

การศึกษาและออกแบบการประยุกต์ใช้ อินเวอร์เตอร์ กับระบบเครื่อง  
ปรับอากาศที่ใช้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ชนิด 1 เฟส

Study and design the application of inverter for the single-phase  
air conditioning system.



โดย

นายกำพล

เสมจิตร

นายกำพล

จันทโรภาสกุล

นายนพพร

บุญนาค

นายสุรพงษ์

บุญทรัพย์

นายอนุชาติ

ใจมิกข์

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 45943  
วัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

การศึกษาและออกแบบการประยุกต์ใช้ อินเทอร์เน็ต กับระบบเครื่อง  
ปรับอากาศที่ใช้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ชนิด 1 เฟส

ผู้จัดทำ

นายกัมพล

เสมจิตร

นายกำพล

จันทโรภาสกุล

นายนพพร

บุญนาถ

นายสุรพงษ์

บุญทรัพย์

นายอนุชาติ

ใจมิภักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. สุรินทร์ คำฝอย)

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาและออกแบบการประยุกต์ใช้ อินเวอร์เตอร์ กับระบบเครื่อง ปรับอากาศที่ใช้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ชนิด 1 เฟส

นายกัมพล	เสมอจิตร	
นายกำพล	จันทโรภาสกุล	
นายนพพร	บุญนาคน	
นายสุรพงษ์	บุญทรัพย์	
นายอนุชาติ	ใจมิภักดิ์	
ผศ. ประภาช	ไพโรสุวรรณา	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. สุรินทร์	คำฝอย	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

## บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบการประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์กับระบบเครื่องปรับอากาศ แบบแยกส่วนที่มีมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เป็นชนิด 1 เฟส ที่ได้มีการติดตั้งใช้งานแล้วในอาคาร เพื่อหาแนวทางประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็น Module เบอร์ PS11036 มี IGBT เป็นอุปกรณ์สวิตช์ พิกัด 2.2 kw/200 V<sub>AC</sub> ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 6 kHz การควบคุมการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C52 มีการประมวลผลแบบ 8 บิต ใช้เทคนิคของ SPWM สร้างสัญญาณ แบบ 1-เฟสควบคุมแรงดันและความถี่ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายป้อนให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ ให้เหมาะสมกับภาระโหลดที่เปลี่ยนแปลงภายในห้อง เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 13,000 บีทียู. คอมเพรสเซอร์แบบ โรตารีชนิด 1- เฟส พิกัด 220 V , 6.2A , 50Hz ในโครงการจะศึกษาผลของความถี่ต่าง ๆ กับการใช้พลังงาน เพื่อหาขนาดความถี่ควบคุมที่เหมาะสม และเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับระบบเครื่องปรับอากาศทั่วไป ภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกัน

# Study and design the application of inverter for the single-phase air conditioning system.

Kumpol Semjit

Kampol Chantaropaskool

Nopporn Boonnak

Surapong Boonsub

Anuchart Jaimepak

Assist.Prof. Prapas Praisuvanna Advisor

Surin Khomfoi Advisor

2001.

## ABSTRACT

This thesis presents a study and design of the application of inverter to the split type air-conditioner, using 1 phase compressing motor. For inverter, PS11036 module having IGBT as the switching devices is used. The rate of PS11036 module is 2.2 kW/200 V<sub>AC</sub>. The switching frequency is 6 kHz. 8-bit processing microcontroller, MCS-51 No. 89C52, is used to control switching of the inverter. SPWM technique is used to generate 1-phase signal. The signal is use to control voltage and fundamental frequency of the source, feeding to compressing unit, for changing the speed of compressing motor. The speed is changed suitable for the load changed in the room. The air-conditioner, rated 13,000 BTU, using 1 phase, 220 V, 6.2 A, 50 Hz rotary type compressing unit; is used in this experiment. Furthermore, the effect of fundamental frequency on energy consumption is considered to find the proper range of controlled fundamental frequency. Eventually, the comparison of energy consumption between the conventional air-conditioner and air-conditioner using voltage source inverter is discussed under the same conditions to find the ways to save electrical energy.

# สารบัญ

บทคัดย่อ	
Abstract	
สารบัญ	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาใช้กับ โครงการงาน	4
2.1 พื้นฐานของระบบทำความเย็น	4
2.2 คอมเพรสเซอร์ในระบบทำความเย็น	7
2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์	12
2.4 ทฤษฎีมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1-เฟส	15
2.5 อินเวอร์เตอร์	34
2.6 ไอจีบีที	42
บทที่ 3 การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ	46
3.1 ส่วนจ่ายไฟเลี้ยงวงจร	46
3.2 ส่วนวงจรกำลัง	53
3.3 ส่วนวงจรควบคุม	54
บทที่ 4 วงจรการทดสอบและผลการทดสอบ	62
4.1 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ	64
4.2 ผลการทดสอบ	65
บทที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดสอบ , สรุปรูป , วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ	76
ภาคผนวก ก. รูปอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ	78
ภาคผนวก ข. ข้อมูลของเครื่องปรับอากาศและขนาดของห้องที่ใช้ในการทดสอบ	91
ภาคผนวก ค. ข้อมูลไอซีที่ใช้ในปริยญาานิพนธ์	93
กิตติกรรมประกาศ	107
เอกสารอ้างอิง	108

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบเครื่องปรับอากาศ	4
รูปที่ 2.2	แสดงพื้นฐานการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็น	5
รูปที่ 2.3	สถานะของสารทำความเย็นในระบบ	7
รูปที่ 2.4	วงจรเครื่องทำความเย็น	7
รูปที่ 2.5	แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ	9
รูปที่ 2.6	แสดงจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารีแบบใบมีดอยู่กับที่	10
รูปที่ 2.7	แสดงจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารีแบบใบหมุน	11
รูปที่ 2.8	แสดงการทำ by-pass ของ hotgas	13
รูปที่ 2.9	แสดงการทำ by-pass ที่กระบอกสูบ	13
รูปที่ 2.10	แสดงการปลดโหลดของกระบอกสูบ	14
รูปที่ 2.11	โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	15
รูปที่ 2.12	การสั้น(หรือการกระเพื่อม)ของสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กหมุน	17
รูปที่ 2.13	ภาพตัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	18
รูปที่ 2.14	คุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กหมุน ไปข้างหน้า และถอยหลัง	18
รูปที่ 2.15	วงจรสมมูลย์ของ โรเตอร์	19
รูปที่ 2.16	คุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว ค่าจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว จากการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นเส้นแรงแม่เหล็กหมุน ไปข้างหน้าและถอยหลัง	19
รูปที่ 2.17	สนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและถอยหลัง	20
รูปที่ 2.18	วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว	22
รูปที่ 2.19	คุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว	23
รูปที่ 2.20	มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดขดลวดแยก	26
รูปที่ 2.21	มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ	27
รูปที่ 2.22	มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดหมุนด้วยตัวเก็บประจุ	27
รูปที่ 2.23	มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดเริ่มต้นหมุนและหมุนด้วยตัวเก็บประจุ	28
รูปที่ 2.24	การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน,แรงบิด,กระแส สเตเตอร์กับความถี่	29
รูปที่ 2.25	กราฟแสดงแรงบิด-ความเร็วมอเตอร์เมื่อควบคุมแบบ VVVF	30
รูปที่ 2.26	กราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วที่สลิปมีค่าต่ำโดยที่ พลิกซ์ในช่องว่างอากาศ $\phi_{ag}$ และภาระแรงบิดคงที่	31

รูปที่ 2.27	กราฟคุณสมบัติของแรงบิดกับความเร็วเมื่อแรงบิดเปลี่ยนแปลงตาม ความเร็วกำลังสอง	32
รูปที่ 2.28	ความต้องการแรงดันขดเซยเพื่อรักษาฟลักซ์คงที่เมื่อความถี่ต่างๆ	32
รูปที่ 2.29	บล็อกไดอะแกรมของระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อน มอเตอร์เหนี่ยวนำ	34
รูปที่ 2.30	ฮาร์ฟ-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์	35
รูปที่ 2.31	ฟูล-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์	36
รูปที่ 2.32	วงจรกำลังของพี-ดับเบิลว-เอ็ม อินเวอร์เตอร์	37
รูปที่ 2.33	พี-ดับเบิลว-เอ็ม ไบโพล่า	38
รูปที่ 2.34	Inverter with “fictitious” filter	39
รูปที่ 2.35	กระแสทางด้าน คีซี. ในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่ใช้การสวิตช์แบบ พี-ดับเบิลว-เอ็ม ไบโพล่า	40
รูปที่ 2.36	พี-ดับเบิลว-เอ็ม ยูนิโพล่า	41
รูปที่ 2.37	กระแสทางด้าน คีซี. ในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่ใช้การสวิตช์แบบ พี-ดับเบิลว-เอ็ม ยูนิโพล่า	42
รูปที่ 2.38	แสดงภาพตัดแนวคิ่งของ ไอจีบีที	43
รูปที่ 2.39	แสดงคุณลักษณะของกระแสและความต่างศักย์ของ ไอจีบีที	43
รูปที่ 3.1	แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป	46
รูปที่ 3.2	แสดงลักษณะการจذبวงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 3.1	47
รูปที่ 3.3	แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	48
รูปที่ 3.4	แสดงลักษณะของกระแสที่ขด ไพรมารีและกระแสที่ขดเซคันดารีขณะที่ วงจรทำงาน	49
รูปที่ 3.5	แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรขณะทำงานของ ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	50
รูปที่ 3.6	แสดงลักษณะการพันขดลวดบนบอบบิ้น	50
รูปที่ 3.7	แสดงลักษณะแกนเฟอร์ไรท์	51
รูปที่ 3.8	วงจรของส่วนจ่ายไฟเลี้ยง	52
รูปที่ 3.9	วงจรกำลัง	53
รูปที่ 3.10	แสดงวงจรอินเตอร์เฟสของการสร้างสัญญาณ พี-ดับเบิลว-เอ็ม 1-เฟส	55
รูปที่ 3.11	แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรอินเตอร์เฟส	57
รูปที่ 3.12	แสดงหลักการสร้างวงจรเดคไทม์	57
รูปที่ 3.13	แสดงวงจรเดคไทม์ควบคุม ไอจีบีที 2 กิ่ง	58

รูปที่ 3.14	แสดงวงจรแยกกราวด์โดยใช้ Opto Isolator	59
รูปที่ 3.15	แสดงวงจรที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ	60
รูปที่ 3.16	แสดงโฟลชาร์ทการทำงานจากระบบ	61
รูปที่ 4.1	รูปคลื่นแรงดันเข้าที่พุดที่ค่า $m_a = 1.0$ และ $m_a = 1.5$	62
รูปที่ 4.2	แสดงวงจรในการทดสอบ	64
รูปที่ 4.3	แสดงกำลังไฟฟ้า(P) กับความถี่ไฟฟ้า ของอินเวอร์เตอร์ ที่อุณหภูมิ 20,22, 24,25,27 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิแวดล้อม 32 องศาเซลเซียส	65
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ของเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เข้าที่พุดอินเวอร์เตอร์ กับความถี่ ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20,22,24,25,27 องศาเซลเซียส	65
รูปที่ 4.5	ลักษณะการตัด-ต่อของเทอร์โมสตัดท์ในเครื่องปรับอากาศทั่วไป	66
รูปที่ 4.6	แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ใช้อินเวอร์เตอร์	66
รูปที่ 4.7	แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า(kW-h)ของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์	67
รูปที่ 4.8	แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 22 องศาเซลเซียส	68
รูปที่ 4.9	แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 24 องศาเซลเซียส	68
รูปที่ 4.10	แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 25 องศาเซลเซียส	69
รูปที่ 4.11	แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 27 องศาเซลเซียส	69
รูปที่ 4.12	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิรตซ์(ที่ 20 องศาเซลเซียส)	70
รูปที่ 4.13	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิรตซ์(ที่ 20 องศาเซลเซียส)	70
รูปที่ 4.14	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิรตซ์(ที่ 20 องศาเซลเซียส)	70
รูปที่ 4.15	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์(ที่ 20 องศาเซลเซียส)	70
รูปที่ 4.16	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิรตซ์(ที่ 24 องศาเซลเซียส)	71
รูปที่ 4.17	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิรตซ์(ที่ 24 องศาเซลเซียส)	71
รูปที่ 4.18	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิรตซ์(ที่ 24 องศาเซลเซียส)	71
รูปที่ 4.19	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์(ที่ 24 องศาเซลเซียส)	71
รูปที่ 4.20	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิรตซ์(ที่ 27 องศาเซลเซียส)	72
รูปที่ 4.21	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิรตซ์(ที่ 27 องศาเซลเซียส)	72
รูปที่ 4.22	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิรตซ์(ที่ 27 องศาเซลเซียส)	72

รูปที่ 4.23	แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต(ที่ 27 องศาเซลเซียส)	72
รูปที่ 4.24	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	73
รูปที่ 4.25	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	73
รูปที่ 4.26	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	73
รูปที่ 4.27	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	73
รูปที่ 4.28	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต (ที่ 24 องศาเซลเซียส)	74
รูปที่ 4.29	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต (ที่ 24 องศาเซลเซียส)	74
รูปที่ 4.30	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต (ที่ 24 องศาเซลเซียส)	74
รูปที่ 4.31	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต (ที่ 24 องศาเซลเซียส)	74
รูปที่ 4.32	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต (ที่ 27 องศาเซลเซียส)	75
รูปที่ 4.33	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต (ที่ 27 องศาเซลเซียส)	75
รูปที่ 4.34	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต (ที่ 27 องศาเซลเซียส)	75
รูปที่ 4.35	แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต (ที่ 27 องศาเซลเซียส)	75

# บทที่ 1

## บทนำ

สภาพอากาศในปัจจุบันจะเห็นว่า ช่วงที่อากาศร้อนจะยาวนานขึ้น และมีแนวโน้มว่าในอนาคตยังจะเป็นเช่นนี้อีกต่อไป เนื่องจากการใช้และเผาผลาญพลังงานมีมากขึ้นเพราะยังมีความจำเป็นต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เมื่อเป็นเช่นนี้ คนทั่วไปที่พอมีฐานะทางเศรษฐกิจ ก็หันมาพึ่งเครื่องปรับอากาศเพื่อบรรเทาปัญหาเหล่านี้ จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กอาจมีความสำคัญสำหรับครอบครัวเสมือนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการดำรงชีพเลยทีเดียว เมื่อคนทั่วไปหันมาใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้นผลที่ตามมาก็คือ การบริโภคพลังงานก็จะมากตามไปด้วย ซึ่งองค์กรของรัฐจะต้องจัดหาพลังงาน ในส่วนนี้ให้เพียงพอกับความต้องการ เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่ากระบวนการที่ได้มาซึ่งพลังงาน ก็จะทำให้เกิดมลภาวะขึ้นมาอีก และจะเป็นวัฏจักรเช่นนี้ต่อไป ถ้าไม่ได้รับการแก้ไข

จากสาเหตุข้างต้น จะเห็นว่า ในอนาคตแนวโน้มความต้องการใช้ เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กจะมีมากขึ้น และเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดที่ราคาไม่สูงนัก ส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ใช้กับระบบไฟฟ้าเฟสเดียว ใช้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์เฟสเดียว มีการทำงานแบบ on-off โดยใช้เทอร์โมสแตท เป็นตัวควบคุมการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะตัดวงจรเมื่ออุณหภูมิห้องลดลงต่ำกว่าจุดที่ตั้งไว้ และจะต่อวงจรเมื่ออุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้นสูงกว่าจุดที่ตั้งไว้ การทำงานลักษณะนี้ทำให้เกิดการสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์บ่อยครั้ง แต่แต่ละครั้งก็จะขับโหลดเกือบเต็มพิกัด ทำให้กระแสสตาร์ทสูงขึ้นไปอีก ซึ่งปกติการสตาร์ทตัวเปล่าก็สูงอยู่แล้ว (5 – 7 เท่าของพิกัด) เมื่อเราพิจารณาความดันน้ำยาทางด้านเข้าที่พุดของคอมเพรสเซอร์พบว่า ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเหมือนกับกำลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ไป แต่จะค่อยๆเพิ่มเมื่อคอมเพรสเซอร์เริ่มหมุน และจะลดลงเมื่อคอมเพรสเซอร์หยุดหมุน ซึ่งจุดนี้เองทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในระบบ จากกระบวนการดังกล่าวจะเห็นว่ายังมีการสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์ บ่อยครั้งเท่าใด การสูญเสียกำลังงานของระบบก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งไม่เพียงแต่ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้จะเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังเป็นภาระที่รัฐจะต้องจัดหาให้เพียงพอกับความต้องการอีกด้วย

จากลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศระบบเก่าที่ใช้เทอร์โมสแตทพบว่า เกิดการสูญเสียขึ้นในระบบเนื่องจากการสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์บ่อยครั้ง จากจุดนี้เองทำให้เกิดแนวความคิดว่าถ้าสามารถลดการสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์ ก็จะลดการสูญเสียในส่วนนี้ได้ และในการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดพบว่าความดันน้ำยาด้านเข้าที่พุดของคอมเพรสเซอร์จะแปรผันตรงกับความเร็วยรอบของคอมเพรสเซอร์ และความเย็นภายในห้องก็จะแปรผันตรงกับความดัน

นำยาทางเข้าที่พูดของคอมเพรสเซอร์เหมือนกัน นั่นคือ ความเย็นภายในห้อง ก็จะแปรผันตรงกับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ นั่นเอง

ด้วยเหตุนี้เองจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาระบบเพื่อประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันเฟสเดียวให้ควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ เป้าหมายคือควบคุมให้คอมเพรสเซอร์ทำงานในระดับความเร็วรอบที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้อง โดยให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอย่างต่อเนื่องแต่ความเร็วรอบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในห้อง การทำงานของระบบที่ศึกษานี้ก็คืออินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนขนาดแรงดันและความถี่ที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิภายในห้องตลอดเวลา ตัวคอนโทรลเลอร์จะคอยเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้นี้กับค่าอ้างอิงที่เราตั้งไว้ แล้วประมวลผลและกำเนิดสัญญาณไปควบคุมอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้จ่ายแรงดันและความถี่ที่เหมาะสมให้กับคอมเพรสเซอร์ การทำงานของระบบก็จะเป็นเช่นนี้ต่อไป จนกว่าจะปิดเครื่องปรับอากาศ

การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ในระบบที่ศึกษานี้ นอกจากลดการสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์ได้แล้ว ยังช่วยลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ เพราะไม่ต้องทำงานที่พิกัดกำลังตลอดเวลา และสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ ที่ระดับความถี่ของระบบแตกต่างกันได้ และเนื่องจากไม่มีการสตาร์ทของคอมเพรสเซอร์บ่อยครั้ง ดังนั้นจึงลดเสียงรบกวนลงได้ด้วย

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์
2. เพื่อออกแบบและประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์กับระบบเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่ใช้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์เฟสเดียว ที่ติดตั้งใช้งานอยู่ก่อนแล้วให้ทำงานสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในห้อง
3. ศึกษาาระบบเครื่องปรับอากาศแบบที่ใช้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์เฟสเดียว เพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงาน

### ขอบเขตโครงการ

1. สร้างเครื่องต้นแบบที่มีพิกัดใช้งานกับเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนขนาด13,000BTU/ชั่วโมง
2. เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ระบบอินเวอร์เตอร์ใช้ไปกับระบบเดิมที่ควบคุมโดยเทอร์โมสแตท ว่ามากน้อยกว่ากันอย่างไร
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบให้ทราบถึงปัญหาและหาแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ไขต่อไปเพื่อให้ระบบใช้พลังงานน้อยลงโดยที่ยังให้ความเย็นได้เท่าเดิม
4. สรุปผลที่ได้ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาระบบนี้ขึ้นต่อไป

เนื้อหาในปริญาานิพนธ์ประกอบด้วย 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงปัญหาและที่มา , ความสนใจ , สิ่งทีคาดว่าจะได้รับตลอดจนวัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ

บทที่ 2 เนื้อหาจะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

บทที่ 3 เนื้อหาจะกล่าวถึงการออกแบบและการนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบ

บทที่ 4 เนื้อหาจะกล่าวถึง การทดสอบ , วิธีการทดสอบ และผลที่ได้จากการทดสอบ

บทที่ 5 เนื้อหาจะเป็นการเปรียบเทียบผลจากการทดสอบ , ข้อสรุป ที่ได้จากระบบที่ศึกษาในขั้นนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาขั้นต่อไป



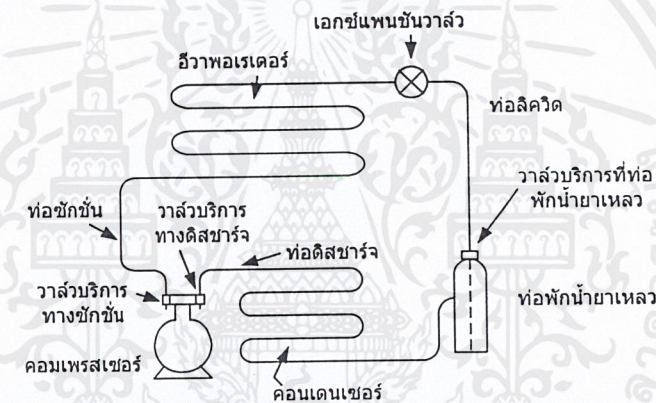
## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาใช้กับโครงการ

### 2.1 หลักการพื้นฐานของระบบทำความเย็น

ตามปกติเมื่อได้ยินคำว่า “การปรับอากาศ” สิ่งแรกที่ทุกคนเข้าใจก็คือการทำอากาศให้เย็นเท่านั้นแต่ในความจริงที่แท้จริงของคำว่าปรับอากาศแล้วจะต้องมีความหมายรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ ให้มีอุณหภูมิพอเหมาะให้คนที่อยู่ข้างในมีความรู้สึกสบาย , ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ , การระบายอากาศเสียทิ้ง รวมทั้งการหมุนเวียนของอากาศบริสุทธิ์ และการกรองอากาศที่สกปรกให้สะอาด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่เป็นผลพลอยได้คือการจัดสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง ควันบุหรี่ กลิ่นและเสียงให้ลดน้อยลงได้

#### 2.1.1 วงจรเครื่องทำความเย็นระบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบเครื่องปรับอากาศ

หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์หลักมีดังนี้คือ

- 1) อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดูดซับปริมาณความร้อนจากบริเวณหรือเนื้อที่ที่ต้องการทำความเย็นขณะที่น้ำยาทำความเย็นภายในระบบตรงบริเวณนี้ระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สจะดูดซับปริมาณความร้อนผ่านผิวท่อทางเดินน้ำยาเข้าไปยังน้ำยาภายในระบบ ทำให้อุณหภูมิโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ลดลง
- 2) คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่ในการดูดและอัดน้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊ส โดยดูดแก๊สที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์ และอัดให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง จนถึงจุดที่แก๊สพร้อมจะควบแน่น เป็นของเหลวเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำยา
- 3) คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ให้น้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊สกลับตัวเป็นของเหลวด้วยการระบายความร้อนออกจากรู้น้ำยา นั่น กล่าวคือน้ำยาในสถานะแก๊ส อุณหภูมิสูง ความดันสูง ซึ่งถูก

อัดส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ เมื่อถูกระบายความร้อนแฝงออกจะกลั่นตัวเป็นของเหลว แต่ยังคงมีความดันและอุณหภูมิสูงอยู่

4) ท่อพักน้ำยาเหลว น้ำยาเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิสูงซึ่งกลั่นตัวมาแล้วจากคอนเดนเซอร์จะถูกส่งเข้ามาพักในท่อพักน้ำยานี้ ก่อนที่จะถูกส่งไปยังเอกซ์แพนชันวาล์วอีกทีหนึ่ง

5) เอกซ์แพนชันวาล์ว ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำยาเหลวที่ผ่านเข้าไปยังอีวาพอเรเตอร์ลดความดันของน้ำยาให้มีความดันต่ำลง จนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ในอีวาพอเรเตอร์

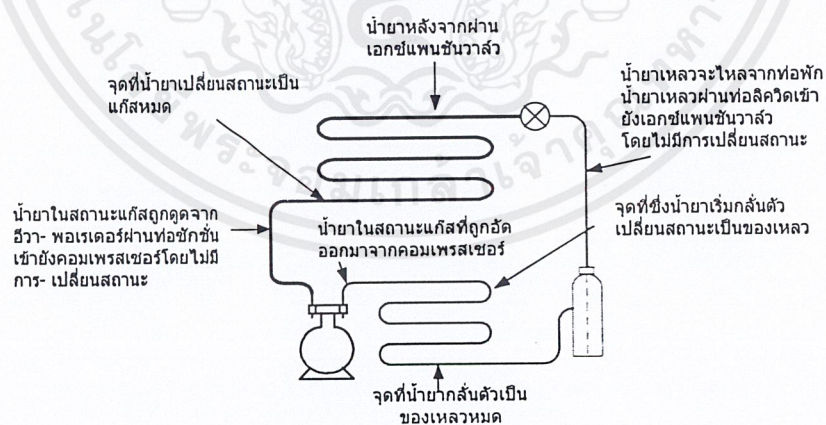
นอกจากอุปกรณ์หลักที่สำคัญของระบบการทำความเย็นที่กล่าวมาแล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ควรทราบคือ

ท่อชักชั้น เป็นท่อทางเดินน้ำยาที่ต่ออยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์กับทางดูดของคอมเพรสเซอร์ น้ำยาในสถานะแก๊ส อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ จากอีวาพอเรเตอร์จะถูกดูดผ่านท่อชักชั้น เข้ายังคอมเพรสเซอร์

ท่อดิสชาร์จ เป็นท่อทางเดินน้ำยาที่ต่ออยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ น้ำยาในสถานะที่เป็นแก๊สซึ่งถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นไปจะถูกส่งไปยังคอนเดนเซอร์ โดยผ่านท่อดิสชาร์จนี้

ท่อลิกวิด เป็นท่อทางเดินน้ำยาที่ต่อระหว่างท่อพักน้ำยาเหลวกับเอกซ์แพนชันวาล์วน้ำยาเหลว ความดันสูง อุณหภูมิสูง จากท่อพักน้ำยา จะถูกอัดส่งไปยังเอกซ์แพนชันวาล์วโดยผ่านทางท่อลิกวิดนี้

### 2.1.2 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบคอมเพรสเซอร์อัดไอ



รูปที่ 2.2 แสดงพื้นฐานการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็น

หลักการทำงานของวงจรทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เริ่มที่ท่อพักน้ำยาเหลว น้ำยาในท่อพักมีสถานะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิสูง ความดันสูง ถูกส่งเข้าไปยังเอกซ์แพนชันวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผ่านทางท่อลิควิด ซึ่งเอกซ์แพนชันวาล์วนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำยาเหลวที่ผ่านเข้า ยังอีวาพอเรเตอร์ลดความดันของน้ำยาเหลวให้มีความดันต่ำลงจนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะเป็น แก๊สและดูดซับปริมาณความร้อนได้ที่อุณหภูมิ ต่ำ ๆ ภายในอีวาพอเรเตอร์

ขณะที่น้ำยาเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์ระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส จะดูดซับปริมาณ ความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบที่อีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิต่ำลง และถ้ามี ฉนวนกันความร้อนกันโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ไว้ ความร้อนจากภายนอกไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ หรือผ่านได้น้อย ก็จะทำให้อุณหภูมิภายในบริเวณที่ต้องการทำความเย็นลดต่ำลง

แก๊สซึ่งมีอุณหภูมิและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดผ่านเข้าทางท่อ ชักชั้น และอัดส่งออกจากท่อดิสชาร์จ ในลักษณะของแก๊สที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เพื่อส่งไป กลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์โดยการระบายความร้อนออก แต่น้ำยาเหลวนี้ก็ยังมีความ ดันและอุณหภูมิสูงอยู่ และถูกส่งเข้าไปในท่อพักน้ำยาเหลว ก่อนที่จะถูกส่งไปยังเอกซ์แพนชัน วาล์วอีกครั้งหนึ่งอันเป็นการครบวงจร

ในระบบของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ๆ เช่น ตู้เย็นที่ใช้ในบ้าน และเครื่องปรับอากาศ ชนิดติดหน้าต่าง บางครั้งไม่ต้องมีท่อพักน้ำยาเหลว แต่น้ำยาเหลวซึ่งถูกกลั่นตัวเรียบร้อยแล้วจาก คอนเดนเซอร์จะถูกส่งต่อเข้ายังเอกซ์แพนชันวาล์วโดยตรง

เมื่อพิจารณาถึงความดันภายในระบบเครื่องทำความเย็นแล้ว จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1) ด้านความดันสูง ประกอบด้วยทางอัดของคอมเพรสเซอร์ ท่อดิสชาร์จ คอนเดนเซอร์ ท่อพักน้ำยาเหลว ท่อลิควิด และทางเข้าของเอกซ์แพนชันวาล์ว ความดันของน้ำยาด้านความอัดสูง นี้ บางครั้งเรียกว่า ความดันทางคอนเดนเซอร์ หรือความดันด้านอัด

2) ด้านความดันต่ำ ประกอบด้วยทางออกของเอกซ์แพนชันวาล์ว อีวาพอเรเตอร์ ท่อชักชั้น น และทางดูดของคอมเพรสเซอร์ ความดันของน้ำยาด้านความดันต่ำนี้ บางครั้งเรียกว่า ความดัน ทางอีวาพอเรเตอร์ หรือความดันด้านดูด หรือความดันด้านกลับ

จะเห็นได้ว่าทั้งคอมเพรสเซอร์และเอกซ์แพนชันวาล์ว เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่เป็นตัว แบ่งความดันของระบบเครื่องทำความเย็นออกเป็น 2 ส่วนดังกล่าว

### 2.1.3 สถานะอุณหภูมิและความดันของน้ำยาที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบเครื่องทำความเย็น

เพื่อทราบถึงสถานะ อุณหภูมิ และความดันของน้ำยา ที่จุดต่าง ๆ ของวงจรเครื่องทำความ เย็นแสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งใช้น้ำยา R-12 ในระบบเครื่องทำความเย็น ที่บริเวณท่อทางอัดของ คอมเพรสเซอร์น้ำยาสารความเย็นในสถานะแก๊ส จะถูกอัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูง เข้า คอนเดนเซอร์ หลังจากออกจากคอนเดนเซอร์จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงและ ความดันสูง เข้าสู่ถังพักน้ำยาเหลว ก่อนจะส่งต่อไปยังเอกซ์แพนชันวาล์ว ทำให้อุณหภูมิของน้ำยา เหลวลดลงเล็กน้อยแต่ยังคงมีความดันสูงอยู่ เมื่อออกจากเอกซ์แพนชันวาล์ว น้ำยาเหลวจะเปลี่ยน สถานะเป็นแก๊สผสมกับน้ำยาเหลว ที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ เข้าไปที่ชุดอีวาพอเรเตอร์ เมื่อออก



เริ่มต้นที่ด้านความดันต่ำของอีวาพอเรเตอร์ ไอสารความเย็นที่จุดนี้มีความดันและอุณหภูมิ ต่ำจะไหลผ่านท่อดูดเข้าไปยังคอมเพรสเซอร์เพื่อทำการอัดไอสารความเย็นให้มีความดันและ อุณหภูมิสูงอยู่ในสถานะแก๊สร้อน แก๊สร้อนนี้จะไหลจากด้านส่งของคอมเพรสเซอร์ไปยัง ขดคอนเดนเซอร์เพื่อระบายความร้อนกลับตัวเป็นของเหลว

คอมเพรสเซอร์มีส่วนทำให้ความดันในอีวาพอเรเตอร์ลดลงด้วย อันเป็นผลให้สารทำความ เย็นเดือด ที่ความดันและอุณหภูมิต่ำ ความร้อนจากบรรยากาศโดยรอบจะไหลเข้าไปยัง อีวาพอ เรเตอร์เนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่า ความร้อนนี้จะทำให้สารทำความเย็นกลายเป็นไอ และไอของสาร ทำความเย็นที่ดูดกลืนความร้อนไว้ ก็จะถูกดูดไปเข้าคอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์ก็จะอัดให้ ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นอีก และความร้อนนี้ก็ถ่ายเทให้น้ำหรืออากาศซึ่งใช้หล่อเย็นที่ คอนเดนเซอร์ ผลลัพธ์ก็คือ สารทำความเย็นก็จะกลับตัวเป็นของเหลว

กล่าวโดยย่อก็คือ คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ให้เกิดความดันแตกต่างระหว่างด้านความดันสูง และความดันต่ำขึ้นในระบบ

**ชนิดของคอมเพรสเซอร์ หน้าที่และการทำงานของส่วนประกอบ**

ชนิดของสารทำความเย็น ขนาด สถานที่ติดตั้งและที่ใช้ของระบบ เป็นตัวประกอบที่ สำคัญในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดของคอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

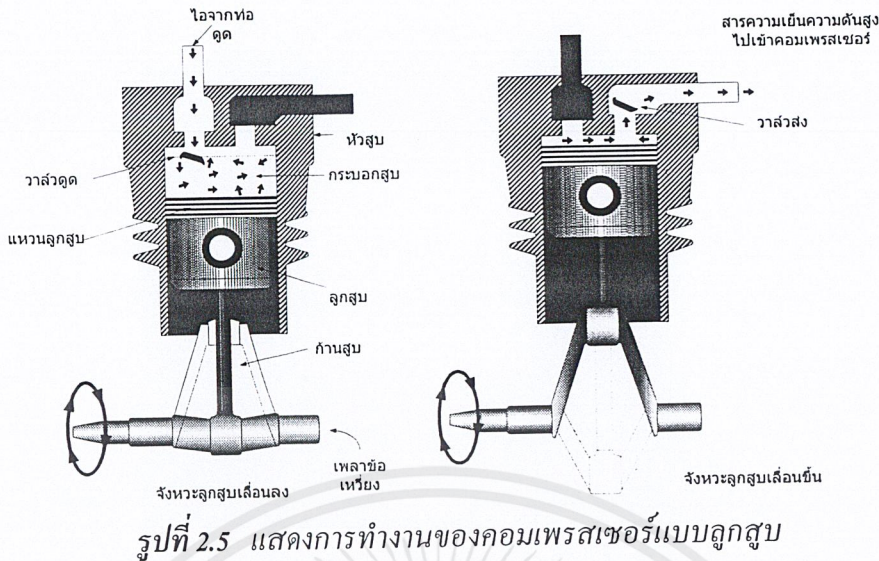
- 1) แบบลูกสูบ
- 2) แบบโรตารี
- 3) แบบเซนตริฟูกัล

### 2.2.1 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ โดยปกติจะมีลักษณะเช่นเดียวกับปั๊มลูกสูบ ส่วนประกอบที่ สำคัญคือ กระบอก , ลูกสูบ , ก้านสูบ , เฟลาข้อเหวี่ยง , ฝาสูบและวาล์ว ส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้แสดงไว้ในรูป ซึ่งแสดงจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์อย่างง่าย ในจังหวะซัคของลูก สูบ จะทำให้เกิดความดันตกต่ำขึ้นในห้องสูบตอนบนของลูกสูบ สามารถดูดไอจากท่อดูดกลับจาก อีวาพอเรเตอร์ได้ เป็นผลให้ไอของสารความเย็นไหลเข้าสู่บริเวณความดันต่ำโดยเร็ว

ในจังหวะอัดของลูกสูบ ลูกสูบจะเลื่อนขึ้นอัดไอของสารทำความเย็น ให้ความดันสูงซึ่งจะ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ไหลไปเข้าคอนเดนเซอร์ วาล์วจะถูกออกแบบไว้ โดยขึ้นอยู่กับจังหวะ ตัว หนึ่งจะเปิดขณะที่อีกตัวหนึ่งปิด วาล์วนี้จะควบคุมไอของสารทำความเย็น โดยการจัดเข้าหรือออก จากกระบอกตามจังหวะ

ในจังหวะถอยกลับของลูกสูบ ก็จะดูดไอของสารทำความเย็นเข้ามาอีก และทำงานต่อ เนื่องเช่นนี้ต่อไป การเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบนี้จะต้องมีก้านสูบ ซึ่งประกอบอยู่กับเฟลาข้อ เหวี่ยง เพื่อให้และทำการเปลี่ยนแปลงการหมุนมาเป็นการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

วาล์วที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นจากด้านดูดเข้าไปในกระบอกสูบ เรียกว่า วาล์วดูด และตัวที่นำไอไปสู่ด้านส่ง เรียกว่า วาล์วส่ง แหวนลูกสูบ มีหน้าที่เป็นซีลป้องกันแก๊สรั่วระหว่างลูกสูบกับผนังของกระบอกสูบ ทำให้การทำงานอัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เปลือกของคอมเพรสเซอร์ซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในรูปนี้ จะมีห้องเฟลาข้อเหวี่ยง ซึ่งมีส่วนที่ประกอบแบริ่งที่จะสวมกับเฟลาข้อเหวี่ยงอยู่ และเป็นที่เก็บน้ำมันหล่อลื่น ที่ใช้ในการหล่อลื่นเฟลาข้อเหวี่ยงและก้านสูบ

### 2.2.2 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี

คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีทำหน้าที่ดูดและอัดน้ำยาในสถานะแก๊ส โดยอาศัยการกวาดตัวตามแกนโรเตอร์ เนื่องจากคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีนี้มีขีดจำกัดในการทำงาน คือจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง กินไฟน้อย กับระบบเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กจนถึงไม่เกิน 1 – 2 ตัน แต่ถ้าระบบขนาดใหญ่เกินกว่านี้แล้ว คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีจะใช้งานไม่คุ้มค่า

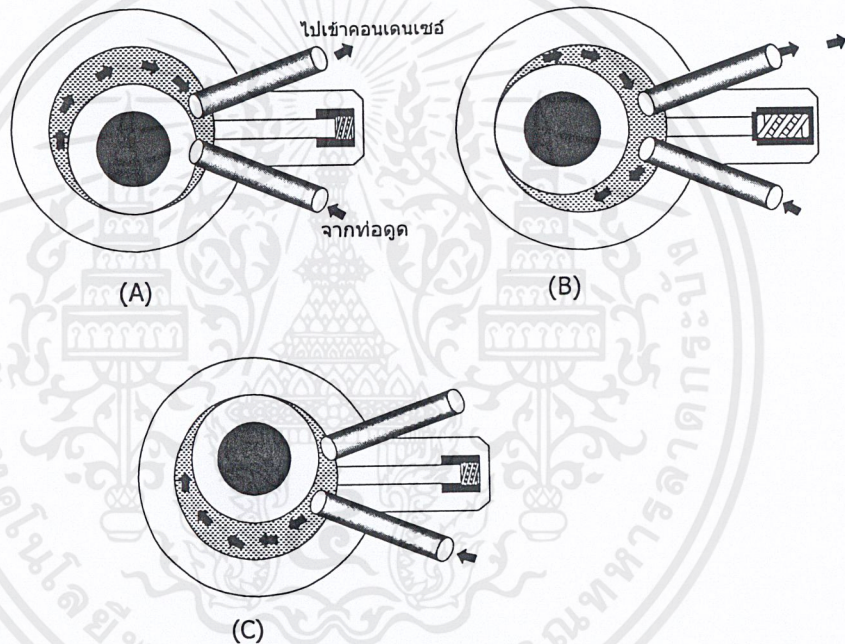
หลักการการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีก็คือ จะดูดน้ำยาในสถานะแก๊สโดยอาศัยการกวาดตัวตามแกนโรเตอร์ ในช่วงจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบนี้จะมีตัวช่วยแบ่งกันระหว่างห้องดูดและห้องอัดภายในตัวคอมเพรสเซอร์ ซึ่งเรียกว่า ไบมีด ทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งกันห้องดูดและอัดของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีมีอยู่ 2 ชนิดคือ

#### 1) ชนิดไบมีดอยู่กับที่

ส่วนประกอบและหน้าที่ในการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบไบมีดอยู่กับที่นี้คล้ายกับแบบไบมีดหมุน แต่ต่างกันที่ไบพัดจะอยู่กับที่และใช้เฟลา ซึ่งอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์กลางหมุนแทน ชิ้นส่วนที่อยู่กับที่ของโรตารีคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้ได้แก่ ไบมีด มอเตอร์ขับเฟลา และกระบอกสูบ ชิ้นส่วนของโรตารีคอมเพรสเซอร์ชนิดไบมีดอยู่กับที่นี้ตัวไบมีด กับลูกกลิ้ง และผนังกระบอกสูบ

กับ ลูกกลิ้ง จะต้องถูกออกแบบให้สัมผัสกันอย่างนิ่มนวล โดยมีช่องว่างน้อยที่สุด ประมาณ 0.0001 นิ้ว เพื่อให้การอัดแก๊สสารความเย็นมีประสิทธิภาพสูง

หลักการการทำงานของ โรตารีคอมเพรสเซอร์ชนิดใบพัดอยู่กับที่ เริ่มต้นด้วยลูกกลิ้งถูกหมุนด้วยเพลลาให้อยู่ในตำแหน่งที่ปิดช่องทางออกและเปิดช่องทางเข้าของแก๊ส ในช่วงจังหวะนี้แก๊สจะถูกดูดเข้ามาภายในกระบอกสูบทางช่องดูด ที่ความดันต่ำ เมื่อลูกกลิ้งหมุนต่ำลงมาด้านล่างจนส่วนสูงสุดของลูกกลิ้งมาดันเอาใบพัดซึ่งติดอยู่กับสปริงให้เข้าไปในช่อง ใบพัดจะถูกดันด้วยแรงสปริงมาสัมผัสกับลูกกลิ้งให้กั้นช่องระหว่างช่องทางดูดและช่องทางอัด เมื่อลูกกลิ้งหมุนต่อไปอีกก็จะอัดแก๊สภายในกระบอกสูบให้ร้อนและมีความดันสูง ช่องทางส่ง จะเปิดออกให้แก๊สไหลไปยังคอมเพรสเซอร์ จะเป็นเวลาเดียวกับที่จังหวะดูดจะดูดแก๊สที่ความดันต่ำเข้ามาเป็นเช่นนี้ต่อไปตามวัฏจักรของการทำความเย็น ดังแสดงในรูป 2.6

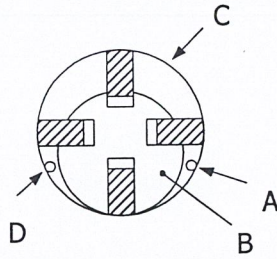


รูปที่ 2.6 แสดงจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารีแบบใบพัดอยู่กับที่

## 2) ชนิดใบมีดเคลื่อนที่

คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีแบบที่สอง จะเป็นแบบที่มีใบพัดหลายใบมีดเสียบอยู่ในโรเตอร์ ใบมีดนี้จะถูกสลัดให้แนบกับผิวของกระบอกสูบด้วยแรงเหวี่ยง โรเตอร์จะปิดเยื้องศูนย์กลางอยู่เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับกระบอกสูบ รูปที่ 2.7 แก๊สความดันต่ำจะถูกดูดเข้าทางช่องดูด (A) ขณะที่โรเตอร์ (B) หมุนทวนเข็มนาฬิกา แก๊สจะถูกอัด ทั้งนี้เนื่องจากการลดลงของช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับกระบอกสูบ (C) ขณะที่ความดันสูงขึ้น อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นด้วยเมื่อแก๊สที่ถูกอัดไปถึงช่องส่งออก (D) จะผ่านออกไปเข้าห้องความดันสูง ที่จุดนี้จะมีช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับกระบอกสูบ ประมาณ 0.0001 นิ้ว จากการออกแบบลักษณะนี้ประกอบด้วยมี

ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นอยู่ตรงหน้าสัมผัส จึงทำให้แก๊สไม่สามารถรั่วจากด้านความดันสูงไปหาความดันต่ำได้ แต่อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติ เมื่อคอมเพรสเซอร์ ไม่มีฟิล์มน้ำมันอยู่ระหว่างผิวสัมผัส จะมีแก๊สบางส่วนรั่วได้



รูปที่ 2.7 แสดงจังหวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารีแบบใบหมุน

ในการควบคุมไม่ให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นจะต้องมี เซ็ควาล์วติดไว้ที่ด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ วาล์วจะทำหน้าที่ป้องกันไอร้อนความดันสูงกลับเข้าไปในอีวาพอเรเตอร์ คอมเพรสเซอร์แบบนี้ จะใช้มอเตอร์เทอร์คต่ำ ๆ ได้เพราะความดันภายในคอมเพรสเซอร์จะสมดุลย์ขณะเครื่องหยุด

### 2.2.3 คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวกัล

เครื่องทำความเย็นระบบเซนตริฟิวกัลขึ้นอยู่กับแรงเหวี่ยงในการอัดไอสารทำความเย็น โดยโรเตอร์ (ใบพัด) จะคู่อไอเข้าตรงโคนใบใกล้ ๆ กับเพลาคือเหวี่ยงออกทางปลายใบด้วยความเร็วสูง ซึ่งความเร็วสูงนี้จะเปลี่ยนเป็นความดันสูง เมื่อความเร็วตกต่ำมาก จำเป็นต้องมีใบพัดหลายชุด เมื่อไอออกจากใบชุดแรก ก็จะไปเข้าด้านดูดของชุดต่อไป และอัดต่อเนื่องกันจะมีพลังงานรวมเท่ากับพลังงานส่งเข้าเซนตริฟิวกัลคอมเพรสเซอร์จะสร้างสำหรับขนาดตั้งแต่ 50 ตัน จนถึง 5,000 ตัน ความเย็นจะปรับอุณหภูมิได้ในช่วง  $-130F^{\circ}$  ถึง  $50F^{\circ}$  ข้อควรสังเกตก็คือคอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวกัล เหมาะสำหรับสารทำความเย็นที่มีปริมาณจำเพาะสูง

คอมเพรสเซอร์แบบเซนตริฟิวกัลจะยังคงมีประสิทธิภาพดีถึงแม้ว่าโหลดจะลดลงถึง 20 % ของโหลดปกติ เนื่องจากคอมเพรสเซอร์แบบนี้ทำงานที่ความเร็วรอบสูง ซึ่งสามารถต่อตรงกับเทอร์โบไนท์ไอน้ำ เพื่อการส่งกำลังได้ขนาดเล็กกว่า อาจใช้มอเตอร์ไฟฟ้า บางครั้งอาจมีเฟืองทดเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้น บางหน่วยที่มีขนาดประมาณ 100 ถึง 200 ตัน ความเย็น จะใช้ความเร็วรอบที่ 7,000 ถึง 8,000 รอบ/นาที เครื่องขนาดใหญ่ ๆ ถึง 1,000 ถึง 2,000 ตันความเย็น ใช้ความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 3,500 ถึง 4,000 รอบ / นาที

## 2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์

### 2.3.1 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์

ต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เพื่อให้เกิดการดูดและอัดน้ำยาในสถานะแก๊สดังได้กล่าวมาแล้วนั้น ส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นตัวขับเคลื่อน จะมีอยู่บ้างที่ใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับเคลื่อน เช่นเครื่องปรับอากาศรถยนต์ เครื่องปรับอากาศรถยนต์โดยสาร เป็นต้น คอมเพรสเซอร์ที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนบางที่เรียกรวมกันว่า มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะแบ่งตามลักษณะโครงสร้างภายนอกได้เป็น 3 แบบคือ

#### 1) มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบเฮอร์เมติก

เป็นแบบที่มีมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์บรรจุภายในตัวเรือน ที่เชื่อมปิดมิดชิด ตัวมอเตอร์จะประกอบด้วย สเตเตอร์และโรเตอร์ แกนของโรเตอร์จะต่อเข้ากับเครื่องคอมเพรสเซอร์โดยตรง ในส่วนของคอมเพรสเซอร์อาจจะเป็นแบบลูกสูบหรือแบบโรตารีก็ได้ การซ่อมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบนี้จะต้องผ่านเปิดตัวเรือนตรงแนวเดิมที่เชื่อมปิดไว้

#### 2) มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งเฮอร์เมติก

เป็นแบบที่เมื่อติดอยู่ในระบบมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์จะบรรจุอยู่ในตัวเรือนเดียวกันเช่นเดียวกับแบบเฮอร์เมติก ต่างกันเพียงแต่ในการถอดซ่อมไม่ต้องผ่าเปิดตัวเรือน ถ้าเป็นการชำรุดทาส่วนของมอเตอร์ก็สามารถคลายนอตเปิดฝาครอบท้ายเพื่อถอดเอามอเตอร์ออกมาซ่อมได้ การปิดก็เพียงแต่เปลี่ยนปะเก็นใหม่ และขันนอตกลับให้แน่นตามเดิม

#### 3) มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบแยกส่วน

เป็นแบบที่คอมเพรสเซอร์และมอเตอร์แยกออกจากกันโดยเด็ดขาด ในส่วนของคอมเพรสเซอร์จะมีแกนเพลายื่นออกมาการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ด้วยมอเตอร์จะใช้สายพานเป็นตัวดูด การซ่อมมอเตอร์หรือคอมเพรสเซอร์สามารถแยกกันซ่อมโดยอิสระ ตัวอย่างที่เห็นชัดที่สุดของคอมเพรสเซอร์แบบนี้ก็คือคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศรถยนต์

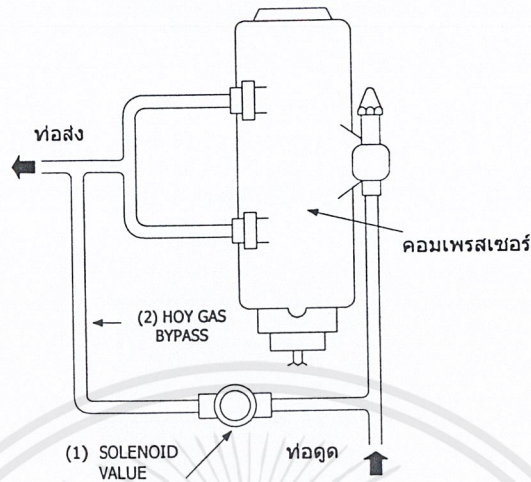
### 2.3.2 การควบคุมสมรรถนะของคอมเพรสเซอร์

สมรรถนะของคอมเพรสเซอร์จำเป็นจะต้องควบคุม เพราะโหลดของสารทำความเย็นไม่ค่อยจะคงที่ การทำงานที่โหลด น้อยเกินไป หรือความดันกลับน้อยเกินไปจะทำให้เย็นจัด หรือเกิดการเสียหายได้ การควบคุมอย่างง่ายมี 4 แบบด้วยกันคือ

#### 1) วิธีการทำ by-pass ของ hot gas

วิธีการทำ by-pass ของ hot gas อย่างง่ายแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11 อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นอาจควบคุมได้ด้วย solenoid valve (1) ในท่อ by-pass (2) เมื่อต้องการจะลดสมรรถนะ ให้เปิด solenoid valve ให้ hot gas บางส่วนไหลเวียนกลับเข้าทางด้านดูดเสียส่วนหนึ่ง

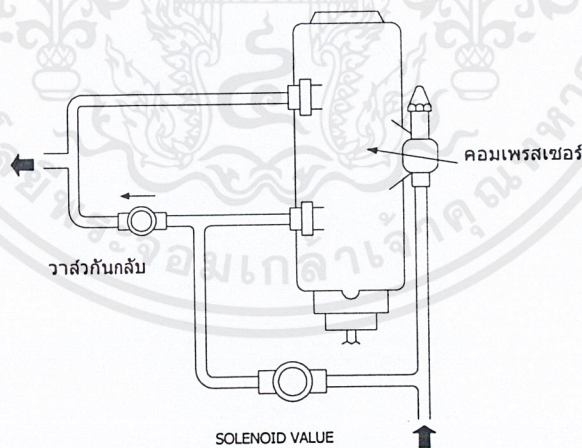
เมื่อเครื่องเดินเต็มที ให้ปิด solenoid valve ซึ่งจะทำให้แก๊สจากทั้งสองห้องหัวสูบออกไปยังท่อส่งทั้งหมด solenoid valve จะเปิดต่อเมื่อต้องการเดินเครื่องโหลดและปิดต่อเมื่อเดินเต็มโหลด



รูปที่ 2.8 แสดงการทำ by-pass ของ hotgas

เมื่อการทำงานเครื่องโหลดนานเกินไปจะทำให้หัวสูบล้อ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการหล่อลื่นและทำให้เสียงดัง วิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับการเดินเครื่องโหลดเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น และไม่ถี่จนเกินไป

## 2) วิธีทำ by-pass ที่กระบอกสูบ



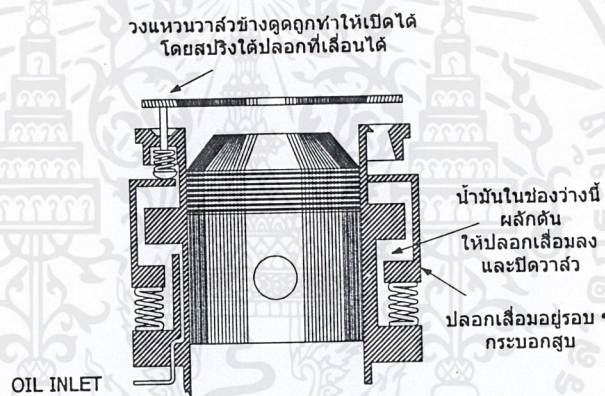
รูปที่ 2.9 แสดงการทำ by-pass ที่กระบอกสูบ

เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น จึงแสดงไว้ในรูปด้านล่าง ซึ่งมีส่วนที่เป็น by-pass อยู่ภายนอกที่จริงแล้วอาจจะอยู่ในหรือภายนอกก็ได้ ระบบ bypass ที่กระบอกสูบ อาจจะควบคุมโดยความดันหรืออุณหภูมิก็ได้ solenoid valve จะเปิดต่อเมื่อต้องการจะลดโหลดในจังหวะนี้ แก๊สส่งออกจาก

ห้องหัวสูบหนึ่ง จะวิ่งตรงไปเข้าท่อคูดันที่ clutch valve จะไม่ยอมให้เกิดความดันสูงเข้าไปยังห้องหัวสูบอีก ด้านหนึ่งซึ่งแยกจากกัน ดังนั้นเมื่อ ท่อ by-pass ใหญ่พอจะไม่ทำให้เกิดความดันสูงขึ้นในกระบอกสูบที่ by-pass ผลของการทำ by-pass ที่กระบอกสูบ จะทำให้ความดันคูดันทั้งข้างบนและข้างล่างของแผ่น valve เท่ากัน ซึ่งกระบอกสูบนี้จะมีสภาพเหมือนกับไม่ได้ทำงานเลย กำลังม้าที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์แบบนี้ก็จะลดลงตามอัตราการลดลงของโหลด

### 3) วิธีการปลดโหลดของกระบอกสูบ

วิธีการควบคุมสมรรถนะของคอมเพรสเซอร์ วิธีนี้รู้จักกันในนามของ “การปลดโหลดกระบอกสูบ” วิธีการนี้ลิ้นคูดของกระบอกสูบบางลิ้นจะเปิดไม่ให้เกิดการอัดในจังหวะอัด ในตำแหน่งเปิดนี้ เมื่อลูกสูบเลื่อนลงจะดูดแก๊สเข้ามาจากด้านคูด และในจังหวะเคลื่อนขึ้น ลูกสูบจะดันแก๊สออกไปเข้าด้านคูดอีก โดยไม่มีการอัด ระบบแมคคานิคที่บริษัทหนึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้น แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ซึ่งเรียกว่า “single step unloader system” นั่นคือ กระบอกสูบจำนวนหนึ่งจะได้รับการปลดโหลดซึ่งจะทำให้กำลังม้าในการอัดลดลงตามอัตราการลดลงของโหลด



รูปที่ 2.10 แสดงการปลดโหลดของกระบอกสูบ

### 4) ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

สมรรถนะในการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อความดันด้านคูดของระบบเครื่องทำความเย็นสูงความเร็วรอบของมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์จะต้องเพิ่มขึ้น ในการนี้จะต้องใช้มอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้สองถึงสามขั้น การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ อาจใช้การจัดระเบียบของขดลวดเพื่อให้ปรับความเร็วได้ คือจะทำงานที่ความเร็วรอบ 1,200 หรือ 1,800 รอบต่อนาทีก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขดลวดภายใน การเปลี่ยนความเร็วลักษณะนี้อาจทำได้โดยอัตโนมัติได้ อย่างไรก็ตามมอเตอร์แบบปรับความเร็วลักษณะนี้ไม่ค่อยจะมีใช้เพราะตัวมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมมีราคาแพง ที่จะนำมาใช้กับระบบใหญ่ๆ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้าน เพาเวอร์อิเลคทรอนิกส์ ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ประเภท Solid state และเทคนิคการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมี

ราคาถูกลงจึงกำลังเป็นที่นิยมในขณะนี้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ และเรียกขานนี้ว่า เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ในส่วนของโครงการนี้เราจะพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ โดยใช้วิธีการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่สามารถปรับความถี่และแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส

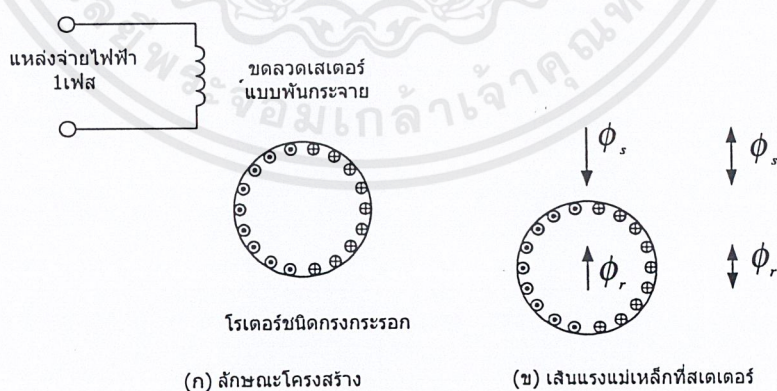
## 2.4 ทฤษฎีมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1-เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นในช่วงกำลังเป็นเศษส่วนแรมป์และต่ำกว่าเศษส่วนแรมป์ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในสถานที่ต่างๆ เช่น บ้านเรือน สถานที่ทำงานและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวนั้นมีโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยากและง่ายต่อการบำรุงรักษา โดยที่สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (Single Phase Induction Motor)
2. มอเตอร์เฟสเดียวแบบซิงโครนัส (Single Phase Synchronous Motor)
3. มอเตอร์เฟสเดียวแบบอนุกรมหรือมอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Single Phase Series or Universal Motor)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียวเท่านั้น

### 2.4.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสเดียว (Single Phase Induction Motor : SPIM)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

สำหรับโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแสดงได้ดังรูปที่ 2.11(ก) จากโครงสร้างดังกล่าวนี้ไม่มีผลทำให้ไม่เกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุน ดังนั้นมอเตอร์จึงไม่สามารถเริ่มต้นหมุนได้ อย่างไรก็ตาม

ตามถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปได้มันจำเป็นต้องมีวิธีการช่วยให้มอเตอร์เริ่มต้นหมุนและสำหรับการพิจารณามอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว ในที่นี้ได้นำทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุนคู่เพื่ออ้างอิงในการวิเคราะห์และอธิบายพฤติกรรมของมอเตอร์

#### 2.4.2 ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุนคู่ (Double revolving field theory)

หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว สามารถวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีสนามแม่เหล็กคู่ตามรายละเอียดที่กล่าวถึงดังต่อไปนี้

##### 2.4.2.1 พฤติกรรมของโรเตอร์ขณะหยุดนิ่ง

การพิจารณาโรเตอร์ขณะหยุดนิ่งและขดลวดสเตเตอร์ถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 2.11(ข) นั้นจะเห็นพฤติกรรมการสั่นหรือการกระเพื่อมของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Pulsating flux) ที่เกิดขึ้นตามแนวแกนขดลวดสเตเตอร์โดยกระแสที่ไหลในวงจรโรเตอร์ เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็ก (เช่นเดียวกับกิริยาหม้อแปลง) ส่งผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในโรเตอร์ตามแนวแกนของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์ (ตามกฎของเลนซ์) โดยที่เส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองนั้นมีทิศทางตรงกันข้ามกัน ดังนั้นมุมระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นหมายความว่ามอเตอร์ไม่สามารถเริ่มต้นหมุนได้เนื่องจากไม่มีการเกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุน (Starting Torque)

##### 2.4.2.2 พฤติกรรมของโรเตอร์ขณะหมุน

ถ้าสมมุติให้โรเตอร์ทำการหมุน การหมุนของโรเตอร์เกิดขึ้นได้นั้นจำเป็นต้องมีวงจรช่วยเริ่มต้นหมุน ดังนั้นการเกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุนสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขของการเริ่มต้นหมุนดังต่อไปนี้

##### 1) การสั่นของสนามแม่เหล็ก (แรงเคลื่อนแม่เหล็กหรือเส้นแรงแม่เหล็ก)

เมื่อพิจารณาการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบหลักซึ่งจะมีขนาดเท่ากัน แต่ทิศทางตรงกันข้ามกันและหมุนที่ความเร็วเดียวกัน ความเร็วเชิง โครนัส สนามแม่เหล็กดังกล่าวพิสูจน์ได้โดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์หรือใช้กราฟมาทำการวิเคราะห์ จากรูปที่ 2.12 ถ้ากำหนดให้  $OP$  เป็นเวกเตอร์ที่เกิดจากผลของการเคลื่อนที่สองส่วน ซึ่งมีขนาดเท่ากัน โดยที่  $f$  คือ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามีทิศทางตามเข็มนาฬิกา และ  $b$  คือ การเคลื่อนที่ถอยหลังมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นการหมุนของเวกเตอร์ทั้งสองเกิดขึ้นที่ความเร็วเดียวกันในทิศทางตรงกันข้ามกัน เมื่อกำหนดให้  $OR$  คือ เวกเตอร์ที่เป็นผลรวมของเวกเตอร์สองส่วนที่มีขนาด  $+2OP$  และ  $-2OP$  โดยที่เวกเตอร์ทั้งสองอยู่ในแนวเดียวกัน และเป็นเวกเตอร์ที่แปรตามเวลาในฟังก์ชันไซน์ ดังนั้นถ้าการหมุนของเวกเตอร์ทั้งสองดังกล่าวนั้นหมุนด้วยความเร็วคงที่เดียวกัน ซึ่งการสั่นของสนามแม่เหล็ก (เขียนแทนด้วยเวกเตอร์  $OR$ ) ที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวดสเตเตอร์นั้น ส่งผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนสองทาง ดังนั้นการ

สั้นของเส้นแรงแม่เหล็กในสเตเตอร์ (Pulsating stator flux)  $\phi_s$  ตามแนวแกนของขดลวดสเตเตอร์ เป็นผลจากเส้นแรงแม่เหล็กหมุนสองทาง คือ  $\phi_f$  และ  $\phi_b$  ดังรูปที่ 2.12(ข)

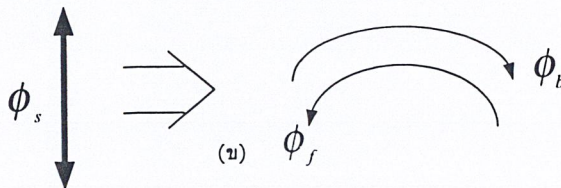
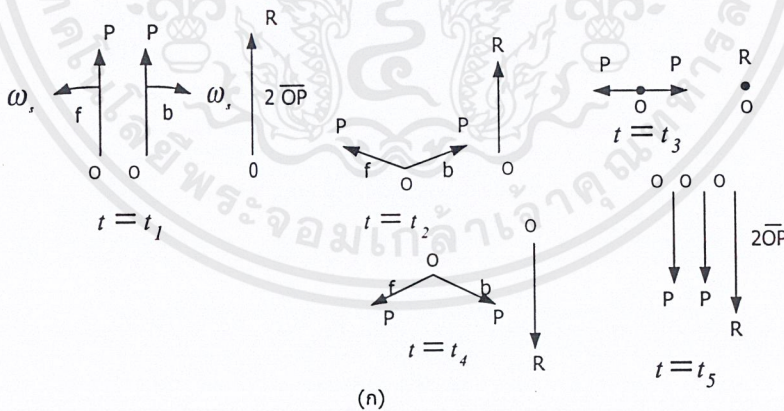
สำหรับสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อพิจารณาขดลวดสเตเตอร์ที่วางแบบกระจายในรูปแบบ สัญญาณไซน์ เป็นการวิเคราะห์จากสมการแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetomotive Force: mmf) ในตำแหน่งของมุม  $\theta$  ดังรูปที่ 2.13 และกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$F(\theta) = Ni \cos \theta \tag{2.1}$$

เมื่อ N คือจำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์ และกำหนดให้

$$F(\theta, t) = NI_{max} \cos \theta \cos \omega t = \frac{NI_{max}}{2} \cos(\omega t - \theta) + \frac{NI_{max}}{2} \cos(\omega t + \theta) = F_f + F_b \tag{2.2}$$

เมื่อ  $F_f$  คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนตามทิศทางของมุม  $\theta$  และ  $F_b$  แทนแรงเคลื่อนแม่เหล็กตามทิศทางตรงข้ามกับ  $F_f$  สำหรับแรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนทั้งสองนั้นมีผลที่ทำให้เกิดแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว ที่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน และองค์ประกอบของแรงบิดทั้งสองส่วนแสดงได้ดังรูปที่ 2.18 สำหรับในขณะมอเตอร์อยู่นิ่งนั้น แรงบิดไปข้างหน้าและแรงบิดถอยหลังมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นทำให้ผลของแรงบิดขณะเริ่มต้นหมุนมีค่าเท่ากับศูนย์แต่ในขณะที่มอเตอร์หมุนที่ความเร็วต่างๆกัน แรงบิดทั้งสองส่วนไม่เท่ากันส่งผลให้มอเตอร์หมุนไปได้ตามทิศทางการหมุน

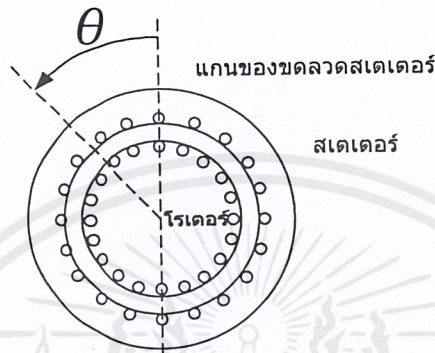


รูปที่ 2.12 การสั่น (หรือการกระเพื่อม) ของสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กหมุน

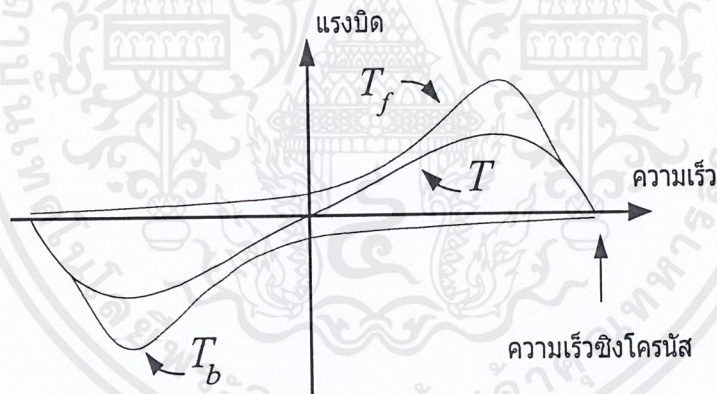
## 2) สลิป (Slip)

ถ้าสมมุติว่าโรเตอร์หมุนตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าด้วยความเร็ว  $n_r$  รอบต่อนาที และความเร็วซิงโครนัส คือ  $n$  รอบต่อนาที ดังนั้นค่าสลิปของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าหน้ากำหนดตามสมการ (3)

$$s_f = \frac{n - n_r}{n} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.13 ภาพตัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว



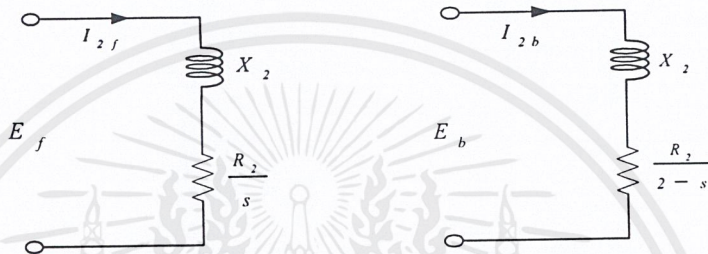
รูปที่ 2.14 คุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและถอยหลัง

การหมุนของโรเตอร์ในทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กไปข้างหน้า เรียกว่า สนามแม่เหล็กหมุนถอยหลัง และค่าสลิปกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$s_b = \frac{n - (-n_r)}{n} = 2 - s \quad (2.4)$$

สำหรับวงจรโรเตอร์เส้นแรงแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า และเส้นแรงแม่เหล็กหมุนถอยหลังดังรูปที่ 2.15 นั้น ขณะโรเตอร์อยู่นิ่งที่แกนซิ่งที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็กหมุนทั้งสองมีค่าเท่ากัน ส่งผล

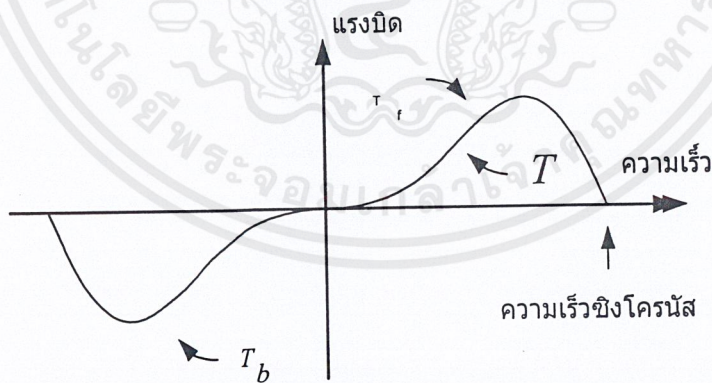
ทำให้กระแสเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองเท่ากัน คือ  $I_{2f} = I_{2b}$  และทำให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กทั้งสองที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากับแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่สเตเตอร์ (ทิศทางตรงกันข้าม) ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_f$  และ  $\phi_b$  ที่เกิดขึ้นในช่องอากาศจึงมีขนาดเท่ากันด้วย โดยที่พฤติกรรมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนั้น ยังมีผลทำให้เส้นแรงแม่เหล็กหมุนถอยหลังลดลงอีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงทำให้ความเร็วของมอเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าเพิ่มขึ้นในขณะที่เส้นแรงแม่เหล็กหมุนถอยหลังลดลง อย่างไรก็ตามขณะที่โรเตอร์หมุนอิมพีแดนซ์ของวงจรโรเตอร์ (ในรูปที่ 2.15) นั้นไม่เท่ากัน ซึ่งกระแสโรเตอร์  $I_{2b} > I_{2f}$  (ทำให้ค่าประกอบกำลังต่ำ) และขณะโรเตอร์เคลื่อนที่แรงบิดไปข้างหน้าเพิ่ม



(ก) เส้นแรงแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า (ข) เส้นแรงแม่เหล็กหมุนถอยหลัง

รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลย์ของโรเตอร์

จึงมีค่าขึ้น โดยที่ในทางตรงกันข้ามกันแรงบิดถอยหลังมีค่าลดลงทำให้คุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว ในรูปที่ 2.14 เปลี่ยนไปเป็นดังรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นค่าแรงบิดชั่วขณะ

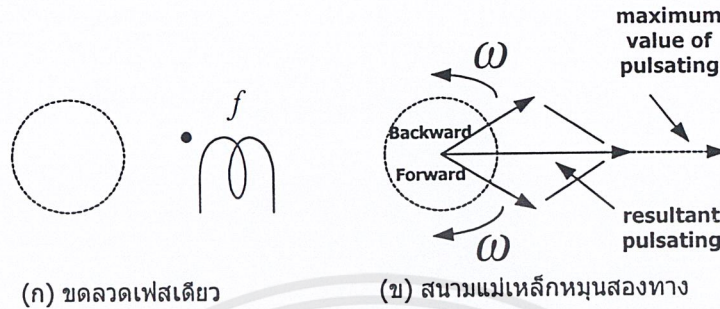


รูปที่ 2.16 คุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว ค่าจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว จากการ เปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นเส้นแรงแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า และถอยหลัง

3) การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนสองทาง

การกระตุ้นขดลวดสเตเตอร์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเฟสเดียว ทำให้เกิดการกระเพื่อมของสนามแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งการพิจารณาสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นนั้นด้วยการแบ่งสนาม

แม่เหล็กหมุนออกเป็นสองส่วนที่มีทิศทางตรงกันข้าม โดยที่แต่ละส่วนมีค่า  $mmf$  สูงสุดที่สเตเตอร์ เท่ากับ  $\frac{1}{2}$  ของสนามแม่เหล็กหมุนทั้งหมดที่ความเร็วเชิงมุมคือ  $\omega$  และองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กหมุนทั้งสองที่เกิดขึ้นตามแนวแกนของขดลวดแสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและถอยหลัง

เมื่อพิจารณาขดลวดสเตเตอร์ที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนสองทางเห็นได้ว่า สนามแม่เหล็กหมุนแต่ละส่วนทำให้เกิดแรงดันสมมูลขึ้นในขดลวดโรเตอร์ และผลลัพธ์ของกระแสโรเตอร์คือ ผลรวมของกระแสที่ไหลในบริเวณคิรวอบของขดลวดโรเตอร์ (closed rotor winding) ที่กำหนดโดยแรงดันแต่ละส่วน ถ้าแบ่งวงจรสมมูลของโรเตอร์ออกเป็นสองส่วนซึ่งตั้งฉากกันและกำหนดให้กระแสที่ไหลในโรเตอร์เนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและถอยหลัง คือ  $I_f$  และ  $I_b$  ตามลำดับ ดังนั้นกระแสเนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าที่เหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสสมมูลคือ

$$I_f (\text{ไหลในคอยล์ } d) \text{ และ } jI_f (\text{ไหลในคอยล์ } q)$$

สำหรับกระแสเนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนถอยหลังที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสสมมูลคือ

$$I_b (\text{ไหลในคอยล์ } d) \text{ และ } -jI_b (\text{ไหลในคอยล์ } q)$$

ดังนั้นผลลัพธ์ของกระแสที่ไหลในคอยล์  $d$  และ  $q$  คือ

$$I_d = I_f + I_b \quad (2.5)$$

$$I_q = j(I_f - I_b)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad I_f = \frac{1}{2}(I_d - jI_q) \quad (2.6)$$

$$I_b = \frac{1}{2}(I_d + jI_q)$$

#### 4) วงจรสมมูล

วงจรสมมูลของเครื่องจักรกลที่แสดงดังรูปที่ 2.18 นั้น ค่าพารามิเตอร์ที่สเตเตอร์และโรเตอร์เขียนแทนด้วยเลข 1 และ 2 โดยกำหนดให้อัตราส่วนจำนวนรอบของสเตเตอร์ต่อโรเตอร์ เขียนแทนด้วย  $N$  ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆสามารถกำหนดได้ดังนี้ คือ

ความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ คือ  $R_s$

รีแอกแตนซ์การทำให้แม่เหล็กที่ถ่ายโอนไปทางด้านสเตเตอร์ คือ  $X_{m1} = \omega N M$

รีแอกแตนซ์รั่วของขดลวดสเตเตอร์ คือ  $X_1 = (\omega L_s - X_{m1})$

รีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ที่ถ่ายโอนไปทางด้านสเตเตอร์ คือ  $X'_2 = \omega N^2 L_d - X_{m1}$

ความต้านทานของโรเตอร์ที่ถ่ายโอนไปทางด้านสเตเตอร์ คือ  $R'_2 = N^2 R_d$

แรงดันที่จ่ายให้สเตเตอร์ คือ  $V_1 = V_s$

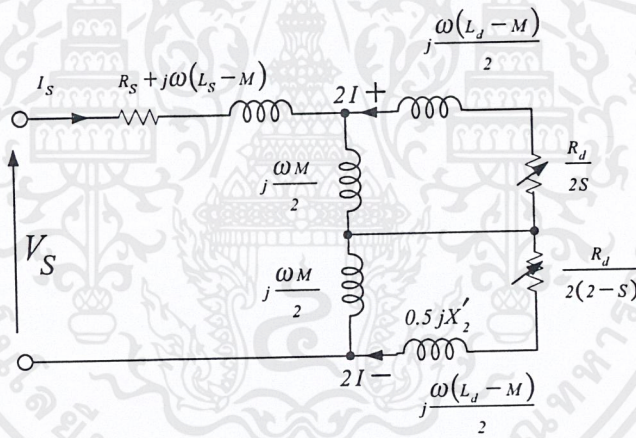
กระแสที่จ่ายให้สเตเตอร์ คือ  $I_1 = I_s$

แรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดสเตเตอร์ คือ  $E$

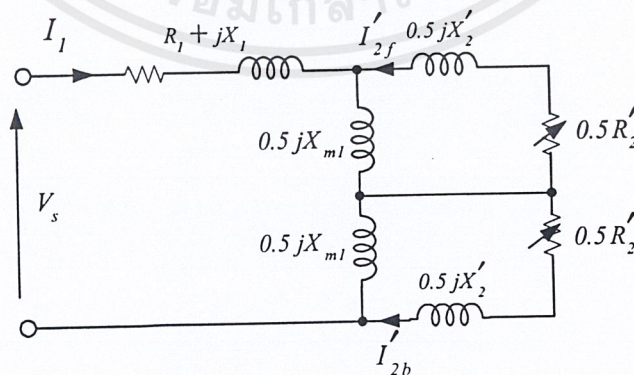
ในส่วนของวงจรสมมูลย์ที่แสดงดังรูปที่ 2.18(ข) และ (ค) เป็นวงจรสมมูลย์ที่ได้จากการถ่ายโอนค่าตามข้อกำหนดข้างต้น ส่วนรูปที่ 2.18(ง) เป็นวงจรสมมูลย์ที่เขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่าย และสำหรับกระแสโรเตอร์ที่ถ่ายโอนไปทางด้านสเตเตอร์กำหนดใหม่ได้ดังนี้ คือ

องค์ประกอบของกระแสเนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า  $I_{2f} = 2I_f / N$

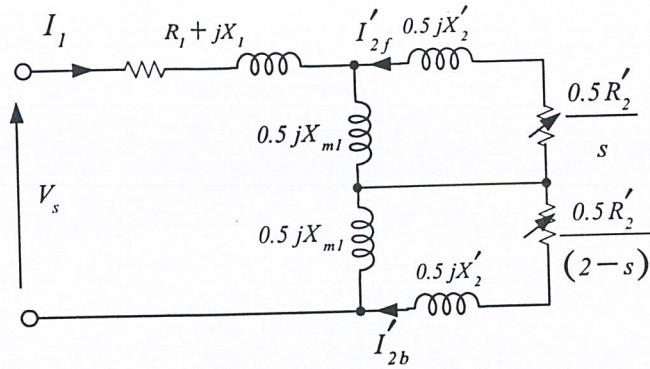
องค์ประกอบของกระแสเนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนถอยหลัง  $I_{2b} = 2I_b / N$



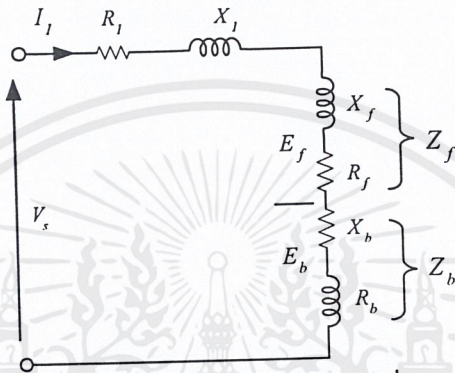
(ก) วงจรสมมูลย์



(ค) วงจรสมมูลย์ขณะมอเตอร์อยู่นิ่ง (S=1)



(ค) วงจรสมมูลยู่ขณะมอเตอร์หมุน



(ง) วงจรสมมูลยู่ขณะโรเตอร์หมุนที่เขียนในรูปแบบอย่างง่าย  
รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลยู่ขณะมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

5) คุณลักษณะของแรงบิด-สลลิป

แรงบิดทางไฟฟ้า (electromagnetic torque) ที่มอเตอร์สร้างขึ้นนั้นสามารถเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้ คือ

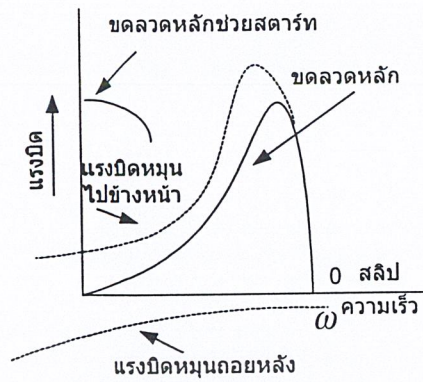
$$T = (\text{pole-pairs})^2 \left( \frac{R_d}{s\omega} I_f^2 - \frac{R_d}{(2-s)\omega} I_b^2 \right) \tag{2.7}$$

จากสมการที่ (2.7) เห็นได้ว่าแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้นนั้นเกิดจากองค์ประกอบสองส่วนด้วยกัน คือ องค์ประกอบของกระแสเนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและถอยหลัง ที่สัมพันธ์กับค่าสลลิป  $s$  และ  $(2-s)$  ตามลำดับ และจากสมการดังกล่าวนี้ ถ้าพิจารณาผลลัพธ์ของคุณลักษณะแรงบิด-สลลิป ที่เกิดจากผลรวมเนื่องจากองค์ประกอบทั้งสองส่วนและไม่คิดผลของแรงบิดขณะมอเตอร์เริ่มต้นหมุนนั้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.23

จากทฤษฎีสานแม่เหล็กหมุนคู่ วงจรสมมูลยู่สามารถแยกได้เป็นสองส่วนดังรูปที่ 2.22

(ง) โดยส่วนที่แยกออกมานั้นแทนด้วยผลของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและสนามแม่เหล็กหมุนถอยหลัง นั่นคือ

$$E_f = 4.44 fN\phi_f \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.19 คุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว

$$E_b = 4.44 fN\phi_b \quad (2.9)$$

สำหรับขณะโรเตอร์อยู่นิ่งนั้น  $\phi_f = \phi_b$  และ  $E_f = E_b$  ดังนั้นผลรวมของแรงดันคือ

$$E = 4.44 fN\phi \quad (2.10)$$

เมื่อ  $\phi$  คือเส้นแรงในช่องอากาศ

เมื่อ พิจารณาการหมุนของมอเตอร์แต่ละช่วงความเร็วในทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าทีสลิปเริ่มต้นเท่ากับ  $s$  การเหนี่ยวนำเนื่องจากกระแสในโรเตอร์โดยสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้ามีความถี่เท่ากับ  $sf$  และกำหนดให้  $f$  คือความถี่ที่สเตเตอร์ ดังนั้นผลของ  $Ff$  ที่สเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้เกิด  $\phi_f$  ในช่องอากาศ ซึ่งเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดัน  $E_f$  สำหรับอิมพีแดนซ์ของวงจรโรเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในส่วนวงจรสเตเตอร์มีค่า  $0.5R'_2/s + j0.5X'_2$  ดังรูปที่ 2.18(ค)

การพิจารณาสนามแม่เหล็กหมุนถอยหลังซึ่งทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในโรเตอร์ที่ความถี่สลิปเท่ากับ  $(2-s)f$  ลักษณะการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าวนี้สอดคล้องกับในตอนที่แรก โดยที่แรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนของโรเตอร์ในช่องอากาศที่ความเร็วซิงโครนัสและมีทิศทางตรงข้ามกับ  $F_f$  ผลของ  $F_b$  ที่สเตเตอร์ และโรเตอร์ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหมุนในช่องอากาศถอยหลังซึ่งเป็นผลทำให้เกิดแรงดันขึ้นที่  $E_b$  และสำหรับในส่วนของวงจรโรเตอร์อิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากับ  $0.5R'_2/(2-s) + j0.5X'_2$  ดังแสดงในรูปที่ 2.18(ค) สำหรับที่สลิปค่าต่ำ ๆ รูปคลื่นของกระแสโรเตอร์มีองค์ประกอบของความถี่สูง  $[(2-s)f \cong 2f]$  ซึ่งกำหนดได้โดยสนามแม่เหล็กหมุนถอยหลัง สำหรับองค์ประกอบของความถี่ต่ำกำหนดได้โดยสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า ( $sf$ )

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขขณะมอเตอร์หมุนจากวงจรสมมูลย์กำหนดโดย  $Z_f, Z_b, E_f, E_b$  ดังนั้น  $\phi_f$  ในช่องอากาศมีค่ามากกว่า  $\phi_b$  และวงจรสมมูลย์ดังกล่าวมานั้นสามารถกำหนดสมรรถนะของมอเตอร์ได้โดยการคำนวณหาค่ากระแสสเตเตอร์กำลังอินพุตแรงบิดที่สร้างขึ้นและประสิทธิภาพ

ภาพ เป็นต้น โดยใช้วงจรสมมูลย์ในรูปที่ 2.18 (ก) และเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงใช้วงจรสมมูลย์ดังในรูปที่ 2.18(ง) คำนวณค่าต่าง ๆ แทน โดยค่าพารามิเตอร์แต่ละส่วนกำหนดได้ดังนี้คือ

$$Z_f = R_f + jX_f = \frac{j0.5X_{m1}(j0.5X'_2 + 0.5R'_2/s)}{0.5R'_2/s + j0.5(X_{m1} + X'_2)} \quad (2.11)$$

$$Z_b = R_b + jX_b = \frac{j0.5X_{m1}(j0.5X'_2 + 0.5R'_2/s)}{0.5R'_2(2-s) + j0.5(X_{m1} + X'_2)} \quad (2.12)$$

และกำลังในช่องอากาศที่กำหนดโดยสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและถอยหลัง คือ

$$P_{gf} = I_1^2 R_f \quad (2.13)$$

$$P_{gb} = I_1^2 R_b \quad (2.14)$$

สำหรับแรงบิดกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$T_f = \frac{P_{gf}}{\omega} \quad (2.15)$$

$$T_b = \frac{P_{gb}}{\omega} \quad (2.16)$$

และผลรวมของแรงบิด คือ

$$T = T_f - T_b = \frac{I_1^2}{\omega} (R_f - R_b) \quad (2.17)$$

สำหรับกำลังทางกลที่เกิดขึ้นกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$P_{mech} = T\omega_r = T\omega(1-s) \quad (2.18)$$

$$= I_1^2 (R_f - R_b) (1-s) \quad (2.19)$$

$$= (P_{gf} - P_{gb}) (1-s) \quad (2.20)$$

และกำลังด้านเข้าที่ฟุต คือ

$$P_{out} = P_{mech} - P_{rot} \quad (2.21)$$

โดยที่  $P_{out}$  ประกอบด้วยการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงลมบวกกับการสูญเสียที่แกนเหล็กรวมเป็นการสูญเสียเนื่องจากการหมุน สนามแม่เหล็กหมุนในช่องว่างอากาศทั้งสองทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในวงจรโรเตอร์ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ดังนั้นการสูญเสียเนื่องจากทองแดงในโรเตอร์ ( $I^2 R$ ) คือผลรวมเชิงตัวเลขของการสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กแต่ละส่วน โดยที่การสูญเสียเนื่องจากทองแดงในโรเตอร์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้าและถอยหลังกำหนดได้ดังนี้

$$P_{2f} = sP_{gf} \quad (2.22)$$

$$P_{2b} = (2-s)P_{gb} \quad (2.23)$$

และผลรวมของการสูญเสียเนื่องจากทองแดงในโรเตอร์ คือ

$$P_2 = sP_{gf} + (2-s)P_{gb} \quad (2.24)$$

ผลรวมของกำลังในช่องอากาศ เนื่องจากองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กหมุนในช่องอากาศทั้งสองสามารถกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$P_g = P_{gf} + P_{gb} \quad (2.25)$$

### 2.4.3 การเริ่มต้นหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

วิธีการอย่างง่ายที่สุดสำหรับการทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวเริ่มต้นหมุนได้คือการใส่ขดลวดช่วยเริ่มต้นหมุนเพิ่มเข้าไปที่สเตเตอร์ โดยที่ขดลวดทั้งสองวางห่างกัน  $90^\circ$  ทางไฟฟ้า โดยอิมพีแดนซ์ของทั้งสองวงจรมีเฟสที่ต่างกันเนื่องจากกระแสที่ไหลในขดลวดหลักและขดลวดช่วยมีเฟสเลื่อน สำหรับวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว นั้นเหมือนกับมอเตอร์สองเฟสแบบไม่สมดุล อย่างไรก็ตามผลของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุนได้ และขดลวดทั้งสองขดสามารถออกแบบเพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นมอเตอร์สองเฟสแบบสมดุลและสำหรับวิธีการเริ่มต้นหมุนที่กล่าวมานั้นอธิบายได้ตามสมการข้างล่างนี้

$$i_m = \sqrt{2}I_m \cos \omega t \quad (2.26)$$

$$i_a = \sqrt{2}I_a \cos(\omega t + \theta) \quad (2.27)$$

โดยที่  $I_m$  คือกระแสที่ไหลในขดลวดหลัก และ  $I_a$  คือ กระแสที่ไหลในขดลวดช่วย

ถ้ากำหนดให้จำนวนรอบของขดลวดหลักและขดลวดช่วยคือ  $N_m$  และ  $N_a$  ตามลำดับ ดังนั้นขดลวดที่วางในตำแหน่งแกนตามขวาง เมื่อพิจารณาผลของรูปคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ในตำแหน่งมุม  $\theta$  (โดยที่  $\theta = 0^\circ$ ) ดังนี้

$$F(\theta, t) = \frac{I}{\sqrt{2}} [(N_m I_m - N_a I_a \sin \theta_a) \cos(\omega t + \theta) - (N_a I_a \cos \theta_a) \sin(\omega t + \theta)] \\ + \frac{I}{\sqrt{2}} [(N_m I_m + N_a I_a \sin \theta_a) \cos(\omega t - \theta) + (N_a I_a \cos \theta_a) \sin(\omega t - \theta)] \quad (2.28)$$

เมื่อนำไปคำนวณขนาดและมุมเฟสของกระแสที่ไหลผ่านขดลวดช่วยที่ทำให้เกิดระบบสมดุลสองเฟส ถ้ากำหนดให้  $N_m I_m = N_a I_a$  และ  $\theta_a = 90^\circ$  (นั่นคือมุมต่างเฟสระหว่าง  $I_m$  และ  $I_a$  เท่ากับ  $90^\circ$ ) และเมื่อพิจารณา เทอมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนถอยหลังนั้นหายไปเหลือเฉพาะเทอมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า คือ

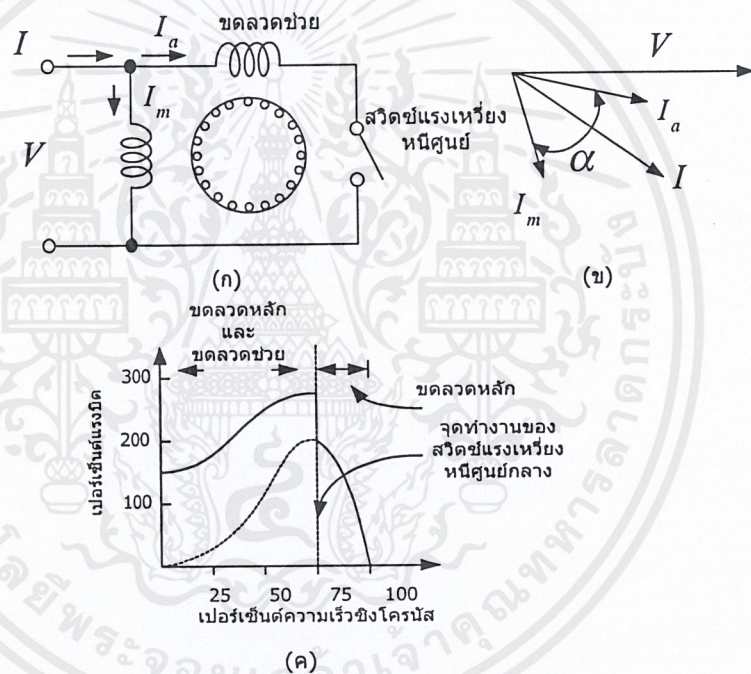
$$F_f = F(\theta, t) = \sqrt{2}N_m I_m \cos(\omega t - \theta) \quad (2.29)$$

โดยที่จากสมการ(44) เทอม  $\cos(\omega t - \theta)$  และ  $\sin(\omega t - \theta)$  เกิดจากสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า ส่วนเทอม  $\cos(\omega t + \theta)$  และ เกิดจากสนามแม่เหล็กหมุนถอยหลัง

#### 2.4.2 ชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

##### 1) มอเตอร์แบบแยกเฟส (Split-Phase Motor)

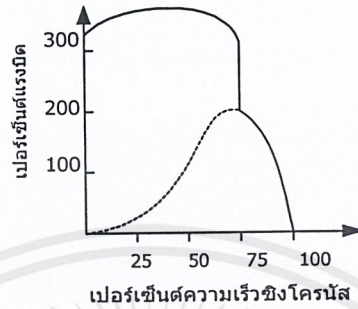
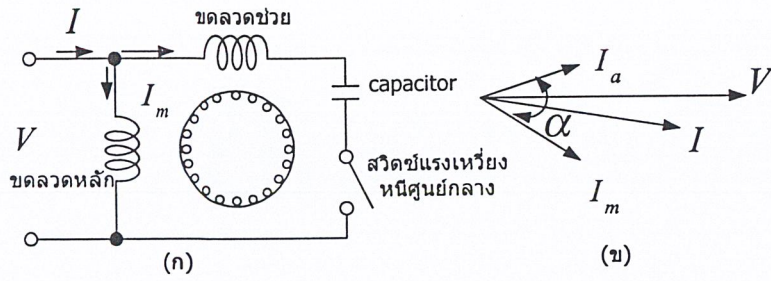
โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดแยกเฟส แสดงไว้ในรูปที่ 2.20(ก) ขดลวดช่วยมีอัตราส่วนค่าความต้านทานต่อรีแอกแตนซ์สูงกว่าขดลวดหลัก โดยที่กระแสซึ่งไหลผ่านขดลวดทั้งสองมีเฟสต่างกัน ดังรูปที่ 2.20(ข) การทำให้อัตราส่วนของค่าความต้านทานต่อรีแอกแตนซ์ของขดลวดช่วยมีค่าสูงนั้นเพื่อใช้ในระหว่างการเริ่มต้นหมุนของมอเตอร์เท่านั้น หลังจากนั้นเมื่อมอเตอร์หมุนไปแล้วจนกระทั่งมีความเร็วที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วซิงโครนัสขดลวดช่วยถูกตัดออกด้วยสวิทช์แรงเหวี่ยง (Centrifugal Switch) สำหรับคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็ว แสดงไว้ดังรูปที่ 2.20(ค) มอเตอร์ชนิดนี้มีแรงบิดเริ่มต้นหมุนต่ำจนถึงปานกลาง



รูปที่.2.20 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดขดลวดแยก

##### 2) มอเตอร์ชนิดเริ่มต้นหมุนด้วยตัวเก็บประจุ (Capacity-Start Motor)

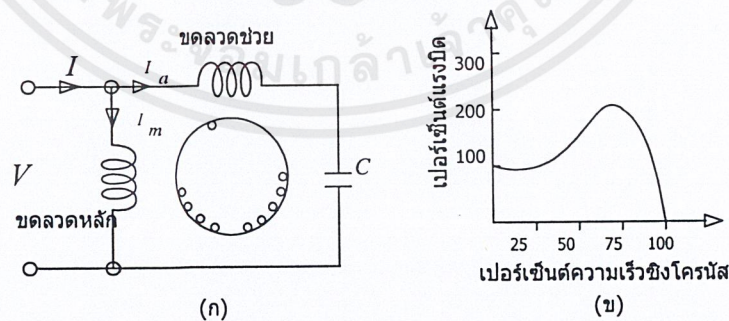
มอเตอร์ชนิดนี้มีแรงบิดเริ่มต้นหมุนสูงมาก เนื่องจากได้ต่อตัวเก็บประจุนุกรมเข้ากับขดลวดช่วย ดังรูปที่ 2.21(ก) นั่นก็เป็นการเพิ่มมุมเฟสระหว่างกระแสที่ไหลผ่านในขดลวดทั้งสอง ดังรูปที่ 2.21(ข) สำหรับคุณลักษณะ แรงบิด-ความเร็ว แสดงไว้ในรูป 2.21(ค) และเช่นเดียวกันเมื่อมอเตอร์หมุนได้ที่ความเร็ว 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วซิงโครนัส สวิทช์แรงเหวี่ยงจะตัดขดลวดช่วยออก



รูปที่ 2.21 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดเริ่มหมุนด้วยตัวเก็บประจุ

3) มอเตอร์ชนิดหมุนด้วยตัวเก็บประจุ(Capacity-Run Motor)

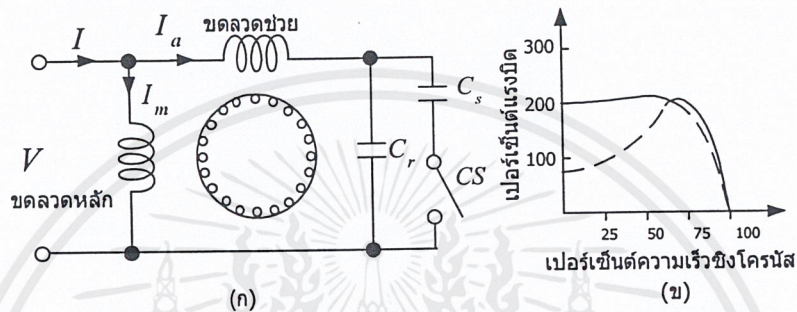
มอเตอร์ชนิดนี้มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.22(ก) โดยที่ตัวเก็บประจูก่อต่อแบบอนุกรมกับขดลวดช่วย และไม่ถูกตัดออกหลังจากมอเตอร์หมุนไปแล้วซึ่งโครงสร้างและลักษณะวงจรแบบนี้สามารถลดต้นทุนให้ต่ำลงได้ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีสวิทช์แรงเหวี่ยงที่สำคัญ โครงสร้างลักษณะ เช่นนี้ ทำให้สามารถปรับปรุงตัวประกอบกำลัง การสั่น และประสิทธิภาพของมอเตอร์ให้ดีขึ้นเนื่องจากมอเตอร์ทำงาน (หมุน) เป็นมอเตอร์สองเฟส ซึ่งทำให้มอเตอร์หมุนได้เร็วขึ้นสำหรับคุณลักษณะของ แรงบิด-ความเร็ว แสดงไว้ในรูปที่ 2.22(ข)



รูปที่ 2.22 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดหมุนด้วยตัวเก็บประจุ

4) มอเตอร์ชนิดเริ่มหมุนและหมุนด้วยตัวเก็บประจุ(Capacity-StartCapacity-RunMotors)

โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดนี้จะมีตัวเก็บประจุสองตัวประกอบอยู่ในวงจร โดยที่ตัวแรกจะใช้เพื่อการเริ่มต้นหมุนส่วนอีกตัวหนึ่งใช้ขณะมอเตอร์หมุน ดังรูปที่ 2.23(ก) ตามทฤษฎีนั้นจุดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นหมุน และสมรรถนะของมอเตอร์ขณะหมุนสามารถกำหนดได้โดยตัวเก็บประจุทั้งสอง ตัวเก็บประจุเริ่มต้นหมุน  $C_s$  มีขนาดใหญ่และเป็นชนิด ac electrolytic ส่วนตัวเก็บประจุขณะมอเตอร์หมุน  $C_r$  ถูกต่ออนุกรมอย่างถาวรกับขดลวดเริ่มต้นซึ่งมีขนาดเล็กเป็นชนิด paper oil สำหรับคุณลักษณะของแรงบิด-ความเร็ว แสดงในรูปที่ 2.23(ข) มอเตอร์ชนิดดังกล่าวนี้มีราคาแพง เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น ๆ ใดก็ตามถือได้ว่าเป็นมอเตอร์ที่มีสมรรถนะดีที่สุดในชนิดหนึ่งของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว



รูปที่ 2.23 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวชนิดเริ่มต้นหมุนและหมุนด้วยตัวเก็บประจุ

#### 2.4.2 วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

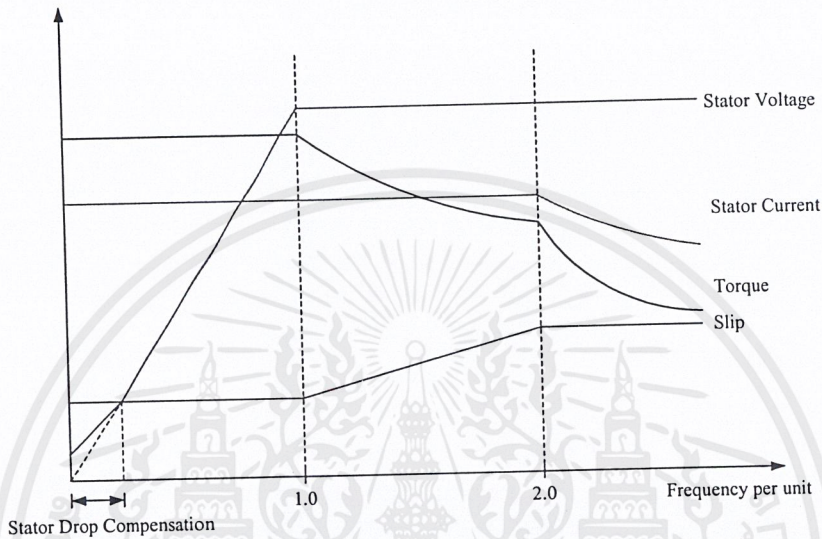
วิธีการควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ สามารถพิจารณาสมการดังนี้

$$N_r = (1 - S) * \left(\frac{120}{P}\right) * f \quad \text{rpm} \quad (2.30)$$

ดังนั้น การควบคุมความเร็วทำได้โดยการควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ( $f$ ) สลิปของโรเตอร์ ( $S$ ) และจำนวนขั้วของสเตเตอร์ ( $P$ ) และวิธีการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด คือการควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟโดยใช้อินเวอร์เตอร์ เพราะจะทำให้การควบคุมมีการต่อเนื่อง ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูง ในขณะที่การควบคุมความเร็วของอินดักชันมอเตอร์โดยการเปลี่ยนจำนวนขั้วจะทำได้จำกัดช่วงการเปลี่ยนความเร็วแคบและไม่ต่อเนื่องและใช้ได้กับอินดักชันมอเตอร์ที่ออกแบบไว้พิเศษเท่านั้น ส่วนการควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการควบคุมสลิป ทำได้โดยการเปลี่ยนค่าสลิปทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพต่ำลง เพราะประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าสลิป

### 2.4.2.1 การควบคุมด้วยการเปลี่ยนแรงดันและความถี่ (Variable Voltage, Variable Frequency: VVVF)

เป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งจะใช้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมแรงดันและความถี่ทางด้านเอาต์พุตให้เป็นไปตามที่ต้องการของการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.24 การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน, แรงบิด, กระแสเตเตอร์กับความถี่

ชนิดมอเตอร์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติสลลิปต่ำ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วมอเตอร์จะเปลี่ยนตามการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงโคโรนัสของสนามแม่เหล็กในแอร์แกปที่อยู่ระหว่างส่วนสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งการที่จะเปลี่ยนความเร็วเชิงโคโรนัสสามารถทำได้โดยการแปรเปลี่ยนความถี่ของ อินเวอร์เตอร์ การเพิ่มความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการเปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์อย่างเดียวนี้อาจทำให้สนามแม่เหล็กในแอร์แกปของมอเตอร์ลดลงด้วย สังเกตได้จากสมการข้างล่าง

$$E = 4.44Nf\phi \quad (2.31)$$

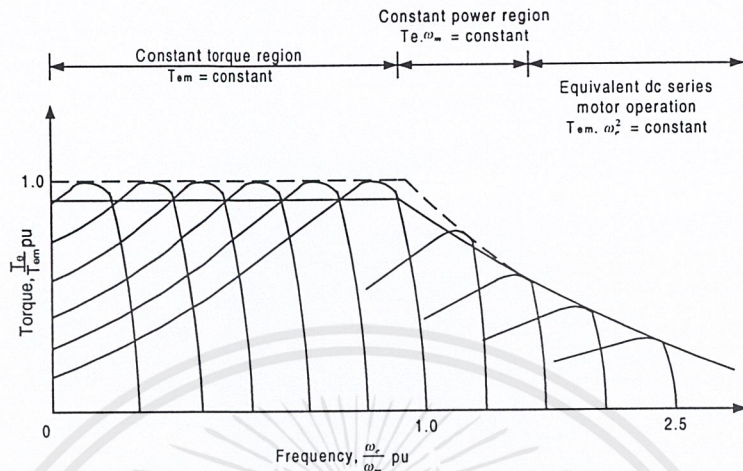
$$\phi \propto \frac{E}{f}$$

จากสมการ

$$T_m \propto \left(\frac{E}{f}\right)^2 \propto \phi^2 \quad (2.32)$$

เมื่อแอร์แกปลักซ์ลดลงจะทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลง แต่ในการที่จะรักษาสนามแม่เหล็กในแอร์แกปและแรงบิดสูงสุดให้คงที่ จำเป็นต้องเพิ่มแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์

ตามความถี่ด้วยเพื่อรักษาความสัมพันธ์ของ  $\frac{E}{f}$  ให้คงที่เพื่อให้แรงบิดสูงสุดคงที่นั่นเอง แต่การควบคุมให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีแรงบิดสูงสุดคงที่ จะทำได้ในย่านความเร็วต่ำกว่าความเร็วพิกัดดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 กราฟแสดงแรงบิด-ความเร็วมอเตอร์เมื่อควบคุมแบบ VVVF

ในย่านความถี่ต่ำ การรักษาให้  $\frac{E}{f}$  คงที่จะไม่เพียงพอที่จะทำให้แรงบิดสูงสุดมีค่าคงที่ ทั้งนี้เพราะที่ความถี่ต่ำ ๆ ค่าความต้านทานของสเตเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นทำให้แรงดันตกคร่อมสูง เป็นผลให้มีการสูญเสีย ดังนั้นจะต้องเพิ่มแรงดันที่จ่ายให้กับสเตเตอร์เพื่อชดเชยแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานของ สเตเตอร์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันกับความถี่เป็นไปตามเส้นทึบของกราฟรูปที่ 2.24 แทนการเปลี่ยนแปลงตามเส้นประ ซึ่งเป็นกราฟ  $\frac{E}{f}$  คงที่

ส่วนในย่านความถี่สูงกว่าความถี่พิกัด จะไม่สามารถรักษาแรงบิดให้คงที่ได้เนื่องจากไม่สามารถเพิ่มแรงดันให้มากกว่าแรงดันที่พิกัดได้เพราะจะเกิดความเสียหายแก่มอเตอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องคงที่แรงดันไว้ที่พิกัด เป็นเหตุให้แรงบิดสูงสุดลดลงเนื่องจากการลดลงของสนามแม่เหล็กในแอร์แกปของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังแสดงในรูปที่ 2.25 การควบคุมความเร็วในย่านนี้กำลังออกสูงสุดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าคงที่ ด้วยการลดความเข้มของสนามแม่เหล็กเรียกว่าเป็นการทำงานในย่านกำลังคงที่ (Constant Power Region) หรือ (Field Weakening Region) เนื่องจากการควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้จะเป็นการแปรเปลี่ยนทั้งความถี่และแรงดัน ทำให้สามารถเร่งความเร็วจากศูนย์ไปสู่ความเร็วที่ต้องการโดยมีทอร์คสูงสุดคงที่ได้

แรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์แบบนี้ไม่ได้เป็นรูปไซน์ ดังนั้นมอเตอร์จะได้รับแรงดันฮาร์มอนิกส์ ซึ่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในแอร์แกปด้วยความเร็วที่สูงกว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดมาจากความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) มาก แต่แรงดันฮาร์มอนิกส์ของอินเวอร์เตอร์จะทำให้เกิดการสูญเสียในมอเตอร์มากขึ้น

### 1) คุณสมบัติระหว่าง แรงบิด - ความเร็ว

เมื่อความถี่สลิป  $f_{sl}$  มีค่าต่ำๆ และฟลักซ์ในช่องว่างอากาศ  $\phi_{ag}$  นั้นคงที่แล้ว ดังนั้นแรงบิดทางกลจะมีความสัมพันธ์เป็น  $T_{em} = k_1 \phi_{ag} I_r \sin \delta$  โดยที่มุม  $\delta$  คือมุมระหว่างกระแสโรเตอร์และกระแสแมกเน็ตติซิ่งและ เมื่อความสัมพันธ์ของกระแสโรเตอร์เป็น  $I_r = k_2 \phi_{ag} f_{sl}$  จะส่งผลให้แรงบิดมีความสัมพันธ์เป็น  $\therefore T_{em} = k_3 \phi_{ag}^2 f_{sl} \sin \delta$  โดยที่  $\sin \delta \approx 1$  เมื่อ  $f_{sl}$  มีค่าต่ำๆ ดังนั้นความสัมพันธ์ข้างต้นจะได้ว่า

$$T_{em} = k_9 f_{sl} \quad (2.33)$$

เมื่อ

$$\omega_{sl} = s \omega_s \quad (2.34)$$

และ

$$\omega_{sl} = \frac{f}{f_{sl}} \omega_s = \frac{f}{f_{sl}} \left( \frac{2}{P} \omega \right) = \frac{f}{f_{sl}} \left( \frac{2}{P} (2\pi f) \right) \quad (2.35)$$

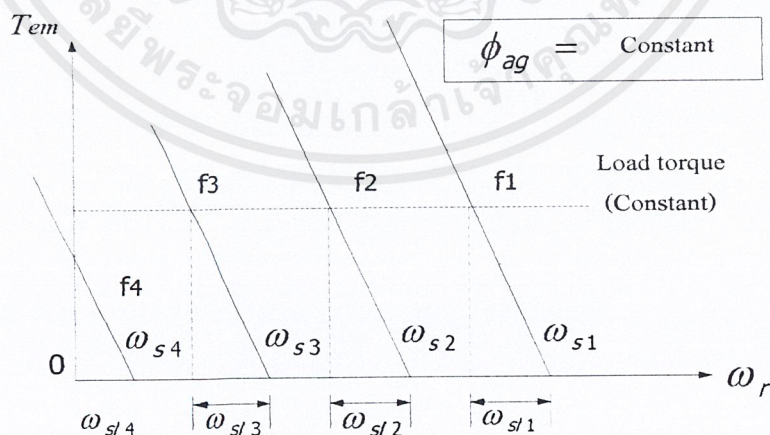
ดังนั้น

$$\omega_{sl} = \frac{4\pi}{P} f_{sl} \quad (2.36)$$

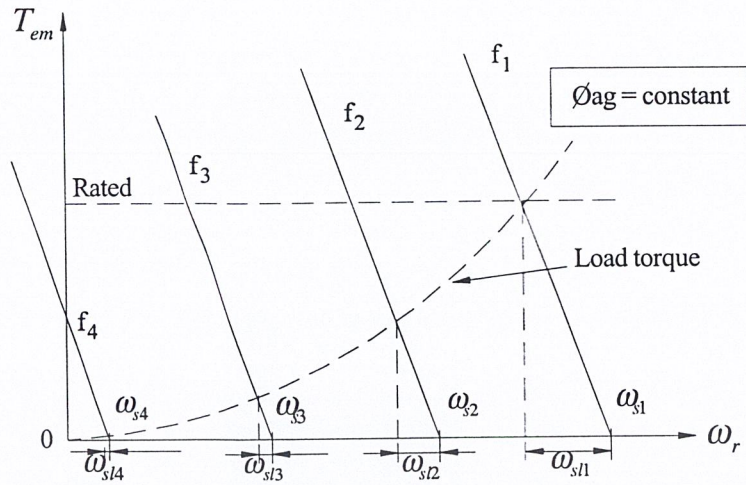
ดังนั้นจึงประมาณความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วสลิปได้เป็น

$$T_{em} \approx k_{10} \omega_{sl} \quad (2.37)$$

ถ้านำความสัมพันธ์ของสมการที่(2.36) ไปพิจารณาจะได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.30. พิจารณาที่  $f_1$  และ  $f_2$  จะมีความเร็ว Synchronous เป็น  $\omega_{s1}$  และ  $\omega_{s2}$  ตามลำดับซึ่งขึ้นอยู่กับ  $f_1$  หรือ  $f_2$  ถ้าแรงบิดที่จับโหลดมีค่าเท่ากัน จะได้ว่า  $\omega_{s1} = \omega_{s12}$  ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงบิดกับความเร็วดังรูปที่ 2.26 แรงบิดและความเร็วสลิปจะมีค่าเท่ากันทุกความถี่ เพียงแต่เป็นการเลื่อนความเร็ว Synchronous ขนานกันไปตามแนวแกนนอนเท่านั้นเอง



รูปที่ 2.26 กราฟแสดงคุณสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วที่สลิปมีค่าต่ำ โดยที่ฟลักซ์ในช่องว่างอากาศ  $\phi_{ag}$  และภาระแรงบิดคงที่

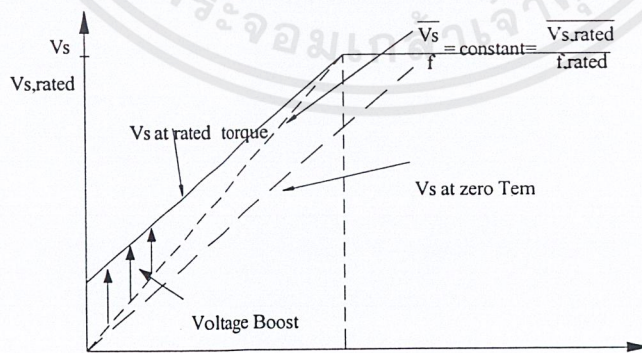


รูปที่ 2.27 กราฟคุณสมบัติของแรงบิดกับความเร็วเมื่อแรงบิดเปลี่ยนแปลงตามความเร็วกำลังสอง

โปรดสังเกตว่า ถ้าแรงบิดขับโหลดมีค่าคงที่ ความถี่ในวงจรรอเตอร์(ทั้งกระแสและแรงดัน) จะมีค่าคงที่ด้วย ดังนั้นจากสมการ  $f_{sl} = sf$  ก็หมายความว่าถ้า  $f$  ต่ำลง Slip ต้องมีค่าสูงขึ้น เพื่อให้  $f_{sl}$  มีค่าคงที่ และจาก  $\%P_r = \frac{f_{sl}}{f - f_{sl}}$  ก็หมายความว่าถ้า  $f$  ลด  $f_{sl}$  คงที่  $\%P_r$  จะเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ในโหลดบางอย่างเช่น Centrifugal Pump , Compressor, พัดลม (ดูรูป 2.31 ) ซึ่งเป็นโหลดที่มีแรงบิด  $\propto (Speed)^2$  กรณีแบบนี้ทั้ง  $f_{sl}$  และ S จะลดลงทั้งคู่เมื่อลดความถี่  $f$  ลง ดังนั้น การสูญเสียในวงจรรอเตอร์จึงมีค่าต่ำเนื่องจากกระแสโรเตอร์ไหลน้อยลง

2) การชดเชยแรงดันเพิ่มเมื่อความถี่ป้อนมีค่าต่ำๆ



รูปที่ 2.28 ความต้องการแรงดันชดเชยเพื่อรักษาฟลักซ์คงที่เมื่อความถี่ต่ำๆ

เมื่อความถี่ป้อนเข้าต่ำลง ผลกระทบของความต้านทานที่ขดลวดสเตเตอร์จะไม่สามารถละทิ้งไปได้ถึงแม้ว่าความถี่สลลิปจะมีค่าก็ตาม ซึ่งสามารถที่จะแสดงให้เห็นได้ดังต่อไปนี้: ในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยทั่วไปเทอมของ  $2\pi fL_r$  จะมีค่าน้อย มากเมื่อเทียบกับเทอม  $R_r \frac{f}{f_{sl}}$  ในวงจรสมมูล ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าวงจรโรเตอร์ ( $I_r$ ) จึงอินเฟสกันกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ขดลวดสเตเตอร์ ( $E_{ag}$ ) ถ้าเราใช้แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ขดลวดสเตเตอร์เป็นเฟสเซอร์อ้างอิง เนื่องจาก  $\hat{I}_s = I_r + jI_m$  ดังนั้น สามารถที่จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\hat{V}_s \approx [E_{ag} + (2\pi fL_{ls})I_m + R_s I_r] + j[(2\pi fL_{ls})I_r - R_s I_m] \quad (2.38)$$

เทอมที่สองทางด้านขวามือของสมการที่ 2.36 จะเป็นส่วนที่หักล้างกันกับ  $V_s$  ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อขนาดของ  $V_s$  มากนักดังนั้นจึงสามารถที่จะละทิ้งไปได้นั่นคือ

$$V_s \approx [E_{ag} + (2\pi fL_{ls})I_m + R_s I_r] \quad (2.39)$$

เมื่อ  $\phi_{ag}$  คงที่  $E_{ag}$  จึงแปรผันไปตามความถี่ที่ป้อน ( $E_{ag} = k_3 \phi_{ag} f$ )

และถ้า  $\phi_{ag}$  คงที่  $I_m$  ก็จะมีค่าคงที่ด้วย

จากสมการเขียนได้ว่า

$$V_s \approx k_{13} f + R_s I_r \quad (2.40)$$

- ถ้า  $f$  สูงๆ  $R_s I_r$  จะไม่มีผลมากนัก ละทิ้งไปได้จึงประมาณ  $V_s \approx E_{ag}$
- ถ้า  $f$  ต่ำๆ  $R_s I_r$  จะมีผลมากขึ้น ละทิ้งไม่ได้จึงต้องเพิ่มแรงดันป้อนเพื่อให้อัตราส่วน

$\frac{E_{ag}}{f}$  คงที่ เพื่อรักษาแรงบิดให้คงที่ที่พิกัด

### 3) ความสามารถของมอเตอร์เหนี่ยวนำภายใต้ความเร็วต่ำกว่าและเหนือกว่าความเร็วพิกัด

ถ้าการควบคุมความเร็วทำโดยการควบคุมทั้งแรงดันและความถี่ไปด้วยกันจะเป็นการควบคุมความเร็วที่ต่ำกว่าพิกัด แต่เนื่องจากโครงสร้างของมอเตอร์เหล่านี้ค่อนข้างแข็งแรง ดังนั้นเราจึงสามารถที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้สูงเกินกว่าพิกัดได้ถึง 2 เท่า โดยไม่มีปัญหาในเรื่องทางกล

#### การควบคุมความเร็วต่ำกว่าพิกัด(Constant Torque region)

เมื่อความถี่สลลิปมีค่าต่ำและ เส้นแรงแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศมีค่าคงที่โดยการควบคุมให้อัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่คงที่ มอเตอร์จะสามารถรับโหลดได้ด้วยแรงบิดคงที่ที่ค่าพิกัด มอเตอร์จะดึงกระแสเต็มอยู่ที่พิกัด ดังนั้นจึงเรียกการทำงานย่านนี้ว่า ย่านแรงบิดคงที่(Constant torque region) และในย่านนี้ความถี่สลลิป จะมีค่าเท่ากับความถี่สลลิปที่พิกัดตลอดย่านความเร็วด้วย และที่สำคัญจาก  $P_r = 3R_r I_r^2$  เมื่อกระแสโรเตอร์คงที่จึงกล่าวได้ว่าการสูญเสียที่ทองแดงใน

ลวดโรเตอร์มีค่าคงที่ด้วย ดังนั้นในย่านนี้จึงมีปัญหาในเรื่องของการระบายความร้อนเมื่อมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วต่ำๆ ถ้าจะให้ดีจึงควรจะต้องติดพัดลมระบายความร้อนแยกไว้ต่างหาก ส่วนในโพลประเภท Centrifugal Pump นั้นจะไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องนี้เท่าไรนักเนื่องจากการต้องการแรงบิดจะต่ำลงเมื่อความเร็วลดลง

### การควบคุมความเร็วเหนือกว่าพิกัด(Constant power region)

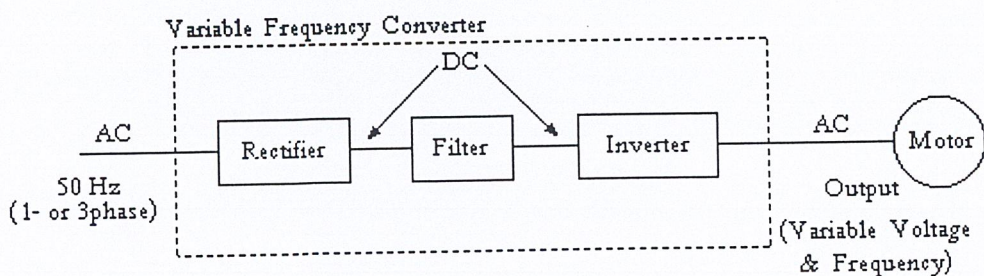
ถ้าเราป้อนความถี่ให้สูงกว่าความถี่ที่พิกัดจะสามารถปรับความเร็วให้สูงกว่าความเร็วที่พิกัดได้ แต่ว่าแรงดันจะป้อนขึ้นตามด้วยไม่ได้เพราะขณะนี้แรงดันถึงพิกัดแล้ว ดังนั้น  $V_s$  จึงคงที่ และเมื่อแรงดันป้อนคงที่ แต่เพิ่มเฉพาะความถี่ดังนั้นจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศลดลงไป ( $\phi_{ag} \approx \frac{V_s}{f}$ ) มีผลทำให้แรงบิดลดลงตามไปด้วย และจาก  $P_{em} = \omega_r T_{em}$  เมื่อ  $\omega_r$  เพิ่มขึ้นตามความถี่ แต่  $T_{em}$  ลดลงเนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศลดลงดังนั้นจึงเรียกการทำงานย่านนี้ว่า ย่านกำลังคงที่ (Constant Power) ย่านการทำงานนี้ในทางปฏิบัติมอเตอร์จะจ่ายกำลังได้สูงกว่าพิกัดเพราะ

1. เมื่อ  $I_m$  ลดลงเพราะ  $\phi_{ag}$  ลดลง ขณะที่  $I_s$  เท่าเดิมที่พิกัด  $I_r$  จึงเพิ่มขึ้นดังนั้นแรงบิดและกำลังจึงเพิ่มขึ้น
2. เนื่องจาก  $I_m$  ลดลง Core loss ก็จะลดลงด้วยและระบบการระบายความร้อนก็จะดีขึ้น

## 2.5 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องสามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบจ่ายไฟและมอเตอร์ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ที่ดีต้องมีคุณสมบัติพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ดังต่อไปนี้

1. สามารถที่จะปรับความถี่ได้เป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบที่ต้องการ
2. สามารถปรับแรงดันเอาท์พุทเพื่อรักษาอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ (V/f) ให้คงที่ตลอดช่วงแรงบิดคงที่ตามต้องการ
3. สามารถจ่ายกระแสได้ตามพิกัดที่ความถี่ใด ๆ ซึ่งอยู่ในช่วงแรงบิดคงที่ที่ต้องการ



รูปที่ 2.29 บล็อกไดอะแกรมของระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในรูปที่ 2.29 แสดงหลักการพื้นฐานซึ่งแหล่งจ่ายไฟเข้า เอซี จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดัน ดีซี โดยการใส่เรกติไฟเออร์ที่สามารถควบคุมแรงดันได้ หรือควบคุมไม่ได้ก็ได้ (Controlled Or Uncontrolled Rectifier) และอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟ ดีซี ให้เป็น เอซี ที่สามารถเปลี่ยนแรงดันและความถี่ได้ โดยทั่วไประบบอินเวอร์เตอร์สามารถจำแนกออกตามชนิดของอินเวอร์เตอร์ได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1 อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายกระแส (Current-Source Inverter : CSI)
- 2 อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน (Voltage-Source Inverter: VSI)

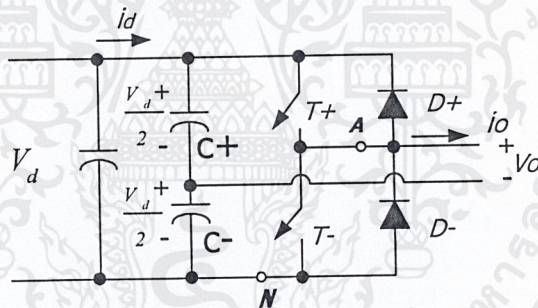
โดยอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบนี้จะให้คุณสมบัติ และลักษณะของรูปคลื่นของกระแสและแรงดันที่แตกต่างกัน และเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปด้วย

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะอินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในโครงการเท่านั้น ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบแหล่งจ่ายแรงดันและใช้เทคนิคการสวิตช์แบบพีคดับลิฟเอ็ม

### 2.5.1 อินเวอร์เตอร์แบบ 1-เฟส

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบ่งได้ดังนี้คือ

- 1) ฮาล์ฟ-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.30 ฮาล์ฟ-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.30 แสดงวงจรพื้นฐานของ อินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ คาปาซิเตอร์ 2 ตัวที่มีขนาดเท่ากันต่ออนุกรมกันอยู่ ครอบ คีซี.อินพุต จะมีแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์แต่ละตัวเท่ากับ

$\frac{1}{2}V_d$  ที่ จุดต่อร่วมของคาปาซิเตอร์ทั้งสอง (Midpoint) จะมีการเปลี่ยนแปลงชั่วของศักดาไฟฟ้า

อยู่ ตลอดตามการทำงานของสวิตช์ คาปาซิเตอร์ที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอ ลักษณะของวงจรพื้นฐานจะเหมือนกันทุกประการกับ วงจร One-leg inverter โดยจะได้แรงดันเอาต์พุต( $V_o$ ) เท่ากับ

$V_{o1}$

## พิจารณาสถานะของสวิตช์

เมื่อสวิตช์  $T+$  ทำงานทำให้  $T+$  และ  $D+$  นำกระแสมีทิศทางของกระแสเอาต์พุต ตามรูป 2.30 เช่นเดียวกับเมื่อ สวิตช์  $T-$  ทำงาน  $T-$  และ  $D-$  จะนำกระแสแต่ทิศทางของกระแสเอาต์พุตจะตรงข้ามกับขณะที่สวิตช์  $T+$  ทำงาน จึงทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นไฟสลับ

เนื่องจากกระแสเอาต์พุต  $i_o$  ต้องไหลผ่าน ทั้ง  $C+$  และ  $C-$  ในสถานะคงตัวจึงไม่สามารถมี DC Component ดังนั้น คาปาซิเตอร์เหล่านี้จึงทำหน้าที่เสมือนเป็น DC blocking capacitor เพื่อลดปัญหาการอิ่มตัวของแกนเหล็กในหม้อแปลงทางด้านเอซี เมื่อวงจรทางด้านเอาต์พุตต้องการแยกกราวด์ทางไฟฟ้า

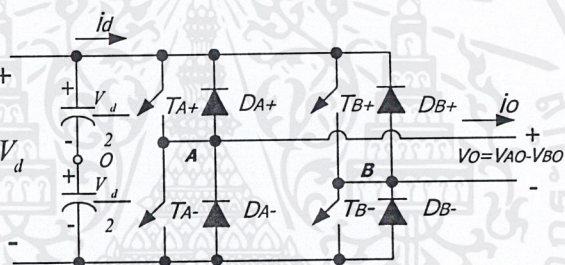
ในวงจร ฮาล์ฟ-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ ค่าแรงดันสูงสุดและกระแสพิกัด ของการสวิตช์ จะเป็นไปตามสมการข้างล่าง

(2.41)

และ

$$I_T = i_{O,peak} \quad (2.42)$$

## 2) ฟูล-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.31 ฟูล-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์

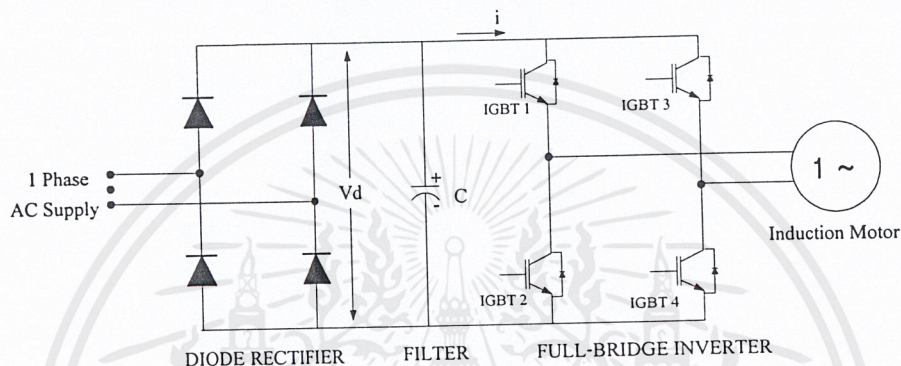
วงจรพื้นฐานของ ฟูล-บริดจ์อินเวอร์เตอร์แสดงในรูปที่ 2.31 อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยวงจรของ One-leg inverter จำนวน 2 ชุด ได้รับความนิยมมากกว่าวงจรชนิดอื่น ๆ เมื่อต้องการพิกัดกำลังสูง ๆ แรงดันเอาต์พุต สูงสุดมีค่าเป็น 2 เท่าของ ฮาล์ฟ-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ ที่พิกัดกำลังเท่ากันจะมี กระแสเอาต์พุต และกระแสสวิตช์เป็น 1.5 เท่าของ ฮาล์ฟ-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ โดยที่มีแรงดัน ดีซี. อีพูท เท่ากัน นอกจากนี้ การใช้งานในระดับกำลังสูง ๆ จะใช้อุปกรณ์ขานานในวงจรน้อยกว่า

### 2.5.2 อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน (Voltage-Source Inverter: VSI)

โครงสร้างแรงดันดีซีลิงค์มีขนาดตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก อาจกล่าวได้ว่าแรงดันอินพุทของอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ ทำให้แรงดันเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์คงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด ข้อดีของอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดันคือ สามารถควบคุมแรงดันและความถี่ได้ง่าย ปรับความถี่ได้ในย่านกว้าง ส่วนข้อเสีย มักมีปัญหาในเรื่องการลัดวงจรของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งในกึ่งเดียวกันของอินเวอร์เตอร์ ในทางปฏิบัติช่วงจรลัดเอาต์ที่มีการสร้างเดดไทม์ (Dead Time) เป็นส่วนช่วยในการป้องกัน

### 2.5.3 พีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ (PWM Inverter)

โครงสร้างของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ในส่วนของแรงดันดีซีลิงก์โดยทั่วไปจะใช้เรกติไฟเออร์ที่เป็นไดโอด ทำให้แรงดันของดีซีลิงก์มีค่าคงที่ ซึ่งไม่สามารถควบคุมแรงดันดีซีได้ ดังนั้นความถี่และแรงดันเอาต์พุตของ แรงดันมาตรฐาน สามารถควบคุมโดยใช้เทคนิคและความสัมพันธ์ของตัวแปรของพีดับบลิวเอ็ม เทคนิคพีดับบลิวเอ็มนี้จะให้แรงดันเอาต์พุต ที่มีองค์ประกอบฮาร์มอนิกอันดับต่ำน้อยลง แต่จำนวนครั้งของการสวิตช์สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีปัญหาของการสวิตช์ ซึ่งจะใช้งานได้ดีในย่านความถี่ต่ำ ทำให้แรงบิดเริ่มต้นสูงและลดปัญหาการกระเพื่อมของแรงบิด



รูปที่ 2.32 วงจรกำลังของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.32 เป็นการแสดงลักษณะทางโครงสร้างของ พีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน โดยรับแรงดันไฟฟ้อน1-เฟสจากแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้าผ่านไดโอดเรกติไฟเออร์ซึ่งเป็นวงจรสร้างแรงดัน ดีซี.ป้อนให้กับพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์และในส่วนของพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันนี้จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมทั้งความถี่และแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ หลักการหนึ่งที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณควบคุมสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ก็คือจะใช้การเปรียบเทียบ ระหว่าง แรงดันควบคุมที่เป็นรูปคลื่นไซน์ ( $V_{control}$ ) ที่มีคุณสมบัติที่สามารถปรับแมกนิจูดให้แปรผันไปตามความถี่ได้ด้วยโดยจะนำสัญญาณควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle waveform) ที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของการสวิตช์ จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบไปควบคุมลำดับของการสับสวิตช์อีกที สวิตช์อีกทีเมื่อพิจารณาแรงดันทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตจะประกอบด้วยฮาร์มอนิกที่มีความถี่สูงจำนวนมากดังนั้นค่ากระแสแฉกระเพื่อมมอเตอร์ จึงมีค่าต่ำ

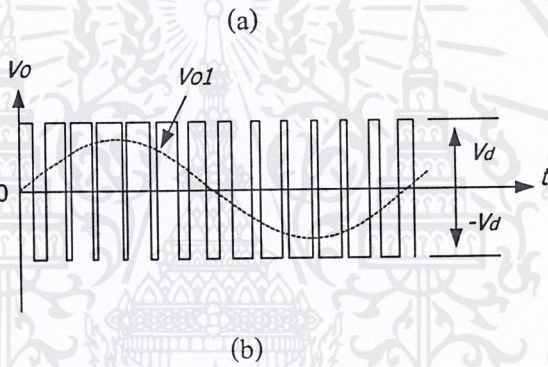
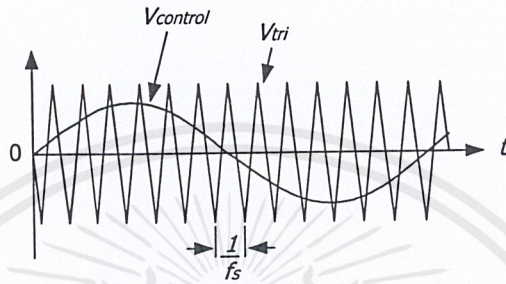
พีดับบลิวเอ็มมีลักษณะการสวิตช์เป็น 2 แบบคือ

1) แบบไบโพลาร์(Bipolar)

พิจารณาโดยอ้างอิงวงจรในรูปที่ 2.30 ในวงจรอินเวอร์เตอร์ พีดับบลิวเอ็ม คือสัญญาณ

เล็ก ๆ จำนวนมากที่ เอมารวมกัน จากการสวิตช์ที่รวดเร็วมากทำให้เห็นเอาท์พุต ของอินเวอร์เตอร์ เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยที่สามารถควบคุมขนาดและความถี่ของแรงดันเอาท์พุต ได้ ถ้าปรับขั้นตอนของการสร้างแรงดันเอาท์พุต ที่เป็นรูปคลื่นไซน์ มีความถี่ตามที่ต้องการ เกิดจาก การนำ  $V_{Control}$  ที่เป็น สัญญาณไซน์ ที่มีความถี่ เดียวกับที่ต้องการที่เอาท์พุต มาเปรียบเทียบกับสัญญาณรูป สามเหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากับความถี่ ในการสวิตช์และมีขนาดคงที่

การเปรียบเทียบระหว่าง  $V_{Control}$  กับ สัญญาณสามเหลี่ยมเป็นไปตามรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 พีคดับลิแวมไบโพล่า

แรงดันเอาท์พุต ที่ ขา A จะเหมือนกับ One-leg inverter ส่วนแรงดันเอาท์พุต ที่ขา B จะตรงกันข้าม กับเอาท์พุต ที่ขา A หมายความว่า เมื่อ  $T_{A+}$  ทำงาน  $V_{AO}$  จะเท่ากับ  $+\frac{1}{2}V_d$  ,  $T_{B-}$  จะทำงานด้วย เหมือนกัน และ  $V_{BO} = -\frac{1}{2}V_d$  ดังนั้น

$$V_{BO}(t) = -V_{AO}(t) \tag{2.43}$$

และ

$$V_O(t) = V_{AO}(t) - V_{BO}(t) = 2V_{AO}(t) \tag{2.44}$$

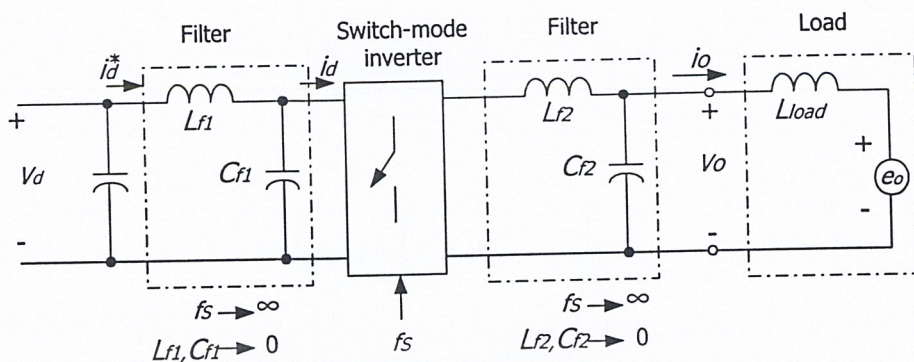
ค่าแรงดันเอาท์พุต สูงสุด

$$\hat{V}_{O1} = m_a V_d \dots \dots \dots (m_a \leq 1.0) \tag{2.45}$$

และ

$$V_d \left\langle \hat{V}_{O1} \left\langle \frac{4}{\pi} V_d \dots \dots \dots (m_a > 1.0) \right. \right. \tag{2.46}$$

กระแสทางด้าน ดิซี. ( $i_d$ )



รูปที่ 2.34 Inverter with "fictitious" filter

ในลักษณะการทำงานที่เป็นอุดมคติ การสวิตช์ที่ ความถี่สูง ๆ นั้น ทำให้แรงดันเอาต์พุต และกระแส  $i_d$  ประกอบไปด้วยส่วนประกอบความถี่สูงของการสวิตช์ ฟิเตอร์ที่ใช้จะเป็นแบบ L-C high frequency filter การใช้ฟิเตอร์ทางด้าน ดิซี. จะดีพอๆกับด้าน เอซี. ซึ่งมี ลักษณะการต่อ ฟิเตอร์เป็นไปตามรูปที่ 2.34

สมมุติว่าความถี่ในการสวิตช์สูงมากๆ จนเข้าใกล้  $\infty$  ดังนั้นการจะกรองเอาองค์ประกอบ ความถี่สวิตชิง ออกจาก  $V_o$  และ  $i_d$  ต้องใช้ L-C ค่าน้อย ๆ เข้าใกล้ศูนย์ ทั้งด้าน ดิซี. และ เอซี. เพื่อที่ ไม่ให้มีพลังงานสะสมในตัวฟิเตอร์ เนื่องจาก คอนเวอร์เตอร์ ภายในตัวมันเองต้องไม่มีพลังงาน สะสมในส่วนประกอบต่าง ๆ กำลังงานอินพุตชั่วขณะต้องเท่ากับกำลังงานเอาต์พุต ชั่วขณะ

ทำให้ได้แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  เป็นรูปคลื่นไซน์ ที่ความถี่มูลฐาน ( $\omega_1$ )

$$V_{O1} = V_o = \sqrt{2}V_o \sin \omega_1 t \quad (2.47)$$

ถ้าโหลดเป็นไปตามรูปที่ 2.38 เมื่อ  $e_o$  เป็นคลื่นไซน์ที่ความถี่มูลฐาน ( $\omega_1$ ) แล้ว กระแส เอาต์พุต ( $i_o$ ) จะเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วยและจะล่าหลัง  $V_o$  เนื่องจากเป็นโหลดอินดักทีฟ เช่นมอเตอร์

$$i_o = \sqrt{2}I_o \sin(\omega_1 t - \phi) \quad (2.48)$$

เมื่อ  $\phi$  เป็นมุมระหว่าง  $i_o$  กับ  $V_o$

ด้าน ดิซี. L-C Filter จะกรององค์ประกอบความถี่สูงที่เกิดจากการสวิตชิง ใน  $i_d^*$  และ  $i_d$  ทำให้เหลือเฉพาะความถี่ต่ำ และ องค์ประกอบของ ดิซี. สมมุติว่าไม่มีพลังงานสะสมในฟิเตอร์

$$V_d i_d^* = v_o(t) i_o(t) = \sqrt{2}V_o \sin \omega_1 t \cdot \sqrt{2}I_o \sin(\omega_1 t - \phi) \quad (2.49)$$

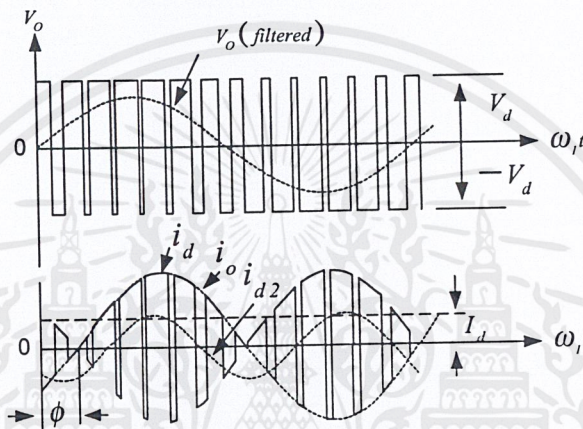
ดังนั้น

$$\begin{aligned} i_d^*(t) &= \frac{V_o I_o}{V_d} \cos \phi - \frac{V_o I_o}{V_d} \cos(2\omega_1 t - \phi) = I_d + i_{d2} \\ &= I_d - \sqrt{2}I_{d2} \cos(2\omega_1 t - \phi) \end{aligned} \quad (2.50)$$

$$\text{เมื่อ} \quad I_d = \frac{V_o I_o}{V_d} \cos \phi \quad (2.51)$$

$$\text{และ} \quad I_{d2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_o I_o}{V_d} \quad (2.52)$$

$i_d^*$  ในสมการนั้นเป็นองค์ประกอบใน DC component ของ  $I_d$  ซึ่งเป็นผลจากการส่งผ่านกำลังจากด้านดีซี. ไปสู่ด้าน เอซี. กระแส  $i_d^*$  ประกอบด้วยรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ เป็น 2 เท่าของความถี่มูลฐาน กระแสอินพุต ( $i_d$ ) ของ อินเวอร์เตอร์เป็นองค์ประกอบของ  $i_d^*$  เกิดขึ้นเนื่องจากการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 กระแสทางด้าน ดีซี. ในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่ใช้การสวิตช์แบบ พีดับบลิวเอ็ม ใบบอล่า

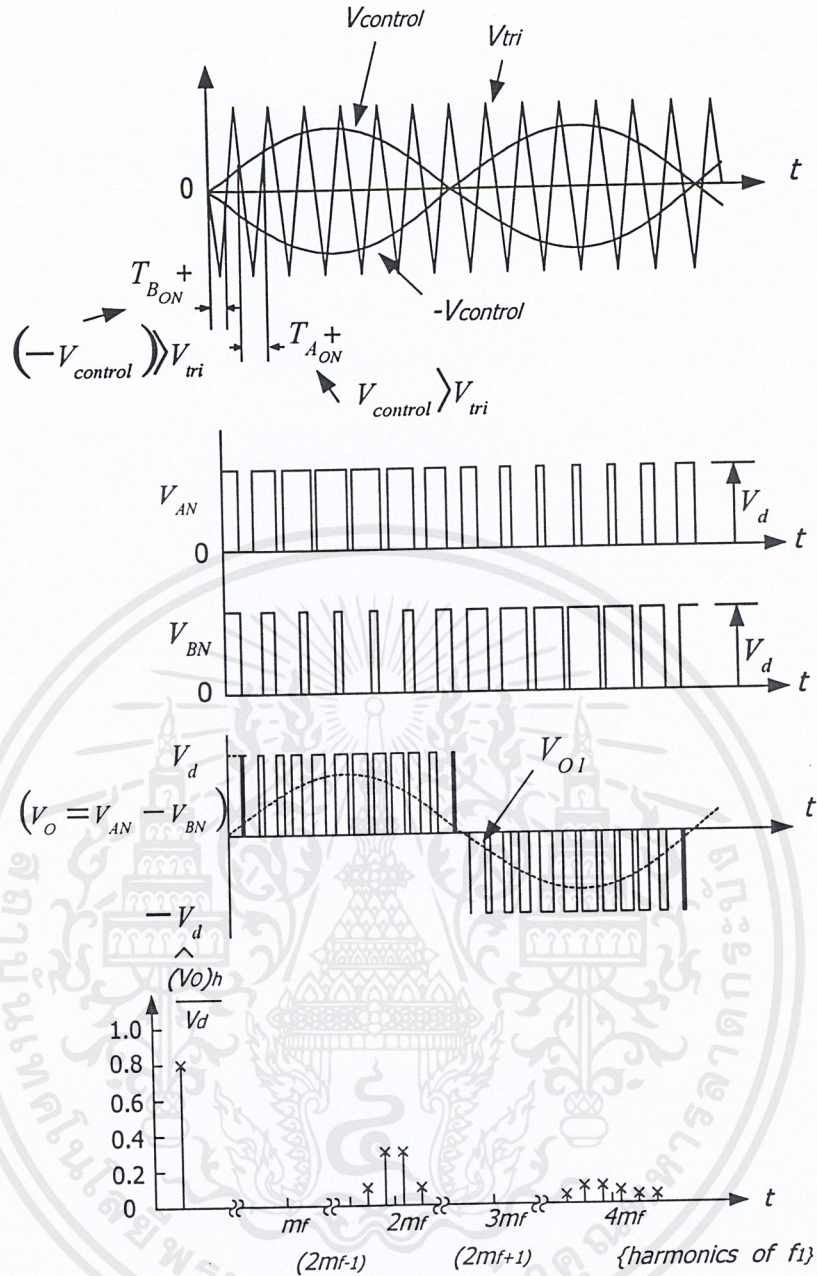
ที่ผ่านมาเราสมมุติให้ แรงดัน ดีซี.ด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์คงที่มาโดยตลอด ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถเป็นไปได้ ปกติแรงดัน ดีซี. ได้จากการเรกติฟายเออร์ไฟสลับจากระบบส่งจ่าย เฟสเดียว มีคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ ต่อคร่อมอยู่กับชุดเรกติฟายเออร์ ทำให้เกิดแรงดันริบเปิล ขึ้นที่คาปาซิเตอร์ ซึ่งจะรวมอยู่ในแรงดัน ดีซี. อินพุตของอินเวอร์เตอร์

แรงดัน ริบเปิล ในคาปาซิเตอร์เกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุคือ

- การเรกติฟายเออร์ ไม่ได้สัญญาณแรงดัน ที่เป็น ดีซี. บริสุทธิ์
- กระแสทางด้าน ดีซี. ที่ไหลไปด้าน เอซี. ไม่เป็นไฟตรงที่คงที่ แต่เป็นองค์ประกอบของกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2 ซึ่งเป็นสาเหตุของแรงดัน ริบเปิล ในคาปาซิเตอร์

## 2) แบบยูนิโพล่า(Unipolar)

อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้อาศัยวงจรในรูปที่ 2.31 การสวิตช์ของ leg A และ leg B จะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันเหมือนกับ PWM ชนิดที่ผ่านมา การควบคุมจะแยกกันระหว่าง leg A และ leg B ในการเปรียบเทียบ  $V_{control}$  กับ  $V_{tri}$  และ  $-V_{control}$  กับ  $V_{tri}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 พีคดับลิวเอ็มยูนิโฟล้า

ผลของการเปรียบเทียบ  $V_{control}$  กับ สัญญาณสามเหลี่ยมจะได้สัญญาณลจิก ไปควบคุมการ สวิตซ์ใน leg A ดังนี้

$$V_{control} \triangleright V_{tri} : T_{A+}on...and...V_{AN} = V_d$$

$$V_{control} \triangleleft V_{tri} : T_{A-}on...and...V_{AN} = 0$$

และผลของการเปรียบเทียบ  $-V_{control}$  กับ สัญญาณสามเหลี่ยม ใน leg B เป็นดังนี้

$$-V_{control} \triangleright V_{tri} : T_{B+}on...and...V_{BN} = V_d$$

$$-V_{control} \triangleleft V_{tri} : T_{B-}on...and...V_{BN} = 0$$

ผลการเปรียบเทียบใน leg A และ leg B แสดงในรูป 2.36

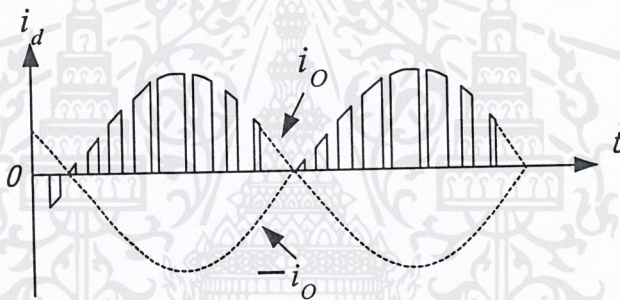
การทำงานทั้ง 4 สถานะของสวิตช์เป็นดังนี้

1.  $T_{A+}, T_{B-} \dots on : v_{AN} = V_d, v_{BN} = 0; v_O = V_d$
2.  $T_{A-}, T_{B+} \dots on : v_{AN} = 0, v_{BN} = V_d; v_O = -V_d$
3.  $T_{A+}, T_{B+} \dots on : v_{AN} = V_d, v_{BN} = V_d; v_O = 0$
4.  $T_{A-}, T_{B-} \dots on : v_{AN} = 0, v_{BN} = 0; v_O = 0$

เราสังเกตว่าถ้าสวิตช์คู่บน หรือ คู่ล่างทำงานพร้อมกัน แรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับศูนย์ อินเวอร์เตอร์แบบพีคดับลิฟเอ็ม ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบที่แล้ว เนื่องจากมีความถี่ในการสวิตช์เป็น 2 เท่า ทำให้ ลดฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำ ๆ ลดการกระโดดของแรงดัน เอาต์พุต

กระแสทางด้าน ดีซี.( $i_d$ )

ภายใต้สถานะที่คล้ายคลึงกันในวงจรรูปที่ 2.34 ผลของรีปเปิลในกระแสด้าน ดีซี. จะน้อยกว่า พีคดับลิฟเอ็มไบโพล่า



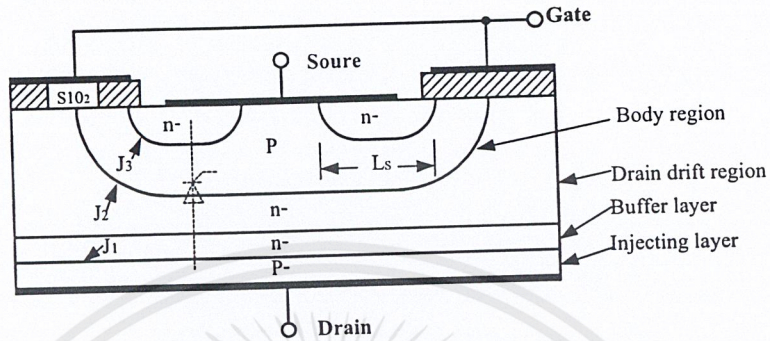
รูปที่ 2.37 กระแสทางด้าน ดีซี. ในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่ใช้การสวิตช์แบบ พีคดับลิฟเอ็มยูนิโพล่า

## 2.6 ไอจีบีที (IGBT)

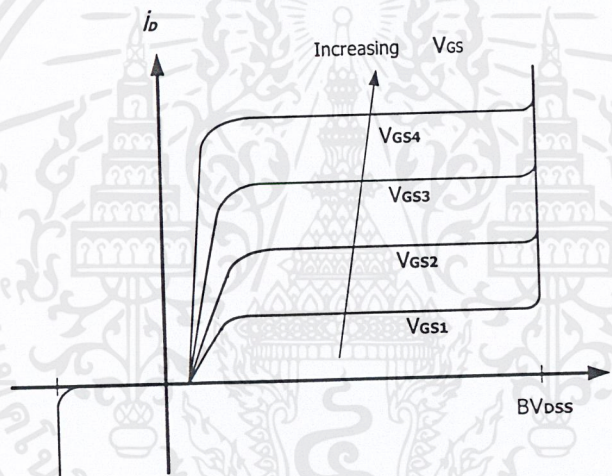
อุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่พอจะคุ้นเคยและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น เอสซีอาร์ ไตรแอก ทรานซิสเตอร์และมอสเฟต โดยทรานซิสเตอร์และมอสเฟต จะนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน และเป็นจุดเริ่มต้นของอุปกรณ์ชนิดใหม่ขึ้นมา ทรานซิสเตอร์ขณะอยู่ในสถานะนำกระแสจะมีอัตราการสูญเสียพลังงานต่ำมีอัตราการทนแรงดันและขยายกระแสได้สูงแต่ความเร็วในการตัด-ต่อยังช้าอยู่ โดยเฉพาะช่วงนำกระแสจะยาวกว่า ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับมอสเฟต ที่จะมีความเร็วในการตัดต่อเร็วมากแต่อัตราการสูญเสียพลังงานสูงมากขณะทำงานเช่นกัน จากสาเหตุที่ผ่านมาของอุปกรณ์ทั้งสองจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ขึ้นมาโดยจะมีคุณสมบัติที่รวมเอาข้อได้เปรียบของทรานซิสเตอร์และมอสเฟตเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีชื่อเรียกว่า ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT)

2.6.1 โครงสร้างพื้นฐานของไอจีบีที

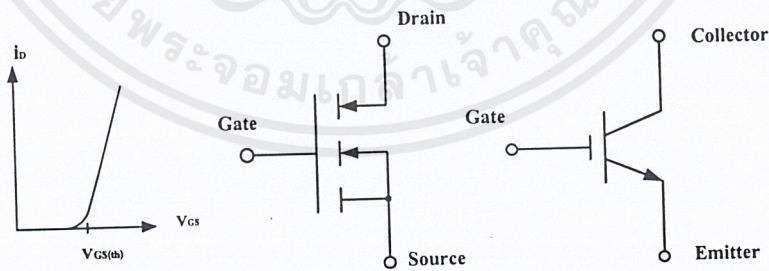
ในรูปที่ 2.38 แสดงรูปตัดในแนวตั้งของไอจีบีทีเอ็นแชนแนล(N-Channel) ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกับมอสเฟตมากจะแตกต่างกันที่ไอจีบีทีจะมีสารชั้น P+ หรืออินเจกติ้ง (Injecting) ระหว่างขาเดรน (Drain) ซึ่งในมอสเฟตนั้นไม่มี ระดับสารเจือ(Dopping Levels)ในแต่ละชั้นของไอจีบีทีจะคล้ายกับที่ใช้ในแต่ละชั้นของมอสเฟตยกเว้นในส่วนของบอดี



รูปที่ 2.38 แสดงภาพตัดแนวตั้งของไอจีบีที



(ก) ลักษณะเอาต์พุตของ ไอจีบีที



(ข) Transfer Characteristic

(ค) สัญลักษณ์ของ ไอจีบีทีแบบเอ็น-แชนแนล

รูปที่ 2.39 แสดงคุณลักษณะของกระแสและความต่างศักย์ของไอจีบีที

## 2.6.2 คุณสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

ลักษณะของกระแสและศักดาไฟฟ้าของไอจีบีทีชนิดเอ็นแชนแนลดังแสดงในรูปที่ 2.39(ก) ในทิศทางฟอร์เวิร์ดจะเหมือนกับของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในลอจิกเซอร์กิตแตกต่างกันเพียงการควบคุมการทำงานด้วยความต่างศักย์ แทนที่จะควบคุมการทำงานด้วยกระแสเหมือนกับทรานซิสเตอร์ คุณสมบัติของไอจีบีทีชนิดพี-แชลแนลจะเหมือนกันแต่ขั้วของความต่างศักย์และทิศทางของกระแสจะกลับกันที่รอยต่อ $J_1$  ในรูปที่ 2.39(ก) จะกันแรงดันฟอร์เวิร์ดเมื่อไอจีบีทีอยู่ในสถานะหยุดนำกระแสค่าการทนการกระแสในทิศทางรีเวิร์ส (Reverse Blocking Voltage) จะสามารถมีค่าเท่ากับการทนความต่างศักย์ในทิศทางฟอร์เวิร์สได้ ถ้าไม่มีชั้นบัฟเฟอร์  $n^+$  ที่รอยต่อ  $J_1$  ในรูปที่ 2.39 (ก) เรียกว่าเป็นรอยต่อของรีเวิร์สบล็อกกิ้ง (Reverse Blocking) ในโครงสร้างของอุปกรณ์มีชั้นของบัฟเฟอร์  $n^+$  จะทำให้ค่าแรงดันเบรคดาวน์มีค่าลดลงเหลือเพียงสิบกว่าโวลท์ เพราะมีปริมาณสารเจือสูงมากทั้ง 2 ด้านของรอยต่อทำให้ไม่สามารถกันกระแสรีเวิร์สได้

ในรูปที่ 2.39 (ข) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_D$  และ  $V_{GS}$  ลักษณะเหมือนของมอสเฟต ลักษณะของเส้นกราฟจะเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงของกระแสเดรนและไม่เป็นเชิงเส้น ณ จุดที่กระแสเดรนมีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่งเรียกว่า  $V_{GS(TH)}$  (Threshold Voltage) ไอจีบีทีจะอยู่ในสถานะ OFF (หยุดนำกระแส) ความต่างศักย์รอมเกตและซอร์สสูงสุดที่ยอมให้ใช้ได้ขึ้นอยู่กับกระแส เดรนสูงสุดที่ยอมให้ไหลในตัวไอจีบีที

## 2.6.3 คุณสมบัติการทำงาน

1) สถานะการนำกระแส เมื่อขาเดรนได้รับแรงดันไบแอสตรงคือเป็นบวกเมื่อเทียบกับซอร์สและแรงดัน ระหว่างเกตและซอร์สมีค่าเกิน  $V_{GS(TH)}$  ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขากเกตจะดึงอิเล็กตรอนให้มารวมอยู่ด้วยกันในบริเวณภายใต้เกต ทำให้ชั้นบอดี้ตรงส่วนได้เกิดแปรสภาพเป็น  $n$  (Drift Region) เข้ากับบริเวณซอร์ส  $n$  (Source Region) ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับการทำงานของมอสเฟต

กระแสอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาซอร์สผ่านบริเวณใต้เกตมายังบริเวณลอยเลื่อน  $n$  จะรวมกับโฮลที่เป็นพาหะข้างน้อยที่ถูกฉีดมาจากชั้นอินเจกต์ดิง  $P$  เพราะรอยต่อ  $J_1$  ได้รับแรงดันไบแอสตรงทำให้ไอจีบีทีอยู่ในสถานะนำกระแสเกิดการไหลของกระแสจากเดรนไปซอร์สได้การทำงานรวมกันของโฮลและอิเล็กตรอนภายใต้บริเวณ  $n$  เรียกว่าการมอดดูเลตสภาพนำ (Conductivity Modulation)

ผลการมอดดูเลตนี้จะทำให้ความต้านทานบริเวณ  $n$  มีค่าต่ำลงเป็นการเพิ่มความสามารถในการจับผ่านกระแสให้สูงขึ้นซึ่งจะเป็นลักษณะเหมือนกับทรานซิสเตอร์ ผลของความต้านทานที่ลดลงทำให้แรงดันตกคร่อมต่ำลง การสูญเสียกำลังงานขณะนำกระแสจึงลดลงไปด้วย

2) สถานะหยุดนำกระแส เมื่อแรงดันระหว่างเกตและซอร์สลดลงต่ำกว่าแรงดัน  $V_{GS(TH)}$  จะทำให้แรงดันไม่เพียงพอสำหรับการแปรสภาพชั้นบอดี้  $J_1$  เป็น  $J_2$  ไม่ต่อกับบริเวณซอร์ส  $n$  ไอจีบีที

จึงอยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส ในสภาวะนี้รอยต่อ  $J_2$  ที่ได้รับแรงดันไบแอสกลับจะเกิดการรั่วไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้นที่รอยต่อ  $J_2$  ด้วยบริเวณปลอดพาหะนี้จะขยายบริเวณกว้างขึ้นจนเกินเข้าไปในบริเวณ  $n$  ทั้งนี้บริเวณชั้นบอดี  $P$  มีความหนาแน่นในการโคปสารมากกว่า ถ้าความหนาแน่นของสารที่โคปในบริเวณลอยเลื่อน  $n$  มากพอก็จะทำให้การขยายบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้นอินเจ็คติง  $P$  ได้ ชั้นบัพเฟอร์  $n$  ก็ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดขึ้น หรือไม่จำเป็นต้องโคปสาร ทั้งนี้เพราะการแตะกันของบริเวณทั้งสองจะทำให้เกิดการพังทลายทางด้านไบแอสตรง สำหรับไอจีบีทีที่ไม่มีการโคปสารในชั้นบัพเฟอร์  $n+$  นี้จะเรียกว่า ไอจีบีทีแบบสมมาตรซึ่งจะมีอัตราทนแรงดันย้อนกลับสูงพอๆกับการทนแรงดันไหลตรง เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การลดความหนาของบริเวณ  $n$  ลงแต่ยังมีความสามารถของอัตราทนแรงดันไหลตรงไว้สามารถนำไปต่อเพิ่มในชั้นสาร  $n+$  เข้าไปเพื่อป้องกันการแตะกันของบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณอินเจ็คติง ซึ่งจะเรียกไอจีบีทีแบบไม่สมมาตร และจะมีการลดความหนาของบริเวณลอยเลื่อน  $n$  ลงจะส่งผลให้เกิดผลดีสองประการคือ

1. ทำให้แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำลงเป็นผลให้การสูญเสียกำลังงานลดน้อยลงด้วย
2. ช่วยลดช่วงเวลาหยุดนำกระแสให้น้อยลง

แต่มีข้อเสียของการเพิ่มชั้นสาร  $n+$  ก็คือจะลดความสามารถของอัตราทนแรงดันย้อนกลับให้น้อยลงเหลือเพียงไม่กี่สิบลโวลต์ ทั้งนี้เพราะเมื่อไอจีบีทีได้รับแรงดันไบแอสกลับที่ขาเดรน รอยต่อ  $J_1$  ซึ่งทั้งสองข้างจะมีความหนาแน่นในการโคปสารมากจะไม่สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้สูง ดังนั้นไอจีบีทีชนิดนี้จึงไม่เหมาะกับงานวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

## บทที่ 3

# การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ

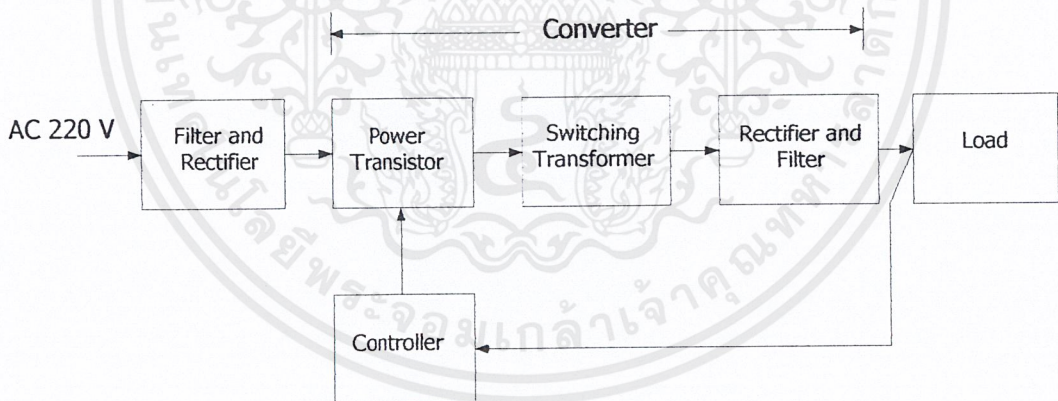
เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบสามารถแบ่งส่วนการทำงานหลัก ๆ ออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

- ส่วนจ่ายไฟเลี้ยงวงจร
- ส่วนวงจรกำลัง
- ส่วนวงจรควบคุม

### 3.1 ส่วนจ่ายไฟเลี้ยง

ไฟเลี้ยงวงจรเลือกใช้สวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดัน โดยเปลี่ยนแรงดันไฟจากระบบแรงดันไฟสลับที่ 220 โวลต์ ให้เป็นแรงดันไฟตรง 5 โวลต์, 12 โวลต์ และ 15 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งหมดในเครื่องต้นแบบ

ข้อดีของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย คือหม้อแปลงมีขนาดเล็ก, มีประสิทธิภาพสูงและน้ำหนักเบา ทำให้เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กและให้กำลังงานได้สูง บล็อกไดอะแกรมการทำงานของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายแสดงในรูปที่ 3.1

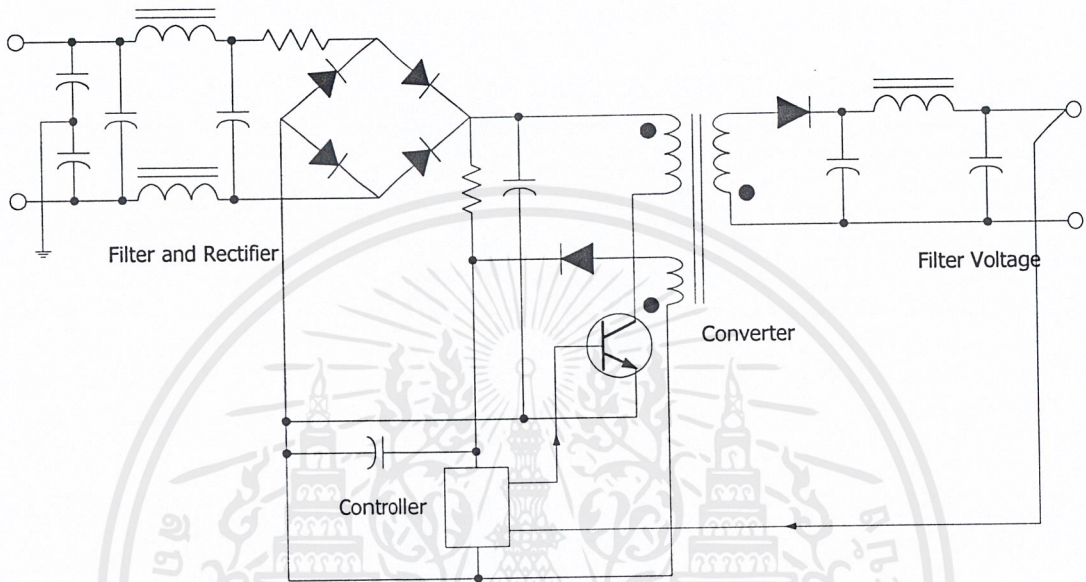


รูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไป

ส่วนองค์ประกอบต่างๆ จะทำงานกันเป็นลำดับดังนี้

แรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ จะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI (Radio Frequency Interference) ฟิวเจอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์ โดยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะตัดต่อแรงดันออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่สูงประมาณ 20 – 200 กิโลเฮิร์ตซ์ จากนั้นจะผ่านเข้าไปยังหม้อแปลงสวิตซิ่งเพื่อลดทอนแรงดันให้มีค่า

ต่ำลง ที่เอาต์พุตของหม้อแปลงจะมีวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันให้เรียบเสถียรก่อนจึงสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ การคงค่าแรงดันจะทำให้ได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ให้มีช่วงเวลานำกระแสมากขึ้น หรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้ รูปที่ 3.2 จะแสดงวงจรซึ่งแบ่งส่วนตามองค์ประกอบหลัก



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการจัดวงจรตามองค์ประกอบหลักในรูปที่ 3.1

### 1) ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย มีหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟตรงค่าสูงลงมาเป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำและสามารถคงค่าแรงดันได้ คอนเวอร์เตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน โดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป

รูปแบบของคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ในสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย คือ

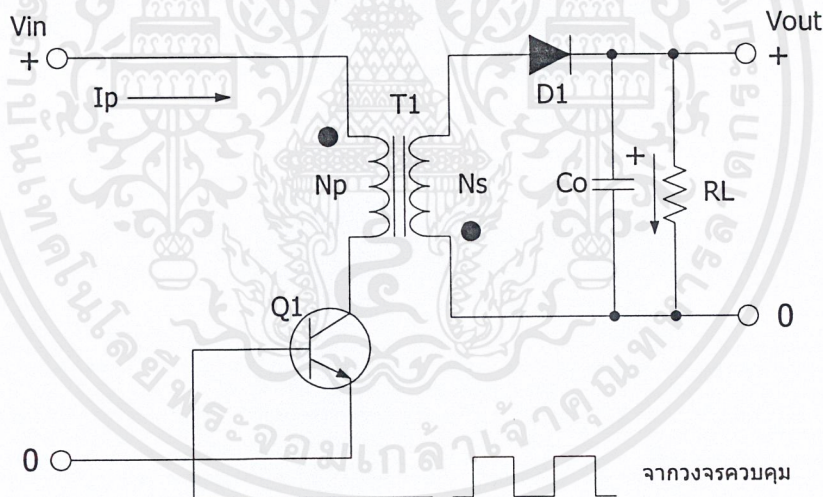
1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)
2. ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (Forward Converter)
3. พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (Push-Pull Converter)
4. ฮาล์ฟ-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half-Bridge Converter)
5. ฟูล-บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full-Bridge Converter)

คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนัก สำหรับโครงการนี้เลือกใช้ ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ซึ่งมีข้อดีก็คือ มีค่าใช้จ่ายในการสร้างต่ำ

จึงเหมาะสำหรับสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่มีกำลังขาออกในช่วง 50 วัตต์ ถึง 150 วัตต์ แต่ก็มีข้อเสียคือแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีแรงดันกระเพื่อม (Ripple) ค่อนข้างสูง และเมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรต้องทนแรงดันได้สูงประมาณ 800 โวลต์ ถึง 1,000 โวลต์ซึ่งมีราคาแพง

### พื้นฐานการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  จะทำงานโดยนำกระแส (ON) และหยุดนำกระแส (OFF) สลับกันไปเมื่อ  $Q_1$  นำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านขดไพรมารี ( $I_p$ ) แต่เนื่องจากหม้อแปลงถูกกำหนดให้ขดไพรมารีและขดเซคันดารีพันอยู่ในลักษณะกลับทิศกัน ดังนั้นในขณะที่  $Q_1$  นำกระแส ไดโอด  $D_1$  จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลผ่านไปยังโหลด ( $R_L$ ) พลังงานจึงถูกสะสมอยู่ที่ขดไพรมารีของหม้อแปลง เมื่อ  $Q_1$  หยุดนำกระแสสนามแม่เหล็กในแกนหม้อแปลงยุบตัว ทำให้มีการกลับขั้วของแรงดันที่ขดเซคันดารี ไดโอด  $D_1$  จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ที่ขดไพรมารีจะถูกถ่ายเทไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไปยังโหลดและตัวเก็บประจุเอาต์พุต  $C_o$  ได้



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_S / N_P) (V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D \quad (3.1)$$

โดยที่	$T$	คือ คาบเวลาการทำงานของ $Q_1$ เป็นวินาที
	$t_{ON}$	คือ ช่วงเวลาที่ $Q_1$ นำกระแส เป็นวินาที
	$N_p$	คือ จำนวนรอบของขดไพรมารี เป็นรอบ
	$N_s$	คือ จำนวนรอบของขดเซคันดารี เป็นรอบ
	$V_{out}$	คือ แรงดันที่ เอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
	$V_{in}$	คือ แรงดันที่ อินพุทของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
	$V_{CE(sat)}$	คือ แรงดันตกคร่อม $Q_1$ ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว เป็นโวลต์
	$V_D$	คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด $D_1$ ขณะนำกระแส เป็นโวลต์

### ลักษณะกระแสและแรงดันภายในวงจร

กระแสที่ไหลผ่าน  $Q_1$  และขดไพรมารี ขณะที่  $Q_1$  นำกระแส นั้น จะเป็นลักษณะของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะจะเป็นไปตามสมการ

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} \quad (3.2)$$

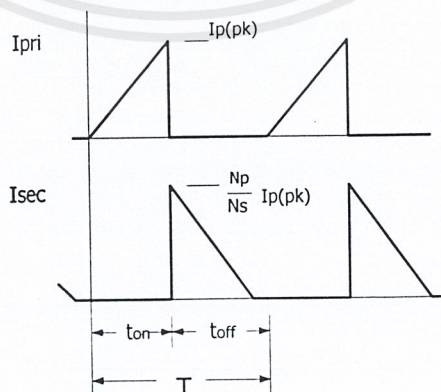
ดังนั้นกระแส  $I_p$  จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นตามเวลาและมีค่าสูงสุดเมื่อ  $Q_1$  เริ่มหยุดนำกระแส ที่เวลา  $t = t_{ON}$  ดังนั้นกระแสสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ

$$I_{P(PK)} = \frac{(V_{in} - V_{CE(sat)})}{L_p} t_{ON} \quad (3.3)$$

โดยที่  $I_{P(PK)}$  คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดไพรมารี เป็นแอมป์

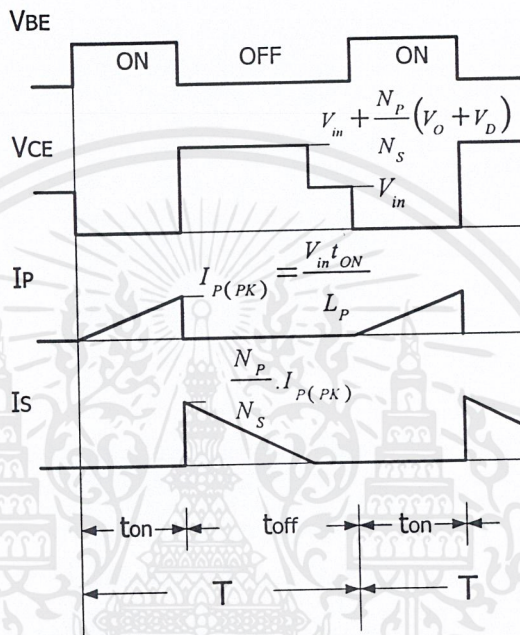
$L_p$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดไพรมารี เป็นเฮนรี่

เมื่อ  $Q_1$  เริ่มหยุดนำกระแส ขดเซคันดารี จะเริ่มมีกระแสไหล แต่เนื่องจากกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใดไม่ได้ กระแสที่ขดเซคันดารี ( $I_s$ ) จะต้องเริ่มต้นที่ค่าสูงสุดของกระแสที่ขดไพรมารี  $I_{P(PK)}$  โดยมีค่าเป็นสัดส่วนตามอัตราส่วนจำนวนรอบ  $N_p/N_s$  ดังนั้นกระแสที่ขดเซคันดารีจะมีค่าเริ่มต้นที่  $I_s = (N_p/N_s) I_{P(PK)}$  และมีค่าลดลงตามเวลา ลักษณะของกระแสที่ขดไพรมารี และเซคันดารี ตามเวลาจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูป 3.4



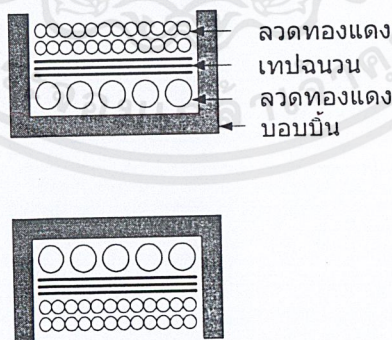
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของกระแสที่ขดไพรมารีและกระแสที่ขดเซคันดารีขณะที่วงจรทำงาน

เมื่อมีกระแสไหลที่ขดเค้นคาร์รีในขณะที่  $Q_1$  หยุดนำกระแส จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีด้วย เนื่องจากแรงดันตกคร่อมของขดเค้นคาร์รีมีค่าเท่ากับ  $V_{out} + V_D$  ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีจึงมีค่าเท่ากับ  $(N_p/N_s)(V_{out} + V_D)$  ทำให้แรงดันตกคร่อม  $Q_1$  ขณะหยุดนำกระแส มีค่าเป็น  $V_{in} + (N_p/N_s)(V_{out} + V_D)$  จนกระทั่งกระแสที่ไหลในขดเค้นคาร์รีมีค่าลดลงเป็นศูนย์ แรงดันที่ตกคร่อม  $Q_1$  จึงลดลงมามีค่าเท่าแรงดันอินพุต  $V_{in}$  ในรูปที่ 3.5 จะแสดงลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้น ของวงจร ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรขณะทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

2) หม้อแปลงสวิตซิ่ง(Switching Transformer)



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการพันขดลวดบนบอบบิ้น

หม้อแปลงสวิตซิ่ง จัดเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไฟตรงที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ซึ่งอาจมีค่าสูงได้ถึง 310 โวลต์

ให้มีค่าลดลงเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าที่ เอาท์พุท และทำให้เกิดการแยกกันทางไฟฟ้าระหว่างแรงดันอินพุทและแรงดันเอาท์พุทที่ได้ เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าคู่ส่วนประกอบที่สำคัญของ หม้อแปลงสวิตชิงมีรายละเอียดดังนี้

#### แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติกการเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงกว่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก เฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวมันค่าที่ความถี่สูง ๆ ดังนั้น หม้อแปลงสวิตชิง จึงนิยมใช้แกนเป็นเฟอร์ไรต์มากที่สุด เฟอร์ไรต์ที่นำมาใช้ทำแกนของหม้อแปลงสวิตชิงจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานในการออกแบบ

#### บอบบิ้นหรือแผ่นรองพัน

ปกติจะทำจากพลาสติก ชนิดทนความร้อนได้สูงและไม่ติดไฟ บอบบิ้นจะช่วยให้การพันขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และป้องกันปัญหาการลัดวงจรระหว่างขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบิ้นจะมีขนาดมาตรฐานตามมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

#### ลวดทองแดงอาบน้ำยา

การพันขดลวดทั้งไพรมารีและเซคันดารีของ หม้อแปลงสวิตชิง ที่กำลังไม่สูงมากนัก ปกติจะใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาพันบนแกนบอบบิ้นเพื่อให้ได้จำนวนรอบตามต้องการ ขนาดของลวดทองแดงที่จะใช้พันนั้น ขึ้นอยู่กับค่ากระแสสูงสุดที่ค่านขดลวด ความถี่และผลข้างเคียงอื่น ๆ

#### เทปฉนวน (Insulation Tape)

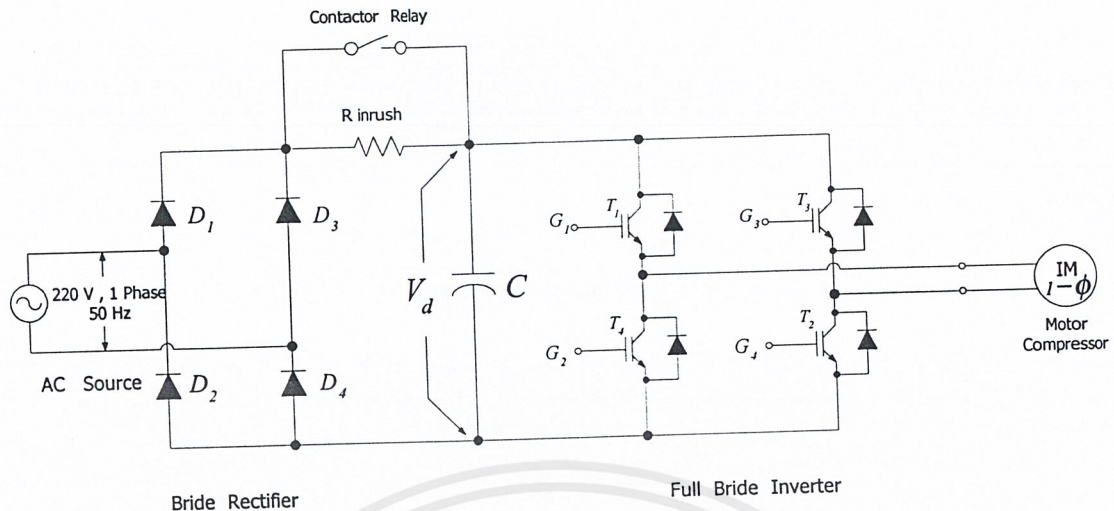
เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดใน Switching Transformer และมีหน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไพรมารีและขดเซคันดารีด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทปฉนวนอาจมีพวกไมลาร์ หรือโพลีเอสเตอร์ ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05-0.1 มิลลิเมตร เลือกใช้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการจาก หม้อแปลงสวิตชิง

สำหรับวงจรของส่วนจ่ายไฟเลี้ยงจะเป็นดังรูปที่ 3.8 ในส่วนของการควบคุมสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จะอาศัยการออสซิลเลท ของ R-C ในวงจรออสซิลเลท กำหนดเป็นสัญญาณป้อนให้กับขาเบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (C3153)

การควบคุมทางด้านเอาท์พุท จะทำงานในโหมดควบคุมแรงดัน โดยใช้ TL431 ร่วมกับ TLP521(opto) และทรานซิสเตอร์ (C2901) ในการควบคุมการนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์



### 3.2 ส่วนของวงจรกำลัง(Power Circuit)



รูปที่ 3.9 วงจรกำลัง

ในส่วนของวงจรกำลังด้านอินพุตจะรับไฟสลับ 1-เฟส ที่แรงดัน 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต และทางเข้าที่พุตจะจ่ายฟีดแบคลิฟเอ็ม(ไฟสลับ) 1-เฟส ที่สามารถควบคุมแรงดันและความถี่ ให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ(แรงบิดคงที่)ให้สัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป โดยวงจรกำลังแบ่งเป็นส่วนประกอบหลัก ๆ ได้ 2 ส่วนด้วยกันคือ

- 1) วงจรบริดจ์ไดโอดเรกติไฟเออร์(Bridge diode rectifier)
- 2) ฟูล-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์(Full bridge inverter)

#### 3.2.1 วงจรบริดจ์ไดโอดเรกติไฟเออร์ (Bridge Diode Rectifier)

วงจรบริดจ์ไดโอดเรกติไฟเออร์มีหน้าที่ในการแปลงไฟกระแสสลับ 1-เฟสให้เป็นไฟกระแสตรงเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงคงค่าให้กับอินเวอร์เตอร์ โดยวงจรประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.9 จากรูปจะเห็นว่าทางด้านเข้าที่พุตของวงจรเรกติไฟเออร์จะมีตัวต้านทาน( $R_{inrush}$ ) และตัวเก็บประจุ ( $C_d$ ) ต่ออยู่เพื่อทำหน้าที่ลดการกระเพื่อมของสัญญาณแรงดันทางด้านแรงดันไฟตรงเชื่อมโยง สำหรับตัวต้านทานนั้นจะหน้าที่ลดกระแสสูงชั่วขณะในตอนเปิดตัวเก็บประจุเริ่มชาร์จประจุ

#### 3.2.2 อินเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟส(Single-phase Inverter)

โครงการนี้ อินเวอร์เตอร์ที่ใช้จะเป็นแบบ ฟูล-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ ที่มีการควบคุมการสวิตช์ ด้วยวิธีฟีดแบคลิฟเอ็มยูนิโพล่าโวลเตจสวิตช์ ซึ่งมีรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าฟีดแบคลิฟเอ็มยูนิโพล่านี้สามารถอันดับต่ำๆได้แต่จะไปเกิดที่รอบๆ  $2m_r$  ขึ้นไป จึงทำให้ได้แรงดันเข้าที่พุตมากกว่าแบบฟีดแบคลิฟเอ็มไบโพล่า แต่ก็มีข้อเสียคือความถี่สวิตช์ซึ่งมากกว่าแบบฟีดแบคลิฟเอ็มไบโพล่าสองเท่า ผลที่ตามมาก็คือการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์จะมากกว่า

### 3.2.3 ASIPM(Application Specific Intelligent Power Module)

ในโครงการนี้เลือกใช้ ASIPM( Application Specific Intelligent Power Module ) เบอร์ PS11036 ซึ่งภายในจะประกอบด้วย 3-เฟสบริดจ์ไดโอดเรกติไฟาย,3-เฟสอินเวอร์เตอร์ วงจรป้องกันและวงจรขับเคลื่อน ซึ่งรายละเอียดของพิกัดต่างๆจะอยู่ในภาคผนวก ก.

การนำมาใช้ในโครงการจะใช้ในลักษณะ 1- เฟส เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ชนิด 1- เฟส อุปกรณ์สวิตช์จะเป็น ไอจีบีที ควบคุมการสวิตช์ด้วยเทคนิค พีดับบลิวเอ็มยูนิโพลาร์โวลเตจสวิตช์ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

## 3.3 ส่วนการควบคุม (Controller)

ในโครงการนี้ การควบคุมการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ (ไอจีบีที) จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ซึ่งมีข้อดี คือมีขนาดเล็ก ,ใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับตัวมันน้อย,มีการควบคุมที่เป็นลำดับขั้นตอนที่แน่นอนและลดผลของสัญญาณรบกวนที่มีต่อระบบควบคุมได้ โครงสร้างภายในของ MCS-51 มีรายละเอียดดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

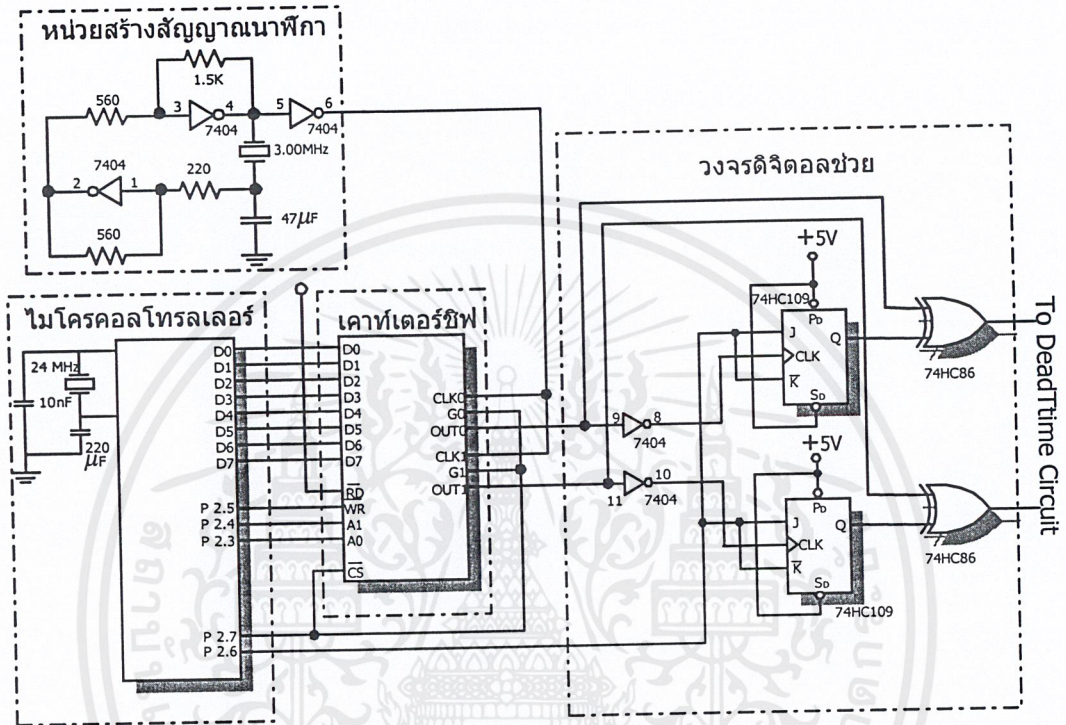
### 3.3.1 การออกแบบส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

การสร้างสัญญาณ พีดับบลิว เอ็ม ที่มีการมอดูเลตแบบ SPWM ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C52 ของบริษัทแอทเมล (ATMEL) ที่มีการประมวลผลแบบ 8 บิต เนื่องจากมีราคาถูก ใช้งานง่าย และมีอุปกรณ์สนับสนุนหลากหลาย ได้แก่ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ตัวตั้งเวลา ตัวนับเวลา อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม พอร์ทอินพุต เอาท์พุต ต่างๆเป็นต้น ซึ่งในส่วนประกอบอื่นและรายละเอียดต่างๆ ศึกษาได้จากคู่มือการใช้งาน โดยจะใช้สัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 24 MHz ซึ่งจะพบว่าในหนึ่งไซเคิลคำสั่งจะกินเวลาประมาณ 0.5  $\mu$ s ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะใช้เป็นส่วนควบคุมการประมวลผลเพื่อหาคาบเวลาพัลส์วิดและส่งข้อมูลไปให้กับไทมเมอร์เพื่อนับค่าเวลาต่อไป

### การออกแบบวงจรอินเทอร์เฟสของการสร้าง พีดับบลิว เอ็ม หนึ่งเฟส

หลักการสร้างสัญญาณ พีดับบลิวเอ็ม คือ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณหาค่าคาบเวลาพัลส์วิด และส่งให้ไทมเมอร์ภายในเพื่อนับเวลา สร้างเป็นสัญญาณพัลส์วิดออกมาทางพอร์ทเอาท์พุต และส่งผ่านให้วงจรอินเวอร์เตอร์ต่อไป ตามหลักการนี้ มีกระบวนการการทำงานที่ง่าย ไม่ซับซ้อน แต่จะให้สัญญาณ พีดับบลิวเอ็ม ที่มีความถี่สวิตช์ต่ำ ไม่เพียงพอกับโครงการนี้ เนื่องจากข้อจำกัดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นข้อบังคับที่ไม่สามารถให้มีการทำงานได้สูงกว่านี้ ดังนั้นในโครงการนี้จึงออกแบบให้ใช้ไทมเมอร์ภายนอกเป็นส่วนนับค่าเวลา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนประมวลผลอย่างเดียว แยกอิสระต่อกัน จึงสามารถเพิ่มความถี่สวิตช์ให้สูงขึ้น

ได้ เพียงพอกับความต้องการของโครงการนี้ในระดับหนึ่ง การออกแบบให้มีการทำงานในลักษณะนี้จำเป็นต้องมีวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างอินเวอร์เตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนค่าเวลาของพัลส์วิดที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นสัญญาณควบคุม พี คับบลิว เอ็ม โดยการ ใช้เคาเตอร์ชิพ 8253 ซึ่งทำหน้าที่นับค่าเวลาเพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณพัลส์ตามที่ต้องการ ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรอินเตอร์เฟสของการสร้างสัญญาณพีคับบลิวเอ็ม 1-เฟส

### ส่วนประกอบของวงจรถิฉิตอลช่วย

ตามรูปที่ 3.10 ประกอบด้วย ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์, Programmable Inverter Timer (PIT) 8253, ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา, และส่วนวงจรถิฉิตอลช่วย

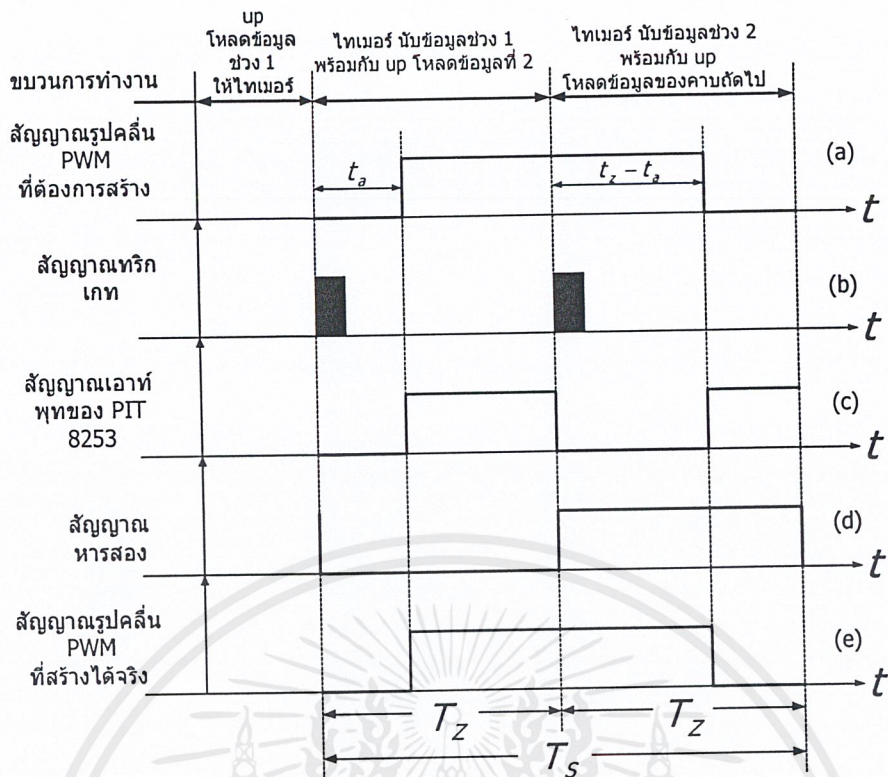
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ คำนวณ รับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ส่งข้อมูลค่าพัลส์วิด ส่งข้อมูลสำหรับแอดเดรสของ PIT 8253 ควบคุมและสร้างสัญญาณทริกให้กับเกทของ PIT 8253 เพื่อทำการอินาเบิลให้นับค่าเวลาที่ได้ไหลคเข้ามา
- PIT 8253 เป็นเคาเตอร์ชิพ ที่ภายในประกอบด้วยหน่วยนับเวลาทั้งหมด 3 ตัว จะทำหน้าที่นับค่าเวลาที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยกำหนดให้ทำงานในโหมด 1 ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ศึกษาได้จากคู่มือการใช้งาน ในภาคผนวก ก.

- หน่วยสร้างสัญญาณนาฬิกา จะสร้างสัญญาณนาฬิกาความถี่ 3 MHz จากคริสตัล ให้กับ PIT 8253 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการทำงานและให้ค่าเวลาในการนับที่ถูกต้อง
- วงจรดิจิทัลช่วย ประกอบด้วย เจเค ฟลิปฟลอป 74HC109 และ Exclusive-OR 74HC86 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์วิดที่ได้ออกเอาต์พุทของ PIT 8253 ให้เป็นรูปคลื่น พี ดับบลิว เอ็ม ที่ถูกต้อง

### หลักการทํางาน

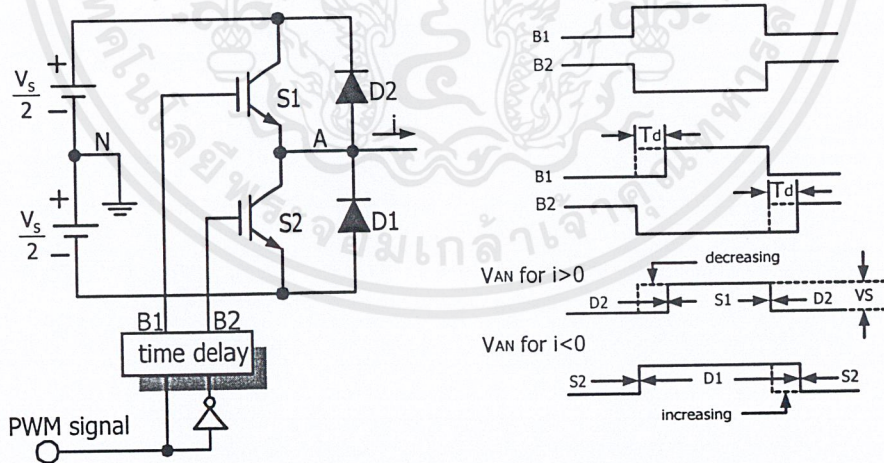
ในรูปที่ 3.11 แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรอินเตอร์เฟส สามารถอธิบายการทำงานของวงจรตามรูปนี้ได้ว่า ในรูป(a) เป็นตัวอย่างสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม แบบ เอส พี ดับบลิว เอ็ม ที่จะทำการสร้างขึ้น การสร้างสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ในหนึ่งคาบสวิตซ์ ,  $T_S$  จะมีการแบ่งข้อมูลคาบเวลาพัลส์วิดเป็น 2 ช่วงแต่ละช่วงจะมีคาบเวลาทํางานเป็น  $T_Z$  และไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกกำหนดให้ส่งข้อมูลคาบเวลาพัลส์วิดให้กับ PIT 8253 เป็น 2 ช่วงเช่นกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในช่วงแรก เป็นขอบขาขึ้นของสัญญาณ โดยจะไหลลดค่า  $t_0$  ให้หน่วยนับเวลา และการนับเวลาของหน่วยนับเวลาจะเริ่มนับเมื่อมีสัญญาณเกทที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีสถานะเป็น High ตามรูปคลื่น (b) หลังจากนั้น PIT 8253 จะนับจนครบค่าเวลาที่ส่งมา ในขณะที่มีการนับค่าเวลาที่เอาต์พุทของ PIT 8253 จะให้สถานะการทํางานแบบ Low เมื่อสิ้นสุดการนับจะให้สถานะเป็น High ระหว่างที่ PIT 8253 นับค่าเวลาอยู่นี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคำนวณและส่งข้อมูลเวลาในช่วงที่สองมาเก็บไว้ที่ PIT 8253 ในหน่วยนับเวลา

รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุทที่ได้ออก PIT 8253 ยังไม่ถูกต้อง จึงนำมาเข้าส่วนวงจรดิจิทัลช่วยสัญญาณเอาต์พุทที่ได้จะนำมาลบกับสัญญาณหารสองที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เช่นกันซึ่งสัญญาณหารสองนี้จะต้องมีความสัมพันธ์กับสัญญาณเกท จึงใช้ เจ เค ฟลิป ฟลอป สร้างสัญญาณหารสองให้ทํางานสัมพันธ์กับสัญญาณเอาต์พุทของ PIT 8253 อีกครั้ง เนื่องจากการทํางานของ PIT 8253 จะทํางานตามหน่วยสัญญาณนาฬิกาด้วย โดยการนับเวลาจะเกิดขึ้นได้ เมื่อสัญญาณเกทเป็น High และสัญญาณนาฬิกาขาขึ้น ในบางครั้งสภาวะทั้งสองอาจเกิดขึ้นไม่พร้อมกันจึงทำให้สัญญาณเอาต์พุทที่ได้หน่วงออกจากสัญญาณเกท ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้สัญญาณหารสองหน่วงตามสัญญาณเอาต์พุทนี้ด้วย การทำให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวเกิดขึ้นได้โดยใช้ เจเค ฟลิป ฟลอป 74HC109 เป็นตัวสร้าง ดังแสดงสัญญาณหารสองในรูป (d) ต่อจากนั้นจะนำสัญญาณเอาต์พุทและสัญญาณหารสองที่สอดคล้องกันมาลบกันทางดิจิทัล โดยใช้ Exclusive - OR 74HC86 ซึ่งจะได้สัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ที่ถูกต้องตามต้องการดังแสดงในรูป (e) และสุดท้ายสัญญาณ พี ดับบลิว เอ็ม ที่ได้นี้จะถูกส่งผ่านวงจรเคไทม์และวงจรขับเกทต่อไป



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะรูปคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรอินเวอร์เตอร์เฟส

วงจรเดดไทม์(Dead-Time)

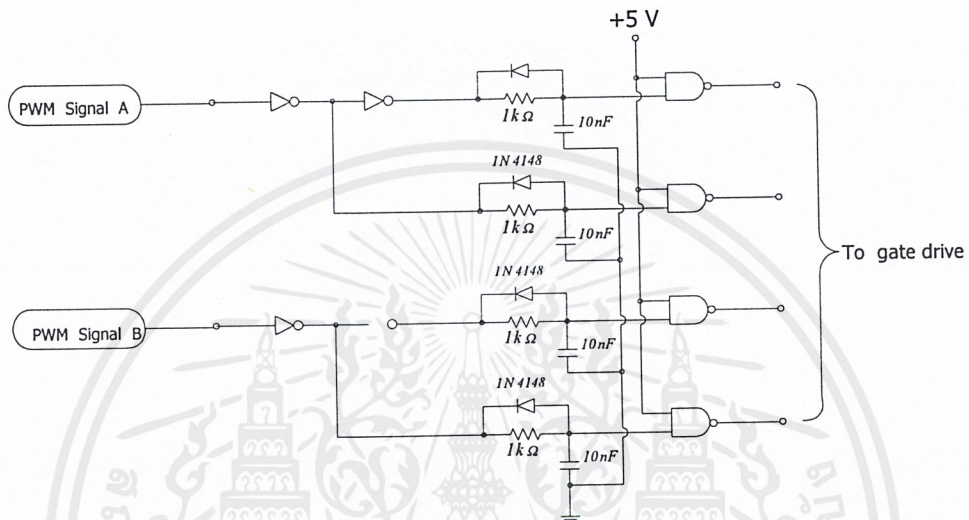


(a) วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์

(b) สัญญาณต่างๆเมื่อมีการสร้างเดดไทม์

รูปที่ 3.12 แสดงหลักการสร้างวงจรเดดไทม์

เป็นวงจรแยกสัญญาณ ที่จะนำไปควบคุมไอจีบีทีตัวบน และตัวล่าง ในกิ่งเดียวกันของ วงจรอินเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 3.12(a) โดยวงจรจะทำหน้าที่สร้างเดดไทม์ เพื่อป้องกันไม่ให้ ไอจีบีที ทั้งสอง ทำงานพร้อมกันในขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะทำงาน อันเนื่องมาจากผลของสโตเรจไทม์ ของไอจีบีที เองซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายในกิ่งชั่วขณะ ผลก็คือ อาจทำให้ ไอจีบีทีเสียหายได้ โดยหลักการสร้างเดดไทม์แสดงดังรูปที่ 3.12(a) โดยสร้างเวลาหน่วงในการทำงานของไอจีบีทีทั้งสองออกไปมีค่าเท่ากับ  $t_d$  วงจรเดดไทม์ที่ได้ออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.13



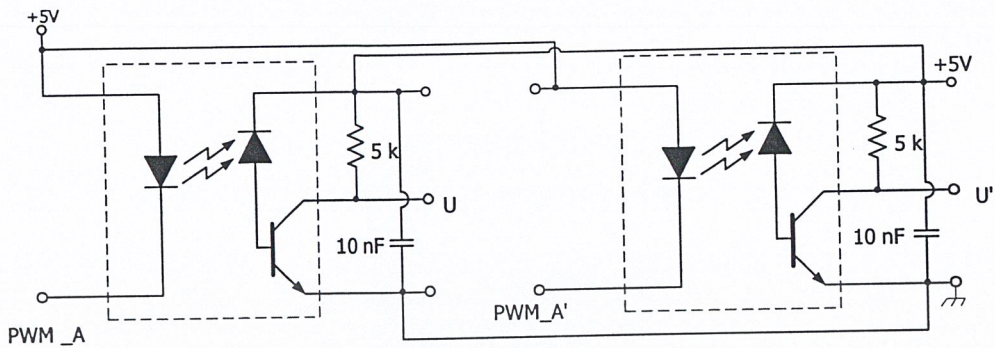
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรเดดไทม์ควบคุมไอจีบีที 2 กิ่ง

จากวงจรรูปที่ 3.13 สัญญาณ ที่ต้องการสร้างเดดไทม์จะถูกส่งมาอินพุทของวงจร จากนั้น วงจรจะทำให้สัญญาณ ดังกล่าวมีค่าเวลาเดดไทม์ในการทำงานเกิดขึ้นดังรูปคลื่นแสดงการทำงาน ซึ่งเวลานี้สามารถตั้งค่าได้จากค่าคงที่เวลา RC ในทางทฤษฎีพบว่าถ้าค่าเวลาเดดไทม์สูงจะทำให้แรงดันเข้าที่พุ่มูลฐานลดลงไปจากเดิม และจะมีผลทำให้เกิดฮาร์โมนิกอันดับต่ำสูงขึ้น ดังนั้นการกำหนดค่าเดดไทม์ที่เหมาะสมจะมีความสัมพันธ์กับค่า  $t_r$ ,  $t_f$  ของไอจีบีที สัญญาณที่ออกจากวงจรเดดไทม์จะถูกส่งไปที่วงจรขับเคลื่อนต่อไป

#### วงจรขับเคลื่อน (Gate drive circuit)

สัญญาณควบคุมการทำงานของไอจีบีที ที่ได้จากวงจรควบคุมจะต้องนำมาผ่านวงจรขับเคลื่อน ก่อนส่งให้ไอจีบีที เนื่องจากไอจีบีทีในวงจรอินเวอร์เตอร์แต่ละตัวจะทำงานที่มีศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกัน จำเป็นต้องมีการแยกกราวด์ของไอจีบีทีแต่ละตัวออกจากกัน และนอกจากนี้ยังต้องการแยกส่วนวงจรควบคุมออกจากวงจรกำลัง การแยกส่วนอาจใช้ฟลัสทรานส์เฟอร์เมอร์ หรือ OPTO isolator ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ opto เป็นส่วนแยกกราวด์ ดังนั้นการแยกกราวด์โดยใช้ opto จึงต้องสร้าง

วงจรไฟเลี้ยงที่เป็นอิสระต่อกันเพื่อจ่ายให้กับส่วนวงจรจับเกทด้วย และเนื่องจากเลือกใช้ IPM ซึ่งมีวงจรจับเกทอยู่ภายในแล้ว



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรแยกกราวด์โดยใช้ Opto Isolator

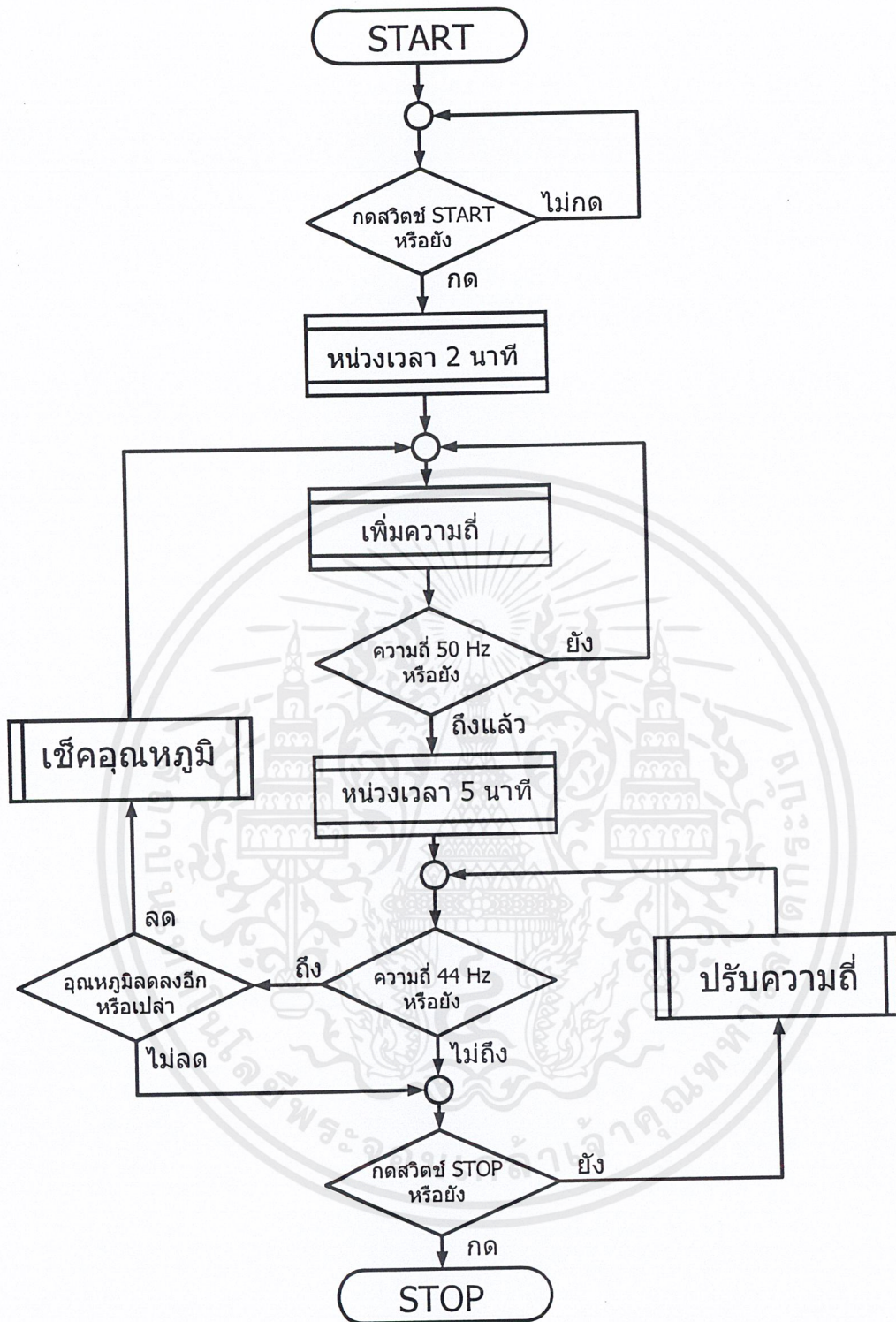
การทำงานของวงจร สัญญาณ พี คับบลิว เอ็ม ที่ถูกส่งมาจากวงจรเคดไทม์ จะข้ามผ่าน opto เพื่อแยกกราวด์ระบบควบคุมออกจากวงจรกำลัง ด้วยการใช้หลักการส่งถ่ายสัญญาณด้วยแสง จึงทำให้วงจรอิสระจากกันได้ สัญญาณที่ข้ามผ่าน opto จะมาเข้าส่วนวงจรจับเกท เพื่อปรับแต่งสัญญาณ และขยายกระแสจับเกทต่อไป โดยใช้ไฟเลี้ยงที่ระบบกราวด์แยกจากระบบควบคุมโดยสิ้นเชิง

### 3.3.2 การควบคุมเครื่องปรับอากาศที่ใช้อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะทำงานแบบลูปิด โดยป้อนกลับจากอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิภายในห้องสัญญาณที่ได้นี้จะถูกแปลงเป็นแรงดันแล้วแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล(ADC0834CCJ)ก่อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ แล้วประมวลผลสร้างสัญญาณไปควบคุมสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันและความถี่เอาท์พุทที่เหมาะสมจ่ายให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ให้ทำงานสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายใน

อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิ ใช้ไอซี LM 335 เป็นตัวคอยตรวจสอบอุณหภูมิแล้วแปลงเป็นสัญญาณแรงดันป้อนกลับไปยังบอร์ดควบคุม โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออุณหภูมิเท่ากับ 10 mV ต่อ 1<sup>o</sup>K จากข้อมูลนี้จะเห็นว่าหากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1<sup>o</sup>K นั้น ADC จะไม่สามารถรับรู้ได้ดังนั้นจึงต้องมีการขยายสัญญาณแรงดันที่ได้นี้ให้มากกว่า 20 mV(ADC เป็นแบบ 8 บิต)เพื่อที่จะให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆได้ ในส่วนของการตั้งอุณหภูมิอ้างอิงจะใช้สวิทช์แบบเลือก วงจรที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.15





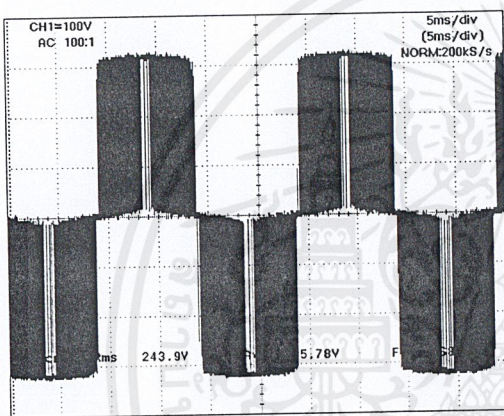
รูปที่ 3.16 แสดงโฟลชาร์ทการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

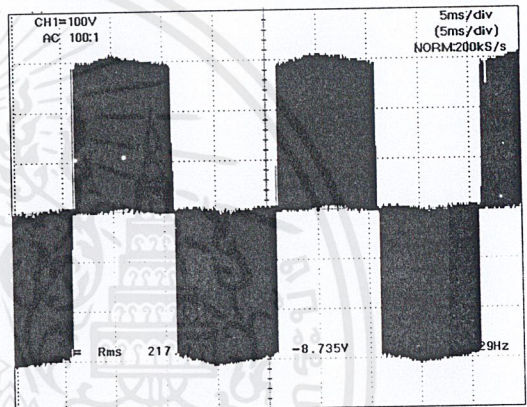
วงจรการทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่ใช้กับระบบอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่เคยใช้อยู่ ในขั้นนี้เราจะมองที่ กำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศทั้งระบบใช้ไปเท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะพิจารณาเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบอินเวอร์เตอร์นี้ให้ดีขึ้นกว่าเดิม

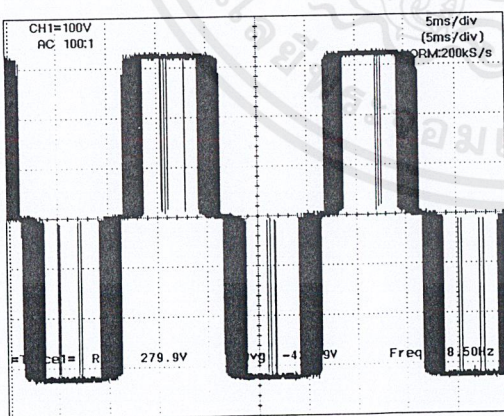
ในการทดสอบเริ่มด้วยการหาค่า มอดดูเลต ( $m_u$ ) ที่ให้แรงดันเอาต์พุตเป็น 220 V<sub>rms</sub> (Fundamental) โดยมีโหลดต่ออยู่ด้วย ผลจากการทดสอบที่ค่า  $m_u$  ต่าง ๆ มีรูปคลื่นและค่าแรงดันมูลฐาน ดังนี้



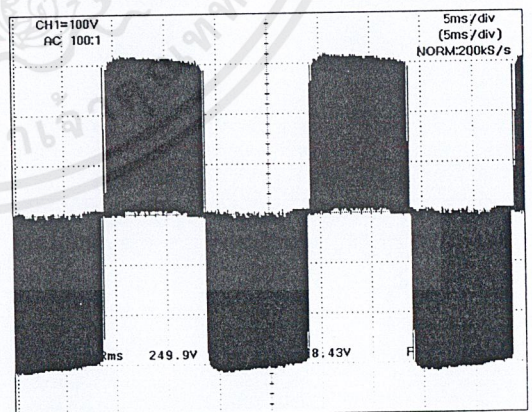
แรงดันเอาต์พุตที่  $m_u = 1.0$  ขณะไม่มีโหลด  
V(rms) = 243.9 V.



แรงดันเอาต์พุตที่  $m_u = 1.0$  ขณะมีโหลด  
V(rms) = 217.6 V.



แรงดันเอาต์พุตที่  $m_u = 1.5$  ขณะไม่มีโหลด  
V(rms) = 279.9 V.



แรงดันเอาต์พุตที่  $m_u = 1.5$  ขณะมี โหลด  
V(rms) = 249.9 V.

รูปที่ 4.1 รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตที่ค่า  $m_u = 1.0$  และ  $m_u = 1.5$

จากผลการทดสอบพบว่าที่ค่ามือคดคู่เท่ากับ 1.0 ได้แรงดันเอาต์พุทขณะจ่ายโหลดเพียง 179.84 โวลต์ ซึ่งต่ำกว่าแรงดันพิกัดของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์อยู่มาก ซึ่งถ้าใช้แรงดันค่านี้อาจทำให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ขณะที่เดินเครื่องปกติ จะทำให้กระแสสูงเกินกว่าพิกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มดัชนีการมือคดคู่ขึ้น ในย่านที่โอเวอร์มอด จากผลการทดลองค่ามือคดคู่ที่สามารถจ่ายแรงดันเอาต์พุทที่พิกัดของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์คือ 1.5 ได้แรงดันเท่ากับ 226.74 โวลต์ เหตุที่ต้องใช้งานในย่านโอเวอร์มอดเนื่องจากว่าเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นในขั้นนี้มีขีดจำกัดตรงที่ไม่สามารถเพิ่มแรงดันเชื่อมโยงกระแสตรงได้

จากนั้นทำการทดสอบระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ความถี่ต่างๆเพื่อหาย่านความถี่ที่มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานต่ำสุด โดยที่ยังสามารถให้ความเย็นภายในห้องได้ตามต้องการซึ่งได้ผลดังกราฟในรูปที่ 4.3 จากกราฟจะเห็นว่าย่านความถี่ใช้งานสำหรับเครื่องต้นแบบจะอยู่ในช่วง 44 ถึง 50 เฮิร์ต

เมื่อทราบช่วงความถี่จึงทำการทดสอบระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์เทียบกับระบบเดิมที่ใช้เทอร์โมสตัท เพื่อเปรียบเทียบกำลังงาน ไฟฟ้า และวัดค่าต่าง ๆ ในวงจรเพื่อนำไปเปรียบเทียบ และหาจุดทำงาน ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะสามารถเสนอแนะและให้แนวทาง ในการพัฒนาระบบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เฟสเดียวต่อไป

เมื่อได้  $m_u$  และแรงดันเอาต์พุท ที่เหมาะสมแล้วก็ทำการทดสอบระบบเก่าที่ใช้เทอร์โมสตัท ที่มีรอกการ ON-OFF ของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์และทดสอบระบบ อินเวอร์เตอร์ ซึ่งใช้วิธีการลดความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ เพื่อจะดูว่าระบบใดที่ให้ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่ากัน โดยมีเงื่อนไข คือ โหลดในห้องจะต้องคงที่ตลอดการทดสอบ

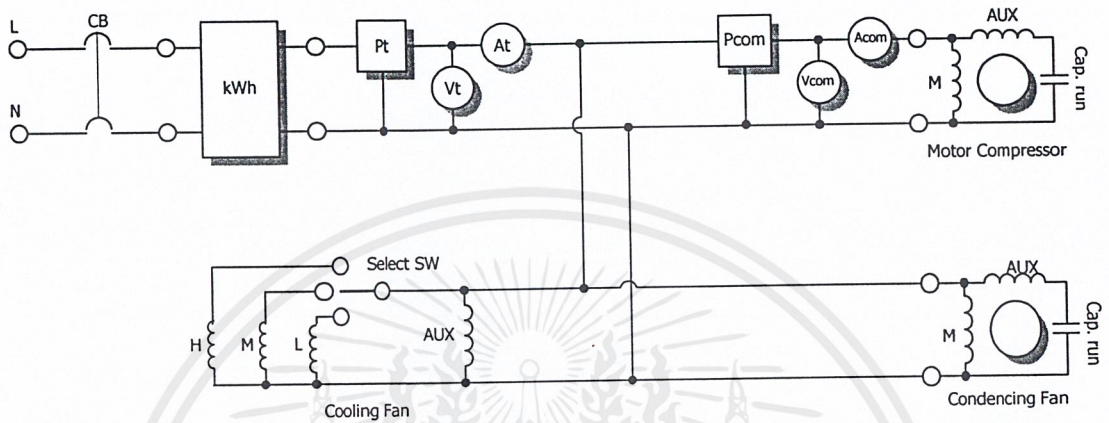
จากนั้นเราจึงทำการทดสอบระบบ อินเวอร์เตอร์ เทียบกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ เพื่อดูว่าระบบที่ใช้ อินเวอร์เตอร์จะสามารถรักษาอุณหภูมิในห้องให้คงที่ได้ดีแค่ไหน เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้ อยู่ โดยที่โหลดภายในห้องไม่คงที่

#### อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

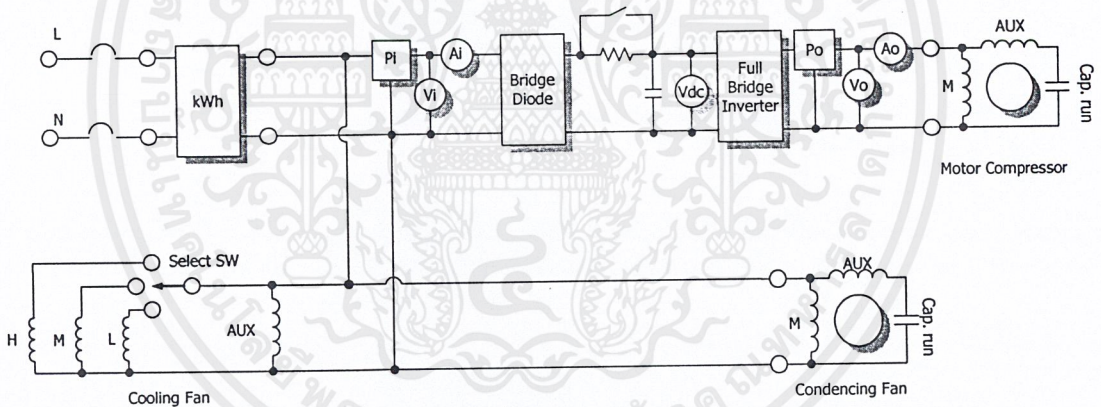
- 1 Yogogawa Power Analyzer PZ4000
- 2 Fluke 41B Power Harmonics Analyzer
- 3 Yogogawa DL1520
- 4 Kilo Watt hour Meter
- 5 Digital multimeter
- 6 Thermo meter
- 7 Load Lamp 500W

### วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

- ระบบที่ใช้เทอร์โมสตัท
- ระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์



ก. ระบบที่ใช้เทอร์โมสตัท

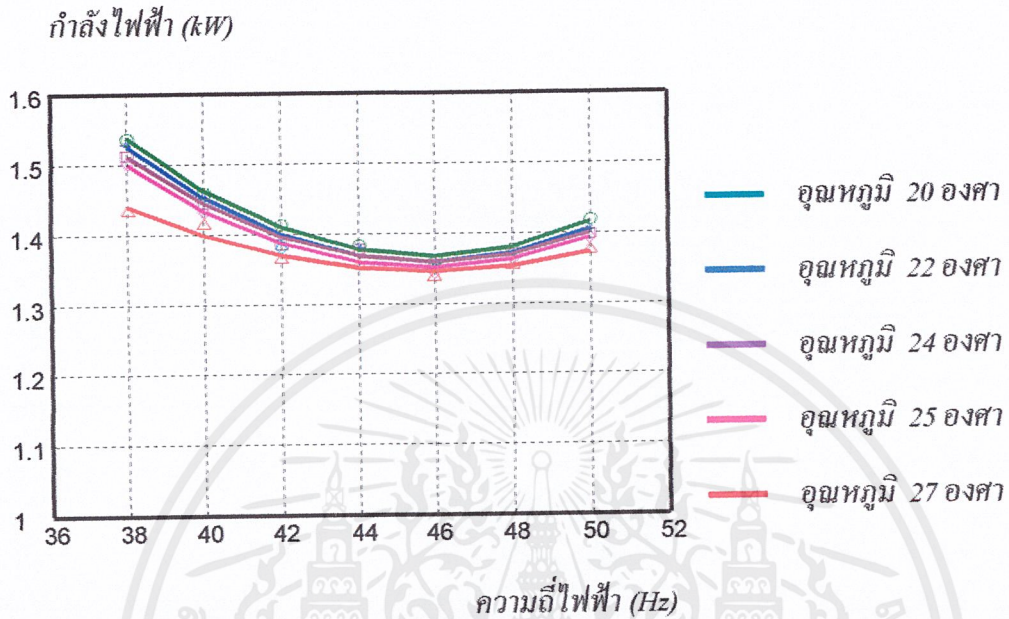


ข. ระบบที่ใช้อินเวอร์เตอร์

รูปที่ 4.2 แสดงวงจรในการทดสอบ

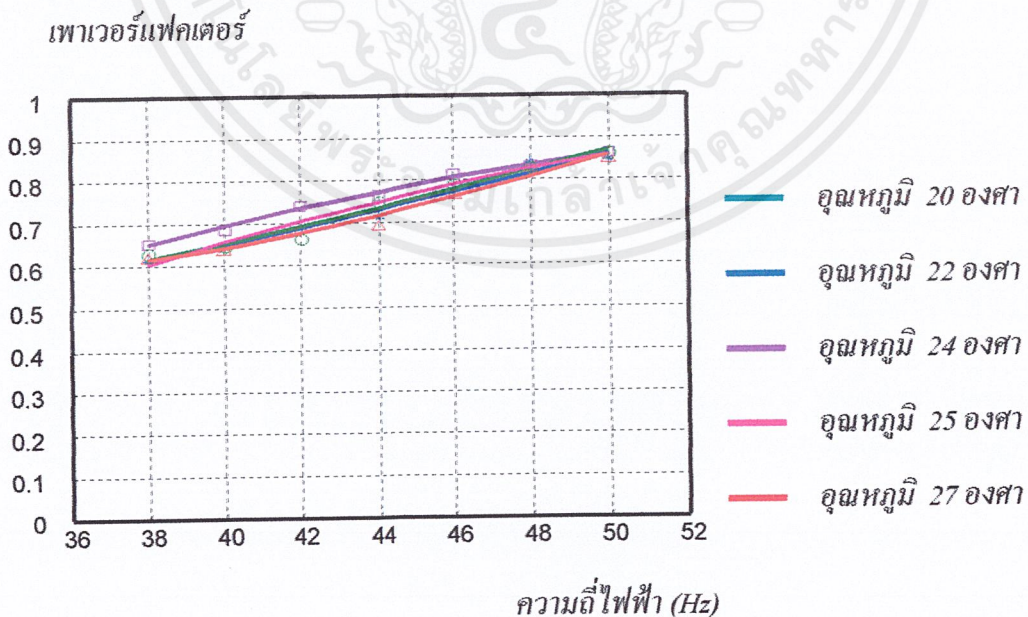
### คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์

1). การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า (P) ที่ความถี่ไฟฟ้าต่าง ๆ ของแต่ละอุณหภูมิตั้งที่ 20, 22, 24, 25, 27 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 แสดงกำลังไฟฟ้า (P) กับ ความถี่ไฟฟ้า ของอินเวอร์เตอร์ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 20, 22, 24, 25, 27 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิตั้งที่ 32 องศาเซลเซียส

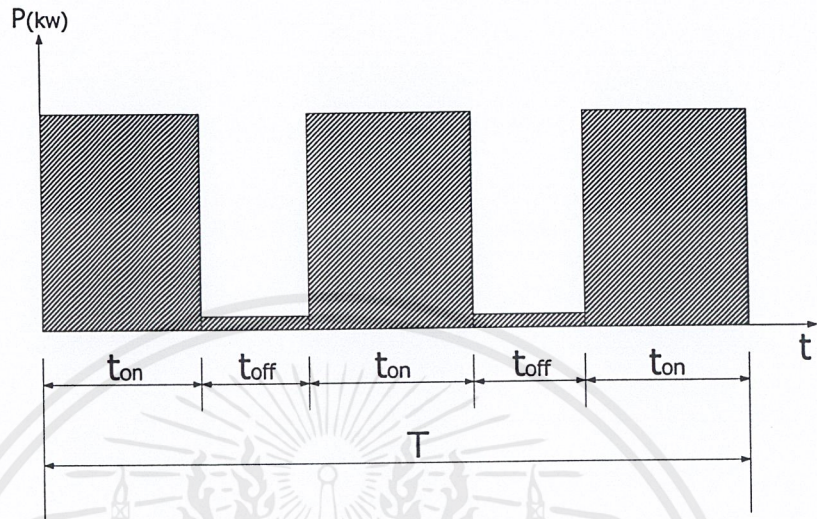
2). เพาเวอร์แฟคเตอร์ของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ ที่ป้อนให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ กับ ความถี่ไฟฟ้าที่อุณหภูมิตั้งที่ 20, 22, 24, 25, 27 องศาเซลเซียส

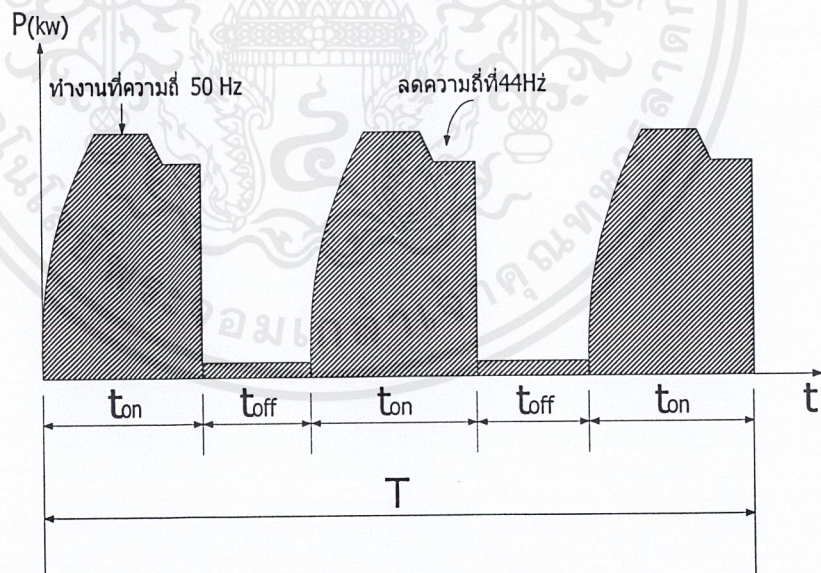
การเปรียบเทียบพลังงาน ของ เครื่องปรับอากาศทั่วไปกับ เครื่องปรับอากาศที่ใช้อินเวอร์เตอร์ใน  
โครงการ

1). ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศทั่วไป



รูปที่ 4.5 ลักษณะการตัด-ต่อของเทอร์โมสแตทในเครื่องปรับอากาศทั่วไป

2). ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ใช้อินเวอร์เตอร์

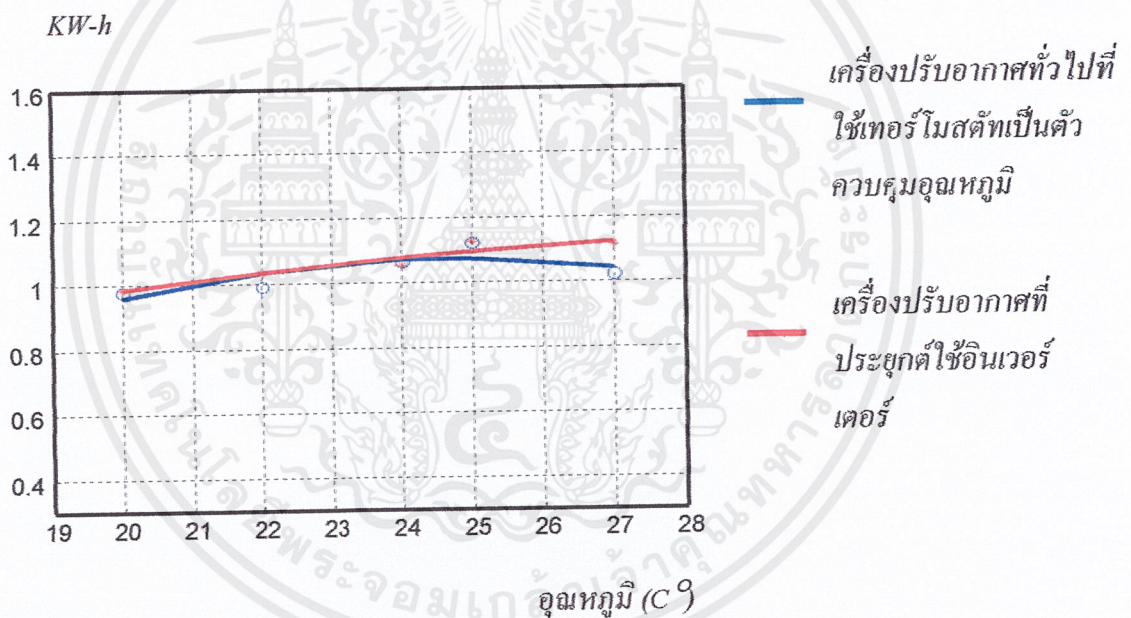


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ใช้อินเวอร์เตอร์

### ข้อมูลเบื้องต้นในการทดสอบ

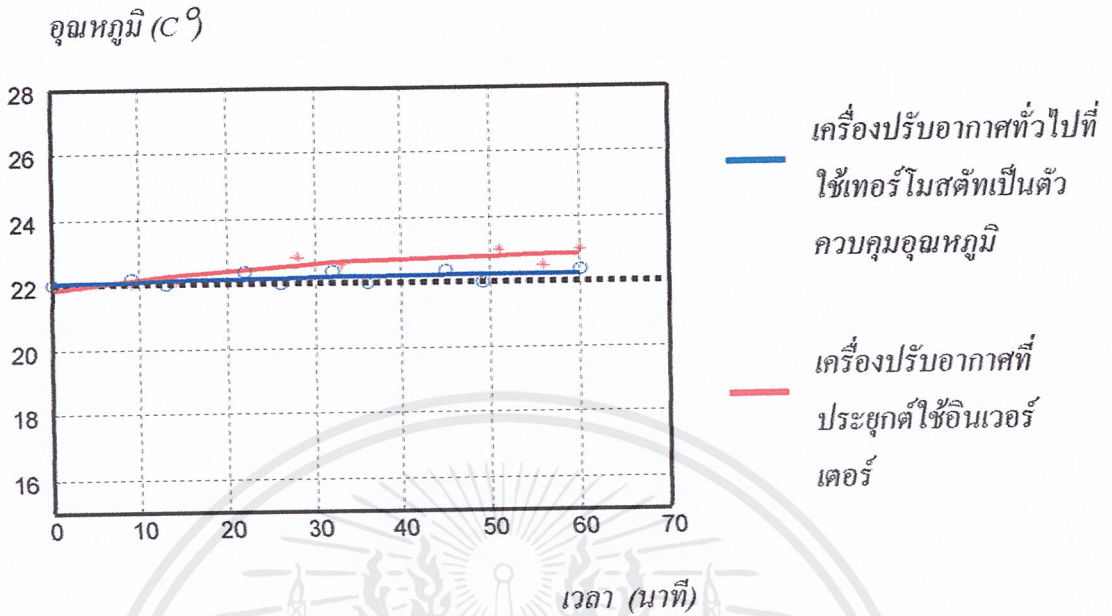
1. ขนาดห้องที่ใช้ทดสอบ กว้าง 2.5 เมตร , ยาว 5 เมตร , สูง 2.5 เมตร
2. ลักษณะผนังห้อง
  - เป็นผนังไม้ฉลัด
  - เพดานเป็นวัสดุฝ้ายิปซัม
3. โหลดที่ใช้เป็นหลอดไฟ ขนาด 500 วัตต์
4. อุณหภูมิแวดล้อมภายนอก 30 องศาเซลเซียส
5. เครื่องปรับอากาศขนาด 13,000 บีทียู มอเตอร์คอมเพรสเซอร์โรตารี ชนิด 1 เฟส 220 โวลต์ 6.2 แอมแปร์ ความถี่ไฟฟ้า 50 เฮิร์ต

3). ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า (P) ที่ระบบเครื่องปรับอากาศแบบเทอร์โมสตัทที่ใช้ กับ เครื่องปรับอากาศที่ใช้อินเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.7

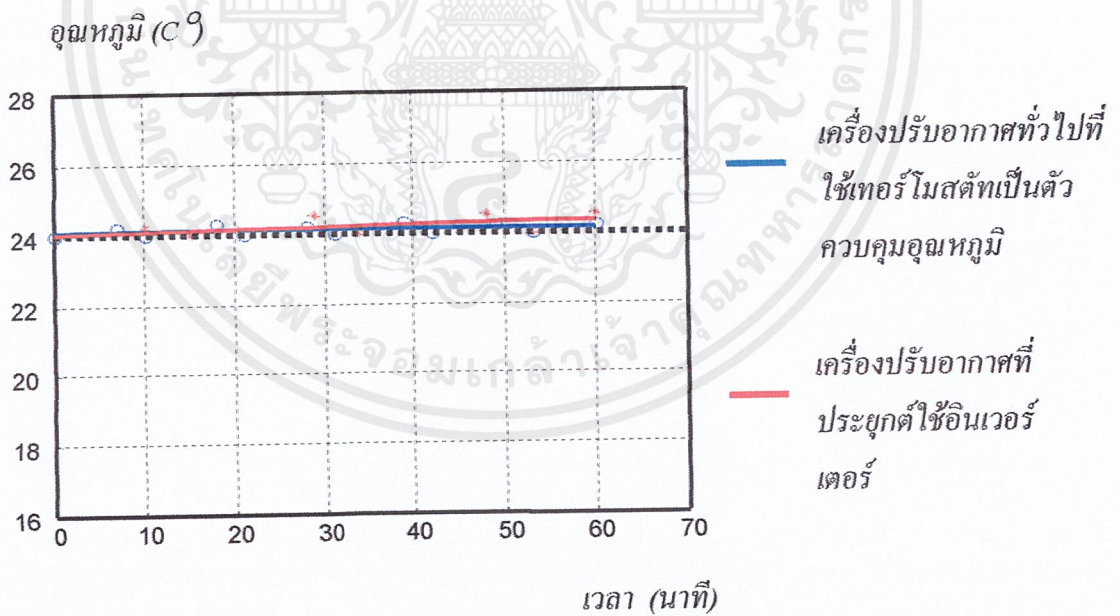


รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า (KW-h) ของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับ เครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์

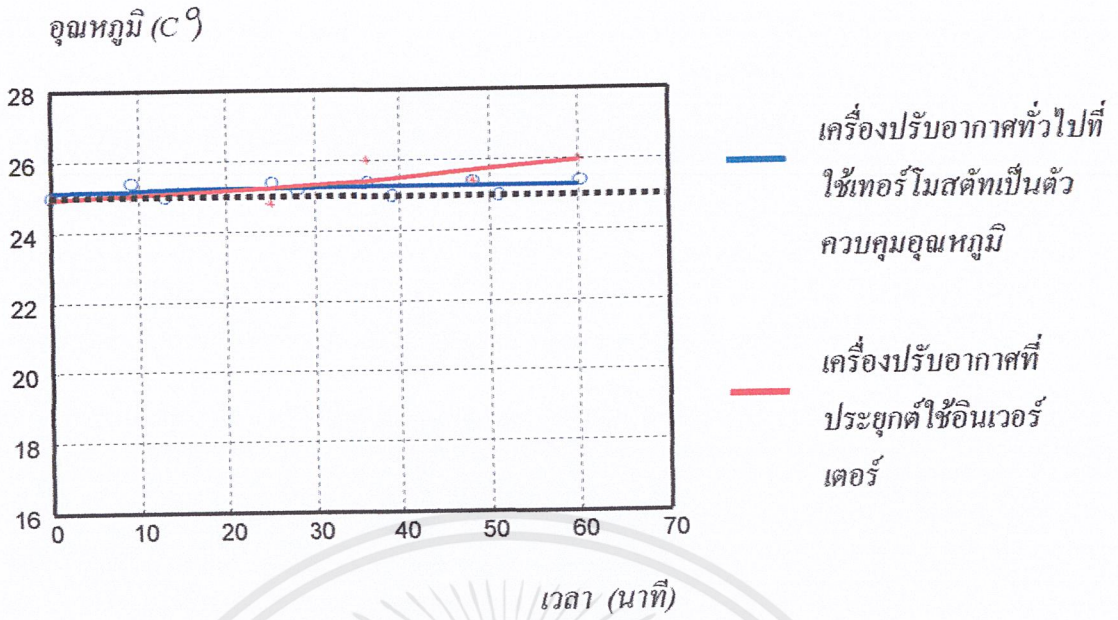
การรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่ใช้เทอร์โมสแตท กับ เครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์



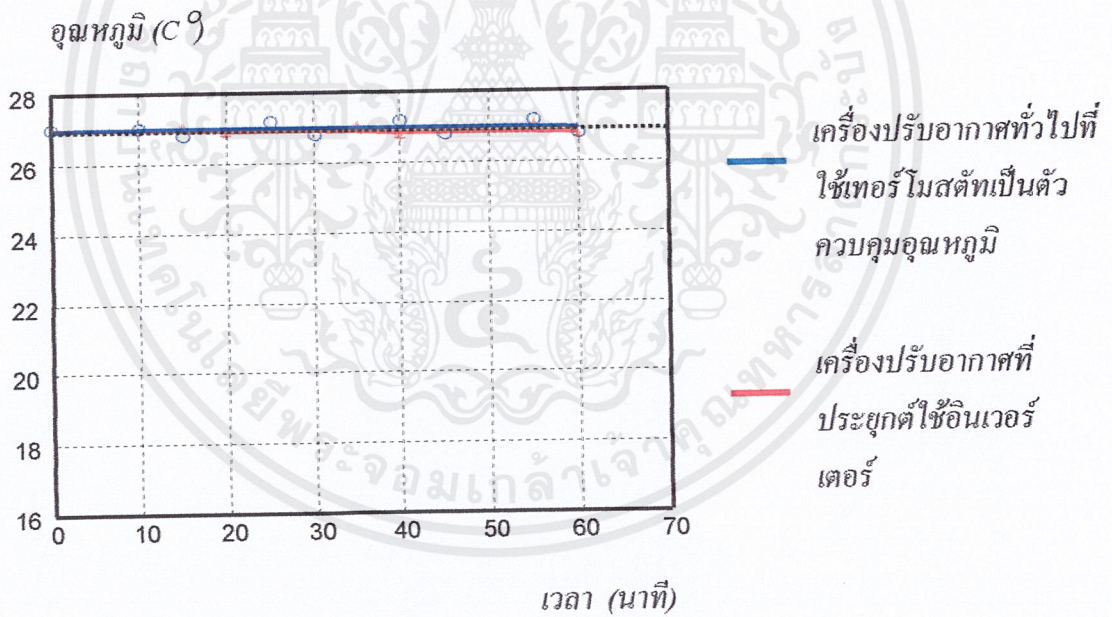
รูปที่ 4.8 แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 22 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 24 องศาเซลเซียส



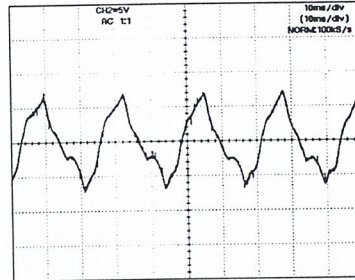
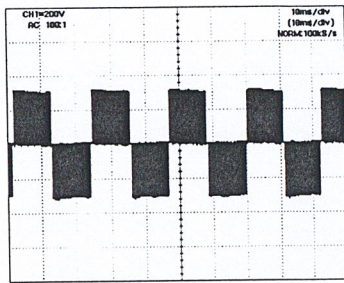
รูปที่ 4.10 แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 25 องศาเซลเซียส



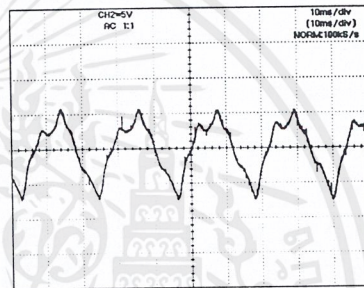
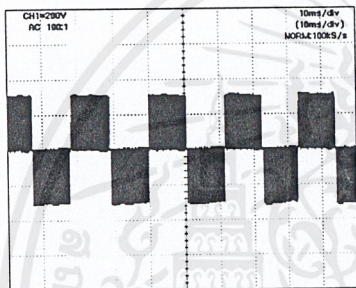
รูปที่ 4.11 แสดงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศทั่วไป กับเครื่องปรับอากาศที่ประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ ที่ 27 องศาเซลเซียส

สัญญาณแรงดันและกระแส ของเอ้าท์พุท อินเวอร์เตอร์ ที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ไฟฟ้า

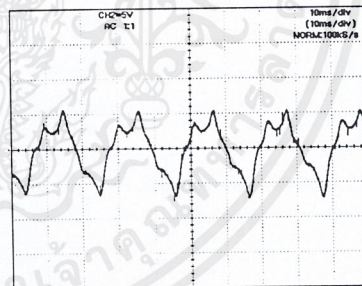
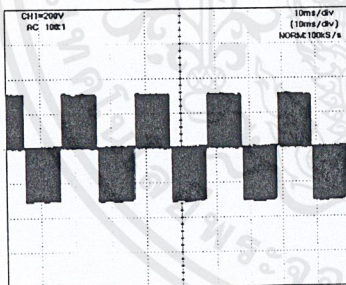
ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



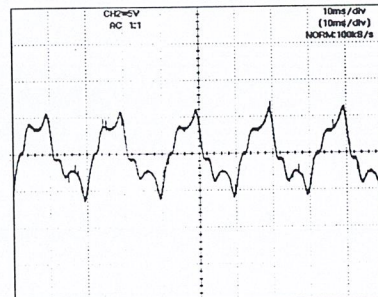
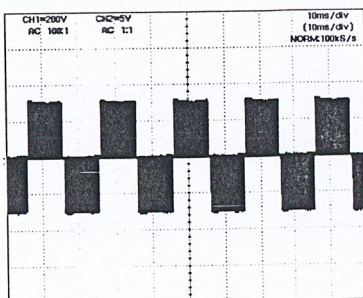
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต



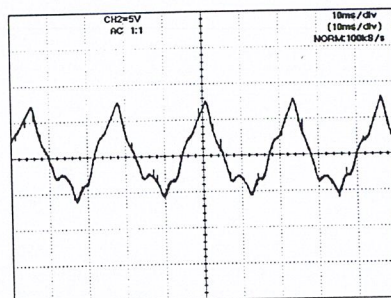
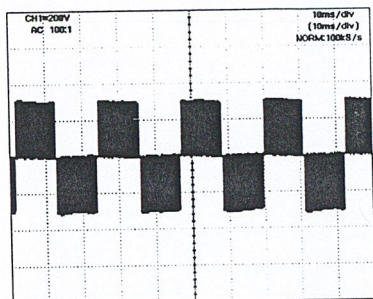
รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต



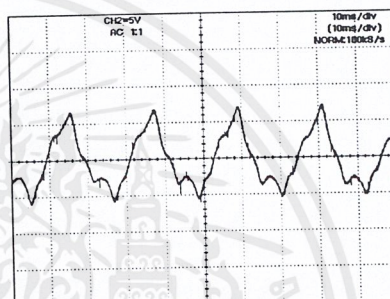
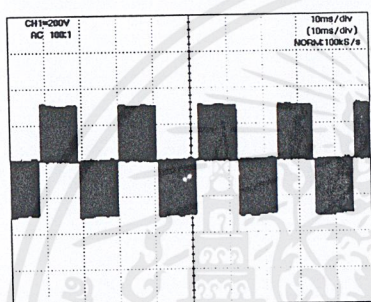
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

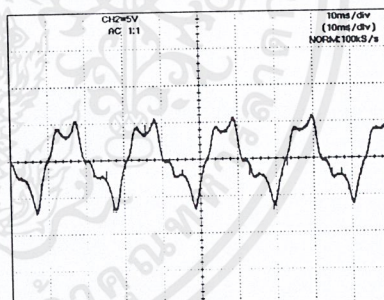
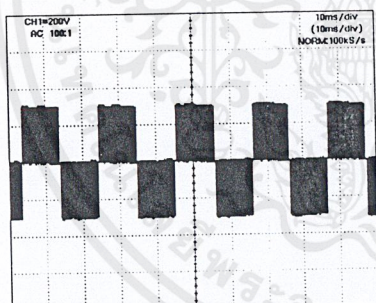
## ที่อุณหภูมิต่ำ 24 องศาเซลเซียส



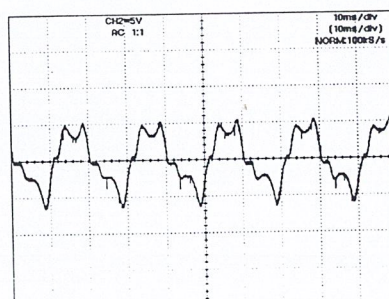
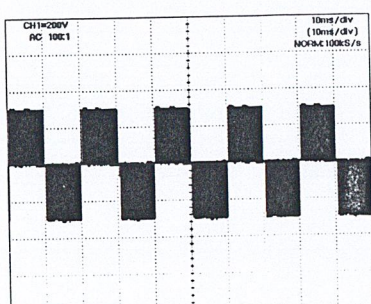
รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิรต์



รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิรต์



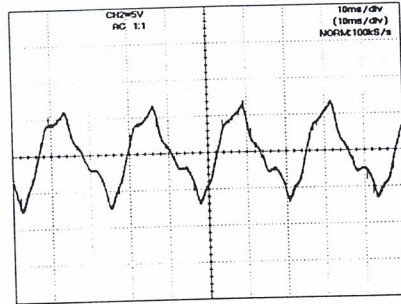
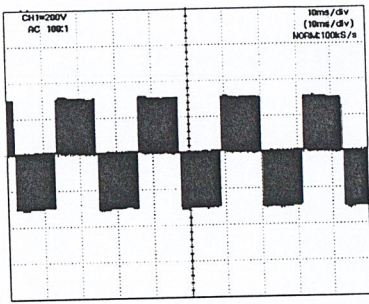
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิรต์



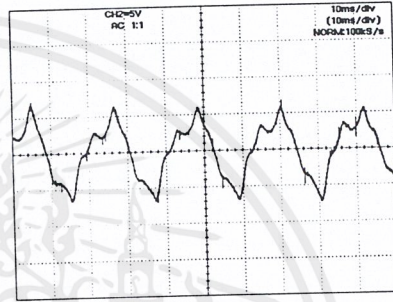
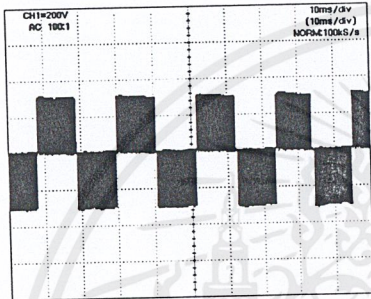
รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

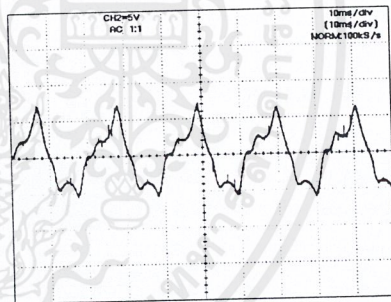
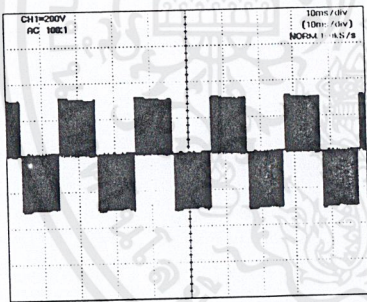
ที่อุณหภูมิต่ำ 27 องศาเซลเซียส



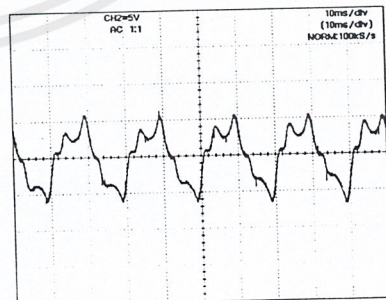
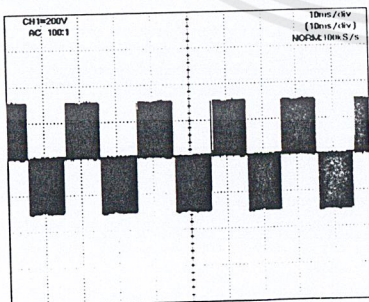
รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต



รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต



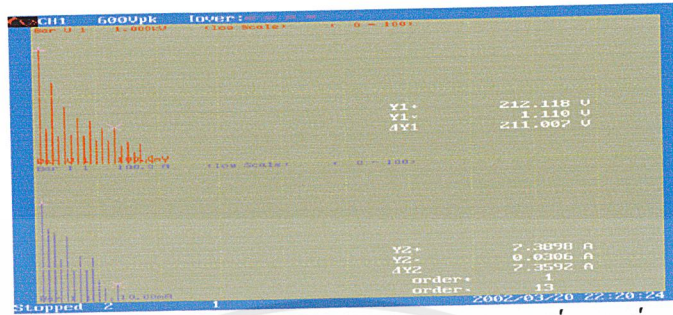
รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต



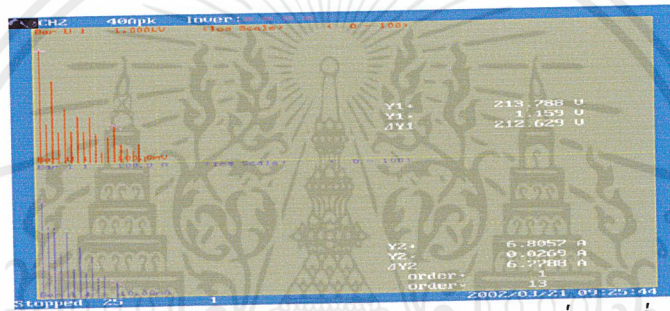
รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณ แรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์โมนิกส์ ของสัญญาณแรงดันและกระแส ของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ ที่อุณหภูมิตดสอบต่าง ๆ  
เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความถี่ไฟฟ้า  
ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



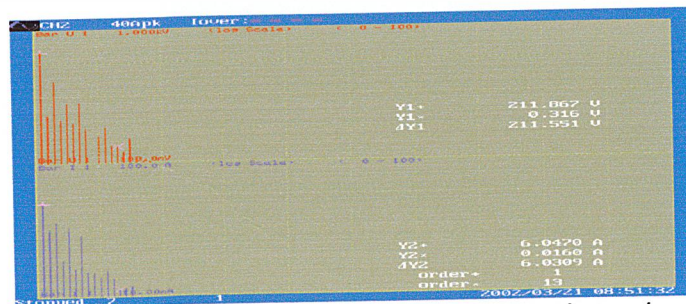
รูปที่ 4.24 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต



รูปที่ 4.25 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต



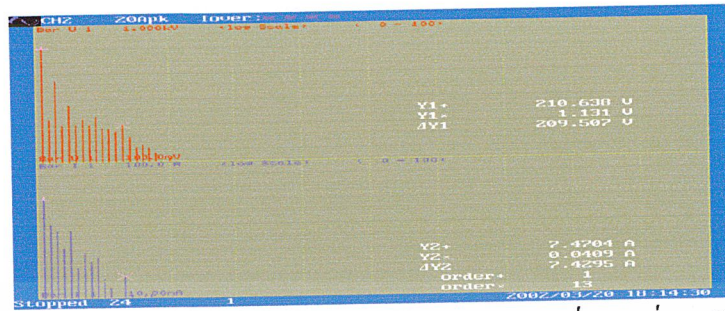
รูปที่ 4.26 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต



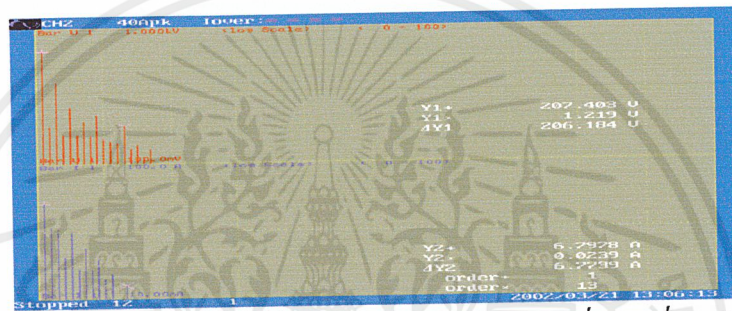
รูปที่ 4.27 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิต่ำ 24 องศาเซลเซียส



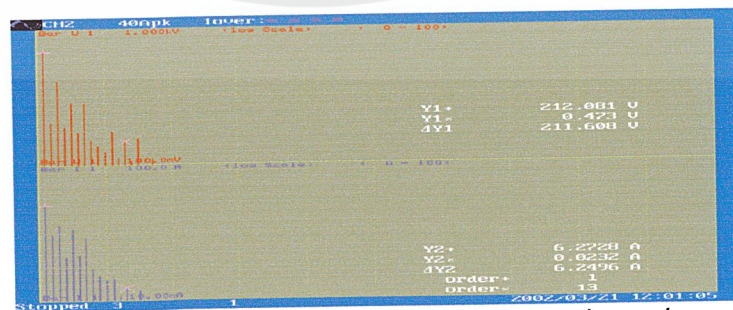
รูปที่ 4.28 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต



รูปที่ 4.29 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต



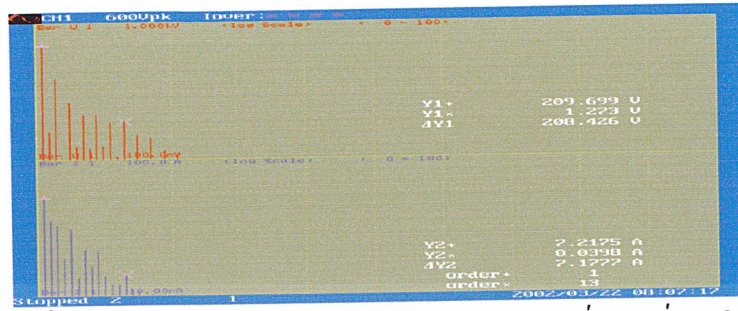
รูปที่ 4.30 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต



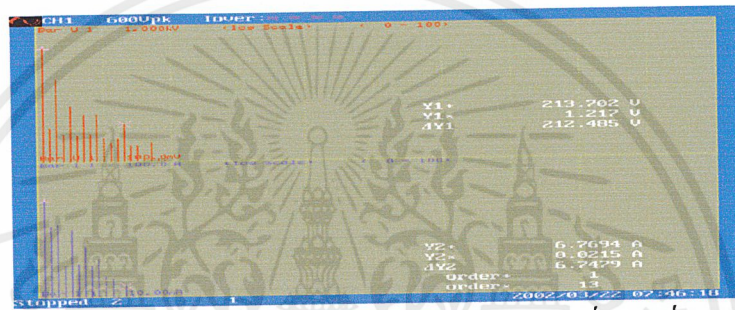
รูปที่ 4.31 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

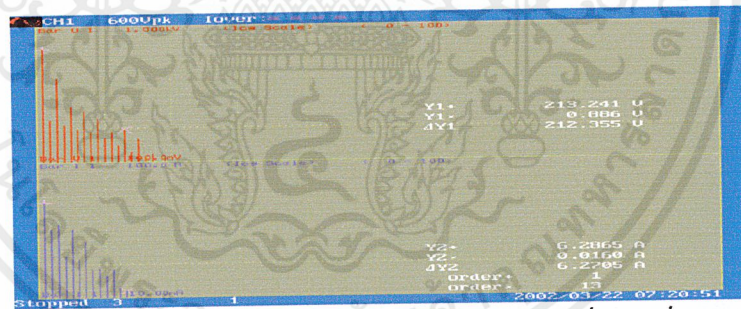
ที่อุณหภูมิต่ำ 27 องศาเซลเซียส



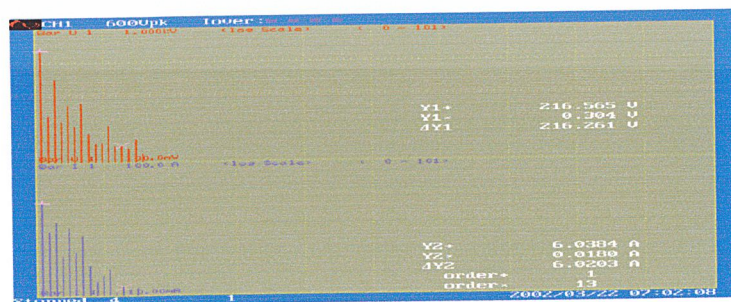
รูปที่ 4.32 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 44 เฮิร์ต



รูปที่ 4.33 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 46 เฮิร์ต



รูปที่ 4.34 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 48 เฮิร์ต



รูปที่ 4.35 แสดงฮาร์โมนิกส์ของแรงดันและกระแส ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบ การควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ชนิด 1 เฟส ด้วยชุดแหล่งจ่าย กำลังอินเวอร์เตอร์ ที่อาศัยเทคนิค การสร้างสัญญาณพี-ดับเบิลยู-เอ็มแบบซายพัลส์วีดมีธอดคูลเลชัน (SPWM) ซึ่งในการศึกษาระบบต่าง ๆ พอสรุปได้ดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติและลักษณะการควบคุมความเร็วของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ชนิด 1 เฟส ซึ่งควบคุมได้โดยการปรับความถี่ของสัญญาณซายน์ที่ ป้อนให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ โดยใช้หลักการควบคุมแรงดันต่อความถี่ให้คงที่ (V/f constant)

2. การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C52 ควบคุมการสวิทช์ของไอจีบีที ใน Power module เบอร์ PS 11036

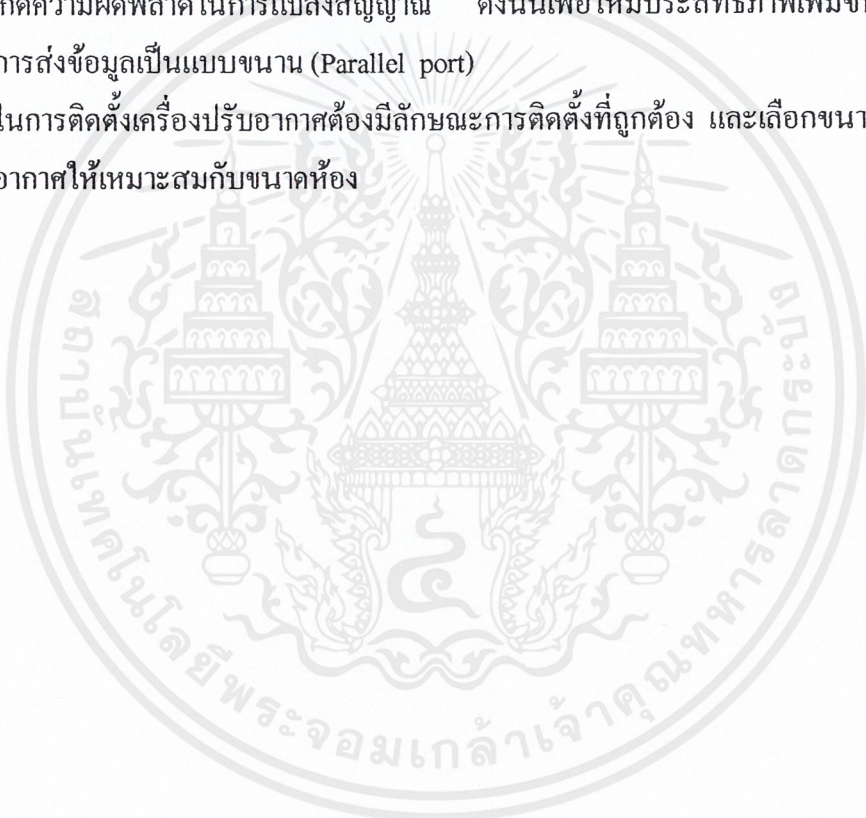
3. ทดสอบการใช้ชุดต้นแบบแหล่งจ่ายกำลังอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศขนาด 13,000 บีทียู ที่ติดตั้งใช้งานอยู่ก่อนแล้ว พบว่ามอเตอร์คอมเพรสเซอร์สามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ 37.5 ถึง 50 เฮิร์ต แต่เนื่องจากการทำงานที่ความถี่ต่ำ ๆ จะทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อไม่ให้กระแสเกินค่า 25 แอมป์เซ็นต์ของกระแสฟิสิกส์ อันจะทำให้เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ บวกกับการพิจารณาการใช้พลังงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ความถี่ต่าง ๆ จึงเลือกย่านความถี่ในช่วง 44 ถึง 50 เฮิร์ต ซึ่งเป็นย่านที่เหมาะสมที่สุด

4. การใช้ชุดต้นแบบแหล่งจ่ายกำลังอินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ทดสอบ โดยมี เงื่อนไข ให้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ทำงานที่ความถี่ เริ่มต้น 50 เฮิร์ตจนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องมีค่าลดลง ต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จึงให้ความถี่ลดลง มาที่ค่าความถี่ 44 เฮิร์ต จากนั้นถ้าอุณหภูมิในห้องยังมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ขณะที่ยังทำงานอยู่ที่ความถี่ต่ำสุดอยู่นั้น จะให้มีการหยุดการทำงานของเครื่องต้นแบบ หลังจากนั้นก็จะทำการเช็คค่าอุณหภูมิภายในห้องอยู่ตลอดเวลา จนกว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ จึงให้ชุดแหล่งจ่ายอินเวอร์เตอร์เริ่มทำงานใหม่อีกครั้ง ทั้งนี้การเริ่มสตาร์ทใหม่ของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ต้องรอเวลาอย่างน้อยประมาณ 5 นาที เพื่อการ Balance แรงดันน้ำยาทำความเย็น อันจะเป็นผลทำให้เกิดกระแสในช่วงสตาร์ทสูง

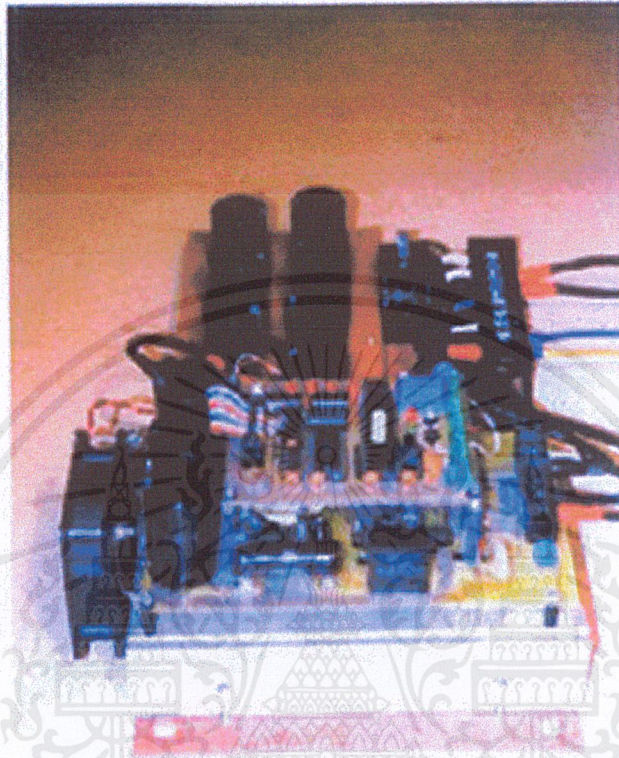
จากผลการทดสอบจะเห็นว่า ยังไม่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ เมื่อเทียบจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ซึ่งพิจารณาได้จากกราฟ ที่ 4.7 ทั้งนี้เนื่องจากยังมีปัญหาในส่วนของแรงดันเชื่อมโยงไฟตรง ที่ลดลงจนไม่สามารถทำให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ 1 เฟสทำงานได้ จึงต้องใช้วิธีการ โอเวอร์มีธอดคูลเลชัน ซึ่งทำให้เกิดค่าฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำ ๆ ส่งผลให้เพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบต่ำลง จนไม่สามารถประหยัดพลังงานได้

### ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงในส่วนของแรงดันเชื่อมโยงไฟตรงให้สูงขึ้นโดยใช้ หลักการ Boost Converter เพื่อที่จะไม่ต้องทำการ โอเวอร์มอดคูล์ชั่น แก้ปัญหาของฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำ ๆ ทำให้เพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบดีขึ้น
2. ต้องทำให้แหล่งจ่ายไฟตรงที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ความถี่สูง มีความเรียบจริง ๆ และค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพพอสมควร เพราะจะส่งผลถึงระบบอินเวอร์เตอร์
3. ปรับปรุงการรับและส่งอุณหภูมิภายในห้อง ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งในชุดต้นแบบนี้จะมี การส่งค่าสัญญาณของอุณหภูมิให้แก่ ADC 0834 เป็นแบบอนุกรม (Serial port) ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการแปลงสัญญาณ ดังนั้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจึงควรให้มีการส่งข้อมูลเป็นแบบขนาน (Parallel port)
4. ในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศต้องมีลักษณะการติดตั้งที่ถูกต้อง และเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับขนาดห้อง



ภาคผนวก ก.  
รูปชิ้นงานและเครื่องมือวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PZ4000 Power Analyzer



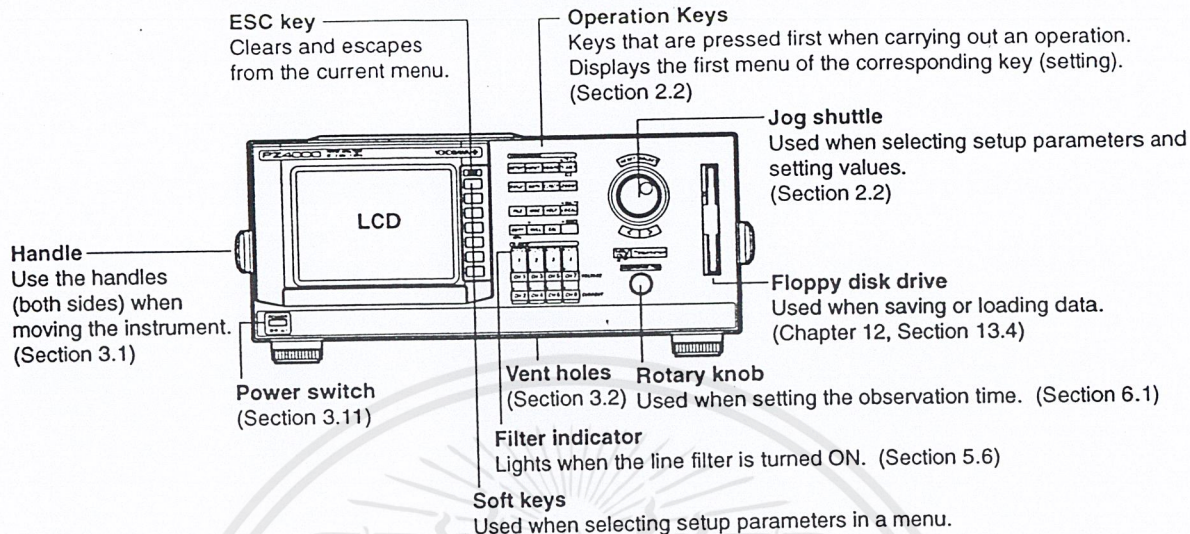
**YOKOGAWA**   
Yokogawa Electric Corporation

IM 253710-01E  
1st Edition

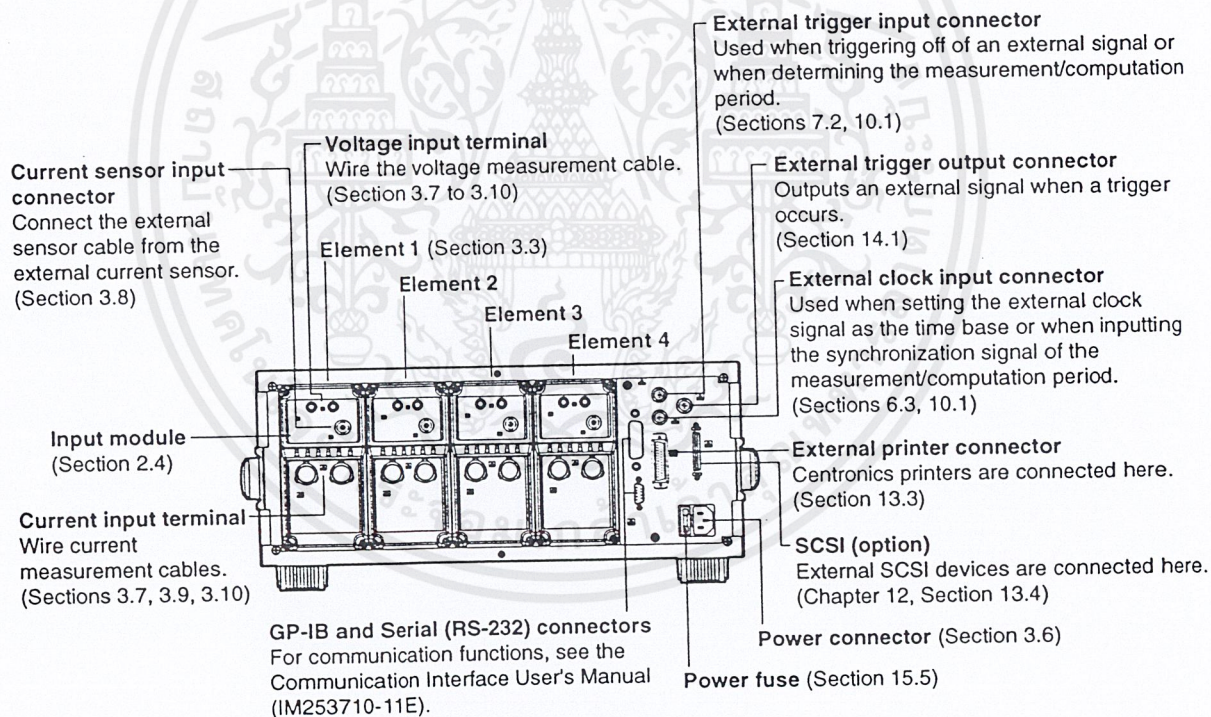
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 Front Panel, Rear Panel, and Top View

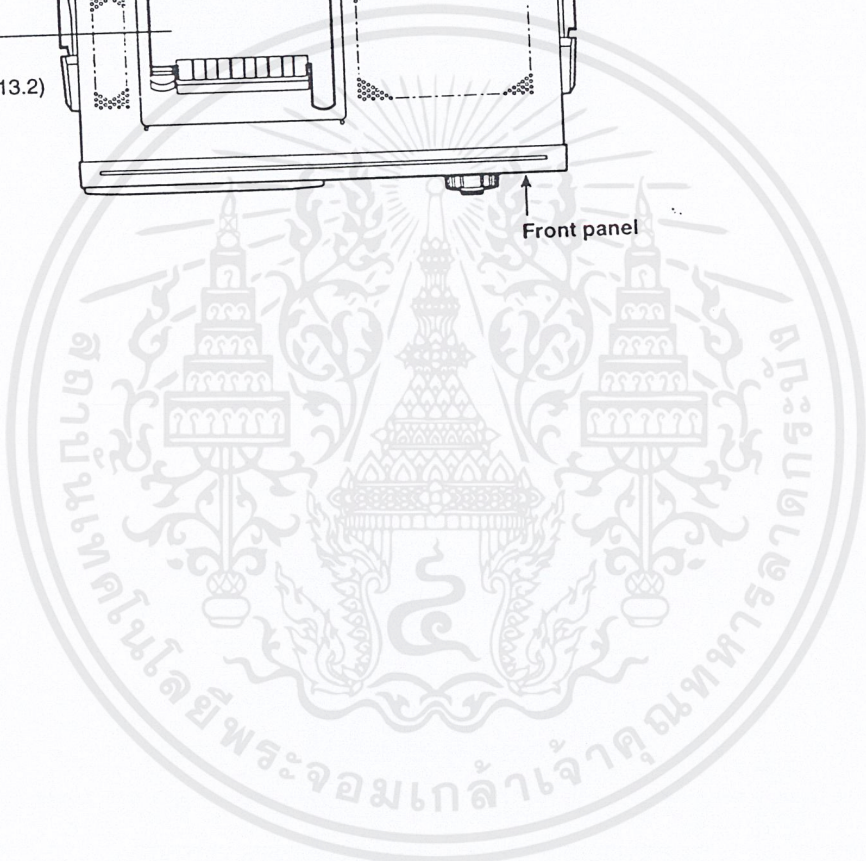
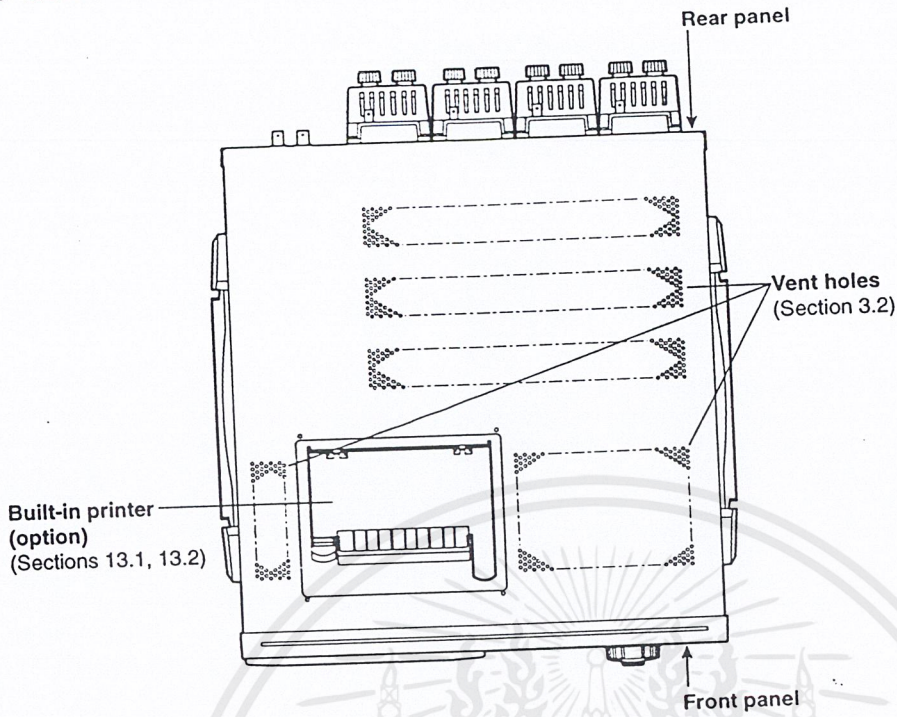
### Front Panel



### Rear Panel

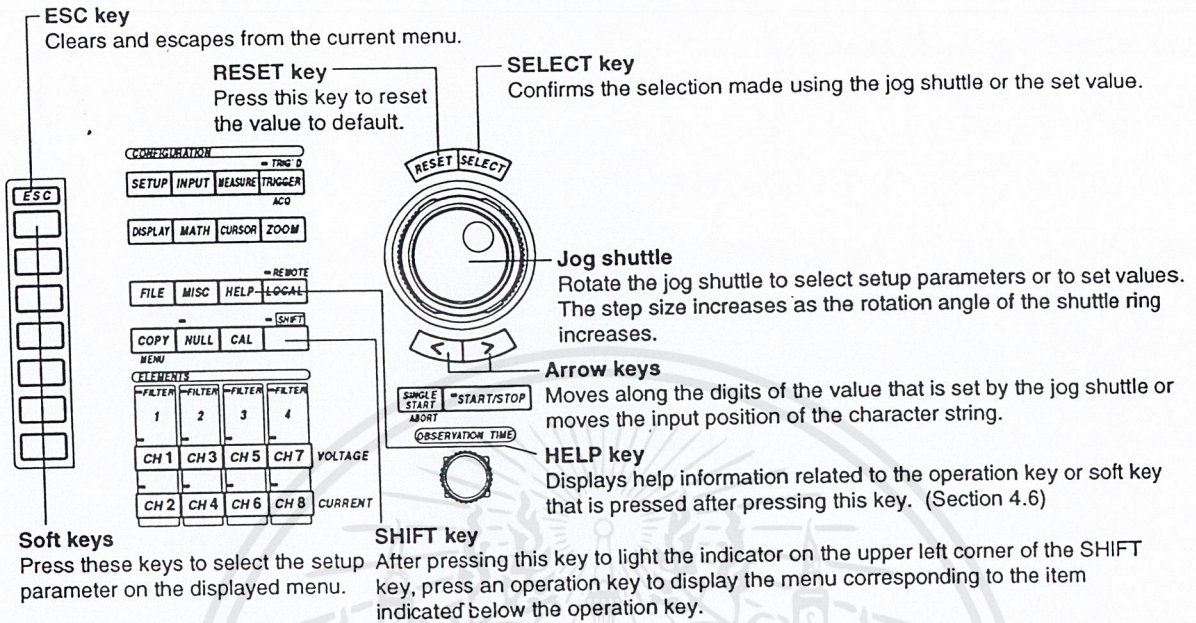


Top View

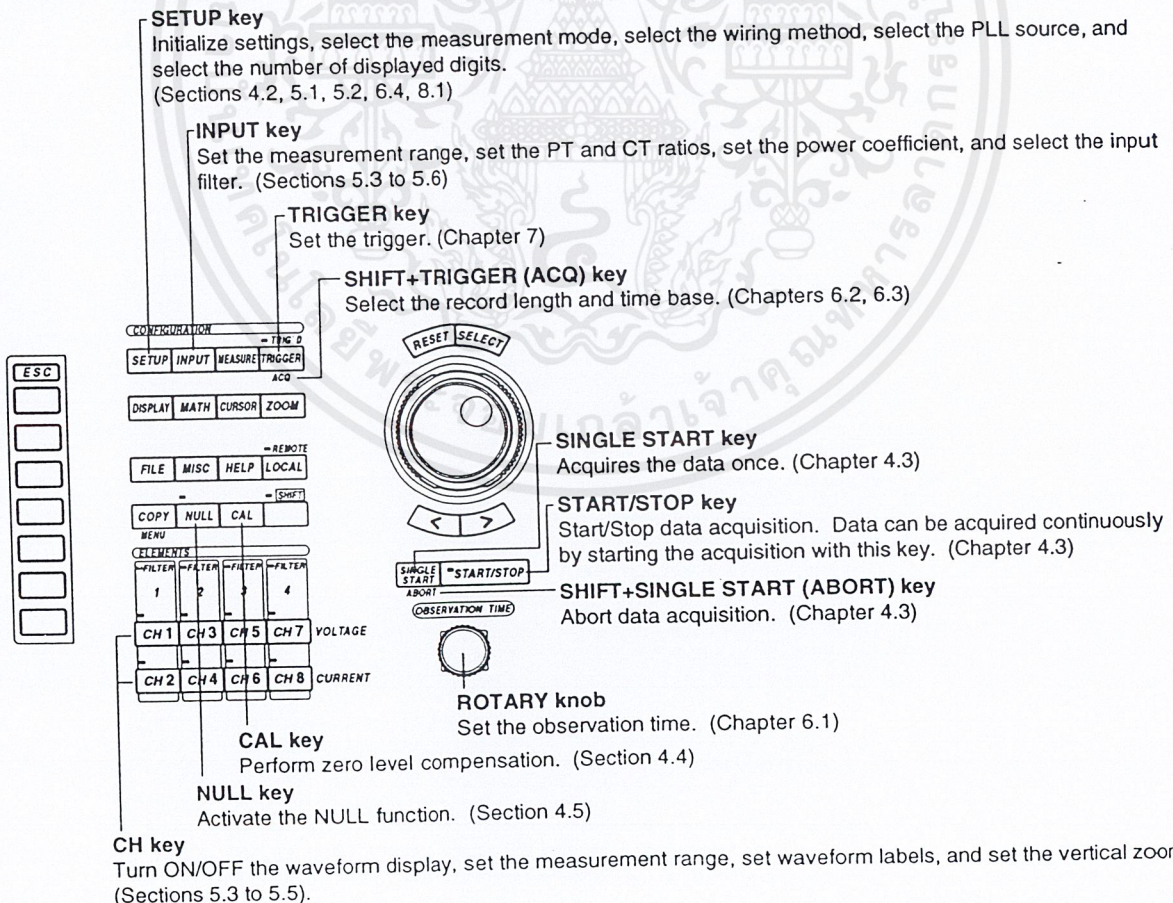


## 2.2 Operation Keys, Jog Shuttle, and Rotary Knob

### Common to All Functions



### Set Measurement Mode, Acquisition Conditions of Measured Data, and Trigger



2.2 Operation Keys, Jog Shuttle, and Rotary Knob

Set Numerical Display and Waveform Display

**DISPLAY key**  
 Display normal measurement data, harmonic measurement data, and waveforms; split the screen; display normal measurement data, harmonic measurement data, and waveforms; split the screen; set display interpolation; change the graticule; display upper and lower limits; display waveform labels; display vector graphs and bar graphs of harmonic signals. (Sections 8.2 to 8.5, 9.1 to 9.6, 9.8, and 9.9)

**ZOOM key**  
 Vertically zoom on the waveforms. (Section 9.7)

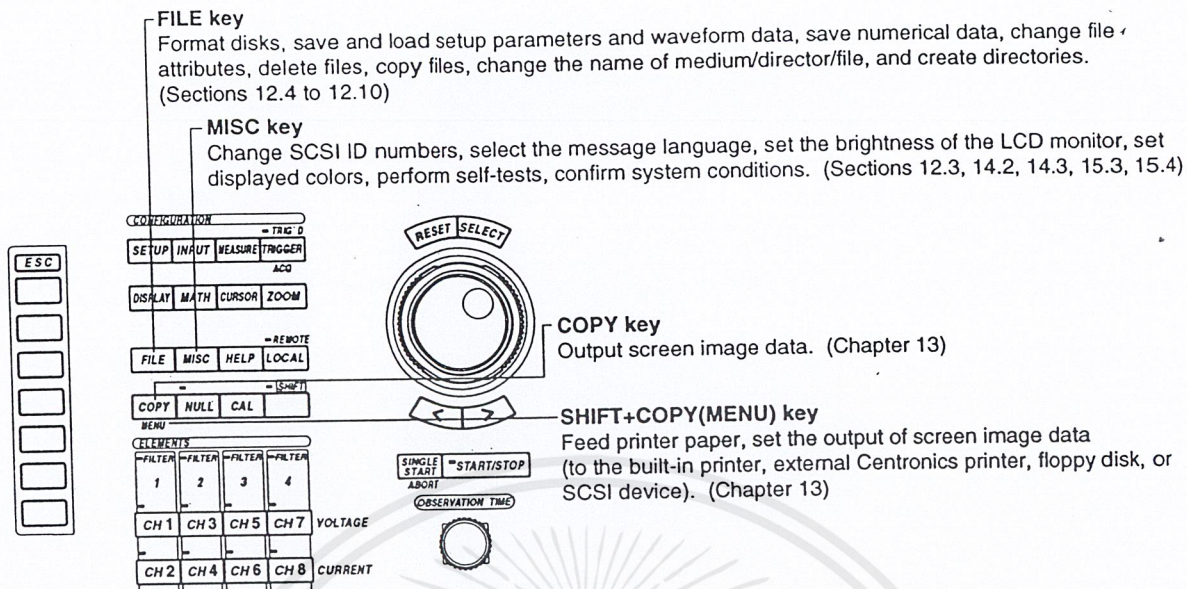
**CH key**  
 Displays the waveforms and waveform labels and vertically zooms on the waveforms. (Sections 9.1, 9.6, 9.7)

Set Numerical Computation and Waveform Analysis

**MATH key**  
 Set the waveform computation region, re-compute waveforms, set waveform equations, convert scales, perform FFTs, and cursor measurements. (Chapter 11)

**MEASURE key**  
 Set the measurement/computation period, re-compute numerical data, select delta computation, set user-defined functions, select the equation for apparent power and corrected power, perform averaging operation, select the display format of the phase difference, set the harmonic order for analysis, and select the equation for distortion factor. (Chapter 10)

### Save and Load data, and Set Other Functions



Thank you for purchasing the YOKOGAWA PZ4000 Power Analyzer.

This User's Manual contains useful information about the precautions, functions, and operating procedures of the instrument. To ensure correct use, please read this manual thoroughly before operation.

Keep this manual in a safe place for quick reference in the event a question arises.

The following two manuals, including this one, are provided as manuals for the PZ4000.

Manual Name	Manual No.	Description
PZ4000 Power Analyzer User's Manual	IM 253710-01E	This manual. Explains all functions and procedures of the PZ4000 excluding the communication functions.
PZ4000 Power Analyzer Communication Interface User's Manual	IM 253710-11E	Explains the communication functions of the GP-IB and serial interfaces.

## Notes

- The contents of this manual are subject to change without prior notice as a result of continuing improvements to the instrument's performance and functions. The figures given in this manual may differ from the actual screen.
- Every effort has been made in the preparation of this manual to ensure the accuracy of its contents. However, should you have any questions or find any errors, please contact your nearest YOKOGAWA dealer.
- Copying or reproducing all or any part of the contents of this manual without YOKOGAWA's permission is strictly prohibited.

## Trademarks

- MS-DOS is a registered trademark of Microsoft Corporation.
- PostScript is a registered trademark of Adobe Systems Incorporated.
- Other company and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

## Revisions

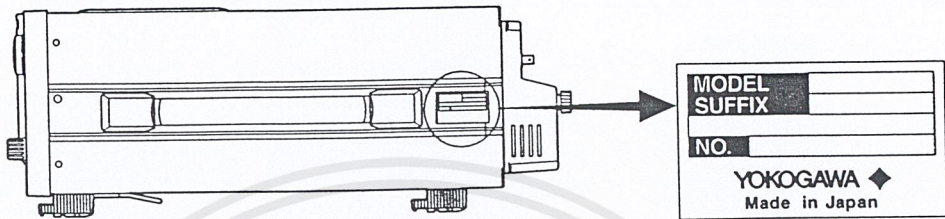
- First edition : April 1999

## Checking the Contents of the Package

Unpack the box and check the contents before operating the instrument. If some of the contents are not correct or missing or if there is physical damage, contact the dealer from which you purchased them.

### PZ4000 Main Unit

Check that the model name and suffix code given on the name plate on the side panel match those on the order.



#### MODEL and SUFFIX codes

Model Code	Suffix Code	Specifications
253710		100 to 120 / 200 to 240 VAC The input module is not included with the main unit. For information on the input module, see page iii.
Power cord	-D	UL/CSA Standard Power Cord (Part No. : A1006WD) [Maximum rated voltage : 125 V, Maximum rated current : 7 A]
	-F	VDE Standard Power Cord (Part No. : A1009WD) [Maximum rated voltage : 250 V, Maximum rated current : 10 A]
	-Q	BS Standard Power Cord (Part No. : A1054WD) [Maximum rated voltage : 250 V, Maximum rated current : 10 A]
	-R	SAA Standard Power Cord (Part No. : A1024WD) [Maximum rated voltage : 240 V, Maximum rated current : 10 A]
Options	/M1	Extend memory to 1 Mword/CH*
	/M3	Extend memory to 4 Mword/CH*
	/B5	Built-in printer
	/C7	SCSI

\* Only one of the options, /M1 or /M3, can be selected.

Ex : For UL/CSA standard power cord, 4 Mword/CH memory extension, built-in printer, and SCSI : 253710-D/M3/B5/C7

#### NO. (Instrument No.)

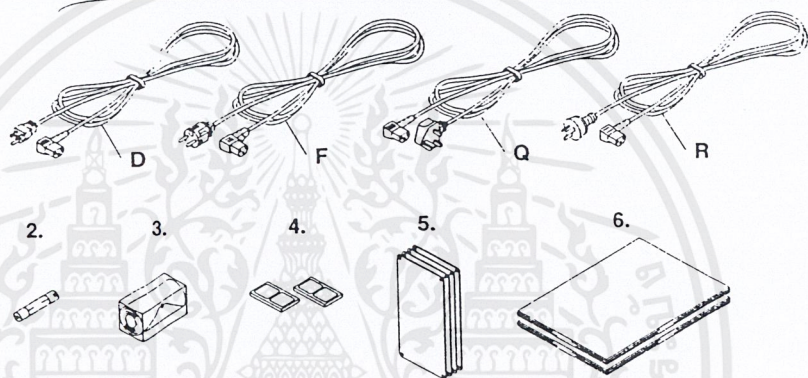
When contacting the dealer from which you purchased the instrument, please quote the instrument No.

## Standard Accessories for the PZ4000

The following standard accessories are supplied with the instrument.

Part Name	Part Number	Q'ty	Notes
1. Power cord	See previous page	1	-
2. Spare power fuse	A1354EF	1	250 V, 6.3 A, time lag (Attached to the fuse holder)
3. Printer roll paper	B9850NX	1	For the built-in printer (Only provided with option /B5.)
4. Rubber feet	A9088ZM	2	Two pieces in one set. Two sets provided.
5. Cover plate	B9315DC	4	-
6. • User's Manual • Communication Interface User's Manual	IM 253710-01E IM 253710-11E	1 1	This manual -

1. (one of the following power cords is supplied according to the instrument's suffix codes.)



### Input Module (Sold Separately)

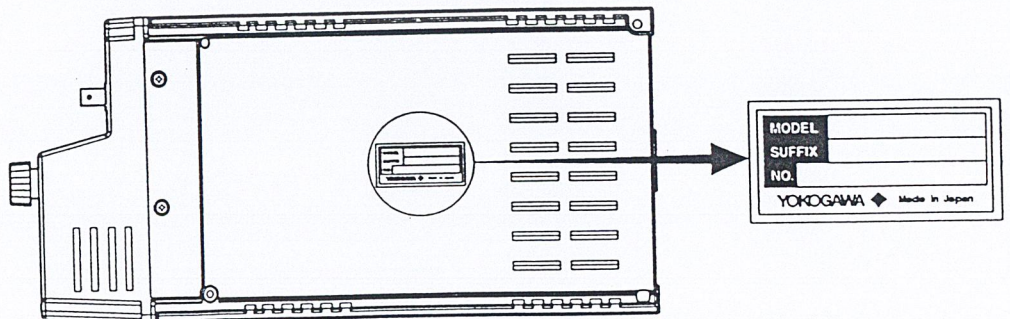
Check that the model name given on the name plate on the input module matches that on the order.

#### Power measurement module

Model Code	Suffix Code	Specifications
253751		Voltage 1000 V / current 5 A / current sensor 500 mV
253752		Voltage 1000 V / current 5 A & 20 A / current sensor 500 mV
Module specification	-E1	Plug-in unit

• Install the power measurement modules in order, starting with the slot for element 1.

Ex : For a power measurement module with Voltage 1000 V / current 5 A / current sensor 500 mV : 253751-E1



### Standard Accessories for the Input Module

The following standard accessories are supplied with the input module.

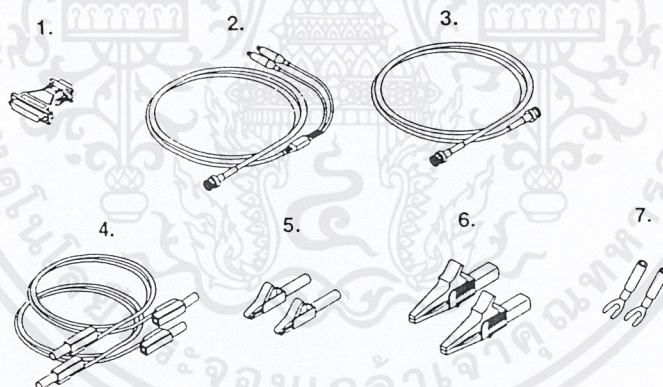
Part Name	Part Number	Q'ty	Notes
External sensor cable	B9284LK	1	Provided with the 253751 and 253752



### Optional Accessories (Sold Separately)

The following optional accessories are available for purchase separately.

Part Name	Part Number	Q'ty	Notes
1. Serial port adapter	366971	1	9 pin <sup>1</sup> -to-25 pin <sup>2</sup> adapter *1 EIA-574 Standard *2 EIA-232 Standard (RS-232)
2. BNC-alligator clip measurement lead	366926	1	42 V or less, length 1 m
3. BNC-BNC measurement lead	366924	1	42 V or less, length 1 m
	366925	1	42 V or less, length 2 m
4. Measurement lead	758917	1	Two leads in one set, used with the separately sold adapter 758922 or 758929, length 0.75 m, ratings 1000 Vrms
5. Alligator clip adapter set	758922	1	Two pieces in one set, for the measurement lead 758917. Rated voltage 300 V
6. Alligator clip adapter set	758929	1	Two pieces in one set, for the measurement lead 758917. Rated voltage 1000 V
7. Fork terminal adapter set	758921	1	Two pieces in one set, for the measurement lead 758917. Rated current 25 A



### Spare Parts (Sold Separately)

The following spare parts are available.

Part Name	Part Number	Q'ty	Notes
1. Printer roll paper	B9850NX	5	One roll is one set, thermal-sensitive paper, total length 30 m
2. Power fuse	A1354EF	2	250 V, 6.3 A, time lag


#### Note

We recommend you keep the packing box. The box is useful when you need to transport the instrument.


## Safety Precautions


The following general safety precautions must be observed during all phases of operation. If the instrument is used in a manner not specified in this manual, the protection provided by the instrument may be impaired. YOKOGAWA Electric Corporation assumes no liability for the customer's failure to comply with these requirements.

The following symbols are used on this instrument.


 "Handle with care." To avoid injury, death of personnel or damage to the instrument, the operator must refer to the explanation in the User's Manual or Service Manual.


 Earth

 Both direct and alternating current

 ON (power)

 OFF (power)

 In-position of a bistable push control

 Out-position of a bistable push control

**Make sure to comply with the following safety precautions. Not complying might result in injury, death of personnel.**

## WARNING

### Power Supply

Ensure that the source voltage matches the voltage of the power supply before turning ON the power.

### Power Cord and Plug

To prevent an electric shock or fire, be sure to use the power cord supplied by YOKOGAWA. The main power plug must be plugged into an outlet with a protective earth terminal. Do not invalidate protection by using an extension cord without protective grounding.

### Protective Grounding

Make sure to connect the protective grounding to prevent electric shock before turning ON the power.

### Necessity of Protective Grounding

Never cut off the internal or external protective earth wire or disconnect the wiring of the protective earth terminal. Doing so poses a potential shock hazard.

### Defect of Protective Grounding and Fuse

Do not operate the instrument when the protective earth or the fuse might be defective. Also, make sure to check them before operation.

### Fuse

To prevent fire, only use a fuse that has a rating (voltage, current, and type) that is specified by the instrument. When replacing a fuse, turn OFF the power switch and unplug the power cord. Never short the fuse holder.

### Do Not Operate in Explosive Atmosphere

Do not operate the instrument in the presence of flammable liquids or vapors. Operation of any electrical instrument in such an environment constitutes a safety hazard.

### Do Not Remove Covers

Some areas inside the instrument have high voltages. Do not remove the cover if the power supply is connected. The cover should be removed by YOKOGAWA's qualified personnel only.

### External Connection

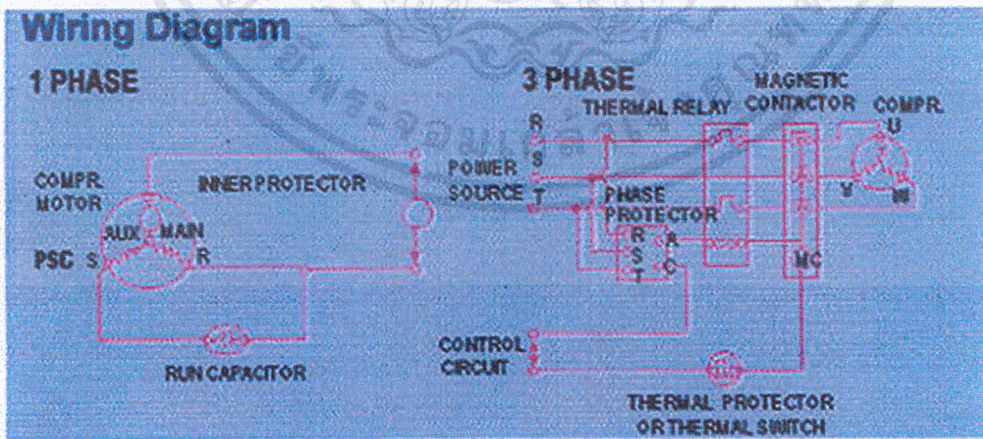
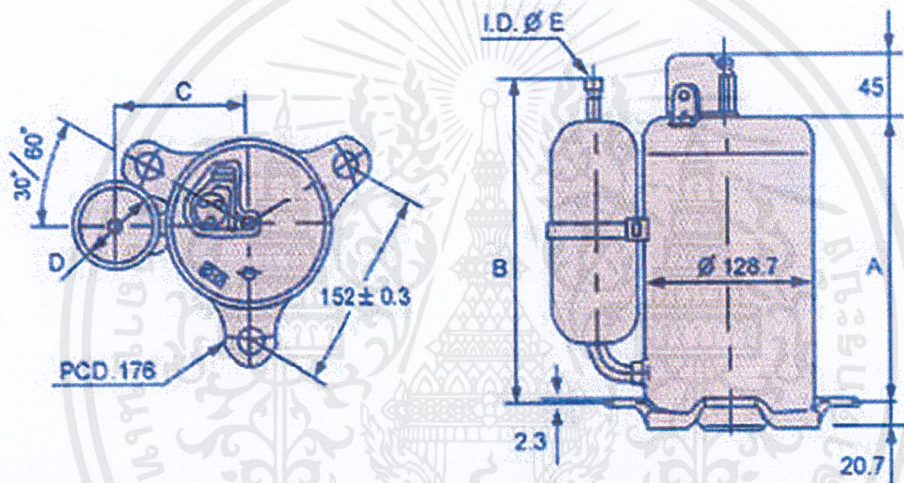
Connect the protective grounding before connecting to the item under measurement or control unit.

ภาคผนวก ข.

ขนาดห้องที่ใช้ในการทดสอบ

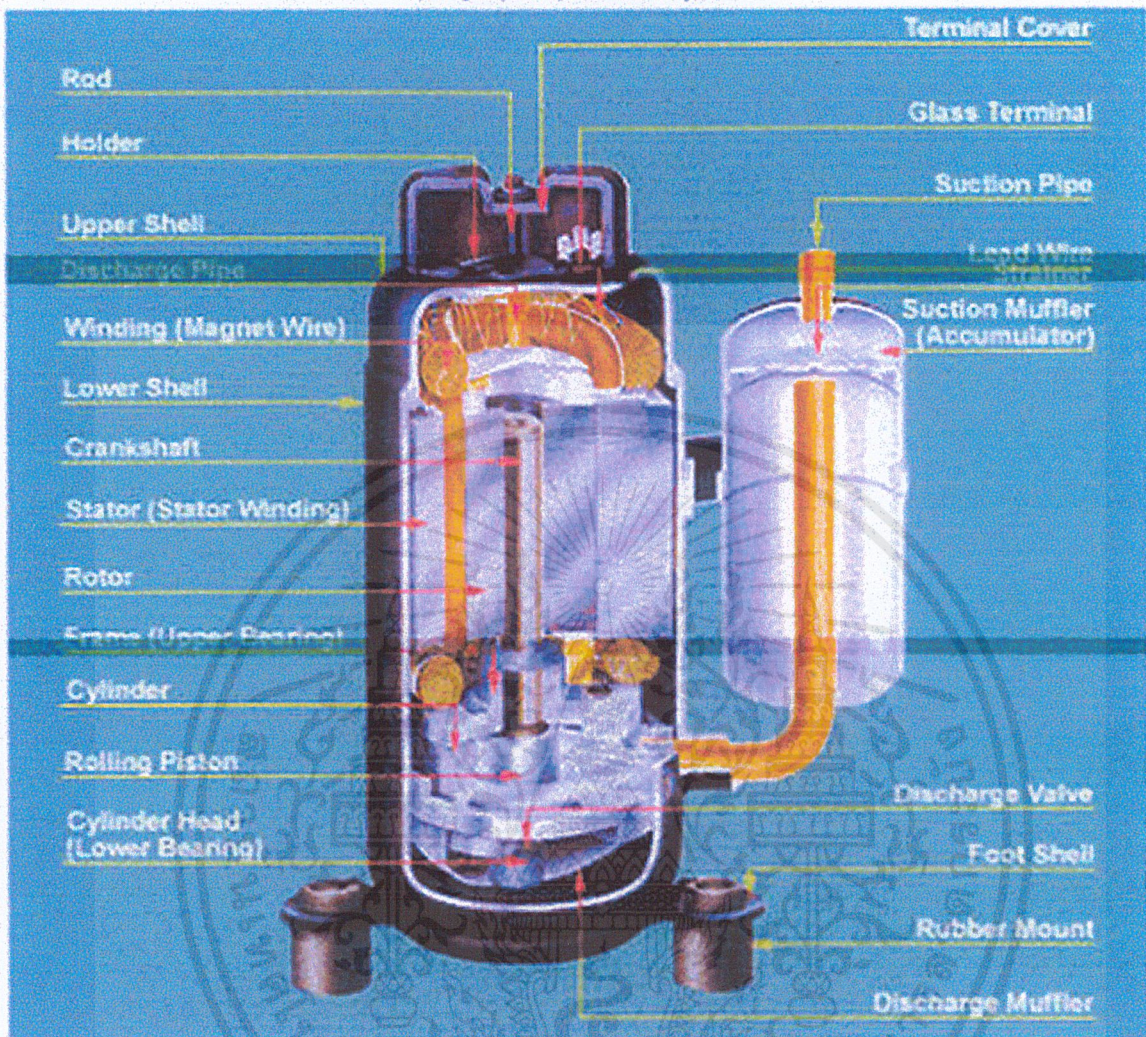
กว้าง	2.5	เมตร
ยาว	5.00	เมตร
สูง	2.5	เมตร
ลักษณะผนังห้อง	เป็นผนังไม้อัด	
ลักษณะเพดาน	เป็นฝ้ายิปซัม	

มอเตอร์คอมเพรสเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pic8\_compras (481x168x29.gif)



### ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ

Model SIMSAk II 012

พิกัดแรงดัน 220 V , 1 Phase , 50 Hz

พิกัดกระแส 6.2 A

พิกัดกำลัง 1,290 W

ขีดความสามารถทำความเย็น 13,000 BTU/Hr

Nominal Capacity 3.8 kW

Refrigerant R-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

ข้อมูลเกี่ยวกับ AT89C52 , PIT 8253 , AS IPM เบอร์ PS11036.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

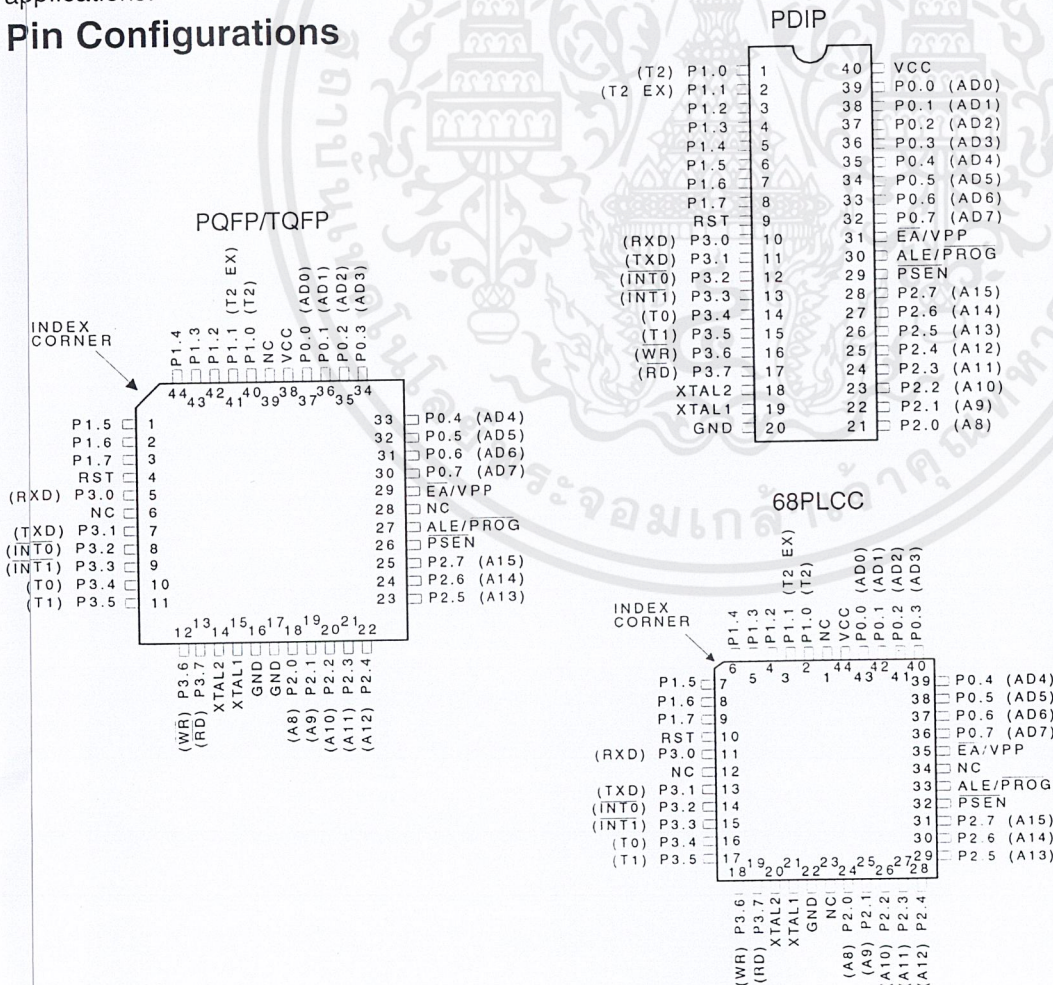
- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 256 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-Bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

## Description

The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

(continued)

## Pin Configurations



# 8-Bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

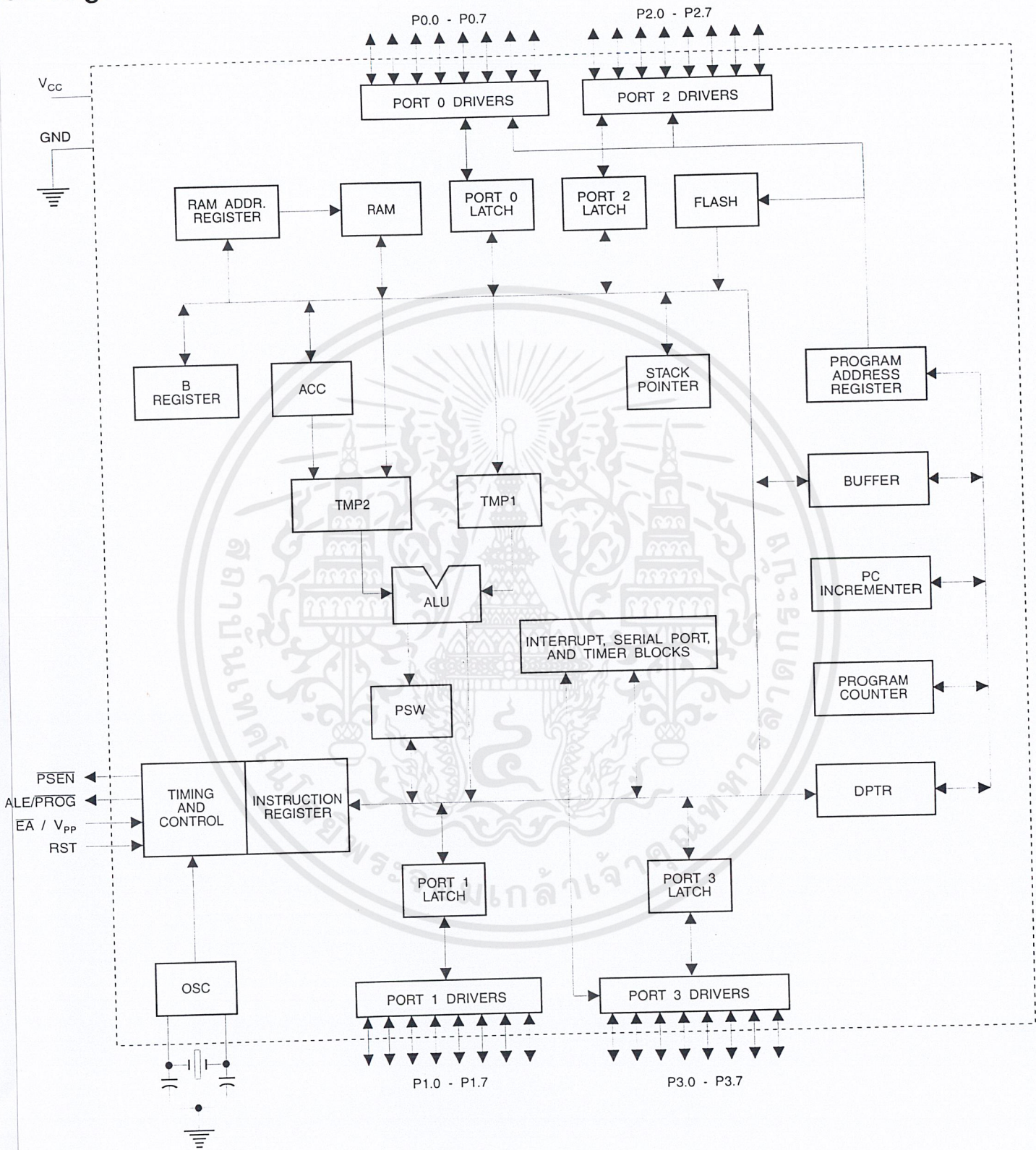
## AT89C52

0313F-A-12/97

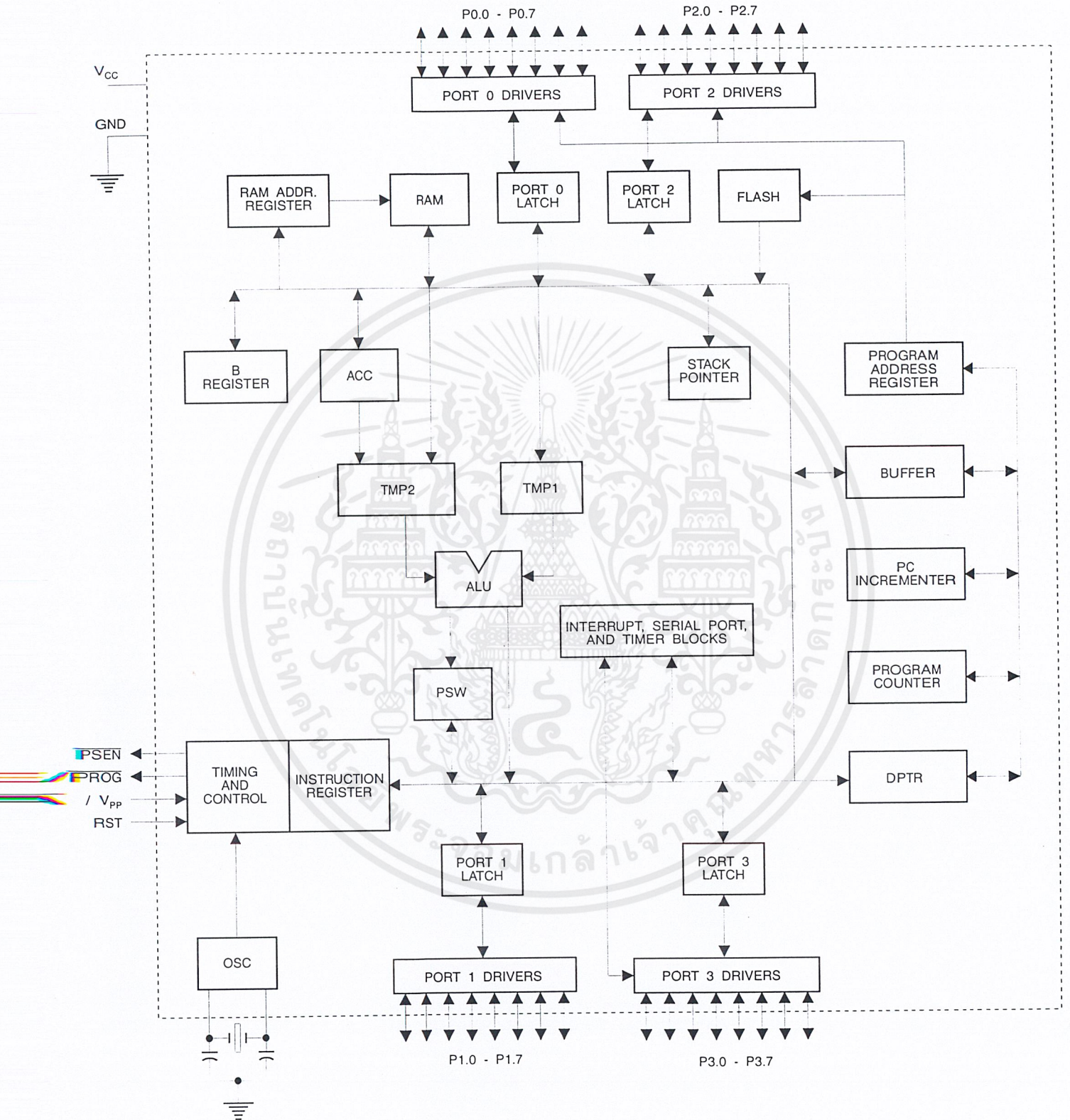


Atmel ไม่นับญาติให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Block Diagram



# Diagram





The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

## Pin Description

**V<sub>CC</sub>**  
Supply voltage.

**GND**  
Ground.

**Port 0**  
Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

**Port 1**  
Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

**Port 2**  
Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

**Port 3**  
Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

**RST**  
Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

**ALE/PROG**  
Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE



**The 8253 data sheets are list in the following:**

## **Functional Description**

### **General**

The 8253 is a programmable Interval timer/counter specifically designed for use with the Intel Micro computer systems. Its function is that of a general purpose, multi-timing element that can be treated as an array of I/O ports in the system software.

The 8253 solves one of the most common problems any microcomputer system. The generation of accurate time delay under software control. Instead of selling up timing loops in systems software. The programmer configures the 8253 to match his requirements. Initializes one of the counters of the 8253 with the desired quantity, then upon command the 8253 will count-out the delay and interrupt the CPU when it has completed its tasks. It is easy to see that the software overhead is minimal and that multiple delays can easily be maintained by assignment of priority levels.

Other counter/timer functions that are non-delay in nature but also common to most microcomputers can be implemented with the 8253.

- Programmable Rate Generator
- Event Counter
- Binary Rate Multiplier
- Real Time Clock
- Digital One-Shot
- Complex Motor Controller

### **Data Bus Buffer**

This 3-state, be directional,8-bit buffer is used to interface the 8253 to the systems data bus. Data is transmitted or received by the buffer upon execution of Input and Output CPU instructions. The Data Bus Buffer has three basic functions.

1. Programming the MODES of the 8253
2. Loading the count registers
3. Reading the count values

### **Read/Write Logic:**

The Read/Write Logic accepts inputs from the system bus and in turn generates control signals for overall device operation. It is enabled by CS so that no operation can occur to change the function unless the device has been selected by the system logic.

#### **RD (Read)**

A “low” on this input informs the 8253 that the CPU is inputting data in the form of a counters value.

#### **WR (Write)**

A “low” on this input informs the 8253 that the CPU is outputting data in the form of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mode information or loading counters.

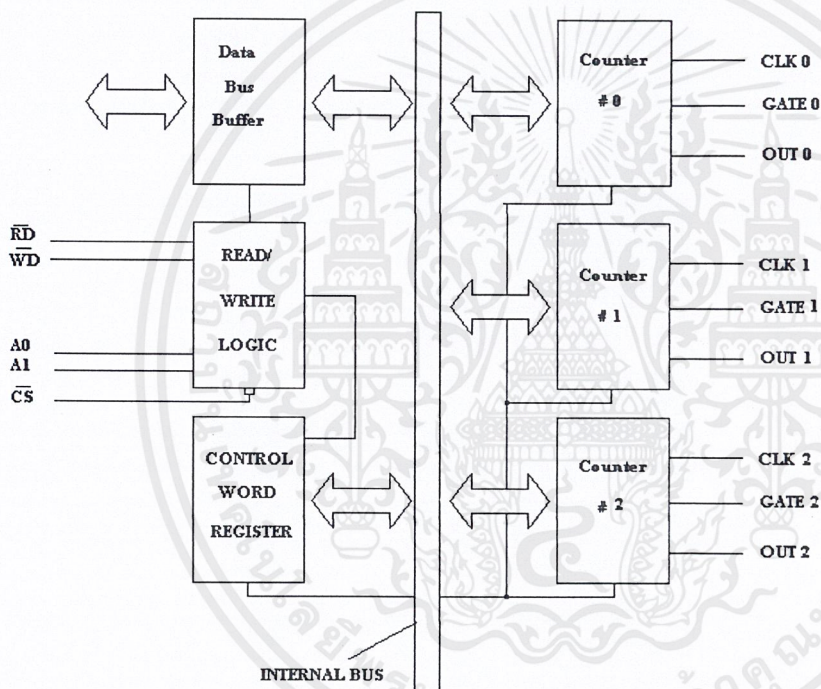
### AO,A1

This inputs are normally connected to the address bus.

Their function is to select one of the three counters to be operated on and to address the control word register for mode selection.

### CS (Chip Select)

A 'low' on this input enables the 8253 . No reading or writing will occur unless the device is selected. The CS Input has no effect upon the actual operation of the counters.



$\overline{CS}$	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	$A_1$	$A_0$	
0	1	0	0	0	Load Counter No. 0
0	1	0	0	1	Load Counter No. 1
0	1	0	1	0	Load Counter No. 2
0	1	0	1	1	Write Mode Word
0	0	1	0	0	Read Counter No. 0
0	0	1	0	1	Read Counter No. 1
0	0	1	1	0	Read Counter No. 2
0	0	1	1	1	No Operation 3-State
1	X	X	X	X	Disable 3 State

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	1	1	X	X	No Operation 3-State
---	---	---	---	---	----------------------

### Control Word Register

The Control Word Register is selected when AO.A1 are 11 then accepts information from the data bus buffer and stores it in a register. The information stored in this register controls the operational NODE of each counter, selection of binary or BCD counting and the loading of each count register.

The Control Word Register can only be written into no. read operation of its contents is available.

### Counter #0, Counter #1, Counter #2

These three functional blocks are identical in operation so only a single Counter will be described. Each Counter consists of a single 16.bit,pre-sellable DOWN counter. The counter can operate in either binary or BCD and its input, gate and output are configured by the selection of MODES stored in the Control Word Register.

The counters are fully independent and each can have separate Mode configuration and counting operation, binary or BCD. Also there are special features in the control word that handle the loading of the count value so that software overhead can be minimized for these functions.

The reading of the contents of each counter is available to the programmer with simple READ operations for event counting applications and special commands and logic are included in the 8253 so that the contents of each counter can be read “on the fly” without having to inhibit the clock input.

### 8253 SYSTEMS INTERFACE

The 8253 is a component of the Intel-Microcomputer Systems and Interfaces in the same manner as all other peripherals of the family. It is treated by the systems software as an array of peripheral I/O ports: three are counters and the fourth is a control register for MODE programming.

Basically, the select Inputs AO, A1 connect to the AO, A1 connect to the A0, A1 address bus signals of the CPU. The CS can be derived directly from the address bus using a linear select method or it can be connected to the output of a decoder, such as an Intel 8205 for larger systems.

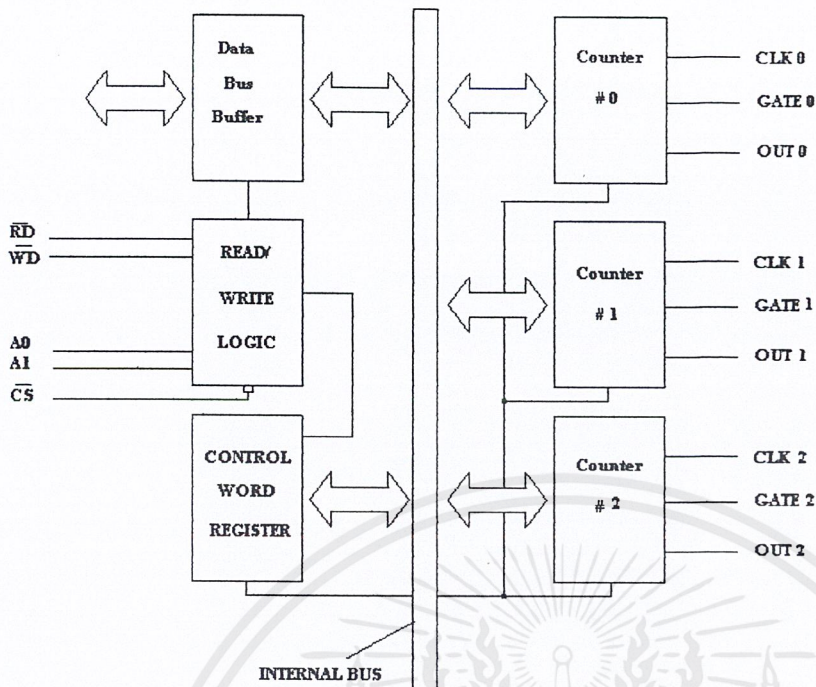


Figure 4. Block Diagram Showing Control Word and Register and Counter Functions

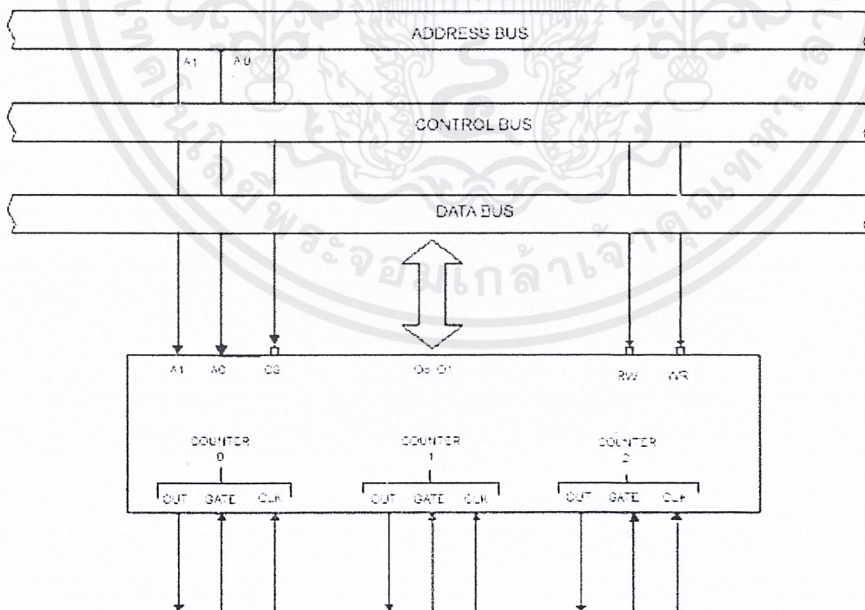


Figure 5. 8253 System Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## OPERATIONAL DESCRIPTION

### General

The complete functional definition of the 8253 is programmed by the systems software. A set of control words must be sent out by CPU to initialize each counter of the 8253 with the desired MODE and quantity Information. Prior to Initialization. The MODE count, and output of all counters is undefined. These control words program the MODE, Loading sequence and selection of binary or BCD counting.

Once programmed, the 8253 is ready to perform whatever timing tasks it is assigned to accomplish.

The actual counting operation of each counter is on-chip so that the usual problems associated with efficient monitoring and management of external asynchronous events or rates 10 the microcomputer systems have been eliminated.

### Programming the 8253

All of the MODES for each counter are programmed by the systems software by simple I/O operations.

Each counter of the 8253 is individually programmed by writing a control word into the Control Word Register. (A0,A1=1I)

### Control Word Format

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
SC1	SC0	RL1	RL0	M2	M1	M0	BCD		

### Definition of Control

#### SC – Select Counter

SC1	SC0	
0	0	Select Counter 0
0	1	Select Counter 1
1	0	Select Counter 2
1	1	Illegal

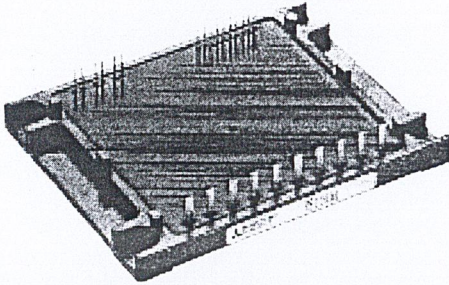
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notice: This is not a final specification.  
Some parametric limits are subject to change.

# PS11036

FLAT-BASE TYPE  
INSULATED TYPE

## PS11036



### INTEGRATED FUNCTIONS AND FEATURES

- Converter bridge for 3 phase AC-to-DC power conversion.
- 3 phase IGBT inverter bridge configured by the latest 3rd. generation IGBT and diode technology.
- Inverter output current capability  $I_O$  (Note 1):

Type Name	Motor Rating	$I_O$ (100%)	$I_O$ (150%; 60sec)
PS11036	2.2 kW/200V AC	11.0Arms	16.5Arms

(Note 1) : The inverter output current is assumed to be sinusoidal and the peak current value of each of the above loading cases is defined as :  $I_{OP} = I_O \times \sqrt{2}$ ,  $T_C < 100^\circ\text{C}$

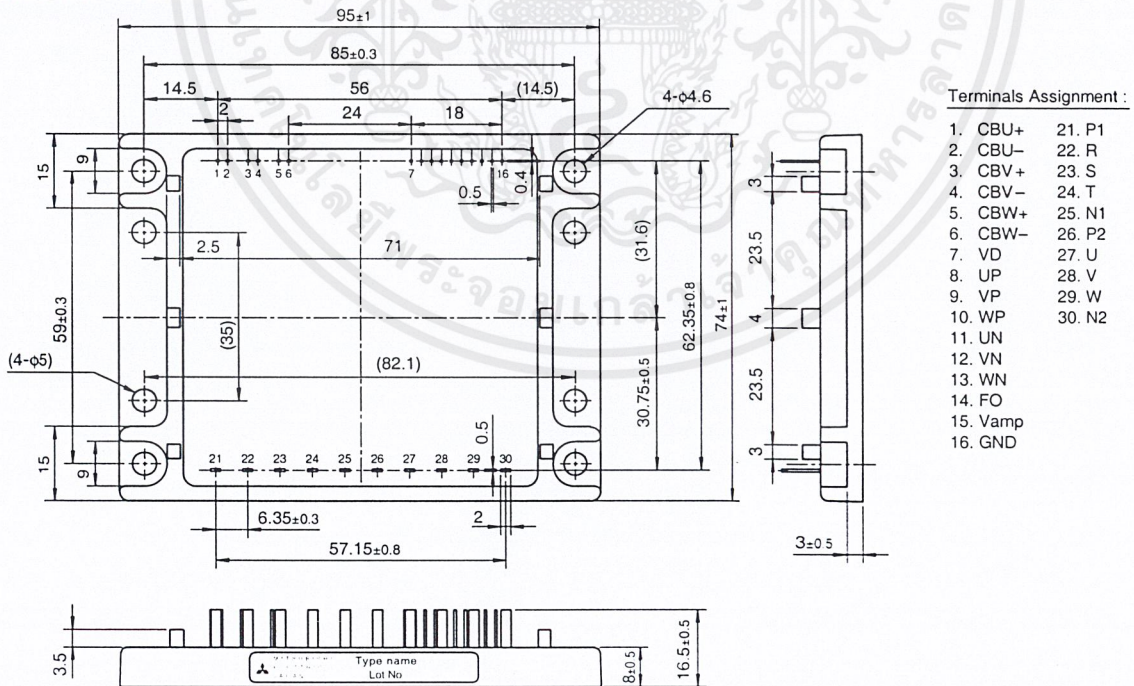
### INTEGRATED DRIVE, PROTECTION AND SYSTEM CONTROL FUNCTIONS:

- P-Side IGBTs : Drive circuit, high-level-shift circuit, bootstrap circuit supply scheme for Single Control-Power-Source drive, and under voltage (UV) protection.
- N-Side IGBTs : Drive circuit, DC-Link current sense and amplifier circuits for overcurrent protection, control-supply under-voltage protection (UV), and fault output (Fo) signaling circuit.
- Fault Output : N-side IGBT short circuit (SC), over-current (OC), and control supply under-voltage (UV).
- Inverter Analog Current Sense : N-Side IGBT DC-Link Current Sense.
- Input Interface : 5V CMOS/TTL compatible, Schmitt Trigger input, and Arm-Shoot-Through interlock protective function.

## APPLICATION

Acoustic noise-less 2.2kW/200V AC Class 3 phase inverters, motor control applications, and motors with built-in small size inverter package

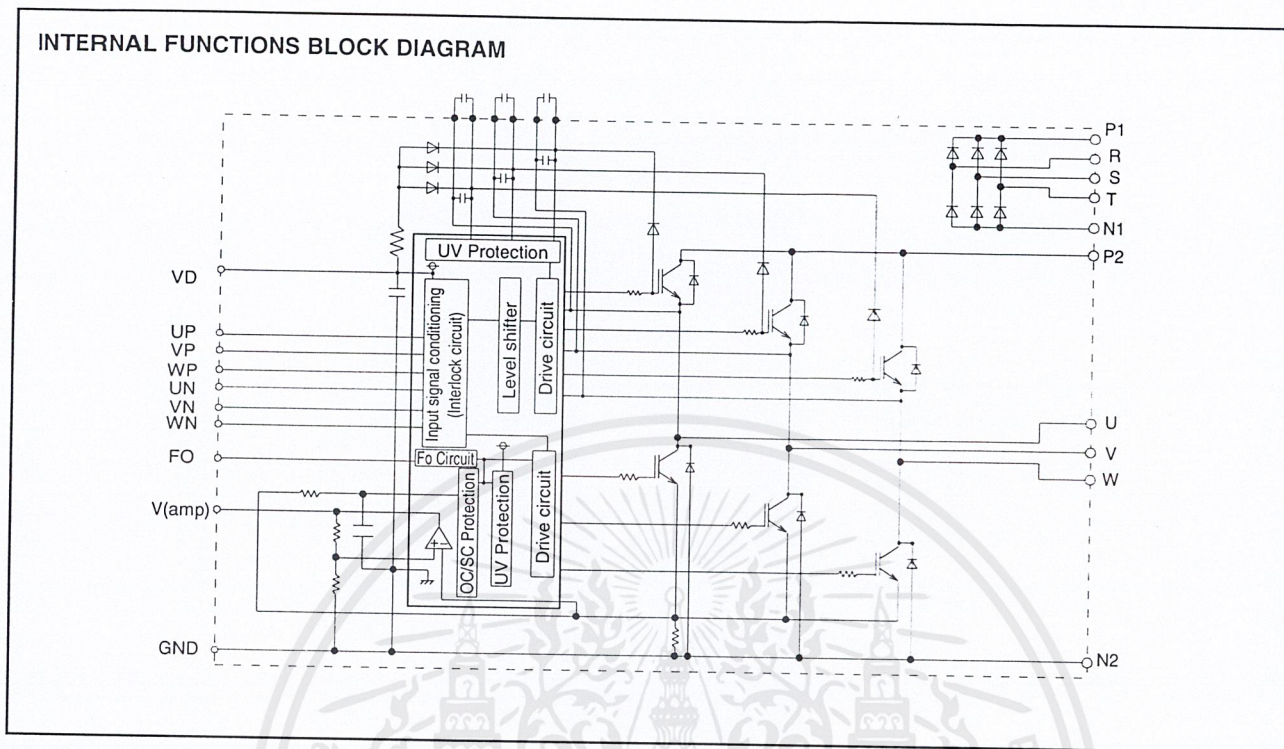
### PACKAGE OUTLINES



(Fig. 1)

**PRELIMINARY**  
Notice: This is not a final specification.  
Some parametric limits are subject to change.

**INTERNAL FUNCTIONS BLOCK DIAGRAM**



(Fig. 2)

**MAXIMUM RATINGS (Tj = 25°C)**

**INVERTER PART**

Symbol	Item	Condition	Ratings	Unit
VCC	Supply voltage	Applied between P2-N2	450	V
VCC(surge)	Supply voltage (surge)	Applied between P2-N2, Surge-value	500	V
VP or VN	Each IGBT collector-emitter static voltage	Applied between P2-U.V.W, U.V.W-N2	600	V
VP(S) or VN(S)	Each IGBT collector-emitter switching voltage	Applied between P2-U.V.W, U.V.W-N2 (Pulse)	600	V
±Ic(±Icp)	Each IGBT collector current	Tc = 25°C, "( )" means Ic peak value	±30 (±60)	A

**CONVERTER PART**

Symbol	Item	Condition	Ratings	Unit
VRRM	Repetitive peak reverse voltage		800	V
Ea	Recommended AC input voltage		220	Vrms
Io	DC output current	3φ rectifying circuit	30	A
IFSM	Surge (non-repetitive) forward current	1 cycle at 60Hz, peak value non-repetitive	300	A
I²t	I²t for fusing	Value for one cycle of surge current	375	A²s

**CONTROL PART**

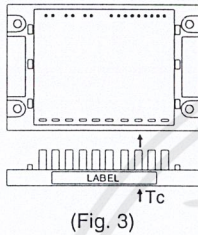
Symbol	Item	Ratings	Unit
VD, VDB	Supply voltage	-0.5 ~ 20	V
Vin	Input signal voltage	-0.5 ~ +7.5	V
VFO	Fault output supply voltage	-0.5 ~ +7.5	V
Ifo	Fault output current	15	mA
Iamp	DC-Link IGBT current signal Amp output current	10	mA

**TOTAL SYSTEM**

Symbol	Item	Condition	Ratings	Unit
T <sub>j</sub>	Junction temperature	(Note 2)	-20 ~ +125	°C
T <sub>stg</sub>	Storage temperature	—	-40 ~ +125	°C
T <sub>c</sub>	Module case operating temperature	(Fig. 3)	-20 ~ +100	°C
Viso	Isolation voltage	60 Hz sinusoidal AC applied between all terminals and the base plate for 1 minute.	2500	V <sub>rms</sub>
—	Mounting torque	Mounting screw: M4	0.98 ~ 1.47	N·m

(Note 2) : The indicated values are specified considering the safe operation of all the parts within the ASIPM. The max. ratings for the ASIPM power chips (IGBT & FWDi) is T<sub>j</sub> < 150.

**CASE TEMPERATURE MEASUREMENT POINT**



**THERMAL RESISTANCE**

Symbol	Item	Condition	Ratings			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Rth(jc)Q	Junction to case Thermal Resistance	Inverter IGBT (1/6)	—	—	1.5	°C/W
Rth(jc)F		Inverter FWDi (1/6)	—	—	2.4	°C/W
Rth(jc)FR		Converter Di (1/6)	—	—	2.0	°C/W
Rth(cf)	Contact Thermal Resistance	Case to fin thermal, grease applied (1 Module)	—	—	0.042	°C/W

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>j</sub> = 25°C, V<sub>D</sub> = 15V, V<sub>DB</sub> = 15V unless otherwise noted)**

Symbol	Item	Condition	Ratings			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
V <sub>CE(sat)</sub>	Collector-emitter saturation voltage	T <sub>j</sub> = 25°C, Input = ON, I <sub>c</sub> = 30A, V <sub>D</sub> = V <sub>DB</sub> = 15V (Shunt voltage drop not included)	—	—	2.9	V
V <sub>EC</sub>	FWDi forward voltage	T <sub>j</sub> = 25°C, I <sub>F</sub> = 30A	—	—	2.9	V
V <sub>FR</sub>	Converter diode voltage	T <sub>j</sub> = 25°C, I <sub>FR</sub> = 10A	—	—	1.5	V
I <sub>RRM</sub>	Converter diode reverse current	V <sub>R</sub> = V <sub>RRM</sub> , T <sub>j</sub> = 125°C	—	—	8	mA
ton	Switching times	1/2 Bridge inductive, Input = 5V ↔ 0V V <sub>CC</sub> = 300V, I <sub>c</sub> = 30A, T <sub>j</sub> = 125°C V <sub>D</sub> = 15V, V <sub>DB</sub> = 15V Note: ton, toff include delay time of the internal control circuit.	0.3	0.6	1.5	μs
tc(on)			—	0.5	1.0	μs
toff			—	1.6	2.5	μs
tc(off)			—	0.5	1.2	μs
trr	FWDi reverse recovery time		—	0.12	—	μs
Short circuit endurance (Output, Arm, and Load Short Circuit Modes)		@ V <sub>CC</sub> ≤ 400V, Input = 5V → 0V (One-Shot) -20°C ≤ T <sub>j</sub> (start) ≤ 125°C, 13.5V ≤ V <sub>D</sub> = V <sub>DB</sub> ≤ 16.5V	<ul style="list-style-type: none"> <li>No destruction</li> <li>Fo output by protection operation</li> </ul>			
Switching SOA		@ V <sub>CC</sub> ≤ 400V, Input = 5V ↔ 0V, T <sub>j</sub> ≤ 150°C I <sub>c</sub> < SC trip level, 13.5V ≤ V <sub>D</sub> = V <sub>DB</sub> ≤ 16.5V	<ul style="list-style-type: none"> <li>No destruction</li> <li>No protecting operation</li> <li>No Fo output</li> </ul>			

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_D = 15\text{V}$ ,  $V_{DB} = 15\text{V}$  unless otherwise noted)

Symbol	Item	Condition	Ratings			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
$I_D$	Circuit current (Average)	$T_j = 25^\circ\text{C}$ , $V_D = 15\text{V}$ , $V_{in} = 5\text{V}$	—	—	50	mA
$I_{DB}$	Circuit current (Average)	$T_j = 25^\circ\text{C}$ , $V_D = V_{DB} = 15\text{V}$ , $V_{in} = 5\text{V}$	—	—	5	mA
$V_{th(on)}$	Input on threshold voltage		0.8	1.4	2.0	V
$V_{th(off)}$	Input off threshold voltage		2.5	3.0	4.0	V
$R_i$	Input pull-up resistor	Applied between input terminal- $V_D$	—	50	—	k $\Omega$
$f_{PWM}$	PWM input frequency	$T_c \leq 100^\circ\text{C}$ , $T_j \leq 125^\circ\text{C}$	1	—	15	kHz
$t_{dead}$	Arm shoot-through blocking time	Relates to corresponding inputs $T_c = -20^\circ\text{C} \sim +100^\circ\text{C}$ (Note 3)	2.2	—	—	$\mu\text{s}$
$t_{int}$	Input interlock sensing	Relates to corresponding input (Fig. 6)	—	100	—	ns
$V_{amp(100\%)}$	Inverter DC-Link IGBT current sense voltage output signal	$I_C = I_{OP(100\%)}$   $V_D = 15\text{V}$	1.5	2.0	2.5	V
$V_{amp(200\%)}$		$I_C = I_{OP(200\%)}$   $T_j = 25^\circ\text{C}$ (Fig. 4)	3.0	4.0	5.0	V
$V_{amp(250\%)}$	Inverter DC-Link IGBT current sense voltage output limit	$V_D = 15\text{V}$   $I_C = I_{OP(250\%)}$	5.0	—	—	V
$V_{amp(0)}$		(Fig. 4)   $I_C = 0\text{A}$	—	50	100	mV
$OC$	Over current trip level	$T_j = 25^\circ\text{C}$ , $I_C = I_{OP(250\%)}$ (Fig. 5)	31.1	39.0	60.0	A
$t_{OC}$	Over current delay time	$T_j = 25^\circ\text{C}$ (Fig. 5)	—	10	—	$\mu\text{s}$
$SC$	Short circuit trip level	$T_j = 25^\circ\text{C}$ (Fig. 5)	—	60	—	A
$t_{SC}$	Short circuit delay time	$T_j = 25^\circ\text{C}$ (Fig. 5)	—	2	—	$\mu\text{s}$
$UV_D$	Supply circuit under voltage protection	$V_{DUV}$ trip level	11.0	12.0	13.0	V
$UV_{Dr}$		$V_{DUV}$ reset level	11.5	12.5	13.5	V
$UV_{DB}$		$V_{DBUV}$ trip level	10.1	10.8	11.6	V
$UV_{DBr}$		$V_{DBUV}$ reset level	10.6	11.3	12.1	V
$t_{dV}$		UV delay time	—	10	—	$\mu\text{s}$
$t_{FO}$	Fault output pulse width	$T_j = 25^\circ\text{C}$ (Note 4)	1.0	1.8	—	ms
$I_{FO(H)}$	Fault output current	Open drain output (Note 4)	—	—	1	$\mu\text{A}$
$I_{FO(L)}$			—	—	15	mA

(Note 3) : The dead-time has to be set externally by the CPU; it is not part of the ASIPM internal functions.

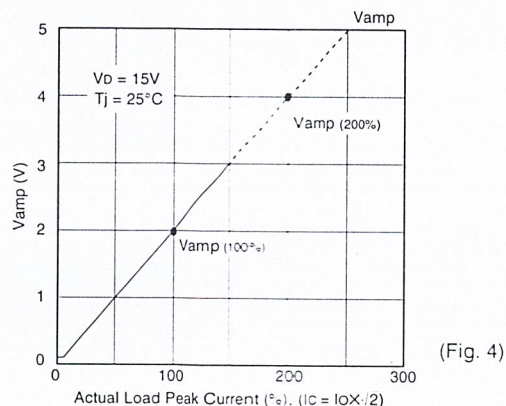
(Note 4) : Fault output signaling is given only when the internal OC, SC, & UV protection circuits are activated.

The OC, SC and UV protection (and fault output) operate for the lower arms only. The OC and SC protection Fault output is given in a pulse format while that of UV protection is maintained throughout the duration of the under-voltage condition.

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

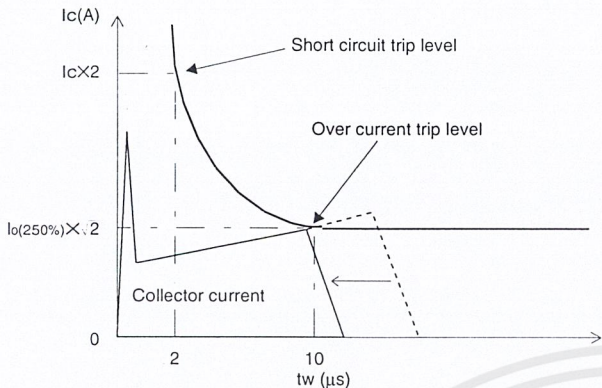
Symbol	Item	Condition	Ratings			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
$V_{CC}$	Supply voltage	Applied across P2-N2 terminals	—	300	400	V
$V_D$	Supply voltage	Applied between $V_D$ -GND	13.5	15.0	16.5	V
$V_{DB}$	Supply voltage	Applied between $CBU+$ & $CBU-$ , $CBV+$ & $CBV-$ , $CBW+$ & $CBW-$	13.5	15.0	16.5	V
$\Delta V_D, V_{DB}$	Supply voltage ripple		-1	—	+1	V/ $\mu\text{s}$
$V_{CIN(ON)}$	Input on voltage	Applied between $UP \cdot VP \cdot WP \cdot UN \cdot VN \cdot WN$ and GND	0	—	0.8	V
$V_{CIN(OFF)}$	Input off voltage		4.0	—	5.0	V
$t_{dead}$	Arm shoot-through blocking time	Relates to corresponding inputs	2.2	—	—	$\mu\text{s}$
$T_c$	Module case operating temperature		—	—	100	$^\circ\text{C}$
$f_{PWM}$	PWM Input frequency	$T_c \leq 100^\circ\text{C}$ , $T_j \leq 125^\circ\text{C}$	—	—	15	kHz
$t_{XX}$	Allowabel minimum input on-pulse width		1	—	—	$\mu\text{s}$

**INVERTER DC-LINK IGBT CURRENT ANALOGUE SIGNALING OUTPUT (TYPICAL)**



**PRELIMINARY**  
Notice: This is not a final specification.  
Some parametric limits are subject to change.

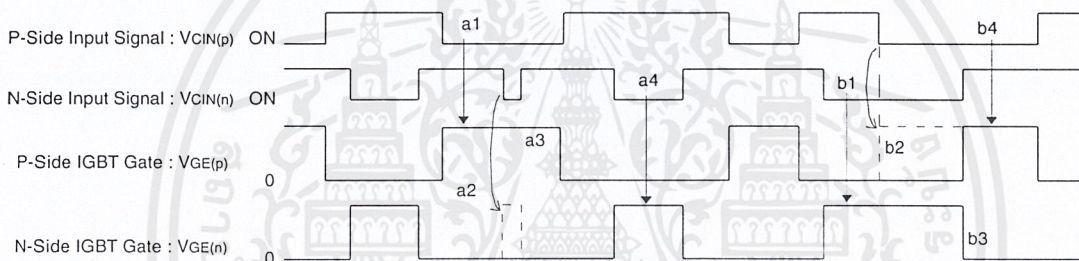
**CURRENT ABNORMALITY PROTECTIVE FUNCTIONS**



(Fig. 5)

Protection is achieved by monitoring and filtering the N-side DC-Bus current. The over-current protection is activated (after allowing a filtering time of 10 μs) when the line current reaches 250% of the rated load-current  $I_o$  (rms). Similarly, the short circuit protection is activated (after allowing a filtering time of 2 μs) when the line current reaches twice the rated collector-current ( $I_c$ ). When a current trip-level is exceeded (OC or SC), all the N-side IGBTs are intercepted (turned OFF) and a fault-signal is output. After the fault-signal output duration (1.8 ms - typ.), the interception is Reset at the following OFF input signal. However, since the fault may be repetitive, it is recommended to stop the system after the fault-signal is received and check the fault. The trip-level settings described above are summarized in the following figure:

**ARM-SHOOT-THROUGH INTER-LOCK PROTECTIVE FUNCTION**



(Fig. 6)

**Description:**

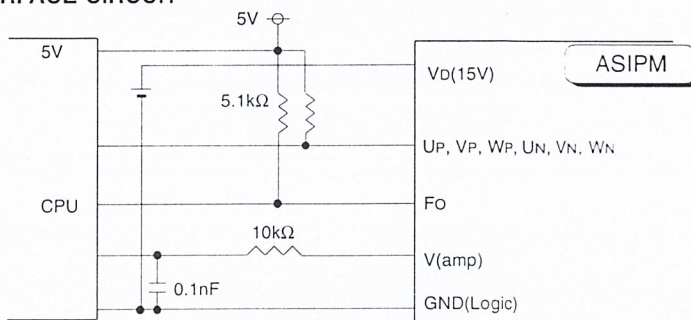
- (1) During the ON-State of either of the upper-arm or the lower-arm IGBT, the inter-lock protection circuit blocks any erroneous ON pulses (resulting from input noise) from triggering the other arm IGBT and thus it prevents the arm-shoot-through situation.
- (2) When two ON-signals are received for both the upper and the lower arms, the signal received first will be passed to the IGBT and the second signal will be blocked. The second signal will be passed to its corresponding IGBT immediately after the first signal is OFF.

**Note:** This protective function provides no fault signaling output. The Dead-Time has to be set using the micro-controller (CPU).

**Operation:**

- a1. P-side normal ON-signal ⇒ P-side IGBT gate turns ON.
- a2. N-side erroneous ON-signal ⇒ N-side IGBT gate remains OFF.
- a3. While P-side ON-signal remains ⇒ P-side IGBT gate remains ON.
- a4. N-side normal ON-signal ⇒ N-side IGBT gate turns ON.
- b1. N-side normal ON-signal ⇒ N-side IGBT gate turns ON.
- b2. Simultaneous ON-signals ⇒ P-side IGBT gate remains OFF.
- b3. N-side receives OFF-signal ⇒ N-side IGBT gate turns OFF.
- b4. Immediately after (b3) ⇒ P-side IGBT gate turns ON.

**RECOMMENDED I/O INTERFACE CIRCUIT**



(Fig. 7)



## กิตติกรรมประกาศ

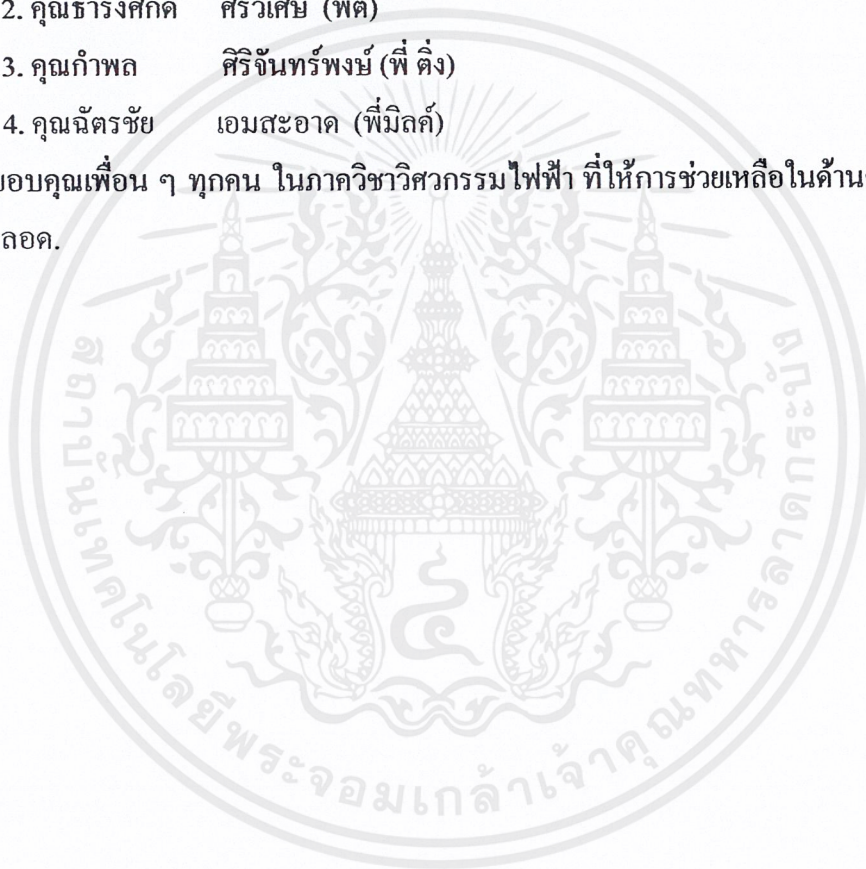
ขอขอบคุณบุคคลต่อไปนี้เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้ และข้อเสนอแนะต่างๆซึ่งโครงการนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้โดย ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้

1. ผศ. ประภาพร ไพรสสุวรรณ
2. อ.สุรินทร์ คำฝอย

และขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

1. คุณชัยทัต มณีอินทร์ (พี่ทัต)
2. คุณธำรงค์ศักดิ์ ศรีวิเศษ (พี่ดี)
3. คุณก้ำพด ศิริจันทร์พงษ์ (พี่ ตัง)
4. คุณฉัตรชัย เอมสะอาด (พี่มิลค์)

และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ที่ผ่านมาโดยตลอด.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, "Power electronics Converter Application and Design" second edition, John Wiley & Sons, Inc. 1995
2. B.K. Bose "Power Electronics and AC Drive", Prentice Hall, New Jersey, 1987
3. สอนง อิมเอม "เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศรถยนต์"
4. รศ. สมยศ จุณณะปิยะ "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51"
5. สุวัฒน์ แซ่คั้น "เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้