

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมความเร็วรอมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย SHEPWM อินเวอร์เตอร์
โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์

INDUCTION MOTOR SPEED CONTROL WITH SHEPWM INVERTER
BASED ON MICROPROCESSOR



นายวิโรจน์ พลนุรักษ์
MR. WIROTE POLNURUK

เลขหมู่
เลขทะเบียน 17538
วัน, เดือน, ปี 10 ก.ค. 2535

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2534

ISBN 974-8157-69-5

**INDUCTION MOTOR SPEED CONTROL WITH SHEPWM INVERTER
 BASED ON MICROPROCESSOR**



**A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
 OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
 MASTER OF ELECTRICAL ENGINEERING
 GRADUATE SCHOOL
 KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1991

ISBN 974-8157-69-5

THESIS TITLE INDUCTION MOTOR SPEED CONTROL WITH SHEPWM INVERTER
 BASED ON MICROPROCESSOR
 STUDY MR. WIROTE POLNURUK
 THESIS ADVISOR ASSOC. PROF. DR. YOTHIN PREMPRANEERACH
 LEVEL OF STUDY MASTER ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
 DEPARTMENT CONTROL ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF
 TECHNOLOGY LADKRABANG
 ACADEMIC YEAR 1991

ABSTRACT

In general, induction motor speed control must kept constant V/F ratio in order to maintain the air gap flux approximately constant. The output voltage controlled by PWM signal which derived from the modulation between carrier wave and sinusoidal reference signal gives maximum fundamental component at 69 % and it requires high switching frequency in order to boost side band frequency so that it reduces the acoustic noise due to lower order harmonic, but switching loss will be increased. The SHEPWM (Selective Harmonic Elimination Pulse Width Modulation) is used in this thesis to give fundamental component at 100 % and it requires lower switching frequency than carrier PWM technique about 50 % when compared at the same dominant harmonic. Hence, switching loss is lower and higher overall efficiency is obtained. The 8 bit microcontroller is used with 8031 and power transistor is used as switching device. When output frequency is more than 10 Hz the harmonics below 1 KHz are eliminated and switching frequency is limited in a range of 600-1000 Hz. When output frequency is below 10 Hz the harmonics are eliminated in the range of 500 - 1000 Hz . The induction motor is used in this thesis with rated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.750 W 220/380 V 3 phase and the maximum power output capacity of the inverter is 1 Kw. Mode of operation and parameter setting can be achieved by programming.



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆมาโดยตลอด, รองศาสตราจารย์ ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่กรุณาให้ยืมเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม, แด.ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเอกสารข้อมูลต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณ อนุตรชัย ณ กลาง ขอขอบคุณผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงฯ, หัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้าและหัวหน้าแผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและห้องทดลองเครื่องกลไฟฟ้าในการทำวิจัยที่ขาดไม่ได้คือ บิดา, มารดาผู้ให้กำเนิดและพี่น้องตามณิ ผู้ส่งข้าบเจ้าเรียนจนจบปริญญาตรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	iii
ABSTRACT	iv
กิตติกรรมประกาศ	v
สารบัญภาพ	ix
สารบัญตาราง	xii
คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ	xiii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 มอเตอร์ไฟสลับเมื่อทำงานกับแหล่งจ่ายที่มีรูปคลื่นไม่ใช่ไซน์	6
2.1 บทนำ	
2.2 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	
2.3 ฮาร์โมนิกส์ของ MMF ที่ช่องอากาศ	
2.4 การทำงานของมอเตอร์ไฟสลับเมื่อมีฮาร์โมนิกส์	
2.5 การสูญเสียที่มอเตอร์เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายที่ไม่ใช่ไซน์	
2.6 แรงบิดที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์	
2.7 การทำงานโดยให้ V/F ที่ขั้วมีค่าคงที่	
บทที่ 3 การกำจัดฮาร์โมนิกส์ในแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ด้วยเทคนิค SHEPWM	32
3.1 บทนำ	
3.2 วิธีกำจัดฮาร์โมนิกส์ในอินเวอร์เตอร์แบบอัลฟบริดจ์	
3.3 การเฉลยคำตอบสมการไม่เชิงเส้นโดยวิธีนิวเมอริคอล	
3.4 การหาคำตอบโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์	
3.5 การสุ่มค่ามุมเริ่มต้นเพื่อให้ได้คำตอบเร็ว	
บทที่ 4 การออกแบบระบบและวงจรควบคุม	44
4.1 บทนำ	
4.2 การออกแบบระบบ	
4.3 การสร้างสัญญาณขับ 3 เฟส	
4.4 บล็อกไดอะแกรม	
4.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	

4.6	วงจรอินเวอร์เตอร์และวงจรควบคุม	
4.7	วงจรป้องกันความเสียหาย	
4.8	ผลการวิจัย	
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
	เอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก ก	โปรแกรมคำนวณมุมการสวิทช์	86
ภาคผนวก ข	ตัวอย่างมุมการสวิทช์ที่ได้จากการคำนวณ	92
ภาคผนวก ค	โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	103
ภาคผนวก ง	บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า	202
	ประวัติผู้เขียน	208



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า	
1.1	วิธีSPWM	3
1.2	วิธีMSPWM	3
1.3	วิธีHIPWM	4
2.1	วงจรมมัลย์เฟสเดียวของมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส	7
2.2	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส	9
2.3	วงจรมมัลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อมีฮาร์โมนิกส์	13
2.4	วงจรมมัลย์อย่างประมาณสำหรับคำนวณหากระแสฮาร์โมนิกส์	14
2.5	เฟสเซอร์ไดอะแกรมที่รวมเอาองค์ประกอบมูลฐาน, ฮาร์โมนิกส์ที่ 5, 7 เข้าด้วยกัน	21
2.6	คุณลักษณะของแรงบิด-ความเร็วรอบสำหรับการทำงานที่ปรับความถี่ได้ของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการให้อัตราส่วน V/F มีค่าคงที่	26
2.7	คุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็วรอบสำหรับการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความถี่ได้ด้วยวิธีการควบคุมฟลักซ์ที่ของอากาศให้คงที่	29
2.8	คุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็วรอบสำหรับการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความถี่ได้เมื่อแรงดันมีค่าคงที่	30
2.9	เส้นเคิร์ฟของแรงบิด - ความเร็ว ที่มีการปรับแรงดันและความถี่ของอินเวอร์เตอร์	31
2.10	ความสัมพันธ์ของแรงดัน - ความถี่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	32
3.1	รูปคลื่นเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์	33
3.2	อัลกอริทึมของคอมพิวเตอร์สำหรับหาคำตอบเชิงเลข	39
3.3	ทางโคจรของมุมการสวิตช์	41
4.1	การแปรผันของจำนวนแพทเทิร์น PWM (n) เทียบกับอัตราส่วน f_u/f_c	47
4.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงแพทเทิร์น PWM เทียบกับความถี่เอาท์พุท	48
4.3	การสร้างสัญญาณับสามเฟส	49
4.4	แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์	51
4.5	วงจรมอเตอร์คอนโทรลเลอร์	52
4.6	แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	53
4.7	แสดงวงจรภาคแสดงผลและวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน	54
4.8	แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง	55

4.9	แสดงโพล์ขั้วขั้วการทํางานของไมโครคอนโทรลเลอร์	56
4.10	แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์	57
4.11	รูปคลื่นกระแสเบสเพื่อให้ได้ความเร็วในการสวิตช์ที่ดีที่สุด	58
4.12	แสดงวงจรขับเบส	59
4.13	วงจรป้องกันกระแสสูงเกิน	61
4.14	วงจรป้องกันแรงดันสูงเกิน	62
4.15	วงจรป้องกันแรงดันต่ำเกิน	63
4.16	วงจรคําสถานะความผิดปกติ	64
4.17	วงจรป้องกันการลัดวงจร	65
4.18	แสดงลักษณะการทํางานของอินเวอร์เตอร์เมื่อตั้งคําค่าความถี่ต่ำสุดและสูงสุด	67
4.19	แสดงลักษณะของช่วงเวลาการเปลี่ยนความถี่เอาท์พุท	67
4.20	แสดงลักษณะการเพิ่มแรงคําค่าที่สเตเตอร์	68
4.21	แสดงการป้องกันกระแสเกินด้วยวิธี stall prevention	68
4.22	แสดงการควบคุมด้วยระบบดิจิทัล	69
4.23	แสดงการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบ jogging	70
4.24	แสดงไดอะแกรมการทดสอบเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์	71
4.25	แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์, กระแสไลน์และเส้นสเฟียคตรัมของอาร์โมนิกส์ที่ความถี่เอาท์พุท 5 Hz	72
4.26	แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์, กระแสไลน์และเส้นสเฟียคตรัมของอาร์โมนิกส์ที่ความถี่เอาท์พุท 30 Hz	73
4.27	แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์, กระแสไลน์และเส้นสเฟียคตรัมของอาร์โมนิกส์ที่ความถี่เอาท์พุท 50 Hz	74
4.28	แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์, กระแสไลน์และเส้นสเฟียคตรัมของอาร์โมนิกส์ที่ความถี่เอาท์พุท 70 Hz	75
4.29	แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์, กระแสไลน์และเส้นสเฟียคตรัมของอาร์โมนิกส์ที่ความถี่เอาท์พุท 99 Hz	76
4.30	แสดงแอมพลิจูดขององค์ประกอบมูลฐานมีค่าสูงถึง 100 %	77
4.31	แสดงรูปคลื่นแรงคําค่าและกระแสทางคําค่าอินพุทของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์และอาร์โมนิกส์ของรูปคลื่นกระแสคําค่าอินพุท	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.32 แสดงลักษณะอาร์คแวร์์ของวิทยาลัยเมื่อประกอบเสร็จ 79
- 4.33 แสดงกระแสสแตเตอร์, แรงคัสแตเตอร์และกำลังงานเอาท์พุทของเครื่องควบคุม
ความเร็วรอมอเตอร์ 81



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	แสดงผลการทดสอบเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์	80



คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ

a_n	=	แอมพลิจูดขององค์ประกอบอาร์โมนิกล์อันดับที่ n
b_n	=	แอมพลิจูดขององค์ประกอบอาร์โมนิกล์อันดับที่ n
c_k	=	จุดตัดแกน y ของทางโคจรของมมการสวิตซ์
D	=	อันดับของอาร์โมนิกล์ค่าแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์
$d\phi/dt$	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ขององค์ประกอบมูลฐานเทียบกับเวลา
E_1	=	แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวดสเตเตอร์
emf	=	แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ขดลวด
f	=	ความถี่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์
f_1	=	ความถี่ของแรงดันหรือกระแสที่แหล่งจ่าย
f_2	=	ความถี่ของแรงดันหรือกระแสที่โรเตอร์
f_d	=	ความถี่อาร์โมนิกล์อันดับแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์
f_c	=	ความถี่การสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์ในอินเวอร์เตอร์
f_L	=	ค่าต่ำสุดของความถี่อาร์โมนิกล์อันดับแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์
f_U	=	ค่าสูงสุดของความถี่อาร์โมนิกล์อันดับแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์
Hz	=	เฮิรตซ์
I_k	=	กระแสอาร์โมนิกล์ที่ k
I_m	=	กระแสสร้างสนามแม่เหล็ก
I_{har}	=	กระแส rms ของทุกอาร์โมนิกล์รวมกัน
I_{rhm}	=	กระแส rms ของทุกอาร์โมนิกล์และองค์ประกอบมูลฐานรวมกัน
I_{FI}	=	กระแสมอเตอร์ขณะขับโหลดเต็มพิกัด
I_g	=	กระแสมอเตอร์เริ่มทำงาน
I_{2k}	=	กระแสอาร์โมนิกล์ที่ k^{th} ในโรเตอร์
I_5	=	กระแสอาร์โมนิกล์ที่ 5
I_7	=	กระแสอาร์โมนิกล์ที่ 7
j	=	จำนวนจินตภาพ
K, k	=	ค่าคงที่เป็นจำนวนเต็ม
K_w	=	ค่าคงที่การผันขดลวด
L_2	=	ค่าความเหนี่ยวนำรั่วซึม (leakage inductance) ที่โรเตอร์
L_m	=	ค่าความเหนี่ยวนำสร้างสนามแม่เหล็ก (magnetizing Inductance)
m	=	จำนวนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M	=	มอดดูเลขชี้แอนเด็กซ์ (Modulation Index)
m_1	=	จำนวนเฟสตันสเตเตอร์
m_2	=	จำนวนเฟสตันโรเตอร์
m_p	=	ความชันที่เป็นค่าบวกของทางโคจรของมุมการสวิตช์
m_n	=	ความชันที่เป็นค่าลบของทางโคจรของมุมการสวิตช์
n	=	ความเร็วที่โรเตอร์
n_1	=	ความเร็วเชิงโคโรนัส, ค่าคงที่
N	=	จำนวนเต็ม
N_1	=	จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟส
P	=	กำลังงานไฟฟ้า
P_{2k}	=	กำลังงานสูญเสียที่ขดลวดที่โรเตอร์
P_{mech}	=	กำลังงานกล
P_{ms}	=	กำลังงานที่ส่งผ่านช่องอากาศจากสเตเตอร์ไปโรเตอร์
R_1	=	ความต้านทานของขดลวดที่สเตเตอร์ที่ความถี่ประกอบมูลฐาน
R_2	=	ความต้านทานของขดลวดที่โรเตอร์ที่ความถี่ประกอบมูลฐาน
R_{2k}	=	ความต้านทานของขดลวดที่โรเตอร์ที่ฮาร์โมนิกส์ที่ k^{th}
r	=	จำนวนแพทเทิร์นการสวิตช์ (switching pattern)
S	=	สลลิป (slip)
S_2	=	สลลิปที่โรเตอร์
t_n	=	ค่าเวลาจริงของมุมการสวิตช์
t	=	เวลาใดๆ
T_1	=	แรงบิดที่เกิดจากองค์ประกอบมูลฐาน
T_k	=	แรงบิดที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ที่ k
V_k	=	แรงดันฮาร์โมนิกส์ที่ k
V_1	=	แรงดันป้อนเข้าที่ด้านสเตเตอร์
X_1	=	รีแอคแตนซ์รั่วซึมของขดลวดสเตเตอร์
X_2	=	รีแอคแตนซ์รั่วซึมของขดลวดโรเตอร์
X_m	=	รีแอคแตนซ์สร้างสนามแม่เหล็ก (magnetizing reactance)
X'_0	=	รีแอคแตนซ์ที่ความถี่ประกอบมูลฐาน
X_{11}	=	รีแอคแตนซ์รวมที่สเตเตอร์ที่ความถี่แหล่งจ่าย
X_{22}	=	รีแอคแตนซ์รวมที่โรเตอร์ที่ความถี่แหล่งจ่าย
Z_k	=	อิมพีแดนซ์ (Impedance) ที่ฮาร์โมนิกส์ที่ k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ϕ = ฟลักซ์
- ϕ_1 = ฟลักซ์ที่สเตเตอร์
- ϕ_2 = ฟลักซ์ที่โรเตอร์
- θ = มุมต่างเฟสของแรงดันและกระแส
- δ_1 = มุมแรงบิด (Torque angle) ที่สเตเตอร์
- δ_2 = มุมแรงบิดที่โรเตอร์
- δ_5 = มุมแรงบิดที่เกิดจากอาร์โมนิคส์ที่ 5
- δ_7 = มุมแรงบิดที่เกิดจากอาร์โมนิคส์ที่ 7
- α = มุมการสวิตช์เฟส A
- α^0 = เมตริกซ์ของค่ามุม α ที่ค่าเริ่มต้น
- β = มุมการสวิตช์เฟส B
- γ = มุมการสวิตช์เฟส C
- ω_1 = ความถี่เชิงมุมที่สเตเตอร์
- ω_2 = ความถี่เชิงมุมที่โรเตอร์
- ω_{2b} = ความถี่เชิงมุมเบรคดาวน์
- ω_m = ความเร็วเชิงมุมทางกล
- ρ = ผลต่างของมุมการสวิตช์เฟส A, B และ C



บทนำ

ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรง และระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงใช้กับดีซีมอเตอร์ ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ง่ายและแม่นยำ ระบบควบคุมไม่ยุ่งยากซับซ้อนเกินไป นอกจากนี้ดีซีมอเตอร์ยังให้แรงบิดที่สูงอีกด้วย แต่ก็มีข้อเสียคือ ดีซีมอเตอร์มีคอมมิวเตเตอร์ (commutator) ที่สัมผัสกับแปรงถ่าน เพื่อให้เป็นทางผ่านของกระแสเข้าสู่อาร์เมเจอร์ (armature) ทำให้มีการสึกหรอของดีซีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน จึงมีความต้องการการบำรุงรักษาอยู่เสมอ

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต และ จีทีโอ เป็นต้นให้ มีอัตราการทนกระแสได้สูงขึ้นและมีความเร็วในการสวิตช์ที่สูง สามารถนำมาใช้พัฒนาอินเวอร์เตอร์ เพื่อนำไปใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ มอเตอร์เหนี่ยวนำมีข้อดีที่เหนือกว่า ดีซีมอเตอร์ คือ ต้องการการบำรุงรักษาน้อยกว่า นอกจากนี้แล้วยังมีขนาดที่เล็กกว่า ดีซีมอเตอร์ เมื่อคิดที่กำลังงานเอาต์พุตเท่ากัน

การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถทำได้โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันหรือแบบแหล่งจ่ายกระแส อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสจะมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมากเนื่องจากใช้ตัวเหนี่ยวนำเป็นตัวกรองกระแสในวงจรส่วนดีซีลิงค์ (DC link) ซึ่งมีข้อดีคือ อุปกรณ์สวิตช์จะไม่เสียหายในกรณีที่เอาต์พุตเกิดการลัดวงจร ทั้งนี้เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำจะเป็นตัวจำกัดอัตราการเพิ่มของกระแสไว้ อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสเหมาะสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่ ส่วนมอเตอร์ขนาดเล็กถึงปานกลางมักนิยมใช้อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันเป็นตัวขับ เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบากว่าและสามารถขนานมอเตอร์หลายๆตัวให้ทำงานพร้อมกันได้

ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความเร็วรอบได้โดยใช้อินเวอร์เตอร์เป็นองค์ประกอบในการแปลงผันกำลังงานนั้น โดยทั่วไปแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์ จะมีอาร์โมนิคส์รวมออกมาด้วยผลของอาร์โมนิคส์จะทำให้เกิดระลอกของแรงบิด (torque pulsation) เกิดเสียงดังรบกวน นอกจากนี้แล้วยังทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของมอเตอร์ลดลงด้วย การสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อนำไปขับอินเวอร์เตอร์นั้นเต็มไปด้วยวงจรอนุกรม ซึ่งใช้อุปกรณ์จำนวนมาก จึงเป็นผลทำให้มีความเชื่อถือได้ต่ำ แพงวงจรควบคุมมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้การพัฒนาปรับปรุงวงจรทำได้ยาก ต่อมาไมโครโพรเซสเซอร์ได้รับการพัฒนาให้มีจำนวนบิตที่สูงขึ้น มีความเร็วในการประมวลผลที่สูง ใช้อุปกรณ์น้อยขึ้นและมีความเชื่อถือได้สูง จึงได้นำเอาระบบไมโครโพรเซสเซอร์มาพัฒนาการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อ

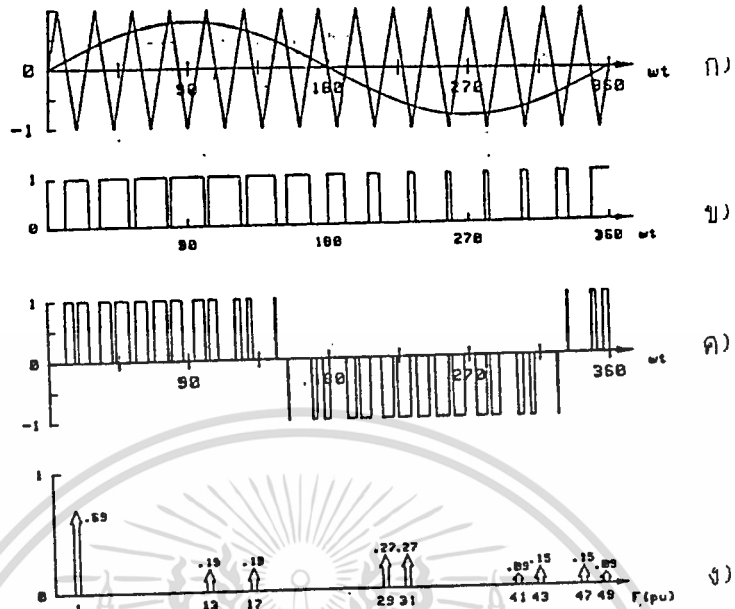
ใช้ขั้วอินเวอร์เตอร์ ทำให้มีการพัฒนาเทคนิคการสร้างสัญญาณควบคุมกันอย่างกว้างขวาง เทคนิคการสร้างสัญญาณควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ขั้วนำวงจรอินเวอร์เตอร์มาก เนื่องจากสามารถลดฮาร์โมนิกส์ที่แรงดันเอาต์พุตได้และให้กระแสที่ไหลในมอเตอร์มีลักษณะเป็นรูปไซน์ สัญญาณ PWM ที่ได้รับการพัฒนาแล้วมีหลายแบบดังนี้

- 1) SPWM (Sinusoidal PWM)
- 2) MSPWM (Modified SPWM)
- 3) HIPWM (Harmonic Injection PWM)
- 4) TPWM (Trapezoidal PWM)
- 5) SHEPWM (Selective Harmonic Elimination)

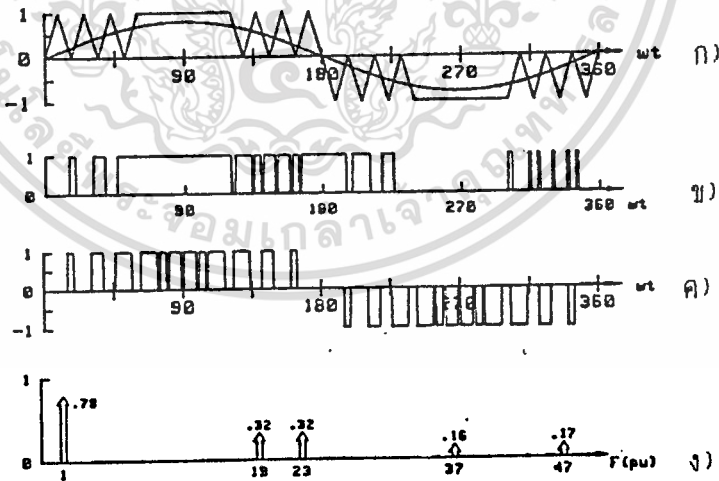
SPWM เป็นเทคนิคแบบเดิมที่นำไปใช้กับอินเวอร์เตอร์ โดยนำสัญญาณนาฬิกาสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับสัญญาณมอดคูลูเลทรูปไซน์ จุดตัดกันของรูปไซน์กับสามเหลี่ยมจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์ที่มีความกว้างต่าง ๆ กัน ทำให้สามารถลดฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆ ลงได้ และกระแสที่มอเตอร์มีลักษณะใกล้เคียงไซน์ อย่างไรก็ตามวิธีการ SPWM จะให้ความถี่ไซด์แบนด์ (side band frequency) ออกมาด้วย ดังนั้นถ้าต้องการให้ฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำ ค่าแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ มีค่าสูง จะต้องใช้ความถี่คลื่นนาฬิกาที่สูงมาก นั่นหมายความว่าต้องใช้ความถี่ในการสวิตช์ที่สูงตามไปด้วย จึงทำให้มีความสูญเสียจากการสวิตช์สูง นอกจากนี้ยังให้แรงดันองค์ประกอบมูลฐานได้เพียง 69 % ของค่าแรงดันดีซีเชื่อมโยง (DC link voltage) เท่านั้น [1] ทำให้มอเตอร์ใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ รูปแสดงเทคนิคของ SPWM แสดงไว้ในรูปที่ 1.1

วิธี MSPWM เป็นวิธีที่แก้ข้อเสียของ SPWM ในกรณีที่ให้แรงดันองค์ประกอบมูลฐานต่ำ วิธีการนี้จะนำเอาสัญญาณคลื่นนาฬิกาสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นไซน์อ้างอิง ในช่วง 60° แรกและหลังของแต่ละครึ่งไซเคิลเท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ได้แรงดันองค์ประกอบมูลฐานสูงถึง 79 % [1] รูปแสดงเทคนิคของ MSPWM แสดงไว้ในรูปที่ 1.2

สำหรับวิธี HIPWM ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้เพิ่มแรงดันองค์ประกอบมูลฐานให้สูงขึ้น โดยใช้หลักการนำเอาฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ไปบวกเพิ่มเข้าไปกับองค์ประกอบมูลฐาน จึงทำให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็น 80 % [1],[2],[3],[4] รูปแสดงเทคนิคของ HISPWM แสดงไว้ในรูปที่ 1.3



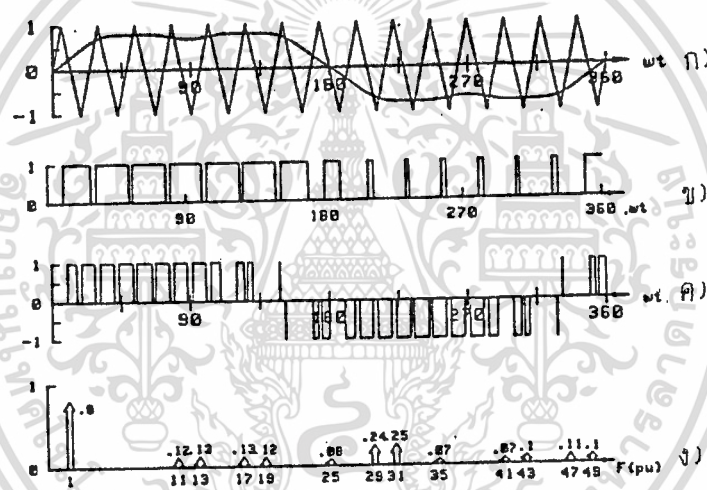
รูปที่ 1.1 SPWM ก) การสร้าง SPWM ข) สัญญาณเกตสำหรับสวิตช์ตัวที่ 1
 ค) รูปคลื่นแรงดันไลน์-ไลน์ ง) สเปกตรัมของความถี่ของแรงดันไลน์-ไลน์



รูปที่ 1.2 MSPWM ก) การสร้าง MSPWM ข) สัญญาณเกตสำหรับสวิตช์ตัวที่ 1
 ค) รูปคลื่นแรงดันไลน์-ไลน์ ง) สเปกตรัมของความถี่ของแรงดันไลน์-ไลน์

วิธี TPWM เป็นวิธีที่เพิ่มองค์ประกอบมูลฐานให้สูงขึ้นได้ถึง 110 % โดยการนำเอารูปสี่เหลี่ยมคางหมูไปมอดคูลเท่ากับรูปสามเหลี่ยมซึ่งเป็นคลื่นพาห้ซึ่งสร้างได้ง่ายกว่ารูปคลื่นไซน์และมีความเหมาะสมที่จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์คำนวณโดยตรง (on-line computation) [5] อย่างไรก็ตามการสร้างสัญญาณรูป TPWM จะต้องใช้ฮาร์ดแวร์ (hardware) เพิ่มมากขึ้น ทำให้การพัฒนายากและมีราคาแพง

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการสร้างสัญญาณ PWM แบบต่างๆอีกมากมาย แต่ละวิธีก็มีจุดประสงค์แตกต่างกันออกไป เช่น วิธี SHEPWM มีจุดประสงค์เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากอาร์โมนิกส์โดยใช้ความถี่การสวิตซ์ที่ต่ำแต่สามารถกำจัดอาร์โมนิกส์อันดับต่ำได้หลายอันดับ ทำให้ความสูญเสียจากการสวิตซ์มีค่าต่ำและสามารถใช้อุปกรณ์สวิตซ์ที่มีความเร็วการสวิตซ์ปานกลางได้ และยังลดเสียงรบกวนที่มอเตอร์ลงได้ด้วย เป็นต้น



รูปที่ 1.3 HIPWM ก) การสร้าง HIPWM ข) สัญญาณเกตสำหรับสวิตซ์ตัวที่ 1
 ค) รูปคลื่นแรงดันไลน์-ไลน์ ง) สเป็คตรัมของความถี่ของแรงดันไลน์-ไลน์

วิธี SHEPWM นั้นเป็นวิธีที่เลือกกำจัดอาร์โมนิกส์อันดับต่ำเฉพาะบางค่า ที่มีผลต่อการทำงานของมอเตอร์เท่านั้น จึงทำให้มีข้อดีที่เหนือกว่า 3 วิธี แรกดังนี้

- 1) ใช้ความถี่ในการสวิตซ์ต่ำกว่า วิธี PWM ที่ใช้คลื่นพาห้ทั้งหมด ประมาณ 50 % เมื่อคิดเปรียบเทียบกันที่ อาร์โมนิกส์ค่าแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ค่าเดียวกัน
- 2) ให้แรงดันองค์ประกอบมูลฐานสูงถึง 100% โดยที่แรงดันเอาท์พุทไม่ต้องอยู่ในโหมดกึ่งสี่เหลี่ยม (quadsisquare) ซึ่งทำให้กระแสของมอเตอร์มีลักษณะที่เป็นไซน์เช่นเดิม

- 3) การคำนวณมุมการสวิตช์ไว้ก่อนด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้ลดเวลาในการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ลง ทำให้สามารถนำเวลาที่เหลือไปทำงานอย่างอื่นได้
- 4) ที่ความถี่การสวิตช์ค่าเดียวกัน วิธี SHEPWM จะให้เสียงดังรบกวนน้อยกว่า
- 5) ใช้ฮาร์ดแวร์น้อย ทำให้มีราคาถูกและมีความเชื่อถือได้สูง

ด้วยเหตุนี้จึงได้เลือกศึกษาวิธี SHEPWM เป็นสัญญาณขับนำอินเวอร์เตอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้

1.1 วัตถุประสงค์การทำวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย ดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
- 2) เพื่อศึกษาผลตอบสนองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อทำงานกับแรงดันที่มีรูปคลื่นไม่ใช่ไซน์
- 3) เพื่อศึกษาวิธีการกำจัดฮาร์โมนิกส์ที่มีในแรงดันซึ่งมีรูปคลื่นไม่ใช่ไซน์
- 4) เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 เป็นบทนำจะกล่าวถึงความ เป็นมาของระบบขับเคลื่อนและเทคนิคการสร้างสัญญาณแบบต่างๆ รวมทั้งวัตถุประสงค์การวิจัย
- บทที่ 2 กล่าวถึงการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อป้อนแรงดันที่มีรูปคลื่นไม่เป็นไซน์และวิธีการควบคุมโดยการปรับแรงดันและความถี่
- บทที่ 3 อธิบายถึงวิธีการกำจัดฮาร์โมนิกส์ในแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ด้วยเทคนิค SHEPWM
- บทที่ 4 อธิบายวิธีการออกแบบระบบและวงจรควบคุม ตลอดจนผลการวิจัย
- บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย
- ภาคผนวก จะประกอบไปด้วยโปรแกรมการคำนวณมุมการสวิตช์ โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และตัวอย่างมุมการสวิตช์ที่ได้จากการคำนวณ

บทที่ 2

มอเตอร์เฟสลับเมื่อทำงานกับแหล่งจ่ายที่มีรูปคลื่นไม่ใช้ไซน์

2.1 บทนำ

มอเตอร์เฟสลับโดยทั่วไปได้รับการออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อนำไปใช้กับแรงดันและกระแสรูปคลื่นไซน์ปกติ อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จะกำเนิดรูปคลื่นกระแสหรือแรงดันที่เอาท์พุทพร้อมด้วยฮาร์โมนิกส์ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของมอเตอร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ, เฟสเซอร์โตอะแกรม, สมการแรงบิด, การสูญเสียที่มอเตอร์ เมื่อทำงานกับแหล่งจ่ายที่มีรูปคลื่นไม่ใช้ไซน์ ตลอดจนการควบคุมการทำงานโดยให้อัตราส่วน V/f ที่ขั้วมีค่าคงที่ [6], [7], [8]

2.2 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะมีลักษณะเดียวกับวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง เพราะว่ามีลักษณะเดียวกับหม้อแปลงที่มีขดลวดคานทุติยภูมิหมุนได้นั่นเอง ในรูปที่ 2.1 แทนวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำต่อเฟส $(R_1 + jx_1)$ เรียกว่าอิมพีแดนซ์รั่วซึม (leakage impedance) ที่สเตเตอร์ มุขวลฟลักซ์ (mutual flux) ในช่องอากาศจะเหนี่ยวนำ emf ด้วยความถี่สลับขึ้นในโรเตอร์และจ่ายความถี่ emf ขึ้นในสเตเตอร์ แรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์รั่วซึมที่สเตเตอร์จะทำให้ emf ที่ช่องอากาศต่อเฟส, E_1 และมุขวลฟลักซ์ต่อขั้ว ϕ_1 ลดลงเล็กน้อยขณะป้อนโวลต์ให้กับมอเตอร์ กระแสที่สเตเตอร์ I_1 จะประกอบไปด้วยกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก, I_m และองค์ประกอบโวลต์ของกระแสสเตเตอร์, I_2 ซึ่งไม่คิด mmf อันเนื่องมาจากกระแสโรเตอร์, ไม่คิดการสูญเสียที่แกนเหล็ก และการอิมตัวของแกนเหล็ก

ในขณะที่หนึ่ง emf เหนี่ยวนำต่อเฟสในวงจรโรเตอร์จะเท่ากับ emf ที่สเตเตอร์, E_1 และความถี่โรเตอร์จะเท่ากับความถี่ของแหล่งจ่าย, f_1 ถ้าแทนสลิปของโรเตอร์เทียบกับสนามแม่เหล็กหมุนขององค์ประกอบมูลฐานด้วย s , emf ของโรเตอร์, E_2 จะเท่ากับ sE_1 และความถี่โรเตอร์, f_2 จะเท่ากับ sf_1 กระแสที่โรเตอร์จะเป็น

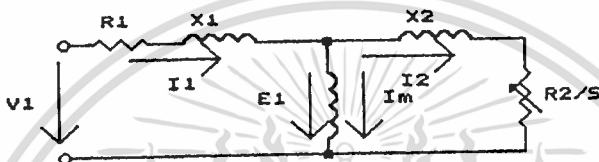
$$I_2 = E_2 / (R_2 + jSX_2) \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$= SE_1 / (R_2 + jSX_2)$$

ดังนั้น $I_2 = E_1 / (R_2 / S) + jx_2$ (2.2)

ในสมการ (2.1) ปริมาณทั้งหมดที่โรเตอร์ จะคิดที่ความถี่สลิป แต่ในสมการ (2.2) จะคิดที่ความถี่แหล่งจ่าย



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลเฟสเดียวของมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส

2.2.1 สมการแรงบิด

ที่สลิป s กำลังงานสูญเสียที่โรเตอร์ในวงจรสมมูลจะเป็น $I_2^2 R_2 / S$ วัตต์ต่อเฟสในเครื่องกลจริง การสูญเสียที่ลวดทองแดงที่โรเตอร์จะมีค่า $I_2^2 R_2$ วัตต์ต่อเฟส กำลังงานสูญเสียในวงจรสมมูลจะเป็นการสมมูลทางไฟฟ้าของกำลังงานเอาต์พุตทางกลของมอเตอร์ ถ้า P_{mech} แทนกำลังงานเอาต์พุตทางกลทั้งหมด รวมทั้งการสูญเสียจากความฝืด (friction) และแรงลมปะทะ (windage) แล้ว

$$\begin{aligned} P_{mech} &= m_1 [(I_2^2 R_2 / S) - (I_2^2 R_2)] \\ &= m_1 I_2^2 R_2 (1 - S) / S \end{aligned} \tag{2.3}$$

และงานเอาต์พุตทางกลสามารถเขียนได้ดังนี้

$$T_{\omega_n} = m_1 I_2^2 R_2 (1 - S) / S \quad (2.4)$$

และ $T = (1/\omega_n)(m_1 I_2^2 R_2)(1 - S) / S \quad (2.5)$

สมการ (2.5) เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ ซึ่งจะมีค่ามากกว่า แรงบิดใช้งานที่เพลลาประมาณเท่ากับแรงบิดที่ครอบคลุมในส่วนองแรงลมปะทะและความเสียด

เนื่องจากความเร็วเชิงมุมซึ่งโครนส์มีหน่วยเป็น เรเดียนตางกล/วินาที จาก $\omega_n = \omega / (1 - S)$
 $= 2\pi f_1 / P$ เมื่อ P เป็นจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก สมการแรงบิดจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$T = m_1 I_2^2 R_2 / S \omega_n \quad (2.6)$$

หรือ $T = (1/2\pi f_1)(P m_1 I_2^2 R_2 / S) \quad (2.7)$

2.2.2 กำลังงานในโรเตอร์

จะเห็นได้จากวงจรสมมูลย์ว่า กำลังงานไฟฟ้าอินพุททั้งหมดที่จ่ายให้โรเตอร์ผ่านช่องอากาศจากสเตเตอร์ มีค่า

$$P_{ms} = m_1 I_2^2 R_2 / S \quad (2.8)$$

กำลังงานนี้จะถูกแบ่งออกเป็นกำลังงานกลต้านเอาท์พุท, P_{mech} และกำลังงานสูญเสียที่ขดลวดทองแดงของโรเตอร์, P_2 ดังนั้น

$$P_{ms} = P_{mech} + P_2 \quad (2.9)$$

เมื่อ $P_{mech} = T \omega_n \quad (2.10)$

และ $P_2 = m_1 I_2^2 R_2 \quad (2.11)$

รวมสมการ (2.6) และ (2.8) จะได้

$$P_{\text{out}} = T \omega_m$$

(2.12)

2.2.3 เฟสเซอร์ไดอะแกรม

เฟสเซอร์ไดอะแกรมตามวงจรมุมลู่ของรูป 2.1 แสดงไว้ในรูป 2.2 โดยมีกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก, I_m เป็นเฟสเซอร์อ้างอิง, emf ที่สเตเตอร์ E_1 จะนำหน้า I_m ไป 90 องศา องค์ประกอบโพลของกระแสสเตเตอร์คือ I_2 จะล่าหลัง E_1 ไปด้วยมุมเฟสแวลต์เตอร์ ϕ_2 กระแส



รูปที่ 2.2 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส

สเตเตอร์สัทธิ I_1 เป็นผลรวมทางเฟสเซอร์ของ I_m และ I_2 ฟลักซ์องค์ประกอบมูลฐานที่ช่องอากาศ ϕ_1 จะมีเฟสตรงกับ I_m และแอมพลิจูดจะเป็นสัดส่วนกันเมื่อไม่คิดผลการอิ่มตัวของแกนเหล็ก

เฟสเซอร์ของฟลักซ์และกระแสสามารถใช้แทนสเปซเวกเตอร์ของฟลักซ์ และ mmf ซึ่งแทนผลลัพธ์ทั้งหมดของสามเฟสมีทิศการหมุนทวนเข็มนาฬิกา ด้วยความเร็วเชิงมุมเชิงโคโรนัลของ เครื่องกล ดังนั้น I_1, I_2 และ I_m แทนรูปคลื่นที่สเตเตอร์, โรเตอร์และ มุขวล mmf ตามลำดับ ทำนองเดียวกัน ϕ_1 จะใช้แทนรูปคลื่นมุขวลฟลักซ์ที่ช่องอากาศ ขนาดแรงบิดมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับผลคูณของแอมพลิจูดของมุขวลฟลักซ์และรูปคลื่น mmf ของขดลวดและค่าไซน์ของมุมระหว่างปริมาณทั้งสองจากรูป 2.2

$$T = K \phi_1 I_2 \sin \delta_2$$

$$= K \phi_1 I_1 \sin \delta_1 \tag{2.13}$$

เมื่อมุมแรงบิด δ_1 และ δ_2 ต่างก็มีค่าคงที่ มีค่าเป็นบวกหรือทวนเข็มนาฬิกาแรงบิดมอเตอร์จะเกิดขึ้น จะเห็นว่า $\delta_2 = \pi/2 - \phi_2$ และแทนในสมการ (2.13) ทำให้ได้แรงบิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = K\phi_1 I_2 \cos\phi_2 \quad (2.14)$$

2.3 ฮาร์โมนิกส์

ในระบบขับเคลื่อนด้วยการป้อนแรงดัน แรงดันสแตเตอร์ที่มีรูปคลื่นไม่เป็นไซน์สามารถกระจายออกเป็นองค์ประกอบมูลฐานและองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ได้ โดยวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์สำหรับรูปคลื่นที่สมมาตรจะมีเฉพาะฮาร์โมนิกส์คี่เท่านั้น นอกจากนี้ฮาร์โมนิกส์ที่เป็นผลคูณของสามจะมีเฟสที่ตรงกันทั้งสามเฟส จึงไม่ทำให้เกิดกระแสไหลในโหลคที่ต่อแบบเดลตา(delta) หรือสตาร์(star) ที่ไม่มีสายนิวตรอน สมการแรงดันขององค์ประกอบมูลฐานทั้ง 3 เฟสดังนี้

$$V_a = V_m \sin\omega t \quad (2.15)$$

$$V_b = V_m \sin(\omega t - 120) \quad (2.16)$$

$$V_c = V_m \sin(\omega t - 240) \quad (2.17)$$

อนุกรมฟูเรียร์ของแรงดันเฟสสำหรับฮาร์โมนิกส์อันดับคี่จะเป็นดังนี้

$$V_a = V_{1m} \sin\omega t + V_{5m} \sin 5\omega t + V_{7m} \sin 7\omega t + \dots \quad (2.18)$$

$$V_b = V_{1m} \sin(\omega t - 120) + V_{5m} \sin 5(\omega t - 120) + V_{7m} \sin 7(\omega t - 120) + \dots \quad (2.19)$$

$$V_c = V_{1m} \sin(\omega t - 240) + V_{5m} \sin 5(\omega t - 240) + V_{7m} \sin 7(\omega t - 240) + \dots \quad (2.20)$$

สมการที่ (2.19) และ (2.20) สามารถเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$V_b = V_{1m} \sin(\omega t - 120) + V_{5m} \sin(5\omega t + 120) + V_{7m} \sin(7\omega t - 120) + \dots \quad (2.21)$$

$$V_c = V_{1n} \sin(\omega t + 120) + V_{5n} \sin(5\omega t - 120) + V_{7n} \sin(7\omega t + 120) + \dots \quad (2.22)$$

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะเทอมขององค์ประกอบมูลฐาน

$$V_a = V_{1n} \sin \omega t \quad (2.23)$$

$$V_b = V_{1n} \sin(\omega t - 120) \quad (2.24)$$

$$V_c = V_{1n} \sin(\omega t + 120) \quad (2.25)$$

ซึ่งเป็นลำดับ ABC เมื่อวิเคราะห์เฉพาะเทอมของฮาร์โมนิกส์ที่ 5 จะได้

$$V_{a5} = V_{5n} \sin 5\omega t \quad (2.26)$$

$$V_{b5} = V_{5n} \sin(5\omega t + 120) \quad (2.27)$$

$$V_{c5} = V_{5n} \sin(5\omega t - 120) \quad (2.28)$$

พบว่า เป็นลำดับ ACB หรือ CBA ซึ่งสวนทางกับลำดับของประกอบมูลฐานจึงเรียกว่าลำดับลบ และเมื่อวิเคราะห์เฉพาะเทอมของฮาร์โมนิกส์ที่ 7

$$V_{a7} = V_{7n} \sin 7\omega t \quad (2.29)$$

$$V_{b7} = V_{7n} \sin(7\omega t + 120) \quad (2.30)$$

$$V_{c7} = V_{7n} \sin(7\omega t - 120) \quad (2.31)$$

พบว่า เป็นลำดับ ABC ซึ่งตรงกับลำดับขององค์ประกอบมูลฐาน จึงเรียกว่าลำดับบวก

สรุปได้ว่าฮาร์โมนิกส์อันดับที่ $K = (6n+1)$ จะกำเนิด mmf หมุนในทิศทางเดียวกับสนาม

แม่เหล็กหลัก ขณะที่อาร์โมนิคส์อันดับที่ $K = (6n-1)$ จะกำเนิด mmf หมุนในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กหลัก ส่วนอาร์โมนิคส์อันดับที่ $K = (6n-3)$ จะไม่กำเนิด mmf ใดๆขึ้นในช่องอากาศ

2.4 การทำงานของมอเตอร์เฟสลับเมื่อมีอาร์โมนิคส์

เมื่อมอเตอร์เฟสลับทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายที่ไม่ใช่รูปไซน์ กระแสหรือแรงดันที่ใส่เตเตอร์สามารถวิเคราะห์ด้วยองค์ประกอบมูลฐานและอนุกรมอาร์โมนิคส์ได้ ถ้าไม่คิดการอิ่มตัวของแม่เหล็ก มอเตอร์ก็จะพิจารณาได้ว่าเป็นอนุกรมเชิงเส้น และสามารถนำเอาหลักการของการวางซ้อน (super position) มาใช้ได้ นั่นหมายความว่าพฤติกรรมของมอเตอร์ สามารถวิเคราะห์แยกกันได้อย่างเป็นอิสระสำหรับองค์ประกอบมูลฐานและแต่ละเทอมของอาร์โมนิคส์ ผลตอบสนองทั้งหมดที่เกิดจากแหล่งจ่ายที่ไม่ใช่ไซน์จะคำนวณได้จากการรวมเอาผลตอบสนองที่มีต่อองค์ประกอบอิสระเข้าด้วยกัน ดังนั้นถ้ามอเตอร์ได้รับการป้อนด้วยแรงดันที่ไม่ใช่ไซน์ กระแสมอเตอร์และแรงบิดจะคำนวณได้โดยรวมกระแสและแรงบิดจากแต่ละองค์ประกอบแรงดันเข้าด้วยกัน

2.4.1 วงจรสมมูลเมื่อมีอาร์โมนิคส์

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเดิม ในรูป 2.3ก) จะได้

$$S_1 = (1/n_1)(n_1 - n) \quad (2.32)$$

องค์ประกอบอาร์โมนิคส์ที่ k^{th} ในกระแสเฟสจะผลิตคลื่นโทมอาร์โมนิคส์ mmf หมุนตามหรือสวนทาง ที่ความเร็ว kn_1 สลิปของโรเตอร์ ในทิศทางสนามอาร์โมนิคส์หมุนตามจะเป็น

$$S_x = (1/kn_1)(kn_1 - n) \quad (2.33)$$

และสนามอาร์โมนิคส์หมุนทวน จะเป็น

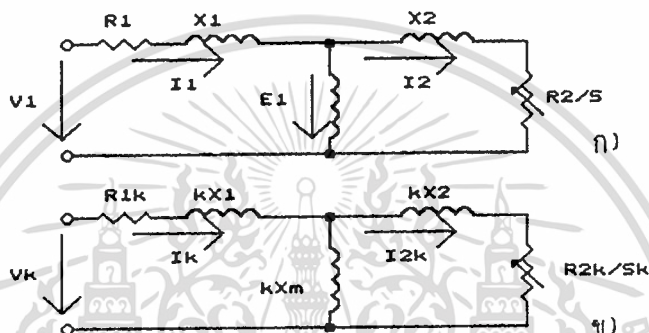
$$S_x = (1/kn_1)(kn_1 + n) \quad (2.34)$$

ดังนั้นเขียนเป็นรูปทั่วไป

$$s_x = (1/kn) (k_n \pm n) \quad (2.35)$$

เมื่อเครื่องหมายลบใช้สำหรับอาร์โมนิกลำดับบวกและเครื่องหมายลบใช้แทนอาร์โมนิกลำดับลบ
 อาร์โมนิกลำดับลบ s_x จะเขียนในเทอมของ s_1 โดยแทนค่า n จาก (2.35) จะได้

$$s_x = (1/k)(k+1) \pm s_1 \quad (2.36)$$

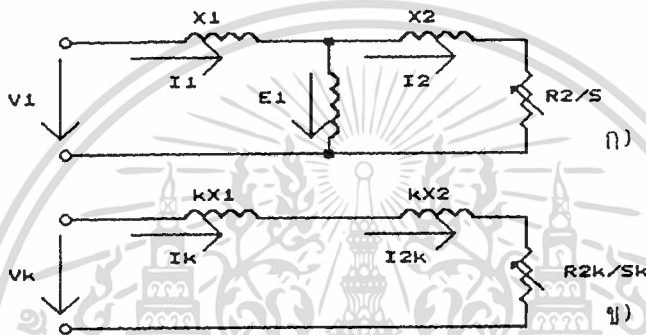


รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
 ก) วงจรสมมูลที่ความถี่ค้ประกอบมูลฐาน
 ข) วงจรสมมูลที่อาร์โมนิกลำดับที่ k^{th}

วงจรสมมูลสำหรับองค์ประกอบมูลฐานในรูป 2.3ก) สามารถนำไปใช้กับอาร์โมนิกลำดับของแรงดันและกระแสอาร์โมนิกลำดับที่ k^{th} ดังในรูป 2.3ข) อาร์โมนิกลำดับ s_x จะนำไปแทนสลิปขององค์ประกอบมูลฐาน s_1 และรีแอกแตนซ์ของความเหนี่ยวนำทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นด้วยแฟคเตอร์ k ความต้านทานที่สเตเตอร์และโรเตอร์จะมีค่ามากขึ้นเนื่องจาก สกินเอฟเฟค ที่ความถี่อาร์โมนิกลำดับที่เปลี่ยนไปนี้จะต้องนำไปพิจารณาด้วยเมื่อต้องการคำนวณให้ได้ความละเอียดสูง

จาก (2.36) จะตรวจสอบได้ว่า s_x มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยขณะที่มอเตอร์ทำงานตามปกติ ถ้าหากว่ามอเตอร์เปลี่ยนแปลงความเร็วจากความเร็วซิงโครนัสจนกระทั่งหยุดนิ่ง สลิปขององค์ประกอบมูลฐาน จะแปรจาก 0 ถึง 1 แต่สลิปของอาร์โมนิกลำดับที่ 5, s_{5x} จะแปรจาก 1.2 ถึง 1 ทำนองเดียวกัน s_7 จะแปรจาก 0.857 ถึง 1 และที่ความถี่สูง ๆ s_x จะเข้าใกล้ 1 มาก วงจรสมมูลของอาร์โมนิกลำดับของรูป 2.3 ข) สามารถลดลงมาเป็นในรูป 2.4 ข) โดยการตัดเอาค่าความต้านทานออกไป

โดยอาศัยหลักความจริงว่าค่ารีแอคแตนซ์ ของความเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับความถี่ ขณะที่ อัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานโรเตอร์กับความถี่ เนื่องจากสกินเอฟเฟค จะมีค่าต่ำกว่าเชิงเส้น เนื่องจาก s_k มีค่าประมาณเท่ากับ 1 ความต้านทานในวงจรจึงสามารถละทิ้งได้ เมื่อเทียบกับค่ารีแอคแตนซ์ที่ความถี่อาร์โมนิคส์ การลดรูปต่อไปจะทำได้ดังรูปที่ 2.4 ข) เพราะว่ารีแอคแตนซ์ของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กมีค่าสูงกว่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมและสามารถตัดออกได้ ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์ที่เกิดจากกระแสอาร์โมนิคส์จะมีค่าประมาณ $k(X_L + X_r)$



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลอย่างประมาณสำหรับคำนวณหากระแสอาร์โมนิคส์

กระแสอาร์โมนิคส์ที่สแตเตอร์ที่มีลำดับศูนย์จะมีเฟสที่ตรงกัน ทำให้ไม่มีกระแสไหลด้วยเหตุนี้จึงไม่ผลิตองค์ประกอบมูลฐานคลื่น mmf หมุนขึ้นมา อย่างไรก็ตามอาร์โมนิคส์ลำดับศูนย์ก็อาจจะสร้างคลื่นสเปซอาร์โมนิคส์ mmf เล็กน้อยในช่องอากาศและแต่ละระลอกของคลื่นสามารถกระจายเข้ากับรูปคลื่นตามและย้อนได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 คลื่นปลั๊กเหล่านี้จะเหนี่ยวนำกระแสอาร์โมนิคส์ในโรเตอร์ที่กำลังหมุน ดังนั้นกระแสสแตเตอร์ลำดับศูนย์จึงสามารถทำให้เกิดผลต่อแรงบิดของมอเตอร์ได้

รีแอคแตนซ์ที่เกิดขึ้นที่ทำให้อาร์โมนิคส์ลำดับศูนย์ที่ k^{th} โหลจะมีค่า kX_u ถ้า X_u มีค่าน้อยและแรงดันที่ป้อนให้มีค่าองค์ประกอบของกระแสลำดับศูนย์มาก กระแสลำดับศูนย์จะทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดที่สแตเตอร์มากทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง อย่างไรก็ตามกระแสลำดับศูนย์จะไหลได้เฉพาะมอเตอร์ที่ต่อแบบ Y มีสายนิวตรอลต่อระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลล มิฉะนั้นแล้วจะไม่มีทางไหลกลับของกระแสลำดับศูนย์ ในทางปฏิบัติแล้ววงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไปจะไม่กำเนิดแรงดันลำดับศูนย์ แต่ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีองค์ประกอบเหล่านี้เกิดขึ้นมากที่สุดก็แก้ปัญหาโดยทำให้อิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์มีค่าเป็นอนันต์ (infinity) โดยการตัดสายนิวตรอนออกไป

ในการวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์ที่ความถี่ต่ำมากๆ การประมาณวงจรสมมูลย์อาร์โมนิคส์ ในรูปที่ 2.4 จะใช้ไม่ได้เพราะว่าความต้านทานของขดลวดจะเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญที่ความถี่อาร์โมนิคส์ ต่ำๆ อย่างไรก็ตามการลดรูปนี้จะยอมรับได้ ถ้าความถี่ขององค์ประกอบมูลฐานมากกว่า 10 Hz

2.4.2 กระแสอาร์โมนิคส์

เนื่องจาก s_k มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่ทุก ๆ ความเร็วรอบมอเตอร์จากหยุดนิ่งจนถึงซิงโครนัส วงจรสมมูลย์ของอาร์โมนิคส์ ในรูป 2.3 ข) จึงเป็นอิสระจากความเร็วรอบของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ ถูกป้อนด้วยอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันด้วยรูปคลื่นจำเพาะอย่างี่ความถี่หนึ่ง กระแสอาร์โมนิคส์ จะยังคงมีค่าคงที่ตลอดเงื่อนไขการทำงานของมอเตอร์ จากไม่มีโหลตจนถึงมีโหลตเต็มหนักและลดความเร็วลงจนหยุดนิ่ง กระแสองค์ประกอบมูลฐานที่สเตเตอร์จะคำนวณได้จากโหลตของมอเตอร์ และด้วยเหตุนี้องค์ประกอบอาร์โมนิคส์ที่สัมพันธ์กับกระแสของเครื่องกล จึงมีค่าสูงขณะทำงานมีโหลตเบากว่าขณะ ที่ทำงานเต็มหนัก องค์ประกอบอาร์โมนิคส์ที่มากกว่านี้จะทำให้การสูญเสียที่เครื่องกลขณะไม่มีโหลต มีค่าสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานกับรูปไซน์ปกติ

วงจรสมมูลย์อย่างประมาณในรูปที่ 2.4 ข) จะมีลักษณะเดียวกับที่ใช้คำนวณกับคลื่นไซน์ปกติของ มอเตอร์เห็นยว่นำขดลวดโรเตอร์ เมื่อกระแสของมอเตอร์ถูกจำกัดไว้โดยรีแอคแตนซ์รั่วซึม ($X_1 + X_2$) ดังนั้นขณะหยุดนิ่งหรือขณะสตาร์ทของมอเตอร์เห็นยว่นำที่ใช้แหล่งจ่ายรูปไซน์ ก็เป็นการวัด สมรรถนะเชิงอาร์โมนิคส์ (harmonic performance) ของมอเตอร์ ถ้ามอเตอร์ใช้กระแสสตาร์ทที่สูง มันจะใช้กระแสอาร์โมนิคส์จากแหล่งจ่ายแรงดันที่ไม่ใช่ไซน์ส่งด้วยเช่นกัน ถ้ามอเตอร์มีค่ารีแอคแตนซ์ รั่วซึมต่ำ ควรจะระมัดระวังเมื่อนำไปใช้กับแรงดันที่ไม่ใช่ไซน์ เพราะจะทำให้กระแสอาร์โมนิคส์มีค่า สูงเกิน อาจจะทำให้มอเตอร์มีความร้อนเกินได้

กระแสอาร์โมนิคส์ที่สเตเตอร์ จะคำนวณได้จาก

$$I_k = V_k / Z_k$$

วงจรสมมูลย์โดยประมาณในรูปที่ 2.4 ข) จะยอมรับได้และ $Z_k = k(X_1 + X_2)$ ดังนั้น

$$I_k = V_k / (kX_1 + X_2) \tag{2.37}$$

สำหรับอาร์โมนิคส์ลำดับศูนย์ , $Z_k = kX_o$

$$I_k = V_k / kX_o \quad (2.38)$$

สูตรเหล่านี้จะทำให้การคำนวณกระแสอาร์โมนิคส์ทำได้เร็ว เนื่องจากรูปคลื่นแรงดันที่ไม่ใช่ไซน์มีองค์ประกอบอาร์โมนิคส์ที่รู้ค่า ปกติแล้วจะไม่มีอาร์โมนิคส์ที่ลำดับศูนย์และไม่มีอาร์โมนิคส์คู่ ดังนั้นค่า rms ของกระแสอาร์โมนิคส์จะเป็น

$$\begin{aligned} I_{har} &= [I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + \dots + I_k^2 + \dots]^{1/2} \\ &= \left[\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (2.39)$$

ค่า rms ของกระแสเตเตอร์ทั้งหมดรวมทั้งกระแสองค์ประกอบมูลฐานจะเป็น

$$\begin{aligned} I_{rms} &= [I_L^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + \dots + I_k^2 + \dots]^{1/2} \\ &= [I_L^2 + I_{har}^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (2.40)$$

2.5 การสูญเสียที่มอเตอร์เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายที่ไม่ใช่รูปไซน์

แรงดัน PWM ที่เหมาะสมจะช่วยลดการสูญเสียที่ตัวมอเตอร์เนื่องจากอาร์โมนิคส์ได้ แต่การเลือกวิธีมอดคูลเลทโดยไม่ระวัง ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้นได้ การสูญเสียที่มอเตอร์ มีดังนี้

2.5.1 การสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์

กระแสอาร์โมนิคส์ที่ไหลในขดลวดสเตเตอร์จะทำให้การสูญเสีย I^2R เพิ่มขึ้น เมื่อไม่คิดสกินเอฟเฟค การสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์เมื่อป้อนแหล่งจ่ายที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์ จะเป็นสัดส่วนกับค่ายกกำลังสองของกระแส rms การสูญเสียที่ขดลวดที่สเตเตอร์โดยรวมจะมีค่าดังนี้

$$P_i = m_i I_{r_{m,i}}^2 R_i \quad (2.41)$$

แทนค่า $I_{r_{m,i}}$ จากสมการ (2.40) จะได้

$$P_i = m_i (I_i^2 + I_{r_{m,i}}^2) R_i \quad (2.42)$$

เมื่อเทอมที่สองแทนการสูญเสียที่ขดลวดเนื่องจากอาร์โมนิคส์ จากการทดลองพบว่าการเกิดขึ้นของกระแสอาร์โมนิคส์จะมีผลให้เทอมขององค์ประกอบมวลฐานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากกระแสสร้างสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวนี้จะทำให้มีการรั่วซึมของทางเดินของฟลักซ์รั่วซึม (leakage flux) ของกระแสอาร์โมนิคส์ในขณะนั้น เพิ่มขึ้น

2.5.2 การสูญเสียที่ขดลวดที่โรเตอร์

สมมุติฐานที่ว่าค่าความต้านทานคงที่ที่ความถี่อาร์โมนิคส์ใด ๆ นั้น เป็นเหตุผลที่ยอมรับได้สำหรับขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกลแบบขดลวดพัน (Wire-Wound Machine) สำหรับมอเตอร์ไฟสลัขนานใหญ่แล้วความต้านทานจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับความถี่ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่าง, ขนาด, และการวางตำแหน่งของตัวนำในสล็อตของสเตเตอร์อย่างไรก็ตามสกินเอฟเฟค ก็จะมีผลอย่างมากต่อโรเตอร์แบบกรงกระรอก (cage rotor) ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างมากตามความถี่อาร์โมนิคส์

เนื่องจากความต้านทานของโรเตอร์เป็นฟังก์ชันของความถี่อาร์โมนิคส์, การสูญเสียที่ลวดทองแดงของโรเตอร์จะคำนวณแยกกันในแต่ละอาร์โมนิคส์ โดยทั่วไปที่อาร์โมนิคส์ที่ k^{th} การสูญเสียที่ลวดทองแดงของโรเตอร์จะมีค่าเป็น

$$P_{2k} = m_i (I_{2k})^2 R_{2k} \quad (2.43)$$

ผลของสกินเอฟเฟคจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำรั่วซึมของโรเตอร์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ค่าความเหนี่ยวนำรั่วซึมโดยรวมของมอเตอร์ที่ความถี่สูง โดยปกติจะมีค่าประมาณ 80 หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าตามปกติ ความถี่ การสูญเสียที่ลวดทองแดงเนื่องจากอาร์โมนิคส์โดยรวมแล้วจะหาได้จาก ผลรวมของการสูญเสียที่เกิดจากแต่ละอาร์โมนิคส์ ในมอเตอร์เหนี่ยวนำทั่วไป การสูญเสียที่ขดลวดทองแดงที่โรเตอร์ที่เพิ่มขึ้นมา เนื่องจากกระแสอาร์โมนิคส์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ลดประสิทธิภาพลงเมื่อใช้กับแหล่งจ่ายที่ไม่ใช่รูปไซน์

2.5.3 การสูญเสียที่แกนเหล็กเนื่องจากอาร์โมนิคส์

การสูญเสียที่แกนเหล็กในเครื่องกลไฟฟ้า จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอาร์โมนิคส์ที่ป้อนมาในแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสเช่นเดียวกัน ดังที่ได้อธิบายมาแล้วว่ารูปคลื่น mmf ของโหม้อาร์โมนิคส์จะเกิดขึ้นในช่องอากาศจากแต่ละกระแสอาร์โมนิคส์ในสเตเตอร์ รูปคลื่น mmf ของโหม้อาร์โมนิคส์เหล่านี้ จะหมุนตามหรือสวนทางที่ความเร็วเป็นจำนวนเท่าของความเร็วของค้ประกอบมูลฐาน อย่างไรก็ตามผลของฟลักซ์ที่ช่องอากาศซึ่งเกิดจากโหม้อาร์โมนิคส์ มีค่าน้อยมากสามารถละทิ้งการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียที่แกนเหล็กได้

การสูญเสียเนื่องจากฟลักซ์ที่ช่องอากาศ อันเนื่องจากสเปซอาร์โมนิคส์ก็ละทิ้งได้เช่นกัน แต่ฟลักซ์รั่วซึมที่ปลายตัวนำ (end-leakage flux) และฟลักซ์รั่วซึมจากการวางตัวนำเอียง (skew-leakage flux) ซึ่งปกติจะทำให้เกิดการสูญเสียสเตรย์โหลด (stray load) อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียที่แกนเหล็กที่เห็นผลได้ที่ความถี่อาร์โมนิคส์ ด้วยเหตุนี้ผลต่างๆ เหล่านี้จะต้องนำไปพิจารณาร่วมกับมอเตอร์ที่ทำงานด้วยแหล่งจ่ายที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์ การสูญเสียจากฟลักซ์รั่วซึมที่ปลายตัวนำ เป็นการสูญเสียแบบกระแสไหลวน (eddy current) ในแผ่นลามิเนต (laminates) เนื่องจากฟลักซ์รั่วซึมที่ด้านปลายขดลวดซึ่งอยู่ในแผ่นลามิเนตในทิศทางตั้งฉาก ผลของการรั่วซึมที่ปลายจะปรากฏในทั้งขดลวด สเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์

2.6 อาร์โมนิคส์ของแรงบิด

รูปคลื่น mmf ของโหม้อาร์โมนิคส์ในช่องอากาศ จะยังผลให้อาร์โมนิคส์ของแรงบิดเพิ่มขึ้นในโรเตอร์แรงบิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ก) อาร์โมนิคส์ของแรงบิดในภาวะสงบนิ่ง และ ข) ระลอกอาร์โมนิคส์ของแรงบิด

2.6.1 อาร์โมนิคส์ของแรงบิดในสภาวะสงบนิ่ง

แรงบิดคงที่หรือแรงบิดภาวะสงบนิ่งจะถูกสร้างขึ้นมา โดยปฏิกิริยาของอาร์โมนิคส์ของฟลักซ์ที่ช่องอากาศกับอาร์โมนิคส์ของ mmf ที่โรเตอร์ หรือกระแสที่อันดับเดียวกัน อย่างไรก็ตามอาร์โมนิคส์ของแรงบิดในภาวะสงบนิ่งเหล่านี้จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับนิคัดแรงบิด สามารถละทิ้งผลที่มีต่อการทำงานของมอเตอร์ได้ ซึ่งจะตรวจสอบได้โดยการคำนวณแรงบิด โดยใช้วงจรสมมูลย์ของอาร์โมนิคส์เข้าช่วยแรงบิดขององค์ประกอบมูลฐานจะคำนวณได้จากวงจรสมมูลย์ขององค์ประกอบมูลฐาน ดังนี้

$$T_1 = (1/2rf_1)(I_2)^2 R_2/s_1 \quad (2.44)$$

ในทำนองเดียวกันอาร์โมนิคส์ของแรงบิดอันดับที่ k^{th} , T_k ก็สามารคคำนวณได้จากวงจรมูลฐานของรูปที่ 2.3 ข) ดังนี้

$$T_k = \pm (1/2rf_1)(I_{2k})^2 R_{2k}/s_k \quad (2.45)$$

เมื่อแรงบิดตาม (forward torque) เนื่องจากอาร์โมนิคส์ลำดับขวกแทนด้วยขวก และแรงบิดสวนกลับ (reverse torque) เนื่องจากอาร์โมนิคส์ลำดับลบ แทนด้วยเครื่องหมายลบ

สลลลขององค์ประกอบมูลฐาน s_1 จะมีค่าน้อยที่การทำงานเต็มพิกัดปกติของมอเตอร์เหี่ยวนำ ดังนั้นสมการ (2.39) สำหรับสลลลของอาร์โมนิคส์จะเป็น

$$s_k = (k \pm 1)/k \quad (2.46)$$

แทนในสมการ (2.45)

$$T_k = \pm (1/2rf_1)Pm_1(I_{2k})^2 R_{2k}/(k \pm 1) \quad (2.47)$$

เมื่อรวมผลอาร์โมนิคส์ของแรงบิดจากแหล่งจ่ายทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้ว ผลของอาร์โมนิคส์ของแรงบิดภาวะสงบนิ่งอันดับที่ 5 และอันดับที่ 7 จะมีทิศทางตรงกันข้ามกันจึงทำให้แรงบิดล้นธมีขนาดเล็ก และมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงบิดของมอเตอร์จากองค์ประกอบมูลฐาน อาร์โมนิคส์อันดับที่ 11 และ 13 ก็จะมีลักษณะทำนองเดียวกัน จึงทำให้ผลโดยรวมของอาร์โมนิคส์ของแหล่งจ่ายสามารถละทิ้งไปได้

2.6.2 ระลอกอาร์โมนิคส์ของแรงบิด

องค์ประกอบการกระเหื่อมของแรงบิดจะเกิดจากปฏิกิริยาของอาร์โมนิคส์จาก $m\pi f$ ที่โรเตอร์กับอาร์โมนิคส์จากการหมุนของฟลักซ์ที่ต่างอันดับกัน ดังที่แสดงให้เห็นแล้วว่าอาร์โมนิคส์จากฟลักซ์ที่ชองอากาศนั้นมีค่าน้อย และการกระเหื่อมของแรงบิดที่เด่นชัดจะเกิดจากการกระทำร่วมกันระหว่างอาร์โมนิคส์จากกระแสโรเตอร์ หรือ $m\pi f$ และการหมุนของฟลักซ์องค์ประกอบมูลฐาน ตัวอย่างเช่นอาร์โมนิคส์

อันดับที่ 5 จากกระแสเตเตอร์ จะทำให้เกิดระบบที่มีลำดับเป็นลบและสร้างรูปคลื่น mmf องค์ประกอบ มวลฐานที่หมุนเป็น 5 เท่าของความเร็วเชิงโคโรนัลขององค์ประกอบมวลฐาน ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนาม แม่เหล็กขององค์ประกอบมวลฐานกระแสโรเตอร์ ที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาโดยสนามแม่เหล็กจากไทม์อาร์โม นิกล์นี้ต้านกับสนามแม่เหล็กหมุนขององค์ประกอบมวลฐาน ทำให้เกิดการกระเพื่อมของแรงบิดเป็น 6 เท่า ของความถี่องค์ประกอบมวลฐาน เพราะว่าความเร็วรอบสัมพัทธ์ของรูปคลื่น mmf ของโรเตอร์และองค์ ประกอบมวลฐานของสนามแม่เหล็กที่ช่องอากาศจะเป็น 6 เท่า ของความเร็วเชิงโคโรนัล

อาร์โมนิกส์ที่ 7 ของกระแสเตเตอร์ก็จะสร้างระลอกแรงบิดเป็น 6 เท่าของความถี่องค์ประกอบ มวลฐานเช่นกัน แต่อาร์โมนิกส์ที่ 7 มีลำดับเฟสเป็นบวกและดังนั้นจึงสร้างสนามแม่เหล็กจากไทม์อาร์ โมนิกส์หมุนเป็น 7 เท่าของความเร็วเชิงโคโรนัลในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กขององค์ประกอบมวลฐาน ความเร็วสัมพัทธ์ของสนามแม่เหล็กหลักที่ช่องอากาศและอาร์โมนิกส์ของ mmf ที่โรเตอร์จะเป็น 6 เท่า ของความเร็วเชิงโคโรนัลและระลอกของแรงบิดทั้งสองที่เป็น 6 เท่าของความถี่องค์ประกอบมวลฐานจะรวม กันสร้างการกระเพื่อมขึ้นในแรงบิดที่เกิดจากแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic torque) ที่สร้าง ขึ้นโดยมอเตอร์ ทำนองเดียวกันอาร์โมนิกส์ที่ 11 และ 13 จะสร้างอาร์โมนิกส์ที่ 12 ของระลอก แรงบิด

ระลอกแรงบิดจะมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ แต่จะทำให้ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์แปรไปในช่วง การหมุนที่ความเร็วรอบต่ำมากๆ การหมุนของมอเตอร์จะเป็นแบบตะกุกตะกัก หรือ เป็นขั้นๆ และการ เคลื่อนที่ที่ไม่เป็นปกตินี้จะ เป็นตัวกำหนดขีดจำกัดล่างของช่วงการใช้งานของมอเตอร์ ดังนั้นหากต้องการ ทำงานในย่านความเร็วรอบต่ำๆจะต้องทำให้รูปคลื่นเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์มีคุณภาพดีขึ้น โดยกำจัด อาร์โมนิกส์อันดับต่ำ ๆ ออกไป

แรงบิดองค์ประกอบมวลฐานสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$T = K \phi_1 I_2 \cos \phi_2$$

ในรูปแบบต่อหน่วยสมการของแรงบิดองค์ประกอบมวลฐานจะเป็น

$$T = \phi_1 I_2 \cos \phi_2$$

ในทำนองเดียวกันรูปแบบต่อหน่วยของสมการ 2.13 จะเป็น

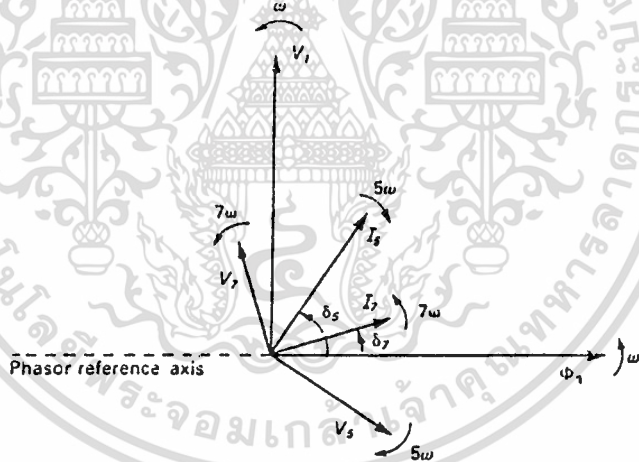
$$T = \phi_1 I_2 \sin \delta_2$$

$$= \phi_1 I_1 \sin \delta_1$$

แรงบิดมอเตอร์ที่เป็นบวกจะเกิดขึ้นเมื่อกระแส I_1 และ I_2 นำหน้าฟลักซ์ ϕ_1 เป็นมุมแรงบิด δ_1 และ δ_2 ตามลำดับ สมการเหล่านี้ สามารถนำไปใช้คำนวณหาแอมพลิจูดของระลอกแรงบิดได้ เฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันและกระแสองค์ประกอบมูลฐาน, อาร์โมนิคส์ที่ 5, 7 เขียนได้ ดังในรูปที่ 2.5 โดยกำหนดให้ ϕ_1 วางอยู่ในแกนอ้างอิงของเฟสเซอร์

สมมติว่า แรงดันองค์ประกอบมูลฐาน V_1 มีเฟสตรงกับ emf เหนียวน้ำ E_1 ที่สเตเตอร์แล้วฟลักซ์ ϕ_1 จะล่าหลัง V_1 ไป 90 องศา เมื่อไม่คิดค่าความต้านทานของเครื่องกลที่ความถี่อาร์โมนิคส์ และไม่คิดอาร์โมนิคส์จากกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก เนื่องจากวงจรสมมูลย์ของอาร์โมนิคส์เป็นรีแอคทีฟล้วน กระแสอาร์โมนิคส์ที่สเตเตอร์จะล่าหลังแรงดันที่อาร์โมนิคส์เดียวกัน เป็นมุม 90 องศา

จากรูปที่ 2.5 กระแสอาร์โมนิคส์หรือ mmf, I_5, I_7 จะนำหน้าฟลักซ์องค์ประกอบมูลฐาน ϕ_1 เป็นมุมแรงบิด δ_5 โดยเปรียบเทียบกับเฟสเซอร์ไดอะแกรมขององค์ประกอบมูลฐานคลื่นเหล่านี้ จะกระทำต่อกันเพื่อผลิตแรงบิดมอเตอร์ค่าบวก มีค่า



รูปที่ 2.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรมที่รวมเอาองค์ประกอบมูลฐาน, อาร์โมนิคส์ที่ 5, 7 เข้าด้วยกัน

$$T = \phi_1 I_5 \sin \delta_5 \quad (2.48)$$

เมื่อปริมาณทั้งหมดอยู่ในแบบต่อหน่วย

อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากเวลา t มุม δ_5 จะลดลงด้วยอัตรา 6ω มุม δ_5 ในช่วงเริ่มต้นจะกลายเป็น

เป็น $(\delta_5 - 6\omega t)$ ดังนั้น

$$T = \phi_1 I_5 \sin(\delta_5 - 6\omega t) \quad (2.49)$$

ในทำนองเดียวกัน กระแสอาร์โมนิคส์ที่ 7, I_7 จะนำหน้าฟลักซ์องค์ประกอบมูลฐาน ϕ_1 ด้วยมุมแรงบิด δ_7 ซึ่งจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 6ω ดังนั้น จึงมีองค์ประกอบแรงบิดที่เป็นบวกเพิ่มขึ้น

$$T = \phi_1 I_7 \sin(\delta_7 + 6\omega t) \quad (2.50)$$

จะเห็นว่าแต่ละองค์ประกอบแรงบิดจะมีระลอกด้วยความถี่เชิงมุมเป็น 6ω และอาร์โมนิคส์ที่ 6 ทั้งหมดของระลอกแรงบิดจะคำนวณได้โดยการการรวมเข้าด้วยกัน ดังนั้น

$$\begin{aligned} T_6 &= \phi_1 [I_5 \sin(\delta_5 - 6\omega t) + I_7 \sin(\delta_7 + 6\omega t)] \\ &= \phi_1 [(I_5 \sin \delta_5 + I_7 \sin \delta_7) \cos 6\omega t \\ &\quad - (I_5 \cos \delta_5 - I_7 \cos \delta_7) \sin 6\omega t] \end{aligned} \quad (2.51)$$

ผลลัพธ์อาจเขียนในรูป

$$T_6 = \phi_1 [I_5^2 + I_7^2 - 2I_5 I_7 \cos(\delta_5 - \delta_7)]^{1/2} \cos(6\omega t + \beta) \quad (2.52)$$

เมื่อ $\tan \beta = (I_5 \cos \delta_5 - I_7 \cos \delta_7) / (I_5 \sin \delta_5 + I_7 \sin \delta_7)$

อาร์โมนิคส์ที่ 6 ขององค์ประกอบแรงบิดที่เพิ่มขึ้นมาเกิดจากกิริยาร่วมกันของอาร์โมนิคส์ที่ 5 และ 7 ของฟลักซ์ที่ช่องอากาศกับองค์ประกอบมูลฐานของ mmf ที่โรเตอร์ แต่ปกติแล้วจะมีค่าน้อยมาก แอมพลิจูดของระลอกแรงบิดอาร์โมนิคส์ที่ 6 จะคำนวณได้จากสมการ 2.52 คือ

$$T_6 = \phi_1 [I_5^2 + I_7^2 - 2I_5 I_7 \cos(\delta_5 - \delta_7)]^{1/2} \quad (2.53)$$

จากการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกันนี้จะได้อัมปรีจุตต่อหน่วยของแรงบิดอาร์โมนิคส์ที่ 12 เนื่องจากการแอสอาร์โมนิคส์ที่ 11 และ 13 เป็น

$$T_{12} = \phi_1 [I_{11}^2 + I_{13}^2 - 2I_{11}I_{13} \cos(\delta_{11} + \delta_{13})]^{1/2} \quad (2.54)$$

โดยทั่วไปแล้วกระแสอาร์โมนิคส์ที่มีอันดับ $k = (6n-1)$ และ $(6n+1)$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็ม จะทำให้เกิดกระแสบิดที่มีอันดับ $6n$ ด้วยแอมป์ลิจูดเป็นค่าต่อหน่วยดังนี้

$$T_{6n} = \phi_1 [I_{6n-1}^2 + I_{6n+1}^2 - 2I_{6n-1}I_{6n+1} \cos(\delta_{6n-1} + \delta_{6n+1})]^{1/2} \quad (2.55)$$

2.7 การทำงานโดยให้ V/F ที่ขั้วมีค่าคงที่

สมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะสงบนิ่งจะวิเคราะห์โดยใช้วงจรสมมูลองค์ประกอบมูลฐานในรูปที่ 2.1 สำหรับการทำงานที่รูปคลื่นไซน์ปกติ โดยทั่วไปจะไม่คิด สกินเอฟเฟค ดังนั้นความต้านทานจึงเป็นอิสระจากความถี่ ในขณะที่คาร์แอกแตนซ์จะมีค่าแปรอย่างเป็นสัดส่วนกับความถี่ ด้วยเหตุนี้จึงไม่คิดค่าการสูญเสียที่แกนเหล็กด้วย ดังนั้นส่วนของวงจรแม่เหล็กจึงประกอบด้วยเฉพาะรีแอกแตนซ์จากการสร้างสนามแม่เหล็ก (X_m) อย่างเดียว การหมุนของรูปคลื่นฟลักซ์ในช่องอากาศจะเหนี่ยวนำแรงดัน emf, E_1 ขึ้นในขดลวดสเตเตอร์ emf นี้จะน้อยกว่าแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ V_1 เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์รั่วซึม $(R_1 + jx_1)I_1$ เพราะว่าคลื่น mmf ของสเปซอาร์โมนิคส์ไม่นำมาคิด การหมุนของฟลักซ์จึงมีการกระจายเป็นรูปคลื่นไซน์ และการคล้อง (linking) ของฟลักซ์ในขดลวดสเตเตอร์แต่ละขดมีการแปรผันตามเวลาในลักษณะไซน์ ถ้า ϕ ใช้แทน องค์ประกอบมูลฐานของฟลักซ์ต่อขั้วสนามแม่เหล็กหมุน การคล้องของฟลักซ์ชั่วขณะที่ ขดลวดที่นั้นแบบเต็มระยะ (full span) จะเป็น

$$\phi = \phi_1 \sin \omega_1 t \quad (2.56)$$

เมื่อ $\omega_1 = 2\pi f_1$ เป็นความถี่เชิงมุมของแหล่งจ่ายแรงดัน ค่า emf เหนี่ยวนำต่อรอบจะมีค่าเป็น

$$e_1 = d\phi/dt$$

$$= \omega_1 \phi_1 \cos \omega_1 t \quad (2.57)$$

ค่า rms ของ emf ที่สเตเตอร์จะคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E_1 &= \omega_1 \phi_1 K_w N_1 / 2 \\ &= 4.44 K_w f_1 N_1 \phi_1 \end{aligned} \quad (2.58)$$

ถ้า K_w มีค่าเป็น 1 แล้ว สมการ emf ของหม้อแปลงทั่วไป ก็สามารถนำมาใช้ได้ สำหรับมอเตอร์หรือหม้อแปลง ϕ_1 จะเป็นสัดส่วนกับ E_1 / ω_1 หรือ E_1 / f_1

เพื่อให้การนำไปใช้งานมีประสิทธิภาพ ฟลักซ์ที่ช่องอากาศของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องรักษาให้มีค่าคงที่ทุกความถี่ ฟลักซ์ที่ช่องอากาศจะมีค่าคงที่เมื่ออัตราส่วน E_1 / f_1 มีค่าคงที่ แต่ถ้าหากว่าแรงดันตกคร่อมอินดิคานซ์รั่วซึมที่สเตเตอร์มีค่าน้อยแล้ว V_1 และ E_1 จะมีค่าประมาณเท่ากัน ด้วยเหตุนี้ ฟลักซ์ที่ช่องอากาศจะมีค่าเกือบคงที่เมื่ออัตราส่วน V_1 / f_1 มีค่าคงที่ นี่เป็นวิธีการทำงานในโหมดแรงดันต่อความถี่ที่ขั้วมีค่าคงที่ ซึ่งปกติจะใช้ในระบบขับเคลื่อน ข้อเสียก็คือสมรรถนะของมอเตอร์จะต่ำลงที่ความถี่ต่ำ เมื่อฟลักซ์ที่ช่องอากาศลดลง เพราะว่ามีแรงดันตกคร่อมอินดิคานซ์รั่วซึม

2.7.1 คุณลักษณะแรงบิด

จากวงจรสมมูลย์ ของรูปที่ 2.1 จะเขียนสมการเฟสเซอร์ได้ดังนี้

$$V_1 = (R_1 + jX_1) I_1 + [R_2 / S + jX_2] I_2 \quad (2.59)$$

$$jX_m (I_1 - I_2) = [R_2 / S + jX_2] I_2 \quad (2.60)$$

สมการ (2.7) สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$T = (1/\omega_1) P_m I_2^2 R_2 / S \quad (2.61)$$

$$\text{จากนิยาม} \quad S = (1/\omega_1) (\omega_1 - \omega_m) \quad (2.62)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ω_1 และ ω_m กำหนดให้หน่วยเดียวกัน เป็นเรเดียน/วินาที โดย $\omega_1 = 2\pi f_1$ เป็นความถี่เชิงมุมของแหล่งจ่าย

ถ้า f_2 เป็นความถี่ที่โรเตอร์ ซึ่งมีลักษณะเดียวกับความถี่ที่สเตเตอร์ f_1 แล้ว

$$\begin{aligned} s &= f_2 / f_1 \\ &= \omega_2 / \omega_1 \end{aligned} \quad (2.63)$$

เมื่อ $\omega_2 = 2\pi f_2$

ผลต่างความเร็ว $\omega_1 - \omega_m$ นี้เรียกว่าความเร็วรอบสลลล จาก (2.62) และ (2.63) จะได้

$$\begin{aligned} \omega_1 - \omega_m &= \omega_2 \\ &= s\omega_1 \end{aligned} \quad (2.64)$$

ดังนั้นความเร็วรอบสลลลเป็นเรเดียนไฟฟ้าต่อวินาที จึงเท่ากับความถี่เชิงมุมของโรเตอร์ ω_2

จากสมการ (2.60), (2.61), (2.62) และ (2.63) แรงบิดของมอเตอร์สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของแรงดัน V_1 และความถี่เชิงมุม ω_1 และ ω_2 ดังนี้

$$T = P_{m1} [V_1 / \omega_1]^2 \omega_2 X_m^2 / (R_2 [A^2 + B^2]) \quad (2.65)$$

เมื่อ $A = R_1 - (\omega_2 / \omega_1 R_2) (X_{11} X_{22} - X_m^2)$

$$B = X_{11} + (X_{11} + \omega_2 R_1 X_{22} / \omega_1 R_2)$$

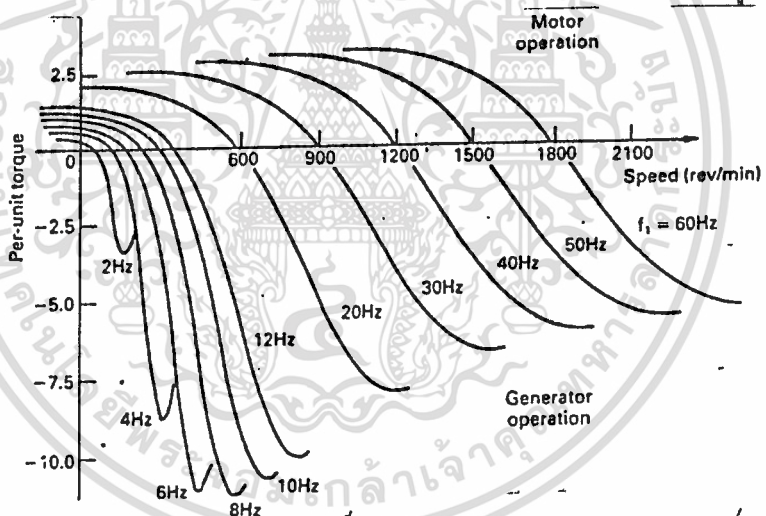
$$X_{11} = X_1 + X_m$$

$$X_{22} = X_2 + X_m$$

ในรูปที่ 2.6 แสดงถึงคุณสมบัติของแรงบิด- ความเร็วรอบของการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความถี่ได้ จะพบว่าที่ความถี่ที่ต่ำกว่า 10 Hz นั้น แรงบิดสูงสุดจะลดลงอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากฟลักซ์ที่ช่องอากาศลดลงซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์รีวัทิม มีค่าสูงเมื่อเทียบกับแรงดันองค์ประกอบมูลฐานซึ่งไม่สามารถละทิ้งได้

ในช่วงที่เป็นเครื่องกำเนิดแบบเหนี่ยวนำตัวเครื่องกลจะทำงานโดยให้กำลังงานไหลย้อนกลับและมีแรงดันย้อนกลับตกคร่อมที่สเตเตอร์มีผลให้ emf E_s มีค่าสูงขึ้น และฟลักซ์ที่ช่องอากาศก็มีค่าสูงขึ้นด้วยด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแรงบิดของเครื่องกำเนิดขึ้นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติในรูปที่ 2.6 จะใช้หลักการของวงจรสมมูลย์เชิงเส้นของรูปที่ 2.1 ซึ่งไม่คิดการอิ่มตัวของแม่เหล็ก ในทางปฏิบัติแล้วผลของการอิ่มตัวนี้จะทำให้แรงบิดการเบรคในช่วงเป็นเครื่องกำเนิด มีค่าน้อยกว่าทางทฤษฎี ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6

ในช่วงทำงานเป็นมอเตอร์การอิ่มตัวจะไม่เกิดขึ้น สมการที่ (2.65)สามารถนำไปใช้คำนวณหาแรงบิดมอเตอร์ได้ แรงบิดเบรคความถี่จะปรากฏที่ความถี่โรเตอร์เฉพาะค่า เรียกว่าความถี่เบรคความถี่โรเตอร์ โดยการตีเฟอเรนซ์เอทสมการที่ (2.65) เทียบกับ ω_2 และให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ความถี่



รูปที่ 2.6 คุณสมบัติของแรงบิด - ความเร็วรอบของการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความถี่ได้ด้วยการให้อัตราส่วน V/F มีค่าคงที่

เบรคความถี่โรเตอร์ ω_{2b} จะเป็น

$$\omega_{2b} = \frac{\omega_1 R_2 [(R_1^2 + X_{11}^2) / \{(X_{11} X_{22} - X_m^2)^2 + R_1^2 X_{22}^2\}]^{1/2}}{1} \quad (2.66)$$

เครื่องหมายบวกและลบใช้แทนการทำงานเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์และเครื่องกำเนิดตามลำดับ ถ้า X_m

มีค่า มากกว่า X_1 และ X_2 มากๆ แล้วสมการ (2.66) จะลดลงเป็น

$$\omega_{2b} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \sqrt{R_2^2 + (\omega_1 + \omega_2)^2}^{1/2} \quad (2.67)$$

แรงบิดเบรคตาว์สามารถคำนวณได้โดยการแทนค่า ω_{2b} แทน ω_2 ในสมการ (2.65) แรงบิดเริ่มสตาร์ทก็คำนวณได้โดยให้ ω_1 เท่ากับ ω_{2b} ในสมการ (2.65)

2.8 การทำงานเมื่อฟลักซ์ที่ช่องอากาศคงที่

เพื่อให้ได้แรงบิดมีค่าคงที่ตลอดย่านความเร็ว ฟลักซ์ที่ช่องอากาศควรรักษาให้มีค่าคงที่และไม่ยอมให้ลดลงที่ความถี่ต่ำ ค่าคงที่นี้ทำได้ถ้าหากว่า emf ที่ช่องอากาศ E_1 ไม่ใช่แรงดันที่ขั้ว V_1 นั้นได้รับการปรับอย่างเป็นเชิงเส้นกับความถี่

จากวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 2.1

$$\begin{aligned} E_1 &= jX_m I_m \\ &= j\omega_1 L_m I_m \end{aligned} \quad (2.68)$$

ฟลักซ์ที่ช่องอากาศ ϕ จะเป็นสัดส่วนกับ E_1/ω_1 ดังนั้นจึงเป็นสัดส่วนกับผลคูณ $L_m I_m$ จากสมการ (2.68) ถ้า L_m มีค่าคงที่ และไม่มึผลจากการอิ่มตัวฟลักซ์ที่ช่องอากาศจะเป็นสัดส่วนกับ I_m ฟลักซ์ที่ช่องอากาศที่คงที่ ต้องการกระแสสร้างสนามแม่เหล็กที่คงที่ตลอดช่องความเร็วและโหลด ในทางปฏิบัติ I_m อาจจจะรักษาให้มีค่าคงที่ที่พิกัดตามลักษณะของการทำงานที่โหลดเต็มที่ปกติ ที่พิกัดแรงดันและความถี่ นอกจากนี้ I_m อาจจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ตามลักษณะการทำงานขณะไม่มีโหลดที่พิกัดแรงดันและความถี่ นอกจากนี้ จากวงจรสมมูลย์ของรูปที่ 2.1 กระแสโรเตอร์ I_2 จะคำนวณได้จากสมการ

$$I_2 = E_1 / [(R_2/s)^2 + X_2^2]^{1/2} \quad (2.69)$$

ถ้า $X_2 = \omega_1 L_2$ และ $s = s_2/\omega_1$ จากสมการ (2.63) แทนค่าเหล่านี้ในสมการ (2.69) จะได้

$$I_2 = [E_1/\omega_1] \omega_2 / [R_2^2 + (\omega_2 L_2)^2]^{1/2} \quad (2.70)$$

ถ้าฟลักซ์ช่องอากาศมีค่าคงที่ แล้ว E_1/ω_1 จะมีค่าคงที่และกระแสโรเตอร์ I_2 จะเป็นฟังก์ชันของความถี่โรเตอร์, ω_2 เท่านั้น และเป็นอิสระจากความถี่แหล่งจ่าย, ω_1

2.8.1 คุณลักษณะแรงบิด

สมการที่ (2.70) สามารถแทนในสมการที่ (2.61) เพื่อให้ได้สมการแรงบิดดังนี้

$$T = Pm_1 [E_1/\omega_1]^2 [\omega_2 R_2 / (R_2^2 + (\omega_2 L_2)^2)] \quad (2.71)$$

ในรูปที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติ แรงบิด - ความเร็วรอบสำหรับการทำงานที่ปรับความถี่ได้ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งฟลักซ์ที่ช่องอากาศได้รับการรักษาให้มีค่าคงที่ ที่ค่าเดียวกับการทำงานขณะไม่มีโหลดที่พิกัดแรงดันและความถี่ จะเห็นว่าแรงบิดเบรคตาว์จะเป็นค่าเดียวกับที่ความถี่แหล่งจ่ายทุกๆค่าและมอเตอร์จะมีความสามารถให้แรงบิดที่ตลอดเต็มช่วงความเร็ว จึงไม่เกิดปัญหาสมรรถนะตกที่ความถี่ต่ำ

ทำการตีฟเพื่อเรนซิเอทสมการ (2.71) เทียบกับ ω_2 และให้สมการมีค่าเท่ากับศูนย์จะได้ความถี่เบรคตาว์ที่โรเตอร์เป็น

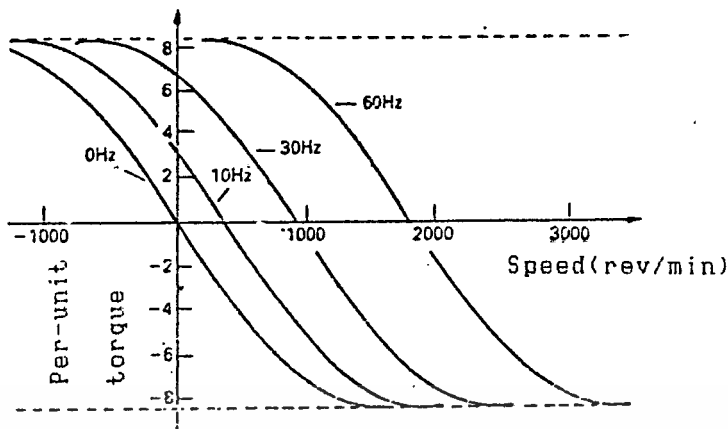
$$\omega_{2b} = \pm R_2/L_2 \quad (2.72)$$

นำไปแทนในสมการที่ (2.71) จะได้แรงบิดเบรคตาว์เป็น

$$T_b = \mp Pm_1 (E_1/\omega_1)^2 (1/2L_2) \quad (2.73)$$

2.9 การทำงานโดยให้แรงดันมีค่าคงที่

การทำงานของมอเตอร์ในย่านแรงบิดคงที่ที่จะต้องแปรค่าแรงดันไปพร้อมกับความถี่เพื่อควบคุมฟลักซ์ให้มีค่าคงที่ ย่านการควบคุมนี้สิ้นสุดที่แรงดันและความถี่มีค่าตามพิกัด อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์ก็สามารถจ่ายแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ที่ความถี่สูงกว่าได้ วิธีนี้จะทำให้มอเตอร์มีความเร็วรอบสูงขึ้นกว่าความเร็วฐาน แต่จะต้องลดแรงบิดที่มอเตอร์สามารถจ่ายได้ลงด้วยการลดอัตราส่วน V/F ลง การทำงานในย่านนี้เรียกว่าย่านกำลังงานคงที่



รูปที่ 2.7 คุณลักษณะของแรงบิด - ความเร็วรอบสำหรับการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความถี่ได้ด้วยวิธีการควบคุมฟลักซ์ที่ช่องอากาศให้คงที่

2.9.1 คุณลักษณะแรงบิด

ในย่านการทำงานที่ความถี่สูง กระแสที่สเตเตอร์จะมีค่าตามดังนี้

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{[(R_2/s)^2 + (X_1 + X_2)^2]^{1/2}}} \tag{2.74}$$

แทน I_2 ในสมการ (2.61) จะได้

$$T = \frac{(P_{m1}/\omega_1)(V_1^2/\sqrt{[(R_2/s)^2 + (X_1 + X_2)^2]})}{\omega_1} (R_2/s) \tag{2.75}$$

และแทน s จากสมการ (2.63) จะได้สมการแรงบิดดังนี้

$$T = \frac{(P_{m1}/\omega_1^2)(V_1^2\omega_2 R_2/\sqrt{[R_2^2 + \omega_2^2(L_1 + L_2)^2]})}{\omega_1} \tag{2.76}$$

เมื่อ $(L_1 + L_2)$ เป็นค่าความเหนี่ยวนำรั่วทั้งหมดของมอเตอร์

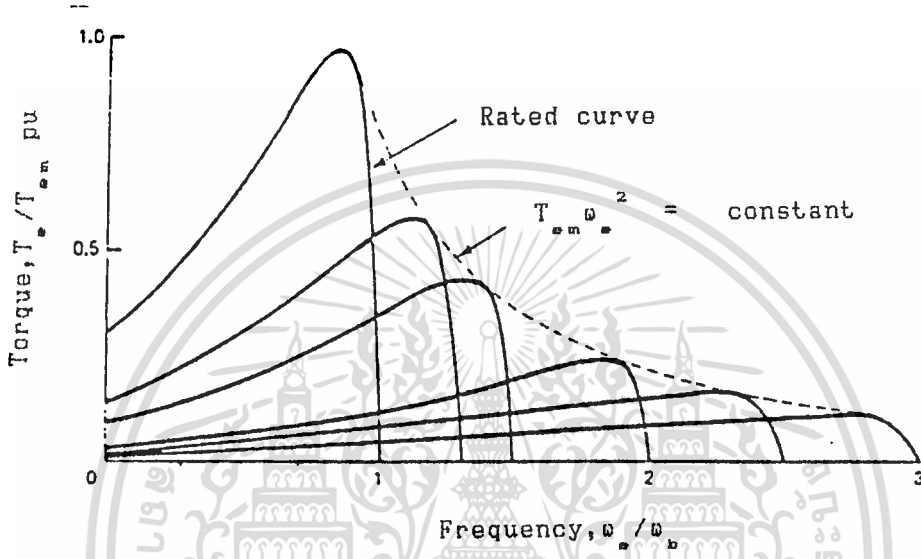
ทำการดิฟเฟอเรนเชียลสมการ (2.76) เทียบกับ ω_2 และให้มีค่าเป็น 0 ความถี่เบรคดาวน์ของโรเตอร์ ω_{2b} ที่ความถี่สเตเตอร์ ω_1 สามารถคำนวณได้จาก

$$\omega_{2b} = \frac{R_2}{(L_1 + L_2)} \tag{2.77}$$

แทน (2.77) ใน (2.76) จะได้แรงบิดเบรคตาวาน์เป็น

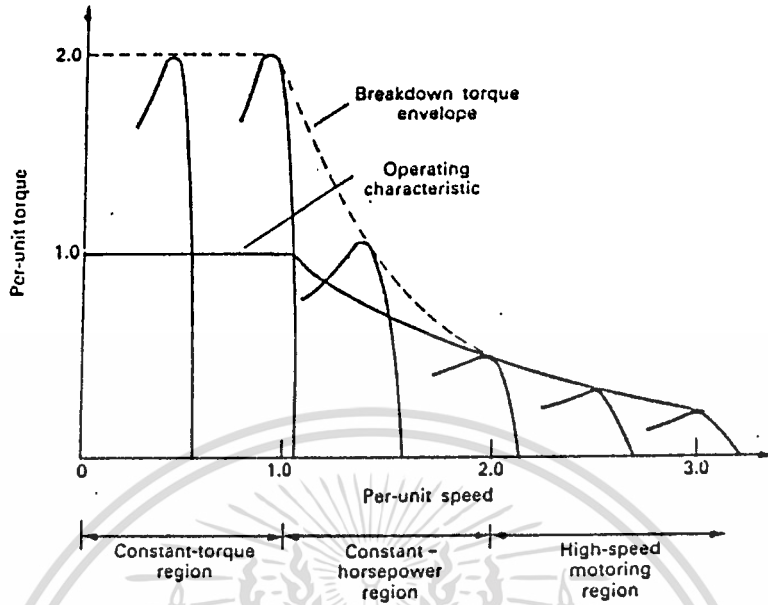
$$T_b = + (Pm_1 / \omega_1^2) (V_1^2) (1/2(L_1 + L_2)) \tag{2.78}$$

ω_{2b} จะเป็นอิสระจาก ω_1 แต่ T_b จะเป็นสัดส่วนผกผันกับ ω_1^2 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8

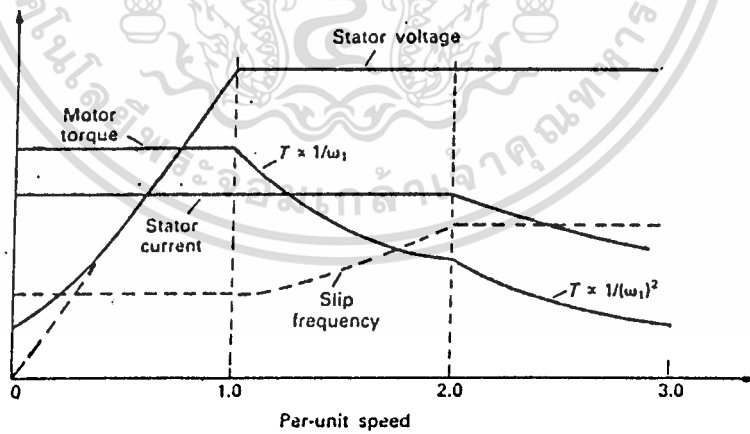


รูปที่ 2.8 คุณลักษณะแรงบิด - ความเร็ว สำหรับการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับความถี่ได้เมื่อแรงดันมีค่าคงที่

เมื่อนำเอาการทำงานแต่ละย่านมารวมกัน จะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด - ความเร็วดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 และ 2.10 จะพบว่าที่ความถี่สูงกระแสเตเตอร์จะลดลงเนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์มีค่าสูงขึ้นและสลลลจะมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 เส้นเคิร์ฟของแรงบิด - ความเร็ว ที่มีการปรับแรงต้นและปรับความถี่ ของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของแรงต้น - ความถี่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การกำจัดฮาร์โมนิกส์ในแรงดันเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ด้วยเทคนิค SHEPWM

3.1 บทนำ

สัญญาณที่มีรูปคลื่นไม่ใช่ไซน์ จะประกอบไปด้วยฮาร์โมนิกส์ต่างๆ เมื่อนำเอาสัญญาณนี้ไปใช้กับระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ผลของฮาร์โมนิกส์จะทำให้เกิดการสูญเสียที่คลวมคลือ, เกิดระลอกแรงบิด, และเสียงรบกวน จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนลดลงมาก อย่างไรก็ตามในระบบสามเฟส ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และอันดับที่เป็นผลคูณของ 3 จะมีเฟสที่ตรงกัน และไม่มีผลกระทบต่อมอเตอร์แต่อย่างใด ด้วยเหตุดังกล่าวจึงเลือกกำจัดฮาร์โมนิกส์เฉพาะบางค่าเท่านั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีอนุกรมฟูเรียร์, การกำจัดฮาร์โมนิกส์เฉพาะค่า, การแก้สมการไม่เชิงเส้นด้วยวิธีนิวเมอริคอล ตลอดจนการลุ่มค่ามุมเริ่มต้นเพื่อให้คำตอบเร็ว

3.2 วิธีกำจัดฮาร์โมนิกส์ในอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์

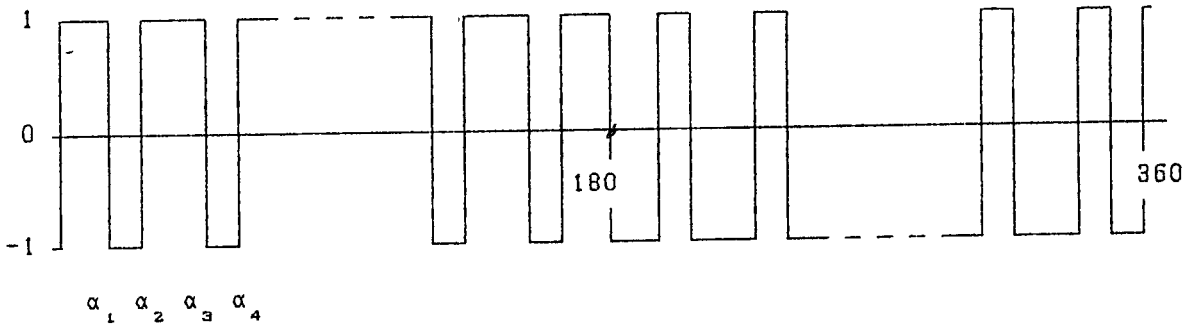
ในการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ในอินเวอร์เตอร์จะใช้สัญญาณเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบฮาล์ฟบริดจ์ โดยทำให้อยู่ในรูปทั่วไป รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่เอาต์พุทจะถูกสับ (chop) เป็นจำนวนหลาย ๆ ครั้งและความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งของการสับ และจำนวนฮาร์โมนิกส์ที่สามารถกำจัดได้จะวิเคราะห์ตาม [9] ในรูปที่ 3.1 แสดงรูปคลื่นที่เอาต์พุทถูกสับจำนวน N ครั้งต่อครึ่งวัฏจักร สมมติให้รูปคลื่นมีลักษณะเป็นรายคาบสมมาตรแบบครึ่งวัฏจักรมีช่วงสูงของสัญญาณเป็นหนึ่ง ดังนั้น

$$f(\omega t) = -f(\omega t + \pi) \quad (3.1)$$

เมื่อ $f(\omega t)$ เป็นฟังก์ชันรายคาบที่มี 2 สถานะมีการสับ N ครั้งต่อครึ่งวัฏจักร

ให้ $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{2N}$ เป็นมุมการสวิตช์ตามรูปที่ 3.1 รูปคลื่นนั้นสามารถเขียนแทนได้ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ดังนี้

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t)] \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.1 รูปคลื่นเอานท์นุทของอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์

โดยที่

$$a_n = (1/\pi) \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \tag{3.3}$$

$$b_n = (1/\pi) \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \tag{3.4}$$

แทนค่า $f(\omega t)$ ในสมการ (3) และใช้คุณสมบัติของการสมมาตรในครึ่งวัฏจักรจะได้

$$a_n = (2/\pi) \sum_{k=0}^{2N} (-1)^k \int_{\alpha_k}^{\alpha_{k+1}} \sin(n\omega t) d(\omega t) \tag{3.5}$$

โดย

$$\alpha_0 = 0, \quad \alpha_{2N+1} = \pi \text{ และ}$$

$$\alpha_0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_{2N+1}$$

อินทิเกรตสมการ (3.5) จะได้

$$\begin{aligned} a_n &= (2/n\pi) \sum_{k=0}^{2N} (-1)^k [\cos(n\alpha_k) - \cos(n\alpha_{k+1})] \\ &= (2/n\pi) [\cos n\alpha_0 - \cos n\alpha_{2N+1} + 2\sum_{k=1}^{2N} (-1)^k \cos n\alpha_k] \end{aligned} \tag{3.6}$$

เนื่องจาก $\alpha_0 = 0$ และ $\alpha_{2N+1} = \pi$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\cos n\alpha_0 = 1 \quad (3.7)$$

$$\cos n\alpha_{2N+1} = (-1)^n \quad (3.8)$$

จากสมการ (3.6) จะได้

$$a_n = (2/n\pi) [1 - (-1)^n + 2 \sum_{k=1}^{2N} (-1)^k \cos n\alpha_k] \quad (3.9)$$

ทำนองเดียวกัน

$$b_n = -(4/n\pi) \sum_{k=1}^{2N} (-1)^k \sin n\alpha_k \quad (3.10)$$

โดยใช้คุณสมบัติของการสมมาตรในครึ่งวงจักร ได้ $a_n = 0$ และ $b_n = 0$ สำหรับ n ที่เป็น
จากสมการ (3.9) และ (3.10) จะได้

$$a_n = (4/n\pi) [1 + \sum_{k=1}^{2N} (-1)^k \cos n\alpha_k] \quad (3.11)$$

$$b_n = (4/n\pi) [-\sum_{k=1}^{2N} (-1)^k \sin n\alpha_k] \quad (3.12)$$

สมการ (3.11) และ (3.12) จะเป็นฟังก์ชันของตัวแปรจำนวน $2N$ ค่า คือ $\alpha_1, \dots, \alpha_{2N}$ ในการหาคำตอบสำหรับตัวแปรจำนวน $2N$ ค่า เราจะต้องใช้สมการจำนวน $2N$ สมการในการกำจัดค่าของอาร์โมนิคส์จำนวน N ค่า สมการจำนวน $2N$ สมการจะได้มาจากสมการที่ (3.11) และ (3.12)

เราสามารถลดสมการลงเหลือ N สมการได้ โดยใช้ $b_n = 0$ สำหรับจำนวน N ของ n และเฉลี่ยสมการโดยสมมติให้ $f(\omega t)$ มีลักษณะสมมาตร $1/4$ วงจักร นั่นคือ

$$f(\omega t) = f(\pi - \omega t) \quad (3.13)$$

จากคุณสมบัติของการสมมาตร 1/4 วัฏจักรจะได้ความสัมพันธ์ตามรูป 1 ดังนี้

$$\alpha_k = \pi - \alpha_{2N-k+1} \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} \text{Sin}\alpha_k &= \text{Sin}(\pi - \alpha_{2N-k+1}) \\ &= [\text{Sin}\pi \text{Cos}\alpha_{2N-k+1} - \text{Cos}\pi \text{Sin}\alpha_{2N-k+1}] \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$k = 1, 2, \dots, N$$

สำหรับ n ที่เป็นเลขคี่

$$\text{Sin}\pi = 0, \text{Cos}\pi = -1$$

แทนค่าในสมการ (3.15)

$$\text{Sin}\alpha_k = \text{Sin}\alpha_{2N-k+1} \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.16)$$

แทนค่าในสมการ (3.16) ในสมการ (3.12)

$$\begin{aligned} b_n &= (4/n\pi) \sum_{k=1}^N (\text{Sin}\alpha_k - \text{Sin}\alpha_{2N-k+1}) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (3.17)$$

จากสมการ (3.14)

$$\text{Cos}\alpha_k = \text{Cos}(\pi - \alpha_{2N-k+1}) \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.18)$$

สำหรับ n ที่เป็นเลขคี่จากสมการ (3.18) จะได้

$$\text{Cos}\alpha_k = -\text{Cos}\alpha_{2N-k+1} \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.19)$$

แทนค่า (3.19) ลงในสมการ (3.11) จะได้

$$a_n = (4/n\pi) \left[1 + 2 \sum_{k=1}^N (-1)^k \text{Cos}\alpha_k \right] \quad (3.20)$$

สำหรับสัญญาณที่มีสองสถานะดังในรูปที่ 3.1 สามารถกำจัดอาร์โมนิคส์ได้ถึง N ค่าโดยการเฉลี่ยสมการจำนวน N สมการ ซึ่งได้มาจากสมการ (3.20) โดยกำหนดให้อาร์โมนิคส์ที่ไม่ต้องการมีค่าเป็นศูนย์ สมการที่ได้นี้จะเป็สมการไม่เชิงเส้นและสามารถมีคำตอบได้หลายค่า ในทางปฏิบัติเราสามารถหาค่าของคำตอบเหล่านี้ได้โดยวิธีนิวเมอริคอล

3.3 การเฉลี่ยคำตอบสมการไม่เชิงเส้นโดยวิธีนิวเมอริคอล

สมการไม่เชิงเส้นที่มีตัวแปรจำนวน N ตัวสามารถเขียนได้ดังนี้

$$f_i(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.21)$$

ซึ่งสมการจำนวน N สมการนี้ได้มาจาก (3.20) โดยให้หาค่าเท่ากับศูนย์สำหรับอาร์โมนิคส์ที่ต้องการกำจัดและให้หาค่าตามที่กำหนดสำหรับอาร์โมนิคส์อันดับที่หนึ่งหรือองค์ประกอบมูลฐาน สมการ (3.21) เขียนให้อยู่ในรูปของเว็คเตอร์ได้ดังนี้

$$f(\alpha) = 0 \quad (3.22)$$

โดยที่

$$f = [f_1, f_2, \dots, f_N]^T$$

$$\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N]^T$$

สมการ (3.22) สามารถเฉลี่ยได้โดยวิธีทำให้เป็นเชิงเส้น ซึ่งสมการไม่เชิงเส้นสามารถทำให้เป็นเชิงเส้นได้ โดยการแทนด้วยค่าโดยประมาณผลลัพท์ขั้นตอนการคำนวณจะเป็นดังนี้

3.3.1) ประมาณค่าเริ่มแรกของ α เป็น

$$\alpha^0 = [\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_n^0]^T$$

3.3.2) หาค่าของ

$$f(\alpha^0) = f^0 \quad (3.23)$$

3.3.3) ทำสมการ (3.22) ให้เป็นเชิงเส้นโดยแทนด้วย α^0

$$f^0 + [\partial f / \partial \alpha]^0 d\alpha = 0 \quad (3.24)$$

โดยที่

$$[\partial f / \partial \alpha]^0 = \begin{bmatrix} \partial f_1 / \partial \alpha_1 & \partial f_1 / \partial \alpha_2 & \dots & \partial f_1 / \partial \alpha_n \\ \partial f_2 / \partial \alpha_1 & \partial f_2 / \partial \alpha_2 & \dots & \partial f_2 / \partial \alpha_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \partial f_n / \partial \alpha_1 & \partial f_n / \partial \alpha_2 & \dots & \partial f_n / \partial \alpha_n \end{bmatrix}$$

หาค่าที่ α^0 และ $d\alpha = [d\alpha_1 \quad d\alpha_2 \quad \dots \quad d\alpha_n]^T$

3.3.4) แลสมการ (3.24) เพื่อหาค่า $d\alpha$

3.3.5) เริ่มขั้นตอนที่ 1) - 4) ใหม่โดยการประมาณใหม่เป็น

$$\alpha^1 = \alpha^0 + d\alpha \quad (3.25)$$

วิธีการข้างต้นจะทำซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง เพื่อให้ได้ค่าละเอียดตามต้องการ ถ้าวิธีดังกล่าวค่าเข้า

หาคำตอบ ก็จะได้ผลลัพธ์ของสมการ (3.22) ถ้าเกิดกรณีที่หาคำตอบไม่ได้จะต้องเปลี่ยนค่าเริ่มต้นใหม่ โดยการเคาแบบสุ่ม คำตอบที่ถูกต้องจะต้องอยู่ในเงื่อนไข

$$0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_N < \pi/2 \tag{3.26}$$

3.4 การหาคำตอบโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

เพื่อสนับสนุนเทคนิคนิวเมอริคอลที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ อัลกอริธึมของคอมพิวเตอร์ จะได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้หาคำตอบของสมการไม่เชิงเส้นจำนวน N สมการ ที่ได้มาจากสมการ (3.20)

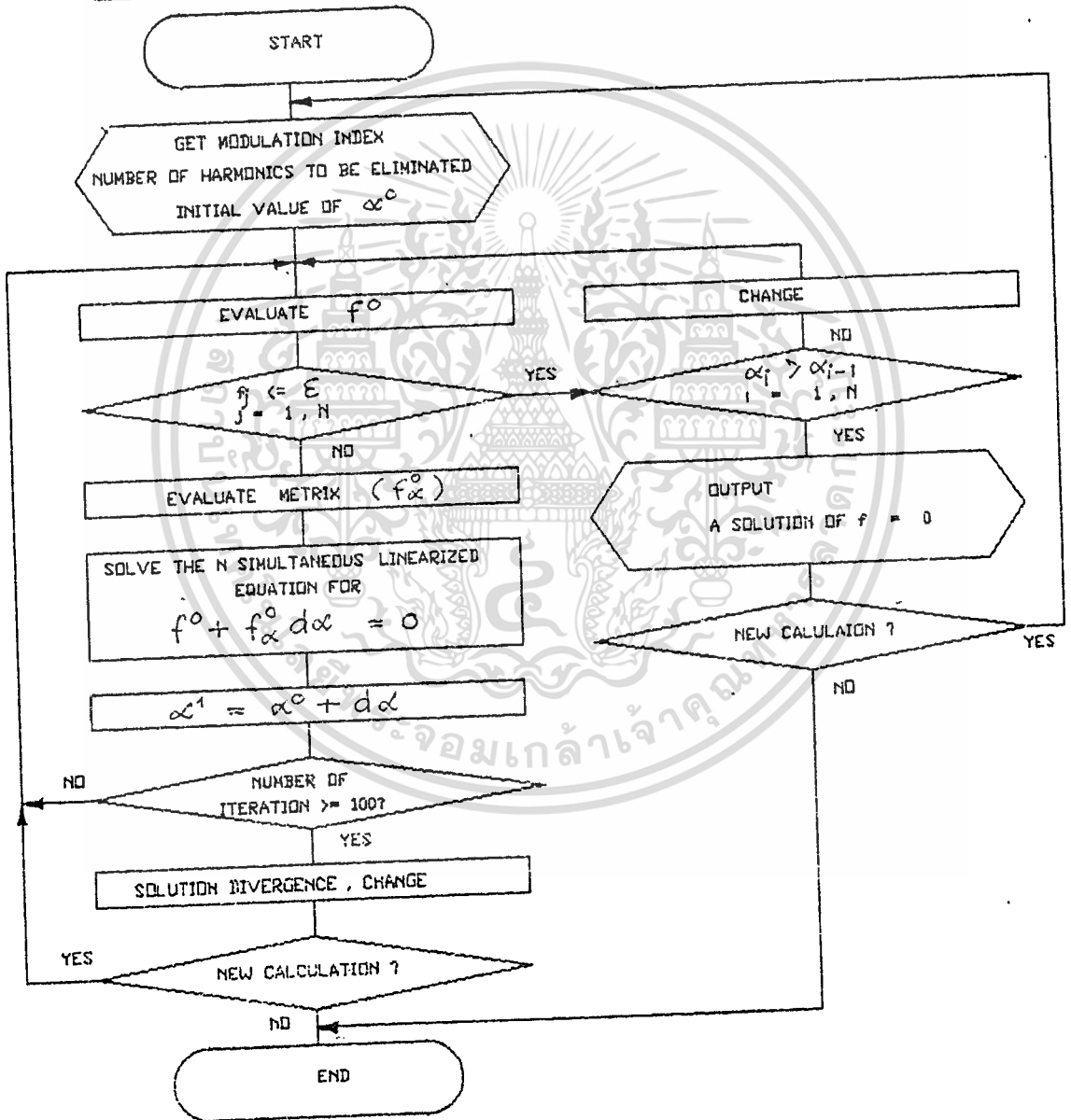
กำหนดให้ n_1 เป็นองค์ประกอบมูลฐาน และ n_2, n_3, \dots, n_N เป็นอาร์โมนิคส์ที่ต้องการกำจัด ดังนั้นสมการจำนวน N สมการจำกัดอาร์โมนิคส์ได้ $N-1$ อันดับ จากสมการ (3.20) สามารถเขียนเป็นสมการที่ n ค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} f_1(\alpha) &= (4/n_1\pi) \left\{ 1 + 2 \sum_{k=1}^N (-1)^k \text{Cos} \alpha_k \right\} + a_1 = 0 \\ f_2(\alpha) &= 1 + 2 \sum_{k=1}^N (-1)^k \text{Cos} n_2 \alpha_k = 0 \\ f_N(\alpha) &= 1 + 2 \sum_{k=1}^N (-1)^k \text{Cos} n_N \alpha_k = 0 \end{aligned} \tag{3.27}$$

ค่าอนุพันธ์ $df/d\alpha$ ของสมการ (3.24) จะหาได้จาก (3.28)

สมาชิกของคอลัมน์สุดท้ายของเมตริกซ์ในสมการ (3.28) จะเป็นบวก ถ้า N เป็นเลขคี่ และจะเป็นลบถ้า N เป็นเลขคู่ โดยการใช่วิธีนิวเมอริคอล จะได้อัลกอริธึมตามรูปที่ 3.2 โปรแกรมสำหรับคอมพิวเตอร์ตามอัลกอริธึมดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \begin{bmatrix} 2n_1 \text{Sinn}_1 \alpha_1 & -2n_1 \text{Sinn}_1 \alpha_2 & \dots & + 2n_1 \text{Sinn}_1 \alpha_N \\ 2n_2 \text{Sinn}_2 \alpha_1 & -2n_2 \text{Sinn}_2 \alpha_2 & \dots & + 2n_2 \text{Sinn}_2 \alpha_N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2n_N \text{Sinn}_N \alpha_1 & -2n_N \text{Sinn}_N \alpha_2 & \dots & + 2n_N \text{Sinn}_N \alpha_N \end{bmatrix} \quad (3.28)$$



รูปที่ 3.2 อัลกอริทึมของคอมพิวเตอร์สำหรับหาคำตอบเชิงเลข

3.5 การสุ่มค่ามุมเริ่มต้นเพื่อให้ได้คำตอบเร็ว [10]

วิธีนิวเมอริคอลและการหาคำตอบของสมการไม่เชิงเส้น ตามหัวข้อ 3.3 และ 3.4 นั้น มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์มาก เนื่องจากสมการเหล่านั้นประกอบด้วยเทอมที่เป็นตรีโกณมิติ ซึ่งมีความยากมาก นอกจากนี้ยังให้คำตอบได้หลายคำตอบอีกด้วย เพื่อให้การหาคำตอบด้วยวิธีนิวเมอริคอล ลู่เข้าหาคำตอบจริง ค่าของมุมเริ่มต้นจะต้องใกล้เคียงกับคำตอบจริงอย่างมาก ดังนั้นจึงทำให้การหาคำตอบด้วยวิธีนิวเมอริคอลของสมการไม่เชิงเส้นที่มีจำนวนมุมมาก ๆ มีความยุ่งยากมาก

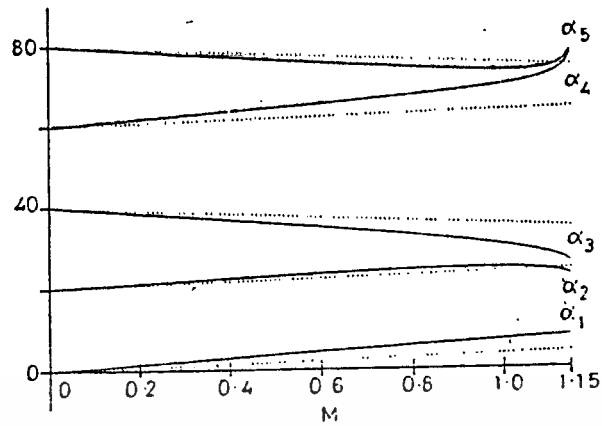
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการหาค่ามุมเริ่มต้น ของการหาคำตอบของสมการไม่เชิงเส้น โดยอัลกอริธึมนี้จะใช้ประโยชน์ของคุณสมบัติการสมมาตรจากรูปแบบของคำตอบจริง โดยสังเกตจากจำนวนมุมน้อย ๆ และสร้างกลุ่มของค่ามุมเริ่มต้นเพื่อใช้หาคำตอบด้วยวิธีนิวเมอริคอลของสมการไม่เชิงเส้น ค่ามุมเริ่มต้นนี้จะใกล้เคียงกับคำตอบจริง ทำให้การหาคำตอบด้วยวิธีนิวเมอริคอลลู่เข้าหาคำตอบแน่นอน วิธีการนี้จะลดเวลาในการคำนวณลงอย่างมาก และพบว่านำไปใช้ได้สำหรับหาคำตอบสมการไม่เชิงเส้นที่มีจำนวนมุมมาก ๆ ($N > 101$)

สมการ (3.20) สามารถหาคำตอบของตัวแปรจำนวน N ตัวแปร α_1 ถึง α_N โดยการทำให้อาร์โมนิคส์จำนวน $N-1$ อาร์โมนิคส์มีค่าเป็นศูนย์ และกำหนดค่าขององค์ประกอบมูลฐานลงไป ($a = \text{modulation index, } M$) ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เฉพาะอาร์โมนิคส์ที่ไม่ใช่ผลคูณของสาม (5, 7, 11, 13, 17...) เท่านั้นที่จำเป็นต้องกำจัด

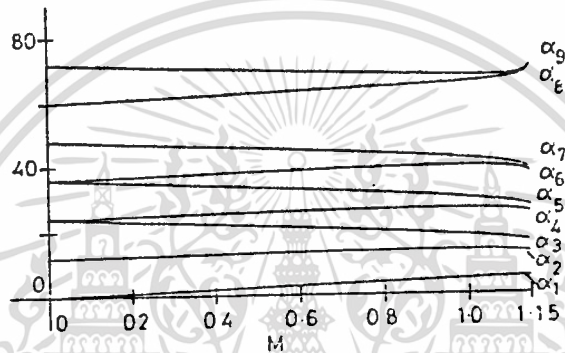
คำตอบจริงของสมการ 1 สำหรับค่า M ไม่มากนัก ($N = 5, 7, 9$, ที่เป็นเลขคี่) สามารถหาได้โดยวิธีนิวเมอริคอล รูปที่ 3.3 ก และ ข คำตอบจริงของสมการไม่เชิงเส้นโดยมีการแปรค่า M ทางโคจรของมุมการสวิตช์จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงเส้นตรง นอกจากนี้แล้วที่ $M = 0$ ทางโคจรนั้นยังถูกแบ่งออกเป็น $120 / (N+1)$ องศา ดังนั้นในตอนนี้จะนิยามความสัมพันธ์ในรูปแบบคำตอบจริงสำหรับค่าของมุมการสวิตช์ต่างๆ กัน (N เป็นเลขคี่, โดยที่ $N \geq 5$) ด้วยการยกเว้น α_1 จะเห็นว่ามุมการสวิตช์คือ $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots$ มีความชันเป็นบวก นอกจากนี้ ทางโคจรของมุมการสวิตช์ที่เป็นเลขคู่และคี่นั้นต่างก็ชันนานกันไปในแต่ละกลุ่ม (รูปที่ 3.3 ก และ ข) ความสัมพันธ์ในคำตอบจริงดังกล่าวพบว่ายอมรับได้สำหรับ N ใด ๆ ที่เป็นเลขคี่และมีค่ามากกว่า 3

3.5.1 อัลกอริธึมทั่วไป

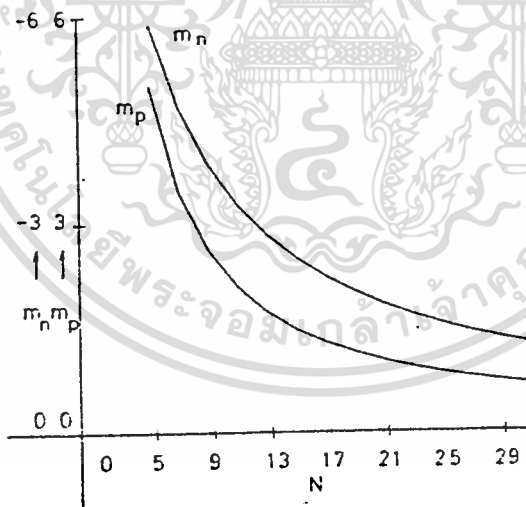
อัลกอริธึมสำหรับหาคำตอบทั่วไปที่นำเสนอต่อไปนี้ จะประกอบด้วยกลุ่มของเส้นตรงสองกลุ่ม คือกลุ่มที่มีความชันเป็นบวก และกลุ่มที่มีความชันเป็นลบ ซึ่งมีค่าโดยประมาณใกล้เคียงกับรูปแบบของคำตอบ



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 3.3 แสดงทางโคจรของมุมการสวิทช์

- ก) ทางโคจรของมุมการสวิทช์สำหรับ $N = 5$ (ก่าจัด 5, 7, 11, 13)
- ข) ทางโคจรของมุมการสวิทช์สำหรับ $N = 9$ (ก่าจัด 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25)
- ค) แสดงการแปรค่าของความชันเฉลี่ย m_p, m_n เทียบกับ N

จริงของสมการไม่เชิงเส้น อัลกอริทึมทั่วไปนี้นำไปใช้ได้กับค่า N ใด ๆ (N เป็นเลขคี่และมีค่ามากกว่า 5) รูปที่ 3.3 ค แสดงพฤติกรรมที่เป็นเอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีค่าเป็นบวกโดยเฉลี่ย m_p ของมมการสวิตช์ ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_4, \dots$) เทียบกับจำนวนมม N นอกจากนี้พฤติกรรมในลักษณะเช่นเดียวกันแต่เป็นของทางโคจรของมมที่มีความชันเป็นลบ m_n ($\alpha_3, \alpha_5, \alpha_7, \dots$) ก็ได้แสดงไว้ด้วยเช่นกัน โดยการใช้วิธีเส้นโค้งยกกำลังสอง (least-squares exponential) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าตอบของความชันที่เป็นบวก m_p และเป็นลบ m_n ตามลำดับ ด้วยการหาค่าตอบดังกล่าวความชันที่เป็นบวกและลบของทางโคจรของมมการสวิตช์สามารถที่จะคำนวณได้สำหรับที่ค่า N ใด ๆ ความชัน m_p และ m_n สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของ N ได้ดังนี้

$$m_p = 5.0391 e^{-0.0725N}$$

$$m_n = -6.4384 e^{-0.05672N} \quad (3.29)$$

จากการประมาณเส้นตรงของมมการสวิตช์ ($\alpha_k = mb + c$) เทอมที่เป็น C_k นั้นจะต้องได้รับการคำนวณมาก่อน ที่ $N = 0$ ค่าคงที่ C_k สามารถเขียนได้ดังนี้

$$C_1 = 0$$

$$C_2 = 120 / (N+1)$$

$$C_k = C_{k+1} = (k+1)60 / (N+1)$$

$3 \leq k < N-2, K$ เป็นเลขคี่

$$C_{N-2} = (k+1)60 / (N+1)$$

และ $C_{N-1} = 60$

$$C_N = (N+3)60 / N+1 \quad (3.30)$$

ดังนั้นสมการ (3.29) และ (3.30) จะใช้กำหนดกลุ่มของเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวกและลบซึ่งมีค่าประมาณคำตอบของสมการไม่เชิงเส้น (3.20) เพื่อเลือกกำจัดอาร์โมนิคส์อันดับต่ำๆ บางค่า เส้นที่มีความชันเป็นบวกสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\alpha_k = m_p a_k + C_k \quad k = 1, 2, 4 \dots \quad (3.31)$$

และเส้นตรงที่มีความชันเป็นลบ

$$\alpha_k = m_n a_k + C_k \quad k = 3, 5, 7 \dots \quad (3.32)$$

เมื่อ a_k คือ M เส้นประในรูป 3.3 ก) ใช้แสดงเป็นค่าประมาณของเส้นตรงของคำตอบจริงอัลกอริธึมของคำตอบทั่วไปที่นำเสนอนี้ มีข้อได้เปรียบดังนี้

- 3.5.1.1 อัลกอริธึมนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าเริ่มต้นเพื่อนำไปใช้หาคำตอบของสมการไม่เชิงเส้น โดยใช้วิธีนิวเมอริคอล
- 3.5.1.2 อัลกอริธึมนี้พบว่ายอมรับได้สำหรับการหาคำตอบของสมการไม่เชิงเส้นที่มีจำนวนมุมมาก ($N > 101$)
- 3.5.1.3 ความใกล้เคียงมากของค่าเริ่มต้นกับคำตอบจริงทำให้การหาคำตอบด้วยวิธีนิวเมอริคอลเข้าสู่หาคำตอบแน่นอน วิธีการนี้พบว่าลดเวลาในการคำนวณลงอย่างมาก

บทที่ 4

การออกแบบระบบและวงจรควบคุม

4.1 บทนำ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันแบบอัลฟบริดจ์ ใช้แรงดันอินพุต 220 V 1 เฟส จ่ายแรงดันที่เอาต์พุตได้สูงสุด 220 V 3 เฟส กำลังงานด้านเอาต์พุต 750 วัตต์ ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นสวิตช์ โดยจำกัดความถี่ของการสวิตช์ไว้ในช่วง 600 Hz - 800 Hz อาร์โมนิกส์ต่ำสุดที่ปรากฏอยู่ในช่วง 1000 ถึง 1300 Hz ในบทนี้จะได้กล่าวถึงสมการที่จำเป็นที่ใช้ในการออกแบบระบบและวงจรมอเตอร์ต่างๆของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ตลอดจนผลการทดลองที่ได้รับเปรียบเทียบกับทฤษฎี

4.2 การออกแบบระบบ

ปัญหาหลักของการสร้างสัญญาณแบบ SHEPWM ก็คือถูกจำกัดช่วงของความถี่เอาต์พุตไว้ที่ความถี่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากที่ความถี่ต่ำ ๆ นั้น ถ้าต้องการให้รูปคลื่นกระแสมีคุณภาพดี จำเป็นต้องใช้มอสวิตช์จำนวนมาก ซึ่งการวิเคราะห์หุ้มมีความยุ่งยากมาก อย่างไรก็ตามวิธีวิเคราะห์ตาม [10] จะช่วยให้การวิเคราะห์หุ้มสวิตช์ง่ายขึ้น การกำหนดช่วงของแพทเทิร์นสวิตช์ตามวิธีใน [11] จะทำให้ภาวะชั่วครู่ (transient) ของแรงบิดและกระแสในช่วงการเปลี่ยนแปลงแพทเทิร์นสวิตช์ดีขึ้น รายละเอียดของการออกแบบมีดังนี้

กำหนดให้

$$D = 3N+2 \quad (4.1)$$

$$f_{\Delta} = Df \quad (4.2)$$

โดยความถี่ทางเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จำเป็นต้องแปรค่าจาก 50 ถึง 10 Hz โดยการใช้วิธีการกำจัดอาร์โมนิกส์ในบทที่ 3 โดยกำหนดให้ความถี่ของอาร์โมนิกส์อันดับแรกที่มีค่ามากกว่าศูนย์อยู่ใน

ช่วง 1000 ถึง 1300 Hz จะต้องใช้มุมการสวิตช์สูงสุดจำนวน 33 มุม นั่นคืออาร์โมนิคส์จำนวน 32 อันดับ ไม่รวมอาร์โมนิคส์ที่เป็นผลคูณของสาม จะถูกกำจัดออกไป สำหรับความถี่เอาต์พุตที่ต่ำกว่า 10 Hz จะใช้มุมการสวิตช์จำนวน 33 มุม คงที่ตลอด เนื่องจากมุมการสวิตช์จำนวนมากนี้ทำให้ต้องใช้หน่วยความจำสูง สำหรับความถี่เอาต์พุตที่สูงกว่าฐานความถี่การกำหนดมุมการสวิตช์จะกำหนดตามความเหมาะสม

4.2.1 การกำหนดช่วงแพทเทิร์นการสวิตช์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่จำเป็นในการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบ โดยที่ความถี่ของการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ (นิยามเป็นจำนวนครั้งของจำนวนรอบการตัด (interruption) กระแสต่อวินาทีต่อสวิตช์) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_o = (2N+1)f \quad (4.3)$$

$$f_L = (3N_k+2)f_k \quad (4.4)$$

$$f_U = (3N_{k+1}+2)f_{k+1} \quad (4.5)$$

ดังนั้น $f_{k+1} = (f_U/f_L)f_k \quad (4.6)$

นั่นคือ $f_L = (f_U/f_o)f_o \quad (4.7)$

และ $f_2 = (f_U/f_L)^2 f_o \quad (4.8)$

ดังนั้น $f_r = (f_U/f_L)^r f_o \quad (4.9)$

และ $r = \ln(f_r/f_o)/\ln(f_U/f_L) \quad (4.10)$

เมื่อ r ใช้แทนจำนวนของแพทเทิร์นการสวิตช์ระหว่าง f_o และ f_r ในรูปที่ 4.1 อธิบายการแปรค่าของ r เทียบกับอัตราส่วน f_U/f_L ที่อัตราส่วนของความเร็วรอบ f_U/f_o ถ้า r มีค่าต่ำจะทำให้อัตราส่วน f_U/f_L สูงขึ้น ซึ่งความถี่ของการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนเป็นย่านที่กว้าง

และจำมีผลทำให้สมรรถนะของอินเวอร์เตอร์ลดลง อย่างไรก็ตามการลดอัตราส่วน f_u/f_L ให้ต่ำลง จะทำให้ค่า r สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้จำนวนแพทเทิร์นสวิทช์มากขึ้น ดังในรูปที่ 4.1 ในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้ค่าคงที่ต่าง ๆ มีดังนี้

$$f_{d(\min)} = 1000 \quad \text{Hz} \quad (4.11)$$

$$f_u/f_L = 1.3 \quad (4.12)$$

$$f_u = 1.3 \times 1000$$

$$f_{d(\max)} = 1300 \quad \text{Hz} \quad (4.13)$$

$$f_o = 10 \quad \text{Hz} \quad (4.14)$$

$$f_r = 50 \quad \text{Hz} \quad (4.15)$$

$$r = \frac{\ln(50/10)}{\ln(1.3)} = 6 \quad (4.16)$$

ขั้นตอนต่อไปคือกำหนดช่วงความถี่ของแต่ละแพทเทิร์นการสวิทช์ ซึ่งแต่ละช่วงจะห่างกันด้วยอัตราส่วน 1.3 ดังนี้

$$f_o = 10 \quad \text{Hz}$$

$$f_1 = 13 \quad \text{Hz}$$

$$f_2 = 17 \quad \text{Hz}$$

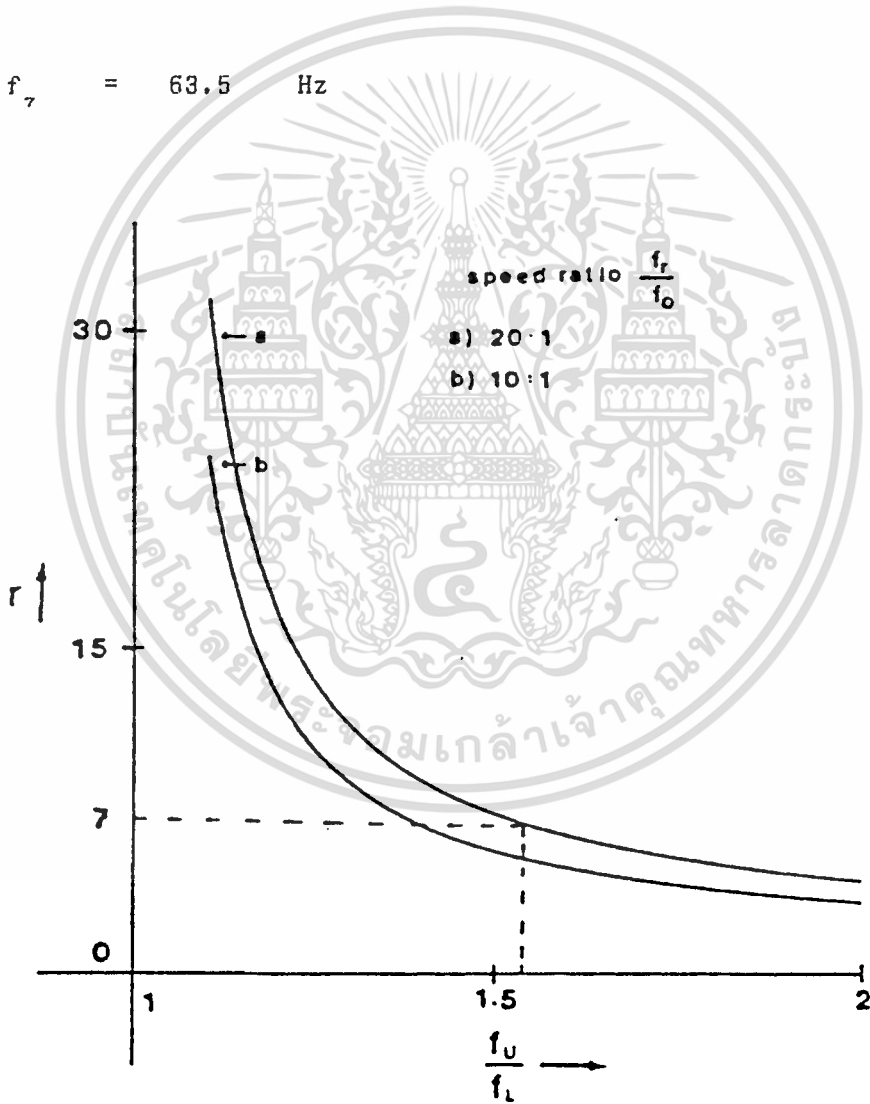
$$f_3 = 22 \text{ Hz} \tag{4.17}$$

$$f_4 = 28.5 \text{ Hz}$$

$$f_5 = 37.5 \text{ Hz}$$

$$f_6 = 48.5 \text{ Hz}$$

$$f_7 = 63.5 \text{ Hz}$$



รูปที่ 4.1 การแปรผันของจำนวนแพทเทิร์น PWM (r) เทียบกับอัตราส่วน f_u/f_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละช่วงความถี่จะให้อาร์โมนิคส์อันดับแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ มีค่าตั้งแต่ 1000 Hz ขึ้นไปถึง 1300 Hz จากสมการ (4.2) คำนวณหาจำนวนแอมมการสวิทช์ N ได้ดังนี้

$$N_0 = 33$$

$$N_1 = 25$$

$$N_2 = 19$$

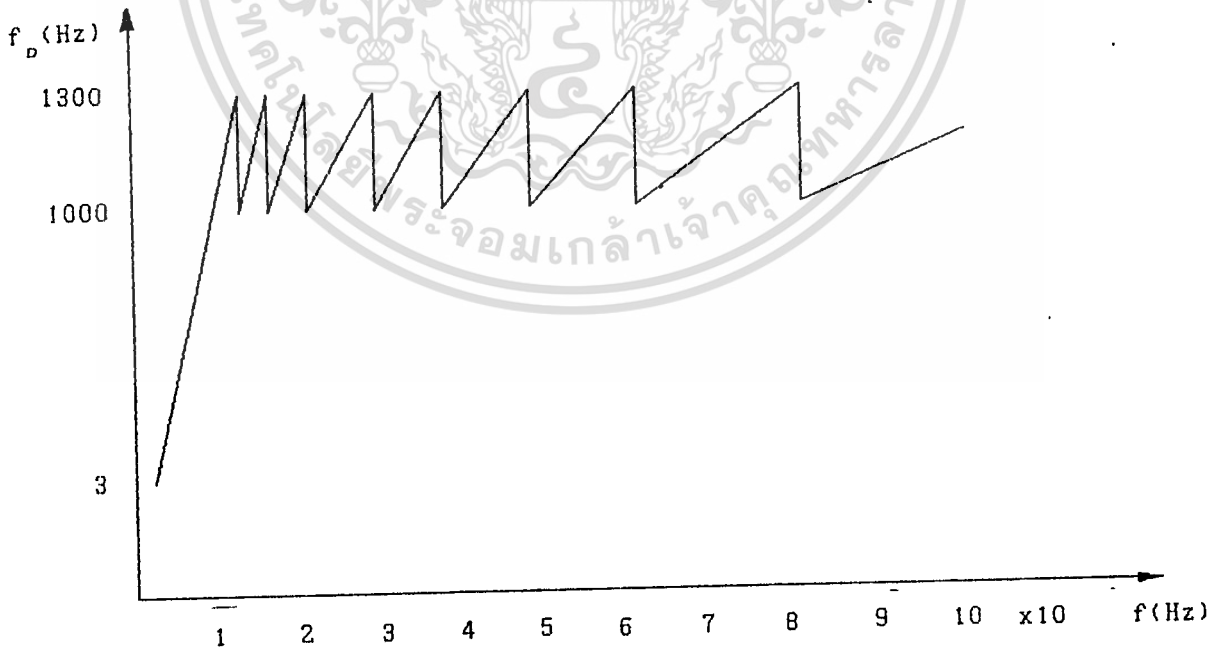
$$N_3 = 15$$

$$N_4 = 11$$

$$N_5 = 9$$

$$N_6 = 7$$

(4.18)

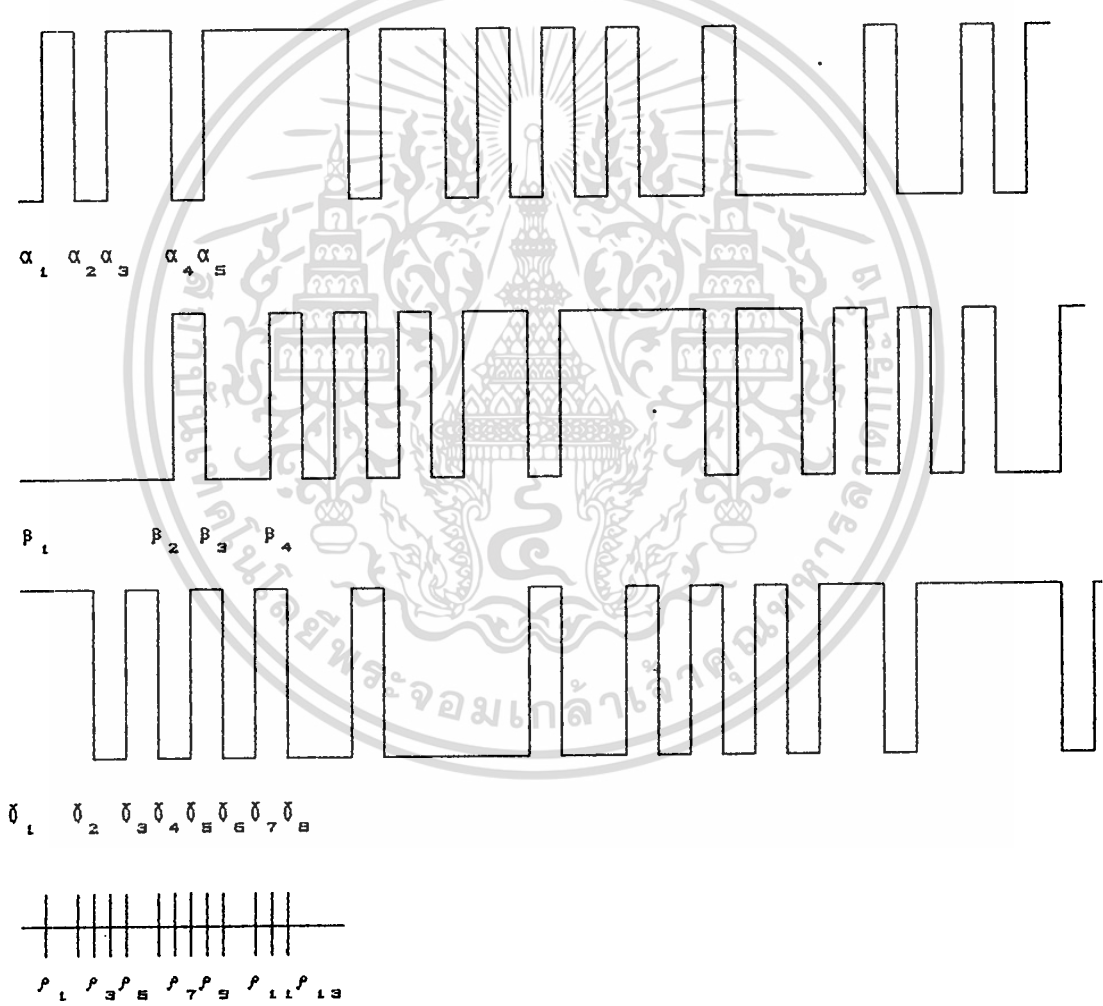


รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแพทเทิร์น PWM เทียบกับความถี่เอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสร้างสัญญาณขับสามเฟส

จากสมการ (4.18) นำเอาค่า N ที่ได้ในแต่ละช่วงไปคำนวณหาค่ามุมการสวิทช์ที่ความถี่ต่าง ๆ ตามวิธีการในบทที่ 2 โดยค่า M จะแปรตามอัตราส่วนแรงดัน/ความถี่ มุมการสวิทช์ที่คำนวณได้เป็นมุมสวิทช์ในระบบเฟสเดียว การสร้างสัญญาณขับเป็นระบบสามเฟส ทำได้โดยการเลื่อนจุดเริ่มต้นของเฟส A ไป 120° และ 240° จะได้มุมสัญญาณขับเฟส B และ C ตามลำดับ โดยกำหนดให้มุมสวิทช์ของเฟส B เป็น β และของเฟส C เป็น γ ผลต่างของมุมการสวิทช์ α, β และ γ คือ μ ดังในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การสร้างสัญญาณขับสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุม $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ จะได้รับการแปลงให้อยู่ในเมนของเวลา และนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ EPROM ที่ค่า M ต่างๆ กัน โดยกำหนดตามขั้นการเปลี่ยนแปลงความถี่ขึ้นละ 0.5 เฮิรท์ซ์ มุมต่างๆ เหล่านี้จะถูกเลือกออกมาใช้ตามความถี่ที่ต้องการโดยใช้ไมโครเมอร์ภายใน 8031 เป็นตัวกำหนดเวลาจริง แพทเทิร์นการสวิทช์จะเป็นไปตามลอจิกของเฟส A, B และ C ที่มุมสวิทช์ต่าง ๆ

สมการที่ใช้ในการแปลงมุมการสวิทช์ให้อยู่ในโดเมนเวลา เป็นดังนี้

$$t_n = \rho_n (1/360f) \quad (4.19)$$

ในการทำงานจริงๆ แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งเพื่อประมวลผลโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ ทำให้เวลาจริงของพัลส์เคลื่อนไป นอกจากนี้ยังทำให้ความถี่ของเอาท์พุทเคลื่อนไปด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการชดเชยเวลาส่วนที่เสียไปด้วย

4.4 บล็อกไดอะแกรมและวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

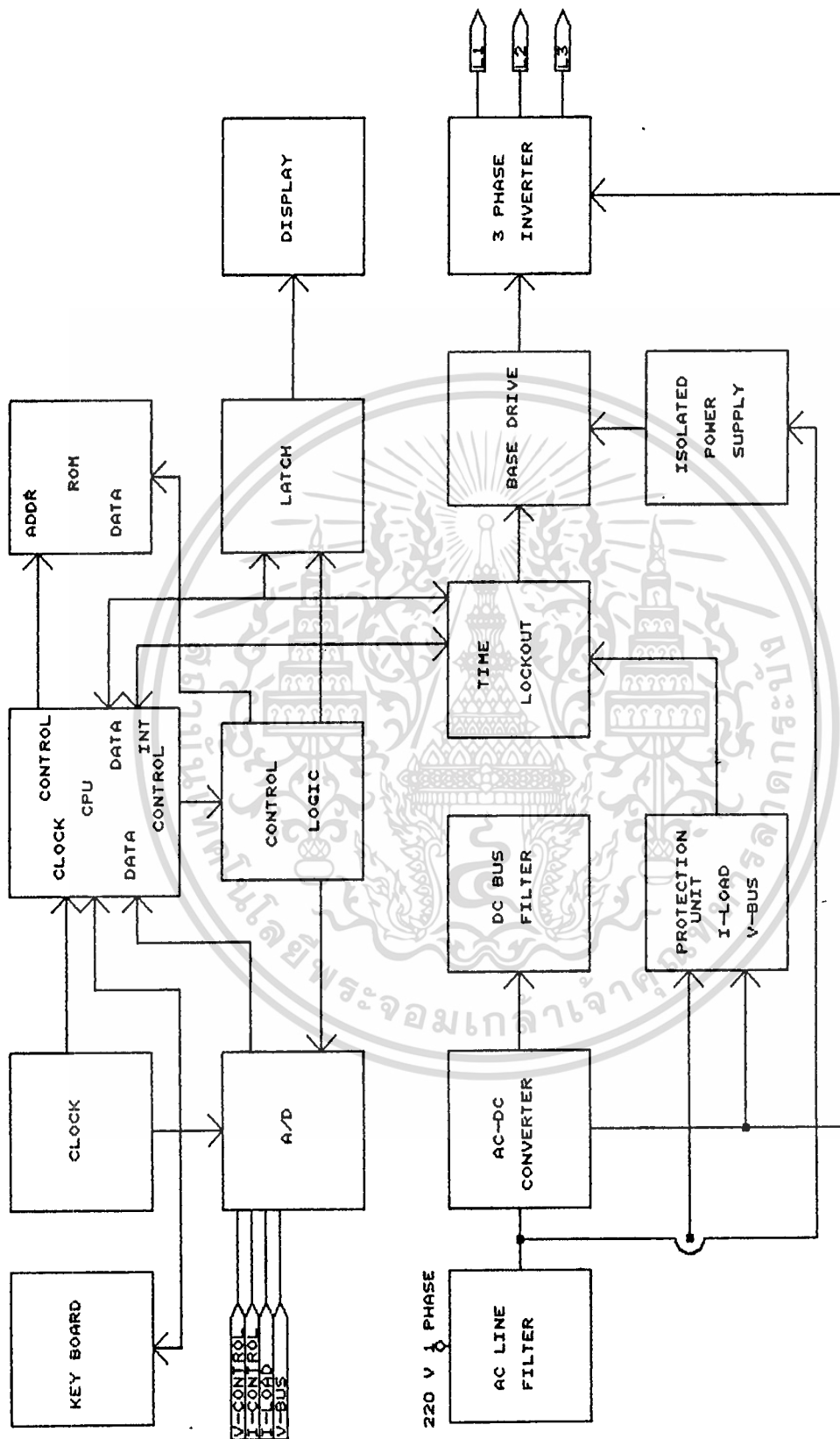
อินเวอร์เตอร์ในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ตามรูปที่ 4.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรแสดงผลและวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง แสดงไว้ตามรูปที่ 4.5 - 4.8 การแสดงผลความถี่เอาท์พุทใช้ตัวแสดงผล 7 ส่วน 3 หลักและสามารถตั้งค่ากระแสเพื่อป้องกันกระแสเกินได้ นอกจากนี้ยังมีวงจรป้องกันแรงดันสูงเกินไปและแรงดันที่ต่ำเกินไปด้วย ส่วนอัตราเร่งและอัตราชะลอสามารถปรับได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน สามารถตั้งค่าความถี่ต่ำสุดและสูงสุดได้ ฟังก์ชันการควบคุมความเร็วดังกล่าวสามารถตั้งค่าได้ด้วยระบบดิจิตอล แบบของการควบคุมความเร็วรวมมอเตอร์เลือกได้ 4 แบบโดยการโปรแกรมคือ

4.4.1 ควบคุมด้วยแรงดัน 1-5 V

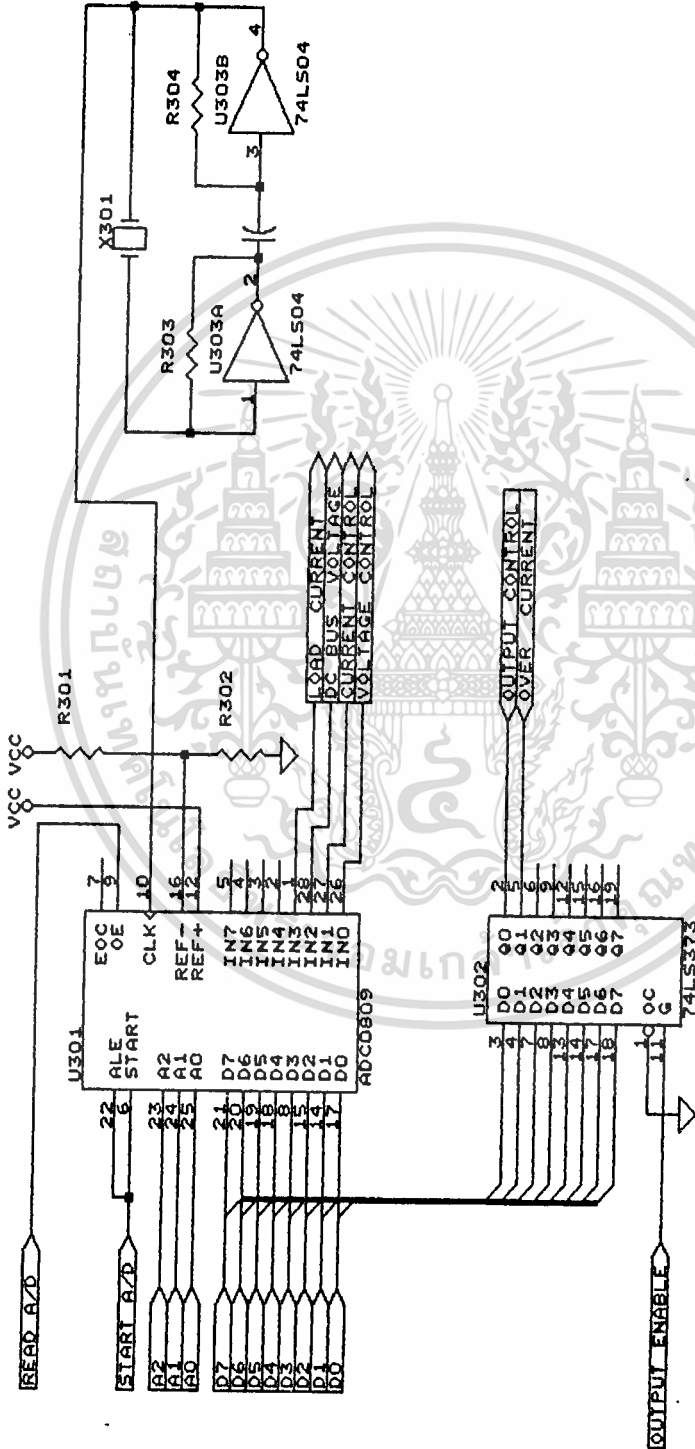
4.4.2 ควบคุมด้วยกระแส 4-20 mA

4.4.3 ควบคุมด้วยระบบดิจิตอลใช้ปุ่มกดเลือกความถี่เอาท์พุท

4.4.4 ควบคุมแบบ jogging

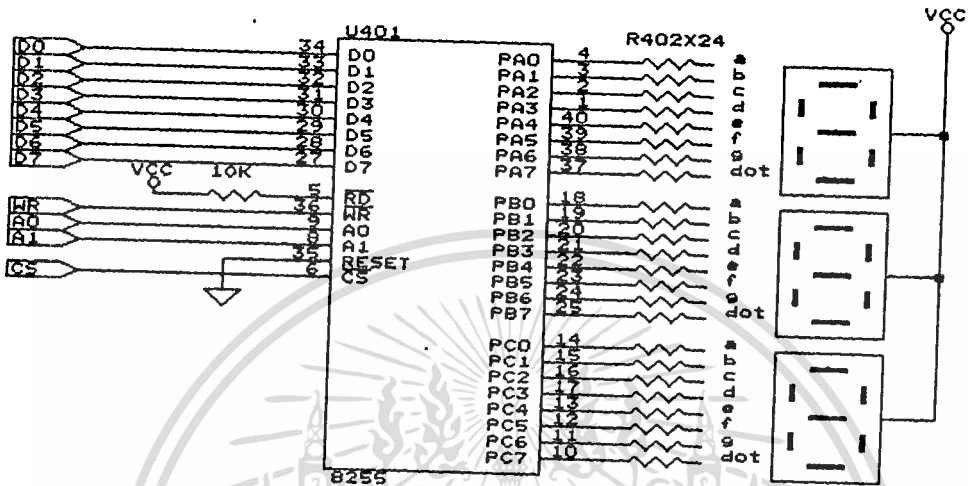


รูปที่ 4.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์

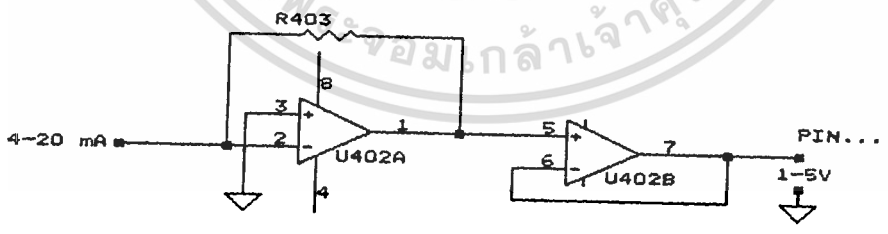


รูปที่ 4.6 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



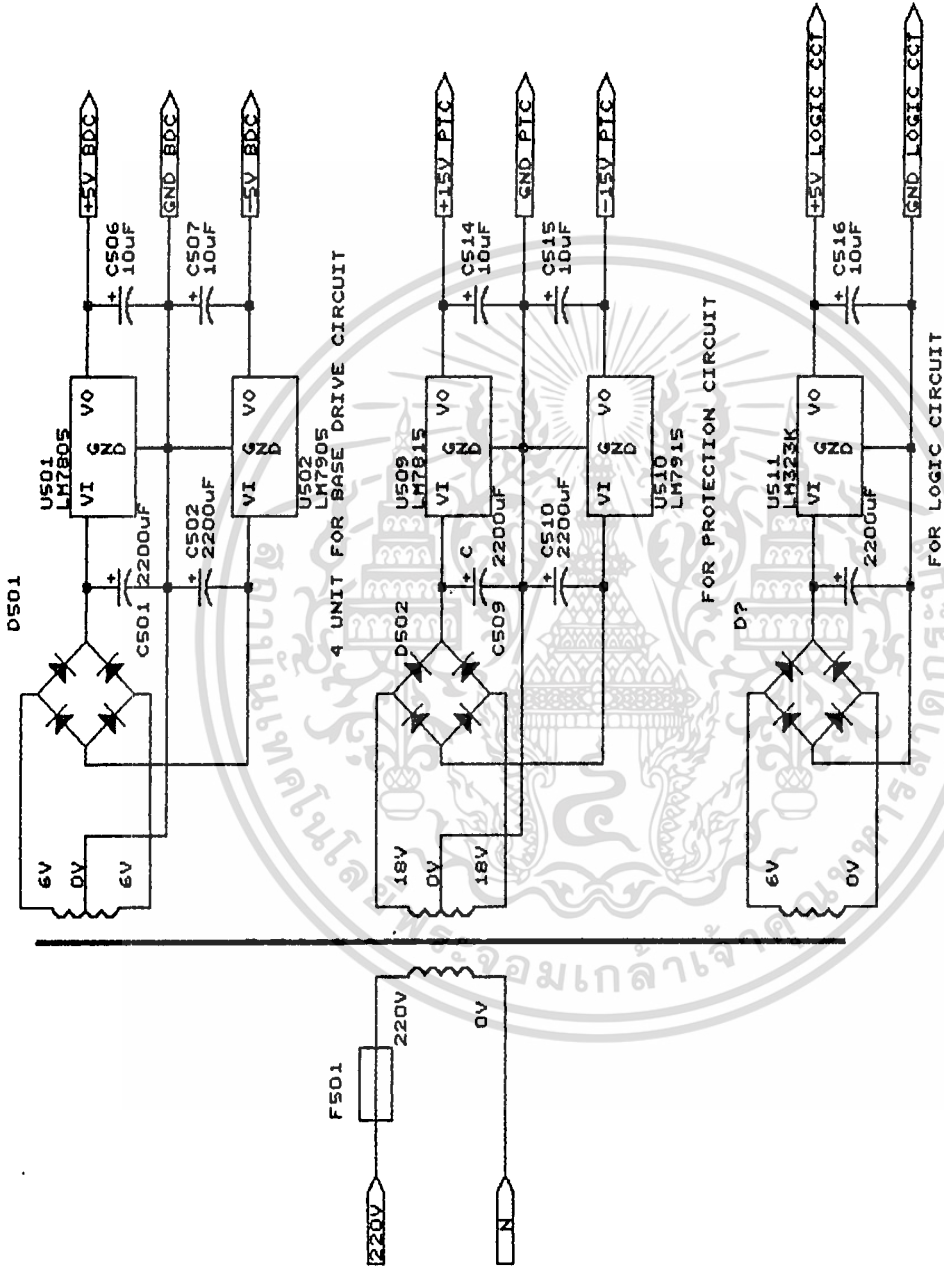
ก)



ข)

รูปที่ 4.7 ก) แสดงวงจรภาคแสดงผล
ข) วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

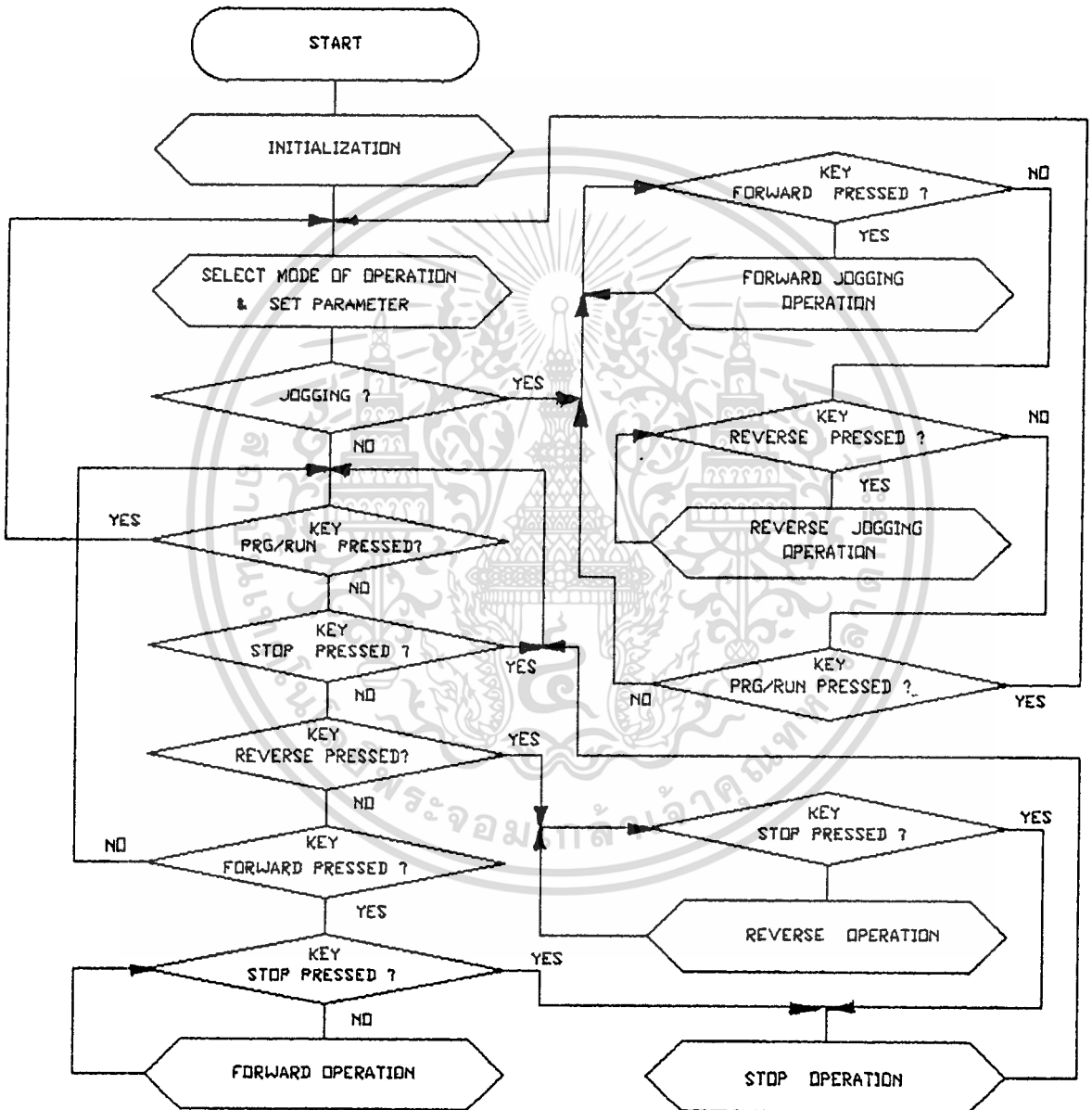
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง

4.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังในรูปที่ 4.9



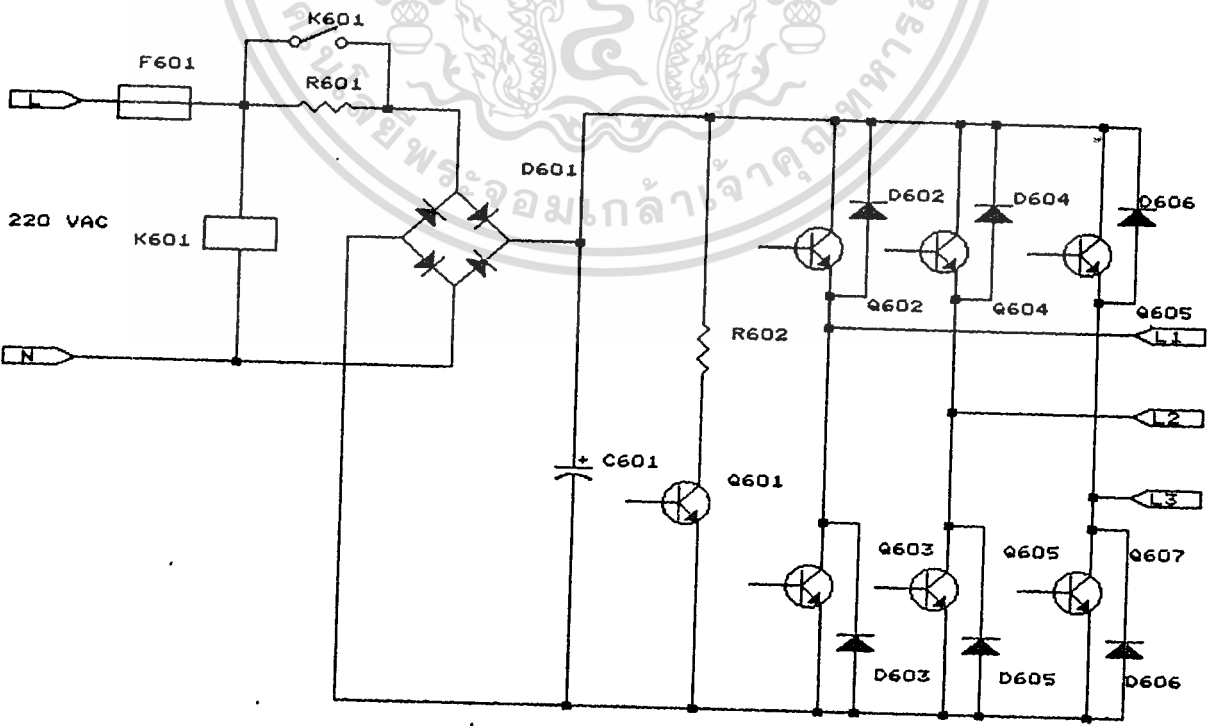
รูปที่ 4.9 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

4.6 วงจรอินเวอร์เตอร์

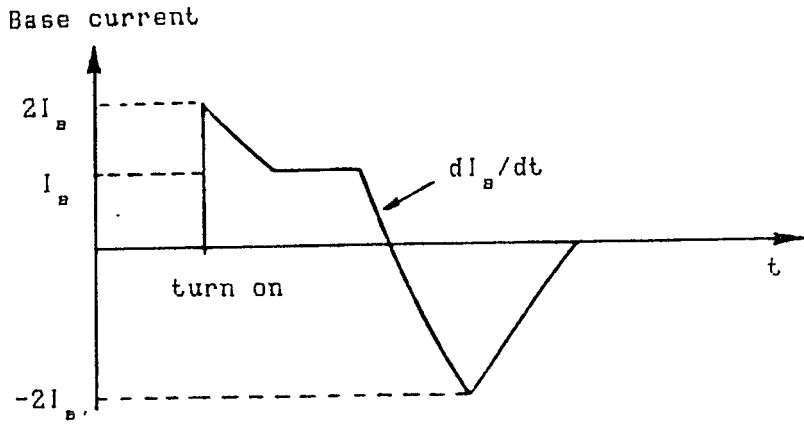
อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันตามรูปที่ 4.10 นั้น จำเป็นอย่างมากที่จะให้อุปกรณ์การสวิตช์มีความเร็วในการทำงานหรือหยุดทำงานเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียจากการสวิตช์ลง นอกจากนี้ยังช่วยให้การทำงานของอินเวอร์เตอร์มีความเที่ยงตรงสูงขึ้นอีกด้วย ความเร็วในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์กำลังจะขึ้นอยู่กับวงจรขั้วนำเบส ทรานซิสเตอร์กำลังใช้เบอร์ BU626 ซึ่งทนแรงดันได้ 450 V และทนกระแสได้ 15 A

สตอร์เรจไทม์ (storage time) และเวลาไต่ลง (fall time) ของทรานซิสเตอร์กำลังจะมีค่าต่ำที่สุดถ้าหากว่ามีกระแสเบสย้อนกลับในระหว่างหยุดนำกระแสและมีค่าประมาณสองเท่าของกระแสเบสฟอร์เวิร์ด [12] ขณะหยุดนำกระแส กระแสเบสไม่ควรเปลี่ยนแปลงเป็นค่าลบทันทีทันใด แต่ควรจะไปพร้อมกับการควบคุมและมีความเร็วในการสวิตช์พอประมาณ ความเห็นวนำต่างๆ ซึ่งจะเป็นความเห็นวนำสเตรย์ในวงจรไบอัสย้อนกลับ ใช้ควบคุมการเปลี่ยนแปลงกระแสได้

เพื่อให้กระแสขณะทำงานมีค่าน้อยที่สุด ขณะนำกระแส, กระแสขั้วนำเบสควรจะมีขอบขึ้นที่รวดเร็วมากและมีค่ามากกว่ากระแสเบสในภาวะสงบหนึ่งประมาณสองเท่า กระแสนี้จะเป็นฟังก์ชันของการอัดประจุให้ความจุสเตรย์ของทรานซิสเตอร์กำลัง รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของกระแสขั้วนำเบสที่มีความเร็วสวิตช์ดีที่สุดตามต้องการ



รูปที่ 4.10 วงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.11 รูปคลื่นกระแสเบสเพื่อให้ได้ความเร็วการสวิตช์ที่ดีที่สุด

นอกจากนี้แล้ว ยังมีความจำเป็นที่ต้องดักจับภาวะกระแสเกิน และดึงเอากระแสขั้วนำเบสออกจากทรานซิสเตอร์กำลังทุกตัวด้วย ดังนั้นวงจรขั้วนำที่ติดตั้งจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ [13]

4.6.1 เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส กระแสเบสควรมีค่ามากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังอิมิตตัว อย่างไรก็ตามการอิมิตตัวเกินควรวงของทรานซิสเตอร์กำลังจะมีผลให้สต่อเรจใหม่มากเกินไป ยังผลให้เกิดความสูญเสียจากการสวิตช์สูง วงจรขั้วนำเบสสำหรับทรานซิสเตอร์จะต้องสามารถปรับตนเองได้โดยขึ้นอยู่กับกระแสคอลเล็กเตอร์ เพื่อให้การทำงานของทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะกึ่งอิมิตตัวอยู่เสมอ

4.6.2 ขณะหยุดนำกระแส ควรจะป้อนแรงดันย้อนกลับให้กับ ขั้วเบส - อิมิตเตอร์ เพื่อลดเวลาไต่อลงของกระแสด้วยแรงดันย้อนกลับนี้ทรานซิสเตอร์จะมีกระแสรั่วไหล (Leakage Current) ต่ำและมีความสามารถทนแรงดันสูง ($< V_{CEX}$)

4.6.3 เมื่อนำไปใช้กับงานที่กระแสลบมีแอมพลิจูดสูงขณะหยุดนำกระแส อาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์กระแสเบสล่าหลัง (Base current tail effect) เป็นผลให้อุปกรณ์เสียหายได้ ดังนั้นควรจะให้ไบอัสย้อนกลับเฉพาะหลังจากที่ทรานซิสเตอร์ไม่อยู่ในภาวะอิมิตตัวหรือกึ่งอิมิตตัวแล้ว

4.6.4 ถ้าหากว่าแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์ ในระหว่างนำกระแสมีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่ตั้งไว้แล้ว วงจรขั้วนำเบสควรจะตัดออกจากทรานซิสเตอร์โดยอัตโนมัติ

วงจรขั้วนำเบสที่ใช้กับอินเวอร์เตอร์ในบทความนี้ จะเป็นแบบเร็กกูเลออัตโนมัติ (Auto regulated) และป้องกันอัตโนมัติ (Autoprotected) วงจรได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 ไดโอด D705 ทำหน้าที่เป็นไดโอดป้องกันการอิมิตตัวเกินควรว ซึ่งจะเร็กกูเลทกระแสเบสของทรานซิสเตอร์เพื่อรักษาให้อยู่ในภาวะกึ่งอิมิตตัวในระหว่างการนำกระแส D705 ใช้สำหรับเป็นตัวป้องกันอัตโนมัติเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส ถ้าหากว่าแรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์ Q703 จะสูงกว่าแรงดันที่เบสส่งผลให้มันหยุดทำงาน ตัวต้านทาน R713, R714 ใช้เป็นตัวกำหนดขีดจำกัด V_{CE} ซึ่งในวงจรที่ทดลองปรับไว้ที่ 2.6 V ($I_c = 5 A$)

4.7 วงจรป้องกันความเสียหาย

เพื่อให้วงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีความคงทนต่อการใช้งานที่สภาวะต่างๆ จึงต้องมีวงจรป้องกันดังนี้

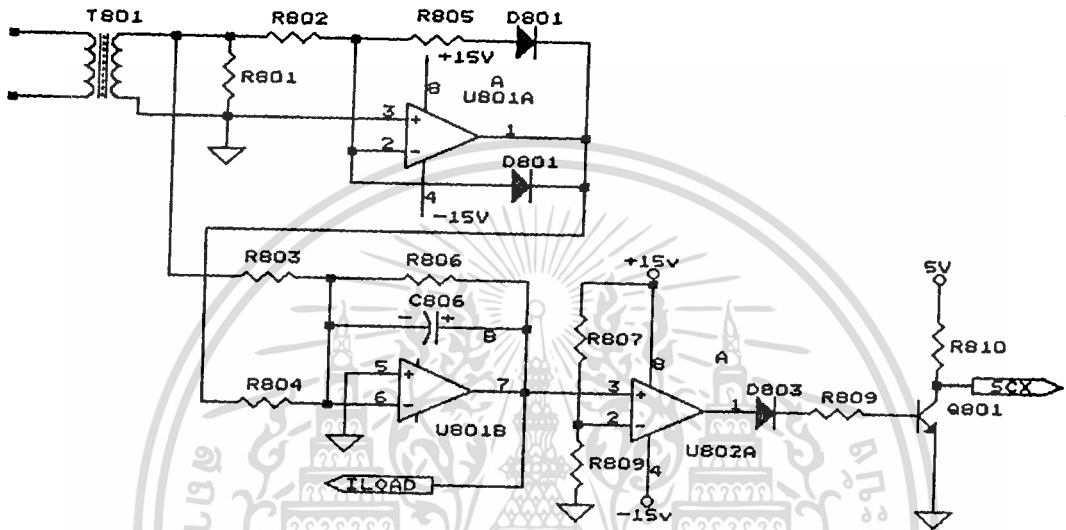
4.7.1 วงจรป้องกันกระแสเกิน

กระแสสูงเกินที่อินเวอร์เตอร์ เกิดได้ 2 กรณี คือเกิดจากการที่มอเตอร์ทำงานเกินพิกัดหรือการเพิ่มอัตราเร่งเร็วเกินไป กระแสที่สูงเกินไปนี้จะทำให้เกิดอันตรายแก่มอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ได้ ถ้ากระแสสูงเกินเป็นเวลานานเกินไป วงจรป้องกันกระแสเกินแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 ประกอบด้วย CT วงจรเรียงกระแสความละเอียดสูง, วงจรฟิลเตอร์และวงจรเปรียบเทียบแรงดัน การทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ (soft ware) และฮาร์ดแวร์ (Hard Ware) CT จะทำหน้าที่แปลงกระแสให้แรงดันผ่านวงจรเรียงกระแสความละเอียดสูงและวงจรฟิลเตอร์ แล้วทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อให้โปรแกรมทำการตรวจสอบกระแส เมื่อพบว่ากระแสสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ โปรแกรมควบคุมจะสั่งให้เอาท์พุทมีความถี่ที่ต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้ระยะหนึ่ง เรียกว่า stall prevention ถ้ากระแสเกินเนื่องจากการเพิ่มอัตราเร่ง กระแสนั้นจะต้องลดลงต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ภายในเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าหากว่ากระแสยังคงสูงเกินค่าที่ตั้งไว้อีกแสดงว่ามอเตอร์ทำงานเกินพิกัด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตัดสัญญาณ SHERPM ออก เพื่อให้มอเตอร์หยุดทำงาน ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรที่เอาท์พุทจะทำให้กระแสมีค่าสูงมากวงจรเปรียบเทียบจะทำงานทันทีและจะตัดสัญญาณ SHERPM ออกโดยไม่ต้องรอไมโครคอนโทรลเลอร์

4.7.2 วงจรป้องกันแรงดันสูงเกิน

แรงดันที่ ดีซี. บัสจะมีค่าสูงเกินปกติได้เนื่องจากแรงดันที่ไลน์สูงผิดปกติและเนื่องจากการลัดอัตราชะลอสูงเร็วเกินไปทำให้มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิด จ่ายแรงดันคืนกลับให้ตัวเก็บประจุในวงจรฟิลเตอร์ แรงดันที่สูงเกินนี้จะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์เสียหายได้

วงจรป้องกันแรงดันสูงเกิน จะตรวจสอบแรงดันที่ ดีซี. บัส โดยใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสงเป็นตัวแยกกราวด์ของแรงดันต่ำออกจากแรงดันสูงโดยมีออปแอมป์ U802B และ U901A เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันสูงเกินอันเนื่องจากการลัดอัตราชะลอและแรงดันที่ไลน์สูงเกิน ตามลำดับ สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดันสูงเกินอันเนื่องจากการลัดอัตราชะลอ จะนำไปขับทรานซิสเตอร์กำลัง Q601 ในวงจรอิน-



รูปที่ 4.13 วงจรป้องกันกระแสเกิน

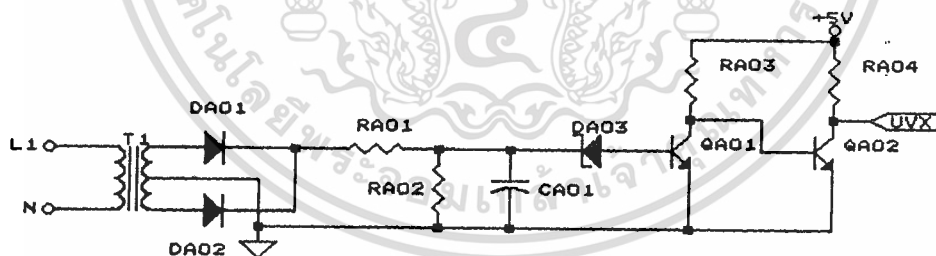
เวอร์เตอร์เพื่อระบายพลังงานจากตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน R803 ในรูปของความร้อน ส่วนสัญญาณเอาท์พุทอื่นเนื่องจากแรงดันไลน์สูงเกินจะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันไลน์สูงกว่าปกติ 20 % และจะนำไปบังคับให้อินเวอร์เตอร์หยุดทำงานก่อนที่จะเกิดความเสียหาย วงจรป้องกันแรงดันสูงเกินนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.14 อย่างไรก็ตาม R803 ที่ใช้จะต้องทนกำลังงานได้สูงมากซึ่งมีขนาดใหญ่ ในวิทยานิพนธ์จึงไม่ได้ติดตั้ง R803 และ Q801 ไว้แต่จะติดตั้งวงจรขั้วเบสไว้ให้เพื่อให้เลือกใช้ได้ การป้องกันแรงดันเกินที่ได้กำหนดไว้เป็นวิธี stall prevention โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าแรงดันที่ ดีซีบัสเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ ถ้าแรงดันที่ ดีซีบัสสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้อินเวอร์เตอร์คงความถี่นั้นไว้จนกว่าแรงดันดีซีบัสจะลดลงสู่ระดับปกติ จึงจะยอมให้ทำงานที่ความถี่อื่นได้ การโปรแกรมเพื่อเลือกใช้การเบรคแบบคืนพลังงานนั้นจะต้องมั่นใจว่าได้ติดตั้งชุด R803 และ Q801 แล้ว มิฉะนั้นจะไม่มีการเบรคและแรงดันที่ ดีซีบัสจะสูงขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้อินเวอร์เตอร์หยุดทำงานได้

4.7.3 วงจรป้องกันแรงดันต่ำเกิน

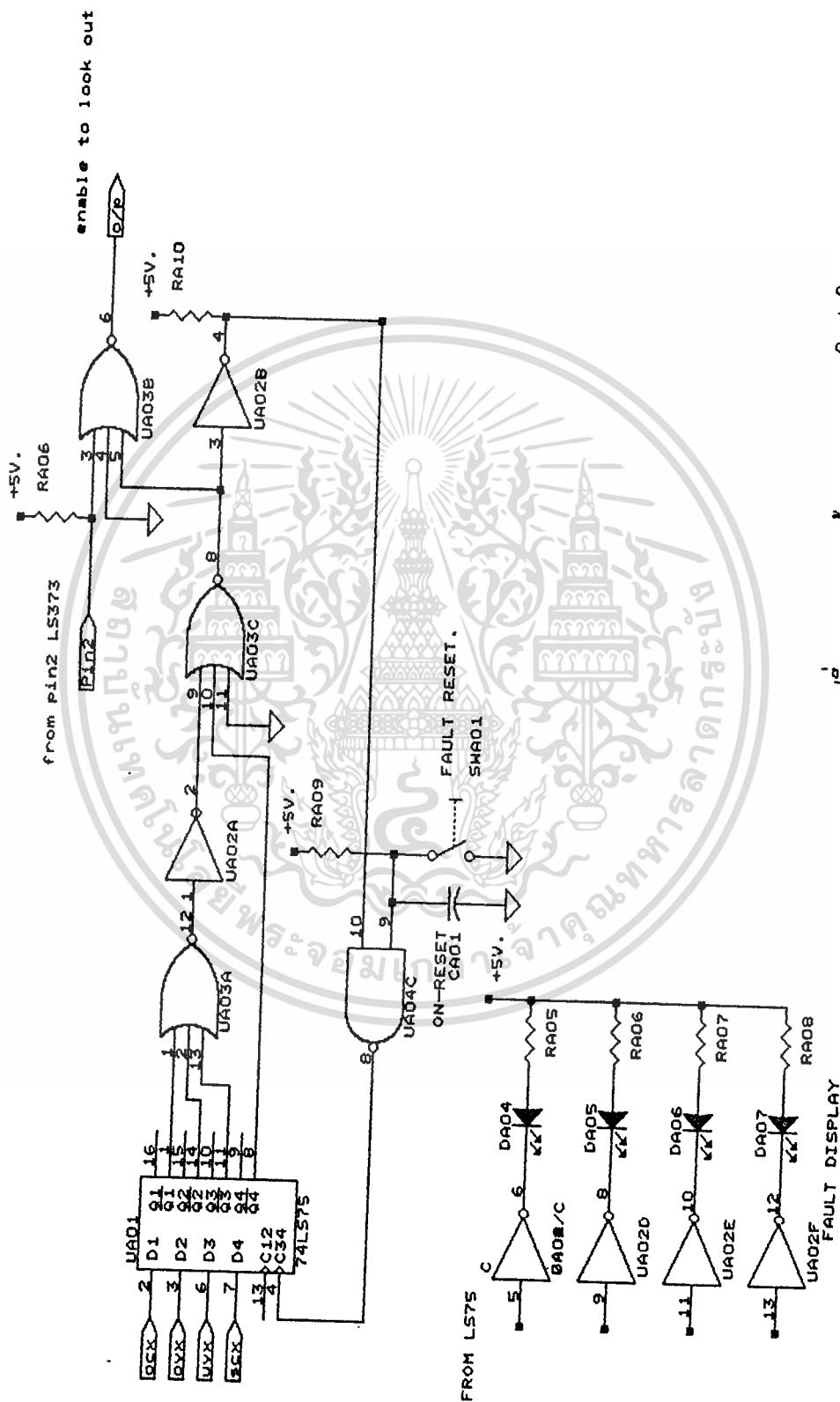
แรงดันที่ต่ำเกินไปผิดปกติไป เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันที่ไลน์มีค่าต่ำกว่าปกติ อันจะมีผลทำให้วงจรขับนำเบสของทรานซิสเตอร์กำลังทำงานผิดปกติ ทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังนำกระแสไม่เต็มที่และเกิดความสูญเสียในรูปของความร้อนที่ตัวทรานซิสเตอร์กำลัง อาจทำให้เกิดการเสียหายได้ วงจรนี้จะเริ่มทำงานเมื่อแรงดันต่ำกว่าปกติ 20 % รายละเอียดวงจรแสดงไว้ในรูปที่ 4.15

4.7.4 วงจรค้างสถานะความผิดปกติ

ความผิดปกติที่วงจรป้องกันสามารถตรวจจับไว้ในแต่ละกรณีนั้นจะถูกส่งไปยังคีย์ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ SHEPWM ไปวงจรขับนำเบส จนกว่าจะได้รับการแก้ไขสาเหตุของความผิดปกตินั้นๆ และกดปุ่มสวิตช์ FAULT RESET ก่อน นอกจากนี้ยังแสดงสถานะที่ผิดปกติด้วย LED อีกด้วย วงจรดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 4.16

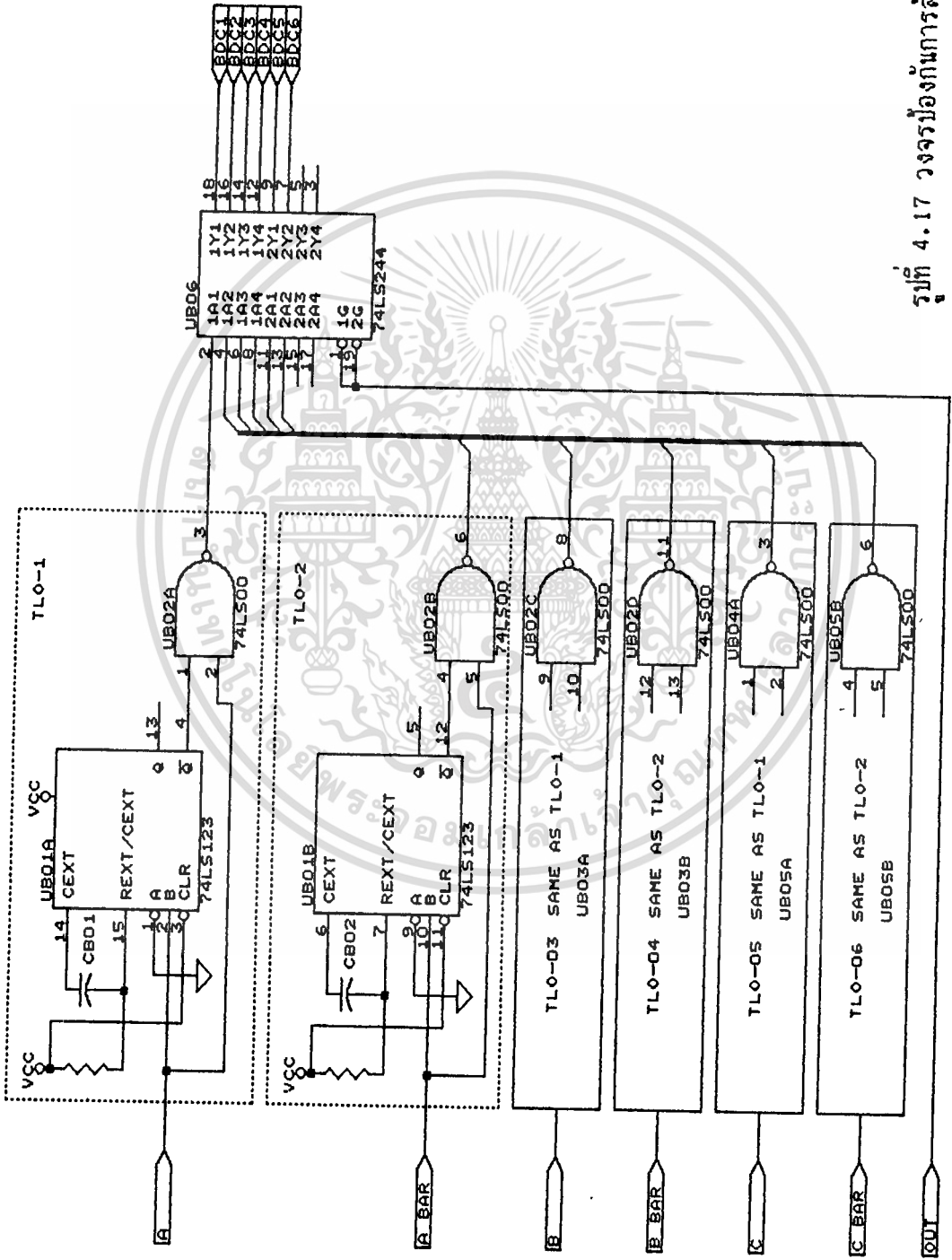


รูปที่ 4.15 วงจรป้องกันแรงดันต่ำเกิน



รูปที่ 4.16 วงจรต่างสถานะความผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีเหตุให้ต้องเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 วงจรป้องกันการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.5 วงจรป้องกันการลัดวงจร

สัญญาณ SHEPWM ที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ก่อนที่จะส่งไปยังวงจรขับเบสเพื่อขับทรานซิสเตอร์กำลังจะต้องนำไปผ่านวงจรป้องกันการลัดวงจรก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์กำลังตัวที่อยู่ด้านบนและล่างในช่องเดียวกันทำงานพร้อมกัน โดยวงจรป้องกันการลัดวงจรจะหน่วงเหนี่ยวเวลาทำงานของทรานซิสเตอร์ออกไปเป็นเวลา t_d ดังนี้

$$t_d = t_f + t_r \quad (4.20)$$

วงจรป้องกันการลัดวงจรประกอบด้วยแอนด์เกต (NAND gate) ทำงานร่วมกับวงจรโมโนสเตเบิล (monostable) ดังในรูปที่ 4.17 มีจำนวน 6 ชุดด้วยกัน

4.8 คุณลักษณะที่สำคัญทางด้านซอฟต์แวร์

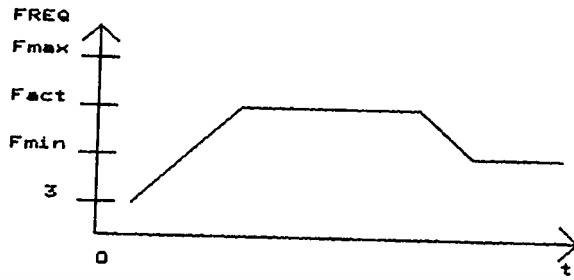
ในการใช้งานเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ของวิทยานิพนธ์นี้ จะต้องตั้งค่าการควบคุมต่างๆ ด้วยการโปรแกรม ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการที่จำเป็นของโปรแกรม

4.8.1 การจำกัดค่าความถี่ต่ำสุดและสูงสุด

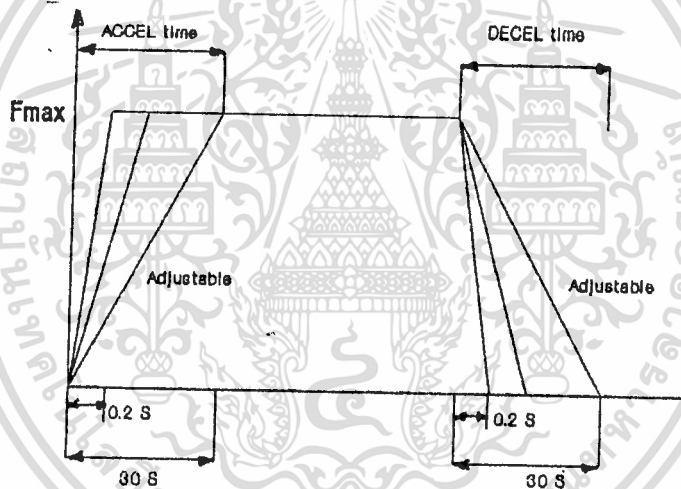
เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ สามารถตั้งค่าความถี่สูงสุดและต่ำสุดได้ในช่วง 3-99 Hz การทำงานจะเริ่มที่ความถี่ 3 Hz เสมอ กรณีที่ตั้งค่าความถี่ต่ำสุดไว้สูงกว่า 3 Hz เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จะเร่งความถี่ขึ้นไปจนถึงค่าความถี่ที่ใช้งาน เมื่อปรับความถี่ลงมาอีกครั้งหนึ่งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จะให้ความถี่เอาท์พุทต่ำสุดตามค่าที่ตั้งไว้ ดังในรูปที่ 4.18

4.8.2 การควบคุมอัตราเร่งและอัตราหน่วง

การทำงานปกติของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะมีความเร็วรอบตามความถี่เอาท์พุท ฟังก์ชันนี้จะให้การเปลี่ยนความถี่เป็นลักษณะลาดชัน การควบคุมการเปลี่ยนความถี่ทำได้โดยการตั้งค่าอัตราเร่งและอัตราหน่วง ซึ่งทำได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ช่วงเวลาที่ปรับได้อยู่ในช่วง 0.2 - 30 วินาที ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.19



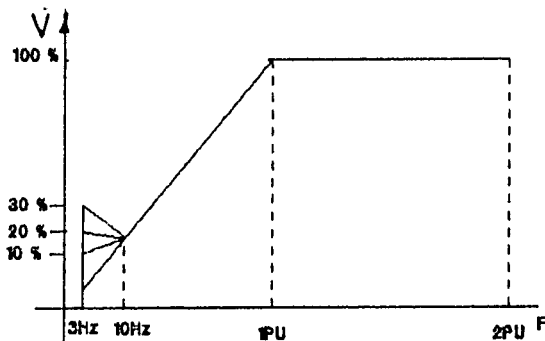
รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์
เมื่อตั้งค่าความถี่ต่ำสุดและสูงสุด



รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะของช่วงเวลาการเปลี่ยนความถี่เอาท์พุท

4.8.3 การเพิ่มแรงบิดของมอเตอร์เมื่อทำงานที่ความถี่ต่ำ

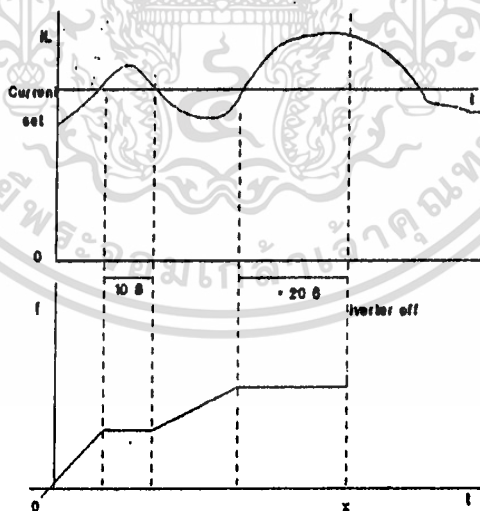
ผลของแรงดันตกคร่อมที่ความต้านทานของขดลวดที่สเตเตอร์ จะทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลง เพื่อชดเชยแรงดันในส่วนนี้จะต้องทำการเพิ่มแรงดันที่ขั้วของมอเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้น ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้เพิ่มแรงดันได้ 10, 20 และ 30 % ตามลำดับ ของความถี่ต่ำสุด การชดเชยนี้จะกระทำที่ความถี่ตั้งแต่ 10 Hz - 3 Hz ดังในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะการเพิ่มแรงดันที่สเตเตอร์

4.8.4 การตั้งค่ากระแสเกิน

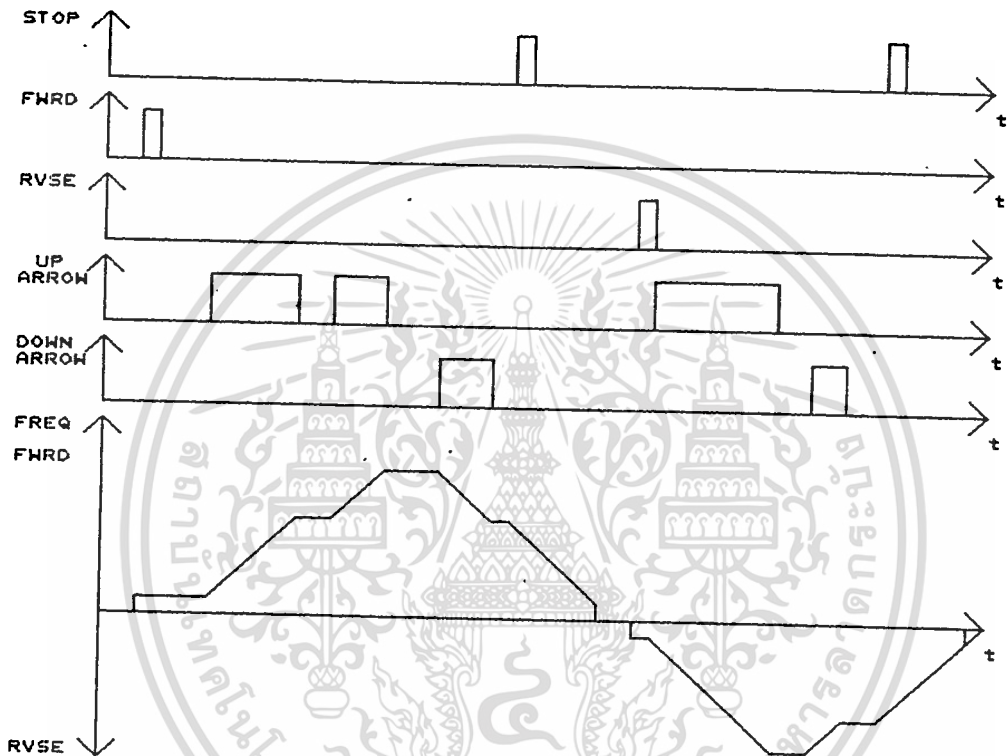
การป้องกันกระแสเกินได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.7.1 ซึ่งการทำงานของโปรแกรมจะเป็นดังในรูปที่ 4.21 ถ้ากระแสไหลมีค่าเกินค่าที่ตั้งไว้ประมาณ 20 วินาที อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานทันที เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จะสามารถตั้งค่ากระแสได้สูงสุด 5 A



รูปที่ 4.21 แสดงการป้องกันกระแสเกินด้วยวิธี stall prevention

4.8.5 การเลือกวิธีเบรก

การเบรกมอเตอร์ในที่นี้ทำได้ 1 แบบ คือ เบรกแบบคืนพลังงาน อย่างไรก็ตามถ้าต้องการเบรกจะต้องต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไปตามหัวข้อที่ 4.7.2 ถ้าไม่เลือกการเบรกไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานตามปกติและในช่วงลดความถี่ถึงถ้าแรงดันที่ต่ำเกินไปจะมีค่าสูงเกินจะใช้วิธี stall prevention



รูปที่ 4.22 แสดงการควบคุมด้วยระบบดิจิทัล

4.8.5 การเลือกแบบของการควบคุม

เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์นี้ สามารถเลือกแบบการควบคุมความถี่ได้ 4 แบบ คือ

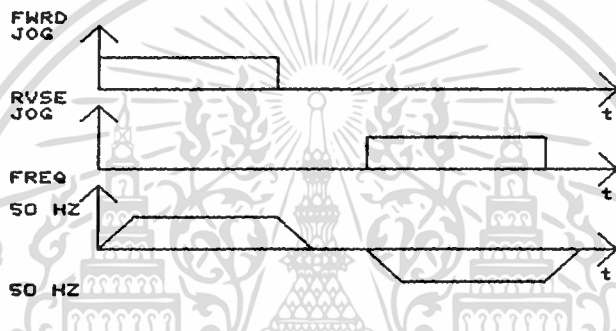
4.8.5.1 ควบคุมด้วยแรงดัน 1 - 5 V

4.8.5.2 ควบคุมด้วยกระแส 4 - 20 ma

4.8.5.3 ควบคุมด้วยระบบดิจิทัลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.8.5.4 ควบคุมแบบ jogging

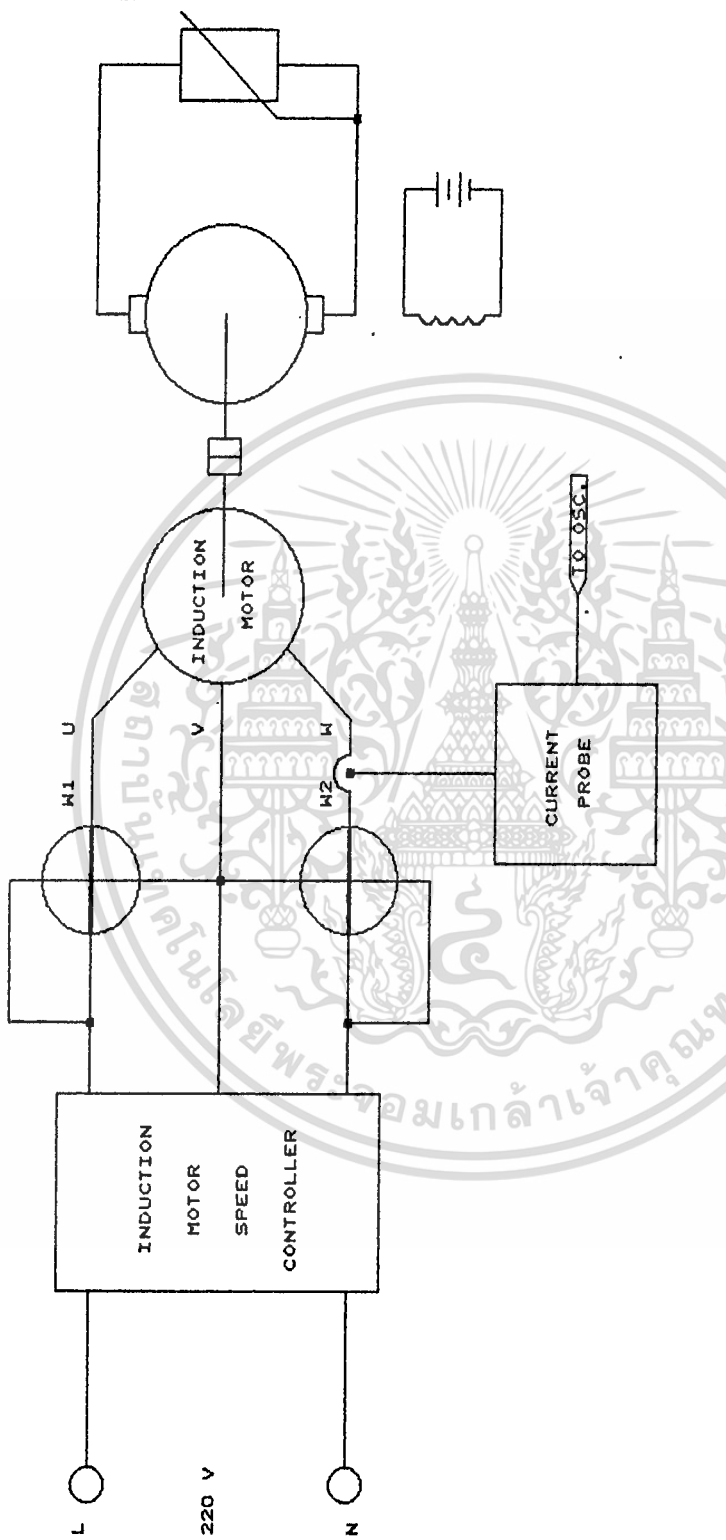
การควบคุมด้วยแรงดันนั้นจะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ติดตั้งไว้ที่กล่อง สำหรับควบคุมความถี่เอาท์พุท ส่วนการควบคุมด้วยกระแสจะต้องใช้แหล่งจ่ายกระแสจากภายนอก สำหรับการควบคุมด้วยระบบดิจิทัลและแบบ jogging นั้นใช้คีย์บอร์ดที่ตัวเครื่องได้ หรือจะต่อสวิตช์บนานเพื่อควบคุมที่ภายนอกก็ได้ โดยมีรูปแบบการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4.22 - 4.23 การเลือกแบบการควบคุมทำได้ด้วยการโปรแกรม



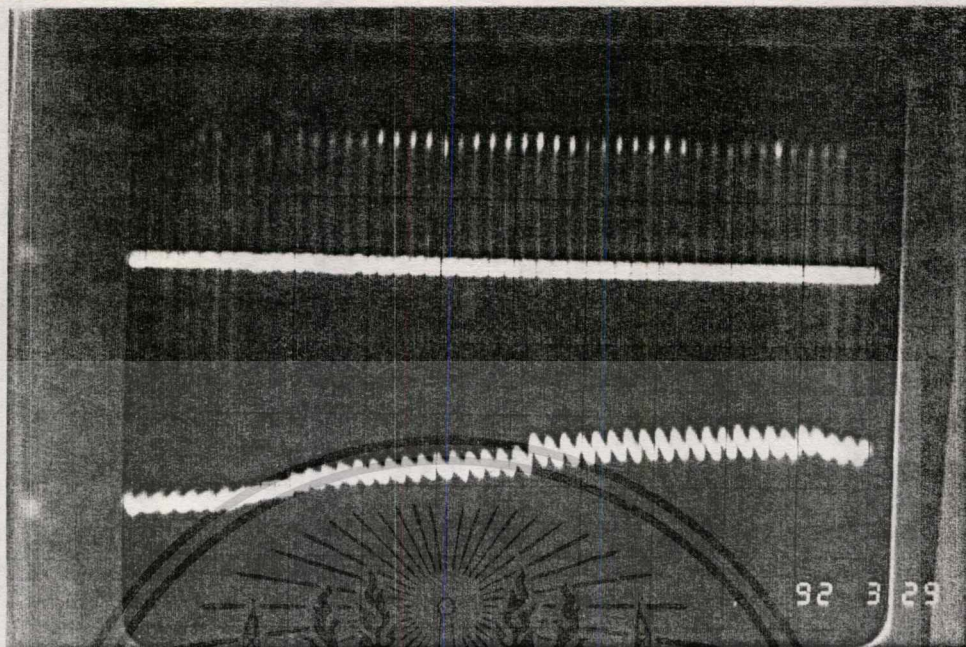
รูปที่ 4.23 แสดงการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์แบบ jogging

4.9 ผลการวิจัย

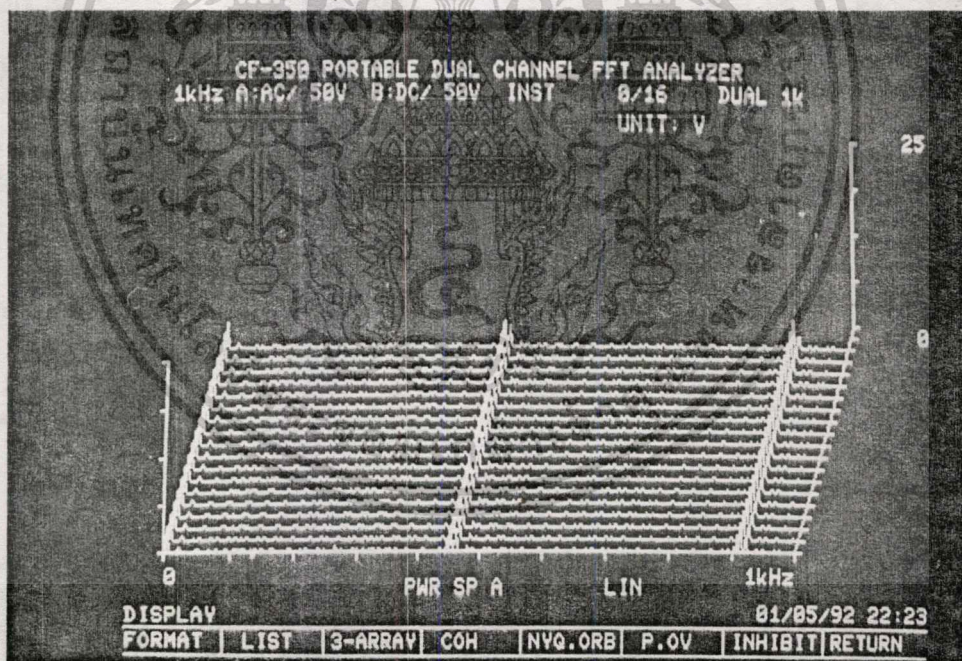
เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่ได้สร้างขึ้นมานี้ ได้นำไปทดสอบกับโหลดที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 0.75 kw นิเก็ดแรงดัน 220 V 3 เฟส โดยทดสอบที่ทุกความถี่ตลอดช่วงการควบคุมความเร็ว ผลการทดสอบบางส่วนได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.25 - 4.31 ส่วนลักษณะฮาร์ตแวร์แสดงไว้ในรูปที่ 4.32 นอกจากนี้ยังมีตารางแสดงผลการทดสอบเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ พร้อมด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน, กระแสเสเตอร์, กำลังงานเอาท์พุทของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กับความถี่ อย่างไรก็ตามกระแสไฟสลับทางด้านอินพุทของเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จะมีลักษณะที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ ทำให้ไม่สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าด้วยวัตต์มิเตอร์ทั่วไปได้เนื่องจากประกอบไปด้วยเทอมของฮาร์โมนิกส์ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.24 แสดงโดยแกรมการทดสอบเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์



ก)



ข)

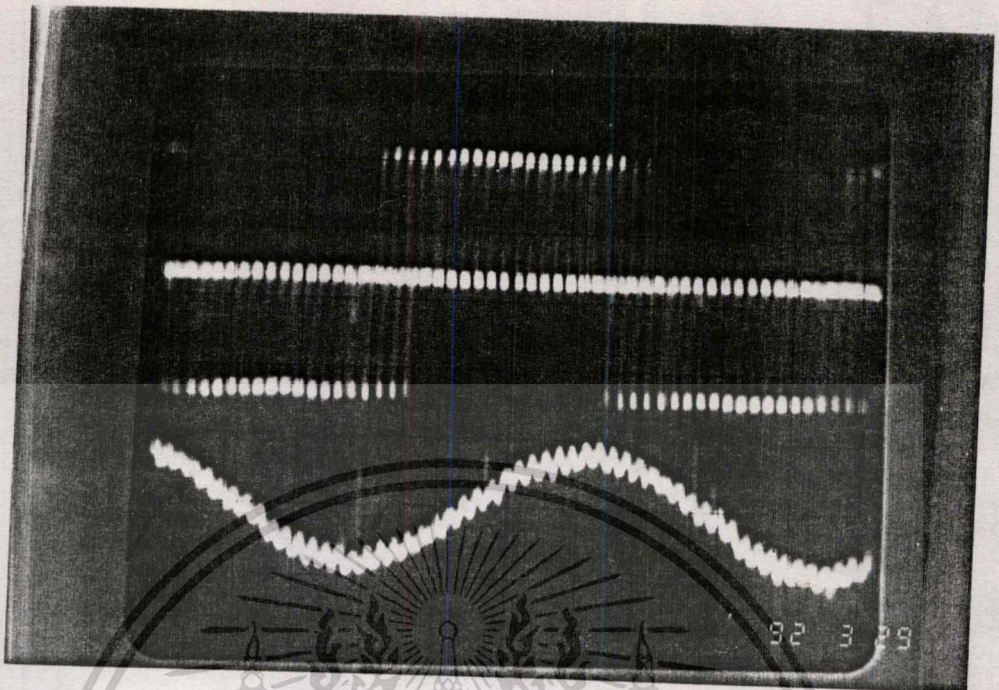
รูปที่ 4.25 ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันโวลต์และกระแสโวลต์ที่ความถี่เอาท์พุท 5 Hz

200 V/div 5 A/div 10 ms/div

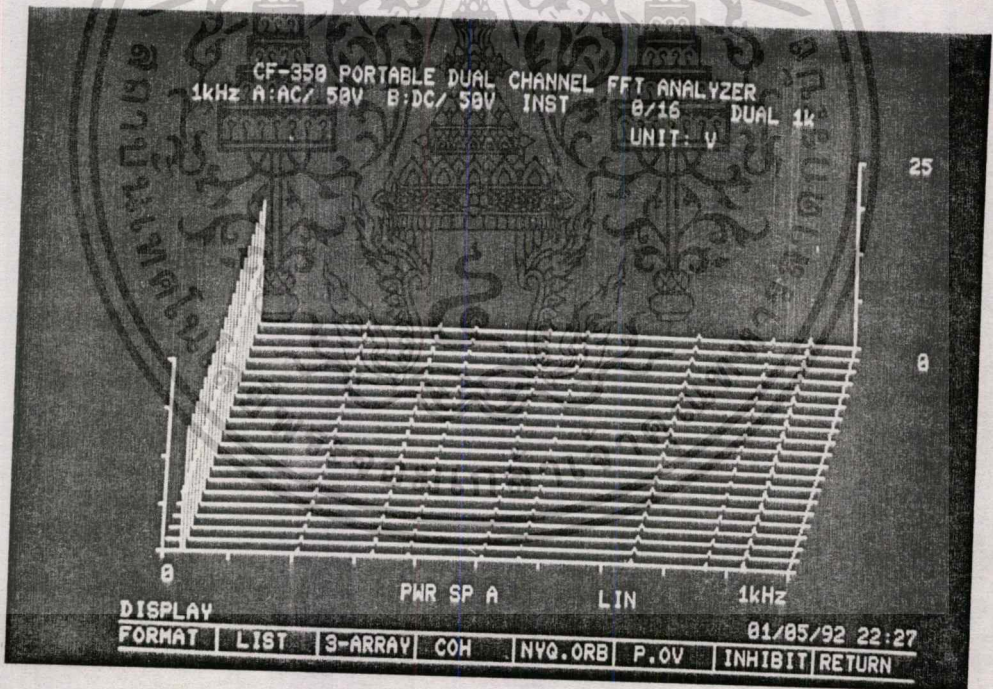
ข) แสดงเส้นสเปกตรัมของอาร์โมนิคส์

x = เวลา Y = ความถี่ Z = แอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



ข)

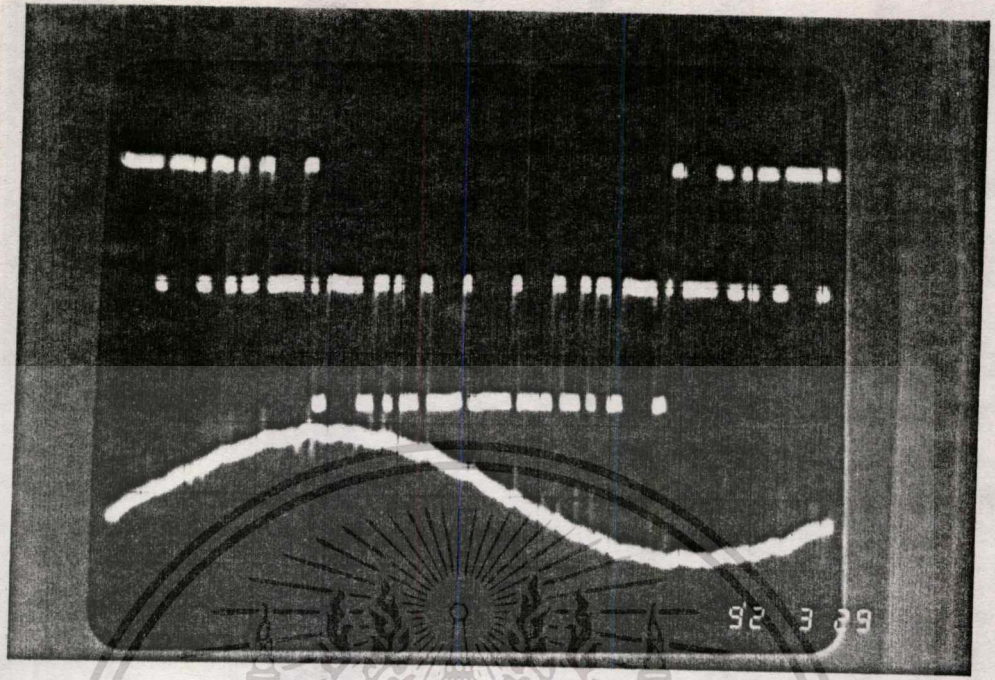
รูปที่ 4.26 ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์และกระแสไลน์ที่ความถี่เอาท์พุท 30 Hz

200 V/div 5 A/div 5 ms/div

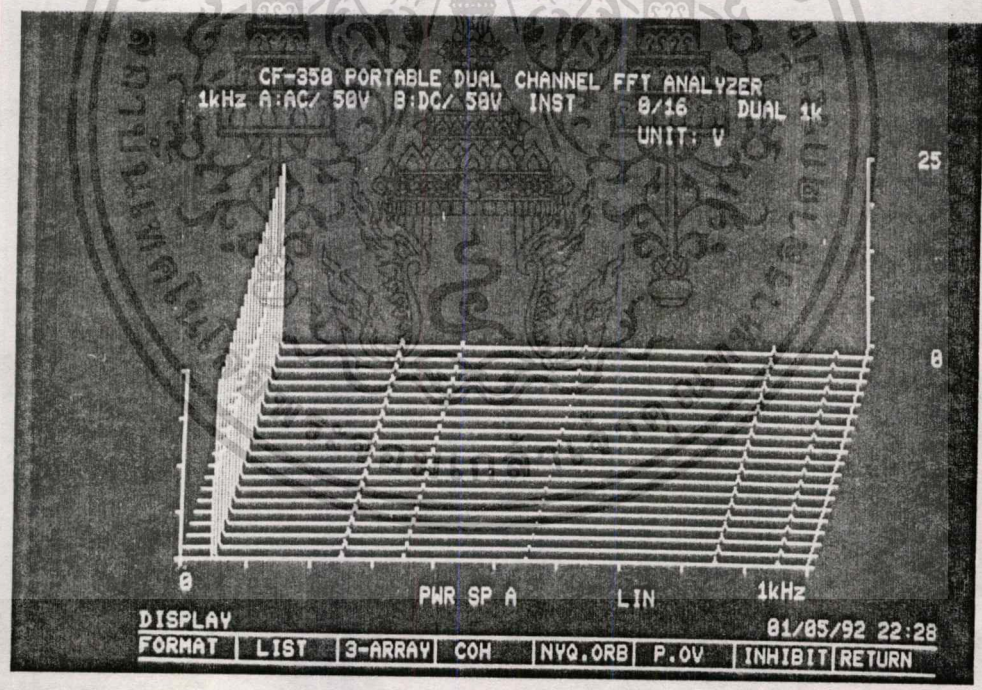
ข) แสดงเส้นสเปกตรัมของอาร์โมนิคส์

x = เวลา Y = ความถี่ Z = แอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)

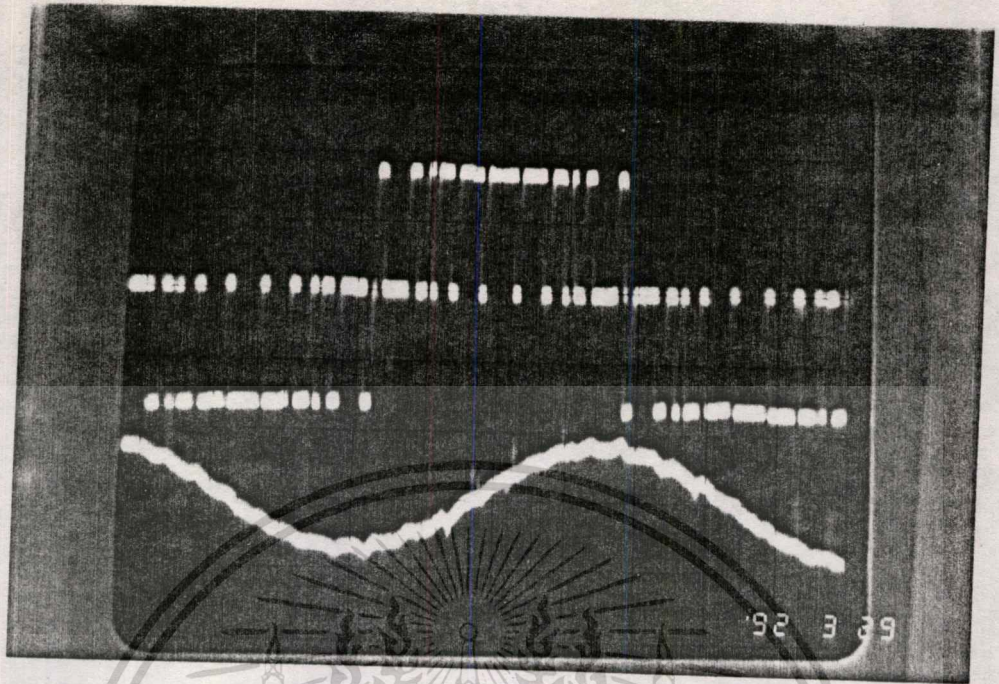


ข)

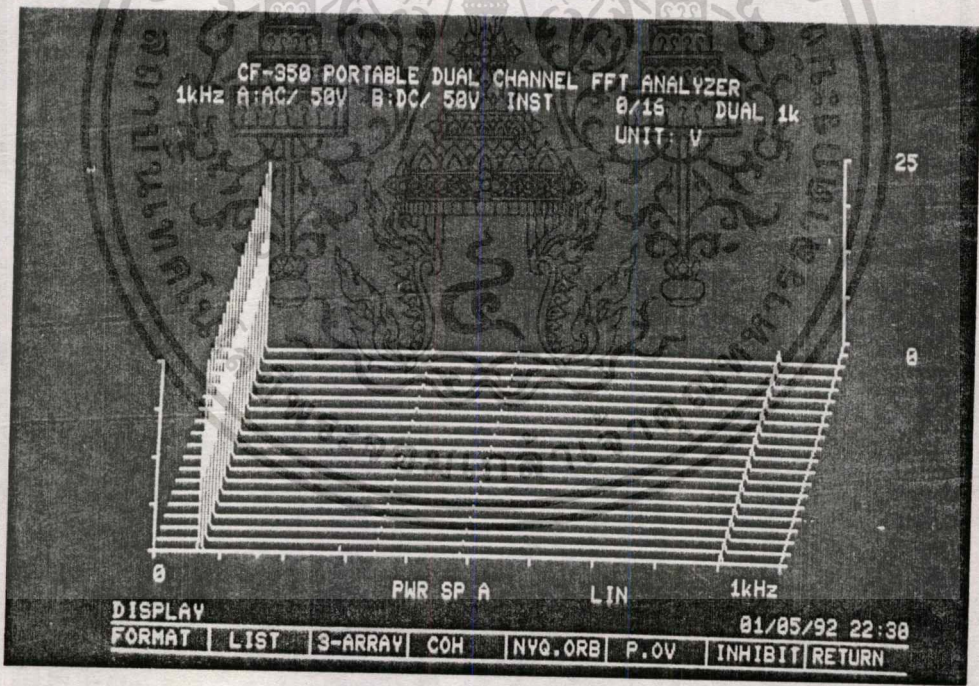
รูปที่ 4.27 ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์และกระแสไลน์ที่ความถี่เอาท์พุท 50 Hz
 200 V/div 5A/div 2 ms/div

ข) แสดงเส้นสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์
 x = เวลา Y = ความถี่ Z = แอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



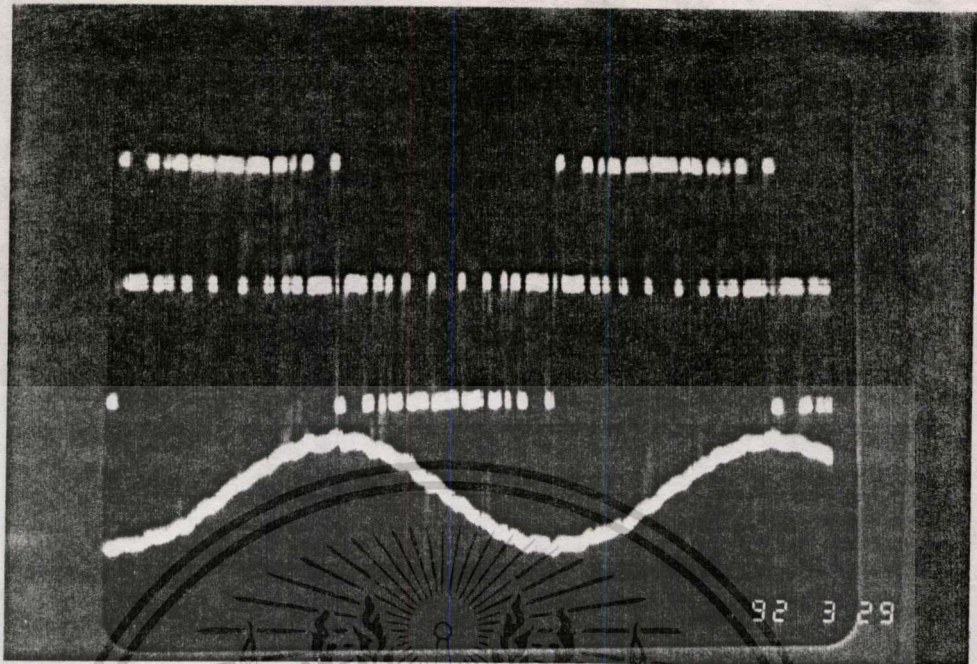
ก)



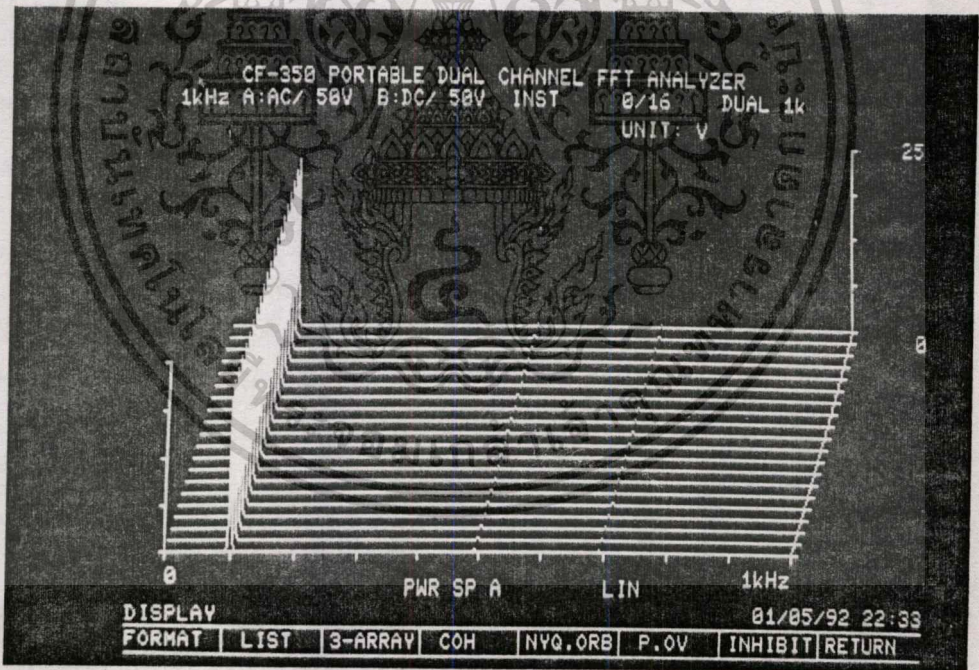
ข)

รูปที่ 4.28 ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันไลน์และกระแสไลน์ที่ความถี่เอาท์พุท 70 Hz
 200 V/div 5 A/div 2 ms/div

ข) แสดงเส้นสเปกตรัมของอาร์โมนิกส์
 x = เวลา y = ความถี่ z = แอมพลิจูด



ก)



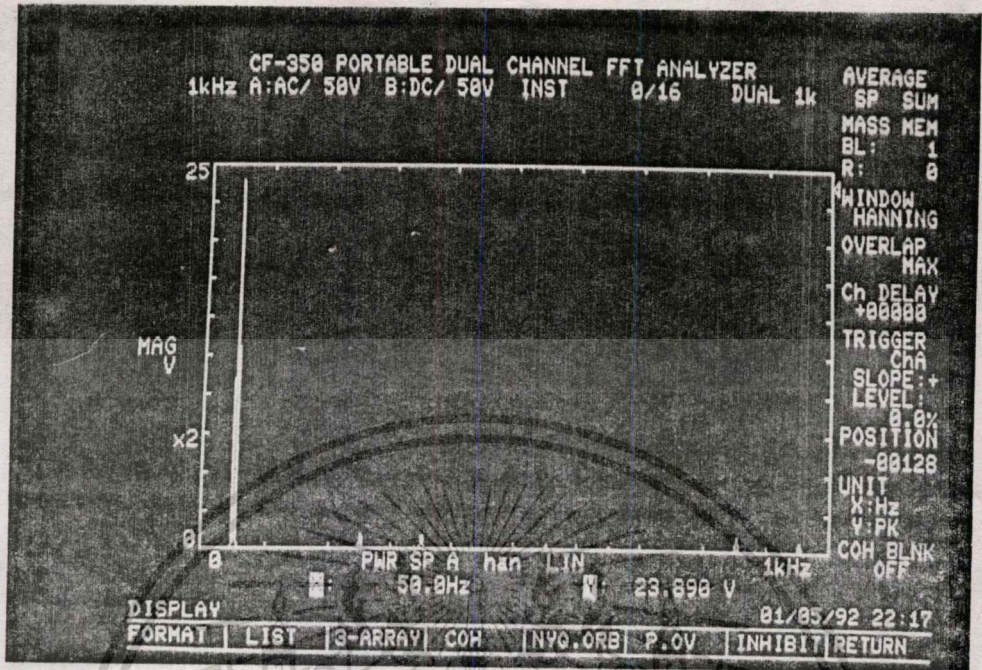
ข)

รูปที่ 4.29 ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันโวลต์และกระแสโวลต์ที่ความถี่เอาท์พุท 99 Hz

200 V/div 5 A/div 2 ms/div

ข) แสดงเส้นสเปกตรัมของอาร์โมนิคส์

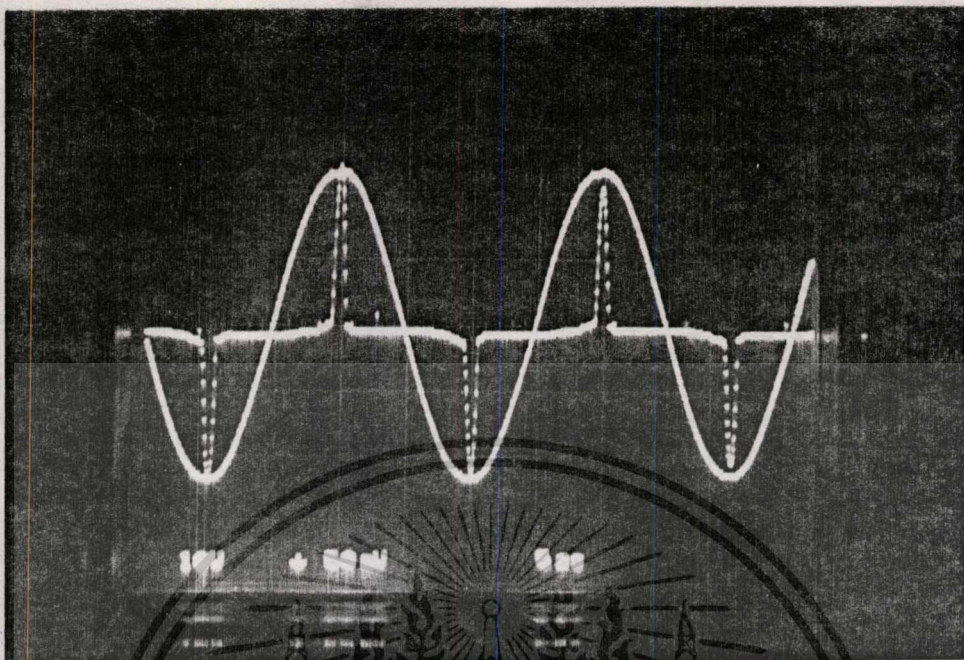
x = เวลา Y = ความถี่ Z = แอมพลิจูด



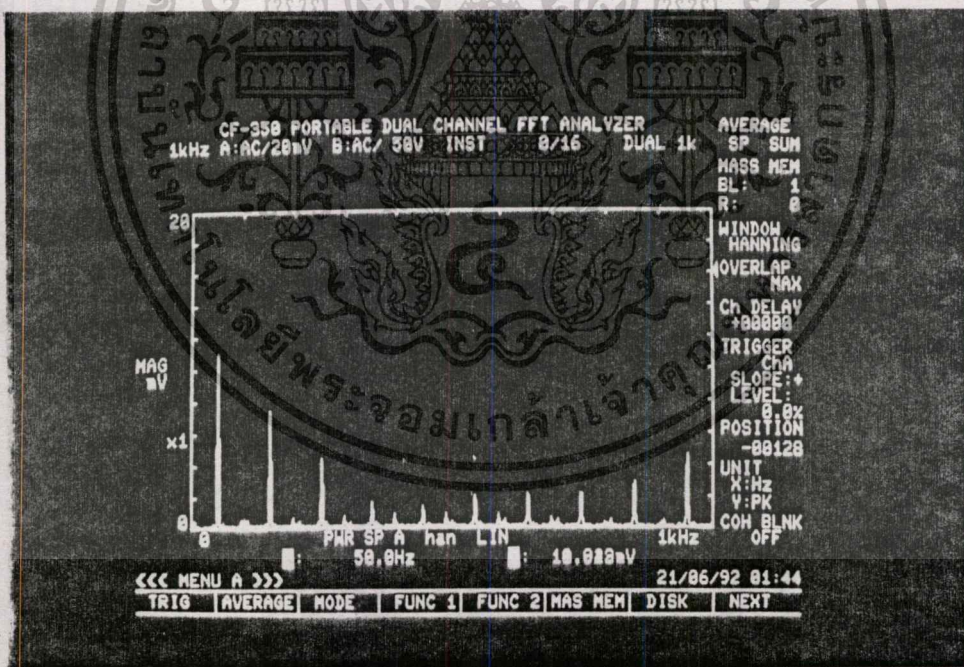
ข)

รูปที่ 4.30 แสดงแอมพลิจูดขององค์ประกอบมูลฐานมีค่าสูงถึง 100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

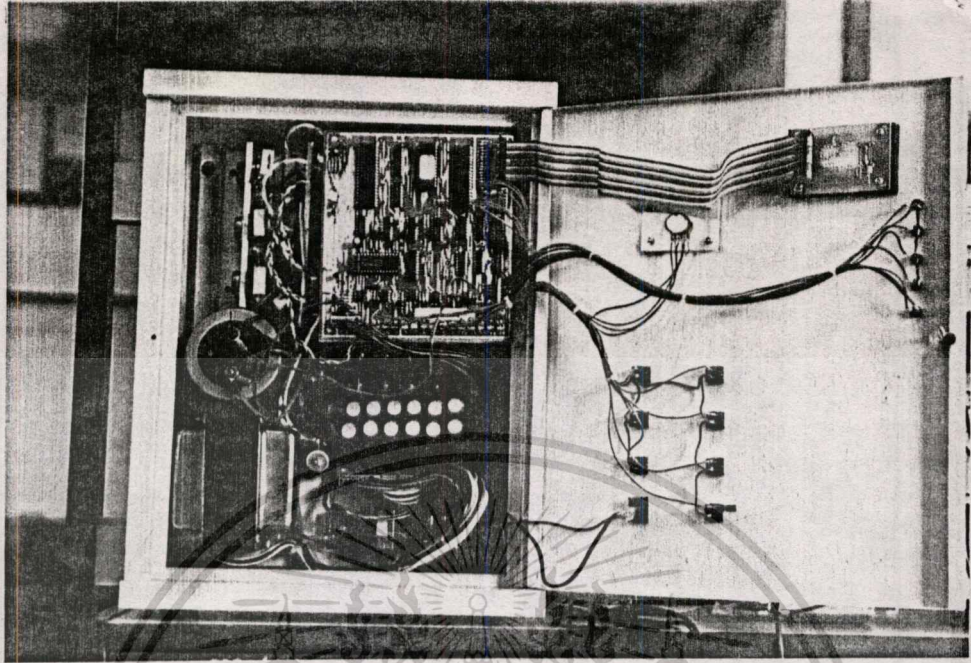


ก)

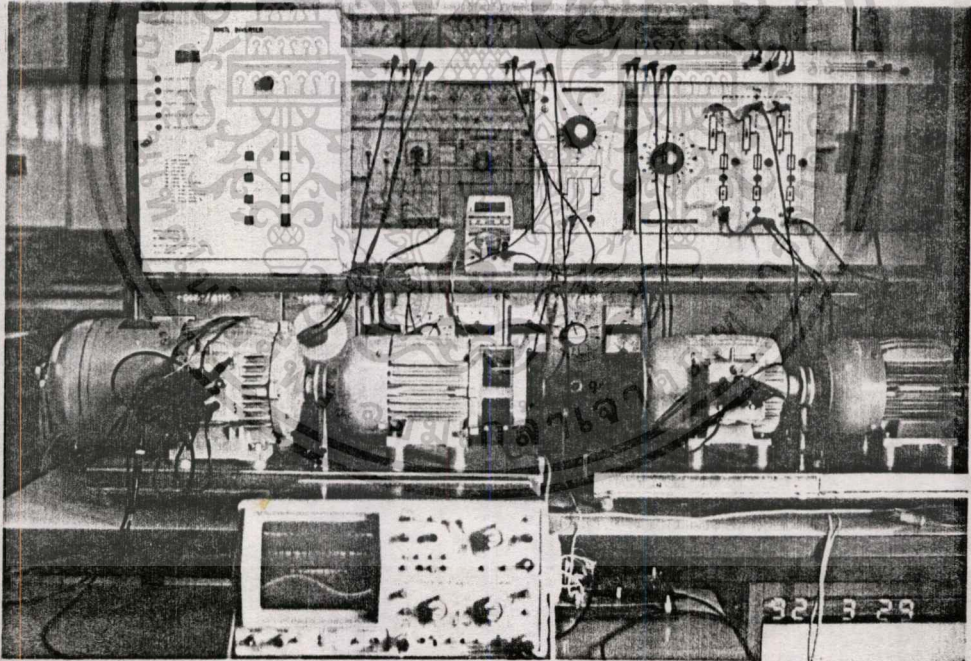


ข)

- รูปที่ 4.31 ก) รูปคลื่นกระแสและแรงดันทางด้านอินพุทของเครื่องควบคุมความเร็ว
 รอบมอเตอร์ 100 V/div 1 A/div 5 ms/div
- ข) แสดงอาร์โมนิคส์ของรูปคลื่นกระแสด้านอินพุท



ก)



ข)

- รูปที่ 4.32 แสดงฮาร์ดแวร์ของวิทยานิพนธ์เมื่อประกอบเสร็จ
- ก) แสดงด้านในตัวเครื่อง
- ข) แสดงด้านนอกตัวเครื่องและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

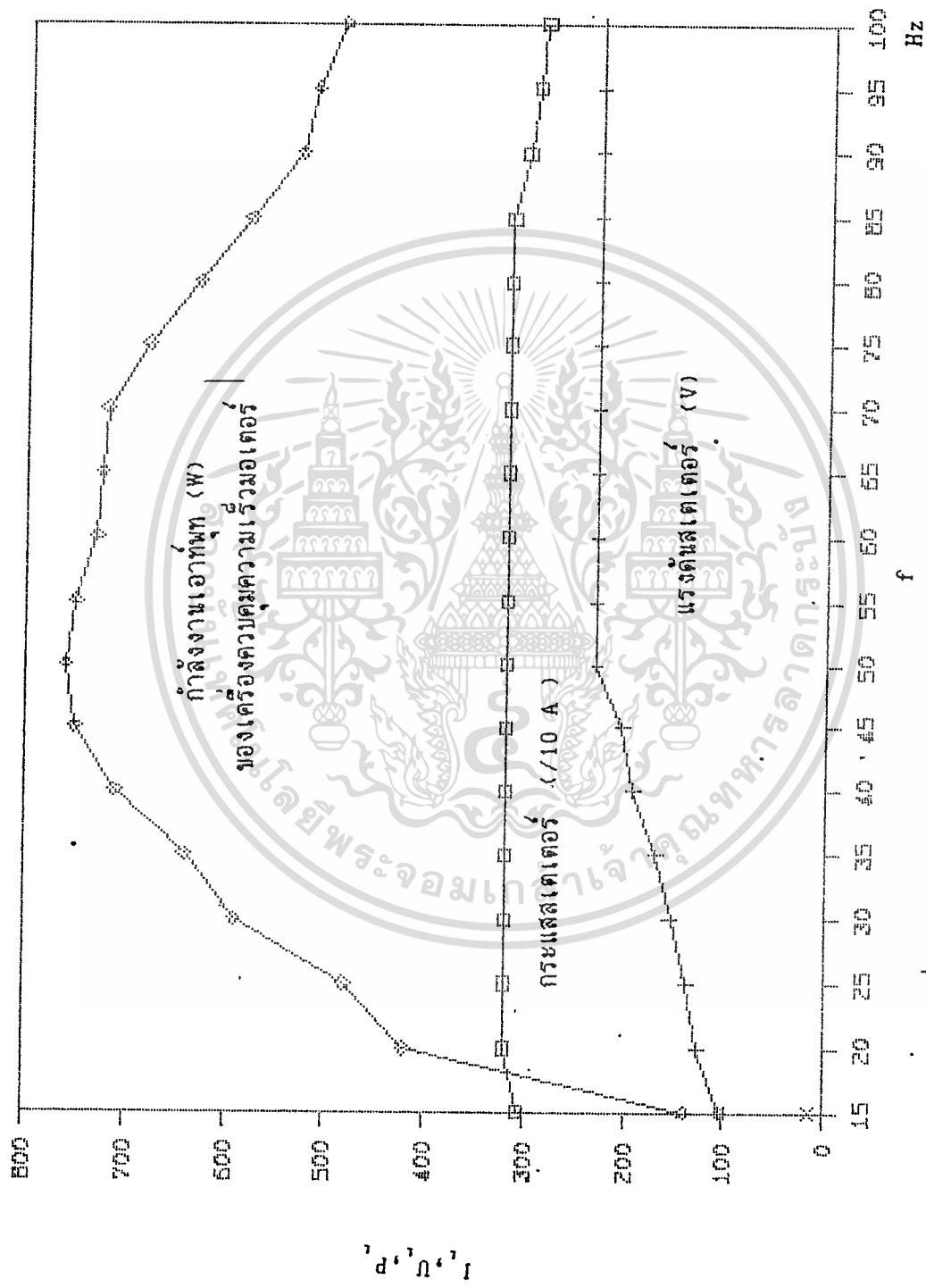
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

f_o (Hz)	P2 (W)	I_1 (A)	U_1 (V)
15	140	3.2	104
20	420	3.2	126
25	480	3.2	137
30	590	3.2	154
35	640	3.2	170
40	710	3.2	192
45	770	3.2	203
50	760	3.2	230
55	720	3.2	230
60	690	3.2	230
65	750	3.2	230
70	720	3.2	230
75	680	3.2	230
80	630	3.2	230
85	580	3.18	230
90	500	3.03	230
95	515	2.94	230
99	488	2.87	230

หมายเหตุ

1 ช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 15 Hz ไม่สามารถจ่ายโหลดให้มอเตอร์เกินกระแสถึง 3.2 A ได้ เนื่องจากความเร็วรอบมอเตอร์ต่ำเกินไปเครื่องกำเนิดจึงจ่ายแรงดันได้ต่ำ และให้แรงบิดของโหลดต่ำ

CURRENT, VOLTAGE, POWER, FREQUENCY



รูปที่ 4.33 ก) แสดงกระแสสลับเตเตอร์, แรงดันสลับเตเตอร์และกำลังงานเอาท์พุท ของเครื่องควบคุมเอเตอร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงผลตอบสนองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อทำงานกับแรงดันที่มีรูปคลื่นไม่ใช่ไซน์ วิธีการคำนวณหาหม้อการสวิตช์เพื่อเลือกกำลังอาร์โมนิคส์อันดับต่ำหลายๆค่า ด้วยวิธีนิวเมอริคอลและวิธีการคำนวณหาหม้อเริ่มต้นเพื่อให้การคำนวณหาค่าตอบลู่เข้าหาค่าตอบแน่นอน โดยใช้เวลาคำนวณเร็วที่สุด นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก ขนาด 750 W คุณสมบัติที่สำคัญของฮาร์ดแวร์ของวิทยานิพนธ์มีดังนี้

- 1 ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นอุปกรณ์การสวิตช์ในภาคอินเวอร์เตอร์ สามารถจ่ายกำลังงานได้ 750 W ที่แรงดัน 220 V 3 เฟส ใช้แรงดันอินพุต 220 V 1 เฟส
- 2 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 สร้างสัญญาณ SHEPWM เพื่อขับอินเวอร์เตอร์ โดยกำลังอาร์โมนิคส์ได้ในช่วง 500-1000 Hz และ 1000-1300 Hz ที่ความถี่เอาต์พุต 3-9.5 Hz และ 10-99 Hz ตามลำดับ
- 3 สามารถปรับความถี่เอาต์พุตได้จาก 3-99 Hz เป็นขั้นๆละ 0.5 Hz
- 4 สามารถกำหนดอัตราเร่งและอัตราชะลอได้ในช่วงเวลา 0.2-30 วินาที
- 5 การควบคุมความถี่เอาต์พุต ทำได้ 4 ลักษณะดังนี้
 - 5.1 ควบคุมด้วยแรงดัน 1-5 V
 - 5.2 ควบคุมด้วยกระแส 4-20 mA
 - 5.3 ควบคุมด้วยระบบดิจิทัลโดยใช้ปุ่มกด
 - 5.4 ควบคุมแบบ jogging
- 6 แสดงผลด้วยตัวแสดงผล 7 ส่วน 3 หลัก
- 7 มีระบบป้องกันกระแสเกิน, แรงดันเกิน, แรงดันต่ำ สามารถตั้งระดับกระแสได้
- 8 สามารถกลับทางหมุนได้
- 9 สามารถกำหนดค่าความถี่เอาต์พุตสูงสุดและต่ำสุดได้
- 10 การตั้งค่าในฟังก์ชันต่างๆทำได้ด้วยการโปรแกรม
- 11 สามารถปรับเพิ่มแรงบิดที่การทำงานที่ความถี่ต่ำได้

การออกแบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์นั้น ได้ออกแบบให้มีจำนวนของแพทเทิร์นการสวิทช์ที่เหมาะสม และการเปลี่ยนแพทเทิร์นการสวิทช์ในแต่ละช่วงที่ความถี่ที่เหมาะสม ทำให้ผลตอบสนองของมอเตอร์เป็นไปอย่างนุ่มนวล ช่วงความถี่เอาท์พุทตั้งแต่ 3 - 50 Hz เป็นช่วงที่รักษาแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ให้คงที่เรียกว่า ย่านแรงบิดคงที่ เป็นช่วงที่ต้องรักษาอัตราส่วน V/F ที่ขั้วให้มีค่าคงที่ เพื่อรักษาฟลักซ์ที่ช่องอากาศให้มีค่าประมาณคงที่ ซึ่งเป็นการควบคุมแรงบิดให้มีค่าประมาณคงที่นั่นเอง ความถี่ตั้งแต่ 51-99 Hz เป็นช่วงที่รักษากำลังเอาท์พุทให้คงที่ด้วยการลดแรงบิดสูงสุดโดยการรักษาแรงดันเอาท์พุทให้มีค่าคงที่ไว้ในขณะที่ความถี่สูงขึ้น นั่นก็คือฟลักซ์ที่ช่องอากาศจะมีค่าลดลง เนื่องจากอิมพีแดนซ์สูงขึ้น ย่านการควบคุมนี้เรียกว่าย่านกำลังเอาท์พุทคงที่

ข้อได้เปรียบของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เทคนิค SHEPWM มีดังนี้

- 1 ลดความถี่ของการสวิทช์ลงได้ประมาณ 50 % เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค PWM ประเภทที่ใช้คลื่นพาร์ก ที่ให้อาร์โมนิคส์อันดับแรกที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ค่าเดียวกัน ทำให้การสูญเสียจากการสวิทช์ที่ตัวทรานซิสเตอร์ลดลง
- 2 เทคนิคนี้จะทำให้กระแสของมอเตอร์มีลักษณะใกล้เคียงไซน์ ตลอดช่วงการควบคุม ทำให้ระลอกแรงบิดมีน้อย
- 3 ลดเสียงรบกวนได้
- 4 ให้ค่าองค์ประกอบมูลฐานที่สูงถึง 100 %

ผลการวิจัยพบว่าอาร์โมนิคส์ที่กำจัดได้มีค่าใกล้เคียงตามทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งสำหรับประมวลผล นอกจากนี้ยังต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งไปในวงจรป้องกันการลัดวงจรระหว่างตัวทรานซิสเตอร์ในแขนเดียวกัน ทำให้มุมการสวิทช์จริงเคลื่อนไปจากทฤษฎี การเพิ่มมุมการสวิทช์จำนวนมากขึ้นจะทำให้คุณภาพกระแสดีขึ้นและลดเสียงดังรบกวนได้มากขึ้น แต่จะทำให้การสูญเสียจากการสวิทช์มากขึ้นและใช้หน่วยความจำสูง เทคนิคการคำนวณหาตำแหน่งการสวิทช์ที่ค่า M ใดๆ โดยอาศัยค่ามุมการสวิทช์ที่ค่า M ใกล้เคียงเป็นฐาน จะช่วยลดขนาดของหน่วยความจำสูงและให้ชั้นความถี่ละเอียดขึ้นตามต้องการ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวควรจะเป็นหัวข้อวิจัยอีกเรื่องหนึ่ง

นอกจากนี้การใช้แหล่งจ่ายกำลังงานแบบสวิทชิง จะทำให้ขนาดของชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เล็กและมีน้ำหนักเบาลงมากแต่จะมีราคาสูงขึ้น

ปัญหาและอุปสรรคที่ประสพระหว่างการทำวิจัยคือขาดเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาระบบ เช่น เครื่อง incircuit emulator เป็นต้น ทำให้การพัฒนาทำได้ค่อนข้างช้า นอกจากนี้ยังขาดเครื่องวัดแรงบิดของมอเตอร์ ทำให้ไม่สามารถวัดแรงบิดที่เพลของมอเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] DONATO VINCENTI, PHOIVOS D. ZIOGAS, RAJNIKANT V. PATEL, "A PC-Base Pulse Width Modulator for Static Converters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol 37, No.1, pp 57-69, February 1990
- [2] JOHN A. HOULDWORTH, DUNCAN A. GRANT, "The use of Harmonic Distortion to Increase the output Voltage of a Three-Phase PWM Inverter," *IEEE. Trans. Ind. Appl.*, Vol. IA-20, No.5, pp 1224-1228, September/October 1984
- [3] TAKASHI KENJO, "Power electronics for the Microprocessor Age," *OXFORD UNIVERSITY PRESS*, PP. 225-227, 1990
- [4] MICHAEL A. BOOST, PHOIVOS D. ZIOGAS, "State-of-the-Art Carrier Pwm Techniques: A Critical Evaluation," *IEEE. Trans. Ind. Appl.* Vol 24 No.2, PP 271-280, March/April 1988
- [5] KATSUNORI TANIGUCHI, HISAICHI IRIE, "Output wavefrom of three-phase PWM inverter based on trapezoidal input signal," in 1983 *National Convention Rec. IEE. in Japan*, no.499
- [6] J.M.D. MURPHY, F.G. TURBULL, "Power Electronic Control of AC Motors," *PERGAMON PRESS*, PP. 217-290, 1988
- [7] B.K. BOSE, "Power Electronics and AC Drives," *Prentice-Hall*, pp.42-44, 1986
- [8] STEPHEN J. CHAPMAN, "Electric Machinery Fundamentals," *McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS*, 1985
- [9] HOSMUKH S. PATEL, RICHARD G. HOFT, "Generalized Technique of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverter: Part I Harmonic Elimination," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. IA-10, pp.666-673, Sept/Oct. 1974
- [10] P. ENJETI, J.F LINDSAY, "Solving Nonlinear Equations of Harmonic Elimination PWM in Power Control," *Electron. Lett.* Vol.23 No.12 pp 656- 657, June 1987
- [11] PRASAD N. EJETI, PHOIVOS D. ZIOGAS, JAMES F. LINDSAY, MUHAMMAD H. RASHID, "A New PWM Speed Control System for High-Performance ac Motor Drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.* Vol.37 No.2 pp.143-151, April 1990
- [12] KHALED E. ADDOWEESH, WILLIAM SHEPHERD, L.N. HURREY, "Induction Motor

Speed Control Using a Microprocessor-Based PWM Inverter,"*IEEE Trans. Ind. Electron.* Vol.36, No.4 pp.516-522 November 1989

- [13] K.S.RAJASHEDARA, JOSEPH VITHYATHIL, V.RAJAGOPALAN, "Protection and Switching-Aid Networks for Transistor Bridge Inverters,"*IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. IE-33, No.2, pp.185-192, May 1986





```

Program Alpha_angle(input,output);
Uses Crt;
Type C_F = Array[1..100,1..100] of real;
Var N          : Array[1..101] of integer;
    DA,F,SUM,A,S,CK : Array[0..101] of real;
    CF          : C_F;
    H,I,J,K,L,M,B,O,Q,R,Prnt : Integer;
    V,P1,AS,C,X,P,Z,N1,Mp,Mn,Freq,
    Boost      : Real;
    Kbd        : Char;
    Prn        : text;
Label Re_repeat,Converge,Diverge,Check_A,
      The_End,Linearize,AA,NNN,Start;
Procedure Guess;
Begin
  Clrscr;
  Writeln;
  Write('Enter number of Harmonics to be eliminated (even number): ');
  Readln(Q);
  M := Q+1 ; { M = no. of switching angle }
  Write('Enter modulation index : ');
  Readln(V);
  Write('Output Frequency : ');
  Readln(Freq);
  Write('Print out? 1 = YES , 2 = NO : ');
  Readln(Prnt);
  Writeln;      Writeln('          Wait for calulation ');
  A[0] := 0;
End; { Proc.}

```

```
Procedure Get_Data;
```

```
Label NNN;
```

```
Begin
```

```
    K := 1;
```

```
    R := 1;
```

```
    NC[1] := 1;
```

```
    For I := 2 to M Do
```

```
        Begin
```

```
            If R = 1 then
```

```
                Begin
```

```
                    R := 0;
```

```
                    K := K+4;
```

```
                    Goto NNN;
```

```
                End;
```

```
            R := 1;
```

```
            K := K+2;
```

```
NNN:    NC[I] := K;
```

```
        End;
```

```
End; { Proc. }
```

```
Procedure Guess_Angle;
```

```
begin
```

```
    Mp := 5.0391*exp(-0.07125*M);
```

```
    Mn := -6.4384*exp(-0.05672*M);
```

```
    CK[1] := 0;
```

```
    CK[2] := 120/(M+1);
```

```
    K := 3;
```

```
    While K < M-2 Do
```

```
        Begin
```

```
CK[KJ] := (K+1)*60/(M+1);
```

```
CK[K+1] := CK[KJ] ;
```

```
K := K+2;
```

```
End;
```

```
CK[M-2] := (M-1)*60/(M+1);
```

```
CK[M-1] := 60;
```

```
CK[M] := (M+3)*60/(M+1);
```

```
for K := 1 to M do
```

```
Begin
```

```
  If K = 1
```

```
  then
```

```
    A[K] := (Mp*V + CK[KJ])*Pi/180
```

```
  else
```

```
  If K mod 2 = 0
```

```
  then
```

```
    A[K] := (Mp*V + CK[KJ])*Pi/180
```

```
  else
```

```
    A[K] := (Mn*V + CK[KJ])*Pi/180;
```

```
  End; {K}
```

```
End; { Proc }
```

```
Procedure Power;{ X power K, output in C }
```

```
Begin
```

```
  C := 1;
```

```
  L := K;
```

```
  If K >= 0 then
```

```
  While K > 0 Do
```

```
  Begin
```

```
    C := C*X;
```

```
    K := K-1;
```

```

    End
else
    While K < 0 Do
        Begin
            C := C/X;
            K := K+1;
        End;
    K := L;
End; { Proc.}

```

```

Procedure Calculate_Fo;
Begin
    X := -1;
    For I := 0 to M Do
        Sum[I] := 0;
        For I := 1 to M Do
            Begin
                For K := 1 to M do
                    Begin
                        Power;
                        S[I] := C*cos(NC[I]*ACK);
                        SUMC[I] := SUMC[I] + S[I];
                    End; { K }
                End; { I }
            End;
        For I := 1 to M Do
            Begin
                FC[I] := 0;
                If I = 1
                    then
                        FC[I] := (4/Pi)*(1+2*SUMC[I]) + V

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else
    F[I] := 1+2*SUMC[I];
End; { I }
End;{ Proc }

```

```

Procedure Curl_Fo;

```

```

Begin

```

```

    For I := 1 to M do

```

```

        Begin

```

```

            For J := 1 to M do

```

```

                Begin

```

```

                    X := -1;

```

```

                    K := J+1;

```

```

                    Power; { X power K output in C }

```

```

                    CF[I,J] := C*2*NC[I]*Sin(NC[I]*A[J]);

```

```

                End;

```

```

            End;

```

```

        End; { Proc }

```

```

Procedure S_wap(Var q,r : real);

```

```

Var S : real;

```

```

Begin

```

```

    S := Q;

```

```

    Q := R;

```

```

    R := S;

```

```

End; { Proc }

```

```
Procedure Pivottting;
```

```
Label 100;
```

```
Begin
```

```
    P := ABS(CF[K,K]);
```

```
    O := K;
```

```
    For I := K to M do
```

```
        Begin
```

```
            If P < ABS(CF[I,K])
```

```
                Then
```

```
                    Begin
```

```
                        P := ABS(CF[I,K]);
```

```
                        O := I;
```

```
                    End; { If }
```

```
                End; { I }
```

```
    If P = 0 then goto 100;
```

```
    If O = K then goto 100;
```

```
    For J := K to M do
```

```
        Begin
```

```
            S_wap(CF[K,J],CF[O,J]);
```

```
        End; { J }
```

```
            S_wap(DA[K],DA[O]);
```

```
100:    End;
```

```
Procedure Different_Alpha; { Gaussian elimination method }
```

```
Label 99;
```

```
Begin
```

```
    For I := 1 to M do
```

```
        DA[I] := -F[I];
```

```
        For K := 1 to M-1 do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Begin
```

```
  Pivotting;
```

```
  If P = 0
```

```
    then
```

```
      goto 99;
```

```
  P := CFC[K,K];
```

```
  For I := K+1 to M do
```

```
    Begin
```

```
      P1 := CFC[I,K]/P;
```

```
      DAC[I] := DAC[I]-P1*DAC[K];
```

```
      For J := K to M do
```

```
        Begin
```

```
          CFC[I,J] := CFC[I,J]-P1*CFC[K,J];
```

```
        End; { J }
```

```
      End; { I }
```

```
    End; { K }
```

```
  DAC[M] := DAC[M]/CFC[M,M];
```

```
  For I := M-1 Downto 1 do
```

```
    Begin
```

```
      AS := 0;
```

```
      For J := I+1 to M do
```

```
        Begin
```

```
          AS := AS+CFC[I,J]*DAC[J];
```

```
        End;
```

```
      DAC[I] := (DAC[I]-AS)/CFC[I,I];
```

```
    End; { I }
```

```
99:End; { Proc }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Procedure Alpha1;
```

```
Begin
```

```
  For I := 1 to M do
```

```
    AC[I] := AC[I] + DAC[I];
```

```
End;
```

```
Procedure SaveAlpha; ( Create file. )
```

```
Type   Alpha = Array[0..103] of real;
```

```
       Cond  = Array[0..2] of integer;
```

```
Var    Alpha0   : Alpha;
```

```
       Outfile  : File of alpha;
```

```
       Filename : String[15];
```

```
       Cndt     : Cond;
```

```
       Condition : File of Cond;
```

```
Begin
```

```
  Filename := 'C:ALPHA.DAT';
```

```
  Assign(Outfile,Filename);
```

```
  Rewrite(Outfile); ( Open file )
```

```
    Begin
```

```
      For I := 0 to M do
```

```
        Alpha0[I] := AC[I];
```

```
        Alpha0[101] := V;
```

```
        Alpha0[102] := Boost;
```

```
        Alpha0[103] := Freq;
```

```
        Write(Outfile,Alpha0);
```

```
      End;
```

```
  Close(Outfile);
```

```
  Filename := 'C:COND.DAT';
```

```
  Assign(Condition,Filename.);
```

```
  Rewrite(Condition);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Begin
    Cndt[0] := M;
    Cndt[1] := Prnt;
    Write(Condition,Cndt);
End;

```

```

Close(Condition);

```

```

End; { Proc }

```

```

Procedure Printout;

```

```

Label Screen;

```

```

Begin

```

```

    If Prnt <> 1 then goto Screen;

```

```

    { *** Print out to printer *** }

```

```

    Writeln('Press P for print out to printer');

```

```

    Writeln('Press any key for bypass');

```

```

    Readln(Kbd);

```

```

    If Kbd <> 'p'

```

```

        then

```

```

            Goto Screen;

```

```

    Writeln(Prn,'Harmonics to be eliminated are ');

```

```

    For I := 1 to M-1 do

```

```

        Begin

```

```

            Write(Prn,NC[I+1]:4);

```

```

            If (I=15) or (I=30) or (I=45) or (I=60) or (I=75)

```

```

                or (I=90) or (I=105)

```

```

            then

```

```

                Writeln(Prn);

```

```

        End;

```

```

        Writeln(Prn);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดตทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

WriteLn(Prn,'Modulation Index = ',V:2:2);
WriteLn(Prn,'Output frequency = ',Freq/boost:3:2,' ','Hz');
WriteLn(Prn,'Angles are in degrees.');
```

```
WriteLn(Prn,'-----');
```

```
For I := 1 to M do
```

```
Begin
```

```
Write(Prn,A[I]*180/Pi:9:4);
```

```
If (I=7) or (I=14) or (I=21) or (I=28) or (I=35) or (I=42) or
(I=49) or (I=56) or (I=63) or (I=70) or (I=77) or (I=84) or
(I=91) or (I=98)
```

```
then
```

```
WriteLn(Prn);
```

```
End; { I }
```

```
WriteLn(Prn);
```

```
{ *** Print out to screen *** }
```

Screen:

```
WriteLn('Harmonics to be eliminated are ');
```

```
For I := 1 to M-1 do
```

```
Begin
```

```
Write(N[I+1]:4);
```

```
If (I=15) or (I=30) or (I=45) or (I=60) or (I=75)
or (I=90) or (I=105)
```

```
then
```

```
WriteLn;
```

```
End;
```

```
WriteLn;
```

```
WriteLn('Modulation Index = ',V:2:2);
```

```
WriteLn('Output frequency = ',Freq/boost:3:2,' ','Hz');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Writeln('Angles are in degrees.');
```

```
Writeln('-----');
```

```
For I := 1 to M do
```

```
Begin
```

```
Write(AC[I]*180/Pi:9:4);
```

```
If (I=7) or (I=14) or (I=21) or (I=28) or (I=35) or (I=42) or
    (I=49) or (I=56) or (I=63) or (I=70) or (I=77) or (I=84) or
    (I=91) or (I=98)
```

```
then
```

```
Writeln;
```

```
End; { I }
```

```
Writeln;
```

```
End; { Proc }
```

```
Begin { Main }
```

```
Assign(Prn, 'LPT1');
```

```
Rewrite(Prn);
```

```
Start: Guess;
```

```
Get_Data;
```

```
Guess_Angle;
```

```
H := 1;
```

```
Re_peat: Calculate_Fo;
```

```
For I := 1 to M do
```

```
Begin
```

```
If ABS(FC[I]) > 0.0001 then Goto Linearize;
```

```
End;
```

```
Goto Check_A,
```

```

Linearize:  Curl_Fo;
            Different_Alpha;
            If P = 0 then goto Diverge;
            Alpha1;
            H := H+1;
            gotoxy(1,10);
            write('Number of iteration');
            gotoxy(25,10);
            writeln(H);
            If H < 100
            then
                Goto Re_peat
            else
                Goto Diverge;
Check_A:   For I := 1 to Q do
            Begin
                If AC[I+1] <= AC[I]
                then
                    Begin
                        Writeln('Alpha[' , I+1, ']' , ' <= ' , 'Alpha[' , I, ']' );
                        Goto Diverge;
                    End; { If }
                If AC[I] >= Pi/2
                then
                    Begin
                        Writeln('Alpha[' , I, ']' > 90 degree');
                        Goto Diverge;
                    End; { If }
            End; { I }

```

```
Converge:  Clrscr;  
           Printout;  
           SaveAlpha;  
           Goto The_End;
```

```
Diverge:   ClrScr;  
           Writeln('Divergence. Press key S for recalculation');  
           Read(Kbd);
```

```
           If Kbd = 's'  
             then goto Start  
           else
```

```
The_End:
```

```
           Close(prn);
```

```
End. {Main}
```



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างมุกการสิทธิ์ที่ได้จากการคำนวณ



Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19 23 25 29 31 35 37 41 43 47
49 53 55 59 61 65 67 71 73 77 79 83 85 89 91
95 97

Modulation Index = 0.06

Output frequency = 3.00 Hz

Angles are in degrees.

0.0914	3.5409	6.9690	7.0796	10.4980	10.6174	14.0267
14.1545	17.5552	17.6908	21.0836	21.2267	24.6121	24.7620
28.1407	28.2968	31.6694	31.8312	35.1983	35.3651	38.7274
38.8986	42.2568	42.4318	45.7865	45.9645	49.3164	49.4969
52.8467	53.0289	56.3773	60.0918	63.4395		

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19 23 25 29 31 35 37 41 43 47
49 53 55 59 61 65 67 71 73 77 79 83 85 89 91
95 97

Modulation Index = 0.20

Output frequency = 10.00 Hz

Angles are in degrees.

0.3042	3.5681	6.7589	7.1277	10.2860	10.6841	13.8122
14.2382	17.3379	17.7902	20.8637	21.3404	24.3896	24.8892
27.9161	28.4365	31.4432	31.9825	34.9710	35.5272	38.4998
39.0706	42.0294	42.6128	45.5601	46.1539	49.0919	49.6937
52.6247	53.2324	56.1587	60.3061	63.2302		

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19 23 25 29 31 35 37 41 43 47
49 53 55 59 61 65 67 71 73

Modulation Index = 0.26

Output frequency = 13.00 Hz

Angles are in degrees.

0.5152	4.7015	8.7205	9.3787	13.3277	14.0487	17.9339
18.7131	22.5405	23.3729	27.1484	28.0287	31.7583	32.6807
36.3708	37.3293	40.9860	41.9744	45.6043	46.6162	50.2258
51.2546	54.8506	60.5212	64.1104			

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19 23 25 29 31 35 37 41 43 47
49 53 55

Modulation Index = 0.34

Output frequency = 17.00 Hz

Angles are in degrees.

0.8699	6.1896	11.1282	12.3126	17.1042	18.4204	23.0822
24.5161	29.0656	30.6015	35.0563	36.6774	41.0556	42.7441
47.0644	48.8017	53.0831	60.8883	65.1502		

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19 23 25 29 31 35 37 41 43

Modulation Index = 0.44

Output frequency = 22.00 Hz

Angles are in degrees.

1.3926	7.8791	13.5750	15.6002	21.0186	23.2952	28.4780
30.9676	35.9590	38.6191	43.4651	46.2498	50.9978	61.4430
66.1417						

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19 23 25 29 31

Modulation Index = 0.57

Output frequency = 28.50 Hz

Angles are in degrees.

2.3503	10.8457	17.4845	21.2757	27.3533	31.6660	37.3055
42.0091	47.3497	62.5146	67.7037			

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19 23 25

Modulation Index = 0.75

Output frequency = 37.50 Hz

Angles are in degrees.

3.6090	13.4970	19.8820	26.1962	31.6420	38.8959	43.6682
64.0411	68.4650					

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13 17 19

Modulation Index = 0.97

Output frequency = 48.50 Hz

Angles are in degrees.

 5.5364 17.5018 22.7886 33.6859 37.3862 66.9125 69.6942

Harmonics to be eliminated are

5 7 11 13

Modulation Index = 1.00

Output frequency = 63.70 Hz

Angles are in degrees.

 7.0510 24.3989 29.8281 69.8288 73.2452



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CPU "8051.TBL"      ;Define CPU
HOF "INT8"          ;Hex Output Format Intel 8 bits
;=====
; THE PROGRAM USE FOR 3 PHASE PWM INVERTER
;
;=====

FO:      EQU 40H      ;used for save old frequency
FN:      EQU 41H      ;used for save current
                    ;frequency
FRQADDR: EQU 42H      ;used for save current
                    ;frequency address
PH1:     EQU 44H      ;used for save the PWM
                    ;pattern pointer
PTRNP:   EQU 46H      ;used for save switching
                    ;pattern pointer
TEMP:    EQU 48H      ;temporary memory
SWPTRNH: EQU 4AH      ;used for save switching signal
SWPTRNL: EQU 4BH
SWLT:    EQU 4CH      ;for starting addr. of sw.tbl
SWHT:    EQU 4DH
SWL:     EQU 4FH      ;for save current switching
                    ;pointer
SWH:     EQU 50H
SHELT:   EQU 51H      ;for starting addr.of SHEPWM.tbl
SHEHT:   EQU 52H
SHEL:    EQU 53H      ;for save current SHEPWM pointer
SHEH:    EQU 54H
SAVFREQ0: EQU 55H     ;for save 7 segment data
SAVFREQ1: EQU 56H     ;for save 7 segment data

```

```

SAVFREQ2: EQU 57H      ;for save 7 segment dat
FO1:      EQU 58H      ;tempolary memory
ACCEL:    EQU 59H      ;for acceleration control
DECEL:    EQU 5AH      ;for deceleration control
MEDIUM:   EQU 5BH      ;for save general data
UPPER_F:  EQU 5CH      ;for upper limit frequency
LOWER_F:  EQU 5DH      ;for lower limit frequency
BOOST:    EQU 5EH      ;for torqe boost
CURLMT:   EQU 5FH      ;for current limit
JOG:      EQU 60H      ;for jogging operation
DIRCT:    EQU 61H      ;for direction control
BRAKE:    EQU 62H      ;for brake type control
EXTCTRL:  EQU 63H      ;for select external control
LIMIT:    EQU 65H      ;for limit data
STP:      EQU 66H      ;for stop condition
IL1:      EQU 67H      ;for save load current data
VDC1:     EQU 68H      ;for save DC bus voltage data
FOR:      EQU 69H      ;for save upper frequency
MEDIUM1: EQU 70H      ;for display data
DIVIDER:  EQU 71H      ;for divide data
RD_AD:    EQU 0C400H   ;for read A/D
WR_VCTRL: EQU 0C000H   ;V controls speed
WR_IPTCT: EQU 0C001H   ;ILOAD CONTROL
WR_VPTCT: EQU 0C002H   ;V BUS PRÓTECT
WR_ICTRL: EQU 0C003H   ;I CONTROLS SPEED
DISP0:    EQU 0C800H   ;display digit 0 port A
DISP1:    EQU 0C801H   ;display digit 1 port B
DISP2:    EQU 0C802H   ;display digit 2 port C
DISP3:    EQU 0C803H   ;control register of 8255
OPTCTRL:  EQU 0CC00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

COND:      EQU 64H      ;for test pass condition of
                        ;swptrn pointer

CONDTN:    EQU 79H      ;bit for test pass condition

OK:        EQU 78H      ;bit for test pass condition

COND1:     EQU 7AH

RUNN:      EQU 7BH

BEGIN:     EQU 7CH      ;bit for check start run condition

;-----
;MAIN PROGRAM FOR 3 PHASE PWM INVERTER
;-----

      ORG 0000H
      LJMP START

      ORG 001BH
      LJMP INT

      ORG 20H

START:    MOV IE,#00000000B

          MOV P1,#0FFH

          MOV A,#11111110B

          MOV DPTR,#OPTCTRL

          MOVX @DPTR,A

          MOV RO,#062H

RESET:    DJNZ RO,RESET

          LCALL INIT

          CLR COND1

;-----

```

```

LCALL DEFAULT
GETMODE:  MOV IE,#00000000B
          LCALL MODE
          MOV A,EXTCTRL
          CJNE A,#04H,RE_READ
          LCALL JOGGING
          SJMP GETMODE

```

```

;-----
RE_READ:  MOV IE,#00000000B
          MOV P1,#0FFH
          MOV MEDIUM1,#00H
          LCALL BIN_BCD
          LCALL DIGIT
          LCALL DELAY
          JNB P32,GETMODE
          JNB P33,RE_READ
RESTART:  JB P35,FW
RVESE:    LJMP REVESE
FW:       JB P34,RE_READ
FORWARD:  MOV IE,#10001000B
          MOV FN,#5D
          SETB BEGIN
          MOV R4,#0AH
XX1:      JNB P33,DOWN1
          MOV FO,FN
          MOV A,FO
          SUBB A,#05D
          JNC CHK_LOWER

```

```

MOV FO,#05D
SJMP CALL1
CHK_LOWER: MOV A,FO
SUBB A,LOWER_F
JC CALL1
JNB P33,DOWN1
SJMP XX11
CALL1: LCALL DISPLAY
FORWRD: LCALL SRNN1
XX2: JNB P33,DOWN1
LCALL I_LIMIT
LCALL MSEC
MOV A,FO
MOV R4,DECEL
CJNE A,FN,XX3
MOV R4,#0AH
SJMP XX2
XX3: JNC XX4
DEC FN
CLR TR1
JB P33,XX1
DOWN1: DEC FN
CLR TR1
MOV FO,FN
MOV A,FO
SUBB A,#05D
JNC SHOW10
MOV MEDIUM1,#00H
LCALL BIN_BCD
LCALL DIGIT

```

```

                LJMP RE_READ
SHOW10:        LCALL DISPLAY
                JNC DISPP
                LJMP RE_READ
DISPP:         LCALL DISPLAY
                LCALL SRNN1
                MOV R4,DECEL
                LCALL DELAY2
                SJMP DOWN1
XX4:          INC FN
                CLR TRI
                MOV R4,ACCEL
                JNB P33,DWN
                AJMP XX1
DWN:          SJMP DOWN1
RREAD:        LJMP RE_READ
;-----
; Routine for operation over lower limit
;-----
XX11:         JNB P33,DOWN11
                MOV FO,FN
                MOV A,FO
                SUBB A,LOWER_F
                JNC CALL11
                JNB P33,DOWN11
                MOV FO,LOWER_F
CALL11:       LCALL DISPLAY
FORWRD1:      LCALL SRNN1
XX21:        JNB P33,DOWN11
                LCALL I_LIMIT

```

```

        LCALL MSEC
        MOV A,FO
        MOV R4,DECEL
        CJNE A,FN,XX31
        MOV R4,#0AH
        SJMP XX21
XX31:   JNC XX41
        DEC FN
        CLR TR1
        JB P33,XX11
DOWN11: DEC FN
        CLR TR1
        MOV FO,FN
        MOV A,FO
        SUBB A,#05D
        JNC SHOW11
        MOV MEDIUM1,#00H
        LCALL BIN_BCD
        LCALL DIGIT
        CLR RUNN
        LJMP RE_READ
SHOW11: LCALL DISPLAY
        LCALL SRNN1
        MOV R4,DECEL
        LCALL DELAY2
        SJMP DOWN11
XX41:   INC FN
        CLR TR1
        MOV R4,ACCEL
        JB P33,XX11

```

SJMP DOWN11

```

;-----
; Reverse operation
;-----

```

```

R_READ:   MOV IE,#00000000B
          MOV P1,#11111111B
REVESE:   JNB P35,REV
          LJMP RE_READ
REV:      MOV IE,#10001000B
          MOV FN,#05D
          SETB BEGIN
          MOV R4,#0AH
XX01:    JNB P33,DOWN01
          MOV FO,FN
          MOV A,FO
          SUBB A,#05D
          JNC CHK_LWER
          MOV FO,#05D
          SJMP CALLO1
CHK_LWER: MOV A,FO
          SUBB A,LOWER_F
          JC CALLO1
          JNB P33,DOWN01
          SJMP XX011
CALLO1:   LCALL DISPLAY
REVSE:    LCALL SRNN2
          MOV R4,#0AH

```

```

XX02:    JNB P33,DOWN01
          LCALL I_LIMIT
          LCALL MSEC
          MOV A,FO
          MOV R4,DECEL
          CJNE A,FN,XX03
          MOV R4,#0AH
          SJMP XX02

XX03:    JNC XX04
          DEC FN
          CLR TR1
          JB P33,XX01

DOWN01:  DEC FN
          CLR TR1
          MOV FO,FN
          MOV A,FO
          SUBB A,#05D
          JNC SHOW20
          MOV MEDIUM1,#00H
          LCALL BIN_BCD
          LCALL DIGIT
          CLR RUNN
          LJMP RE_READ

SHOW20:  LCALL DISPLAY
          LCALL SRNN2
          MOV R4,DECEL
          LCALL DELAY2
          SJMP DOWN01

XX04:    INC FN
          CLR TR1

```

```
MOV R4,ACCEL
```

```
JB P33,XX01
```

```
SJMP DOWN01
```

```
;-----
```

```
; Routine for operation over lower limit
```

```
; reverse operation
```

```
;-----
```

```
READ: LJMP R_READ
```

```
XX011: JNB P33,DOWN011
```

```
MOV FO, FN
```

```
MOV A, FO
```

```
SUBB A, LOWER_F
```

```
JNC CALLO11
```

```
JNB P33,DOWN011
```

```
MOV FO, LOWER_F
```

```
CALLO11: LCALL DISPLAY
```

```
REVESE01: LCALL SRNN2
```

```
XX021: JNB P33,DOWN011
```

```
LCALL I_LIMIT
```

```
LCALL MSEC
```

```
MOV A, FO
```

```
MOV R4, DECEL
```

```
CJNE A, FN, XX031
```

```
MOV R4, #0AH
```

```
SJMP XX021
```

```
XX031: JNC XX041
```

```
DEC FN
```

```
CLR TR1
```

```

                JB P33,XX011
DOWN011:      DEC FN
                CLR TR1
                MOV FO,FN
                MOV A,FO
                SUBB A,#05D
                JNC SHOW21
                MOV MEDIUM1,#00H
                LCALL BIN_BCD
                LCALL DIGIT
                CLR RUNN
                LJMP RE_READ
SHOW21:       LCALL DISPLAY
                LCALL SRNN2
                MOV R4,DECEL
                LCALL DELAY2
                AJMP DOWN011
XX041:       INC FN
                CLR TR1
                MOV R4,ACCEL
                JB P33,XX011
                AJMP DOWN011

```

```

;-----
; Routine for jogging operation

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----
; Routine for jogging operation
; forward
;-----

```

```
JOGGING:  MOV IE,#00000000B
```

```
          MOV FN,#05D
```

```
JOGFWRD:  JB P34,JOGRVSE
```

```
JOGUP11:  MOV IE,#10001000B
```

```
          MOV FO,FN
```

```
          MOV A,FN
```

```
          CJNE A,#20D,JOG11
```

```
          MOV FO,#20D
```

```
CHKRELEASE: JB P34,JDOWN11
```

```
          SJMP CHKRELEASE
```

```
JOG11:    INC FN
```

```
          CLR TR1
```

```
          MOV FO,FN
```

```
          LCALL DISPLAY
```

```
          LCALL I_LIMIT
```

```
          LCALL SRNN1
```

```
          MOV R4,ACCEL
```

```
          LCALL DELAY2
```

```
          JB P34,JDOWN11
```

```
          SJMP JOGUP11
```

```
JDOWN11:  DEC FN
```

```
          CLR TR1
```

```
          MOV FO,FN
```

```
          MOV A,FN
```

```
          CJNE A,#05D,JOG12
```

```

LJMP STOPJOG
JOG12:  LCALL DISPLAY
        LCALL SRNN1
        MOV R4,DECEL
        LCALL DELAY2
        SJMP JDOWN11

```

```

;-----
;Reverse jogging operation
;-----

```

```

JOGRVSE: JB P35,STOPJOG
JOGUP21: MOV IE,#10001000B
        MOV A,FO
        CJNE A,#20D,JOG21
        MOV FO,#20D
CHKRELEASE2: JB P35,JDOWN21
            SJMP CHKRELEASE2
JOG21:  INC FN
        CLR TR1
        MOV FO,FN
        LCALL DISPLAY
        LCALL I_LIMIT
        LCALL SRNN2
        MOV R4,ACCEL
        LCALL DELAY2
        JB P35,JDOWN21
        SJMP JOGUP21

```

```

JDOWN21:  DEC FN
          CLR TR1
          MOV FG,FN
          MOV A,FN
          CJNE A,#05D,JOG22
          AJMP STOPJOG
JOG22:   LCALL DISPLAY
          LCALL SRNN2
          MOV R4,DECEL
          LCALL DELAY2
          SJMP JDOWN21
STOPJOG: MOV P1,#11111111B
          MOV MEDIUM1,#00H
          LCALL BIN_BCD
          LCALL DIGIT
          JNB P32,GOTOMODE
          LJMP JOGGING
GOTOMODE: RET

```

```

;-----
;Subroutine for time delay
;input  : R6 for DELAY1 ,R4  for DELAY2
;output : none
;-----

```

```

DELAY:   MOV R4,#01H
LOOP0:   MOV R6,#00H
LOOP1:   MOV R5,#00H
LOOP2:   DJNZ R5,LOOP2
          DJNZ R6,LOOP1

```

```

        DJNZ R4,LOOP0
        RET

DELAY1:  MOV R3,#0FFH
LOOP21:  DJNZ R3,LOOP21
        DJNZ R6,DELAY1
        RET

DELAY2:  MOV R6,#10H
LP10:    MOV R5,#00H
LP20:    DJNZ R5,LP20
        DJNZ R6,LP10
        DJNZ R4,DELAY2
        RET
;-----
;Initialize Timer1 mode 1
;use SETB TR1 for start count
;use CLR TR1 for stop count
;and declaration of interrupt enable
;-----

INIT:    MOV TMOD,#00010000B
        MOV TCON,#00001000B
        MOV IE,#00001000B
        MOV DPTR,#DISP3
        MOV A,#10000000B
        MOVX @DPTR,A
        RET

```

```

;-----
;Subroutine for set default value for
;inverter operation
;-----

```

```

DEFAULT:  MOV UPPER_F,#197D
          MOV LOWER_F,#05D
          MOV ACCEL,#05D
          MOV DECEL,#05D
          MOV BOOST,#00D
          MOV CURLMT,#128D
          MOV BRAKE,#00D
          MOV EXTCTRL,#01D
          MOV LIMIT,#00D
          MOV MEDIUM,#00D
          RET

```

```

;-----
;Subroutine for get acceleration control
;Input : P3.0,P3.1,P3.2,MEDIUM
;Output : MEDIUM
;-----

```

```

GETDATA:  PUSH DPH
          PUSH DPL
          MOV RO,LIMIT
          MOV A,MEDIUM
          MOV B,DIVIDER
          DIV AB
          MOV MEDIUM1,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GETA:      JB P30,REDUCE
GETA10:    ACALL DELAY
           MOV A,MEDIUM
           CJNE A,LIMIT,INCREASE
           SJMP GETA
INCREASE:  INC MEDIUM
           MOV A,MEDIUM
           MOV B,DIVIDER
           DIV AB
           MOV MEDIUM1,A
CHKOUT1:   ACALL BIN_BCD
           ACALL DIGIT
           JNB P31,REDUCE
           JNB P30,GETA10
CHKOUT2:   JNB P32,SETCRRY
           JB P33,CHKOUT1
           POP DPL
           POP DPH
           CLR CONDI
           RET
SETCRRY:   ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           SETB CONDI
           POP DPL
           POP DPH
           RET
REDUCE:    JB P31,CHKOUT2
REDUCE0:   ACALL DELAY
           MOV A,MEDIUM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;SUBB A,#00H
JNZ DECRM
SJMP REDUCE
DECRM:  DEC MEDIUM
        MOV A,MEDIUM
        MOV B,DIVIDER
        DIV AB
        MOV MEDIUM1,A
        SJMP CHKOUT1
GDATA:  PUSH DPH
        PUSH DPL
        MOV RO,LIMIT
        MOV FO,MEDIUM
        LCALL DISPLAY
GTA:    JB P30,RDUCE
GTA10:  ACALL DELAY
        MOV A,MEDIUM
        CJNE A,LIMIT,INCRSE
        SJMP GTA
INCRSE: INC MEDIUM
CHKOT1: MOV FO,MEDIUM
        LCALL DISPLAY
        JNB P31,RDUCE
        JNB P30,GTA10
CHKOT2: JNB P32,STCRRY
        JB P33,CHKOT1
        POP DPL
        POP DPH
        CLR COND1
        RET

```

```

STCRRY:   ACALL DELAY
          ACALL DELAY
          SETB CONDI
          POP DPL
          POP DPH
          RET

```

```

RDUCE:    JB P31,CHKOT2

```

```

RDUCEO:   ACALL DELAY

```

```

          MOV A,MEDIUM

```

```

          SUBB A,#01H

```

```

          JNZ DCRM

```

```

          SJMP RDUCE

```

```

DCRM:     DEC MEDIUM

```

```

          SJMP CHKOT1

```

```

;-----
;Subroutine for covert binary to bcd code
;Input  : MEDIUM1
;Output : R0 = high byte, R1 = low byte
;-----

```

```

BIN_BCD:  PUSH A

```

```

          PUSH B

```

```

          PUSH DPH

```

```

          PUSH DPL

```

```

D100:     MOV A,MEDIUM1

```

```

          MOV B,#100D

```

```

          DIV AB

```

```

          MOV R0,A

```

```

MOV A,B
D10:  MOV B,#10D
      DIV AB
      MOV R1,A
      MOV A,B
      MOV R2,A
      MOV A,R1
      RLC A
      RLC A
      RLC A
      RLC A
      ORL A,R2
      MOV R1,A
      POP DPL
      POP DPH
      POP B
      POP A
      RET

```

```

;-----
;Subroutine for displays digit
;input : R0,R1
;output : DISPO,DISP1,DISP2
;-----

```

```

DIGIT:  PUSH A
        PUSH B
        PUSH DPH
        PUSH DPL
        MOV A,R1

```

```

ANL A,#0FH
MOV DPTR,#ZERO

MOVC A,@A+DPTR
MOV DPTR,#DISPO
MOVX @DPTR,A
MOV A,R1
RR A
RR A
RR A
RR A
ANL A,#0FH
MOV DPTR,#ZERO
MOVC A,@A+DPTR
MOV DPTR,#DISP1
MOVX @DPTR,A
MOV A,R0
ANL A,#0FH
MOV DPTR,#ZERO
MOVC A,@A+DPTR
MOV DPTR,#DISP2
MOVX @DPTR,A
POP DPL
POP DPH
POP B
POP A
RET

```

```

;-----
;Table of 7 segment display data
;-----

```

```

ZERO:      DFB 0COH
ONE:       DFB 0F9H
TWO:       DFB 0A4H
THREE:     DFB 0B0H
FOUR:      DFB 99H
FIVE:      DFB 92H
SIX:       DFB 82H
SEVEN:     DFB 0F8H
EIGHT:     DFB 80H
NINE:      DFB 90H
SPACE:     DFB 0FFH

```

```

;-----
;Subroutine for select mode of operation
;-----

```

```

MODE:      PUSH DPH
           PUSH DPL
           MOV IE,#00000000B

GETFMAX:   ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           MOV R1,#0A1H
           MOV R0,#0AH

DSP1:     ACALL DIGIT
           ACALL DELAY
           ACALL DELAY

```

```

ACALL DELAY
ACALL DELAY
JNB P33,GETFMIN
MOV LIMIT,#197D
MOV MEDIUM,UPPER_F
ACALL GDATA
MOV UPPER_F,MEDIUM
JNB COND1,GETFMIN
LJMP RETT
GETFMIN: ACALL DELAY
ACALL DELAY
MOV R1,#0A2H
MOV R0,#0AH
DSP2: ACALL DIGIT
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
JNB P33,GETACC
MOV LIMIT,#197D
MOV MEDIUM,LOWER_F
ACALL GDATA
MOV LOWER_F,MEDIUM
JNB COND1,GETACC
LJMP RETT
GETACC: ACALL DELAY
ACALL DELAY
MOV R1,#0A3H
MOV R0,#0AH
DSP3: ACALL DIGIT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
JNB P33,GETDEC
MOV LIMIT,#255D
MOV MEDIUM,ACCEL
MOV DIVIDER,#01D
ACALL GETDATA
MOV ACCEL,MEDIUM
JNB CONDI,GETDEC
LJMP RETT
GETDEC: ACALL DELAY
ACALL DELAY
MOV R1,#0A4H
MOV R0,#0AH
DSP4: ACALL DIGIT
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
JNB P33,GETBOOST
MOV LIMIT,#255D
MOV MEDIUM,DECEL
MOV DIVIDER,#01D
ACALL GETDATA
MOV DECEL,MEDIUM
JNB CONDI,GETBOOST
LJMP RETT

```

```

GETBOOST:  ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           MOV R1,#0A5H
           MOV R0,#0AH

DSP5:     ACALL DIGIT
           ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           ACALL DELAY

           JNB P33,GETCURLMT
           MOV LIMIT,#03D
           MOV MEDIUM,BOOST
           MOV DIVIDER,#01D
           ACALL GETDATA
           MOV BOOST,MEDIUM
           JNB COND1,GETCURLMT
           LJMP RETT

GETCURLMT: ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           MOV R1,#0A6H
           MOV R0,#0AH

DSP6:     ACALL DIGIT
           ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           ACALL DELAY
           ACALL DELAY

           JNB P33,GETBRAKE
           MOV LIMIT,#255D
           MOV MEDIUM,CURLMT
           MOV DIVIDER,#05D

```

```

ACALL GETDATA
MOV CURLMT,MEDIUM
JNB COND1,GETBRAKE
LJMP RETT
GETBRAKE: ACALL DELAY
ACALL DELAY
MOV R1,#0A7H
MOV RO,#0AH
DSP7: ACALL DIGIT
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
JNB P33,GETTEXTCTRL
MOV LIMIT,#02D
MOV MEDIUM,BRAKE
MOV DIVIDER,#01D
ACALL GETDATA
MOV BRAKE,MEDIUM
JNB COND1,GETTEXTCTRL
LJMP RETT
GETTEXTCTRL:ACALL DELAY
ACALL DELAY
MOV R1,#0A8H
MOV RO,#0AH
DSP8: ACALL DIGIT
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY
ACALL DELAY

```

```

JNB P33,GETLOOP
MOV LIMIT,#04D
MOV MEDIUM,EXTCTRL
MOV DIVIDER,#01D
ACALL GETDATA
MOV EXTCTRL,MEDIUM
JNB COND1,GETLOOP
SJMP RETT
GETLOOP: LJMP GETFMAX
RETT:    MOV IE,#10001000B
        POP DPL
        POP DPH
        RET
;-----
;subroutine for current limit
;-----

I_LIMIT:  PUSH A
          PUSH B
          PUSH DPH
          PUSH DPL
          MOV B,#OFFH
EXPTIME:  ACALL READ_IL
          CJNE A,CURLMT,CHKCURNT
CHKCURNT: JNC CHKOVL
          POP DPL
          POP DPH
          POP B

```

```

POP A
RET
CHKOVL:  MOV R6,#80H
          ACALL DELAY1
          DJNZ B,EXPTIME
STOPMOT:  MOV P1,#OFFH
          MOV DPTR,#OPTCTRL
          MOV A,#00000000B
          MOVX @DPTR,A
STOPKEY:  JB P33,STOPKEY
          MOV A,#11111110B
          MOV DPTR,#OPTCTRL
          MOVX @DPTR,A
          POP DPL
          POP DPH
          POP B
          POP A
          LJMP RESTART
;-----
;subroutine for dc bus voltage limiting
;-----

V_LIMIT:  PUSH A
          PUSH B
          PUSH DPH
          PUSH DPL
          MOV B,#080H
EXTIME:   ACALL READ_V
          CJNE A,#240D,CHKVDC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHKVDC: JNC CHKOVD

POP DPL

POP DPH

POP B

POP A

RET

CHKOVD: MOV R6,#80H

ACALL DELAY1

DJNZ B,EXTIME

STPMOT: MOV P1,#OFFH

MOV DPTR,#OPTCTRL

MOV A,#00000000B

MOVX @DPTR,A

STPKEY: JB P33,STPKEY

MOV A,#1111110B

MOV DPTR,#OPTCTRL

MOVX @DPTR,A

POP DPL

POP DPH

POP B

POP A

LJMP RESTART

;- - - - -

;Subroutine for read load current

;INPUT: A/D

;OUTPUT: A

;- - - - -

READ_IL: MOV DPTR,#WR_IPTCT

MOVX @DPTR,A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R6,#01H
ACALL DELAY1
WA_D1:  MOV R3,#00H
WA_D2:  DJNZ R3,WA_D2
        MOV DPTR,#RD_AD
        MOVX A,@DPTR
        MOV IL1,A
        MOV DPTR,#WR_IPTCT
        MOVX @DPTR,A
        MOV R3,#00H
WA_D20: DJNZ R3,WA_D20
        MOV DPTR,#RD_AD
        MOVX A,@DPTR
        CJNE A,IL1,READ_IL
        RET

```

```

;-----
;Subroutine for read DC bus voltage
;INPUT:  A/D
;OUTPUT: A
;-----

```

```

READ_V:  MOV DPTR,#WR_VPTCT
        MOVX @DPTR,A
        MOV R6,#01H
        ACALL DELAY1
WAD1:    MOV R3,#00H
WAD2:    DJNZ R3,WAD2
        MOV DPTR,#RD_AD
        MOVX A,@DPTR

```

```
MOV VDC1,A
MOV DPTR,#WR_VPTCT
MOVX @DPTR,A
MOV R3,#00H
WAD20: DJNZ R3,WAD20
MOV DPTR,#RD_AD
MOVX A,@DPTR
CJNE A,VDC1,READ_V
RET
IN: INCL "A:A4.ASM"
END
```



```

;-----
;Subroutine for read frequency command
;from A/D : voltage 1-5 V control
;input  : A/D
;output : FO
;-----

```

```

FRG:      MOV A,EXTCTRL
          CJNE A,#01H,ICONTROL
          MOV DPTR,#WR_VCTRL

```

```

ANALOG:   LCALL A_D
          MOV FO,A
          LCALL A_D
          CJNE A,FO,FRG
          CJNE A,UPPER_F,CHECK
          SJMP SAVEF

```

```

CHECK:    JC SAVEF
          MOV A,UPPER_F

```

```

SAVEF:    MOV FO,A

```

```

RETRN:    RET

```

```

;-----
; Current control 4-20 mA
;-----

```

```

ICONTROL: CJNE A,#02H,INKEY
          MOV DPTR,#WR_ICTRL
          LJMP ANALOG

```

```

INKEY:    CJNE A,#03H,RETRN

```

```

MOV FO, FN
JNB P31, FDOWN
FUP:   JB P30, RETRN
      INC FO
      MOV A, FO
      CJNE A, UPPER_F, CHECK2
      SJMP SAVEF2
CHECK2: JC SAVEF2
      MOV A, UPPER_F
SAVEF2: MOV FO, A
      SJMP RETRN
FDOWN:  JB P31, RETRN
      DEC FO
      MOV A, FO
      CJNE A, LOWER_F, CHECK3
      SJMP SAVEF3
CHECK3: JC SAVEF3
      MOV A, LOWER_F
SAVEF3: MOV FO, A
      SJMP RETRN

```

```

;-----
;Subroutine for displayed frequency
;input : A
;output : port No. C800H,CC00H
;-----

```

```

DISPLAY: PUSH DPH
        PUSH DPL
        MOV A, FO

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SUBB A,#128D
JNC GETBASEF2
GETBASEF1: MOV A,FO
ADD A,A
MOV DPTR,#BASEF1
MOVC A,@A+DPTR
MOV FO1,A
INC DPTR
DISPLY: MOV A,FO
DISPLY1: ADD A,A
MOVC A,@A+DPTR
MOV DPH,A
MOV DPL,FO1
CLR A
MOVC A,@A+DPTR
SAVEFRQ: MOV SAVFREQ0,A
INC DPTR
CLR A
MOVC A,@A+DPTR
MOV SAVFREQ1,A
INC DPTR
CLR A
MOVC A,@A+DPTR
MOV SAVFREQ2,A

MOV DPTR,#DISPO
MOV A,SAVFREQ0
MOVX @DPTR,A
MOV A,SAVFREQ1
INC DPL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX @DPTR,A
MOV A,SAVFREQ2
INC DPL
MOVX @DPTR,A
POP DPL
POP DPH
RET

```

```

GETBASEF2: MOV A,FO
           SUBB A,#128D
           ADD A,A
           MOV DPTR,#BASEF2
           MOVC A,@A+DPTR
           MOV FO1,A
           INC DPTR
           MOV A,FO
           SUBB A,#128D
           SJMP DISPLY1

```

```

;-----
;Subroutine for read A/D
;input : none
;output: A
;registers to be use : R0,R1,A
;-----

```

```

A_D:      MOVX @DPTR,A
           MOV R2,#02H
WAIT0:    MOV R3,#00H
WAIT1:    DJNZ R3,WAIT1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DJNZ R2,WAITO
MOV DPTR,#RD_AD
MOVX A,@DPTR
CJNE A,#05D,OFFSET
OKK:    RET
OFFSET: JNC OKK
        MOV A,#05D
        SJMP OKK

```

```

;-----
;Subroutine for read A/D
;output : F0
;-----

```

```

MSEC:   LCALL FRQ
        MOV R6,#10H
LP1:    MOV R5,#00H
LP2:    DJNZ R5,LP2
        DJNZ R6,LP1
        DJNZ R4,MSEC
        RET

```

```

;-----
;Subroutine used to find current
;address of frequency
;input : F0
;output : FRQADDR
;-----

```

```

DBASE:  PUSH A

```

```

PUSH DPH
PUSH DPL
MOV A,FO
SUBB A,#18D
JC CHKBOOST
MOV DPTR,#TFREQ1
SJMP DFBASE
CHKBOOST: MOV A,BOOST
SUBB A,#01D
JNC BOOST1
NORMAL:  MOV DPTR,#TFREQ1
SJMP DFBASE
BOOST1:  MOV A,BOOST
SUBB A,#02D
JNC BOOST2
MOV DPTR,#TB1
SJMP DFBASE
BOOST2:  MOV A,BOOST
SUBB A,#03D
JNC BOOST3
MOV DPTR,#TB2
SJMP DFBASE
BOOST3:  MOV DPTR,#TB3

DFBASE:  MOV A,FO
SUBB A,#128D
JNC T2
MOV A,FO
ADD A,A
MOVC A,@A+DPTR

```

```

MOV SHELT,A
INC DPTR
MOV A,FO
ADD A,A
MOVC A,@A+DPTR
MOV SHEHT,A
POP DPL
POP DPH
POP A
RET
T2: MOV DPTR,#TFREQ2
MOV A,FO
SUBB A,#128D
MOV FOR,A
ADD A,A
MOVC A,@A+DPTR
MOV SHELT,A
INC DPTR
MOV A,FOR
ADD A,A
MOVC A,@A+DPTR
MOV SHEHT,A
POP DPL
POP DPH
POP A
RET

```

```

;-----
;Subroutine for define switching address
;corresponding to gear frequency
;-----

```

```

FSWADDR:  PUSH DPL
          PUSH DPH
          PUSH A
S1:       MOV A,FO
          SUBB A,#20D
          JNC S2
          LJMP SW1
S2:       MOV A,FO
          SUBB A,#25D
          JNC S2_1
          LJMP SW2
S2_1:    MOV A,FO
          SUBB A,#26D
          JNC S2_2
          LJMP SW2_1
S2_2:    MOV A,FO
          SUBB A,#27D
          JNC S2_3
          LJMP SW2_2
S2_3:    MOV A,FO
          SUBB A,#28D
          JNC S3
          LJMP SW2_3
S3:      MOV A,FO
          SUBB A,#33D

```

```

        JNC S3_1
        LJMP SW3
S3_1:   MOV A,FO
        SUBB A,#34D
        JNC S3_2
        LJMP SW3_1
S3_2:   MOV A,FO
        SUBB A,#35D
        JNC S4
        LJMP SW3_2
S4:     MOV A,FO
        SUBB A,#43D
        JNC S4_1
        LJMP SW4
S4_1:   MOV A,FO
        SUBB A,#44D
        JNC S5
        LJMP SW4_1
S5:     MOV A,FO
        SUBB A,#56D
        JNC S5_1
        LJMP SW5
S5_1:   MOV A,FO
        SUBB A,#57D
        JNC S6
        LJMP SW5_1
S6:     MOV A,FO
        SUBB A,#74D
        JNC S7
        LJMP SW6

```

```

57:      MOV A,FO
        SUBB A,#96D
        JNC S8
        LJMP SW7
S8:      MOV A,FO
        SUBB A,#126D
        JNC S9
        LJMP SW8
S9:      MOV A,FO
        SUBB A,#164D
        JNC S10
        LJMP SW9
S10:     LJMP SW9
SW1:     MOV DPTR,#SWPTRN1
        MOV SWLT,DPL
        MOV SWHT,DPH
        LJMP RETURN
SW2:     MOV DPTR,#SWPTRN2
        MOV SWLT,DPL
        MOV SWHT,DPH
        LJMP RETURN
SW2_1:   MOV DPTR,#SWPTRN2_1
        MOV SWLT,DPL
        MOV SWHT,DPH
        LJMP RETURN
SW2_2:   MOV DPTR,#SWPTRN2_2
        MOV SWLT,DPL
        MOV SWHT,DPH
        LJMP RETURN

```

```

SW2_3:    MOV DPTR,#SWPTRN2_3
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN

SW3:      MOV DPTR,#SWPTRN3
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN

SW3_1:    MOV DPTR,#SWPTRN3_1
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN

SW3_2:    MOV DPTR,#SWPTRN3_2
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN

SW4:      MOV DPTR,#SWPTRN4
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN

SW4_1:    MOV DPTR,#SWPTRN4_1
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN

SW5:      MOV DPTR,#SWPTRN5
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN

SW5_1:    MOV DPTR,#SWPTRN5_1
          MOV SWLT,DPL

```

```

MOV SWHT,DPH
LJMP RETURN
SW6:  MOV DPTR,#SWPTRN6
      MOV SWLT,DPL
      MOV SWHT,DPH
      LJMP RETURN
SW7:  MOV DPTR,#SWPTRN7
      MOV SWLT,DPL
      MOV SWHT,DPH
      LJMP RETURN
SW8:  MOV DPTR,#SWPTRN8
      MOV SWLT,DPL
      MOV SWHT,DPH
      LJMP RETURN
SW9:  MOV DPTR,#SWPTRN9
      MOV SWLT,DPL
      MOV SWHT,DPH
RETURN: POP A
        POP DPH
        POP DPL
        RET

```

```

;-----
;Subroutine for define switching address
;corresponding to gear frequency (reverse)
;-----

```

```

RSWADDR:  PUSH DPL
          PUSH DPH
          PUSH A

```

```

S01:    MOV A,FO
        SUBB A,#20D
        JNC S02
        LJMP SW01
S02:    MOV A,FO
        SUBB A,#25D
        JNC S02_1
        LJMP SW02
S02_1:  MOV A,FO
        SUBB A,#26D
        JNC S02_2
        LJMP SW02_1
S02_2:  MOV A,FO
        SUBB A,#27D
        JNC S02_3
        LJMP SW02_2
S02_3:  MOV A,FO
        SUBB A,#28D
        JNC S03
        LJMP SW02_3
S03:    MOV A,FO
        SUBB A,#33D
        JNC S03_1
        LJMP SW03
S03_1:  MOV A,FO
        SUBB A,#34D
        JNC S03_2
        LJMP SW03_1
S03_2:  MOV A,FO
        SUBB A,#35D

```

```

JNC S04
LJMP SW03_2
S04: MOV A,F0
SUBB A,#43D
JNC S04_1
LJMP SW04
S04_1: MOV A,F0
SUBB A,#44D
JNC S05
LJMP SW04_1
S05: MOV A,F0
SUBB A,#56D
JNC S05_1
LJMP SW05
S05_1: MOV A,F0
SUBB A,#57D
JNC S06
LJMP SW05_1
S06: MOV A,F0
SUBB A,#74D
JNC S07
LJMP SW06
S07: MOV A,F0
SUBB A,#96D
JNC S08
LJMP SW07
S08: MOV A,F0
SUBB A,#126D
JNC S09
LJMP SW08

```

```

S09:      MOV A,FO
          SUBB A,#164D
          JNC S010
          LJMP SW09
S010:     LJMP SW09

SW01:     MOV DPTR,#SWPTRN01
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1
SW02:     MOV DPTR,#SWPTRN02
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1
SW02_1:   MOV DPTR,#SWPTRN02_1
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1
SW02_2:   MOV DPTR,#SWPTRN02_2
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1
SW02_3:   MOV DPTR,#SWPTRN02_3
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1
SW03:     MOV DPTR,#SWPTRN03
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          SJMP RETURN1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SW03_1:  MOV DPTR,#SWPTRN03_1
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1

SW03_2:  MOV DPTR,#SWPTRN03_2
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1

SW04:    MOV DPTR,#SWPTRN04
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          SJMP RETURN1

SW04_1:  MOV DPTR,#SWPTRN04_1
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1

SW05:    MOV DPTR,#SWPTRN05
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          SJMP RETURN1

SW05_1:  MOV DPTR,#SWPTRN05_1
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          LJMP RETURN1

SW06:    MOV DPTR,#SWPTRN06
          MOV SWLT,DPL
          MOV SWHT,DPH
          SJMP RETURN1

SW07:    MOV DPTR,#SWPTRN07

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV SWLT,DPL
MOV SWHT,DPH
S JMP RETURN1
SW08: MOV DPTR,#SWPTRN08
      MOV SWLT,DPL
      MOV SWHT,DPH
      S JMP RETURN1
SW09: MOV DPTR,#SWPTRN09
      MOV SWLT,DPL
      MOV SWHT,DPH
RETURN1: POP A
        POP DPH
        POP DPL
        RET
;-----
;Subroutine for run modulator
;-----
RNN:   PUSH A
      PUSH DPH
      PUSH DPL
      CLR TR1
      JNB BEGIN,SMOOTH
      CLR BEGIN
      S JMP TOP
SMOOTH: MOV DPL,SWL
      MOV DPH,SWH
      CLR A
      MOVC A,@A+DPTR

```

```

TOP:      CJNE A,#00H,GO
          MOV DPL,SHELT
          MOV DPH,SHEHT
          CLR A
          MOVC A,@A+DPTR
          MOV TL1,A
          INC DPTR
          CLR A
          MOVC A,@A+DPTR
          MOV TH1,A
          INC DPTR
          MOV SHEL,DPL
          MOV SHEH,DPH
          MOV DPL,SWLT
          MOV DPH,SWHT
          CLR A
          MOVC A,@A+DPTR
          MOV P1,A
          INC DPTR
          MOV SWL,DPL
          MOV SWH,DPH
          MOV COND,#00H
GO:       POP DPL
          POP DPH
          POP A
          SETB TR1
          RET

```

```

;-----
;Subroutine for run shepwm (forward)
;-----

```

```

SRNN1:    LCALL DBASE
          LCALL FSWADDR
          LCALL RNN
          RET

```

```

;-----
;Subroutine for run shepwm (reverse)
;-----

```

```

SRNN2:    LCALL DBASE
          LCALL RSWADDR
          LCALL RNN
          RET

```

```

;-----
;Subroutine for interrupt
;input :
;output : timer1 ,Port1
;-----

```

```

INT:      CLR TR1
          PUSH DPH
          PUSH DPL
          PUSH A
          MOV DPL,SHEL
          MOV DPH,SHEH

```

```

CLR A
MOVC A,@A+DPTR
CJNE A,#00H,INT1
MOV SHEL,SHELT
MOV SHEH,SHEHT
INC COND
MOV A,COND
CJNE A,#06H,PASS
MOV COND,#00H
MOV SWL,SWLT
MOV SWH,SWHT
PASS: MOV DPL,SHEL
      MOV DPH,SHEH
      CLR A
      MOVC A,@A+DPTR
INT1: MOV TL1,A
      INC DPTR
      CLR A
      MOVC A,@A+DPTR
      MOV TH1,A
      INC DPTR
      MOV SHEL,DPL
      MOV SHEH,DPH
      MOV DPL,SWL
      MOV DPH,SWH
      CLR A
      MOVC A,@A+DPTR
      MOV P1,A
      INC DPTR
      MOV SWL,DPL

```

```

MOV SWH,DPH
POP A
POP DPL
POP DPH
SETB TR1
RETI

```

```

;-----
;Frequency table for 7 segment display
;-----

BASEF1:  DWL F001
          DWL F001,F01_5,F002,F02_5,F003,F03_5,F004,F04_5
          DWL F005,F05_5,F006,F06_5,F007,F07_5,F008,F08_5
          DWL F009,F09_5,F010,F010_5,F011,F011_5,F012,F012_5
          DWL F013,F013_5,F014,F014_5,F015,F015_5,F016,F016_5
          DWL F017,F017_5,F018,F018_5,F019,F019_5,F020,F020_5
          DWL F021,F021_5,F022,F022_5,F023,F023_5,F024,F024_5
          DWL F025,F025_5,F026,F026_5,F027,F027_5,F028,F028_5
          DWL F029,F029_5,F030,F030_5,F031,F031_5,F032,F032_5
          DWL F033,F033_5,F034,F034_5,F035,F035_5,F036,F036_5
          DWL F037,F037_5,F038,F038_5,F039,F039_5,F040,F040_5
          DWL F041,F041_5,F042,F042_5,F043,F043_5,F044,F044_5
          DWL F045,F045_5,F046,F046_5,F047,F047_5,F048,F048_5
          DWL F049,F049_5,F050,F050_5,F051,F051_5,F052,F052_5
          DWL F053,F053_5,F054,F054_5,F055,F055_5,F056,F056_5
          DWL F057,F057_5,F058,F058_5,F059,F059_5,F060,F060_5
          DWL F061,F061_5,F062,F062_5,F063,F063_5,F064

```

BASEF2: DWL F064_5
 DWL F065,F065_5,F066,F066_5,F067,F067_5,F068,F068_5
 DWL F069,F069_5,F070,F070_5,F071,F071_5,F072,F072_5
 DWL F073,F073_5,F074,F074_5,F075,F075_5,F076,F076_5
 DWL F077,F077_5,F078,F078_5,F079,F079_5,F080,F080_5
 DWL F081,F081_5,F082,F082_5,F083,F083_5,F084,F084_5
 DWL F085,F085_5,F086,F086_5,F087,F087_5,F088,F088_5
 DWL F089,F089_5,F090,F090_5,F091,F091_5,F092,F092_5
 DWL F093,F093_5,F094,F094_5,F095,F095_5,F096,F096_5
 DWL F097,F097_5,F098,F098_5,F099,F099_5

F001: DFB 0C0H,79H,0FFH,00H
 F01_5: DFB 92H,79H,0FFH,00H
 F002: DFB 0C0H,24H,0FFH,00H
 F02_5: DFB 92H,24H,0FFH,00H
 F003: DFB 0C0H,30H,0FFH,00H
 F03_5: DFB 92H,30H,0FFH,00H
 F004: DFB 0C0H,19H,0FFH,00H
 F04_5: DFB 92H,19H,0FFH,00H
 F005: DFB 0C0H,12H,0FFH,00H
 F05_5: DFB 92H,12H,0FFH,00H
 F006: DFB 0C0H,02H,0FFH,00H
 F06_5: DFB 92H,02H,0FFH,00H
 F007: DFB 0C0H,78H,0FFH,00H
 F07_5: DFB 92H,78H,0FFH,00H
 F008: DFB 0C0H,00H,0FFH,00H
 F08_5: DFB 92H,00H,0FFH,00H
 F009: DFB 0C0H,10H,0FFH,00H
 F09_5: DFB 92H,10H,0FFH,00H ; 9.5
 F010: DFB 0C0H,40H,0F9H,00H ; 10.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F010_5:	DFB 92H,40H,0F9H,00H	
F011:	DFB 0C0H,79H,0F9H,00H	
F011_5:	DFB 92H,79H,0F9H,00H	
F012:	DFB 0C0H,24H,0F9H,00H	
F012_5:	DFB 92H,24H,0F9H,00H	
F013:	DFB 0C0H,30H,0F9H,00H	
F013_5:	DFB 92H,30H,0F9H,00H	
F014:	DFB 0C0H,19H,0F9H,00H	
F014_5:	DFB 92H,19H,0F9H,00H	
F015:	DFB 0C0H,12H,0F9H,00H	
F015_5:	DFB 92H,12H,0F9H,00H	
F016:	DFB 0C0H,02H,0F9H,00H	
F016_5:	DFB 92H,02H,0F9H,00H	
F017:	DFB 0C0H,78H,0F9H,00H	
F017_5:	DFB 92H,78H,0F9H,00H	
F018:	DFB 0C0H,00H,0F9H,00H	
F018_5:	DFB 92H,00H,0F9H,00H	
F019:	DFB 0C0H,10H,0F9H,00H	
F019_5:	DFB 92H,10H,0F9H,00H	; 19.5
F020:	DFB 0C0H,40H,0A4H,00H	; 20.0
F020_5:	DFB 92H,40H,0A4H,00H	
F021:	DFB 0C0H,79H,0A4H,00H	
F021_5:	DFB 92H,79H,0A4H,00H	
F022:	DFB 0C0H,24H,0A4H,00H	
F022_5:	DFB 92H,24H,0A4H,00H	
F023:	DFB 0C0H,30H,0A4H,00H	
F023_5:	DFB 92H,30H,0A4H,00H	
F024:	DFB 0C0H,19H,0A4H,00H	
F024_5:	DFB 92H,19H,0A4H,00H	
F025:	DFB 0C0H,12H,0A4H,00H	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F025_5: DFB 92H,12H,0A4H,00H
 F026: DFB 0C0H,02H,0A4H,00H
 F026_5: DFB 92H,02H,0A4H,00H
 F027: DFB 0C0H,78H,0A4H,00H
 F027_5: DFB 92H,78H,0A4H,00H
 F028: DFB 0C0H,00H,0A4H,00H
 F028_5: DFB 92H,00H,0A4H,00H
 F029: DFB 0C0H,10H,0A4H,00H
 F029_5: DFB 92H,10H,0A4H,00H ;29.5
 F030: DFB 0C0H,40H,0B0H,00H
 F030_5: DFB 92H,40H,0B0H,00H ;30.0
 F031: DFB 0C0H,79H,0B0H,00H
 F031_5: DFB 92H,79H,0B0H,00H
 F032: DFB 0C0H,24H,0B0H,00H
 F032_5: DFB 92H,24H,0B0H,00H
 F033: DFB 0C0H,30H,0B0H,00H
 F033_5: DFB 92H,30H,0B0H,00H
 F034: DFB 0C0H,19H,0B0H,00H
 F034_5: DFB 92H,19H,0B0H,00H
 F035: DFB 0C0H,12H,0B0H,00H
 F035_5: DFB 92H,12H,0B0H,00H
 F036: DFB 0C0H,02H,0B0H,00H
 F036_5: DFB 92H,02H,0B0H,00H
 F037: DFB 0C0H,78H,0B0H,00H
 F037_5: DFB 92H,78H,0B0H,00H
 F038: DFB 0C0H,00H,0B0H,00H
 F038_5: DFB 92H,00H,0B0H,00H
 F039: DFB 0C0H,10H,0B0H,00H
 F039_5: DFB 92H,10H,0B0H,00H ;39.5
 F040: DFB 0C0H,40H,99H,00H ;40.0

F040_5: DFB 92H,40H,99H,00H
 F041: DFB 0COH,79H,99H,00H
 F041_5: DFB 92H,79H,99H,00H
 F042: DFB 0COH,24H,99H,00H
 F042_5: DFB 92H,24H,99H,00H
 F043: DFB 0COH,30H,99H,00H
 F043_5: DFB 92H,30H,99H,00H
 F044: DFB 0COH,19H,99H,00H
 F044_5: DFB 92H,19H,99H,00H
 F045: DFB 0COH,12H,99H,00H
 F045_5: DFB 92H,12H,99H,00H
 F046: DFB 0COH,02H,99H,00H
 F046_5: DFB 92H,02H,99H,00H
 F047: DFB 0COH,78H,99H,00H
 F047_5: DFB 92H,78H,99H,00H
 F048: DFB 0COH,00H,99H,00H
 F048_5: DFB 92H,00H,99H,00H
 F049: DFB 0COH,10H,99H,00H
 F049_5: DFB 92H,10H,99H,00H ;49.5
 F050: DFB 0COH,40H,92H,00H ;50
 F050_5: DFB 92H,40H,92H,00H
 F051: DFB 0COH,79H,92H,00H
 F051_5: DFB 92H,79H,92H,00H
 F052: DFB 0COH,24H,92H,00H
 F052_5: DFB 92H,24H,92H,00H
 F053: DFB 0COH,30H,92H,00H
 F053_5: DFB 92H,30H,92H,00H
 F054: DFB 0COH,19H,92H,00H
 F054_5: DFB 92H,19H,92H,00H
 F055: DFB 0COH,12H,92H,00H

F055_5:	DFB 92H, 12H, 92H, 00H	
F056:	DFB 0C0H, 02H, 92H, 00H	
F056_5:	DFB 92H, 02H, 92H, 00H	
F057:	DFB 0C0H, 78H, 92H, 00H	
F057_5:	DFB 92H, 78H, 92H, 00H	
F058:	DFB 0C0H, 00H, 92H, 00H	
F058_5:	DFB 92H, 00H, 92H, 00H	
F059:	DFB 0C0H, 10H, 92H, 00H	
F059_5:	DFB 92H, 10H, 92H, 00H	;59.5
F060:	DFB 0C0H, 40H, 82H, 00H	
F060_5:	DFB 92H, 40H, 82H, 00H	;60.0
F061:	DFB 0C0H, 79H, 82H, 00H	
F061_5:	DFB 92H, 79H, 82H, 00H	
F062:	DFB 0C0H, 24H, 82H, 00H	
F062_5:	DFB 92H, 24H, 82H, 00H	
F063:	DFB 0C0H, 30H, 82H, 00H	
F063_5:	DFB 92H, 30H, 82H, 00H	
F064:	DFB 0C0H, 19H, 82H, 00H	
F064_5:	DFB 92H, 19H, 82H, 00H	
F065:	DFB 0C0H, 12H, 82H, 00H	
F065_5:	DFB 92H, 12H, 82H, 00H	
F066:	DFB 0C0H, 02H, 82H, 00H	
F066_5:	DFB 92H, 02H, 82H, 00H	
F067:	DFB 0C0H, 78H, 82H, 00H	
F067_5:	DFB 92H, 78H, 82H, 00H	
F068:	DFB 0C0H, 00H, 82H, 00H	
F068_5:	DFB 92H, 00H, 82H, 00H	
F069:	DFB 0C0H, 10H, 82H, 00H	
F069_5:	DFB 92H, 10H, 82H, 00H	;69.0
F070:	DFB 0C0H, 40H, 0F8H, 00H	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F070_5: DFB 92H,40H,0F8H,00H ;70.0
 F071: DFB 0C0H,79H,0F8H,00H
 F071_5: DFB 92H,79H,0F8H,00H
 F072: DFB 0C0H,24H,0F8H,00H
 F072_5: DFB 92H,24H,0F8H,00H
 F073: DFB 0C0H,30H,0F8H,00H
 F073_5: DFB 92H,30H,0F8H,00H
 F074: DFB 0C0H,19H,0F8H,00H
 F074_5: DFB 92H,19H,0F8H,00H
 F075: DFB 0C0H,12H,0F8H,00H
 F075_5: DFB 92H,12H,0F8H,00H
 F076: DFB 0C0H,02H,0F8H,00H
 F076_5: DFB 92H,02H,0F8H,00H
 F077: DFB 0C0H,76H,0F8H,00H
 F077_5: DFB 92H,76H,0F8H,00H
 F078: DFB 0C0H,00H,0F8H,00H
 F078_5: DFB 92H,00H,0F8H,00H
 F079: DFB 0C0H,10H,0F8H,00H
 F079_5: DFB 92H,10H,0F8H,00H ;79.5
 F080: DFB 0C0H,40H,80H,00H
 F080_5: DFB 92H,40H,80H,00H ;80.0
 F081: DFB 0C0H,79H,80H,00H
 F081_5: DFB 92H,79H,80H,00H
 F082: DFB 0C0H,24H,80H,00H
 F082_5: DFB 92H,24H,80H,00H
 F083: DFB 0C0H,30H,80H,00H
 F083_5: DFB 92H,30H,80H,00H
 F084: DFB 0C0H,19H,80H,00H
 F084_5: DFB 92H,19H,80H,00H
 F085: DFB 0C0H,12H,80H,00H

F085_5:	DFB 92H, 12H, 80H, 00H	
F086:	DFB 0C0H, 02H, 80H, 00H	
F086_5:	DFB 92H, 02H, 80H, 00H	
F087:	DFB 0C0H, 78H, 80H, 00H	
F087_5:	DFB 92H, 78H, 80H, 00H	
F088:	DFB 0C0H, 00H, 80H, 00H	
F088_5:	DFB 92H, 00H, 80H, 00H	
F089:	DFB 0C0H, 10H, 80H, 00H	
F089_5:	DFB 92H, 10H, 80H, 00H	;89.5
F090:	DFB 0C0H, 40H, 90H, 00H	
F090_5:	DFB 92H, 40H, 90H, 00H	;90.0
F091:	DFB 0C0H, 79H, 90H, 00H	
F091_5:	DFB 92H, 79H, 90H, 00H	
F092:	DFB 0C0H, 24H, 90H, 00H	
F092_5:	DFB 92H, 24H, 90H, 00H	
F093:	DFB 0C0H, 30H, 90H, 00H	
F093_5:	DFB 92H, 30H, 90H, 00H	
F094:	DFB 0C0H, 19H, 90H, 00H	
F094_5:	DFB 92H, 19H, 90H, 00H	
F095:	DFB 0C0H, 12H, 90H, 00H	
F095_5:	DFB 92H, 12H, 90H, 00H	
F096:	DFB 0C0H, 02H, 90H, 00H	
F096_5:	DFB 92H, 02H, 90H, 00H	
F097:	DFB 0C0H, 78H, 90H, 00H	
F097_5:	DFB 92H, 78H, 90H, 00H	
F098:	DFB 0C0H, 00H, 90H, 00H	
F098_5:	DFB 92H, 00H, 90H, 00H	
F099:	DFB 0C0H, 10H, 90H, 00H	
F099_5:	DFB 92H, 10H, 90H, 00H	;99.5

```

;-----
;Frequency table use for jump address for
;determined frequency
;input : none
;output: none
;-----

```

```

TFREQ1:  DWL F01
          DWL F01,F1_5,F02,F2_5,F03,F3_5,F04,F4_5
          DWL F05,F5_5,F06,F6_5,F07,F7_5,F08,F8_5
          DWL F09,F9_5,F10,F10_5,F11,F11_5,F12,F12_5
          DWL F13,F13_5,F14,F14_5,F15,F15_5,F16,F16_5
          DWL F17,F17_5,F18,F18_5,F19,F19_5,F20,F20_5
          DWL F21,F21_5,F22,F22_5,F23,F23_5,F24,F24_5
          DWL F25,F25_5,F26,F26_5,F27,F27_5,F28,F28_5
          DWL F29,F29_5,F30,F30_5,F31,F31_5,F32,F32_5
          DWL F33,F33_5,F34,F34_5,F35,F35_5,F36,F36_5
          DWL F37,F37_5,F38,F38_5,F39,F39_5,F40,F40_5
          DWL F41,F41_5,F42,F42_5,F43,F43_5,F44,F44_5
          DWL F45,F45_5,F46,F46_5,F47,F47_5,F48,F48_5
          DWL F49,F49_5,F50,F50_5,F51,F51_5,F52,F52_5
          DWL F53,F53_5,F54,F54_5,F55,F55_5,F56,F56_5
          DWL F57,F57_5,F58,F58_5,F59,F59_5,F60,F60_5
          DWL F61,F61_5,F62,F62_5,F63,F63_5,F64

TFREQ2:  DWL F64_5
          DWL F65,F65_5,F66,F66_5,F67,F67_5,F68,F68_5
          DWL F69,F69_5,F70,F70_5,F71,F71_5,F72,F72_5
          DWL F73,F73_5,F74,F74_5,F75,F75_5,F76,F76_5
          DWL F77,F77_5,F78,F78_5,F79,F79_5,F80,F80_5
          DWL F81,F81_5,F82,F82_5,F83,F83_5,F84,F84_5
          DWL F85,F85_5,F86,F86_5,F87,F87_5,F88,F88_5

```

DWL F89,F89_5,F90,F90_5,F91,F91_5,F92,F92_5
 DWL F93,F93_5,F94,F94_5,F95,F95_5,F96,F96_5
 DWL F97,F97_5,F98,F98_5,F99,F99_5
 ;-----
 ; for boost operation
 ;-----

TB1: DWL FB1
 DWL FB1,FB1_5,FB2,FB2_5,FB3,FB3_5,FB4,FB4_5
 DWL FB5,FB5_5,FB6,FB6_5,FB7,FB7_5,FB8,FB8_5
 DWL FB9,FB9_5

TB2: DWL FC1
 DWL FC1,FC1_5,FC2,FC2_5,FC3,FC3_5,FC4,FC4_5
 DWL FC5,FC5_5,FC6,FC6_5,FC7,FC7_5,FC8,FC8_5
 DWL FC9,FC9_5

TB3: DWL FD1
 DWL FD1,FD1_5,FD2,FD2_5,FD3,FD3_5,FD4,FD4_5
 DWL FD5,FD5_5,FD6,FD6_5,FD7,FD7_5,FD8,FD8_5
 DWL FD9,FD9_5

FO1: DFB 00H
 F1_5: DFB 00H
 FO2: DFB 00H
 F2_5: DFB 00H

FB1: DFB 00H
 FB1_5: DFB 00H
 FB2: DFB 00H
 FB2_5: DFB 00H

FC1: DFB 00H

FC1_5: DFB 00H

FC2: DFB 00H

FC2_5: DFB 00H

FD1: DFB 00H

FD1_5: DFB 00H

FD2: DFB 00H

FD2_5: DFB 00H

IN1: INCL "A:PTRNO.ASM"

IN2: INCL "A:PTRN1.ASM"

IN3: INCL "A:PTRN2.ASM"

IN4: INCL "A:PTRN3.ASM"

IN5: INCL "A:PTRN4.ASM"

IN6: INCL "A:FBOOST2.ASM"

IN7: INCL "A:FBOOST1.ASM"

IN8: INCL "A:FBOOST3.ASM"

IN9: INCL "A:FSWPTRN.ASM"

IN10: INCL "A:RSWPTRN.ASM"

```

;-----
;switching time for fo = 3 - 10 Hz
;fd >= 500 Hz 3-5.5 unboost
;-----

```

F03:

```

DFB 0ABH,OFFH,OFFH,OFFH,0E4H,0F3H,0A2H,OFFH
DFB 0B4H,OFFH,0E5H,0F3H,0FEH,OFFH,9BH,OFFH
DFB 0BBH,OFFH,0E6H,0F3H,0FBH,OFFH,96H,OFFH
DFB 0C2H,OFFH,0E8H,0F3H,0F7H,OFFH,91H,OFFH
DFB 0C9H,OFFH,0E9H,0F3H,0F3H,OFFH,8EH,OFFH
DFB 0CFH,OFFH,0EAH,0F3H,0EFH,OFFH,8CH,OFFH
DFB 0D5H,OFFH,0EBH,0F3H,0EAH,OFFH,8AH,OFFH
DFB 0DBH,OFFH,0ECH,0F3H,0E5H,OFFH,89H,OFFH
DFB 0E0H,OFFH,0ECH,0F3H,0E0H,OFFH,089H,OFFH
DFB 0E5H,OFFH,0ECH,0F3H,0DBH,OFFH,8AH,OFFH
DFB 0EAH,OFFH,0EBH,0F3H,0D5H,OFFH,8CH,OFFH
DFB 0EFH,OFFH,0EAH,0F3H,0CFH,OFFH,8EH,OFFH
DFB 0F3H,OFFH,0E9H,0F3H,0C9H,OFFH,91H,OFFH
DFB 0F7H,OFFH,0E8H,0F3H,0C2H,OFFH,96H,OFFH
DFB 0FBH,OFFH,0E6H,0F3H,0BBH,OFFH,9BH,OFFH
DFB 0FEH,OFFH,0E5H,0F3H,0B4H,OFFH,0A2H,OFFH
DFB 0E4H,0F3H,OFFH,OFFH,0ABH,OFFH,00H

```

; 60

F3_5:

```

DFB 0ABH,OFFH,OFFH,OFFH,0B7H,0F5H,0A2H,OFFH
DFB 0B4H,OFFH,0B8H,0F5H,0FEH,OFFH,9BH,OFFH
DFB 0BBH,OFFH,0B9H,0F5H,0FBH,OFFH,96H,OFFH
DFB 0C2H,OFFH,0BBH,0F5H,0F7H,OFFH,91H,OFFH
DFB 0C9H,OFFH,0BCH,0F5H,0F3H,OFFH,8EH,OFFH
DFB 0CFH,OFFH,0BDH,0F5H,0EFH,OFFH,8CH,OFFH
DFB 0D5H,OFFH,0BEH,0F5H,0EAH,OFFH,8AH,OFFH
DFB 0DBH,OFFH,0BFH,0F5H,0E5H,OFFH,89H,OFFH
DFB 0E0H,OFFH,0BFH,0F5H,0E0H,OFFH,89H,OFFH
DFB 0E5H,OFFH,0BFH,0F5H,0DBH,OFFH,8AH,OFFH
DFB 0EAH,OFFH,0BEH,0F5H,0D5H,OFFH,8CH,OFFH
DFB 0EFH,OFFH,0BDH,0F5H,0CFH,OFFH,8EH,OFFH
DFB 0F3H,OFFH,0BCH,0F5H,0C9H,OFFH,91H,OFFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB OF7H, OFFH, OBBH, OF5H, OC2H, OFFH, 96H, OFFH
 DFB OFBH, OFFH, OB9H, OF5H, OBBH, OFFH, 9BH, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, OB8H, OF5H, OB4H, OFFH, OA2H, OFFH
 DFB OB7H, OF5H, OFFH, OFFH, OABH, OFFH, OOH

; 60

F04: DFB OABH, OFFH, OFFH, OFFH, 15H, OF7H, OA2H, OFFH
 DFB OB4H, OFFH, 16H, OF7H, OFDH, OFFH, 9BH, OFFH
 DFB OBBH, OFFH, 18H, OF7H, OFBH, OFFH, 96H, OFFH
 DFB OC2H, OFFH, 19H, OF7H, OF7H, OFFH, 92H, OFFH
 DFB OC9H, OFFH, 1AH, OF7H, OF3H, OFFH, 8EH, OFFH
 DFB OCFH, OFFH, 1CH, OF7H, OEFH, OFFH, 8CH, OFFH
 DFB OD5H, OFFH, 1CH, OF7H, OEAH, OFFH, 8AH, OFFH
 DFB ODAH, OFFH, 1DH, OF7H, OE5H, OFFH, 89H, OFFH
 DFB OEOH, OFFH, 1DH, OF7H, OEOH, OFFH, 89H, OFFH
 DFB OE5H, OFFH, 1DH, OF7H, ODAH, OFFH, 8AH, OFFH
 DFB OEAH, OFFH, 1CH, OF7H, OD5H, OFFH, 8CH, OFFH
 DFB OEFH, OFFH, 1CH, OF7H, OCFH, OFFH, 8EH, OFFH
 DFB OF3H, OFFH, 1AH, OF7H, OC9H, OFFH, 92H, OFFH
 DFB OF7H, OFFH, 19H, OF7H, OC2H, OFFH, 96H, OFFH
 DFB OFBH, OFFH, 18H, OF7H, OBBH, OFFH, 9BH, OFFH
 DFB OFDH, OFFH, 16H, OF7H, OB4H, OFFH, OA2H, OFFH
 DFB 15H, OF7H, OFFH, OFFH, OABH, OFFH, OOH

; 60

F4_5: DFB OABH, OFFH, OFFH, OFFH, 25H, OF8H, OA2H, OFFH
 DFB OB4H, OFFH, 26H, OF8H, OFDH, OFFH, 9BH, OFFH
 DFB OBBH, OFFH, 28H, OF8H, OFBH, OFFH, 96H, OFFH
 DFB OC2H, OFFH, 2AH, OF8H, OF7H, OFFH, 92H, OFFH
 DFB OC9H, OFFH, 2BH, OF8H, OF3H, OFFH, 8EH, OFFH
 DFB OCFH, OFFH, 2CH, OF8H, OEFH, OFFH, 8CH, OFFH
 DFB OD5H, OFFH, 2DH, OF8H, OEAH, OFFH, 8AH, OFFH
 DFB ODAH, OFFH, 2EH, OF8H, OE5H, OFFH, 8AH, OFFH
 DFB OEOH, OFFH, 2EH, OF8H, OEOH, OFFH, 8AH, OFFH
 DFB OE5H, OFFH, 2EH, OF8H, ODAH, OFFH, 8AH, OFFH
 DFB OEAH, OFFH, 2DH, OF8H, OD5H, OFFH, 8CH, OFFH
 DFB OEFH, OFFH, 2CH, OF8H, OCFH, OFFH, 8EH, OFFH
 DFB OF3H, OFFH, 2BH, OF8H, OC9H, OFFH, 92H, OFFH

DFB 0F7H,0FFH,2AH,0F8H,0C2H,0FFH,96H,0FFH
 DFB 0FBH,0FFH,28H,0F8H,0BBH,0FFH,9BH,0FFH
 DFB 0FDH,0FFH,26H,0F8H,0B4H,0FFH,0A2H,0FFH
 DFB 25H,0F8H,0FFH,0FFH,0ABH,0FFH,00H ; 60

F05: DFB 0ABH,0FFH,0FFH,0FFH,0FFH,0F8H,0A2H,0FFH
 DFB 0B4H,0FFH,01H,0F9H,0FDH,0FFH,9BH,0FFH
 DFB 0BBH,0FFH,02H,0F9H,0FBH,0FFH,96H,0FFH
 DFB 0C2H,0FFH,03H,0F9H,0F7H,0FFH,92H,0FFH
 DFB 0C8H,0FFH,05H,0F9H,0F3H,0FFH,8EH,0FFH
 DFB 0CFH,0FFH,06H,0F9H,0EFH,0FFH,8CH,0FFH
 DFB 0D5H,0FFH,07H,0F9H,0EAH,0FFH,8AH,0FFH
 DFB 0DAH,0FFH,08H,0F9H,0E5H,0FFH,8AH,0FFH
 DFB 0E0H,0FFH,08H,0F9H,0E0H,0FFH,8AH,0FFH
 DFB 0E5H,0FFH,08H,0F9H,0DAH,0FFH,8AH,0FFH
 DFB 0EAH,0FFH,07H,0F9H,0D5H,0FFH,8CH,0FFH
 DFB 0EFH,0FFH,06H,0F9H,0CFH,0FFH,8EH,0FFH
 DFB 0F3H,0FFH,05H,0F9H,0C8H,0FFH,92H,0FFH
 DFB 0F7H,0FFH,03H,0F9H,0C2H,0FFH,96H,0FFH
 DFB 0FBH,0FFH,02H,0F9H,0BBH,0FFH,9BH,0FFH
 DFB 0FDH,0FFH,01H,0F9H,0B4H,0FFH,0A2H,0FFH
 DFB 0FFH,0F8H,0FFH,0FFH,0ABH,0FFH,00H ; 60

F5_5: DFB 0ABH,0FFH,0FFH,0FFH,0B1H,0F9H,0A2H,0FFH
 DFB 0B4H,0FFH,0B3H,0F9H,0FDH,0FFH,9BH,0FFH
 DFB 0BBH,0FFH,0B4H,0F9H,0FAH,0FFH,96H,0FFH
 DFB 0C2H,0FFH,0B6H,0F9H,0F7H,0FFH,92H,0FFH
 DFB 0C8H,0FFH,0B7H,0F9H,0F3H,0FFH,8FH,0FFH
 DFB 0CFH,0FFH,0B8H,0F9H,0EEH,0FFH,8CH,0FFH
 DFB 0D4H,0FFH,0B9H,0F9H,0EAH,0FFH,8BH,0FFH
 DFB 0DAH,0FFH,0BAH,0F9H,0E5H,0FFH,8AH,0FFH
 DFB 0DFH,0FFH,0BAH,0F9H,0DFH,0FFH,8AH,0FFH
 DFB 0E5H,0FFH,0BAH,0F9H,0DAH,0FFH,8BH,0FFH
 DFB 0EAH,0FFH,0B9H,0F9H,0D4H,0FFH,8CH,0FFH
 DFB 0EEH,0FFH,0B8H,0F9H,0CFH,0FFH,8FH,0FFH
 DFB 0F3H,0FFH,0B7H,0F9H,0C8H,0FFH,92H,0FFH

DFB OF7H,OFFH,OB6H,OF9H,OC2H,OFFH,96H,OFFH
 DFB OFAH,OFFH,OB4H,OF9H,OB8H,OFFH,9BH,OFFH
 DFB OFDH,OFFH,OB3H,OF9H,OB4H,OFFH,OA2H,OFFH
 DFB OB1H,OF9H,OFFH,OFFH,OABH,OFFH,OOH ; 60

F06: DFB OBEH,OFFH,OFFH,OFFH,98H,OFBH,OB7H,OFFH,OC5H,OFFH
 DFB 99H,OFBH,OFEH,OFFH,OB2H,OFFH,OCBH,OFFH,9AH,OFBH
 DFB OFCH,OFFH,OAEH,OFFH,ODOH,OFFH,9CH,OFBH,OF9H,OFFH
 DFB OABH,OFFH,OD5H,OFFH,9DH,OFBH,OF6H,OFFH,OA9H,OFFH
 DFB ODAH,OFFH,9EH,OFBH,OF2H,OFFH,OA7H,OFFH,ODEH,OFFH
 DFB 9EH,OFBH,OFEH,OFFH,OA6H,OFFH,OE3H,OFFH,9FH,OFBH
 DFB OEBH,OFFH,OA5H,OFFH,OE7H,OFFH,9FH,OFBH,OE7H,OFFH
 DFB OA5H,OFFH,OEBH,OFFH,9FH,OFBH,OE3H,OFFH,OA6H,OFFH
 DFB OFEH,OFFH,9EH,OFBH,ODEH,OFFH,OA7H,OFFH,OF2H,OFFH
 DFB 9EH,OFBH,ODAH,OFFH,OA9H,OFFH,OF6H,OFFH,9DH,OFBH
 DFB OD5H,OFFH,OABH,OFFH,OF9H,OFFH,9CH,OFBH,ODOH,OFFH
 DFB OAEH,OFFH,OFCH,OFFH,9AH,OFBH,OCBH,OFFH,OB2H,OFFH
 DFB OFEH,OFFH,99H,OFBH,OC5H,OFFH,OB7H,OFFH,98H,OFBH
 DFB OFFH,OFFH,OBEH,OFFH,OOH

F6_5: DFB OBEH,OFFH,OFFH,OFFH,OF9H,OFBH,OB7H,OFFH,OC5H,OFFH
 DFB OFAH,OFBH,OFEH,OFFH,OB2H,OFFH,OCBH,OFFH,OFBH,OFBH
 DFB OFCH,OFFH,OAEH,OFFH,ODOH,OFFH,OFCH,OFBH,OF9H,OFFH
 DFB OABH,OFFH,OD5H,OFFH,OFEH,OFBH,OF6H,OFFH,OA9H,OFFH
 DFB ODAH,OFFH,OFFH,OFBH,OF2H,OFFH,OA7H,OFFH,ODEH,OFFH
 DFB OFFH,OFBH,OFEH,OFFH,OA6H,OFFH,OE2H,OFFH,O1H,OFCH
 DFB OEBH,OFFH,OA5H,OFFH,OE7H,OFFH,O1H,OFCH,OE7H,OFFH
 DFB OA5H,OFFH,OEBH,OFFH,O1H,OFCH,OE2H,OFFH,OA6H,OFFH
 DFB OFEH,OFFH,OFFH,OFBH,ODEH,OFFH,OA7H,OFFH,OF2H,OFFH
 DFB OFFH,OFBH,ODAH,OFFH,OA9H,OFFH,OF6H,OFFH,OFEH,OFBH
 DFB OD5H,OFFH,OABH,OFFH,OF9H,OFFH,OFCH,OFBH,ODOH,OFFH
 DFB OAEH,OFFH,OFCH,OFFH,OFBH,OFBH,OCBH,OFFH,OB2H,OFFH
 DFB OFEH,OFFH,OFAH,OFBH,OC5H,OFFH,OB7H,OFFH,OF9H,OFBH
 DFB OFFH,OFFH,OBEH,OFFH,OOH

F07: DFB OBEH, OFFH, OFFH, OFFH, 4CH, OFCH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB 4DH, OFCH, OFEH, OFFH, OB2H, OFFH, OCBH, OFFH, 4EH, OFCH
 DFB OFBH, OFFH, OAEH, OFFH, ODOH, OFFH, 4FH, OFCH, OF9H, OFFH
 DFB OABH, OFFH, OD5H, OFFH, 51H, OFCH, OF6H, OFFH, OA9H, OFFH
 DFB ODAH, OFFH, 52H, OFCH, OF2H, OFFH, OA7H, OFFH, ODEH, OFFH
 DFB 52H, OFCH, OEEH, OFFH, OA6H, OFFH, OE2H, OFFH, 53H, OFCH
 DFB OEBH, OFFH, OA5H, OFFH, OE7H, OFFH, 53H, OFCH, OE7H, OFFH
 DFB OA5H, OFFH, OEBH, OFFH, 53H, OFCH, OE2H, OFFH, OA6H, OFFH
 DFB OEEH, OFFH, 52H, OFCH, ODEH, OFFH, OA7H, OFFH, OF2H, OFFH
 DFB 52H, OFCH, ODAH, OFFH, OA9H, OFFH, OF6H, OFFH, 51H, OFCH
 DFB OD5H, OFFH, OABH, OFFH, OF9H, OFFH, 4FH, OFCH, ODOH, OFFH
 DFB OAEH, OFFH, OFBH, OFFH, 4EH, OFCH, OCBH, OFFH, OB2H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, 4DH, OFCH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, 4CH, OFCH
 DFB OFFH, OFFH, OBEH, OFFH, OOH

F7_5: DFB OBEH, OFFH, OFFH, OFFH, 93H, OFCH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB 95H, OFCH, OFEH, OFFH, OB2H, OFFH, OCBH, OFFH, 96H, OFCH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, ODOH, OFFH, 97H, OFCH, OF9H, OFFH
 DFB OABH, OFFH, OD5H, OFFH, 98H, OFCH, OF5H, OFFH, OA9H, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, 99H, OFCH, OF2H, OFFH, OA7H, OFFH, ODEH, OFFH
 DFB 9AH, OFCH, OEEH, OFFH, OA6H, OFFH, OE2H, OFFH, 9BH, OFCH
 DFB OEAH, OFFH, OA5H, OFFH, OE6H, OFFH, 9BH, OFCH, OE6H, OFFH
 DFB OA5H, OFFH, OEAH, OFFH, 9BH, OFCH, OE2H, OFFH, OA6H, OFFH
 DFB OEEH, OFFH, 9AH, OFCH, ODEH, OFFH, OA7H, OFFH, OF2H, OFFH
 DFB 99H, OFCH, OD9H, OFFH, OA9H, OFFH, OF5H, OFFH, 98H, OFCH
 DFB OD5H, OFFH, OABH, OFFH, OF9H, OFFH, 97H, OFCH, ODOH, OFFH
 DFB OAFH, OFFH, OFBH, OFFH, 96H, OFCH, OCBH, OFFH, OB2H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, 95H, OFCH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, 93H, OFCH
 DFB OFFH, OFFH, OBEH, OFFH, OOH

F08: DFB OBEH, OFFH, OFFH, OFFH, OD2H, OFCH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB OD3H, OFCH, OFEH, OFFH, OB2H, OFFH, OCBH, OFFH, OD5H, OFCH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, ODOH, OFFH, OD6H, OFCH, OF9H, OFFH
 DFB OABH, OFFH, OD5H, OFFH, OD7H, OFCH, OF5H, OFFH, OA9H, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, OD8H, OFCH, OF2H, OFFH, OA7H, OFFH, ODEH, OFFH
 DFB OD9H, OFCH, OEEH, OFFH, OA6H, OFFH, OE2H, OFFH, ODAH, OFCH
 DFB OEAH, OFFH, OA6H, OFFH, OE6H, OFFH, ODAH, OFCH, OE6H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0A6H, OFFH, 0EAH, OFFH, 0DAH, OFCH, 0E2H, OFFH, 0A6H, OFFH
 DFB 0EEH, OFFH, 0D9H, OFCH, 0DEH, OFFH, 0A7H, OFFH, 0F2H, OFFH
 DFB 0D8H, OFCH, 0D9H, OFFH, 0A9H, OFFH, 0F5H, OFFH, 0D7H, OFCH
 DFB 0D5H, OFFH, 0ABH, OFFH, 0F9H, OFFH, 0D6H, OFCH, 0DOH, OFFH
 DFB 0AFH, OFFH, 0FBH, OFFH, 95H, OFCH, 0CBH, OFFH, 0B2H, OFFH
 DFB 0FEH, OFFH, 0D3H, OFCH, 0C5H, OFFH, 0B7H, OFFH, 0D2H, OFCH
 DFB OFFH, OFFH, 0BEH, OFFH, 0OH

FB_5: DFB 0BEH, OFFH, OFFH, OFFH, 0AH, OFDH, 0B7H, OFFH, 0C5H, OFFH
 DFB 0BH, OFDH, 0FEH, OFFH, 0B2H, OFFH, 0CBH, OFFH, 0DH, OFDH
 DFB 0FBH, OFFH, 0AFH, OFFH, 0DOH, OFFH, 0EH, OFDH, 0F8H, OFFH
 DFB 0ACH, OFFH, 0D5H, OFFH, 0FH, OFDH, 0F5H, OFFH, 0A9H, OFFH
 DFB 0D9H, OFFH, 10H, OFDH, 0F2H, OFFH, 0A7H, OFFH, 0DEH, OFFH
 DFB 11H, OFDH, 0EEH, OFFH, 0A6H, OFFH, 0E2H, OFFH, 11H, OFDH
 DFB 0EAH, OFFH, 0A6H, OFFH, 0E6H, OFFH, 11H, OFDH, 0E6H, OFFH
 DFB 0A6H, OFFH, 0EAH, OFFH, 11H, OFDH, 0E2H, OFFH, 0A6H, OFFH
 DFB 0EEH, OFFH, 11H, OFDH, 0DEH, OFFH, 0A7H, OFFH, 0F2H, OFFH
 DFB 10H, OFDH, 0D9H, OFFH, 0A9H, OFFH, 0F5H, OFFH, 0FH, OFDH
 DFB 0D5H, OFFH, 0ACH, OFFH, 0F8H, OFFH, 0EH, OFDH, 0DOH, OFFH
 DFB 0AFH, OFFH, 0FBH, OFFH, 0CH, OFDH, 0CBH, OFFH, 0B2H, OFFH
 DFB 0FEH, OFFH, 0BH, OFDH, 0C5H, OFFH, 0B7H, OFFH, 0AH, OFDH
 DFB OFFH, OFFH, 0BEH, OFFH, 0OH

F09: DFB 0BEH, OFFH, OFFH, OFFH, 3BH, OFDH, 0B7H, OFFH, 0C5H, OFFH
 DFB 3CH, OFDH, 0FEH, OFFH, 0B3H, OFFH, 0CBH, OFFH, 3EH, OFDH
 DFB 0FBH, OFFH, 0AFH, OFFH, 0DOH, OFFH, 3FH, OFDH, 0F8H, OFFH
 DFB 0ACH, OFFH, 0D5H, OFFH, 40H, OFDH, 0F5H, OFFH, 0A9H, OFFH
 DFB 0D9H, OFFH, 41H, OFDH, 0F2H, OFFH, 0A7H, OFFH, 0DEH, OFFH
 DFB 42H, OFDH, 0EEH, OFFH, 0A6H, OFFH, 0E2H, OFFH, 43H, OFDH
 DFB 0EAH, OFFH, 0A6H, OFFH, 0E6H, OFFH, 43H, OFDH, 0E6H, OFFH
 DFB 0A6H, OFFH, 0EAH, OFFH, 43H, OFDH, 0E2H, OFFH, 0A6H, OFFH
 DFB 0EEH, OFFH, 42H, OFDH, 0DEH, OFFH, 0A7H, OFFH, 0F2H, OFFH
 DFB 41H, OFDH, 0D9H, OFFH, 0A9H, OFFH, 0F5H, OFFH, 40H, OFDH
 DFB 0D5H, OFFH, 0ACH, OFFH, 0F8H, OFFH, 3FH, OFDH, 0DOH, OFFH
 DFB 0AFH, OFFH, 0FBH, OFFH, 3EH, OFDH, 0CBH, OFFH, 0B3H, OFFH
 DFB 0FEH, OFFH, 3CH, OFDH, 0C5H, OFFH, 0B7H, OFFH, 3BH, OFDH
 DFB OFFH, OFFH, 0BEH, OFFH, 0OH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F9_5: DFB OBEH, OFFH, OFFH, OFFH, 67H, OFDH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB 68H, OFDH, OFEH, OFFH, OB3H, OFFH, OCBH, OFFH, 6AH, OFDH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, ODOH, OFFH, 6BH, OFDH, OF8H, OFFH
 DFB OACH, OFFH, OD4H, OFFH, 6CH, OFDH, OF5H, OFFH, OA9H, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, 6EH, OFDH, OF2H, OFFH, OA8H, OFFH, ODDH, OFFH
 DFB 6EH, OFDH, OEEH, OFFH, OA6H, OFFH, OE2H, OFFH, 6FH, OFDH
 DFB OEAH, OFFH, OA6H, OFFH, OE6H, OFFH, 6FH, OFDH, OE6H, OFFH
 DFB OA6H, OFFH, OEAH, OFFH, 6FH, OFDH, OE2H, OFFH, OA6H, OFFH
 DFB OEEH, OFFH, 6EH, OFDH, ODDH, OFFH, OA8H, OFFH, OF2H, OFFH
 DFB 6EH, OFDH, OD9H, OFFH, OA9H, OFFH, OF5H, OFFH, 6CH, OFDH
 DFB OD4H, OFFH, OACH, OFFH, OF8H, OFFH, 6BH, OFDH, ODOH, OFFH
 DFB OAFH, OFFH, OFBH, OFFH, 6AH, OFDH, OCBH, OFFH, OB3H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, 68H, OFDH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, 67H, OFDH
 DFB OFFH, OFFH, OBEH, OFFH, OOH

F10: DFB OBEH, OFFH, OFFH, OFFH, 8FH, OFDH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB 90H, OFDH, OFEH, OFFH, OB3H, OFFH, OCBH, OFFH, 92H, OFDH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, ODOH, OFFH, 93H, OFDH, OF8H, OFFH
 DFB OACH, OFFH, OD4H, OFFH, 94H, OFDH, OF5H, OFFH, OA9H, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, 95H, OFDH, OF1H, OFFH, OA8H, OFFH, ODDH, OFFH
 DFB 96H, OFDH, OEEH, OFFH, OA7H, OFFH, OE2H, OFFH, 97H, OFDH
 DFB OEAH, OFFH, OA6H, OFFH, OE6H, OFFH, 97H, OFDH, OE6H, OFFH
 DFB OA6H, OFFH, OEAH, OFFH, 97H, OFDH, OE2H, OFFH, OA7H, OFFH
 DFB OEEH, OFFH, 96H, OFDH, ODDH, OFFH, OA8H, OFFH, OF1H, OFFH
 DFB 95H, OFDH, OD9H, OFFH, OA9H, OFFH, OF5H, OFFH, 94H, OFDH
 DFB OD4H, OFFH, OACH, OFFH, OF8H, OFFH, 93H, OFDH, ODOH, OFFH
 DFB OAFH, OFFH, OFBH, OFFH, 92H, OFDH, OCBH, OFFH, OB3H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, 90H, OFDH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, 8FH, OFDH
 DFB OFFH, OFFH, OBEH, OFFH, OOH

F10_5: DFB OBEH, OFFH, OFFH, OFFH, OB3H, OFDH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB OB4H, OFDH, OFEH, OFFH, OB3H, OFFH, OCBH, OFFH, OB6H, OFDH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, ODOH, OFFH, OB7H, OFDH, OF8H, OFFH
 DFB OACH, OFFH, OD4H, OFFH, OB6H, OFDH, OF5H, OFFH, OA9H, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, OB9H, OFDH, OF1H, OFFH, OA8H, OFFH, ODDH, OFFH
 DFB OBAH, OFDH, OEEH, OFFH, OA7H, OFFH, OE2H, OFFH, OBBH, OFDH
 DFB OEAH, OFFH, OA6H, OFFH, OE6H, OFFH, OBBH, OFDH, OE6H, OFFH
 DFB OA6H, OFFH, OEAH, OFFH, OBBH, OFDH, OE2H, OFFH, OA7H, OFFH
 DFB OEEH, OFFH, OBAH, OFDH, ODDH, OFFH, OA8H, OFFH, OF1H, OFFH
 DFB OB9H, OFDH, OD9H, OFFH, OA9H, OFFH, OF5H, OFFH, OB8H, OFDH
 DFB OD4H, OFFH, OACH, OFFH, OF8H, OFFH, OB7H, OFDH, ODOH, OFFH
 DFB OAFH, OFFH, OFBH, OFFH, OB6H, OFDH, OCBH, OFFH, OB3H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, OB4H, OFDH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, OB3H, OFDH
 DFB OFFH, OFFH, OBEH, OFFH, OOH

F11: DFB OBEH, OFFH, OFFH, OFFH, OD3H, OFDH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB OD5H, OFDH, OFEH, OFFH, OB3H, OFFH, OCBH, OFFH, OD6H, OFDH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, ODOH, OFFH, OD8H, OFDH, OF8H, OFFH
 DFB OACH, OFFH, OD4H, OFFH, OD9H, OFDH, OF5H, OFFH, OAAH, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, ODAH, OFDH, OF1H, OFFH, OA8H, OFFH, ODDH, OFFH
 DFB ODBH, OFDH, OEDH, OFFH, OA7H, OFFH, OE1H, OFFH, ODBH, OFDH
 DFB OEAH, OFFH, OA6H, OFFH, OE6H, OFFH, ODCH, OFDH, OE6H, OFFH
 DFB OA6H, OFFH, OEAH, OFFH, ODBH, OFDH, OE1H, OFFH, OA7H, OFFH
 DFB OEDH, OFFH, ODBH, OFDH, ODDH, OFFH, OA8H, OFFH, OF1H, OFFH
 DFB ODAH, OFDH, OD9H, OFFH, OAAH, OFFH, OF5H, OFFH, OD9H, OFDH
 DFB OD4H, OFFH, OACH, OFFH, OF8H, OFFH, OD8H, OFDH, OBOH, OFFH
 DFB OAFH, OFFH, OFBH, OFFH, OD6H, OFDH, OCBH, OFFH, OB3H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, OD5H, OFDH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, OD3H, OFDH
 DFB OFFH, OFFH, OBEH, OFFH, OOH

F11_5: DFB OBFH, OFFH, OFFH, OFFH, OF1H, OFDH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB OF3H, OFDH, OFEH, OFFH, OB3H, OFFH, OCAH, OFFH, OF4H, OFDH

DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, OCFH, OFFH, OF6H, OFDH, OF8H, OFFH
 DFB OACH, OFFH, OD4H, OFFH, OF7H, OFDH, OF5H, OFFH, OAAH, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, OF8H, OFDH, OF1H, OFFH, OA8H, OFFH, ODDH, OFFH
 DFB OF9H, OFDH, OEDH, OFFH, OA7H, OFFH, OE1H, OFFH, OF9H, OFDH
 DFB OE9H, OFFH, OA6H, OFFH, OE5H, OFFH, OAFH, OFDH, OE5H, OFFH
 DFB OA6H, OFFH, OE9H, OFFH, OF9H, OFDH, OE1H, OFFH, OA7H, OFFH
 DFB OEDH, OFFH, OF9H, OFDH, ODDH, OFFH, OA8H, OFFH, OF1H, OFFH
 DFB OF8H, OFDH, OD9H, OFFH, OAAH, OFFH, OF5H, OFFH, OF7H, OFDH
 DFB OD4H, OFFH, OACH, OFFH, OF8H, OFFH, OF6H, OFDH, OCFH, OFFH
 DFB OAFH, OFFH, OFBH, OFFH, OF4H, OFDH, OCAH, OFFH, OB3H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, OF3H, OFDH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, OF1H, OFDH
 DFB OFFH, OFFH, OBFH, OFFH, OOH

F12:

DFB OBFH, OFFH, OFFH, OFFH, OCH, OFEH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB OEH, OFEH, OFEH, OFFH, OB3H, OFFH, OCAH, OFFH, OFH, OFEH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, OCFH, OFFH, O11H, OFEH, OF8H, OFFH
 DFB OACH, OFFH, OD4H, OFFH, 12H, OFEH, OF5H, OFFH, OAAH, OFFH
 DFB OD9H, OFFH, 13H, OFEH, OF1H, OFFH, OA8H, OFFH, ODDH, OFFH
 DFB 14H, OFEH, OEDH, OFFH, OA7H, OFFH, OE1H, OFFH, 15H, OFEH
 DFB OE9H, OFFH, OA6H, OFFH, OE5H, OFFH, 15H, OFEH, OE5H, OFFH
 DFB OA6H, OFFH, OE9H, OFFH, 15H, OFEH, OE1H, OFFH, OA7H, OFFH
 DFB OEDH, OFFH, 14H, OFEH, ODDH, OFFH, OA8H, OFFH, OF1H, OFFH
 DFB 13H, OFEH, OD9H, OFFH, OAAH, OFFH, OF5H, OFFH, 12H, OFEH
 DFB OD4H, OFFH, OACH, OFFH, OF8H, OFFH, 11H, OFEH, OCFH, OFFH
 DFB OAFH, OFFH, OFBH, OFFH, OFH, OFEH, OCAH, OFFH, OB3H, OFFH
 DFB OFEH, OFFH, OEH, OFEH, OC5H, OFFH, OB7H, OFFH, OCH, OFFH
 DFB OFFH, OFFH, OBFH, OFFH, OOH

F12_5:

DFB OBFH, OFFH, OFFH, OFFH, 26H, OFEH, OB7H, OFFH, OC5H, OFFH
 DFB 27H, OFEH, OFDH, OFFH, OB3H, OFFH, OCAH, OFFH, 29H, OFEH
 DFB OFBH, OFFH, OAFH, OFFH, OCFH, OFFH, 2AH, OFEH, OF8H, OFFH
 DFB OACH, OFFH, OD4H, OFFH, 2CH, OFFH, OF4H, OFFH, OAAH, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0D8H, OFFH, 2DH, OFEH, OF1H, OFFH, 0A8H, OFFH, 0DDH, OFFH
 DFB 2EH, OFEH, 0EDH, OFFH, 0A7H, OFFH, 0E1H, OFFH, 2EH, OFEH
 DFB 0E9H, OFFH, 0A7H, OFFH, 0E5H, OFFH, 2EH, OFEH, 0E5H, OFFH
 DFB 0A7H, OFFH, 0E9H, OFFH, 2EH, OFEH, 0E1H, OFFH, 0A7H, OFFH
 DFB 0EDH, OFFH, 2EH, OFEH, 0DDH, OFFH, 0A8H, OFFH, OF1H, OFFH
 DFB 2DH, OFEH, 0D8H, OFFH, 0AAH, OFFH, 0F4H, OFFH, 2CH, OFEH
 DFB 0D4H, OFFH, 0ACH, OFFH, 0F8H, OFFH, 2AH, OFEH, 0CFH, OFFH
 DFB 0AFH, OFFH, 0FBH, OFFH, 29H, OFEH, 0CAH, OFFH, 0B3H, OFFH
 DFB 0FDH, OFFH, 27H, OFEH, 0C5H, OFFH, 0B7H, OFFH, 26H, OFEH
 DFB OFFH, OFFH, 0BFH, OFFH, 00H

F13: DFB 0BAH, OFFH, OFFH, OFFH, 21H, OFEH, 0B2H, OFFH, 0C2H, OFFH
 DFB 22H, OFEH, 0FDH, OFFH, 0ADH, OFFH, 0C8H, OFFH, 24H, OFEH
 DFB 0FAH, OFFH, 0A9H, OFFH, 0CDH, OFFH, 26H, OFEH, 0F7H, OFFH
 DFB 0A6H, OFFH, 0D2H, OFFH, 27H, OFEH, 0F3H, OFFH, 0A4H, OFFH
 DFB 0D7H, OFFH, 29H, OFEH, 0EEH, OFFH, 0A2H, OFFH, 0DCH, OFFH
 DFB 2AH, OFEH, 0EAH, OFFH, 0A1H, OFFH, 0E1H, OFFH, 2AH, OFEH
 DFB 0E5H, OFFH, 0A1H, OFFH, 0E6H, OFFH, 2AH, OFEH, 0E1H, OFFH
 DFB 0A1H, OFFH, 0EAH, OFFH, 2AH, OFEH, 0DCH, OFFH, 0A2H, OFFH
 DFB 0EEH, OFFH, 29H, OFEH, 0D7H, OFFH, 0A4H, OFFH, 0F3H, OFFH
 DFB 27H, OFEH, 0D2H, OFFH, 0A6H, OFFH, 0F7H, OFFH, 26H, OFEH
 DFB 0CDH, OFFH, 0A9H, OFFH, 0FAH, OFFH, 24H, OFEH, 0C8H, OFFH
 DFB 0ADH, OFFH, 0FDH, OFFH, 22H, OFEH, 0C2H, OFFH, 0B2H, OFFH
 DFB 21H, OFEH, OFFH, OFFH, 0BAH, OFFH, 00H

F13_5: DFB 0B6H, OFFH, OFFH, OFFH, 19H, OFEH, 0ADH, OFFH, 0BEH, OFFH
 DFB 1BH, OFEH, 0FDH, OFFH, 0A7H, OFFH, 0C5H, OFFH, 1DH, OFEH
 DFB 0F9H, OFFH, 0A3H, OFFH, 0CBH, OFFH, 1FH, OFEH, 0F5H, OFFH
 DFB 0A0H, OFFH, 0D1H, OFFH, 21H, OFEH, 0FOH, OFFH, 9DH, OFFH
 DFB 0D6H, OFFH, 22H, OFEH, 0EBH, OFFH, 9CH, OFFH, 0DCH, OFFH
 DFB 23H, OFEH, 0E6H, OFFH, 9BH, OFFH, 0E1H, OFFH, 23H, OFEH

DFB 0E1H, OFFH, 9BH, OFFH, 0E6H, OFFH, 23H, OFEH, 0DCH, OFFH
 DFB 9CH, OFFH, 0EBH, OFFH, 22H, OFEH, 0D6H, OFFH, 9DH, OFFH
 DFB 0FOH, OFFH, 21H, OFEH, 0D1H, OFFH, 0A0H, OFFH, 0F5H, OFFH
 DFB 1FH, OFEH, 0CBH, OFFH, 0A3H, OFFH, 0F9H, OFFH, 1DH, OFEH
 DFB 0C5H, OFFH, 0A7H, OFFH, 0FDH, OFFH, 1BH, OFEH, 0BEH, OFFH
 DFB 0ADH, OFFH, 19H, OFEH, OFFH, OFFH, 0B6H, OFFH, 00H

F14: DFB 0B1H, OFFH, OFFH, OFFH, 0EH, OFEH, 0A6H, OFFH, 0BAH, OFFH
 DFB 011H, OFEH, 0FCH, OFFH, 0A0H, OFFH, 0C2H, OFFH, 13H, OFEH
 DFB 0F8H, OFFH, 9BH, OFFH, 0C9H, OFFH, 16H, OFEH, 0F3H, OFFH
 DFB 98H, OFFH, 0CFH, OFFH, 17H, OFEH, 0EDH, OFFH, 95H, OFFH
 DFB 0D6H, OFFH, 19H, OFEH, 0E8H, OFFH, 94H, OFFH, 0DCH, OFFH
 DFB 19H, OFEH, 0E2H, OFFH, 94H, OFFH, 0E2H, OFFH, 19H, OFEH
 DFB 0DCH, OFFH, 94H, OFFH, 0E8H, OFFH, 19H, OFEH, 0D6H, OFFH
 DFB 95H, OFFH, 0EDH, OFFH, 17H, OFEH, 0CFH, OFFH, 98H, OFFH
 DFB 0F3H, OFFH, 16H, OFEH, 0C9H, OFFH, 9BH, OFFH, 0F8H, OFFH
 DFB 13H, OFEH, 0C2H, OFFH, 0A0H, OFFH, 0FCH, OFFH, 11H, OFEH
 DFB 0BAH, OFFH, 0A6H, OFFH, 0EH, OFEH, OFFH, OFFH, 0B1H, OFFH
 DFB 00H

F14_5: DFB 0ABH, OFFH, OFEH, OFFH, 01H, OFEH, 09EH, OFFH, 0B6H, OFFH
 DFB 003H, OFEH, 0FBH, OFFH, 098H, OFFH, 0BEH, OFFH, 006H, OFEH
 DFB 0F6H, OFFH, 093H, OFFH, 0C6H, OFFH, 009H, OFEH, 0FOH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, 0CEH, OFFH, 00BH, OFEH, 0EAH, OFFH, 08DH, OFFH
 DFB 0B5H, OFFH, 00CH, OFEH, 0E3H, OFFH, 0BBH, OFFH, 0DCH, OFFH
 DFB 00DH, OFEH, 0DCH, OFFH, 0BBH, OFFH, 0E3H, OFFH, 00CH, OFEH
 DFB 0D5H, OFFH, 08DH, OFFH, 0EAH, OFFH, 00BH, OFEH, 0CEH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, 0FOH, OFFH, 009H, OFEH, 0C6H, OFFH, 093H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 006H, OFEH, 0BEH, OFFH, 098H, OFFH, 0FBH, OFFH
 DFB 003H, OFEH, 0B6H, OFFH, 09EH, OFFH, 001H, OFEH, OFEH, OFFH
 DFB 0ABH, OFFH, 00H

F15: DFB 0ABH, OFFH, OFEH, OFFH, 017H, OFEH, 09EH, OFFH, 0B6H, OFFH
 DFB 01AH, OFEH, OFBH, OFFH, 098H, OFFH, 0BEH, OFFH, 01DH, OFEH
 DFB 0F6H, OFFH, 093H, OFFH, 0C6H, OFFH, 020H, OFEH, OFOH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, 0CDH, OFFH, 022H, OFEH, 0E9H, OFFH, 08DH, OFFH
 DFB 0D5H, OFFH, 023H, OFEH, 0E3H, OFFH, 08CH, OFFH, 0DCH, OFFH
 DFB 023H, OFEH, 0DCH, OFFH, 08CH, OFFH, 0E3H, OFFH, 023H, OFEH
 DFB 0D5H, OFFH, 08DH, OFFH, 0E9H, OFFH, 022H, OFEH, 0CDH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, OFOH, OFFH, 020H, OFEH, 0C6H, OFFH, 093H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 01DH, OFEH, 0BEH, OFFH, 098H, OFFH, OFBH, OFFH
 DFB 01AH, OFEH, 0B6H, OFFH, 09EH, OFFH, 017H, OFEH, OFEH, OFFH
 DFB 0ABH, OFFH, 00H

F15_5: DFB 0ABH, OFFH, OFEH, OFFH, 02CH, OFEH, 09EH, OFFH, 0B6H, OFFH
 DFB 02FH, OFEH, OFBH, OFFH, 098H, OFFH, 0BEH, OFFH, 032H, OFEH
 DFB 0F6H, OFFH, 093H, OFFH, 0C6H, OFFH, 035H, OFEH, OFOH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, 0CDH, OFFH, 037H, OFEH, 0E9H, OFFH, 08DH, OFFH
 DFB 0D4H, OFFH, 038H, OFEH, 0E3H, OFFH, 08CH, OFFH, 0DCH, OFFH
 DFB 039H, OFEH, 0DCH, OFFH, 08CH, OFFH, 0E3H, OFFH, 038H, OFEH
 DFB 0D4H, OFFH, 08DH, OFFH, 0E9H, OFFH, 037H, OFEH, 0CDH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, OFOH, OFFH, 035H, OFEH, 0C6H, OFFH, 093H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 032H, OFEH, 0BEH, OFFH, 098H, OFFH, OFBH, OFFH
 DFB 02FH, OFEH, 0B6H, OFFH, 09EH, OFFH, 02CH, OFEH, OFEH, OFFH
 DFB 0ABH, OFFH, 00H

F16: DFB 0ABH, OFFH, OFEH, OFFH, 040H, OFEH, 09EH, OFFH, 0B6H, OFFH
 DFB 043H, OFEH, OFBH, OFFH, 098H, OFFH, 0BEH, OFFH, 046H, OFEH
 DFB 0F6H, OFFH, 093H, OFFH, 0C6H, OFFH, 049H, OFEH, OFOH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, 0CDH, OFFH, 04BH, OFEH, 0E9H, OFFH, 08DH, OFFH
 DFB 0D4H, OFFH, 04CH, OFEH, 0E2H, OFFH, 08CH, OFFH, 0DBH, OFFH
 DFB 04DH, OFEH, 0DBH, OFFH, 08CH, OFFH, 0E2H, OFFH, 04CH, OFEH
 DFB 0D4H, OFFH, 08DH, OFFH, 0E9H, OFFH, 04BH, OFEH, 0CDH, OFFH
 DFB 0BFH, OFFH, OFOH, OFFH, 049H, OFEH, 0C6H, OFFH, 093H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0F6H,0FFH,046H,0FEH,0BEH,0FFH,098H,0FFH,0FBH,0FFH
 DFB 043H,0FEH,0B6H,0FFH,09EH,0FFH,040H,0FEH,0FEH,0FFH
 DFB 0ABH,0FFH,00H

F16_5: DFB 0ABH,0FFH,0FEH,0FFH,053H,0FEH,09EH,0FFH,0B6H,0FFH
 DFB 056H,0FEH,0FBH,0FFH,098H,0FFH,0BEH,0FFH,059H,0FEH
 DFB 0F6H,0FFH,093H,0FFH,0C6H,0FFH,05CH,0FEH,0EFH,0FFH
 DFB 0BFH,0FFH,0CDH,0FFH,05EH,0FEH,0E9H,0FFH,0BDH,0FFH
 DFB 0DEH,0FFH,05FH,0FEH,0E2H,0FFH,0BCH,0FFH,0DBH,0FFH
 DFB 060H,0FEH,0DBH,0FFH,0BCH,0FFH,0E2H,0FFH,05FH,0FEH
 DFB 0DCH,0FFH,0BDH,0FFH,0E9H,0FFH,05EH,0FEH,0CDH,0FFH
 DFB 0BFH,0FFH,0EFH,0FFH,05CH,0FEH,0C6H,0FFH,093H,0FFH
 DFB 0F6H,0FFH,059H,0FEH,0DEH,0FFH,098H,0FFH,0FBH,0FFH
 DFB 056H,0FEH,0B6H,0FFH,09EH,0FFH,053H,0FEH,0FEH,0FFH
 DFB 0ABH,0FFH,00H

F17: DFB 0A4H,0FFH,0FEH,0FFH,042H,0FEH,095H,0FFH,0B1H,0FFH
 DFB 046H,0FEH,0FAH,0FFH,08EH,0FFH,0BAH,0FFH,04AH,0FEH
 DFB 0F3H,0FFH,089H,0FFH,0C3H,0FFH,04DH,0FEH,0ECH,0FFH
 DFB 085H,0FFH,0CBH,0FFH,04FH,0FEH,0E4H,0FFH,083H,0FFH
 DFB 0D4H,0FFH,050H,0FEH,0DCH,0FFH,082H,0FFH,0DCH,0FFH
 DFB 050H,0FEH,0D4H,0FFH,083H,0FFH,0E4H,0FFH,04FH,0FEH
 DFB 0CBH,0FFH,085H,0FFH,0ECH,0FFH,04DH,0FEH,0C3H,0FFH
 DFB 089H,0FFH,0F3H,0FFH,04AH,0FEH,0BAH,0FFH,08EH,0FFH
 DFB 0FAH,0FFH,046H,0FEH,0B1H,0FFH,095H,0FFH,042H,0FEH
 DFB 0FEH,0FFH,0A4H,0FFH,00H

F17_5: DFB 09CH,0FFH,0FEH,0FFH,02CH,0FEH,08AH,0FFH,0ABH,0FFH
 DFB 032H,0FEH,0F6H,0FFH,082H,0FFH,0B6H,0FFH,036H,0FEH
 DFB 0F0H,0FFH,07CH,0FFH,0C0H,0FFH,03AH,0FEH,0E7H,0FFH
 DFB 079H,0FFH,0CAH,0FFH,03CH,0FEH,0DEH,0FFH,077H,0FFH
 DFB 0D4H,0FFH,03DH,0FEH,0D4H,0FFH,077H,0FFH,0DEH,0FFH
 DFB 03CH,0FEH,0CAH,0FFH,079H,0FFH,0E7H,0FFH,03AH,0FEH

DFB 0C0H, OFFH, 07CH, OFFH; 0F0H, OFFH, 036H, OFEH, 0B6H, OFFH

DFB 0B2H, OFFH, 0F8H, OFFH, 032H, OFEH, 0ABH, OFFH, 0BAH, OFFH

DFB 02CH, OFEH, OFEH, OFFH, 09CH, OFFH, 00H

F18: DFB 92H, OFFH, OFDH, OFFH, 12H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A4H, OFFH

DFB 18H, OFEH, OF6H, OFFH, 74H, OFFH, 0B1H, OFFH, 1EH, OFEH

DFB 0FCH, OFFH, 6DH, OFFH, 0BDH, OFFH, 22H, OFEH, 0E1H, OFFH

DFB 6AH, OFFH, 0C9H, OFFH, 24H, OFEH, 0D5H, OFFH, 69H, OFFH

DFB 0D5H, OFFH, 24H, OFEH, 0C9H, OFFH, 6AH, OFFH, 0E1H, OFFH

DFB 22H, OFEH, 0BDH, OFFH, 6DH, OFFH, 0ECH, OFFH, 1EH, OFEH

DFB 0B1H, OFFH, 74H, OFFH, 0F6H, OFFH, 18H, OFEH, 0A4H, OFFH

DFB 7DH, OFFH, 12H, OFEH, OFDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

F18_5: DFB 92H, OFFH, OFDH, OFFH, 25H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A4H, OFFH

DFB 2CH, OFEH, OF6H, OFFH, 74H, OFFH, 0B1H, OFFH, 31H, OFEH

DFB 0ECH, OFFH, 6EH, OFFH, 0BDH, OFFH, 35H, OFEH, 0E1H, OFFH

DFB 6AH, OFFH, 0C9H, OFFH, 37H, OFEH, 0D5H, OFFH, 69H, OFFH

DFB 0D5H, OFFH, 37H, OFEH, 0C9H, OFFH, 6AH, OFFH, 0E1H, OFFH

DFB 35H, OFEH, 0BDH, OFFH, 6EH, OFFH, 0ECH, OFFH, 31H, OFEH

DFB 0B1H, OFFH, 74H, OFFH, 0F6H, OFFH, 2CH, OFEH, 0A4H, OFFH

DFB 7DH, OFFH, 25H, OFEH, OFDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

F19: DFB 92H, OFFH, OFDH, OFFH, 37H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A4H, OFFH

DFB 3EH, OFEH, OF6H, OFFH, 74H, OFFH, 0B1H, OFFH, 44H, OFEH

DFB 0ECH, OFFH, 6EH, OFFH, 0BDH, OFFH, 48H, OFEH, 0E0H, OFFH

DFB 6AH, OFFH, 0C9H, OFFH, 4AH, OFEH, 0D5H, OFFH, 69H, OFFH

DFB 0D5H, OFFH, 4AH, OFEH, 0C9H, OFFH, 6AH, OFFH, 0E0H, OFFH

DFB 48H, OFEH, 0BDH, OFFH, 6EH, OFFH, 0ECH, OFFH, 44H, OFEH

DFB 0B1H, OFFH, 74H, OFFH, 0F6H, OFFH, 3EH, OFFH, 0A4H, OFFH

DFB 7DH, OFFH, 37H, OFEH, OFDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

F19_5: DFB 92H, OFFH, OFDH, OFFH, 49H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A4H, OFFH

DFB 4FH, OFEH, OF6H, OFFH, 74H, OFFH, 0B0H, OFFH, 55H, OFEH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0ECH, OFFH, 6EH, OFFH, 0BDH, OFFH, 59H, OFEH, 0EOH, OFFH
 DFB 6BH, OFFH, 0C8H, OFFH, 5BH, OFEH, 0D4H, OFFH, 69H, OFFH
 DFB 0D4H, OFFH, 5BH, OFEH, 0CBH, OFFH, 6BH, OFFH, 0EOH, OFFH
 DFB 59H, OFEH, 0BDH, OFFH, 6EH, OFFH, 0ECH, OFFH, 55H, OFEH
 DFB 0BOH, OFFH, 74H, OFFH, 0F6H, OFFH, 4FH, OFEH, 0A4H, OFFH
 DFB 7DH, OFFH, 49H, OFEH, 0FDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

F20: DFB 92H, OFFH, 0FDH, OFFH, 59H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A4H, OFFH
 DFB 60H, OFEH, 0F6H, OFFH, 74H, OFFH, 0BOH, OFFH, 66H, OFEH
 DFB 0EBH, OFFH, 6EH, OFFH, 0BCH, OFFH, 6AH, OFEH, 0EOH, OFFH
 DFB 6BH, OFFH, 0CH, OFFH, 6CH, OFEH, 0D4H, OFFH, 6AH, OFFH
 DFB 0D4H, OFFH, 6CH, OFEH, 0CBH, OFFH, 6BH, OFFH, 0EOH, OFFH
 DFB 6AH, OFEH, 0BCH, OFFH, 6EH, OFFH, 0EBH, OFFH, 66H, OFEH
 DFB 0BOH, OFFH, 74H, OFFH, 0F6H, OFFH, 60H, OFEH, 0A4H, OFFH
 DFB 7DH, OFFH, 59H, OFEH, 0FDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

F20_5: DFB 92H, OFFH, 0FDH, OFFH, 69H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A4H, OFFH
 DFB 70H, OFEH, 0F6H, OFFH, 74H, OFFH, 0BOH, OFFH, 76H, OFEH
 DFB 0EBH, OFFH, 6EH, OFFH, 0BCH, OFFH, 7AH, OFEH, 0EOH, OFFH
 DFB 6BH, OFFH, 0CBH, OFFH, 7CH, OFEH, 0D4H, OFFH, 6AH, OFFH
 DFB 0D4H, OFFH, 7CH, OFEH, 0C8H, OFFH, 6BH, OFFH, 0EOH, OFFH
 DFB 7AH, OFEH, 0BCH, OFFH, 6EH, OFFH, 0EBH, OFFH, 76H, OFEH
 DFB 0BOH, OFFH, 74H, OFFH, 0F6H, OFFH, 70H, OFEH, 0A4H, OFFH
 DFB 7DH, OFFH, 59H, OFEH, 0FDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

F21: DFB 92H, OFFH, 0FDH, OFFH, 078H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A4H, OFFH
 DFB 7FH, OFEH, 0F6H, OFFH, 74H, OFFH, 0BOH, OFFH, 85H, OFEH
 DFB 0EBH, OFFH, 6FH, OFFH, 0BCH, OFFH, 89H, OFEH, 0DFH, OFFH
 DFB 6BH, OFFH, 0C8H, OFFH, 8BH, OFEH, 0D4H, OFFH, 6AH, OFFH
 DFB 0D4H, OFFH, 8BH, OFEH, 0C8H, OFFH, 6BH, OFFH, 0DFH, OFFH
 DFB 89H, OFEH, 0BCH, OFFH, 6FH, OFFH, 0EBH, OFFH, 85H, OFEH
 DFB 0BOH, OFFH, 74H, OFFH, 0F6H, OFFH, 7FH, OFEH, 0A4H, OFFH
 DFB 7DH, OFFH, 78H, OFEH, 0FDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F21_5: DFB 92H, OFFH, OFDH, OFFH, 86H, OFEH, 7DH, OFFH, 0A3H, OFFH
 DFB 8DH, OFEH, OF6H, OFFH, 75H, OFFH, 0B0H, OFFH, 93H, OFEH
 DFB 0EBH, OFFH, 6FH, OFFH, 0BCH, OFFH, 098H, OFEH, 0DFH, OFFH
 DFB 6CH, OFFH, 0C7H, OFFH, 9AH, OFEH, 0D3H, OFFH, 6BH, OFFH
 DFB 0D3H, OFFH, 9AH, OFEH, 0C7H, OFFH, 6CH, OFFH, 0DFH, OFFH
 DFB 96H, OFEH, 0BCH, OFFH, 6FH, OFFH, 0EBH, OFFH, 93H, OFEH
 DFB 0B0H, OFFH, 75H, OFFH, OF6H, OFFH, 8DH, OFEH, 0A3H, OFFH
 DFB 7DH, OFFH, 86H, OFEH, OFDH, OFFH, 92H, OFFH, 00H

F22: DFB 087H, OFFH, OFCH, OFFH, 06AH, OFEH, 06CH, OFFH, 09CH, OFFH
 DFB 074H, OFEH, OF3H, OFFH, 063H, OFFH, 0AAH, OFFH, 07BH, OFEH
 DFB 0E5H, OFFH, 05DH, OFFH, 0B9H, OFFH, 080H, OFEH, 0D6H, OFFH
 DFB 05AH, OFFH, 0C7H, OFFH, 0B1H, OFEH, 0C7H, OFFH, 05AH, OFFH
 DFB 0D6H, OFFH, 0B0H, OFEH, 0B9H, OFFH, 05DH, OFFH, 0E5H, OFFH
 DFB 07BH, OFEH, 0AAH, OFFH, 063H, OFFH, OF3H, OFFH, 074H, OFEH
 DFB 09CH, OFFH, 06CH, OFFH, 06AH, OFEH, OFCH, OFFH, 087H, OFFH
 DFB 00H

F22_5: DFB 078H, OFFH, OFBH, OFFH, 047H, OFEH, 057H, OFFH, 092H, OFFH
 DFB 054H, OFEH, 0EEH, OFFH, 04CH, OFFH, 0A4H, OFFH, 05DH, OFEH
 DFB 0DCH, OFFH, 046H, OFFH, 0B7H, OFFH, 061H, OFEH, 0C9H, OFFH
 DFB 044H, OFFH, 0C9H, OFFH, 061H, OFEH, 0B7H, OFFH, 046H, OFFH
 DFB 0DCH, OFFH, 05DH, OFEH, 0A4H, OFFH, 04CH, OFFH, 0EEH, OFFH
 DFB 054H, OFEH, 092H, OFFH, 057H, OFFH, 047H, OFEH, OFBH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F23: DFB 078H, OFFH, OFAH, OFFH, 057H, OFEH, 057H, OFFH, 092H, OFFH
 DFB 063H, OFEH, 0EEH, OFFH, 04CH, OFFH, 0A4H, OFFH, 06CH, OFEH
 DFB 0DCH, OFFH, 046H, OFFH, 0B6H, OFFH, 071H, OFEH, 0C9H, OFFH
 DFB 044H, OFFH, 0C9H, OFFH, 071H, OFEH, 0B6H, OFFH, 046H, OFFH
 DFB 0DCH, OFFH, 06CH, OFEH, 0A4H, OFFH, 04CH, OFFH, 0EEH, OFFH
 DFB 063H, OFEH, 092H, OFFH, 057H, OFFH, 057H, OFEH, OFAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F23_5: DFB 078H, OFFH, OFAH, OFFH, 066H, OFEH, 057H, OFFH, 092H, OFFH
 DFB 073H, OFEH, OEEH, OFFH, 04CH, OFFH, 0A4H, OFFH, 07CH, OFEH
 DFB 0DBH, OFFH, 046H, OFFH, 0B6H, OFFH, 080H, OFEH, 0C9H, OFFH
 DFB 045H, OFFH, 0C9H, OFFH, 080H, OFEH, 0B6H, OFFH, 046H, OFFH
 DFB 0DBH, OFFH, 07CH, OFEH, 0A4H, OFFH, 04CH, OFFH, OEEH, OFFH
 DFB 073H, OFEH, 092H, OFFH, 057H, OFFH, 066H, OFEH, OFAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F24: DFB 078H, OFFH, OFAH, OFFH, 074H, OFEH, 057H, OFFH, 092H, OFFH
 DFB 081H, OFEH, OEEH, OFFH, 04DH, OFFH, 0A4H, OFFH, 0BAH, OFEH
 DFB 0DBH, OFFH, 047H, OFFH, 0B6H, OFFH, 0BFH, OFEH, 0C8H, OFFH
 DFB 045H, OFFH, 0C8H, OFFH, 0BFH, OFEH, 0B6H, OFFH, 047H, OFFH
 DFB 0DBH, OFFH, 0BAH, OFEH, 0A4H, OFFH, 04DH, OFFH, OEEH, OFFH
 DFB 081H, OFEH, 092H, OFFH, 057H, OFFH, 074H, OFEH, OFAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F24_5: DFB 078H, OFFH, OFAH, OFFH, 082H, OFEH, 057H, OFFH, 092H, OFFH
 DFB 0BFH, OFEH, 0EDH, OFFH, 04DH, OFFH, 0A3H, OFFH, 098H, OFEH
 DFB 0DBH, OFFH, 047H, OFFH, 0B5H, OFFH, 09DH, OFEH, 0C8H, OFFH
 DFB 045H, OFFH, 0C8H, OFFH, 09DH, OFEH, 0B5H, OFFH, 47H, OFFH
 DFB 0DBH, OFFH, 098H, OFEH, 0A3H, OFFH, 04DH, OFFH, 0EDH, OFFH
 DFB 8FH, OFEH, 092H, OFFH, 057H, OFFH, 082H, OFEH, OFAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F25: DFB 078H, OFFH, OFAH, OFFH, 0BFH, OFEH, 057H, OFFH, 092H, OFFH
 DFB 09CH, OFEH, 0EDH, OFFH, 04DH, OFFH, 0A3H, OFFH, 0A6H, OFEH
 DFB 0DAH, OFFH, 047H, OFFH, 0B5H, OFFH, 0AAH, OFEH, 0C7H, OFFH
 DFB 046H, OFFH, 0C7H, OFFH, 0AAH, OFEH, 0B5H, OFFH, 047H, OFFH
 DFB 0DAH, OFFH, 0A6H, OFEH, 0A3H, OFFH, 04DH, OFFH, 0EDH, OFFH
 DFB 09CH, OFEH, 092H, OFFH, 057H, OFFH, 0BFH, OFEH, OFAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F25_5: DFB 078H, OFFH, OFAH, OFFH, 09BH, OFEH, 057H, OFFH, 091H, OFFH
 DFB 0A9H, OFEH, 0EDH, OFFH, 04DH, OFFH, 0A3H, OFFH, 0B2H, OFEH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้อนุญาต หรือผู้ดูแลระบบที่เกี่ยวข้อง

DFB 0DAH, OFFH, 048H, OFFH, 0B4H, OFFH, 0B7H, OFEH, 0C7H, OFFH
 DFB 046H, OFFH, 0C7H, OFFH, 0B7H, OFEH, 0B4H, OFFH, 046H, OFFH
 DFB 0DAH, OFFH, 0B2H, OFEH, 0A3H, OFFH, 04DH, OFFH, 0EDH, OFFH
 DFB 0A9H, OFEH, 091H, OFFH, 057H, OFFH, 098H, OFEH, 0FAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F26: DFB 078H, OFFH, 0FAH, OFFH, 0A7H, OFEH, 057H, OFFH, 091H, OFFH
 DFB 0B5H, OFEH, 0EDH, OFFH, 04EH, OFFH, 0A2H, OFFH, 0BFH, OFEH
 DFB 0DAH, OFFH, 049H, OFFH, 0B4H, OFFH, 0C4H, OFEH, 0C7H, OFFH
 DFB 046H, OFFH, 0C7H, OFFH, 0C4H, OFEH, 0B4H, OFFH, 048H, OFFH
 DFB 0DAH, OFFH, 0BFH, OFEH, 0A2H, OFFH, 04EH, OFFH, 0EDH, OFFH
 DFB 0B5H, OFEH, 091H, OFFH, 057H, OFFH, 0A7H, OFEH, 0FAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F26_5: DFB 078H, OFFH, 0FAH, OFFH, 0B3H, OFEH, 057H, OFFH, 091H, OFFH
 DFB 0C1H, OFEH, 0EDH, OFFH, 04EH, OFFH, 0A2H, OFFH, 0CBH, OFEH
 DFB 0D9H, OFFH, 049H, OFFH, 0B4H, OFFH, 0D0H, OFEH, 0C6H, OFFH
 DFB 047H, OFFH, 0C6H, OFFH, 0D0H, OFEH, 0B4H, OFFH, 049H, OFFH
 DFB 0D9H, OFFH, 0CBH, OFEH, 0A2H, OFFH, 04EH, OFFH, 0EDH, OFFH
 DFB 0C1H, OFEH, 091H, OFFH, 057H, OFFH, 0B3H, OFEH, 0FAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F27: DFB 079H, OFFH, 0FAH, OFFH, 0BEH, OFEH, 057H, OFFH, 091H, OFFH
 DFB 0CDH, OFEH, 0ECH, OFFH, 04EH, OFFH, 0A2H, OFFH, 0D7H, OFEH
 DFB 0D9H, OFFH, 049H, OFFH, 0B3H, OFFH, 0DCH, OFEH, 0C6H, OFFH
 DFB 047H, OFFH, 0C6H, OFFH, 0DCH, OFEH, 0B3H, OFFH, 049H, OFFH
 DFB 0D9H, OFFH, 0D7H, OFEH, 0A2H, OFFH, 04EH, OFFH, 0ECH, OFFH
 DFB 0CDH, OFEH, 091H, OFFH, 057H, OFFH, 0BEH, OFEH, 0FAH, OFFH
 DFB 079H, OFFH, 00H

F27_5: DFB 079H, OFFH, 0FAH, OFFH, 0C9H, OFEH, 058H, OFFH, 091H, OFFH
 DFB 0D8H, OFEH, 0ECH, OFFH, 04EH, OFFH, 0A1H, OFFH, 0E2H, OFEH
 DFB 0B9H, OFFH, 049H, OFFH, 0B3H, OFFH, 0E7H, OFEH, 0C5H, OFFH
 DFB 048H, OFFH, 0C5H, OFFH, 0E7H, OFEH, 0B3H, OFFH, 049H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0D9H, OFFH, 0E2H, OFEH, 0A1H, OFFH, 04EH, OFFH, 0ECH, OFFH
 DFB 0D8H, OFEH, 091H, OFFH, 058H, OFFH, 0C9H, OFEH, 0FAH, OFFH
 DFB 079H, OFFH, 00H

F28: DFB 079H, OFFH, 0FAH, OFFH, 0B4H, OFEH, 058H, OFFH, 090H, OFFH
 DFB 0E2H, OFEH, 0ECH, OFFH, 04FH, OFFH, 0A1H, OFFH, 0EDH, OFEH
 DFB 0D8H, OFFH, 04AH, OFFH, 0B2H, OFFH, 0F2H, OFEH, 0C5H, OFFH
 DFB 048H, OFFH, 0C5H, OFFH, 0F2H, OFEH, 0B2H, OFFH, 04AH, OFFH
 DFB 0D8H, OFFH, 0EDH, OFEH, 0A1H, OFFH, 04FH, OFFH, 0ECH, OFFH
 DFB 0E2H, OFEH, 090H, OFFH, 058H, OFFH, 0B4H, OFEH, 0FAH, OFFH
 DFB 079H, OFFH, 00H

F28_5: DFB 067H, OFFH, 0F7H, OFFH, 0B3H, OFEH, 03BH, OFFH, 0B5H, OFFH
 DFB 0C7H, OFEH, 0E5H, OFFH, 032H, OFFH, 09AH, OFFH, 0D3H, OFEH
 DFB 0CAH, OFFH, 02DH, OFFH, 0B1H, OFFH, 0D7H, OFEH, 0B1H, OFFH
 DFB 02DH, OFFH, 0CAH, OFFH, 0D3H, OFEH, 09AH, OFFH, 032H, OFFH
 DFB 0E5H, OFFH, 0C7H, OFEH, 0B5H, OFFH, 03BH, OFFH, 0B3H, OFEH
 DFB 0F7H, OFFH, 067H, OFFH, 00H

F29: DFB 04FH, OFFH, 0F3H, OFFH, 0B7H, OFEH, 014H, OFFH, 078H, OFFH
 DFB 0A2H, OFEH, 0D9H, OFFH, 00AH, OFFH, 095H, OFFH, 0B0H, OFEH
 DFB 0B5H, OFFH, 006H, OFFH, 0B5H, OFFH, 0B0H, OFEH, 095H, OFFH
 DFB 00AH, OFFH, 0D9H, OFFH, 0A2H, OFEH, 078H, OFFH, 014H, OFFH
 DFB 0B7H, OFEH, 0F3H, OFFH, 04FH, OFFH, 00H

F29_5: DFB 04FH, OFFH, 0F3H, OFFH, 094H, OFEH, 014H, OFFH, 077H, OFFH
 DFB 0AFH, OFEH, 0D9H, OFFH, 00AH, OFFH, 094H, OFFH, 0BDH, OFEH
 DFB 0B5H, OFFH, 007H, OFFH, 0B5H, OFFH, 0BDH, OFEH, 094H, OFFH
 DFB 00AH, OFFH, 0D9H, OFFH, 0AFH, OFEH, 077H, OFFH, 014H, OFFH
 DFB 094H, OFEH, 0F3H, OFFH, 04FH, OFFH, 00H

F30: DFB 04FH, OFFH, 0F3H, OFFH, 0A0H, OFEH, 015H, OFFH, 077H, OFFH
 DFB 0BCH, OFEH, 0D8H, OFFH, 00BH, OFFH, 093H, OFFH, 0CAH, OFEH
 DFB 0B4H, OFFH, 007H, OFFH, 0B4H, OFFH, 0CAH, OFEH, 093H, OFFH
 DFB 00BH, OFFH, 0D8H, OFFH, 0BCH, OFEH, 077H, OFFH, 015H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0A0H, OFEH, OF3H, OFFH, 04FH, OFFH, 00H

F30_5: DFB 050H, OFFH, OF3H, OFFH, 0ACH, OFEH, 015H, OFFH, 077H, OFFH
 DFB 0C8H, OFEH, 0D8H, OFFH, 00DH, OFFH, 093H, OFFH, 0D6H, OFEH
 DFB 0B3H, OFFH, 008H, OFFH, 0B3H, OFFH, 0D6H, OFEH, 093H, OFFH
 DFB 00BH, OFFH, 0D8H, OFFH, 0C8H, OFEH, 077H, OFFH, 015H, OFFH
 DFB 0ACH, OFEH, OF3H, OFFH, 050H, OFFH, 00H

F31: DFB 050H, OFFH, OF2H, OFFH, 0B7H, OFEH, 015H, OFFH, 076H, OFFH
 DFB 0D4H, OFEH, 0D7H, OFFH, 00CH, OFFH, 092H, OFFH, 0E2H, OFEH
 DFB 0B3H, OFFH, 009H, OFFH, 0B3H, OFFH, 0E2H, OFEH, 092H, OFFH
 DFB 00CH, OFFH, 0D7H, OFFH, 0D4H, OFEH, 076H, OFFH, 015H, OFFH
 DFB 0B7H, OFEH, OF2H, OFFH, 050H, OFFH, 00H

F31_5: DFB 050H, OFFH, OF2H, OFFH, 0C2H, OFEH, 015H, OFFH, 076H, OFFH
 DFB 0DFH, OFEH, 0D7H, OFFH, 004H, OFFH, 091H, OFFH, 0EEH, OFEH
 DFB 0B2H, OFFH, 009H, OFFH, 0B2H, OFFH, 0EEH, OFEH, 091H, OFFH
 DFB 00CH, OFFH, 0D7H, OFFH, 0DFH, OFEH, 076H, OFFH, 015H, OFFH
 DFB 0C2H, OFEH, OF2H, OFFH, 050H, OFFH, 00H

F32: DFB 050H, OFFH, OF2H, OFFH, 0CDH, OFEH, 015H, OFFH, 075H, OFFH
 DFB 0EBH, OFEH, 0E6H, OFFH, 00DH, OFFH, 091H, OFFH, 0F9H, OFEH
 DFB 0B1H, OFFH, 00AH, OFFH, 0B1H, OFFH, 0F9H, OFEH, 091H, OFFH
 DFB 00DH, OFFH, 0D6H, OFFH, 0EBH, OFEH, 075H, OFFH, 015H, OFFH
 DFB 0CDH, OFEH, OF2H, OFFH, 050H, OFFH, 00H

F32_5: DFB 050H, OFFH, OF2H, OFFH, 0D7H, OFEH, 016H, OFFH, 075H, OFFH
 DFB 0F5H, OFEH, 0D6H, OFFH, 00DH, OFFH, 090H, OFFH, 004H, OFFH
 DFB 0B1H, OFFH, 00BH, OFFH, 0B1H, OFFH, 004H, OFFH, 090H, OFFH
 DFB 00DH, OFFH, 0D6H, OFFH, 0F5H, OFEH, 075H, OFFH, 016H, OFFH
 DFB 0D7H, OFEH, OF2H, OFFH, 050H, OFFH, 00H

F33: DFB 050H, OFFH, OF2H, OFFH, 0E1H, OFEH, 016H, OFFH, 074H, OFFH
 DFB 001H, OFFH, 0D5H, OFFH, 00EH, OFFH, 0BFH, OFFH, 00FH, OFFH
 DFB 0B0H, OFFH, 00BH, OFFH, 0B0H, OFFH, 00FH, OFFH, 0BFH, OFFH
 DFB 00EH, OFFH, 0D5H, OFFH, 001H, OFFH, 074H, OFFH, 016H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0E1H, 0FEH, 0F2H, 0FFH, 050H, 0FFH, 00H

F33_5: DFB 050H, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 0EBH, 0FEH, 016H, 0FFH, 074H, 0FFH
 DFB 00AH, 0FFH, 0B5H, 0FFH, 00FH, 0FFH, 08EH, 0FFH, 019H, 0FFH
 DFB 0AFH, 0FFH, 00CH, 0FFH, 0AFH, 0FFH, 019H, 0FFH, 08EH, 0FFH
 DFB 00FH, 0FFH, 0D5H, 0FFH, 00AH, 0FFH, 074H, 0FFH, 016H, 0FFH
 DFB 0EBH, 0FEH, 0F1H, 0FFH, 050H, 0FFH, 00H

F34: DFB 050H, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 0F4H, 0FEH, 016H, 0FFH, 073H, 0FFH
 DFB 014H, 0FFH, 0D4H, 0FFH, 00FH, 0FFH, 0BEH, 0FFH, 023H, 0FFH
 DFB 0AEH, 0FFH, 00DH, 0FFH, 0AEH, 0FFH, 023H, 0FFH, 08EH, 0FFH
 DFB 00FH, 0FFH, 0D4H, 0FFH, 014H, 0FFH, 073H, 0FFH, 016H, 0FFH
 DFB 0F4H, 0FEH, 0F1H, 0FFH, 050H, 0FFH, 00H

F34_5: DFB 050H, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 0FDH, 0FEH, 017H, 0FFH, 073H, 0FFH
 DFB 01EH, 0FFH, 0D3H, 0FFH, 010H, 0FFH, 0BDH, 0FFH, 02DH, 0FFH
 DFB 0AEH, 0FFH, 00EH, 0FFH, 0AEH, 0FFH, 02DH, 0FFH, 0BDH, 0FFH
 DFB 010H, 0FFH, 0D3H, 0FFH, 01EH, 0FFH, 073H, 0FFH, 017H, 0FFH
 DFB 0FDH, 0FEH, 0F1H, 0FFH, 050H, 0FFH, 00H

F35: DFB 053H, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 001H, 0FFH, 01AH, 0FFH, 075H, 0FFH
 DFB 021H, 0FFH, 0D4H, 0FFH, 013H, 0FFH, 08EH, 0FFH, 030H, 0FFH
 DFB 0AFH, 0FFH, 011H, 0FFH, 0AFH, 0FFH, 030H, 0FFH, 08EH, 0FFH
 DFB 013H, 0FFH, 0D4H, 0FFH, 021H, 0FFH, 075H, 0FFH, 01AH, 0FFH
 DFB 001H, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 053H, 0FFH, 00H

F35_5: DFB 053H, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 00AH, 0FFH, 01AH, 0FFH, 074H, 0FFH
 DFB 02BH, 0FFH, 0D4H, 0FFH, 014H, 0FFH, 08EH, 0FFH, 03AH, 0FFH
 DFB 0AEH, 0FFH, 012H, 0FFH, 0AEH, 0FFH, 03AH, 0FFH, 08EH, 0FFH
 DFB 014H, 0FFH, 0D4H, 0FFH, 02BH, 0FFH, 074H, 0FFH, 01AH, 0FFH
 DFB 00AH, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 053H, 0FFH, 00H

F36: DFB 053H, 0FFH, 0F1H, 0FFH, 012H, 0FFH, 01BH, 0FFH, 074H, 0FFH
 DFB 034H, 0FFH, 0D3H, 0FFH, 015H, 0FFH, 0BDH, 0FFH, 043H, 0FFH
 DFB 0ADH, 0FFH, 013H, 0FFH, 0ADH, 0FFH, 043H, 0FFH, 0BDH, 0FFH
 DFB 015H, 0FFH, 0D3H, 0FFH, 034H, 0FFH, 074H, 0FFH, 01BH, 0FFH

DFB 012H, OFFH, OF1H, OFFH, 053H, OFFH, 00H

F36_5: DFB 053H, OFFH, OF0H, OFFH, 01BH, OFFH, 01BH, OFFH, 073H, OFFH
 DFB 03DH, OFFH, OD2H, OFFH, 015H, OFFH, 08CH, OFFH, 04CH, OFFH
 DFB 0ACH, OFFH, 014H, OFFH, 0ACH, OFFH, 04CH, OFFH, 08CH, OFFH
 DFB 015H, OFFH, OD2H, OFEH, 03DH, OFFH, 073H, OFFH, 01BH, OFFH
 DFB 01BH, OFFH, OF0H, OFFH, 053H, OFFH, 00H

F37: DFB 053H, OFFH, OF0H, OFFH, 023H, OFFH, 01BH, OFFH, 072H, OFFH
 DFB 045H, OFFH, OD2H, OFFH, 016H, OFFH, 08BH, OFFH, 055H, OFFH
 DFB 0ABH, OFFH, 014H, OFFH, 0ABH, OFFH, 055H, OFFH, 08BH, OFFH
 DFB 016H, OFFH, OD2H, OFFH, 045H, OFFH, 072H, OFFH, 01BH, OFFH
 DFB 023H, OFFH, OF0H, OFFH, 053H, OFFH, 00H

F37_5: DFB 034H, OFFH, OE8H, OFFH, OFEH, OFEH, OE4H, OFEH, 061H
 DFB OFFH, 02EH, OFFH, 0BCH, OFFH, OE0H, OFEH, 087H, OFFH
 DFB 03DH, OFFH, 087H, OFFH, OE0H, OFEH, 0BCH, OFFH, 02EH
 DFB OFFH, 061H, OFFH, OE4H, OFEH, OFEH, OFEH, OE8H, OFFH
 DFB 034H, OFFH, 00H

F38: DFB 035H, OFFH, OE7H, OFFH, 007H, OFFH, OE5H, OFEH, 060H
 DFB OFFH, 038H, OFFH, 0BBH, OFFH, OE1H, OFEH, 086H, OFFH
 DFB 047H, OFFH, 086H, OFFH, OE1H, OFEH, 0BBH, OFFH, 038H
 DFB OFFH, 060H, OFFH, OE5H, OFEH, 007H, OFFH, OE7H, OFFH
 DFB 035H, OFFH, 00H

F38_5: DFB 035H, OFFH, OE7H, OFFH, 010H, OFFH, OE5H, OFEH, 05FH
 DFB OFFH, 042H, OFFH, 0BAH, OFFH, OE2H, OFEH, 085H, OFFH
 DFB 051H, OFFH, 085H, OFFH, OE2H, OFEH, 0BAH, OFFH, 042H
 DFB OFFH, 05FH, OFFH, OE5H, OFEH, 010H, OFFH, OE7H, OFFH
 DFB 035H, OFFH, 00H

F39: DFB 035H, OFFH, OE6H, OFFH, 018H, OFFH, OE6H, OFEH, 05EH
 DFB OFFH, 04BH, OFFH, 0B9H, OFFH, OE3H, OFEH, 083H, OFFH
 DFB 05BH, OFFH, 083H, OFFH, OE3H, OFEH, 0B9H, OFFH, 04BH
 DFB OFFH, 05EH, OFFH, OE6H, OFEH, 018H, OFFH, OE6H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 035H,0FFH,00H

F39_5: DFB 035H,0FFH,0E6H,0FFH,021H,0FFH,0E6H,0FEH,05DH
 DFB 0FFH,055H,0FFH,0B6H,0FFH,0E4H,0FEH,082H,0FFH
 DFB 065H,0FFH,082H,0FFH,0E4H,0FEH,0B9H,0FFH,055H
 DFB 0FFH,05DH,0FFH,0E6H,0FEH,021H,0FFH,0E6H,0FFH
 DFB 035H,0FFH,00H

F40: DFB 035H,0FFH,0E6H,0FFH,029H,0FFH,0E7H,0FEH,05CH
 DFB 0FFH,05EH,0FFH,0B7H,0FFH,0E6H,0FEH,0B1H,0FFH
 DFB 06EH,0FFH,0B1H,0FFH,0E6H,0FEH,0B7H,0FFH,05EH
 DFB 0FFH,05CH,0FFH,0E7H,0FEH,029H,0FFH,0E6H,0FFH
 DFB 035H,0FFH,00H

F40_5: DFB 035H,0FFH,0E5H,0FFH,031H,0FFH,0E7H,0FEH,05BH
 DFB 0FFH,067H,0FFH,0B5H,0FFH,0E7H,0FEH,07FH,0FFH
 DFB 078H,0FFH,07FH,0FFH,0E7H,0FEH,0B5H,0FFH,067H
 DFB 0FFH,05BH,0FFH,0E7H,0FEH,031H,0FFH,0E5H,0FFH
 DFB 035H,0FFH,00H

F41: DFB 035H,0FFH,0E5H,0FFH,039H,0FFH,0E8H,0FEH,05AH
 DFB 0FFH,070H,0FFH,0B4H,0FFH,0E8H,0FEH,07EH,0FFH
 DFB 091H,0FFH,07EH,0FFH,0E8H,0FEH,0B4H,0FFH,070H
 DFB 0FFH,03AH,0FFH,0E8H,0FEH,039H,0FFH,0E5H,0FFH
 DFB 035H,0FFH,00H

F41_5: DFB 035H,0FFH,0E4H,0FFH,041H,0FFH,0E9H,0FEH,058H
 DFB 0FFH,079H,0FFH,0B3H,0FFH,0EAH,0FEH,07CH,0FFH
 DFB 0BAH,0FFH,07CH,0FFH,0EAH,0FEH,0B3H,0FFH,079H
 DFB 0FFH,058H,0FFH,0E9H,0FEH,041H,0FFH,0E4H,0FFH
 DFB 035H,0FFH,00H

F42: DFB 035H,0FFH,0E4H,0FFH,048H,0FFH,0EAH,0FEH,057H
 DFB 0FFH,0B2H,0FFH,0B2H,0FFH,0EBH,0FEH,07BH,0FFH
 DFB 093H,0FFH,07BH,0FFH,0EBH,0FEH,0B2H,0FFH,0B2H
 DFB 0FFH,057H,0FFH,0EAH,0FEH,048H,0FFH,0E4H,0FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 035H,OFFH,00H

F42_5: DFB 035H,OFFH,0E3H,OFFH,050H,OFFH,0EAH,0FEH,056H
 DFB OFFH,08BH,OFFH,0B0H,OFFH,0ECH,0FEH,079H,OFFH
 DFB 09CH,OFFH,079H,OFFH,0ECH,0FEH,0B0H,OFFH,08BH
 DFB OFFH,056H,OFFH,0EAH,0FEH,050H,OFFH,0E3H,OFFH
 DFB 035H,OFFH,00H

F43: DFB 035H,OFFH,0E3H,OFFH,057H,OFFH,0EBH,0FEH,054H
 DFB OFFH,093H,OFFH,0AFH,OFFH,0EEH,0FEH,077H,OFFH
 DFB 0A5H,OFFH,077H,OFFH,0EEH,0FEH,0AFH,OFFH,093H
 DFB OFFH,054H,OFFH,0EBH,0FEH,057H,OFFH,0E3H,OFFH
 DFB 035H,OFFH,00H

F43_5: DFB 036H,OFFH,0E2H,OFFH,05EH,OFFH,0ECH,0FEH,053H
 DFB OFFH,09CH,OFFH,0AEH,OFFH,0FOH,0FEH,076H,OFFH
 DFB 0ADH,OFFH,076H,OFFH,0FOH,0FEH,0AEH,OFFH,09CH
 DFB OFFH,053H,OFFH,0ECH,0FEH,05EH,OFFH,0E2H,OFFH
 DFB 036H,OFFH,00H

F44: DFB 036H,OFFH,0E2H,OFFH,065H,OFFH,0EDH,0FEH,051H
 DFB OFFH,0A4H,OFFH,0ACH,OFFH,0F1H,0FEH,074H,OFFH
 DFB 0B6H,OFFH,074H,OFFH,0F1H,0FEH,0ACH,OFFH,0A4H
 DFB OFFH,051H,OFFH,0EDH,0FEH,065H,OFFH,0E2H,OFFH
 DFB 036H,OFFH,00H

F44_5: DFB 036H,OFFH,0E1H,OFFH,06BH,OFFH,0EEH,0FEH,050H
 DFB OFFH,0ACH,OFFH,0ABH,OFFH,0F3H,0FEH,072H,OFFH
 DFB 0BFH,OFFH,072H,OFFH,0F3H,0FEH,0ABH,OFFH,0ACH
 DFB OFFH,050H,OFFH,0EEH,0FEH,06BH,OFFH,0E1H,OFFH
 DFB 036H,OFFH,00H

F45: DFB 036H,OFFH,0E1H,OFFH,072H,OFFH,0EFH,0FEH,04EH
 DFB OFFH,0B4H,OFFH,0A9H,OFFH,0F5H,0FEH,070H,OFFH
 DFB 0C7H,OFFH,070H,OFFH,0F5H,0FEH,0A9H,OFFH,0B4H
 DFB OFFH,04EH,OFFH,0EFH,0FEH,072H,OFFH,0E1H,OFFH

DFB 036H,0FFH,00H

F45_5: DFB 036H,0FFH,0E0H,0FFH,078H,0FFH,0F0H,0FEH,04CH
DFB 0FFH,0BCH,0FFH,0A7H,0FFH,0F7H,0FEH,06EH,0FFH
DFB 0CFH,0FFH,06EH,0FFH,0F7H,0FEH,0A7H,0FFH,0BCH
DFB 0FFH,04CH,0FFH,0F0H,0FEH,078H,0FFH,0E0H,0FFH
DFB 036H,0FFH,00H

F46: DFB 036H,0FFH,0DFH,0FFH,07FH,0FFH,0F1H,0FEH,04AH
DFB 0FFH,0C4H,0FFH,0A5H,0FFH,0F9H,0FEH,06BH,0FFH
DFB 0D8H,0FFH,06BH,0FFH,0F9H,0FEH,0A5H,0FFH,0C4H
DFB 0FFH,04AH,0FFH,0F1H,0FEH,07FH,0FFH,0DFH,0FFH
DFB 036H,0FFH,00H

F46_5: DFB 036H,0FFH,0DFH,0FFH,085H,0FFH,0F2H,0FEH,049H
DFB 0FFH,0CCH,0FFH,0A3H,0FFH,0FBH,0FEH,069H,0FFH
DFB 0E0H,0FFH,069H,0FFH,0FBH,0FEH,0A3H,0FFH,0CCH
DFB 0FFH,049H,0FFH,0F2H,0FEH,085H,0FFH,0DFH,0FFH
DFB 036H,0FFH,00H

F47: DFB 036H,0FFH,0DEH,0FFH,08BH,0FFH,0F3H,0FEH,046H
DFB 0FFH,0D4H,0FFH,0A1H,0FFH,0FEH,0FEH,067H,0FFH
DFB 0E8H,0FFH,067H,0FFH,0FEH,0FEH,0A1H,0FFH,0D4H
DFB 0FFH,046H,0FFH,0F3H,0FEH,08BH,0FFH,0DEH,0FFH
DFB 036H,0FFH,00H

F47_5: DFB 037H,0FFH,0DDH,0FFH,091H,0FFH,0F5H,0FEH,044H
DFB 0FFH,0DCH,0FFH,09FH,0FFH,001H,0FFH,064H,0FFH
DFB 0F1H,0FFH,064H,0FFH,001H,0FFH,09FH,0FFH,0DCH
DFB 0FFH,044H,0FFH,0F5H,0FEH,091H,0FFH,0DDH,0FFH
DFB 037H,0FFH,00H

F48: DFB 037H,0FFH,0DCH,0FFH,097H,0FFH,0F6H,0FEH,042H
DFB 0FFH,0E4H,0FFH,09DH,0FFH,003H,0FFH,061H,0FFH
DFB 0F9H,0FFH,061H,0FFH,003H,0FFH,09DH,0FFH,0E4H
DFB 0FFH,042H,0FFH,0F6H,0FEH,097H,0FFH,0DCH,0FFH

DFB 037H,0FFH,00H

F48_5: DFB 00EH,0FFH,0C5H,0FFH,07FH,0FFH,0A9H,0FEH,024H
 DFB 0FFH,0EEH,0FFH,069H,0FFH,0BAH,0FEH,069H,0FFH
 DFB 0EEH,0FFH,024H,0FFH,0A9H,0FEH,07FH,0FFH,0C5H
 DFB 0FFH,00EH,0FFH,00H

F49: DFB 00EH,0FFH,0C3H,0FFH,086H,0FFH,0ABH,0FEH,021H
 DFB 0FFH,0F8H,0FFH,066H,0FFH,0BEH,0FEH,066H,0FFH
 DFB 0F8H,0FFH,021H,0FFH,0ABH,0FEH,086H,0FFH,0C3H
 DFB 0FFH,00EH,0FFH,00H

F49_5: DFB 00EH,0FFH,0C2H,0FFH,08DH,0FFH,0AEH,0FEH,020H
 DFB 0FFH,0FDH,0FFH,065H,0FFH,0C2H,0FEH,065H,0FFH
 DFB 0FDH,0FFH,020H,0FFH,0AEH,0FEH,08DH,0FFH,0C2H
 DFB 0FFH,00EH,0FFH,00H

F50: DFB 015H,0FFH,0C0H,0FFH,09DH,0FFH,0BDH,0FEH,032H
 DFB 0FFH,0E9H,0FFH,076H,0FFH,0D4H,0FEH,076H,0FFH
 DFB 0E9H,0FFH,032H,0FFH,0BDH,0FEH,09DH,0FFH,0C0H
 DFB 0FFH,015H,0FFH,00H

F50_5: DFB 018H,0FFH,0C1H,0FFH,09EH,0FFH,0C0H,0FEH,034H
 DFB 0FFH,0E9H,0FFH,077H,0FFH,0D7H,0FEH,077H,0FFH
 DFB 0E9H,0FFH,034H,0FFH,0C0H,0FEH,09EH,0FFH,0C1H
 DFB 0FFH,018H,0FFH,00H

F51: DFB 01AH,0FFH,0C1H,0FFH,09FH,0FFH,0C3H,0FEH,036H
 DFB 0FFH,0E9H,0FFH,078H,0FFH,0DAH,0FEH,078H,0FFH
 DFB 0E9H,0FFH,036H,0FFH,0C3H,0FEH,09FH,0FFH,0C1H
 DFB 0FFH,01AH,0FFH,00H

F51_5: DFB 01CH,0FFH,0C2H,0FFH,0A0H,0FFH,0C6H,0FEH,038H
 DFB 0FFH,0E9H,0FFH,07AH,0FFH,0DDH,0FEH,07AH,0FFH
 DFB 0E9H,0FFH,038H,0FFH,0C6H,0FEH,0A0H,0FFH,0C2H
 DFB 0FFH,01CH,0FFH,00H

F52: DFB 01EH,0FFH,0C3H,0FFH,0A1H,0FFH,0C9H,0FEH,03AH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB OFFH,0E9H,OFFH,07BH,OFFH,0E0H,0FEH,07BH,OFFH
DFB 0E9H,OFFH,03AH,OFFH,0C9H,0FEH,0A1H,OFFH,0C3H
DFB OFFH,01EH,OFFH,00H

F52_5: DFB 021H,OFFH,0C3H,OFFH,0A2H,OFFH,0CCH,0FEH,03CH
DFB OFFH,0EAH,OFFH,07CH,OFFH,0E2H,0FEH,07CH,OFFH
DFB 0EAH,OFFH,03CH,OFFH,0CCH,0FEH,0A2H,OFFH,0C3H
DFB OFFH,021H,OFFH,00H

F53: DFB 023H,OFFH,0C4H,OFFH,0A3H,OFFH,0CFH,0FEH,03EH
DFB OFFH,0EAH,OFFH,07DH,OFFH,0E5H,0FEH,07DH,OFFH
DFB 0EAH,OFFH,03EH,OFFH,0CFH,0FEH,0A3H,OFFH,0C4H
DFB OFFH,023H,OFFH,00H

F53_5: DFB 025H,OFFH,0C4H,OFFH,0A4H,OFFH,0D2H,0FEH,040H
DFB OFFH,0EAH,OFFH,07FH,OFFH,0E8H,0FEH,07FH,OFFH
DFB 0EAH,OFFH,040H,OFFH,0D2H,0FEH,0A4H,OFFH,0C4H
DFB OFFH,025H,OFFH,00H

F54: DFB 027H,OFFH,0C5H,OFFH,0A4H,OFFH,0D5H,0FEH,041H
DFB OFFH,0EAH,OFFH,080H,OFFH,0EAH,0FEH,080H,OFFH
DFB 0EAH,OFFH,041H,OFFH,0D5H,0FEH,0A4H,OFFH,0C5H
DFB OFFH,027H,OFFH,00H

F54_5: DFB 029H,OFFH,0C5H,OFFH,0A5H,OFFH,0D7H,0FEH,043H
DFB OFFH,0EAH,OFFH,081H,OFFH,0EDH,0FEH,081H,OFFH
DFB 0EAH,OFFH,043H,OFFH,0D7H,0FEH,0A5H,OFFH,0C5H
DFB OFFH,029H,OFFH,00H

F55: DFB 032H,OFFH,0C8H,OFFH,0A9H,OFFH,0E5H,0FEH,04BH
DFB OFFH,0EBH,OFFH,087H,OFFH,0F9H,0FEH,087H,OFFH
DFB 0EBH,OFFH,04BH,OFFH,0E5H,0FEH,0A9H,OFFH,0C8H
DFB OFFH,032H,OFFH,00H

F55_5: DFB 035H,OFFH,0C9H,OFFH,0AAH,OFFH,0E8H,0FEH,04EH
DFB OFFH,0ECH,OFFH,088H,OFFH,0FCH,0FEH,088H,OFFH
DFB 0ECH,OFFH,04EH,OFFH,0E8H,0FEH,0AAH,OFFH,0C9H

DFB 0FFH,035H,0FFH,00H

F56: DFB 037H,0FFH,0C9H,0FFH,0ABH,0FFH,0ECH,0FEH,050H
 DFB 0FFH,0ECH,0FFH,08AH,0FFH,001H,0FFH,08AH,0FFH
 DFB 0ECH,0FFH,050H,0FFH,0ECH,0FEH,0ABH,0FFH,0C9H
 DFB 0FFH,037H,0FFH,00H

F56_5: DFB 03AH,0FFH,0CAH,0FFH,0ACH,0FFH,0EFH,0FEH,052H
 DFB 0FFH,0ECH,0FFH,08BH,0FFH,003H,0FFH,08BH,0FFH
 DFB 0ECH,0FFH,052H,0FFH,0EFH,0FEH,0ACH,0FFH,0CAH
 DFB 0FFH,03AH,0FFH,00H

F57: DFB 03CH,0FFH,0CBH,0FFH,0ADH,0FFH,0F2H,0FEH,054H
 DFB 0FFH,0ECH,0FFH,08CH,0FFH,006H,0FFH,08CH,0FFH
 DFB 0ECH,0FFH,054H,0FFH,0F2H,0FEH,0ADH,0FFH,0CBH
 DFB 0FFH,03CH,0FFH,00H

F57_5: DFB 03FH,0FFH,0CBH,0FFH,0AEH,0FFH,0F6H,0FEH,056H
 DFB 0FFH,0EDH,0FFH,0BEH,0FFH,009H,0FFH,0BEH,0FFH
 DFB 0EDH,0FFH,056H,0FFH,0F6H,0FEH,0AEH,0FFH,0CBH
 DFB 0FFH,03FH,0FFH,00H

F58: DFB 041H,0FFH,0CCH,0FFH,0AFH,0FFH,0F9H,0FEH,058H
 DFB 0FFH,0EDH,0FFH,0BFH,0FFH,00CH,0FFH,0BFH,0FFH
 DFB 0EDH,0FFH,058H,0FFH,0F9H,0FEH,0AFH,0FFH,0CCH
 DFB 0FFH,041H,0FFH,00H

F58_5: DFB 043H,0FFH,0CDH,0FFH,0BOH,0FFH,0FCH,0FEH,05AH
 DFB 0FFH,0EDH,0FFH,091H,0FFH,00FH,0FFH,091H,0FFH
 DFB 0EDH,0FFH,05AH,0FFH,0FCH,0FEH,0BOH,0FFH,0CDH
 DFB 0FFH,043H,0FFH,00H

F59: DFB 045H,0FFH,0CDH,0FFH,0B1H,0FFH,0FFH,0FEH,05CH
 DFB 0FFH,0EDH,0FFH,092H,0FFH,012H,0FFH,092H,0FFH
 DFB 0EDH,0FFH,05CH,0FFH,0FFH,0FEH,0B1H,0FFH,0CDH
 DFB 0FFH,045H,0FFH,00H

F59_5: DFB 048H,0FFH,0CEH,0FFH,0B2H,0FFH,002H,0FFH,05EH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0FFH, 0EDH, 0FFH, 093H, 0FFH, 014H, 0FFH, 093H, 0FFH

DFB 0EDH, 0FFH, 05EH, 0FFH, 002H, 0FFH, 0B2H, 0FFH, 0CEH

DFB 0FFH, 048H, 0FFH, 00H

F60: DFB 04AH, 0FFH, 0CEH, 0FFH, 0B3H, 0FFH, 005H, 0FFH, 060H

DFB 0FFH, 0EEH, 0FFH, 094H, 0FFH, 017H, 0FFH, 094H, 0FFH

DFB 0EEH, 0FFH, 060H, 0FFH, 005H, 0FFH, 0B3H, 0FFH, 0CEH

DFB 0FFH, 04AH, 0FFH, 00H

F60_5: DFB 04CH, 0FFH, 0CFH, 0FFH, 0B4H, 0FFH, 006H, 0FFH, 062H

DFB 0FFH, 0EEH, 0FFH, 096H, 0FFH, 01AH, 0FFH, 096H, 0FFH

DFB 0EEH, 0FFH, 062H, 0FFH, 008H, 0FFH, 0B4H, 0FFH, 0CFH

DFB 0FFH, 04CH, 0FFH, 00H

F61: DFB 04EH, 0FFH, 0CFH, 0FFH, 0B5H, 0FFH, 00BH, 0FFH, 064H

DFB 0FFH, 0EEH, 0FFH, 097H, 0FFH, 01DH, 0FFH, 097H, 0FFH

DFB 0EEH, 0FFH, 064H, 0FFH, 00BH, 0FFH, 0B5H, 0FFH, 0CFH

DFB 0FFH, 04EH, 0FFH, 00H

F61_5: DFB 04FH, 0FFH, 0D0H, 0FFH, 0B5H, 0FFH, 00CH, 0FFH, 065H

DFB 0FFH, 0EEH, 0FFH, 097H, 0FFH, 01EH, 0FFH, 097H, 0FFH

DFB 0EEH, 0FFH, 065H, 0FFH, 00CH, 0FFH, 0B5H, 0FFH, 0D0H

DFB 0FFH, 04FH, 0FFH, 00H

F62: DFB 051H, 0FFH, 0D0H, 0FFH, 0B6H, 0FFH, 00FH, 0FFH, 066H

DFB 0FFH, 0EEH, 0FFH, 099H, 0FFH, 020H, 0FFH, 099H, 0FFH

DFB 0EEH, 0FFH, 066H, 0FFH, 00FH, 0FFH, 0B6H, 0FFH, 0D0H

DFB 0FFH, 051H, 0FFH, 00H

F62_5: DFB 053H, 0FFH, 0D1H, 0FFH, 0B7H, 0FFH, 012H, 0FFH, 069H

DFB 0FFH, 0EFH, 0FFH, 09AH, 0FFH, 024H, 0FFH, 09AH, 0FFH

DFB 0EFH, 0FFH, 069H, 0FFH, 012H, 0FFH, 0B7H, 0FFH, 0D1H

DFB 0FFH, 053H, 0FFH, 00H

F63: DFB 056H, 0FFH, 0D2H, 0FFH, 0B8H, 0FFH, 016H, 0FFH, 06BH

DFB 0FFH, 0EFH, 0FFH, 09CH, 0FFH, 027H, 0FFH, 09CH, 0FFH

DFB 0EFH, 0FFH, 06BH, 0FFH, 016H, 0FFH, 0B8H, 0FFH, 0D2H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 0FFH,056H,0FFH,00H

F63_5: DFB 00FH,0FFH,0A1H,0FFH,8BH,0FFH,0B4H,0FEH,47H,0FFH

DFB 0F4H,0FFH,47H,0FFH,0B4H,0FEH,8BH,0FFH,0A1H,0FFH

DFB 00FH,0FFH,00H

F64: DFB 012H,0FFH,0A2H,0FFH,8DH,0FFH,0B8H,0FEH,49H,0FFH

DFB 0F4H,0FFH,49H,0FFH,0B8H,0FEH,8DH,0FFH,0A2H,0FFH

DFB 012H,0FFH,00H

F64_5: DFB 015H,0FFH,0A3H,0FFH,8EH,0FFH,0BDH,0FEH,4BH,0FFH

DFB 0F4H,0FFH,4BH,0FFH,0BDH,0FEH,8EH,0FFH,0A3H,0FFH

DFB 015H,0FFH,00H

F65: DFB 018H,0FFH,0A4H,0FFH,8FH,0FFH,91H,0FEH,4DH,0FFH

DFB 0F4H,0FFH,4DH,0FFH,91H,0FEH,8FH,0FFH,0A4H,0FFH

DFB 018H,0FFH,00H

F65_5: DFB 01AH,0FFH,0A5H,0FFH,90H,0FFH,95H,0FEH,4FH,0FFH

DFB 0F4H,0FFH,4FH,0FFH,95H,0FEH,90H,0FFH,0A5H,0FFH

DFB 01AH,0FFH,00H

F66: DFB 01DH,0FFH,0A6H,0FFH,92H,0FFH,99H,0FEH,51H,0FFH

DFB 0F4H,0FFH,51H,0FFH,99H,0FEH,92H,0FFH,0A6H,0FFH

DFB 01DH,0FFH,00H

F66_5: DFB 020H,0FFH,0A7H,0FFH,93H,0FFH,9DH,0FEH,53H,0FFH

DFB 0F5H,0FFH,53H,0FFH,9DH,0FEH,93H,0FFH,0A7H,0FFH

DFB 020H,0FFH,00H

F67: DFB 022H,0FFH,0A8H,0FFH,94H,0FFH,0A1H,0FEH,55H,0FFH

DFB 0F5H,0FFH,55H,0FFH,0A1H,0FEH,94H,0FFH,0A8H,0FFH

DFB 022H,0FFH,00H

F67_5: DFB 024H,0FFH,0A9H,0FFH,95H,0FFH,0A4H,0FEH,56H,0FFH

DFB 0F5H,0FFH,56H,0FFH,0A4H,0FEH,95H,0FFH,0A9H,0FFH

DFB 024H,0FFH,00H

F68: DFB 027H,0FFH,0AAH,0FFH,97H,0FFH,0A9H,0FEH,59H,0FFH

DFB 0F5H,0FFH,59H,0FFH,0A9H,0FEH,97H,0FFH,0AAH,0FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 027H, OFFH, 00H

F68_5: DFB 029H, OFFH, 0ABH, OFFH, 97H, OFFH, 0ABH, OFEH, 5AH, OFFH
 DFB 0F5H, OFFH, 5AH, OFFH, 0ABH, OFEH, 97H, OFFH, 0ABH, OFFH
 DFB 029H, OFFH, 00H

F69: DFB 02CH, OFFH, 0ACH, OFFH, 99H, OFFH, 0BOH, OFEH, 5CH, OFFH
 DFB 0F5H, OFFH, 5CH, OFFH, 0BOH, OFEH, 99H, OFFH, 0ACH, OFFH
 DFB 02CH, OFFH, 00H

F69_5: DFB 02DH, OFFH, 0ADH, OFFH, 9AH, OFFH, 0B3H, OFEH, 5EH, OFFH
 DFB 0F5H, OFFH, 5EH, OFFH, 0B3H, OFEH, 9AH, OFFH, 0ADH, OFFH
 DFB 02DH, OFFH, 00H

F70: DFB 030H, OFFH, 0AEH, OFFH, 09BH, OFFH, 0B8H, OFEH, 060H, OFFH
 DFB 0F5H, OFFH, 60H, OFFH, 0B8H, OFEH, 09BH, OFFH, 0AEH, OFFH
 DFB 030H, OFFH, 00H

F70_5: DFB 032H, OFFH, 0AEH, OFFH, 09CH, OFFH, 0BAH, OFEH, 061H, OFFH
 DFB 0F5H, OFFH, 61H, OFFH, 0BAH, OFEH, 09CH, OFFH, 0AEH, OFFH
 DFB 032H, OFFH, 00H

F71: DFB 035H, OFFH, 0BOH, OFFH, 09DH, OFFH, 0BFH, OFEH, 063H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 63H, OFFH, 0BFH, OFEH, 09DH, OFFH, 0BOH, OFFH
 DFB 035H, OFFH, 00H

F71_5: DFB 036H, OFFH, 0BOH, OFFH, 09EH, OFFH, 0C1H, OFEH, 064H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 64H, OFFH, 0C1H, OFEH, 09EH, OFFH, 0BOH, OFFH
 DFB 036H, OFFH, 00H

F72: DFB 039H, OFFH, 0B1H, OFFH, 09FH, OFFH, 0C5H, OFEH, 067H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 67H, OFFH, 0C5H, OFEH, 09FH, OFFH, 0B1H, OFFH
 DFB 039H, OFFH, 00H

F72_5: DFB 03AH, OFFH, 0B2H, OFFH, 0A0H, OFFH, 0C8H, OFEH, 068H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 68H, OFFH, 0C8H, OFEH, 0A0H, OFFH, 0B2H, OFFH
 DFB 03AH, OFFH, 00H

F73: DFB 03DH, OFFH, 0B3H, OFFH, 0A1H, OFFH, 0CCH, OFEH, 06AH, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 6AH, OFFH, 0CCH, OFEH, 0A1H, OFFH, 0B3H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 03DH, OFFH, 00H

F73_5: DFB 03EH, OFFH, 0B3H, OFFH, 0A2H, OFFH, 0CEH, OFEH, 06BH, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 6BH, OFFH, 0CEH, OFEH, 0A2H, OFFH, 0B3H, OFFH
 DFB 03EH, OFFH, 00H

F74: DFB 041H, OFFH, 0B4H, OFFH, 0A3H, OFFH, 0D2H, OFEH, 06DH, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 6DH, OFFH, 0D2H, OFEH, 0A3H, OFFH, 0B4H, OFFH
 DFB 041H, OFFH, 00H

F74_5: DFB 042H, OFFH, 0B5H, OFFH, 0A4H, OFFH, 0D4H, OFEH, 06EH, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 6EH, OFFH, 0D4H, OFEH, 0A4H, OFFH, 0B5H, OFFH
 DFB 042H, OFFH, 00H

F75: DFB 045H, OFFH, 0B6H, OFFH, 0A5H, OFFH, 0D8H, OFEH, 070H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 70H, OFFH, 0D8H, OFEH, 0A5H, OFFH, 0B6H, OFFH
 DFB 045H, OFFH, 00H

F75_5: DFB 046H, OFFH, 0B7H, OFFH, 0A6H, OFFH, 0DAH, OFEH, 071H, OFFH
 DFB 0F6H, OFFH, 71H, OFFH, 0DAH, OFEH, 0A6H, OFFH, 0B7H, OFFH
 DFB 046H, OFFH, 00H

F76: DFB 049H, OFFH, 0B7H, OFFH, 0A7H, OFFH, 0DEH, OFEH, 073H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 73H, OFFH, 0DEH, OFEH, 0A7H, OFFH, 0B7H, OFFH
 DFB 049H, OFFH, 00H

F76_5: DFB 04AH, OFFH, 0BBH, OFFH, 0ABH, OFFH, 0E0H, OFEH, 074H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 74H, OFFH, 0E0H, OFEH, 0ABH, OFFH, 0B8H, OFFH
 DFB 04AH, OFFH, 00H

F77: DFB 04CH, OFFH, 0B9H, OFFH, 0A9H, OFFH, 0E4H, OFEH, 076H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 76H, OFFH, 0E4H, OFEH, 0A9H, OFFH, 0B9H, OFFH
 DFB 04CH, OFFH, 00H

F77_5: DFB 04EH, OFFH, 0B9H, OFFH, 0A9H, OFFH, 0E6H, OFEH, 076H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 76H, OFFH, 0E6H, OFEH, 0A9H, OFFH, 0B9H, OFFH
 DFB 04EH, OFFH, 00H

F78: DFB 050H, OFFH, 0BAH, OFFH, 0AAH, OFFH, 0EAH, OFEH, 078H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 78H, OFFH, 0EAH, OFEH, 0AAH, OFFH, 0BAH, OFFH

DFB 050H, OFFH, 00H

F78_5: DFB 051H, OFFH, 0BBH, OFFH, 0ABH, OFFH, 0EBH, OFEH, 079H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 79H, OFFH, 0EBH, OFEH, 0ABH, OFFH, 0BBH, OFFH
 DFB 051H, OFFH, 00H

F79: DFB 053H, OFFH, 0BCH, OFFH, 0ACH, OFFH, 0EFH, OFEH, 07BH, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 7BH, OFFH, 0EFH, OFEH, 0ACH, OFFH, 0BCH, OFFH
 DFB 053H, OFFH, 00H

F79_5: DFB 054H, OFFH, 0BCH, OFFH, 0ADH, OFFH, 0F1H, OFEH, 07CH, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 7CH, OFFH, 0F1H, OFEH, 0ADH, OFFH, 0BCH, OFFH
 DFB 054H, OFFH, 00H

F80: DFB 057H, OFFH, 0BDH, OFFH, 0AEH, OFFH, 0F4H, OFEH, 07DH, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 7DH, OFFH, 0F4H, OFEH, 0AEH, OFFH, 0BDH, OFFH
 DFB 057H, OFFH, 00H

F80_5: DFB 058H, OFFH, 0BDH, OFFH, 0AEH, OFFH, 0F6H, OFEH, 07EH, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 7EH, OFFH, 0F6H, OFEH, 0AEH, OFFH, 0BDH, OFFH
 DFB 058H, OFFH, 00H

F81: DFB 05AH, OFFH, 0BEH, OFFH, 0AFH, OFFH, 0FAH, OFEH, 080H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 80H, OFFH, 0FAH, OFEH, 0AFH, OFFH, 0BEH, OFFH
 DFB 05AH, OFFH, 00H

F81_5: DFB 05BH, OFFH, 0BFH, OFFH, 0BOH, OFFH, 0FBH, OFEH, 081H, OFFH
 DFB 0F7H, OFFH, 81H, OFFH, 0FBH, OFEH, 0BOH, OFFH, 0BFH, OFFH
 DFB 05BH, OFFH, 00H

F82: DFB 05DH, OFFH, 0BFH, OFFH, 0B1H, OFFH, 0FEH, OFEH, 082H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 82H, OFFH, 0FEH, OFEH, 0B1H, OFFH, 0BFH, OFFH
 DFB 05DH, OFFH, 00H

F82_5: DFB 05EH, OFFH, 0COH, OFFH, 0B1H, OFFH, 001H, OFFH, 083H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 83H, OFFH, 001H, OFFH, 0B1H, OFFH, 0COH, OFFH
 DFB 05EH, OFFH, 00H

F83: DFB 060H, OFFH, 0C1H, OFFH, 0B2H, OFFH, 003H, OFFH, 085H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 85H, OFFH, 003H, OFFH, 0B2H, OFFH, 0C1H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 060H, OFFH, 00H

F83_5: DFB 061H, OFFH, 0C1H, OFFH, 0B3H, OFFH, 005H, OFFH, 0B5H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 85H, OFFH, 005H, OFFH, 0B3H, OFFH, 0C1H, OFFH
 DFB 061H, OFFH, 00H

F84: DFB 063H, OFFH, 0C2H, OFFH, 0B4H, OFFH, 008H, OFFH, 0B7H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 87H, OFFH, 008H, OFFH, 0B4H, OFFH, 0C2H, OFFH
 DFB 063H, OFFH, 00H

F84_5: DFB 064H, OFFH, 0C2H, OFFH, 0B4H, OFFH, 009H, OFFH, 0B8H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 88H, OFFH, 009H, OFFH, 0B4H, OFFH, 0C2H, OFFH
 DFB 064H, OFFH, 00H

F85: DFB 066H, OFFH, 0C3H, OFFH, 0B5H, OFFH, 00CH, OFFH, 0B9H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 89H, OFFH, 00CH, OFFH, 0B5H, OFFH, 0C3H, OFFH
 DFB 066H, OFFH, 00H

F85_5: DFB 067H, OFFH, 0C3H, OFFH, 0B6H, OFFH, 00EH, OFFH, 0BAH, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 8AH, OFFH, 00EH, OFFH, 0B6H, OFFH, 0C3H, OFFH
 DFB 067H, OFFH, 00H

F86: DFB 069H, OFFH, 0C4H, OFFH, 0B6H, OFFH, 011H, OFFH, 0BBH, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 8BH, OFFH, 011H, OFFH, 0B6H, OFFH, 0C4H, OFFH
 DFB 069H, OFFH, 00H

F86_5: DFB 06AH, OFFH, 0C4H, OFFH, 0B7H, OFFH, 012H, OFFH, 0BCH, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 8CH, OFFH, 012H, OFFH, 0B7H, OFFH, 0C4H, OFFH
 DFB 06AH, OFFH, 00H

F87: DFB 06DH, OFFH, 0C6H, OFFH, 0B7H, OFFH, 16H, OFFH, 0BEH, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 8EH, OFFH, 016H, OFFH, 0B7H, OFFH, 0C6H, OFFH
 DFB 06DH, OFFH, 00H

F87_5: DFB 06EH, OFFH, 0C6H, OFFH, 0B9H, OFFH, 18H, OFFH, 0BFH, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 8FH, OFFH, 018H, OFFH, 0B9H, OFFH, 0C6H, OFFH
 DFB 06EH, OFFH, 00H

F88: DFB 070H, OFFH, 0C7H, OFFH, 0BAH, OFFH, 1CH, OFFH, 091H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 91H, OFFH, 01CH, OFFH, 0BAH, OFFH, 0C7H, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 070H, OFFH, 00H

F88_5: DFB 06FH, OFFH, 0C7H, OFFH, 0B9H, OFFH, 1BH, OFFH, 090H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 90H, OFFH, 01BH, OFFH, 0B9H, OFFH, 0C7H, OFFH
 DFB 06FH, OFFH, 00H

F89: DFB 070H, OFFH, 0C7H, OFFH, 0BAH, OFFH, 1CH, OFFH, 091H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 91H, OFFH, 01CH, OFFH, 0BAH, OFFH, 0C7H, OFFH
 DFB 070H, OFFH, 00H

F89_5: DFB 071H, OFFH, 0C8H, OFFH, 0BBH, OFFH, 1FH, OFFH, 092H, OFFH
 DFB 0F8H, OFFH, 92H, OFFH, 01FH, OFFH, 0BBH, OFFH, 0C8H, OFFH
 DFB 071H, OFFH, 00H

F90: DFB 073H, OFFH, 0C8H, OFFH, 0BBH, OFFH, 21H, OFFH, 093H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 93H, OFFH, 021H, OFFH, 0BBH, OFFH, 0C8H, OFFH
 DFB 073H, OFFH, 00H

F90_5: DFB 074H, OFFH, 0C8H, OFFH, 0BCH, OFFH, 23H, OFFH, 094H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 94H, OFFH, 023H, OFFH, 0BCH, OFFH, 0C8H, OFFH
 DFB 074H, OFFH, 00H

F91: DFB 076H, OFFH, 0C9H, OFFH, 0BDH, OFFH, 25H, OFFH, 095H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 95H, OFFH, 025H, OFFH, 0BDH, OFFH, 0C9H, OFFH
 DFB 076H, OFFH, 00H

F91_5: DFB 077H, OFFH, 0C9H, OFFH, 0BDH, OFFH, 25H, OFFH, 095H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 95H, OFFH, 025H, OFFH, 0BDH, OFFH, 0C9H, OFFH
 DFB 077H, OFFH, 00H

F92: DFB 078H, OFFH, 0CAH, OFFH, 0BEH, OFFH, 29H, OFFH, 097H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 97H, OFFH, 029H, OFFH, 0BEH, OFFH, 0CAH, OFFH
 DFB 078H, OFFH, 00H

F92_5: DFB 079H, OFFH, 0CAH, OFFH, 0BEH, OFFH, 2AH, OFFH, 098H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 98H, OFFH, 02AH, OFFH, 0BEH, OFFH, 0CAH, OFFH
 DFB 079H, OFFH, 00H

F93: DFB 07AH, OFFH, 0CBH, OFFH, 0BFH, OFFH, 2DH, OFFH, 099H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 99H, OFFH, 02DH, OFFH, 0BFH, OFFH, 0CBH, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 07AH, OFFH, 00H

F93_5: DFB 07BH, OFFH, 0CBH, OFFH, 0BFH, OFFH, 2EH, OFFH, 099H, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 99H, OFFH, 02EH, OFFH, 0BFH, OFFH, 0CBH, OFFH
 DFB 07BH, OFFH, 00H

F94: DFB 07CH, OFFH, 0CCH, OFFH, 0COH, OFFH, 2FH, OFFH, 09AH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9AH, OFFH, 02FH, OFFH, 0COH, OFFH, 0CCH, OFFH
 DFB 07CH, OFFH, 00H

F94_5: DFB 07CH, OFFH, 0CCH, OFFH, 0COH, OFFH, 30H, OFFH, 09AH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9AH, OFFH, 030H, OFFH, 0COH, OFFH, 0CCH, OFFH
 DFB 07CH, OFFH, 00H

F95: DFB 07DH, OFFH, 0CCH, OFFH, 0COH, OFFH, 31H, OFFH, 09BH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9BH, OFFH, 031H, OFFH, 0COH, OFFH, 0CCH, OFFH
 DFB 07DH, OFFH, 00H

F95_5: DFB 07EH, OFFH, 0CCH, OFFH, 0C1H, OFFH, 32H, OFFH, 09CH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9CH, OFFH, 032H, OFFH, 0C1H, OFFH, 0CCH, OFFH
 DFB 07EH, OFFH, 00H

F96: DFB 07FH, OFFH, 0CDH, OFFH, 0C1H, OFFH, 35H, OFFH, 09DH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9DH, OFFH, 035H, OFFH, 0C1H, OFFH, 0CDH, OFFH
 DFB 07FH, OFFH, 00H

F96_5: DFB 080H, OFFH, 0CDH, OFFH, 0C2H, OFFH, 36H, OFFH, 09DH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9DH, OFFH, 036H, OFFH, 0C2H, OFFH, 0CDH, OFFH
 DFB 080H, OFFH, 00H

F97: DFB 081H, OFFH, 0CDH, OFFH, 0C2H, OFFH, 37H, OFFH, 09EH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9EH, OFFH, 037H, OFFH, 0C2H, OFFH, 0CDH, OFFH
 DFB 081H, OFFH, 00H

F97_5: DFB 081H, OFFH, 0CEH, OFFH, 0C2H, OFFH, 38H, OFFH, 09EH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9EH, OFFH, 038H, OFFH, 0C2H, OFFH, 0CEH, OFFH
 DFB 081H, OFFH, 00H

F98: DFB 082H, OFFH, 0CEH, OFFH, 0C3H, OFFH, 39H, OFFH, 09FH, OFFH
 DFB 0F9H, OFFH, 9FH, OFFH, 039H, OFFH, 0C3H, OFFH, 0CEH, OFFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB 082H,0FFH,00H

F98_5: DFB 082H,0FFH,0CEH,0FFH,0C3H,0FFH,3AH,0FFH,09FH,0FFH

DFB 0F9H,0FFH,9FH,0FFH,03AH,0FFH,0C3H,0FFH,0CEH,0FFH

DFB 082H,0FFH,00H

F99: DFB 084H,0FFH,0CFH,0FFH,0C4H,0FFH,3CH,0FFH,0A0H,0FFH

DFB 0F9H,0FFH,0A0H,0FFH,03CH,0FFH,0C4H,0FFH,0CFH,0FFH

DFB 084H,0FFH,00H



ภาคผนวก ง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุม
วิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า

ครั้งที่ 14

7 - 8 พฤศจิกายน 2534

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ขนาด 750 วัตต์

สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

Design and Construction of a 750 watts

Inverter for Induction Motor Drives

นายวิโรจน์ พลนุรักษ์ *

ดร.โออิน เปรมปราณีวิทย์ **

บทคัดย่อ

บทความนี้รายงานการออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ขนาด 750 วัตต์ สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ ภาคอินเวอร์เตอร์ใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ การสร้างสัญญาณใช้เทคนิค SHEPWM (Selective Harmonics Elimination Pulse Width Modulation) สามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 1 ถึง 50 เฮิรตซ์ นั่นละ 1 เฮิรตซ์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 ควบคุมการทำงาน มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดสอบมีโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก มีค่ากำลัง 750 วัตต์และนิกัถแรงดัน 220/300 โวลต์

ABSTRACT

This paper presents the design and construction of a 750 watts 3 phases Inverter for induction motor drives. The inverter circuit uses power transistor as switching devices. Driving signal is achieved by SHEPWM technique and the frequency can be varied from 1 to 50 hz, each step being 1 hz. The inverter operation is controlled by 8031 microcontroller chip. The induction motor under tested is squirrel cage rotor, rated power being 750 watts and rated voltage being 220/300 volts

1 บทนำ

วงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ จะต้องมีการปรับค่าแรงดันเอาท์พุทพร้อมกับความถี่เพื่อรักษาอัตราส่วน V/f ให้มีค่าคงที่เพื่อควบคุมแรงบิดให้คงที่ การปรับแรงดันของอินเวอร์เตอร์ในบทความนี้ใช้เทคนิค SHEPWM

* นักศึกษาปริญญาโท

** รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ปนมากับแรงดันรูปสี่เหลี่ยม จะทำให้เกิดการสั่นในแกนเหล็กและเกิดแรงลอคแรงบิด (Ripple Torque) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดเสียงรบกวนอีกด้วย (1) เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์สูงขึ้น จึงต้องกำจัดฮาร์โมนิกส์บางอันดับออกไปในโหลด 3 เฟส ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และอันดับที่เป็นผลคูณของ 3 จะมีเฟสตรงกัน (Inphase) ทั้งหมดและไม่ผลทำให้เกิดการหมุนของ m pole (magnetic motive force) ดังนั้นจึงไม่เกิดแรงบิดขึ้นในมอเตอร์ (2) จึงไม่จำเป็นต้องกำจัดออกไป ส่วนฮาร์โมนิกส์จะมีค่าเป็นศูนย์ตามลักษณะการสมมาตรของรูปคลื่น จึงกำจัดเฉพาะฮาร์โมนิกส์ส่วนที่เหลืออันดับคี่ๆ เท่านั้น ฮาร์โมนิกส์อันดับคี่ๆ จะมีแอมพลิจูดที่ต่ำและสามารถกรองออกได้ง่าย

อินเวอร์เตอร์ในบทความนี้ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามรูปที่ 1 แรงดันเอาท์พุทจะได้รับการกำจัดฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 5, 7 และ 11 ตามความถี่เอาท์พุท นอกจากนี้ยังสามารถตั้งค่ากระแสเกิน, แรงดันเกินและแรงดันต่ำเกินได้ อย่างไรก็ตามจะแสดงเฉพาะวงจรหลักที่จำเป็นเท่านั้น

2. การกำจัดฮาร์โมนิกส์

องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของแพทเทิร์นสวิตช์ (Switching Pattern) ที่มีคลื่นสมมาตร 1/4 คาบตาม (3) ได้ดังนี้

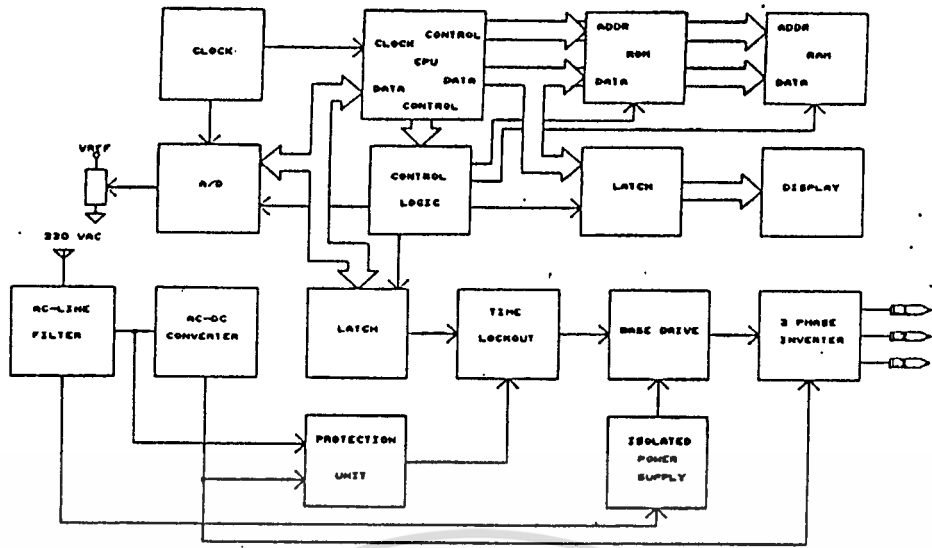
$$a_n = (4/n\pi) [1 + 2 \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \cos m\alpha_n] \quad (1)$$

$$b_n = 0 \quad (2)$$

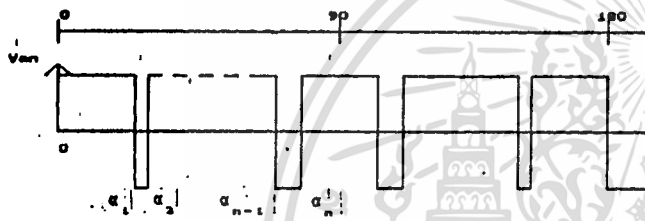
เมื่อ α_1 ถึง α_n เป็นมุมการสวิตช์ PWM ใน 1/4 คาบ ของแรงดันเฟส โดทที่ α_n ใน (1) คือ ขนาดขององค์ประกอบมูลฐาน และกำหนดให้ a_n, b_n, c_n มีค่าเป็น 0 สมการจำนวน M สมการจะถูกรวบรวมขึ้นมาจาก (1) เพื่อให้หาค่าตอบของมุม α_1 ถึง α_n ด้วยวิธีนิวเมอริคอล ซึ่งกำจัดฮาร์โมนิกส์ได้จำนวน $M-1$ ฮาร์โมนิกส์ ไม่รวมฮาร์โมนิกส์ที่ 3 และอันดับที่เป็นผลคูณของสาม ลักษณะรูปคลื่น SHEPWM แสดงไว้ในรูปที่ 2 มุมสวิตช์เทียบกับขนาดแรงดันขององค์ประกอบมูลฐานแสดงไว้ในรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

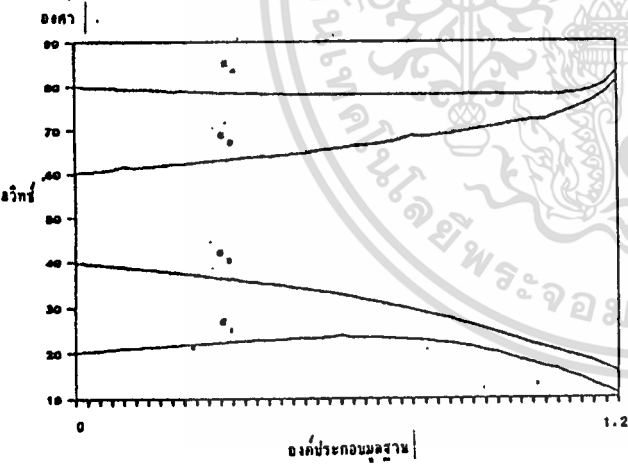


รูปที่ 1 บล็อกโคะแกรมของอินเวอร์เตอร์และส่วนควบคุม



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของ SVPWM

มุม $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ จะถูกแปลงให้อยู่ในโดเมนของเวลาและนำไปเก็บในหน่วยความจำแบบ EPROM ที่ขนาดแรงดันองค์ประกอบมูลฐานค่าต่าง ๆ กันตามอัตราส่วน V/F มุมต่างๆเหล่านี้จะถูกเลือกออกมาใช้งานตามความถี่ที่ต้องการ โดยใช้ไมโครเมอร์ภายใน 0031 เป็นตัวกำหนดเวลาจริง แอทเทิร์นสวิทช์จะเป็นไปตามลอจิกของเฟส A, B และ C ที่มุมสวิทช์ต่างๆ



รูปที่ 3 มุมสวิทช์เทียบกับแรงดันองค์ประกอบมูลฐาน

4. โพลัวรีการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ โปรแกรมหลักและโปรแกรมบริการอินเตอร์รัทท์ โปรแกรมหลักจะใช้สำหรับคำนวณหาแอมพลิจูดของแอทเทิร์นมุมสวิทช์ที่เหมาะสม โดยความถี่ที่ต้องการจะอยู่ในรูปของแรงดัน 0 - 5 โวลต์ ผ่านวงจรมแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล สำหรับโปรแกรมบริการอินเตอร์รัทท์ ใช้ป้องกันมุมสวิทช์ซึ่งอยู่ในโดเมนเวลาให้กับไมโครเมอร์และส่งแอทเทิร์นสวิทช์ ไปขับทรานซิสเตอร์กำลังของอินเวอร์เตอร์ โปรแกรมทั้งสองส่วนมีโพลัวรีการแสดงในรูปที่ 5

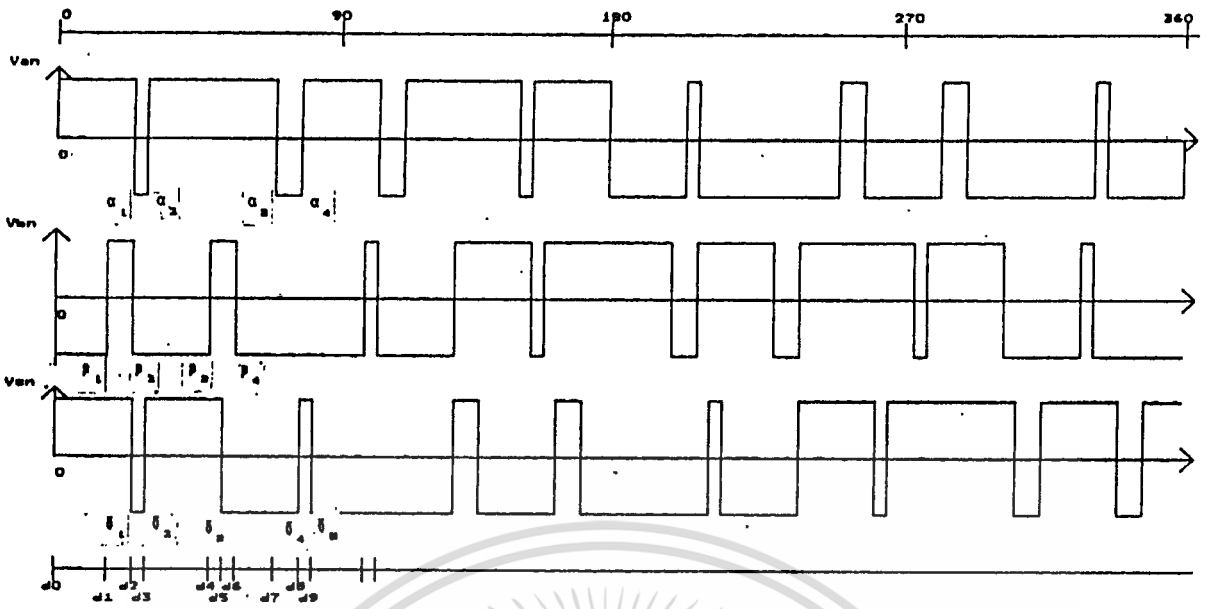
5. วงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์แบบ PWM ตามรูปที่ 6 นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะให้อุปกรณ์การสวิทช์ มีความเร็วในการทำงานหรือหยุดทำงานเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียจากการสวิทช์ลง นอกจากนี้ยังช่วยให้การทำงานของอินเวอร์เตอร์มีความเที่ยงตรงสูงขึ้นอีกด้วย ความเร็วในการสวิทช์ของทรานซิสเตอร์กำลังจะขึ้นอยู่กับวงจรมขับนำเซส

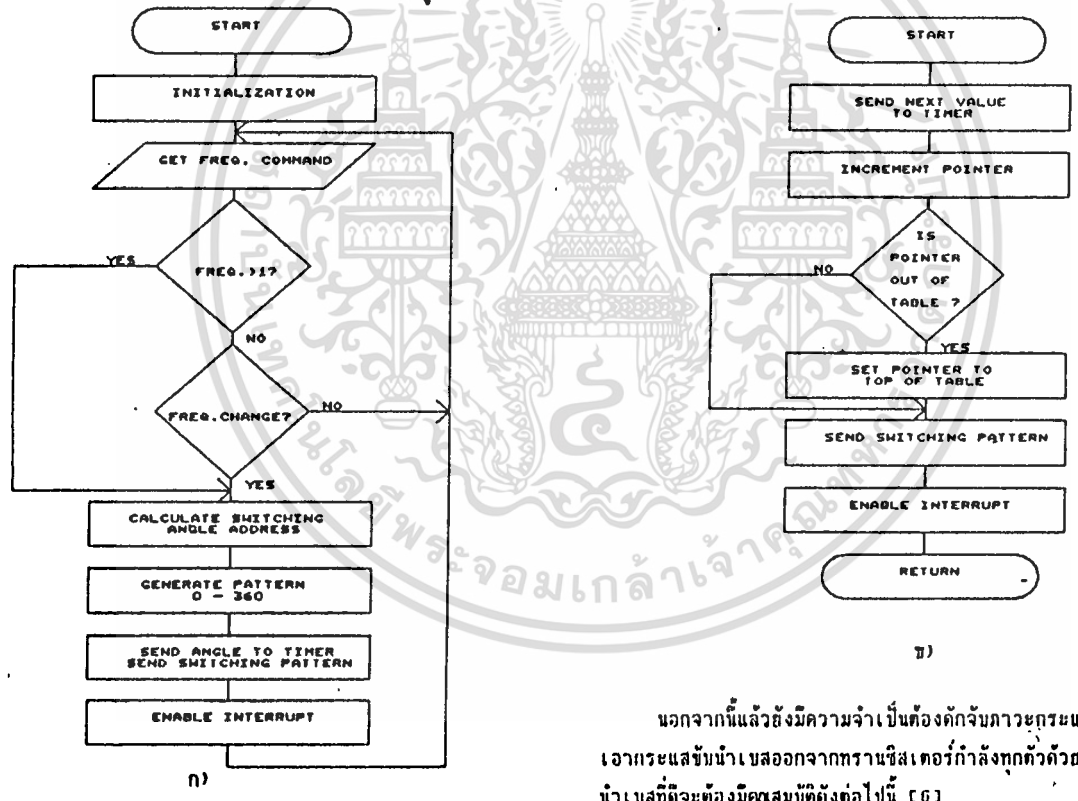
สโคปรีจไทม์ (storage time) และเวลาไถ่ลง (fall time) ของทรานซิสเตอร์กำลังจะมีค่าที่ต่ำสุด ถ้าหากว่ามีกระแสและแรงดันย้อนกลับในระหว่างหยุดนำกระแส และมีค่าประมาณสองเท่าของกระแสเบสสฟอว์รีด [5] ขณะหยุดนำกระแส, กระแสเบสไม่ควรเปลี่ยนแปลงเป็นค่าลบทันทีทันใด แต่ควรที่จะเปลี่ยนแปลงไปพร้อมด้วยการควบคุม และมีความเร็วในการสวิทช์พอประมาณ [5] ความเหนียวแน่นค่าต่างๆซึ่งจะเป็นความเหนียวแน่นสเตรย์

3. ลักษณะขับนำสามเฟส

มุมสวิทช์ที่คำนวณได้จาก [4] เป็นมุมสวิทช์ในระบบเฟสเดียว การสร้างลักษณะขับนำเป็นระบบสามเฟส ทำได้โดยการเลื่อนจุดเริ่มต้นของเฟส A ไป 120° เป็นเฟส B และ 240° เป็นเฟส C ตามลำดับ โดยกำหนดให้มุมสวิทช์ของเฟส B เป็น β และของเฟส C เป็น γ ผลค่าของมุมสวิทช์ α, β และ γ คือ α ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การสร้างสัญญาณขับนำสามเฟส



รูปที่ 5 แสดงโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
 ก) โปรแกรมหลัก ข) โปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์

ในวงจรได้ออสซิลเลตอร์ ใช้ควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสได้ เพื่อให้กระแสขณะทำงานมีค่าน้อยที่สุด ขณะนำกระแส กระแสขั้วนำเบสควรจะมีขบขั้วที่เร็วมาก และมีค่ามากกว่ากระแสเบสในภาวะสงบหนึ่งประมาณสองเท่า กระแสนี้จะเป็นฟังก์ชันของการอัดประจุให้ความจุสเตรย์ของทรานซิสเตอร์กำลัง [๕๖] รูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของกระแสขั้วนำเบสที่มีความเร็วสวิตชิ่งที่ถูกต้องตามต้องการ

นอกจากนี้แล้วยังมีความจำเป็นต้องจำกัดกับภาวะกระแสเกิน และตัวเอากระแสขั้วนำเบสออกจากทรานซิสเตอร์กำลังทุกตัวด้วย ดังนั้นวงจรขั้วนำเบสที่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ [๕๖]

- 5.1 เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส กระแสเบสควรมีค่ามากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังอิมิตตัว อย่างไรก็ตามการอิมิตตัวเกินควรของทรานซิสเตอร์กำลังจะมีผลให้สโตเรจใหม่มากเกินไป ยังผลให้เกิดความสูญเสียจากการสวิตชิ่งสูง วงจรขั้วนำเบสสำหรับทรานซิสเตอร์จะต้องสามารถปรับตนเองได้โดยขึ้นอยู่กับกระแสคอลเล็กเตอร์ เพื่อให้การทำงานของทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะกึ่งอิมิตตัวอยู่เสมอ
- 5.2 ขณะหยุดนำกระแส ควรจะปิดแรงดันย้อนกลับให้กับขั้วเบสอิมิตเตอร์ เพื่อลดเวลาไต่ลงของกระแส ด้วยแรงดันย้อนกลับนี้ทรานซิส

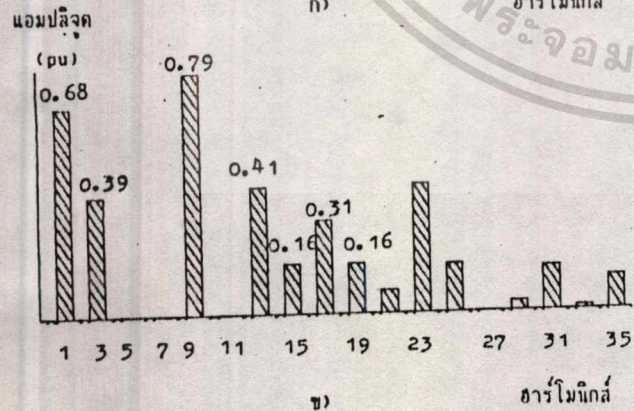
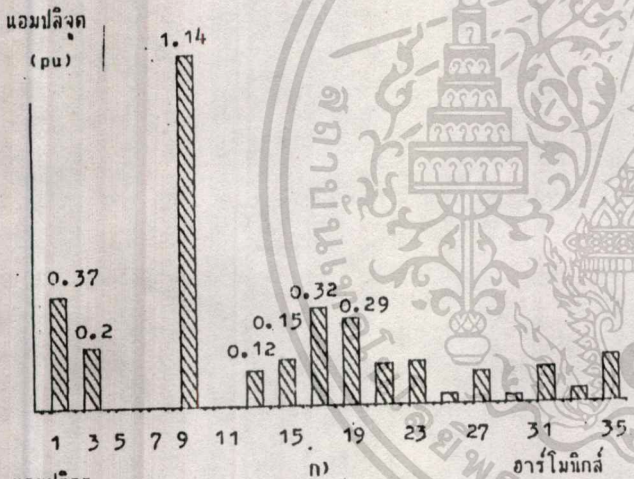
หรือแรงดันที่ไลน์สูงเกิน โดยมีวงจรตรวจจับแรงดันสูงเกินคอยตรวจสอบ
ในกรณีที่มีมอเตอร์ทำงานเกินพิกัด กระแสไฟตรงจะมีค่าสูงทำให้
แรงดันคร่อม R302 มีค่าสูง วงจรตรวจจับกระแสเกินจะทำงานถ้าหากว่า
กระแสเกินเป็นเวลานานกว่า 1 นาที ถ้ากระแสเกินในลักษณะลัดวงจรที่
เอาที่หนึ่งวงจรตรวจจับกระแสเกินจะทำงานทันที

นอกจากนี้ถ้าหากว่าแรงดันที่ไลน์ต่ำเกินไป จะทำให้วงจรขั้วนำเบส
และวงจรควบคุมทำงานผิดปกติได้ ดังนั้นจึงมีวงจรตรวจจับแรงดันต่ำเกิน
เพื่อคอยตัดสัญญาณขั้วนำเบสเมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น

วงจรลอคเวลา ใช้ป้องกันมิให้ทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในแขนเดียวกันของ
วงจรอินเวอร์เตอร์ทำงานพร้อมกัน อันจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้

6. ผลการชิมมูล

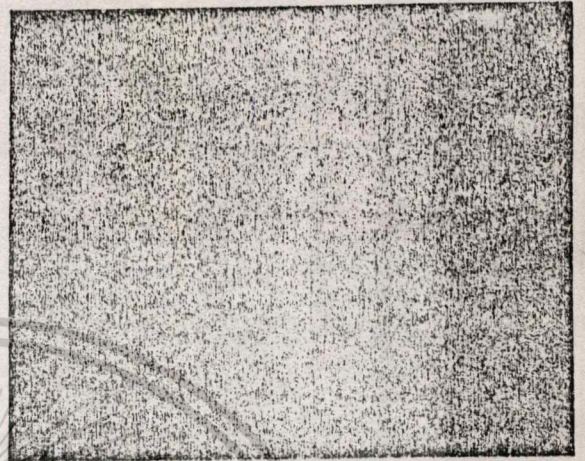
จากการชิมมูลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์เส้นสเปคตรัมของ
องค์ประกอบอาร์โมนิคส์ที่เอาท์พุท พบว่าที่องค์ประกอบมูลฐานความถี่ใดๆ
จะให้ที่องค์ประกอบอาร์โมนิคส์อันดับที่ 9 มีค่าสูง ในรูปแสดงเจเนยท์ความถี่
16 และ 30 เฮิรท์ซ อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นอาร์โมนิคส์อันดับที่เป็น
ผลคูณของสาม จึงไม่จำเป็นต้องกำจัดออก



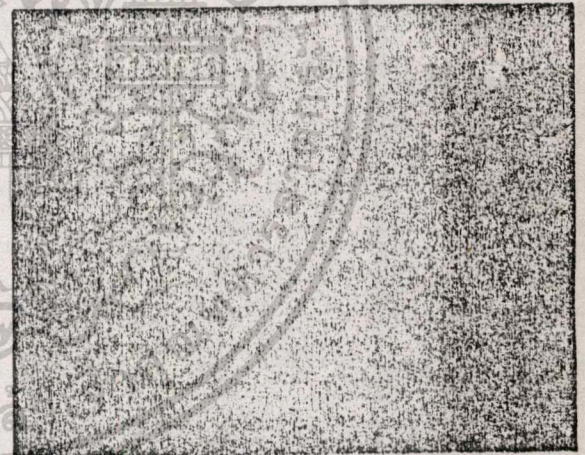
รูปที่ 9 ก) เส้นสเปคตรัมของแรงดันเฟสเอาท์พุท ความถี่ 16 เฮิรท์ซ
ข) เส้นสเปคตรัมของแรงดันเฟสเอาท์พุท ความถี่ 30 เฮิรท์ซ

7. ผลการทดลอง

อินเวอร์เตอร์นี้ ได้นำไปทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโร-
เตอร์กรงกรรอก ขนาด 750 วัตต์ 220/300 โวลท์ ต่อวงจรแบบเคลตา
ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 10 ขน : แรงดันไลน์ 200 โวลท์/ช่อง
ล่าง : กระแสเฟส 2 แอมป์/ช่อง
ฐานเวลา 10 มิลลิวินาที/ช่อง
ความถี่เอาท์พุท 16 เฮิรท์ซ



รูปที่ 11 ขน : แรงดันไลน์ 200 โวลท์/ช่อง
ล่าง : กระแสเฟส 2 แอมป์/ช่อง
ฐานเวลา 5 มิลลิวินาที/ช่อง
ความถี่เอาท์พุท 30 เฮิรท์ซ

ก. สรุปลักษณะวิจารณ์

ผลสวิตช์ที่ความถี่ขององค์ประกอบมูลฐานจาก 1 ถึง 50 เฮิรท์ซ
จะได้รับการคำนวณด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ โดยใช้เทคนิค SPERPM เพื่อ
กำจัดองค์ประกอบอาร์โมนิคส์อันดับที่ 5, 7, 11 และแปลงให้อยู่ในโดเมน
เวลาเทียบไว้ที่หน่วยความถี่ EPROM ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C1
ได้รับการโปรแกรมมา เพื่อควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์กำลังใน
ภาคอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ผลสวิตช์จาก EPROM ดังกล่าว เนื่องจากเป็นซิป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงทำให้ข้อบกพร่องประกอบน้อยลง ความเชื่อถือของ วงจรสูงขึ้น ราคาของระบบลดลง นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสามารถขยาย ย่านความถี่เอาท์พุทได้อีกถึง 100 เฮิรท์ และเพิ่มความละเอียดของชั้น ความถี่เป็นชั้นละ 0.5 เฮิรท์ได้โดยการเพิ่มขนาดเทิร์นมุมสวิตช์ที่เหมาะสม องค์ประกอบอาร์โมนิคส์สามารถกำจัดออกได้อีก โดยการเพิ่มมุมสวิตช์ต่อ เทอร์นขึ้น

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีวงศ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือใน ด้านต่างๆมาโดยตลอด อาจารย์วรศักดิ์ จิตรภักดี,คุณพงษ์พันธ์ วิชาสุรเมณฑล คุณอารงศักดิ์ สุกใส, คุณอนุตรชัย ณ กลาง,คุณเมาลี กลิ่นหอม,คุณพงษ์ศักดิ์ นิลมาศ , คุณโกเมศ จุลละศรีจันทร์ ที่ช่วยเหลือด้านเอกสารข้อมูล ตลอดจนคำแนะนำที่จำเป็น ขอขอบคุณผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงจันทิมาเขต ไทยอนุสรณ์ จังหวัดสระบุรี ที่เอื้อเนื้อที่ให้ห้องทดลองเครื่องกลไฟฟ้าใน การทดลองวงจรจนกระทั่งเสร็จ

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] B.K.Bose, "Power Electronics and AC Drives," Prentice-Hall, pp.42-44, 1986
- [2] สมชาติ นิ่งเจริญ, "การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะ ที่ผิดปกติ," วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 97-98, 2527
- [3] Hosmukh S. Patel, Richard G. Hofb, "Generalized Technique of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverter: Part 1 Harmonic Elimination," *IEEE Trans. Ind. Appl.* Vol. 1A-99, pp.310-317, May/June 1973
- [4] A. Zuckerberger, Abraham Alexandrovitz, "Determination of Commutation Sequence with a View to Elimination Harmonics in Microprocessor Controlled PWM Voltage Inverter," *IEEE Trans. Ind. Electron.* Vol. 1E-33, No.3 PP.262-270 August 1986
- [5] Khaled E. Addoweesh, William Shepherd, L.N. Hurrey "Induction Motor Speed Control Using a Microprocessor-Based PWM Inverter," *IEEE Trans. on Ind. Electron.* Vol. 36 No. 4 PP. 516-522, November 1989
- [6] K.S. Rajashedara, Joseph Vithyathil, V. Rajugopalan, "Protection and Switching-Aid Networks for Transistor Bridge Inverters," *IEEE Trans. on Ind. Electron.* Vol. 1E-33, No.2, PP. 105-192 May 1986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

เกิดที่อำเภอเมือง จังหวัดอุตรธานี จบการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อ พ.ศ. 2527 และเริ่มรับราชการ ณ วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงฯ จังหวัดสระบุรี จนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้