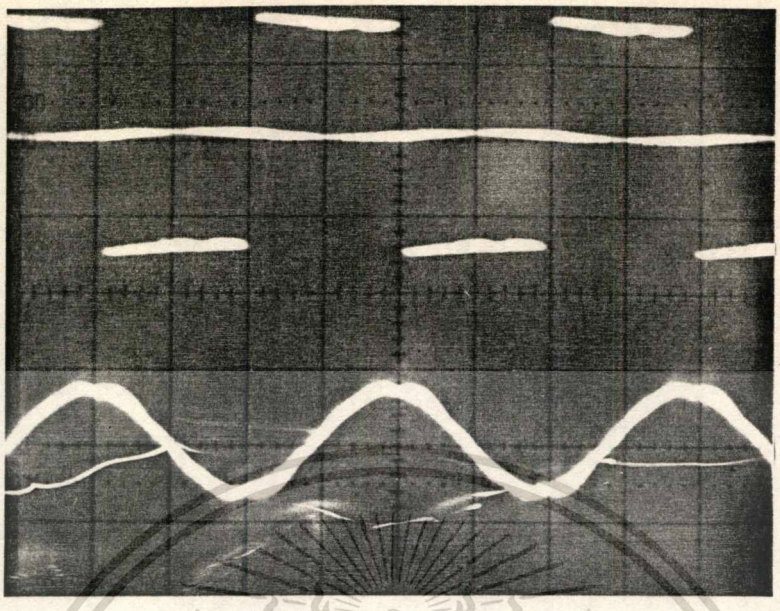
(ก) บนะแรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div), ล่างะกระแสมอเตอร์ (5 A/Div)



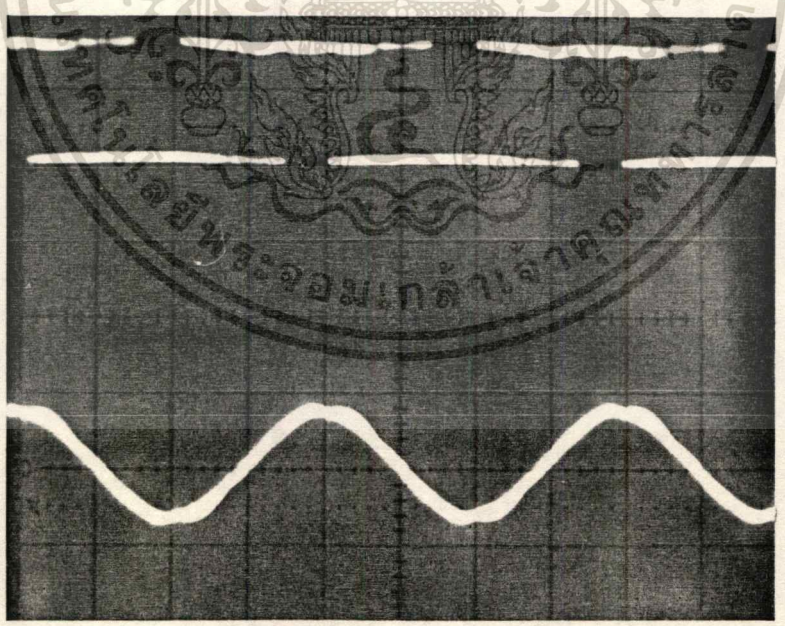
(ข) บนะแรงดันตกคร่อมสวิทช์กำลัง (200 V/Div), ล่างะกระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงรูปคลื่นต่างๆ ที่ความถี่ 33 Hz (แนวระดับ:5 ms/Div)



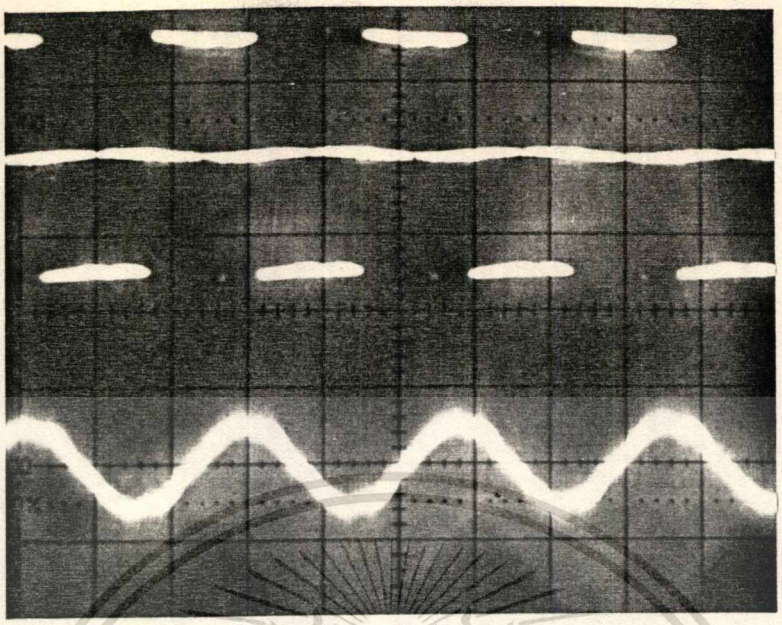
(ก) บน: แรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div), ล่าง: กระแสมอเตอร์ (5 A/Div)



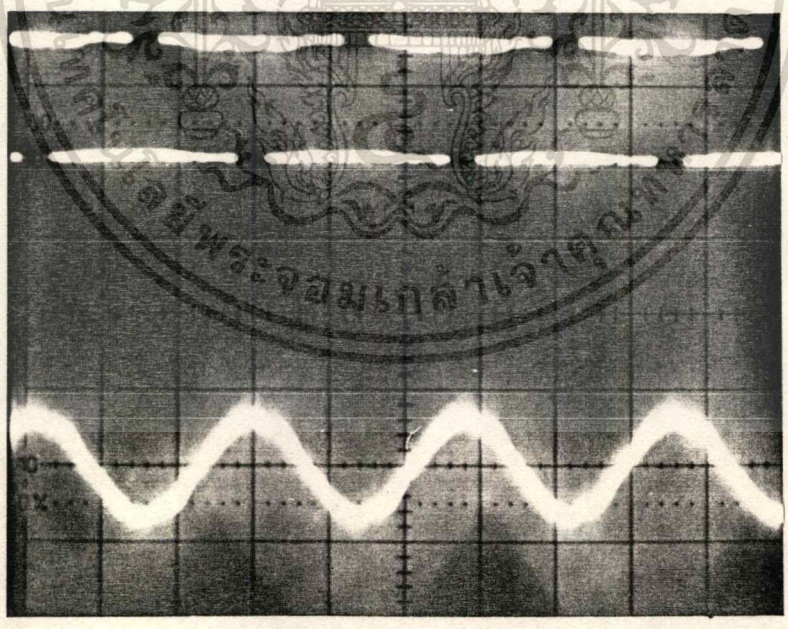
(ข) บน: แรงดันตกคร่อมสวิทช์กำลัง (200 V/Div), ล่าง: กระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

รูปที่ 4.15 แสดงรูปคลื่นต่างๆ ที่ความถี่ 50 Hz (แนวระดับ: 5 ms/Div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



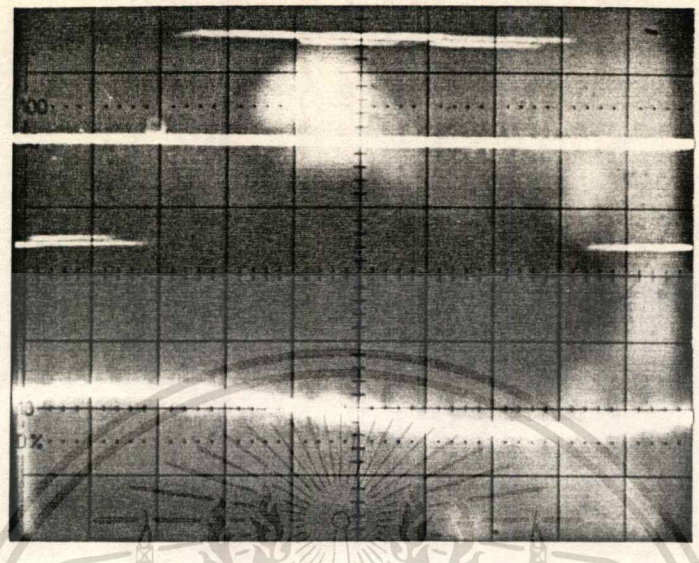
(ก) บนะแรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div), ล่างะกระแสมอเตอร์ (5 A/Div)



(ข) บนะแรงดันตกคร่อมสวิทช์กำลัง (200 V/Div), ล่างะกระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

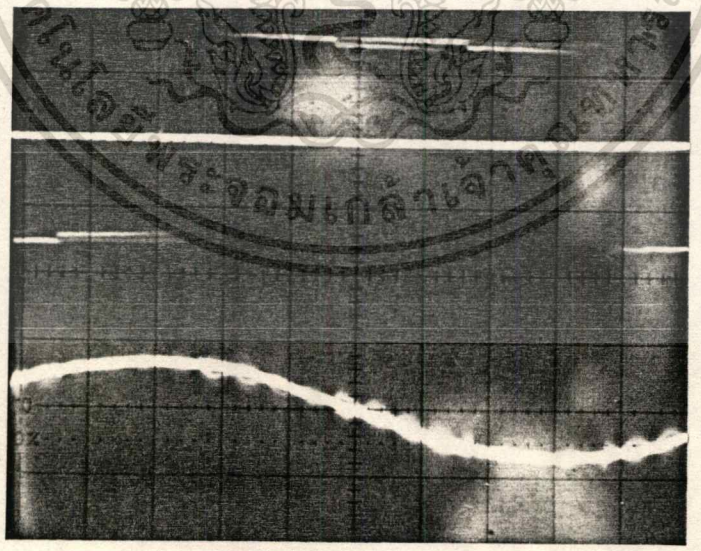
รูปที่ 4.16 แสดงรูปคลื่นต่างๆ ที่ความถี่ 70 Hz (แนวระดับะ 5 ms/Div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Voltage boost = 0 %, บน:แรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div),

ล่าง:กระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

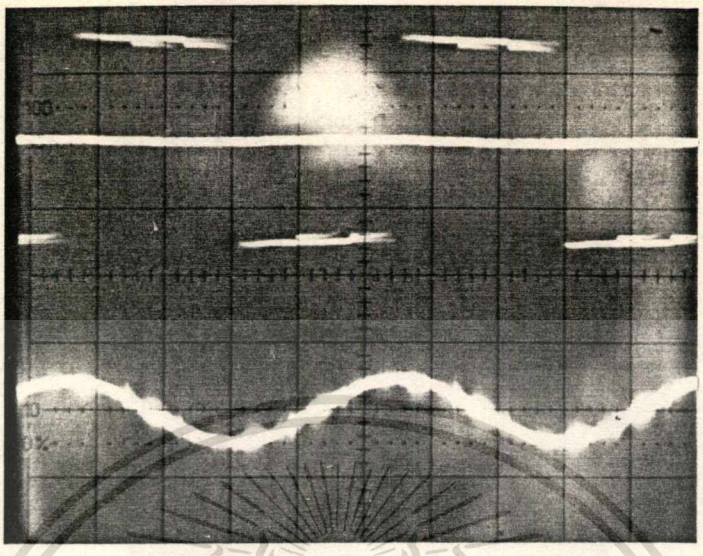


(ข) Voltage boost = 6 %, บน:แรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div),

ล่าง:กระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

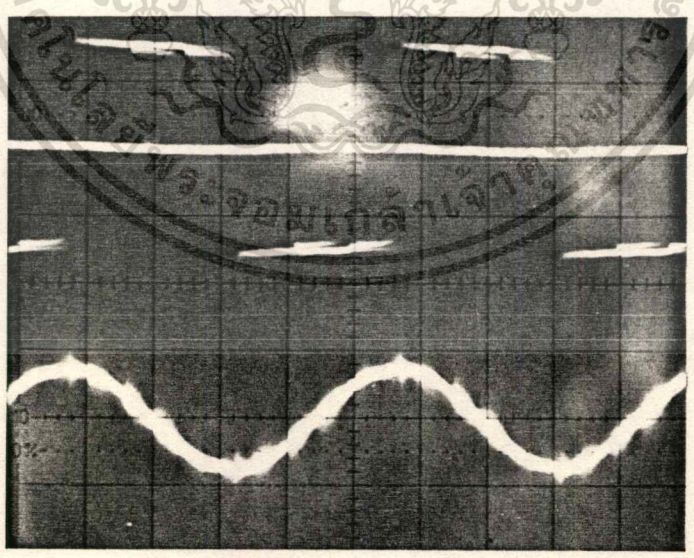
รูปที่ 4.17 แสดงผลของการเสริมแรงดัน ที่ความถี่ 4 Hz (แนวระดับ:20 ms/Div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Voltage boost = 0 %, บน: แรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div)

ล่าง: กระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

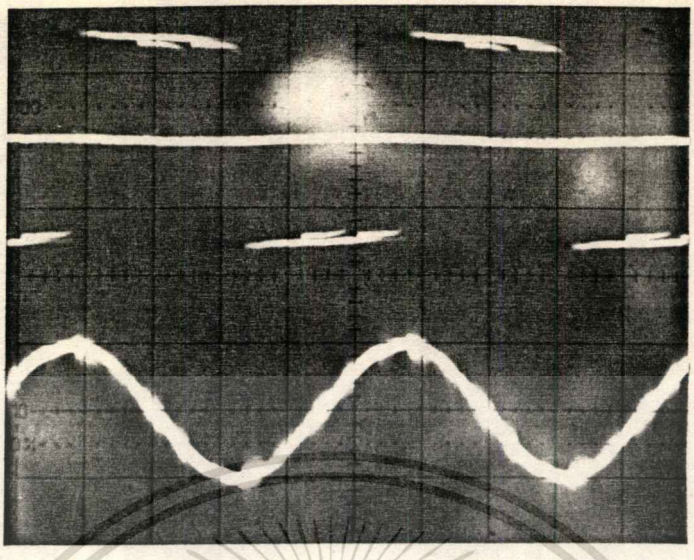


(ข) Voltage boost = 6 %, บน: แรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div)

ล่าง: กระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

รูปที่ 4.18 แสดงผลของการเสริมแรงดัน ที่ความถี่ 10 Hz (แนวระดับ: 20 ms/Div)

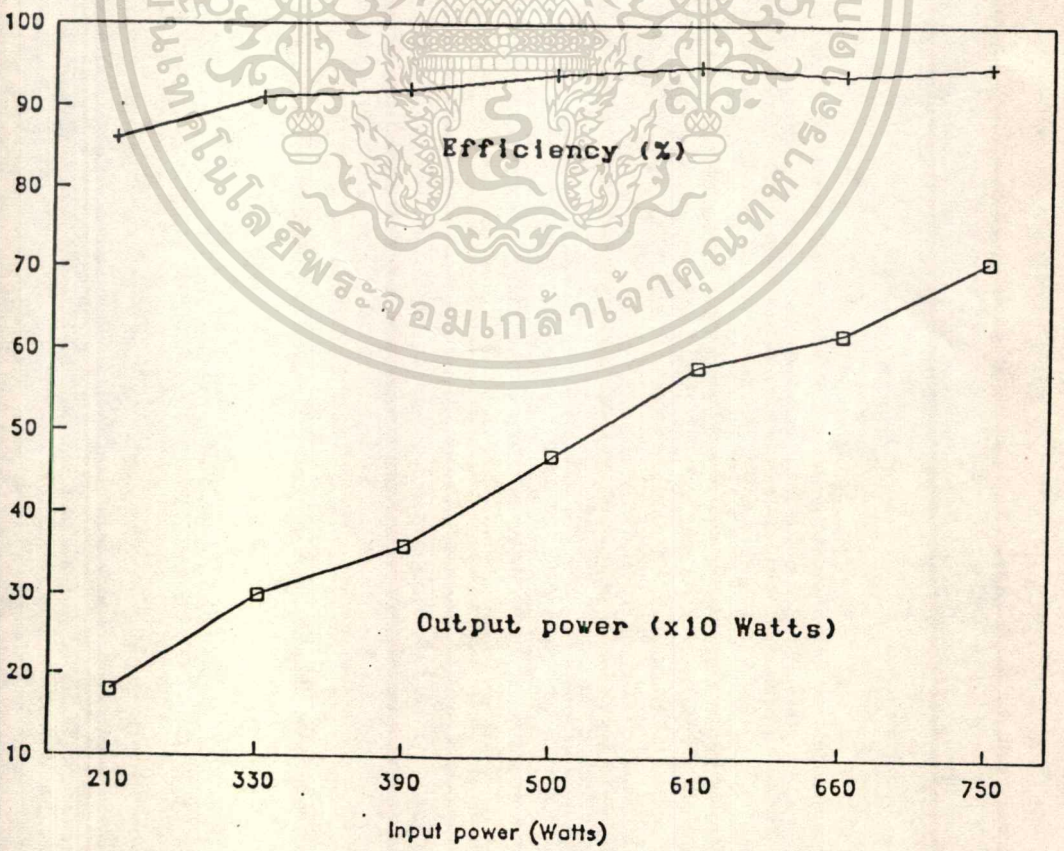
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) Voltage boost = 10 %, บน:แรงดันไลน์ระหว่างขั้ว (200 V/Div)

ล่าง:กระแสมอเตอร์ (5 A/Div)

รูปที่ 4.18 (ต่อ)



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงกำลังเอาท์พุตและประสิทธิภาพเทียบกับกำลังอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดและจากผลการวิจัยที่ได้ทำการทดสอบชุดต้นแบบในหัวข้อที่แล้วพอจะสรุปได้ดังนี้คือ การสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กดังที่กล่าวมาในบทที่ 2 สามารถให้แรงดันสูงสุดได้สูงกว่าวิธีการ SHM ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่ากระแสมอเตอร์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะใกล้เคียงคลื่นไซน์ ซึ่งหมายถึงแรงดันพีดับบลิวเอ็มที่ป้อนให้กับมอเตอร์มีค่าฮาร์โมนิกส์ต่ำและวิธีการนี้สามารถลดจำนวนการสวิทช์ที่เกิดในสวิทช์กำลังได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับวิธีการ SHM ที่ความถี่สุ่มเท่ากัน ซึ่งหมายถึงการสูญเสียจากการสวิทช์ที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าวิธีการ SHM

ลักษณะไบมอสสวิทช์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 นั้นมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างคือ มีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยนะไบแอสกลับเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่และมีความเร็วการสวิทช์ค่อนข้างสูง การนำไบมอสสวิทช์มาประยุกต์ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถจะทำได้แม้ว่าจะมีวิธีการค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนกว่าสวิทช์กำลังทั่วไป ประสิทธิภาพของไบมอสอินเวอร์เตอร์อาจดูได้จากประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนดังที่ได้แสดงใน รูปที่ 4.19 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ไบมอสอินเวอร์เตอร์นี้มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ดี การนำไบมอสสวิทช์มาใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมากกว่าการใช้สวิทช์กำลังแบบอื่น มีผลทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียเวลาในการสร้างวงจร

การสร้างชุดควบคุมโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐาน ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ทำให้ส่วนฮาร์ด-แวร์มีขนาดเล็ก ให้ความคล่องตัวในการดัดแปลงแก้ไขซึ่งดูได้จากความสามารถในการตั้งค่าพารามิเตอร์และยังเหมาะสมกับงานที่มีการคำนวนซับซ้อนเช่นการสร้างรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มเป็นต้น คุณสมบัติต่างๆของชุดควบคุมที่สร้างขึ้นมีดังนี้

- ควบคุมทิศทางการหมุนได้ (โดยผ่านทางสวิทช์ CW/CCW)
- เลือกวิธีการป้อนความถี่อ้างอิงเข้าสู่ชุดควบคุมได้สองวิธีคือ เลือกป้อนจาก โพเทนชิโอมิเตอร์ หรือ จากชุดปุ่มกด
- สามารถปรับค่าความถี่เอาท์พุตได้ ในช่วง 0.5-120 Hz โดยปรับได้ละเอียดขั้นละ 0.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมกับการปรับเปลี่ยนแรงดันระหว่างไลน์ได้ในช่วง 0-214 โวลท์ เมื่อป้อนแรงดันอินพุตให้กับระบบขับเคลื่อนเป็น 220 โวลท์

- สามารถปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ(ตามตารางที่ 4.1)ของระบบขับเคลื่อนได้ตามลักษณะของโหลด
- ทำการป้องกันระบบโดยหยุดการทำงานชุดอินเวอร์เตอร์อย่างทันทีทันใดเมื่อกระแสที่บัสไฟตรงมีค่าเกินปกติ หรือเมื่อแรงดันที่บัสไฟตรงสูงหรือต่ำกว่าปกติ
- เลือกการหยุดหมุนมอเตอร์ได้สองวิธีคือ หยุดโดยการลดความถี่เอาท์พุต หรือหยุดโดยการหยุดการทำงานชุดอินเวอร์เตอร์

อุปสรรคที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ คือการขาดแคลนเครื่องมือวัดและชุดทดสอบที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ผลการทดลองที่ทำขึ้นไม่สามารถแสดงลักษณะของระบบขับเคลื่อนได้อย่างชัดเจนพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] P. C. Sen,"Electric motor drives and control-past,present,and future," IEEE Trans. Ind. Elec., vol. IE-37, no. 6, pp. 562-575, Dec. 1990.

[2] M. Morimoto,S. Sato,K. Sumito, and K. Oshitani,"Single-chip microcomputer control of the inverter by the magnetic flux control PWM method," IEEE Trans. Ind. Elec., vol. IE-36, no. 1, pp. 42-47, Feb. 1989.

[3] S. Fukuda,Y. Iwaji, and H. Hasegawa, "PWM thecnique for inverter with sinusoidal output current," IEEE Trans. Power Elec., vol. 5, no. 1,pp. 54-61, Jan. 1990.

[4] N. Zorbas, and B. A. Neyland,"Derivation of induction motor equivalent circuit using space phasor concepts,"IEEE Trans. Edu.,vol. E-30,no. 2, pp. 90-97, May 1987.

[5] J. Hamman and F. S. van der Merwe,"Voltage harmonics generated by voltage-fed inverters using PWM natural sampling,"IEEE Trans.Power Elec., vol. 3, no. 3, pp. 297-302, July 1988.

[6] H. Y. Zhong, H. P. Messinger, and M. H. Rashid,"A new microcomputer-based direct torque control system for three-phase induction motor," IEEE Trans. Ind. appl., vol. 27, no. 2,pp. 294-298, Mar./April 1991

[7] B. W. Williams,J. K. Goodfellow, and F. V. P. Robinson, "GTO thyristor and bipolar transistor cascode switches,"IEE Proceedings,vol. 137, pt. B, no. 3, pp. 141-153, May 1990.

[8] D. Y. Chen, and B. Jackson, "Turn-off characteristics of power transistors using emitter-open turn-off," IEEE Trans. Aero, Elec. Systems, vol. AES-17, no. 3, pp. 386-390, May 1981.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] P. Bowler, and D. Jones, "An evaluation of the limitations and capabilities of the cascode-connected bimos switch," Sec. Int. Conf. Power Elec. and Variable-speed Drives, pp. 15-19, 24-26 Nov. 1986.

[10] K. S. Rajashekara,J. Vithyathil, and V.Rajagopalan, "Protection and switching-aid networks for transistor bridge inverters," IEEE Trans. Ind. Elec, vol. IE-33, no. 2, pp. 185-192, May 1986.

[11] A. H. Wienberg, and J. Schreuders, "A high-power high-voltage DC-DC converter for space application," IEEE Trans. Power Elec.,vol. PE-1, no. 3, pp. 148-160, July 1986.

[12] C. F. Christiansen,M. I. Valla, and N. H. Martinez, "Wideband driver for power MOSFETs,"Int. J. Elec., vol. 56, no. 3, pp. 429-431,1984.

[13] Murphy, J.M.D., and F. G. Turnbull, Power Electronic Control of AC motors, Oxford: Pergamon Press, 1988.

[14] Intel Microcontroller Handbook, 1985.

[15] Bose, B.K., Power Electronics and AC Drives, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall,1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ส่วนโปรแกรมสำหรับชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;--------------------------;
;  DEFINED BYTE VARIABLE  ;
;--------------------------;
;
HRF             EQU     020H
DSTAT           EQU     03AH
PSTAT           EQU     022H
PSET            EQU     023H
OMEGA           EQU     030H
M               EQU     031H
LTHETA          EQU     032H
HTHETA          EQU     033H
BUFFER          EQU     034H
VL              EQU     035H
BETA            EQU     037H
ALPH1           EQU     038H
ALPH2           EQU     039H
DSP0            EQU     040H
DSP1            EQU     041H
DSP2            EQU     042H
DSP3            EQU     043H
SCAN            EQU     025H
FIN             EQU     045H
FSET            EQU     046H
BSET            EQU     051H
RUP             EQU     052H
RDWN            EQU     053H
FCMOD           EQU     054H
STPMOD          EQU     055H
FMN             EQU     056H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FMX             EQU     057H
DFSET           EQU     058H
AFSET           EQU     059H
KCD             EQU     026H
KRD             EQU     03CH
KCT             EQU     03DH
KSMP            EQU     04EH
PDSP0           EQU     060H
PDSP1           EQU     061H
PDSP2           EQU     062H
PDSP3           EQU     063H
CON             EQU     047H
VERT            EQU     048H
CONVERT         EQU     049H
QUAT            EQU     04AH
DCD             EQU     04BH
ROMAIN          EQU     064H
ROINT           EQU     065H
FRD             EQU     066H
STUP            EQU     068H
STDWN           EQU     069H
DSMP            EQU     06AH
PNO             EQU     06BH
MBUF            EQU     06CH
HIM             EQU     06DH
MSET            EQU     06EH
K1              EQU     071H
K2              EQU     072H
K3              EQU     073H
OME             EQU     074H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CNTH            EQU     075H
CNTL            EQU     076H
FSMP            EQU     077H
;----------------------;
;  DEFINED BIT FLAGS   ;
;----------------------;
SCAN0           EQU     090H    ;Def P1.0
SCAN1           EQU     091H    ;Def P1.1
FR              EQU     092H    ;Def P1.2
RST             EQU     093H    ;Def P1.3
PR              EQU     094H    ;Def P1.4
UP              EQU     095H    ;Def P1.5
DOWN            EQU     096H    ;Def P1.6
INH0            EQU     097H    ;Def P1.7
FLT0            EQU     0B0H    ;Def P3.0 (RX PIN)
VFSEL           EQU     0B4H    ;Def P3.4 (T0 PIN)
RACK            EQU     010H    ;Def bit address
MDAT            EQU     011H    ;of PSTAT
DIR             EQU     012H    ;
PRDY            EQU     013H    ;
PCHK            EQU     014H    ;
DSPEN           EQU     015H    ;
DIX             EQU     016H    ;
KACK            EQU     017H    ;
RUNF            EQU     018H    ;Def bit address
STPF            EQU     019H    ;of PSET
SDIR            EQU     01AH    ;
FCF             EQU     01BH    ;
RMPF            EQU     01CH    ;
KENF            EQU     01DH    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FCONT           EQU     01EH
;---------------------------------;
;       END OF DEFINITION         ;
;---------------------------------;
;===============;
;               ;
;  MAIN START   ;
;               ;
;===============;
ORG 0000H
        LJMP INIT
;=========;
;  MAIN   ;
;=========;
ORG 0040H
INIT:   CLR VFSEL               ;Select the vector file "A"
        MOV DPTR,#1C00H         ;for beginning.
        MOVX @DPTR,A            ;
        ;
        CLR RMPF
        CLR A
        ;
        MOV CNTH,A              ;Init the pulse counter.
        MOV CNTL,A              ;
        ;
        MOV DPTR,#0000H         ;Clr data in the vector
        MOVX @DPTR,A            ;file "A".
        INC DPL                 ;
        MOVX @DPTR,A            ;
        INC DPL                 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOVX @DPTR,A                    ;
INC DPL                         ;
MOVX @DPTR,A                    ;
;
MOV DPTR,#0C00H                 ;Reset fault latch.
MOVX @DPTR,A                    ;
;
MOV DCD,#01H
MOV ROINT,#043H
MOV R6,#06H                     ;Define R6 to be subprogram
                                ;selector.
MOV OMEGA,A
MOV OME,A
MOV FIN,A
MOV HRF,A
;
MOV LTHETA,A                    ;Init the phase angle.
MOV HTHETA,#010H                ;
;
MOV PSTAT,A                     ;Init the parameter status.
MOV PSET,A
MOV DSTAT,A                     ;Init display status.
MOV VL,A
SETB DSPEN                      ;Enable display unit
CLR FCONT
MOV KSMP,#0AH
MOV SCAN,#03H
MOV RO,#043H
MOV A,#07H
MOV KCD,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          MOV KRD,A
          MOV KCT,A
          MOV FSMP,#10H              ;Sampling value of V/F
INIT8253: MOV A,#00010010B
          MOV DPTR,#0803H
          MOVX @DPTR,A
          MOV A,#01010010B
          MOVX @DPTR,A
          MOV A,#10010010B
          MOVX @DPTR,A
          CLR A
          MOV DPTR,#0800H
          MOVX @DPTR,A
          INC DPL
          MOVX @DPTR,A
          INC DPL
          MOVX @DPTR,A
INITSFR:  MOV TMOD,#01010011B        ;Def T1 to be 16 bit freq.
                                     ;counter for counting freq.
                                     ;from V/F.
          ORL IP,#00001000B          ;Set T1 INT. to be
                                     ;higher piority interrupt.
          ORL IE,#10001000B          ;Enable flag TR1 for overflow
                                     ;interrupt.
          ;
           ACALL PREAD_SUB           ;Read para.s from NVSRAM to
                                     ;internal RAM

          ORL TCON,#01000000B        ;Start freq. counter (TIMER 0)
                                     ;and interrupt timer (TIMER 1).
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
KPRESS:     JNB KACK,KPRESS
            ;
             ACALL PARA_SUB              ;Call subroutine
                                         ;  PARAMETER OPERATION
             ACALL DSPLY_SUB             ;Call subroutine
                                         ;  DISPLAY-DATA PREPARATION
            SJMP KPRESS
            ;-------------------------
            ;-----------------;
            ;  END OF MAIN   ;
            ;-----------------;
            ;=================================;
            ;                                 ;
            ;  START OF  TF1 INTERRUPTION   ;
            ;                                 ;
            ;=================================;
ORG 001BH
            LJMP T1_INT
            ;====================;
            ;  TF1 INTERRUPTION  ;
            ;====================;
ORG 0100H
T1_INT:     PUSH ACC
            PUSH PSW
            PUSH B
            PUSH DPL
            PUSH DPH
            MOV ROMAIN,R0
            MOV R0,R0INT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ;-----------------------------------
EXACT:          MOV DPTR,#1800H
                MOVX @DPTR,A
                ;-----------------------------------
PPTR:           MOV A,R6
                RL A
                MOV DPTR,#PROCDN
                JMP @A+DPTR
PROCDN:         NOP
                NOP
                AJMP PROCD1
                AJMP PROCD2
                AJMP PROCD3
                AJMP PROCD4
                AJMP PROCD5
                AJMP PROCD6

                ;-----------------------------------
PROCD6:            ACALL FREAD_SUB
                ;----------------------
                JNB RACK,ROTR6
                ;----------------------
                   ACALL PWM_SUB
                ;----------------------
                SJMP ROTR6
                ;-----------------------------------
PROCD5:            ACALL DETECT_SUB
                ;----------------------
                JNB RACK,ROTR6
                ;----------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ACALL PWM_SUB
                ;----------------------
                SJMP ROTR6
                ;----------------------------------
PROCD4:         ACALL RUNDIR_SUB
                ;----------------------
                JNB RACK,ROTR6
                ;----------------------
                ACALL PWM_SUB
                ;----------------------
                SJMP ROTR6
                ;----------------------------------
PROCD3:         JNB RACK,ROTR6
                ;----------------------
                ACALL RAMP_SUB
                ;----------------------
                ;***  V_SELECT  ***;
                      MOV A,OME
                      MOV DPTR,#0F00H
                      MOVC A,@A+DPTR
                      MOV M,A

                ;----------------------
                ACALL PWM_SUB
                ;----------------------
                SJMP ROTR6
                ;----------------------------------
PROCD2:         JNB RACK,ROTR6
                ;----------------------
                ACALL BOOST_SUB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ;----------------------
               ACALL PWM_SUB
            ;----------------------
            SJMP ROTR6
            ;----------------------------------
PROCD1:     JNB RACK,DSCAN
            ;----------------------
               ACALL PWM_SUB
            ;----------------------
DSCAN:         ACALL DSCAN_SUB
            ;----------------------
            ;----------------------------------
ROTR6:      DJNZ R6,POPVAR
            MOV R6,#06H
            ;----------------------------------
POPVAR:     MOV ROINT,R0
            MOV R0,ROMAIN
            POP DPH
            POP DPL
            POP B
            POP PSW
            POP ACC
            RETI
            ;---------------------------;
            ;  END OF TF1 INTERRUPTION  ;
            ;---------------------------;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ;============================;
                ;                            ;
                ;  SUBROUTINE USED IN MAIN   ;
                ;                            ;
                ;============================;
ORG 0200H
                ;;------------------------;;
                ;;  PARAMETERS READING    ;;
                ;;------------------------;;
PREAD_SUB:      MOV DPTR,#1000H
                MOV R1,#050H
PRD:            MOVX A,@DPTR
                MOV @R1,A
                CJNE R1,#058H,RDLOOP1
                MOV A,FCMOD
                SETB FCF
                JNZ PRD0
                CLR FCF
PRD0:           MOV A,STPMOD
                SETB STPF
                JNZ PRD1
                CLR STPF
PRD1:           RET
RDLOOP1:        INC R1
                INC DPTR
                SJMP PRD
                ;-----------------------------
                ;;------------------------;;
                ;;  PARAMETER OPERATION   ;;
                ;;------------------------;;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PARA_SUB:   MOV A,KCD
            CLR KACK
            CJNE A,#00000110B,INVSTAT
            MOV KCT,#00H
            SJMP KCON
INVSTAT:    JNB RACK,KUPDWN
            JB MDAT,KUPDWN
            MOV R4,DSTAT
            CJNE R4,#08H,KNO
KUPDWN:     CJNE A,#00000101B,KDWNO
            MOV KCT,#01H
            SJMP KCON
KDWNO:      CJNE A,#00000011B,KNO
            MOV KCT,#02H
            SJMP KCON
KNO:        MOV KCT,#07H
            RET
KCON:       MOV A,KCT
            MOV R3,DSTAT
            JNB MDAT,DAT
            JNZ PRUPDWN
            CPL MDAT
            RET
PRUPDWN:    CJNE A,#01H,PRDWN
            CJNE R3,#08H,PRINC
            MOV DSTAT,#00H
            RET
PRINC:      INC DSTAT
            RET
PRDWN:      CJNE R3,#00H,PRDEC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV DSTAT,#08H
                RET
PRDEC:          DEC DSTAT
                RET
DAT:            MOV B,#09H
                MUL AB
                ADD A,DSTAT
                RL A
                MOV DPTR,#DTBL
                JMP @A+DPTR
                ;
DTBL:           AJMP DP0
                AJMP DP1
                AJMP DP2
                AJMP DP3
                AJMP DP4
                AJMP DP5
                AJMP DP6
                AJMP DP7
                AJMP DP8
                AJMP DU0
                AJMP DU1
                AJMP DU2
                AJMP DU3
                AJMP DU4
                AJMP DU5
                AJMP DU6
                AJMP DU7
                AJMP DU8
                AJMP DU0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        AJMP DD1
        AJMP DD2
        AJMP DD3
        AJMP DU4
        AJMP DU5
        AJMP DD6
        AJMP DD7
        AJMP DD8
        ;
DP0:    CPL MDAT
        RET
        ;
DP1:    MOV DPTR,#1001H
        MOV A,BSET
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
DP2:    MOV DPTR,#1002H
        MOV A,RUP
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
DP3:    MOV DPTR,#1003H
        MOV A,RDWN
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DP4:    MOV DPTR,#1004H
        MOV A,FCMOD
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
DP5:    MOV DPTR,#1005H
        MOV A,STPMOD
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
DP6:    MOV DPTR,#1006H
        MOV A,FMN
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
DP7:    MOV DPTR,#1007H
        MOV A,FMX
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
DP8:    MOV DPTR,#1008H
        MOV A,DFSET
        MOVX @DPTR,A
        CPL MDAT
        RET
        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DU0:    RET
        ;
DU1:    MOV A,BSET
        CJNE A,#032H,BS0
        RET
BS0:    INC BSET
        RET
        ;
DU2:    MOV A,RUP
        CJNE A,#0FAH,RU0
        RET
RU0:    INC RUP
        RET
        ;
DU3:    MOV A,RDWN
        CJNE A,#0FAH,RDN0
        RET
RDN0:   INC RDWN
        RET
        ;
DU4:    MOV A,FCMOD
        ANL A,#00000001B
        CPL ACC.0
        MOV FCMOD,A
        CPL FCF
        RET
        ;
DU5:    MOV A,STPMOD
        ANL A,#00000001B
        CPL ACC.0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV STPMOD,A
                CPL STPF
                RET
                ;
DU6:            MOV A,FMN
                CJNE A,#0FOH,FMNO
                RET
FMNO:           INC FMN
                RET
                ;
DU7:            MOV A,FMX
                CJNE A,#0FOH,FMXO
                RET
FMXO:           INC FMX
                RET
                ;
DU8:            CLR C
                MOV A,DFSET
                SUBB A,FMX
                JC DFSO
                MOV DFSET,FMX
                RET
DFSO:           INC DFSET
                RET
                ;
DD1:            MOV A,BSET
                JZ NOTO
                DEC BSET
NOTO:           RET
                ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DD2:    MOV A,RUP
        CJNE A,#01H,RU1
        RET
RU1:    DEC RUP
        RET
        ;
DD3:    MOV A,RDWN
        CJNE A,#01H,RD1
        RET
RD1:    DEC RDWN
        RET
        ;
DD6:    MOV A,FMN
        CJNE A,#01H,FMN1
        RET
FMN1:   DEC FMN
        RET
        ;
DD7:    MOV A,FMX
        CJNE A,#01H,FMX1
        RET
FMX1:   DEC FMX
        RET
        ;
DD8:    CLR C
        MOV A,FMN
        SUBB A,DFSET
        JC DFO
        MOV DFSET,FMN
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DFO:        DEC DFSET
            RET
            ;-------------------------------
            ;;-----------------------------;;
            ;;  DISPLAY-DATA PREPARATION  ;;
            ;;-----------------------------;;
DSPLY_SUB:  JNB DSPEN,DISO
            JNB MDAT,DATDSP
            CLR DIX
            MOV DSP3,#073H
            MOV DSP2,#050H
            MOV DSP1,#03FH
            MOV DPTR,#1F10H
            MOV A,DSTAT
            MOVC A,@A+DPTR
            MOV DSPO,A
            RET
DATDSP:     MOV DPTR,#DSPTBL
            MOV A,DSTAT
            RL A
            JMP @A+DPTR
            ;
DSPTBL:     AJMP DSPL0
            AJMP DSPL1
            AJMP DSPL2
            AJMP DSPL3
            AJMP DSPL4
            AJMP DSPL5
            AJMP DSPL6
            AJMP DSPL7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        AJMP DSPL8
DISO:   CLR A
        MOV DSP3,A
        MOV DSP2,A
        MOV DSP1,A
        MOV DSP0,A
        RET
        ;
DSPL0:  MOV A,DCD
        JNZ DSPL01
        MOV CONVERT,OMEGA
        ACALL CONVERT1
        ACALL BCD2DSP
        SETB DIX
        RET
DSPL01: CJNE A,#01H,DSPL02
        MOV DSP3,#00H
        MOV DSP2,#050H
        MOV DSP1,#05EH
        MOV DSP0,#06EH
        CLR DIX
        RET
DSPL02: CJNE A,#02H,DSPL03
        MOV DSP3,#00H
        MOV DSP2,#06H
        MOV DSP1,#054H
        MOV DSP0,#074H
        CLR DIX
        RET
DSPL03: MOV DSP3,#073H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV DSP2,#050H
        MOV DSP1,#079H
        MOV DSP0,#050H
        CLR DIX
        RET
        ;
DSPL1:  MOV CONVERT,BSET
        ACALL CONVERT2
        ACALL BCD2DSP
        SETB DIX
        RET
        ;
DSPL2:  MOV CONVERT,RUP
        ACALL CONVERT2
        ACALL BCD2DSP
        SETB DIX
        RET
        ;
DSPL3:  MOV CONVERT,RDWN
        ACALL CONVERT2
        ACALL BCD2DSP
        SETB DIX
        RET
        ;
DSPL4:  MOV CON,#00H
        MOV VERT,FCMOD
        ACALL BIN2BCD
        ACALL BCD2DSP
        CLR DIX
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ;
DSPL5:  MOV CON,#00H
        MOV VERT,STPMOD
        ACALL BIN2BCD
        ACALL BCD2DSP
        CLR DIX
        RET
        ;
DSPL6:  MOV CONVERT,FMN
        ACALL CONVERT1
        ACALL BCD2DSP
        SETB DIX
        RET
        ;
DSPL7:  MOV CONVERT,FMX
        ACALL CONVERT1
        ACALL BCD2DSP
        SETB DIX
        RET
        ;
DSPL8:  MOV CONVERT,DFSET
        ACALL CONVERT1
        ACALL BCD2DSP
        SETB DIX
        RET
        ;--------------------------------
        ;;-----------;;
        ;;  BCD2DSP  ;;
        ;;-----------;;
BCD2DSP: MOV R1,#063H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV R0,#043H
            MOV DPTR,#1F10H
            CJNE @R1,#00H,BCD1
            MOV @R0,#00H
            SJMP BCD0
BCD1:       MOV A,@R1
            MOVC A,@A+DPTR
            CJNE R0,#041H,BCD2
            JNB DIX,BCD2
            SETB ACC.7
BCD2:       MOV @R0,A
            CJNE R0,#040H,BCD0
            RET
BCD0:       DEC R0
            DEC R1
            SJMP BCD1
            ;--------------------------------
            ;;-----------;;
            ;;  BIN2BCD  ;;
            ;;-----------;;
BIN2BCD:    MOV R1,#060H
            MOV A,VERT
BIN1:       MOV B,#0AH
            DIV AB
            MOV @R1,B
            CJNE R1,#061H,BINO
            MOV A,CON
BIN2:       INC R1
            SJMP BIN1
BINO:       CJNE R1,#063H,BIN2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            RET
            ;--------------------------------
            ;;------------;;
            ;;  CONVERT1  ;;
            ;;------------;;
CONVERT1:   MOV A,CONVERT
            MOV B,#080H
            MUL AB
            MOV QUAT,B
            MOV B,#0AH
            MUL AB
            MOV PDSP0,B
            MOV R1,#061H
            MOV A,QUAT
CONV1:      MOV B,#0AH
            DIV AB
            MOV @R1,B
            CJNE R1,#063H,CONV0
            RET
CONV0:      INC R1
            SJMP CONV1
            ;--------------------------------
            ;;------------;;
            ;;  CONVERT2  ;;
            ;;------------;;
CONVERT2:   MOV A,CONVERT
            MOV B,#04H
            MUL AB
            MOV CON,#00H
CNVT0:      MOV VERT,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SUBB A,#064H
                JNC CNVT2
                MOV R4,B
                CJNE R4,#00H,CNVT1
                ACALL BIN2BCD
                RET
CNVT1:          DEC B
                CLR C
CNVT2:          INC CON
                SJMP CNVTO
                ;-----------------------------------;
                ;  END OF SUBROUTINE USED IN MAIN   ;
                ;-----------------------------------;
                ;=========================================;
                ;  SUBROUTINE USED IN FLAG TF1 INTERRUPTION  ;
                ;=========================================;
                ;;-------------;;
                ;;  FREAD_SUB  ;;
                ;;-------------;;
FREAD_SUB:      DJNZ FSMP,FRDSUB2
                ;
                MOV CNTH,TH1
                MOV CNTL,TL1
                CLR A
                MOV TH1,A
                MOV TL1,A
                ;
                MOV FSMP,#010H
                CLR C
                MOV A,CNTH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            RRC A
            JNZ MAXF
            MOV A,CNTL
            RRC A
            MOV CNTL,A
            JC FRD2
            MOV FRD,CNTL
            SETB FCONT
            RET
FRD2:       INC A
            JZ MAXF
            SETB FCONT
            CJNE A,FRD,FRD3
            RET
FRD3:       MOV FRD,CNTL
            RET
SCALING:    MOV A,FMX
            CLR C
            SUBB A,FMN
            MOV B,FRD
            MUL AB
            MOV A,FMN
            ADD A,B
            MOV AFSET,A
FRD1:       MOV FSET,AFSET
            JNB FCF,FRD_END
            MOV FSET,DFSET
FRD_END:    RET
MAXF:       MOV AFSET,FMX
            SJMP FRD1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FRDSUB2:    JNB FCONT,FRD_END
            CLR FCONT
            SJMP SCALING
            ;-------------------------------
            ;;--------------;;
            ;;  DETECT_SUB  ;;
            ;;--------------;;
DETECT_SUB: DJNZ KSMP,KLOOPO
            MOV KSMP,#OAH
            MOV C,RST
            MOV RUNF,C
            MOV A,P1
            MOV C,ACC.2
            MOV SDIR,C
            SWAP A
            JB KENF,KRX
            CLR KACK
            RET
KRX:        ANL A,#00000111B
            CJNE A,#07H,SENO
            MOV KRD,A
            RET
SENO:       CJNE A,KRD,KLOOP1
            DEC R2
            CJNE R2,#19H,KLOOP2
            MOV KCD,A
            SETB KACK
            RET
KLOOP2:     MOV A,R2
            JNZ KLOOPO
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV R2,#05H
                MOV KCD,KRD
                SETB KACK
                RET
KLOOP1:         MOV KRD,A
                MOV R2,#1AH
KLOOPO:         RET
                ;--------------------------------
                ;;--------------;;
                ;;  RUNDIR_SUB  ;;
                ;;--------------;;
RUNDIR_SUB:     SETB KENF
                JNB RUNF,STOPMD
                JNB PRDY,REND
                SETB RACK
                CLR INHO                ;Enable inv unit
                MOV DCD,#00H
                MOV A,PSET
                XRL A,PSTAT
                JNB ACC.2,NCDIR
                MOV FIN,#00H
                MOV A,OMEGA
                JNZ RRET
                CPL DIR
NCDIR:          MOV FIN,FSET
RRET:           RET
REND:           CLR RACK
                MOV DCD,#03H
                RET
STOPMD:         MOV FIN,#00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV A,OMEGA
            JNZ NOZERO
            CLR RACK
            SETB INHO                   ;Disable inv unit
            MOV DCD,#01H                ;Show "rdy" at display unit
            ;
            ACALL PCHECK_SUB
            ;
            RET
NOZERO:     CLR MDAT
            MOV DSTAT,#00H
            CLR KENF                    ;Disable keypad unit
            JB STPF,RMPMD
            SETB INHO                   ;Disable inv unit
            MOV DCD,#02H
            RET
RMPMD:      CLR INHO                    ;Enable inv unit
            MOV DCD,#00H
            RET
            ;-----------------------------
            ;;-------------------------;;
            ;;  PARAMETERS CHECKING  ;;
            ;;-------------------------;;
PCHECK_SUB: CLR C
            MOV A,FMX
            SUBB A,FMN
            CLR PRDY
            JC PC1
            JNB FCF,PC2
            MOV A,FMX
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SUBB A,DFSET
                JC PC1
                MOV A,DFSET
                SUBB A,FMN
                JC PC1
PC2:            SETB PRDY
PC1:            RET
                ;---------------------------------
                ;;--------------;;
                ;;  DSCAN_SUB   ;;
                ;;--------------;;
DSCAN_SUB:      CLR A
                MOV DPTR,#1400H
                MOVX @DPTR,A
                MOV C,SCAN.0
                MOV SCAN0,C
                MOV C,SCAN.1
                MOV SCAN1,C
                ;
                MOV A,@R0
                MOVX @DPTR,A
                MOV A,SCAN
                JNZ SCNLP
                MOV SCAN,#03H
                MOV R0,#043H
                RET
SCNLP:          DEC SCAN
                DEC R0
                RET
                ;---------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ;;------------;;
            ;;  RAMP_SUB  ;;
            ;;------------;;
RAMP_SUB:   MOV A,FIN
            CJNE A,OMEGA,RAMPO
            CLR RMPF
            RET
RAMPO:      JB RMPF,RAMPOO
            MOV STUP,RUP
            MOV STDWN,RDWN
            SETB RMPF
RAMPOO:     CLR C
            SUBB A,OMEGA
            JNC RMPUP
            MOV STUP,RUP
            DJNZ STDWN,RAMP1
            DEC OME
            MOV STDWN,RDWN
RAMP1:      RET
RMPUP:      MOV STDWN,RDWN
            DJNZ STUP,RAMP1
            INC OME
            MOV STUP,RUP
            RET
            ;--------------------------------
            ;;------------;;
            ;;  BOOST_SUB  ;;
            ;;------------;;
BOOST_SUB:  CLR C
            MOV A,#0FFH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SUBB A,M
        MOV B,BSET
        MUL AB
        SUBB A,#080H
        JC BSTO
        INC B
BSTO:   MOV A,M
        ADD A,B
        MOV MSET,A                  ;Prepare data for PWM_SUB
        MOV OMEGA,OME               ;
        RET
        ;---------------------------------

        ;;-----------;;
        ;;  PWM_SUB  ;;
        ;;-----------;;
        ;
        ;*** SEC1 DETERMINE PHASE ANGLE ***
        ;
PWM_SUB: CLR C
        MOV A,LTHETA
        ADD A,OMEGA
        MOV LTHETA,A
        MOV A,HTHETA
        ADDC A,#00H
        MOV HTHETA,A
        ;
        ;*** SEC2 OUTPUT NEW VECTOR SET WHEN PH. OVFLW ***
        ;
        MOV A,#0AFH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SUBB A,LTHETA
        MOV BUFFER,A
        MOV A,#014H
        SUBB A,HTHETA
        JNC SEC30
        CLR C
        CPL A
        ADD A,#010H
        MOV HTHETA,A
        MOV A,BUFFER
        CPL A
        INC A
        MOV LTHETA,A
        ;
        ;** SELECT NEW VECTOR SET **
        ;
        MOV A,VL
        CJNE A,#0AH,SEC20
        CLR A
        SJMP SEC21
SEC20:  ADD A,#02H
SEC21:  MOV VL,A
        ;
        ;** SEND VECTOR TO VECTOR FILES **
        ;
        MOV A,#01H
        MOV DPH,#01FH
        JNB DIR,SDPL
        MOV DPH,#00EH
SDPL:   MOV DPL,VL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOVC A,@A+DPTR
        MOV BUFFER,A
        CLR A
        MOVC A,@A+DPTR
        CPL HRF.2
        CPL VFSEL
        MOV DPH,HRF
        MOV DPL,#00H
        MOVX @DPTR,A
        SWAP A
        INC DPL
        MOVX @DPTR,A
        MOV A,BUFFER
        INC DPL
        MOVX @DPTR,A
        SWAP A
        INC DPL
        MOVX @DPTR,A
        ;
        ;*** READ CONSTANT K FROM TABLE ***
        ;
SEC30:  CLR A
        MOV DPL,LTHETA
        MOV DPH,HTHETA
        MOVC A,@A+DPTR
        MOV K1,A
        CLR C
        MOV A,DPL
        ADD A,#0B0H
        MOV DPL,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MOV A,DPH
            ADDC A,#04H
            MOV DPH,A
            CLR A
            MOVC A,@A+DPTR
            MOV K2,A
            CLR C
            MOV A,DPL
            ADD A,#0B0H
            MOV DPL,A
            MOV A,DPH
            ADDC A,#04H
            MOV DPH,A
            CLR A
            MOVC A,@A+DPTR
            MOV K3,A
            ;
            ;*** SEC4 PULSEWIDTH CALCULATION ***
            ;
            MOV B,MSET
            MUL AB
SEC40:      CLR C
            MOV A,#080H
            SUBB A,B
            JNC SEC401
            CLR A
SEC401:     JNZ SEC41
            INC A
SEC41:      MOV BETA,A
            MOV A,K2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV B,MSET
                MUL AB
SEC42:          MOV ALPH2,B
                MOV A,K1
                MOV B,MSET
                MUL AB
SEC43:          CLR C
                MOV A,ALPH2
                SUBB A,B
                JC SEC44
                MOV ALPH1,ALPH2
                SJMP SEC50
SEC44:          MOV ALPH1,B
                ;
                ;*** SEC5 FORM TIMER DATA AND OUTPUT TO 8253 ***
                ;
SEC50:          CLR C
                MOV A,BETA
                MOV DPTR,#0800H
                MOVX @DPTR,A
                ADD A,ALPH2
                MOV BUFFER,A
                SUBB A,#252D
                JC SEC51
                MOV BUFFER,#252D
SEC51:          CLR C
                MOV A,BUFFER
                INC DPL
                MOVX @DPTR,A
                MOV A,BETA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ADD A,ALPH1
        MOV BUFFER,A
        SUBB A,#252D
        JC SEC52
        MOV BUFFER,#252D
SEC52:  CLR C
        MOV A,BUFFER
        INC DPL
        MOVX @DPTR,A
        RET
        ;-----------------------------------------------;
        ;  END OF SUBROUTINE USED IN TF1 INTERRUPTION   ;
        ;-----------------------------------------------;
        ;
        END
        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ORG 1000H

                ;-------------;
                ;  K1-TABLE   ;
                ;-------------;
                ;
K1TABL:         DB  ODCH,ODDH,ODDH,ODDH,ODDH,ODDH,ODDH,ODDH,ODDH,ODDH
                DB  ODDH,ODEH,ODEH,ODEH,ODEH,ODEH,ODEH,ODEH,ODEH,ODEH
                DB  ODFH,ODFH,ODFH,ODFH,ODFH,ODFH,ODFH,ODFH,ODFH,OEOH
                DB  OEOH,OEOH,OEOH,OEOH,OEOH,OEOH,OEOH,OEOH,OEOH,OE1H
                DB  OE1H,OE1H,OE1H,OE1H,OE1H,OE1H,OE1H,OE1H,OE2H,OE2H
                ;
                DB  OE2H,OE2H,OE2H,OE2H,OE2H,OE2H,OE2H,OE2H,OE3H,OE3H
                DB  OE3H,OE3H,OE3H,OE3H,OE3H,OE3H,OE3H,OE3H,OE4H,OE4H
                DB  OE4H,OE4H,OE4H,OE4H,OE4H,OE4H,OE4H,OE4H,OE5H,OE5H
                DB  OE5H,OE5H,OE5H,OE5H,OE5H,OE5H,OE5H,OE5H,OE6H,OE6H
                DB  OE6H,OE6H,OE6H,OE6H,OE6H,OE6H,OE6H,OE6H,OE6H,OE7H
                ;
                DB  OE7H,OE7H,OE7H,OE7H,OE7H,OE7H,OE7H,OE7H,OE7H,OE7H
                DB  OE8H,OE8H,OE8H,OE8H,OE8H,OE8H,OE8H,OE8H,OE8H,OE8H
                DB  OE8H,OE9H,OE9H,OE9H,OE9H,OE9H,OE9H,OE9H,OE9H,OE9H
                DB  OE9H,OE9H,OEAH,OEAH,OEAH,OEAH,OEAH,OEAH,OEAH,OEAH
                DB  OEAH,OEAH,OEAH,OEBH,OEBH,OEBH,OEBH,OEBH,OEBH,OEBH
                ;*****************************************************
                DB  OEBH,OEBH,OEBH,OEBH,OEBH,OECH,OECH,OECH,OECH,OECH
                DB  OECH,OECH,OECH,OECH,OECH,OECH,OECH,OEDH,OEDH,OEDH
                DB  OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEEH
                DB  OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH
                DB  OEEH,OEEH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH
                ;
                DB  OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH
                DB  OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OF1H
                DB  OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DB  0F1H,0F1H,0F1H,0F2H,0F2H,0F2H,0F2H,0F2H,0F2H,0F2H
DB  0F2H,0F2H,0F2H,0F2H,0F2H,0F2H,0F2H,0F3H,0F3H,0F3H
;
DB  0F3H,0F3H,0F3H,0F3H,0F3H,0F3H,0F3H,0F3H,0F3H,0F3H
DB  0F3H,0F3H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H
DB  0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F4H,0F5H,0F5H
DB  0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H
DB  0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F5H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H
;*****************************************************
DB  0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H,0F6H
DB  0F6H,0F6H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
DB  0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
DB  0F7H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H
DB  0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H,0F8H
;
DB  0F8H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H
DB  0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H,0F9H
DB  0F9H,0F9H,0F9H,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH
DB  0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH
DB  0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FAH,0FBH,0FBH,0FBH
;
DB  0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH
DB  0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FBH
DB  0FBH,0FBH,0FBH,0FBH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH
DB  0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH
DB  0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH
;*****************************************************
DB  0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FCH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH
DB  0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH
DB  0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH
DB  0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH
DB  0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FDH,0FEH,0FEH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
;
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
;*********************************************************
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
;
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
DB  OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH,OFEH
;
DB  OFEH,OFEH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH
DB  OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH
DB  OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH
DB  OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFDH
DB  OFDH,OFDH,OFDH,OFDH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH
;*********************************************************
DB  OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DB   OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH
DB   OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFCH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH
DB   OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH
DB   OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH,OFBH
;
DB   OFBH,OFBH,OFBH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH
DB   OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH
DB   OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OFAH,OF9H,OF9H,OF9H
DB   OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H
DB   OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF9H,OF8H
;
DB   OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H
DB   OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF8H,OF7H
DB   OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H
DB   OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF6H,OF6H
DB   OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF6H
;*****************************************************
DB   OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF6H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H
DB   OF5H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H,OF5H
DB   OF5H,OF5H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H
DB   OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF4H,OF3H,OF3H
DB   OF3H,OF3H,OF3H,OF3H,OF3H,OF3H,OF3H,OF3H,OF3H,OF3H
;
DB   OF3H,OF3H,OF3H,OF2H,OF2H,OF2H,OF2H,OF2H,OF2H,OF2H
DB   OF2H,OF2H,OF2H,OF2H,OF2H,OF2H,OF2H,OF1H,OF1H,OF1H
DB   OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H,OF1H
DB   OF1H,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH
DB   OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OFOH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH
;
DB   OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEFH,OEEH,OEEH
DB   OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH,OEEH
DB   OEEH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH,OEDH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB   0EDH,0EDH,0EDH,0ECH,0ECH,0ECH,0ECH,0ECH,0ECH,0ECH
        DB   0ECH,0ECH,0ECH,0ECH,0ECH,0EBH,0EBH,0EBH,0EBH,0EBH
        ;*****************************************************
        DB   0EBH,0EBH,0EBH,0EBH,0EBH,0EBH,0EBH,0EAH,0EAH,0EAH
        DB   0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,0EAH,0E9H,0E9H
        DB   0E9H,0E9H,0E9H,0E9H,0E9H,0E9H,0E9H,0E9H,0E9H,0E8H
        DB   0E8H,0E8H,0E8H,0E8H,0E8H,0E8H,0E8H,0E8H,0E8H,0E8H
        DB   0E7H,0E7H,0E7H,0E7H,0E7H,0E7H,0E7H,0E7H,0E7H,0E7H
        ;
        DB   0E7H,0E6H,0E6H,0E6H,0E6H,0E6H,0E6H,0E6H,0E6H,0E6H
        DB   0E6H,0E6H,0E5H,0E5H,0E5H,0E5H,0E5H,0E5H,0E5H,0E5H
        DB   0E5H,0E5H,0E4H,0E4H,0E4H,0E4H,0E4H,0E4H,0E4H,0E4H
        DB   0E4H,0E4H,0E3H,0E3H,0E3H,0E3H,0E3H,0E3H,0E3H,0E3H
        DB   0E3H,0E3H,0E2H,0E2H,0E2H,0E2H,0E2H,0E2H,0E2H,0E2H
        ;
        DB   0E2H,0E2H,0E1H,0E1H,0E1H,0E1H,0E1H,0E1H,0E1H,0E1H
        DB   0E1H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H,0E0H
        DB   0E0H,0DFH,0DFH,0DFH,0DFH,0DFH,0DFH,0DFH,0DFH,0DFH
        DB   0DEH,0DEH,0DEH,0DEH,0DEH,0DEH,0DEH,0DEH,0DEH,0DDH
        DB   0DDH,0DDH,0DDH,0DDH,0DDH,0DDH,0DDH,0DDH,0DDH,0DCH
        ;
        ;------------------;
        ; END OF K1-TABLE  ;
        ;------------------;
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ORG 14B0H

                ;------------;
                ;  K2-TABLE  ;
                ;------------;
                ;
K2TABL:         DB  0DCH,0DCH,0DCH,0DCH,0DCH,0DCH,0DCH,0DBH,0DBH,0DBH
                DB  0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DBH,0DAH,0DAH,0DAH,0DAH
                DB  0DAH,0DAH,0DAH,0DAH,0DAH,0D9H,0D9H,0D9H,0D9H,0D9H
                DB  0D9H,0D9H,0D9H,0D9H,0D8H,0D8H,0D8H,0D8H,0D8H,0D8H
                DB  0D8H,0D8H,0D7H,0D7H,0D7H,0D7H,0D7H,0D7H,0D7H,0D7H
                ;
                DB  0D7H,0D6H,0D6H,0D6H,0D6H,0D6H,0D6H,0D6H,0D6H,0D5H
                DB  0D5H,0D5H,0D5H,0D5H,0D5H,0D5H,0D5H,0D4H,0D4H,0D4H
                DB  0D4H,0D4H,0D4H,0D4H,0D4H,0D3H,0D3H,0D3H,0D3H,0D3H
                DB  0D3H,0D3H,0D3H,0D2H,0D2H,0D2H,0D2H,0D2H,0D2H,0D2H
                DB  0D2H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D1H,0D0H
                ;
                DB  0D0H,0D0H,0D0H,0D0H,0D0H,0D0H,0D0H,0CFH,0CFH,0CFH
                DB  0CFH,0CFH,0CFH,0CFH,0CFH,0CEH,0CEH,0CEH,0CEH,0CEH
                DB  0CEH,0CEH,0CDH,0CDH,0CDH,0CDH,0CDH,0CDH,0CDH,0CDH
                DB  0CCH,0CCH,0CCH,0CCH,0CCH,0CCH,0CCH,0CBH,0CBH,0CBH
                DB  0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CBH,0CAH,0CAH,0CAH,0CAH,0CAH
                ;**************************************************
                DB  0CAH,0CAH,0C9H,0C9H,0C9H,0C9H,0C9H,0C9H,0C9H,0C9H
                DB  0C8H,0C8H,0C8H,0C8H,0C8H,0C8H,0C8H,0C7H,0C7H,0C7H
                DB  0C7H,0C7H,0C7H,0C7H,0C6H,0C6H,0C6H,0C6H,0C6H,0C6H
                DB  0C6H,0C5H,0C5H,0C5H,0C5H,0C5H,0C5H,0C5H,0C4H,0C4H
                DB  0C4H,0C4H,0C4H,0C4H,0C4H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H,0C3H
                ;
                DB  0C3H,0C3H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C2H,0C1H
                DB  0C1H,0C1H,0C1H,0C1H,0C1H,0C1H,0C0H,0C0H,0C0H,0C0H
                DB  0C0H,0C0H,0C0H,0BFH,0BFH,0BFH,0BFH,0BFH,0BFH,0BFH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DB   0BEH,0BEH,0BEH,0BEH,0BEH,0BEH,0BEH,0BDH,0BDH,0BDH
DB   0BDH,0BDH,0BDH,0BCH,0BCH,0BCH,0BCH,0BCH,0BCH,0BCH
;
DB   0BBH,0BBH,0BBH,0BBH,0BBH,0BBH,0BBH,0BAH,0BAH,0BAH
DB   0BAH,0BAH,0BAH,0B9H,0B9H,0B9H,0B9H,0B9H,0B9H,0B9H
DB   0B8H,0B8H,0B8H,0B8H,0B8H,0B8H,0B7H,0B7H,0B7H,0B7H
DB   0B7H,0B7H,0B7H,0B6H,0B6H,0B6H,0B6H,0B6H,0B6H,0B5H
DB   0B5H,0B5H,0B5H,0B5H,0B5H,0B5H,0B4H,0B4H,0B4H,0B4H
;*****************************************************
DB   0B4H,0B4H,0B3H,0B3H,0B3H,0B3H,0B3H,0B3H,0B2H,0B2H
DB   0B2H,0B2H,0B2H,0B2H,0B2H,0B1H,0B1H,0B1H,0B1H,0B1H
DB   0B1H,0B0H,0B0H,0B0H,0B0H,0B0H,0B0H,0AFH,0AFH,0AFH
DB   0AFH,0AFH,0AFH,0AEH,0AEH,0AEH,0AEH,0AEH,0AEH,0ADH
DB   0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ADH,0ACH,0ACH,0ACH,0ACH
;
DB   0ACH,0ACH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0ABH,0AAH,0AAH
DB   0AAH,0AAH,0AAH,0AAH,0A9H,0A9H,0A9H,0A9H,0A9H,0A9H
DB   0A8H,0A8H,0A8H,0A8H,0A8H,0A8H,0A7H,0A7H,0A7H,0A7H
DB   0A7H,0A7H,0A6H,0A6H,0A6H,0A6H,0A6H,0A6H,0A5H,0A5H
DB   0A5H,0A5H,0A5H,0A5H,0A4H,0A4H,0A4H,0A4H,0A4H,0A3H
;
DB   0A3H,0A3H,0A3H,0A3H,0A3H,0A2H,0A2H,0A2H,0A2H,0A2H
DB   0A2H,0A1H,0A1H,0A1H,0A1H,0A1H,0A1H,0A0H,0A0H,0A0H
DB   0A0H,0A0H,0A0H,09FH,09FH,09FH,09FH,09FH,09FH,09EH
DB   09EH,09EH,09EH,09EH,09DH,09DH,09DH,09DH,09DH,09DH
DB   09CH,09CH,09CH,09CH,09CH,09CH,09BH,09BH,09BH,09BH
;*****************************************************
DB   09BH,09AH,09AH,09AH,09AH,09AH,09AH,099H,099H,099H
DB   099H,099H,099H,098H,098H,098H,098H,098H,097H,097H
DB   097H,097H,097H,097H,096H,096H,096H,096H,096H,095H
DB   095H,095H,095H,095H,095H,094H,094H,094H,094H,094H
DB   093H,093H,093H,093H,093H,093H,092H,092H,092H,092H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;
DB  092H,091H,091H,091H,091H,091H,091H,090H,090H,090H
DB  090H,090H,08FH,08FH,08FH,08FH,08FH,08FH,08EH,08EH
DB  08EH,08EH,08EH,08DH,08DH,08DH,08DH,08DH,08DH,08CH
DB  08CH,08CH,08CH,08CH,08BH,08BH,08BH,08BH,08BH,08AH
DB  08AH,08AH,08AH,08AH,08AH,089H,089H,089H,089H,089H
;
DB  088H,088H,088H,088H,088H,087H,087H,087H,087H,087H
DB  087H,086H,086H,086H,086H,086H,085H,085H,085H,085H
DB  085H,084H,084H,084H,084H,084H,084H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,082H,082H,082H,082H,082H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,080H,080H,080H,080H,080H,07FH,07FH,07FH
;*****************************************************
DB  07FH,07FH,07FH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07DH,07DH
DB  07DH,07DH,07DH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07BH,07BH
DB  07BH,07BH,07BH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,079H,079H
DB  079H,079H,079H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,077H
DB  077H,077H,077H,077H,076H,076H,076H,076H,076H,075H
;
DB  075H,075H,075H,075H,074H,074H,074H,074H,074H,073H
DB  073H,073H,073H,073H,072H,072H,072H,072H,072H,071H
DB  071H,071H,071H,071H,070H,070H,070H,070H,070H,06FH
DB  06FH,06FH,06FH,06FH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06DH
DB  06DH,06DH,06DH,06DH,06CH,06CH,06CH,06CH,06CH,06BH
;
DB  06BH,06BH,06BH,06BH,06AH,06AH,06AH,06AH,06AH,069H
DB  069H,069H,069H,069H,068H,068H,068H,068H,068H,067H
DB  067H,067H,067H,067H,066H,066H,066H,066H,065H,065H
DB  065H,065H,065H,064H,064H,064H,064H,064H,063H,063H
DB  063H,063H,063H,062H,062H,062H,062H,062H,061H,061H
;*****************************************************
DB  061H,061H,061H,060H,060H,060H,060H,060H,05FH,05FH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DB   05FH,05FH,05FH,05EH,05EH,05EH,05EH,05DH,05DH,05DH
DB   05DH,05DH,05CH,05CH,05CH,05CH,05CH,05BH,05BH,05BH
DB   05BH,05BH,05AH,05AH,05AH,05AH,05AH,059H,059H,059H
DB   059H,058H,058H,058H,058H,058H,057H,057H,057H,057H
;
DB   057H,056H,056H,056H,056H,056H,055H,055H,055H,055H
DB   055H,054H,054H,054H,054H,053H,053H,053H,053H,053H
DB   052H,052H,052H,052H,052H,051H,051H,051H,051H,051H
DB   050H,050H,050H,050H,04FH,04FH,04FH,04FH,04FH,04EH
DB   04EH,04EH,04EH,04EH,04DH,04DH,04DH,04DH,04CH,04CH
;
DB   04CH,04CH,04CH,04BH,04BH,04BH,04BH,04BH,04AH,04AH
DB   04AH,04AH,04AH,049H,049H,049H,049H,048H,048H,048H
DB   048H,048H,047H,047H,047H,047H,047H,046H,046H,046H
DB   046H,045H,045H,045H,045H,045H,044H,044H,044H,044H
DB   044H,043H,043H,043H,043H,042H,042H,042H,042H,042H
;*****************************************************
DB   041H,041H,041H,041H,041H,040H,040H,040H,040H,03FH
DB   03FH,03FH,03FH,03FH,03EH,03EH,03EH,03EH,03EH,03DH
DB   03DH,03DH,03DH,03CH,03CH,03CH,03CH,03CH,03BH,03BH
DB   03BH,03BH,03AH,03AH,03AH,03AH,03AH,039H,039H,039H
DB   039H,039H,038H,038H,038H,038H,037H,037H,037H,037H
;
DB   037H,036H,036H,036H,036H,035H,035H,035H,035H,035H
DB   034H,034H,034H,034H,034H,033H,033H,033H,033H,032H
DB   032H,032H,032H,032H,031H,031H,031H,031H,030H,030H
DB   030H,030H,030H,02FH,02FH,02FH,02FH,02FH,02EH,02EH
DB   02EH,02EH,02DH,02DH,02DH,02DH,02DH,02CH,02CH,02CH
;
DB   02CH,02BH,02BH,02BH,02BH,02BH,02AH,02AH,02AH,02AH
DB   029H,029H,029H,029H,029H,028H,028H,028H,028H,028H
DB   027H,027H,027H,027H,026H,026H,026H,026H,026H,025H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB   025H,025H,025H,024H,024H,024H,024H,024H,023H,023H
        DB   023H,023H,022H,022H,022H,022H,022H,021H,021H,021H
        ;*************************************************
        DB   021H,020H,020H,020H,020H,020H,01FH,01FH,01FH,01FH
        DB   01EH,01EH,01EH,01EH,01EH,01DH,01DH,01DH,01DH,01CH
        DB   01CH,01CH,01CH,01CH,01BH,01BH,01BH,01BH,01AH,01AH
        DB   01AH,01AH,01AH,019H,019H,019H,019H,018H,018H,018H
        DB   018H,018H,017H,017H,017H,017H,017H,016H,016H,016H
        ;
        DB   016H,015H,015H,015H,015H,015H,014H,014H,014H,014H
        DB   013H,013H,013H,013H,013H,012H,012H,012H,012H,011H
        DB   011H,011H,011H,011H,010H,010H,010H,010H,00FH,00FH
        DB   00FH,00FH,00FH,00EH,00EH,00EH,00EH,00DH,00DH,00DH
        DB   00DH,00DH,00CH,00CH,00CH,00CH,00BH,00BH,00BH,00BH
        ;
        DB   00BH,00AH,00AH,00AH,00AH,009H,009H,009H,009H,009H
        DB   008H,008H,008H,008H,007H,007H,007H,007H,007H,006H
        DB   006H,006H,006H,005H,005H,005H,005H,005H,004H,004H
        DB   004H,004H,003H,003H,003H,003H,003H,002H,002H,002H
        DB   002H,001H,001H,001H,001H,001H,000H,000H,000H,000H
        ;
        ;--------------------;
        ;  END OF K2 TABLE   ;
        ;--------------------;
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ORG 1960H

                ;-------------;
                ;  K3-TABLE   ;
                ;-------------;
                ;
K3TABL:         DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                ;
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
                DB  06EH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH
                ;
                DB  06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH
                DB  06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH
                DB  06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH
                DB  06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH
                DB  06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH
                ;*****************************************************
                DB  06FH,06FH,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H
                DB  070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H
                DB  070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H
                DB  070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H,070H
                DB  070H,070H,070H,070H,070H,070H,071H,071H,071H,071H
                ;
                DB  071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H
                DB  071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H
                DB  071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H,071H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DB   071H,071H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H
DB   072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H
;
DB   072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H,072H
DB   072H,072H,072H,072H,072H,073H,073H,073H,073H,073H
DB   073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H
DB   073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H,073H
DB   073H,073H,073H,073H,073H,074H,074H,074H,074H,074H
;*****************************************************
DB   074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H
DB   074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H,074H
DB   074H,074H,074H,075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H
DB   075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H
DB   075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H,075H
;
DB   076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H
DB   076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H
DB   076H,076H,076H,076H,076H,076H,077H,077H,077H,077H
DB   077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H
DB   077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H
;
DB   077H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H
DB   078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H
DB   078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,079H,079H,079H
DB   079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H
DB   079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H
;*****************************************************
DB   079H,079H,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH
DB   07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH
DB   07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07BH,07BH,07BH
DB   07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH
DB   07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;
DB  07BH,07BH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH
DB  07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH
DB  07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07DH
DB  07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH
DB  07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH
;
DB  07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07EH,07EH,07EH,07EH
DB  07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH
DB  07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH
DB  07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH
DB  07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH
;*****************************************************
DB  07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH
DB  07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,080H,080H,080H,080H
DB  080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H
DB  080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H
DB  080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H
;
DB  080H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,081H,081H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
;
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
;*****************************************************
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DB  082H,082H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
;
DB  083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H,083H
DB  083H,083H,083H,083H,083H,082H,082H,082H,082H,082H
;
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H,082H
;*****************************************************
DB  082H,082H,082H,082H,082H,082H,081H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H
DB  081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H,081H
DB  080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H
;
DB  080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H
DB  080H,080H,080H,080H,080H,080H,080H,07FH,07FH,07FH
DB  07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH
DB  07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH,07FH
DB  07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH
;
DB  07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH,07EH
DB  07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH
DB  07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07DH,07CH,07CH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB   07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH,07CH
        DB   07CH,07CH,07CH,07CH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH
        ;*****************************************************
        DB   07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07BH,07AH
        DB   07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH,07AH
        DB   07AH,07AH,07AH,07AH,079H,079H,079H,079H,079H,079H
        DB   079H,079H,079H,079H,079H,079H,079H,078H,078H,078H
        DB   078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H,078H
        ;
        DB   077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H,077H
        DB   077H,077H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H,076H
        DB   076H,076H,076H,076H,075H,075H,075H,075H,075H,075H
        DB   075H,075H,075H,075H,075H,074H,074H,074H,074H,074H
        DB   074H,074H,074H,074H,074H,074H,073H,073H,073H,073H
        ;
        DB   073H,073H,073H,073H,073H,073H,072H,072H,072H,072H
        DB   072H,072H,072H,072H,072H,072H,071H,071H,071H,071H
        DB   071H,071H,071H,071H,071H,071H,070H,070H,070H,070H
        DB   070H,070H,070H,070H,070H,06FH,06FH,06FH,06FH,06FH
        DB   06FH,06FH,06FH,06FH,06FH,06EH,06EH,06EH,06EH,06EH
        ;
        ;--------------------;
        ;  END OF K3 TABLE   ;
        ;--------------------;
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ORG OFOOH
        ;-----------------------------------------;
        ;  VOLTAGE SELECTION TABLE DEPEND ON FREQ.  ;
        ;-----------------------------------------;
        ;
VTABLE: DB 000H,002H,005H,007H,00AH,00CH,00FH,011H
        DB 014H,016H,019H,01BH,01EH,020H,023H,025H
        DB 028H,02AH,02DH,02FH,032H,034H,037H,039H
        DB 03CH,03EH,040H,043H,045H,048H,04AH,04DH
        DB 04FH,052H,054H,057H,059H,05CH,05EH,061H
        DB 063H,066H,068H,06BH,06DH,070H,072H,075H
        DB 077H,07AH,07CH,07EH,081H,083H,086H,088H
        DB 08BH,08DH,090H,092H,095H,097H,09AH,09CH
        DB 09FH,0A1H,0A4H,0A6H,0A9H,0ABH,0AEH,0B0H
        DB 0B3H,0B5H,0B8H,0BAH,0BCH,0BFH,0C1H,0C4H
        DB 0C6H,0C9H,0CBH,0CEH,0D0H,0D3H,0D5H,0D8H
        DB 0DAH,0DDH,0DFH,0E2H,0E4H,0E7H,0E9H,0ECH
        DB 0EEH,0F1H,0F3H,0F6H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
        DB 0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H,0F7H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DB OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H
        DB OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H
        DB OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H
        DB OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H
        DB OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H,OF7H
        ;
        ;-----------------------------------;
        ;  END OF VOLTAGE SELECTION TABLE   ;
        ;-----------------------------------;
END
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร

วิศวกรรมสาร

เล่มที่ 6 ปีที่ 46

มิถุนายน พ.ศ. 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มโดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก

Implementation of PWM Generator by Magnetic Flux Control

นายพงศ์พิชญ์ วิภาสุรมณฑล *

ดร.วัลลภ สุระกำพลธร **

บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายถึง การสร้างตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม สำหรับ ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยวิธีการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก การออกแบบทางฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ สร้างขึ้นบนฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ INTEL 8031 วิธีการนี้ให้แรงดันเอาท์พุทค่าสูงสุดเพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซนต์ และจำนวนการสวิทช์ลดลง 33 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ วิธีการมอดูเลทด้วยฮาร์โมนิกย่อย ที่ความถี่สุ่ม (ความถี่พาห์) เท่ากัน

Abstract

This paper presents the implementation of PWM generator for AC drive system by magnetic flux control method. Hardware and software design principles are based on INTEL 8031 microcontroller. This method gives a maximum output voltage 15 percent greater and the number of switchings is 33 percent lower than the subharmonic modulation method (SHM) with the same sampling (carrier) frequency.

---

* นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้า ลาดกระบัง

** รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้า ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ปัจจุบัน ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยเฉพาะ มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอกได้เข้ามาแทนที่ ระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงมากขึ้นเรื่อย ๆ และมีแนวโน้มที่จะเป็นต้นกำลังสำคัญ แทนระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ในอนาคตอันใกล้ [1] ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ มีความทนทานแข็งแรงมากกว่า ราคาถูกกว่า และ มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรง นอกจากนี้มอเตอร์ชนิดนี้ต้องการการบำรุงรักษาต่ำมากอีกด้วย ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาเทคนิคการสร้างสัญญาณ พีดับบลิวเอ็ม อย่างต่อเนื่องสำหรับอินเวอร์เตอร์ ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เทคนิคการมอดูเลทด้วยฮาร์โมนิกย่อย (subharmonic modulation;SHM) ซึ่งแรงดัน พีดับบลิวเอ็ม ที่เอาท์พุทสร้างจาก การเปรียบเทียบ คลื่นพาห์แบบสามเหลี่ยม กับคลื่นไซน์อ้างอิง ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย แม้จะเป็นวิธีการที่ค่อนข้างเก่า ทั้งนี้เนื่องจาก สามารถข่ม (suppressed) แอมปลิจูดของฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆได้ดี และสามารถสร้างวงจร (implementation) ได้ง่าย โดยวิธีการทางอนาลอก อย่างไรก็ดี ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ความถี่ในการสวิทช์ (switching frequency) ค่อนข้างสูง เมื่อใช้สัญญาณพาห์ความถี่สูง และให้ค่าแรงดันสูงสุด (maximum voltage) ที่เอาท์พุทค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ การสร้างวงจรโดย วิธีการทางอนาลอก ทำให้มีความไวสูง ต่อสัญญาณรบกวนต่างๆ

บทความนี้ กล่าวถึง การออกแบบและการสร้าง ตัวกำเนิดสัญญาณ พีดับบลิวเอ็ม ด้วยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก บนฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ INTEL 8031 เพื่อขจัดข้อเสียของวิธี SHM กล่าวคือ วิธีนี้ จะให้แรงดันสูงสุดที่เอาท์พุทเพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซนต์ และความถี่สวิทชิ่งลดลง 33 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ วิธี SHM ที่ความถี่พาห์ หรือความถี่สุ่มเท่ากัน ซึ่งหมายถึง การใช้ประโยชน์จากแรงดันไฟตรงได้สูงกว่า และการสูญเสียสวิทชิ่งต่ำกว่า และเนื่องจากวงจรสร้างขึ้นโดยวิธีการทางดิจิตอลทำให้สัญญาณรบกวนเข้าถึงได้ยาก นอกจากนี้วิธีการนี้ทำงานในโหมด อะซิงโครนัส กล่าวคือ ความถี่สุ่มคงที่ (ใช้ 4 kHz ในการทดลอง) ตลอดช่วงความถี่เอาท์พุทที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ จึงไม่มีปัญหาเรื่องการกระตุกของแรงบิด (torque) ซึ่งเกิดขึ้นในขณะเปลี่ยนเกียร์ (gear-changing) ในตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ชนิดอื่นๆ ที่ทำงานในโหมด ซิงโครนัส

2. การแทนปริมาณระบบสามเฟสในรูปสเปซเวกเตอร์

สมมุติให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโหลดที่สมดุลย์ (balance load) แรงดันเฟสขณะใด ๆ ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ สามารถแทนในรูปของสเปซเวกเตอร์ได้ดังนี้ [2]

$$\bar{V}_s = (2/3)[v_u + av_v + a^2 v_v] \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

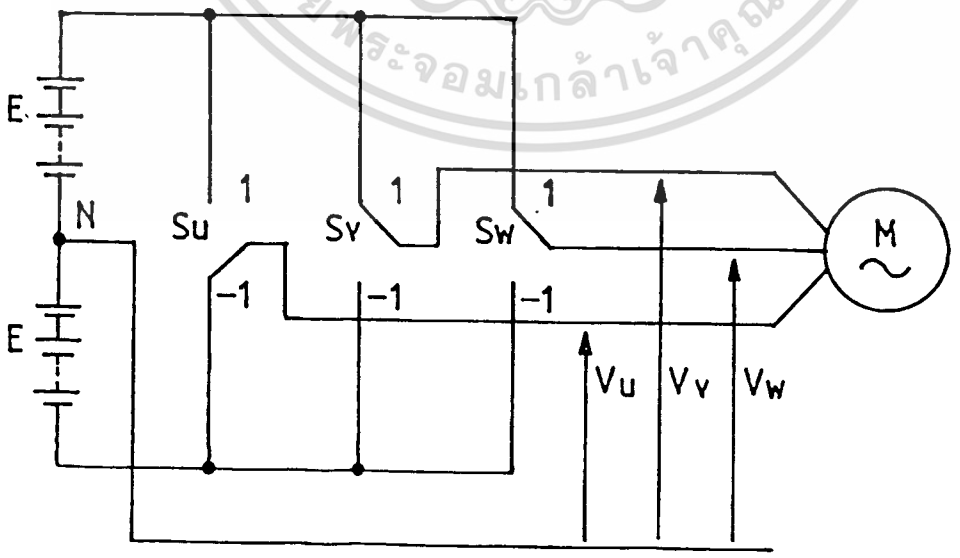
$$a = \exp(j2\pi/3)$$

และ v_u, v_v และ v_w เป็นแรงดันเฟสขณะใด ๆ ที่ป้อนให้กับมอเตอร์

โดยการต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter; VSI) เข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำดังในรูปที่ 1 และให้จุดอ้างอิง N ซึ่งเทียบได้กับจุดนิวทรัล(Neutral Point) ของแหล่งจ่าย อยู่ที่กึ่งกลางของแหล่งจ่ายไฟตรง การจัดตำแหน่งสวิทช์ S_u, S_v และ S_w สามารถป้อนแรงดันให้กับมอเตอร์ได้ 8 รูปแบบ ดังตารางที่ 1 และสามารถแทนในรูปของเวกเตอร์แรงดัน ที่มีขนาดและทิศทางดังในรูปที่ 2 และสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\bar{V}_n = \begin{cases} (4E/3)\exp[j(n-1)\pi/3], & n = 1,2,\ldots,6 \\ 0, & n = 0,7 \end{cases} \qquad (2)$$

นั่นคือ $\bar{V}_n$ มีขนาดคงที่แต่ทิศทางแตกต่างกัน หรือขนาดเป็นศูนย์



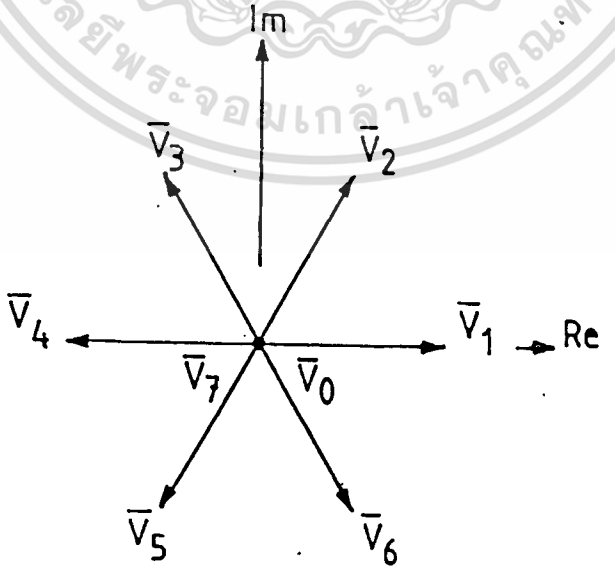
รูปที่ 1 รูปแบบพื้นฐานของวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน(VSI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

การแทนชุดแรงดันโฟล้ในรูปเวกเตอร์แรงดัน

ตำแหน่งสวิทช์ S_u, S_v, S_w	เวกเตอร์แรงดัน $\bar{V}_n$ ที่นำมาใช้แทน
-1, -1, -1	$\bar{V}_0$
1, -1, -1	$\bar{V}_1$
1, 1, -1	$\bar{V}_2$
-1, 1, -1	$\bar{V}_3$
-1, 1, 1	$\bar{V}_4$
-1, -1, 1	$\bar{V}_5$
1, -1, 1	$\bar{V}_6$
1, 1, 1	$\bar{V}_7$



รูปที่ 2 เวกเตอร์แรงดันที่สร้างจากอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติว่า ความต้านทานในขดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าน้อยมาก ดังนั้น ฟลักซ์เวกเตอร์ที่ขดสเตเตอร์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\bar{\lambda}_s(t) = \int \bar{V}_s(t)\, dt \qquad (3)$$

แทนค่า $\bar{V}_s(t) = \bar{V}_n$

ดังนั้น

$$\bar{\lambda}_s(t) = \bar{V}_n \Delta t + \bar{\lambda}_o \qquad (4)$$

สมการ (4) สามารถอธิบายได้ว่า $\bar{\lambda}_s$ เคลื่อนที่ไปในทิศทางของ $\bar{V}_n$ ด้วยความเร็วคงที่ (เนื่องจาก $\bar{V}_n$ มีขนาดคงที่นั่นเอง) ในเวลา Δt ในกรณีที่ $n = 0,7$ หมายความว่า $\bar{\lambda}_s$ หยุดการเคลื่อนที่ในช่วงเวลา Δt

จากรูปที่ 1 จะสังเกตุได้ว่า หากสร้างแรงดันระหว่างไลน์ (line voltage) ให้เป็นคลื่นไซน์ได้ จะได้ แรงดันยอด (peak voltage) มีค่า เท่ากับ $2ME$ โดยที่ M เป็นดัชนีการมอดูเลชั่น (modulation index) มีค่าระหว่าง $0 < M < 1$ และสามารถเขียนในรูปของแรงดันเฟสคลื่นไซน์ (เทียบกับจุด N) คือ

$$\left.\begin{aligned} v_u^*(t) &= (2/\sqrt{3})ME\cos(\omega t) \\ v_v^*(t) &= (2/\sqrt{3})ME\cos(\omega t + 2\pi/3) \\ v_w^*(t) &= (2/\sqrt{3})ME\cos(\omega t + 4\pi/3) \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

แทนค่า (5) ลงใน (1) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{V}_s^*(t) = (2/\sqrt{3})ME\exp(j\omega t) \qquad (6)$$

v_a^*, v_b^* และ v_c^* เป็นแรงดันเฟสรูปคลื่นไซน์ และ $\bar{V}_s^*$ เป็น เวกเตอร์แรงดันที่ใช้แทนแรงดันเฟสทั้งสาม

แทนค่า (6) ลงใน (3) จะได้

$$\bar{\lambda}_s^*(t) = \int_0^t \bar{V}_s^*(t)\, dt = -j[(2/3)(ME/\omega)]\exp(j\omega t) \qquad (7)$$

$\bar{\lambda}_s^*$ นี้ เป็น ฟลักซ์เวกเตอร์อ้างอิง (reference flux vector) ที่หมุนในทิศทาง ทวนเข็มนาฬิกา มีรัศมีขนาด $(2/3)(ME/\omega)$ และหมุนด้วย ความเร็วเชิงมุม ω

3. หลักการสร้างรูปแบบพีดับบลิวเอ็ม

โดยการเลือกเวกเตอร์แรงดัน $\bar{V}_n$ $(n = 0,1,\ldots,7)$ และปรับระยะเวลาการใช้เวกเตอร์นั้น ให้เหมาะสมเพื่อให้ทางเดินของฟลักซ์ $\bar{\lambda}_s$ ที่ถูกสร้างขึ้นมา เคลื่อนตามเส้นทางของฟลักซ์อ้างอิง $\bar{\lambda}_s^*$ อย่างแนบชิดที่สุด วิธีการที่กล่าวถึงนี้เรียกว่าวิธี QCLM (Quasi Circular Locus Method)[3] หลักการของวิธีการนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) แบ่งวงกลมฟลักซ์อ้างอิง $\bar{\lambda}_s^*$ ออกเป็นช่วงย่อย ๆ ขนาดมุมเท่ากับ $\Delta\theta(= \omega\Delta T)$ โดยที่ $\Delta\theta$ และ ΔT เป็นมุมการสุ่ม (sampling angle) และ คาบการสุ่ม (sampling period) ตามลำดับ (คาบการสุ่ม ΔT เทียบได้กับ คาบพาห์ (carrier period) ของวิธีการ SHM)

2) การเลือก เวคเตอร์แรงดัน ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงย่อย ต้องเสร็จสิ้นภายในระยะเวลา คาบการสุ่ม ΔT

3) แต่ละช่วงย่อย สามารถเลือกใช้ เวกเตอร์แรงดัน ที่มีขนาดไม่เป็นศูนย์ได้ 2 แบบจากที่มีอยู่ 6 แบบ และเลือกใช้ เวกเตอร์แรงดัน ขนาดเป็นศูนย์ได้ 1 แบบ จากที่มีอยู่ 2 แบบ

4) เวกเตอร์แรงดัน ขนาดเป็นศูนย์ ถูกนำมาใช้เฉพาะในการเริ่มต้นและการสิ้นสุดของแต่ละช่วงย่อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปขนาดมุม $\Delta\theta$ ที่เลือกใช้จะมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับทั้งรอบวงกลม $\bar{\lambda}_s^*$ (2π rad) ดังนั้นการทำงานในโหมดชิงโครนัส ซึ่งหมายถึงการแบ่ง $\bar{\lambda}_s^*$ เป็นช่วงย่อยได้เป็นจำนวนเต็มพอดีจึงไม่จำเป็น เพราะผลของ ฮาร์โมนิกส์ ของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นแทบไม่แตกต่างกันเลย [3], [5]

รูปที่ 3 (ก) แสดงทางเดินของ $\bar{\lambda}_s^*$ และ $\bar{\lambda}_s$ ในหนึ่งช่วงย่อย โดย $\bar{\lambda}_s^*$ เคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งด้วย อัตราเร็ว (2/3)ME ในขณะที่ $\bar{\lambda}_s$ เคลื่อนที่ด้วย อัตราเร็วกว่าคือ $\left|\bar{V}_n\right|$ = (4/3)E (เมื่อเลือกใช้ เวกเตอร์แรงดัน ที่มีขนาดไม่เป็นศูนย์) เพื่อให้การใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของ $\bar{\lambda}_s^*$ และ $\bar{\lambda}_s$ เท่ากับ ΔT เท่ากัน จึงจำเป็นต้องเลือก เวกเตอร์แรงดัน ที่มีขนาดเป็นศูนย์สำหรับ $\bar{\lambda}_s$ ในช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละช่วงย่อย รูปที่ 3(ข) แสดงความสัมพันธ์ของ เวกเตอร์แรงดัน และ แรงดันเฟส ที่เกิดขึ้นในหนึ่งช่วงย่อย จากรูป ความกว้างพัลส์ที่เกิดขึ้น (หน่วยวินาที) เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\alpha_1 = K_1(\theta_r)M, \quad \alpha_2 = K_2(\theta_r)M \tag{8}$$

โดยที่

$$K_1(\theta_r) = \Delta T\cos(\theta_r - \pi/6)$$

และ

$$K_2(\theta_r) = \Delta T\cos(\theta_r + \pi/6)$$

โดย

$$\theta_r = \theta_o + \Delta\theta/2$$

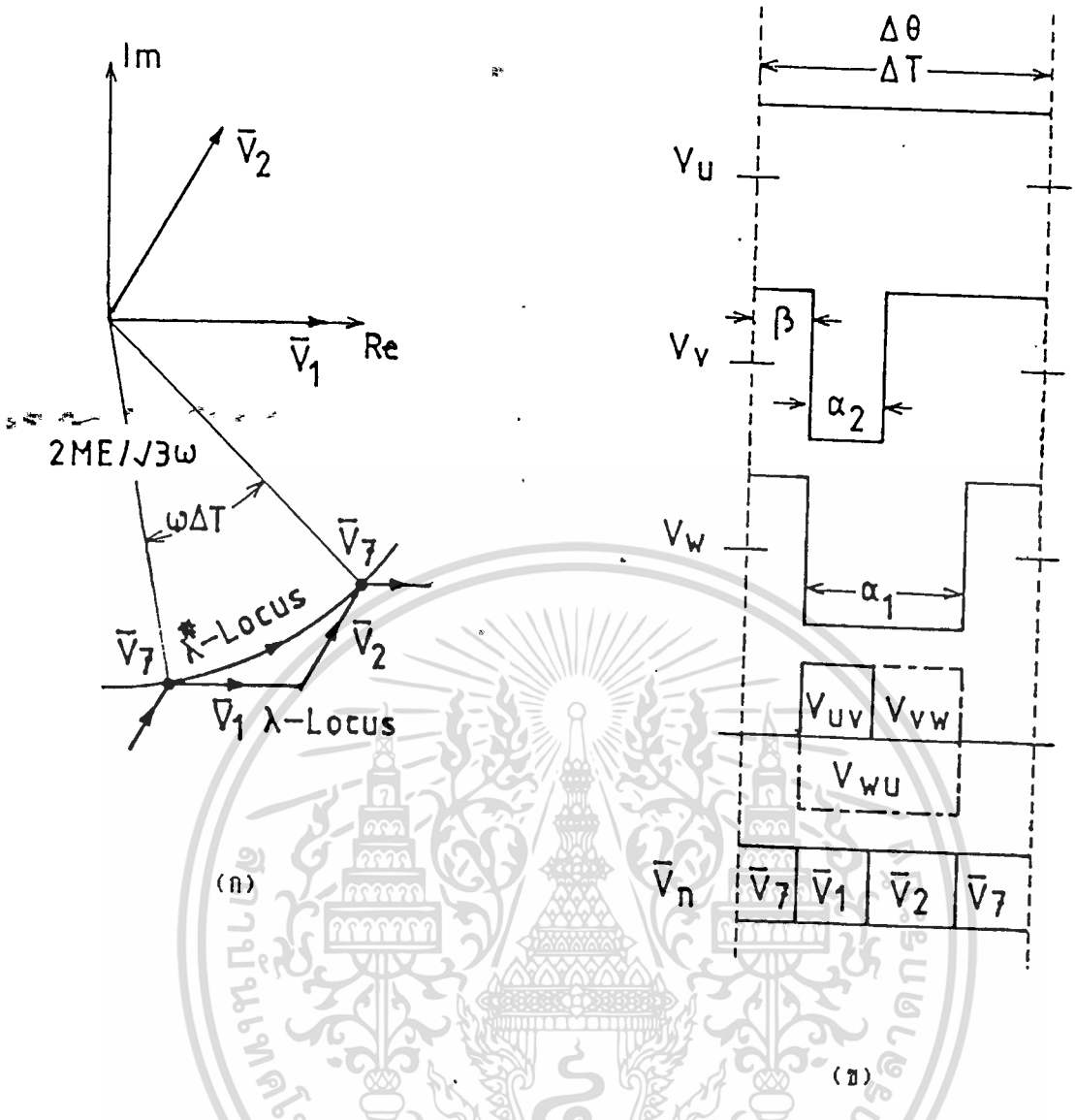
และ

$$\sin(\Delta\theta/2) \simeq \omega\Delta T/2$$

โดยที่ ค่า θ_r ใช้แทน มุมเฟสของแรงดันของช่วงย่อย ΔT ที่กำลังพิจารณา

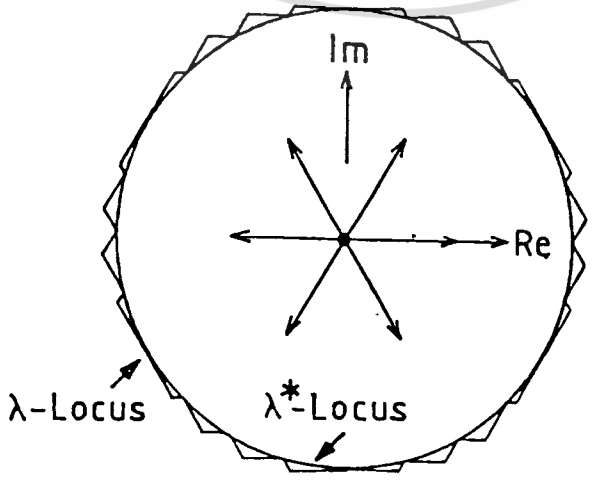
รูปที่ 4 แสดงทางเดินของ $\bar{\lambda}_s^*$ และ $\bar{\lambda}_s$ โดยใช้ค่า $\Delta\theta$ = 15 องศา เวกเตอร์แรงดัน ที่เลือกใช้แต่ละชุด จะครอบคลุมเป็นช่วงมุม π/3 (60 องศา) และเนื่องจากความสมมาตรในแต่ละช่วง π/3 จึงพิจารณา ช่วงมุม $0 < \theta < \pi/3$ ก็เพียงพอ การเลือกชุดเวกเตอร์แรงดัน ในแต่ละช่วงมุม π/3 แสดงในตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 (ก) ลักษณะทางเดินของ $\bar{\lambda}_s^*$ และ $\bar{\lambda}_s$ ภายในช่วงคาบการสุ่ม ΔT

(ข) ความสัมพันธ์ของเวกเตอร์แรงดันกับแรงดันเฟสในหนึ่งช่วงคาบการสุ่ม



รูปที่ 4 แสดงทางเดินของ $\bar{\lambda}_s^*$ และ $\bar{\lambda}_s$ ที่สมบูรณ์ ที่ค่า $\Delta\theta$ = 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละช่วง π/3 ที่พิจารณาจะพบว่า มีแรงดันเฟสหนึ่งในสามเฟส ที่ไม่มีการสวิทช์เกิดขึ้นเลย คือจะมีแรงดันเป็น +E หรือ -E ตลอดช่วง π/3 ในขณะที่วิธีการ SHM นั้น การสวิทช์จะเกิดขึ้นทุกเฟสในทุกช่วงย่อย ΔT ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่า วิธีนี้ทำให้จำนวนการสวิทช์ลดลง 33 เปอร์เซนต์เทียบกับวิธีการ SHM ที่ความถี่สุ่ม (หรือความถี่พาห์) เท่ากัน

ตารางที่ 2

การเลือกเวกเตอร์แรงดันเมื่อค่ามุมเฟส θ_r อยู่ในช่วงมุมต่างๆ

θ_r	ชุด $\bar{V}_n$ สำหรับช่วงมุมต่างๆ
0 - 60 องศา	$\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_7$
60 - 120 องศา	$\bar{V}_2, \bar{V}_3, \bar{V}_0$
120 - 180 องศา	$\bar{V}_3, \bar{V}_4, \bar{V}_7$
180 - 240 องศา	$\bar{V}_4, \bar{V}_5, \bar{V}_0$
240 - 300 องศา	$\bar{V}_5, \bar{V}_6, \bar{V}_7$
300 - 360 องศา	$\bar{V}_6, \bar{V}_1, \bar{V}_0$

กำหนดให้ β เป็นเวลาที่เลือกใช้ เวกเตอร์แรงดันขนาดเป็นศูนย์ในขณะเริ่มต้นช่วงย่อย ΔT การเลือกค่า β ที่เหมาะสมในแต่ละช่วงย่อย จะมีผลให้ค่าฮาร์โมนิกส์ของ กระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นเหลือน้อยที่สุด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

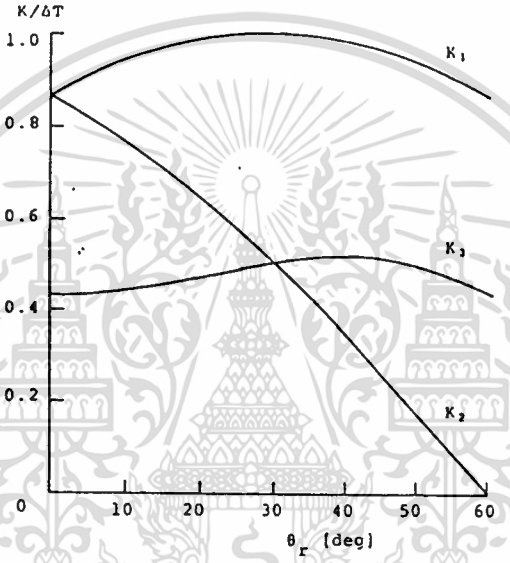
$$\beta = (\Delta T/2) - K_3(\theta_r)M \qquad (9)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_3(\theta_r) = (\sqrt{3}/2)\Delta T[(5\cos(\theta_r)/6) - (\cos(\theta_r)\cos(2\theta_r)/3)]$$

โดยการกำหนดคาบการสุ่ม ΔT คงที่จะพบว่า K_1, K_2 และ K_3 ใน (8) และ (9) เป็นฟังก์ชั่นของ มุมเฟส θ_r เท่านั้น ดังนั้นเราสามารถเก็บค่าคงที่เหล่านี้ในลักษณะตาราง ในเทอมของ θ_r ไว้ในหน่วยความจำถาวร (ROM) และเนื่องจากความสมมาตร จึงเก็บค่าคงที่เหล่านี้ในช่วง 60 องศาก็เพียงพอ ซึ่งทำให้ประหยัดเนื้อที่ของหน่วยความจำ รูปที่ 5 แสดง เส้นโค้งของ K_1, K_2 และ K_3 ตามค่า θ_r เนื่องจาก α_1, α_2 และ β เป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้นของ M การคำนวณจึงทำได้ง่ายและทำได้โดยทันที (on-line calculation) ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ K_1, K_2 และ K_3 กับมุมเฟส θ_r

4. การสร้างตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

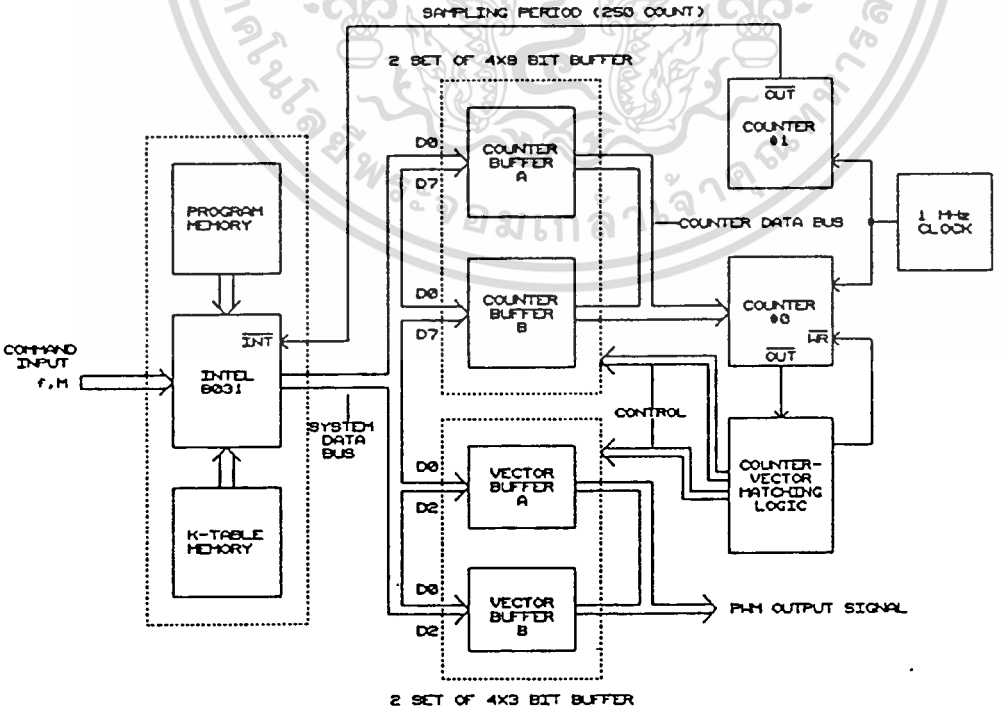
บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 6 แสดงลักษณะฮาร์ดแวร์ของตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม การเริ่มต้นการทำงานของวงจร (initialization) จะถูกจัดการด้วยโปรแกรมหลัก (main program) ดังในรูปที่ 7 (ก) การทำงานของวงจรสามารถอธิบายดังนี้ ซีพียูจะถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากตัวนับ # 1 (counter # 1) ทุก ๆ ช่วงเวลา ΔT = 250 μs เมื่อมีการกระตุ้นเกิดขึ้น ซีพียูจะอ่านค่าความถี่และดัชนีมอดูเลชั่นจากพอร์ทอินพุท (input port) เพื่อนำมาคำนวณความกว้างพัลส์ (4 ค่า) และเลือกเวกเตอร์แรงดันที่เหมาะสม (4 ชุด) จากนั้น ทำการส่งข้อมูลที่ประมวลผลได้ไปเก็บไว้ยังบัฟเฟอร์ (buffer) การทำงานของโปรแกรมแสดงเป็นลักษณะโฟลว์ชาร์ต ดังในรูปที่ 7 (ข) ข้อมูลความกว้างพัลส์ที่คำนวณได้จะถูกส่งไปเก็บยังบัฟเฟอร์สำหรับตัวนับ (counter buffer) และเวกเตอร์แรงดันที่เตรียมไว้จะถูกส่งไปเก็บยัง บัฟเฟอร์สำหรับเวกเตอร์ (vector buffer) ในแต่ละช่วง ΔT ข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บในบัฟเฟอร์ที่ถูกเลือกไว้ด้วยโปรแกรมเพียงชนิดเดียวจาก 2 ชนิด คือ A หรือ B

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และจะทำการสลับชนิดของบัฟเฟอร์ (B หรือ A) ที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับช่วงเวลา ΔT ถัดไป บัฟเฟอร์ที่นำมาใช้นี้เป็นบัฟเฟอร์ชนิดพอร์ทคู่(dual port buffer) ซึ่งการอ่านและเขียนข้อมูลสามารถทำได้ในเวลาเดียวกัน และแยกการอ่านและเขียนเป็นอิสระต่อกัน บัฟเฟอร์ชนิดนี้ทำให้ส่วนฮาร์ดแวร์ลดความซับซ้อนได้พอสมควร

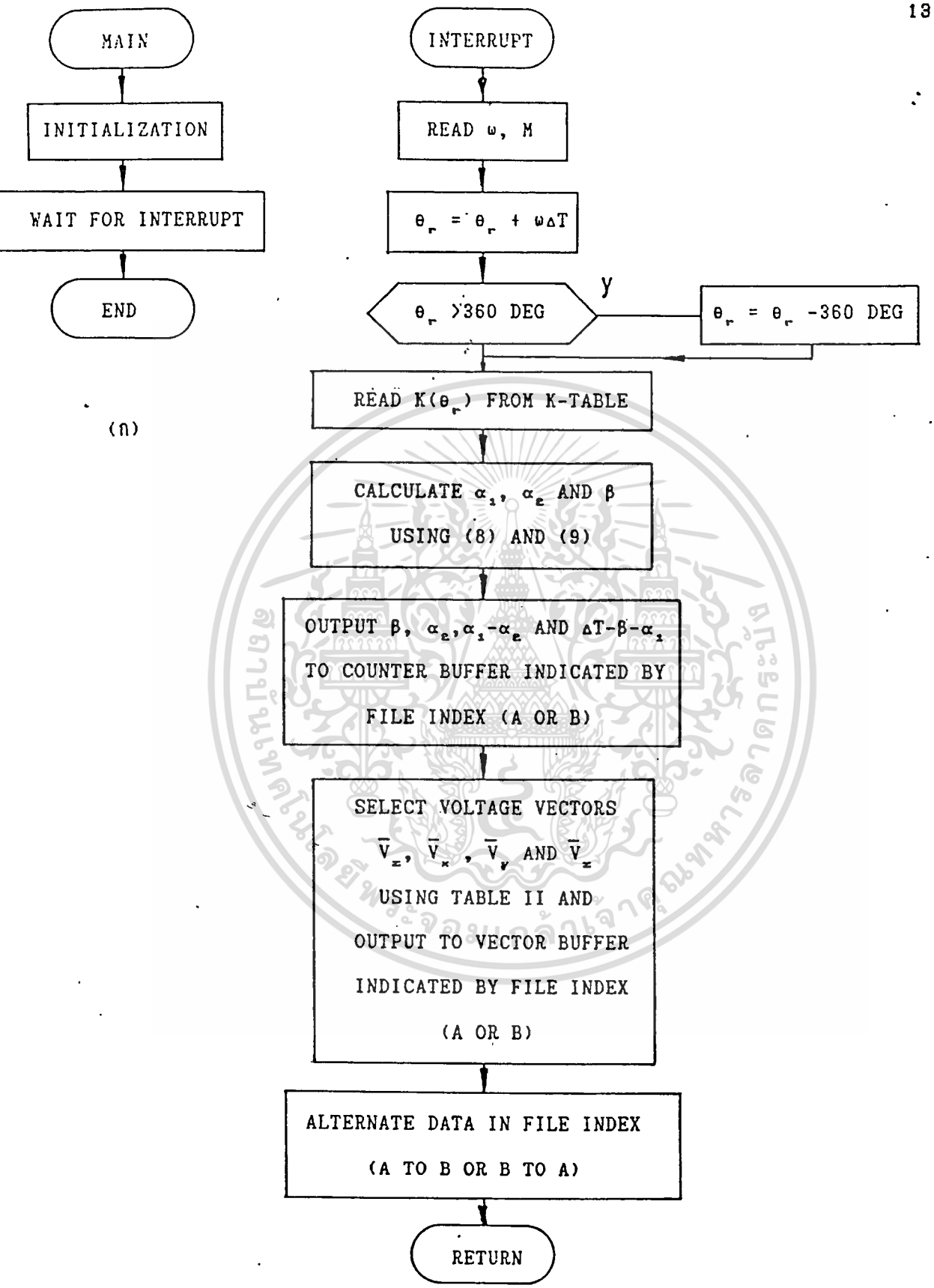
ในแต่ละช่วงเวลา ΔT ที่ซีพียูเลือกส่งข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ชนิดหนึ่งนั้น(สมมุติให้เป็นชนิด B) วงจรจับคู่ ตัวนับ-เวกเตอร์ (counter-vector matching logic) จะนำข้อมูลจาก บัฟเฟอร์ชนิดที่เหลือ (ในที่นี้คือ ชนิด A)ไปสร้างเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม โดยจะนำข้อมูล ความกว้างพัลส์ใน บัฟเฟอร์สำหรับตัวนับ ไปทำการนับด้วย ตัวนับ #0 (counter #0) ในขณะเดียวกันก็จะส่งสัญญาณไปกระตุ้น บัฟเฟอร์สำหรับเวกเตอร์ ให้ส่ง เวกเตอร์แรงดัน ที่สัมพันธ์กับ ความกว้างพัลส์ ที่กำลังทำการนับออกมา

ตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่สร้างขึ้นนี้สามารถกำหนดความถี่และแรงดัน (ด้วยดัชนีมอดูเลชั่น) ได้อย่างอิสระ และสามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงความถี่และแรงดันอินพุตได้เกือบจะทันที ทำให้ตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มชนิดนี้มีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมของตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของ ซีพียู INTEL 8031

5. การทดลองและผลการทดลอง

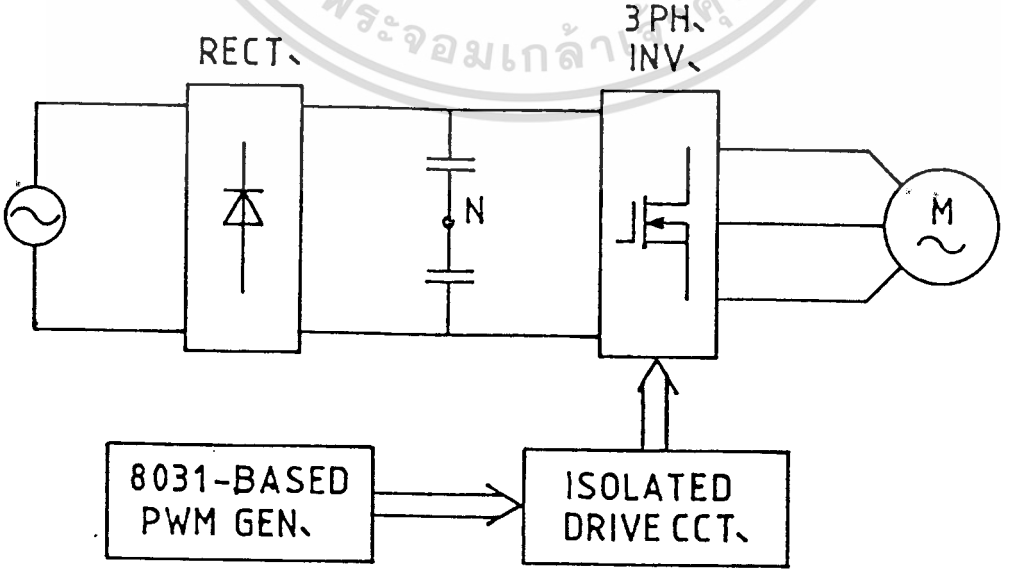
โดยการนำตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มไปทดลองใช้งานร่วมกับวงจรอินเวอร์เตอร์ ดังในรูปที่ 8 สามารถสรุปคุณสมบัติของตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่สร้างขึ้นได้ดังนี้คือ

- เมื่อกำหนดความละเอียด(resolution) เป็น 0.5 Hz/step สามารถสร้างความถี่เอาท์พุทได้ในช่วง 0-125 Hz

- สามารถสร้างแรงดันยอดสูงสุด (maximum peak voltage) ที่เอาท์พุทได้เท่ากับแรงดันไฟตรงที่ป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์

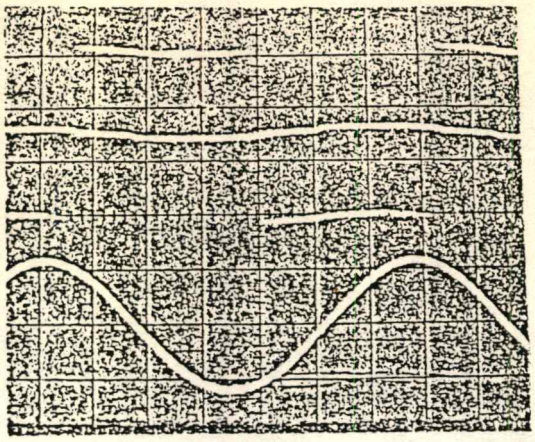
- เมื่อใช้ความถี่สุ่มเป็น 4 KHz ทำให้ความถี่การสวิทช์ของอุปกรณ์สวิทช์ชิ่งกำลัง (power switching devices) แต่ละตัวมีค่าประมาณ 2.67 KHz

รูปที่ 9 รูปที่ 10 และรูปที่ 11 เป็นภาพถ่ายแสดง แรงดันเฟส แรงดันระหว่างไลน์ และกระแสที่ความถี่ต่าง ๆ กัน จากรูป จะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ มีลักษณะใกล้เคียง คลื่นไซน์มาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการสร้างคลื่นพีดับบลิวเอ็มโดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กนั้น ให้ค่าฮาร์โมนิกส์ที่เอาท์พุทต่ำ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

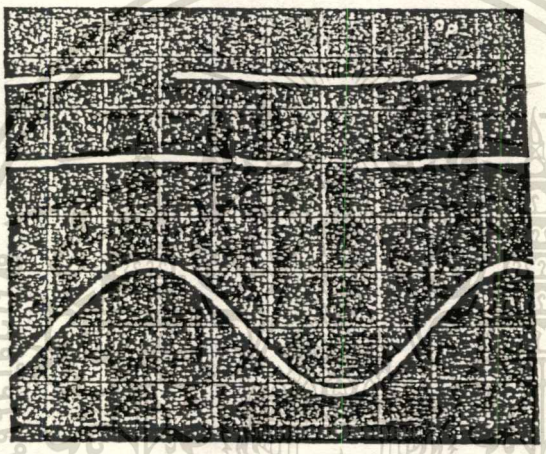


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

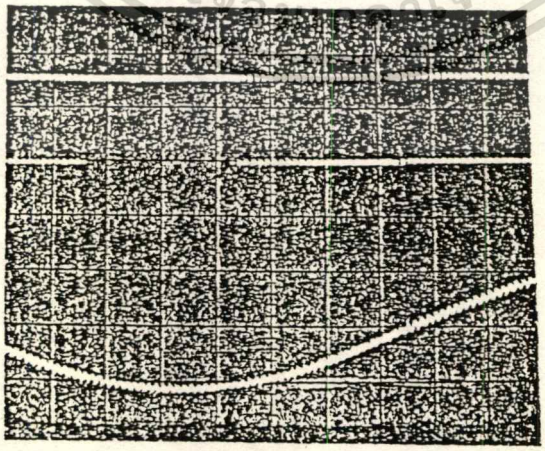
รูปที่ 8 วงจรที่ใช้ทดสอบ ตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม



(ก) แรงดันระหว่างไลน์ v_{uv} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_u (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:5 ms/Div)



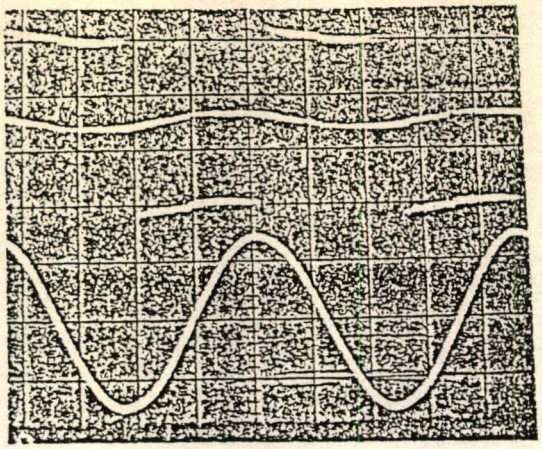
(ข) แรงดันเฟส v_{uN} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_u (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:5 ms/Div)



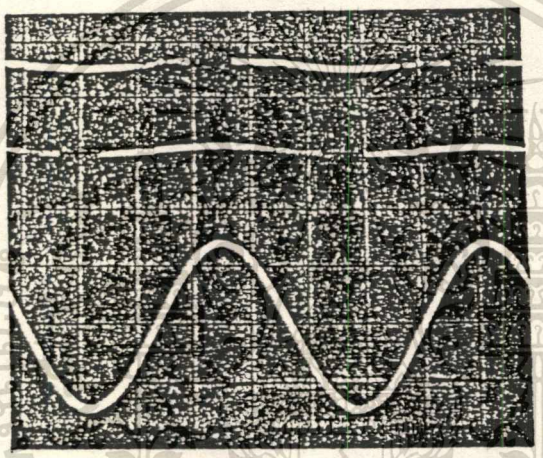
(ค) แรงดันเฟส v_{uN} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_u (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:2 ms/Div)

รูปที่ 9 (ก)-(ค) แสดงรูปคลื่นต่างๆที่ป้อนเข้ามอเตอร์ ที่ความถี่ f_o = 29.5 Hz และ M =0.6

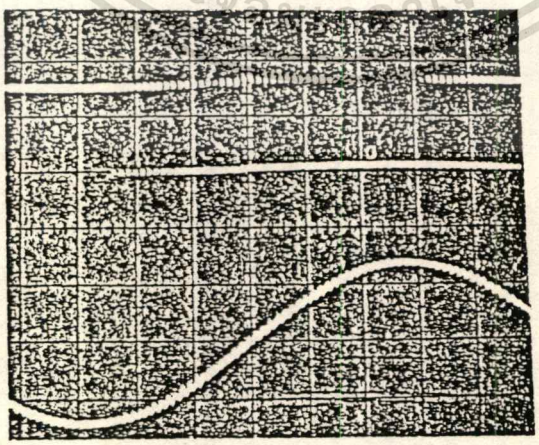
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



(ก) แรงดันระหว่างไลน์ v_{uv} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_u (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:5 ms/Div)



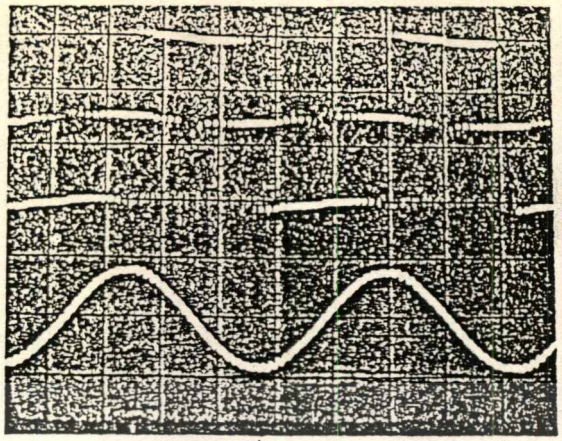
(ข) แรงดันเฟส v_{uN} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_u (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:5 ms/Div)



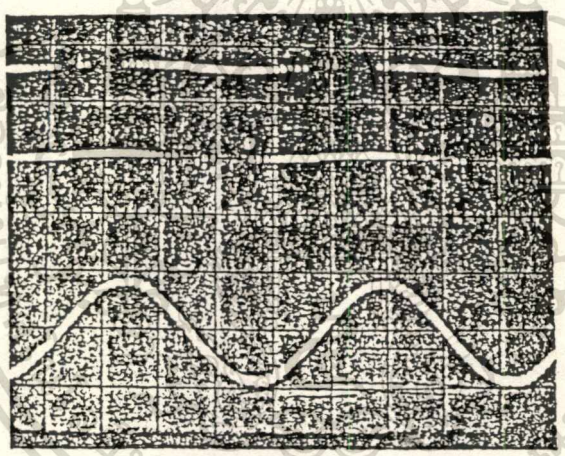
(ค) แรงดันเฟส v_{uN} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_u (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:2 ms/Div)

รูปที่ 10 (ก)-(ค) แสดงรูปคลื่นต่างๆที่ป้อนเข้ามอเตอร์ ที่ความถี่ f_o = 43 Hz และ M = 0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แรงดันระหว่างไลน์ v_{ll} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_o (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:5 ms/Div)



(ข) แรงดันเฟส v_{oN} (บน:200 V/Div) และกระแสไลน์ i_o (ล่าง:3 A/Div)
(แนวระดับ:5 ms/Div)

รูปที่ 11 (ก)-(ข) แสดงรูปคลื่นต่างๆที่ป้อนเข้ามอเตอร์ ที่ความถี่ f_o = 117.5 Hz และ M = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุป

บทความนี้ ได้แสดงถึงการสร้างตัวกำเนิดสัญญาณพีดับบลิวเอ็มโดยวิธีการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ INTEL 8031 เป็นฐาน ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศและยังมีราคาต่ำอีกด้วย วิธีการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กยังมีข้อดีกว่าวิธีการเก่า โดยเฉพาะ SHM คือวิธีการนี้ให้แรงดันเอาท์พุทสูงสุดมากกว่า 15 เปอร์เซนต์ และที่ความถี่สุ่มเท่ากันยังให้ความถี่สวิทช์ชิ่งลดลง 33 เปอร์เซนต์ ซึ่งหมายถึงการสูญเสียสวิทช์ชิ่งที่เกิดขึ้นจะลดลงไปด้วย นอกจากนี้ เนื่องจากวิธีการนี้ทำงานในโหมด อะซิงโครนัส จึงไม่มีการกระตุกของแรงบิด ซึ่งอาจเกิดขึ้นจาก การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มในโหมดซิงโครนัส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุภาณี มุขพันธ์ และ คุณเสรษฐลักษณ์ เหงาจิ้น ที่ได้ช่วยเหลือด้านงานพิมพ์จนงานสำเร็จลงด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] P. C. Sen,"Electric motor drives and control-past,present,and future," IEEE Trans. Ind. Elec.,vol. IE-37,no. 6,pp. 562-575,Dec 1990.

[2] N. Zorbas, and B. A. Neyland,"Derivation of induction motor equivalent circuit using space phasor concepts," IEEE Trans. Edu.,vol. E-30,no.2, pp. 90-97, May 1987.

[3] S. Fukuda,Y. Iwaji,and H.Masegawa, "PWM technique for inverter with sinusoidal output current," IEEE Trans. Power Elec.,vol. 5,no. 1,pp. 54-61,Jan. 1990.

[4] M. Morimoto,S. Sato,K. Sumito, and K. Oshitani, "Single-chip microcomputer control of the inverter by the magnetic flux control PWM method,"IEEE Trans. Ind. Elect.,vol. IE-36,no. 1,pp. 42-47, Feb. 1989.

[5] J. Hamman and F. S. van der Merwe, " Voltage harmonics generated by voltage-fed inverters using PWM natural sampling," IEEE Trans. Power Elec.,vol. 3,no. 3,pp. 297-302,July 1988.

[6] J. M. D. Murphy and F. G. Turnbull, "Power Electronic Control of AC Motors," Pergamon Pess, UK, 1988.

[7] Intel Microcontroller Handbook, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้