ปีการศึกษา 2532

พัลช์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ (1)

โดย

นายศิริพงษ์ ตรีอุดมสิน 29-1210

นายสงวน กุศลทศกูล 29-1243

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วรศักดิ์ จิตรภักดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

026984

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง พัลซ์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ (1)

ผู้จัดทำ 1. นายศิริพงษ์ ตรีอุดมสิน

2. นายลงวน กุศลทศกูล

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(นาย วรศักดิ์ จิตรภักดี)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

22 พ.ย. 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

026984

พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์

ศิริพงษ์ ตรีอุดมสิน
ลงวน กุศลทศกูล
วรศักดิ์ จิตรภักดี อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้เทคนิคพัลส์วิดมอดดูเลชั่น (PWM) ควบคุมมอเตอร์กระแสสลับนั้น ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาและนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสามารถในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในย่านความเร็วต่ำ ตลอดจนการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการควบคุมสามารถทำได้โดยสะดวกและประหยัด

ในที่นี้ได้เสนอรายละเอียดวิธีการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ Z-80 เป็นตัวสร้างสัญญาณโดยใช้ซอฟแวร์ควบคุมเพื่อให้อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานในย่านความถี่ต่ำๆ

การควบคุมแลการใช้งานเพื่อให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วต่ำ ๆได้ โดยมีการรักษาค่าอัตราส่วน V/F ให้มีค่าคงที่ตลอดย่านการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PULSE WIDTH MODULATION INVERTER

SIRIPONG TRIUDOMSIN
SANGUAN KUSOLTHOSAKULL
WORASAK CHITPAKDEE ADVISER

ABSTRACT

PULSE WIDTH MODULATION INVERTER , WHICH IS USED FOR CONTROLLING A.C.MOTORS , IS NOW WIDELY USED. DUE TO THE CAPACITY OF CONTROLLING HIGH SPEED PERFORMANCE FOR LOW SPEED MOTORS , FURTHERMORE , IT CAN BE IMPLEMENTED EASILY AND INEXPENSIVE. THE FOLLOWING IS THE DETAIL OF Z-80 MICROPROCESSOR FUNCTIONS. THE SIGNALS CAN BE SIMPLY GENERATED BY USING THE Z-80 CPU SOFTWARE-BASE CALCULATION. TO STIMULATE THE INVERTER WORKING EFFICIENTLY IN THE RANGE OF LOW FREQUENCY. IN ORDER TO HAVE THE MOTOR RUNNING AT LOW SPEED , THE RATIO OF V/F MUST BE KEPT CONSTANTLY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง		I
สารบัญรูปภาพ		II-III
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	2
	2.1 ทฤษฎีและพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
	2.2 ทฤษฎีและหลักการของอินเวอร์เตอร์ แบบพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น	22
บทที่ 3	การคำนวนและการสร้างสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น	37
บทที่ 4	วิธีการทดลองและผลการทดลอง	52
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	64
กิตติกรรมประกาศ		66
หนังสืออ้างอิง		67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	แสดงสมการการหาความกว้างพัลซ์เมื่อ p = 9	39
ตารางที่ 2	แสดงสมการการหาความกว้างพัลซ์เมื่อ p = 15	40-41

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1	แสดงภาวะออกแบบการพันขดลวดทางสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส	3
รูปที่ 2	แสดงการพันขดลวดทางด้านสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส	4
รูปที่ 3	แสดงแรงเคลื่อนแม่เหล็กในแต่ละเฟสและแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์	5
รูปที่ 4	แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสของมอเตอร์	6
รูปที่ 5	กราฟแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่คงที่	9
รูปที่ 6	กราฟแสดงแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์เมื่อความถี่เปลี่ยน	11
รูปที่ 7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับเส้นแรงแม่เหล็ก	13
รูปที่ 8	แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	14
รูปที่ 9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำกับกระแสแมกนิไตส์	17
รูปที่ 10	กราฟแสดงถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ในรูปของเวกเตอร์	18
รูปที่ 11	แสดงสัญญาณพัลซ์วิดมอดคูเลชั่นอินเวอร์เตอร์	24
รูปที่ 12	แสดงวงจรพัลซ์วิดมอดคูเลชั่นอินเวอร์เตอร์	26
รูปที่ 13	แสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรพัลซ์วิดมอดคูเลชั่นอินเวอร์เตอร์	31
รูปที่ 14	แสดงบล็อกการควบคุมมอเตอร์	33
รูปที่ 18	แสดงโฟล์ชาร์ทการกำหนดการทำงานให้ z-80 ซีทีซี และ z-80 ซีพียู	46
รูปที่ 19	แสดงโฟล์ชาร์ทการคำนวนความกว้างพัลซ์	48
รูปที่ 20	แสดงโฟล์ชาร์ทการตรวจสอบค่าจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	49
รูปที่ 21	แสดงโฟล์ชาร์ทของโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 22 แสดงภาพการต่อร่วมกันระหว่าง Z-80 SINGLE BOARD กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 54

รูปที่ 23 แสดงภาพการต่อร่วมกันระหว่าง Z-80 CTC กับ วงจรล็อกเอาท์ 55

รูปที่ 24 แสดงวงจร J-K FLIPFLOP 3 ชุด สำหรับแลทช์สัญญาณจาก ซีทีซี 56

รูปที่ 25-31 แสดงภาพของสัญญาณกระแสเอาท์พุทและโวลท์เตจคร่อมโหลดที่โหลดมีลักษณะแตกต่างกันและที่ค่า P ค่าต่างกัน 57-63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน งานในด้านอุตสาหกรรมมีการใช้มอเตอร์กันอย่างแพร่หลายในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่มอเตอร์ที่ใช้จะเป็น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีความแข็งแรงทนทาน หาซื้อได้ง่าย ราคาถูกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา แต่ข้อจำกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำก็คือไม่สามารถทำการปรับความเร็วได้ง่าย ดังนั้นจึงเป็นเหตุทำให้มีการนำระบบ อินเวอร์เตอร์ มาใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เพื่อใช้งาน โดยที่อินเวอร์เตอร์มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณของแหล่งจ่ายไฟเพื่อทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนไป คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ที่ดีนั้น จะต้องรักษาแรงบิดที่เพลาของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ตลอดย่านการใช้งานที่ความเร็วต่าง ๆ พัลซ์วิดมอดดูเลชั่นอินเวอร์เตอร์ เป็นอินเวอร์เตอร์ที่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ และในปัจจุบันมีการพัฒนาและปรับปรุงให้อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้มีขีดความสามารถสูงขึ้น และใช้งานสะดวกขึ้นเนื่องจากการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมทำให้มีความคล่องตัวในการใช้งานและมีราคาถูก]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2 ทฤษฎี และ หลักการ

คำนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมกันอย่างมาก นับตั้งแต่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าสลับขึ้นเป็นต้นมา มีการพัฒนารูปแบบและประสิทธิภาพอยู่ตลอดเวลาทั้งนี้เนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้สามารถทำงานได้ทันทีเมื่อมีกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าที่ขั้วของมอเตอร์ทางด้านสเตเตอร์ โดยที่ไม่ต้องมีการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์เช่นในกรณีของ ซิงโครนัสมอเตอร์เป็นต้น ซึ่งทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีขนาดเล็ก และมีราคาถูก ทำให้มีการนำไปใช้งานกันอย่างมาก

เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้สามารถที่จะหมุนได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องมีวงจรช่วยในการเริ่มหมุนและมอเตอร์ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายโดยตรงได้เลย โดยที่สัญญาณรบกวนภายนอกหรือภายในแหล่งจ่ายมีผลกระทบต่อมอเตอร์ไม่มากนัก

เมื่อนำมอเตอร์ชนิดนี้ไปใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าคงที่ จะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ตลอดเวลาการทำงาน ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากแม้ว่าจะใช้งานที่โหลดต่าง ๆ ก็ตามและสามารถใช้ในย่านของโหลดมาก ๆ ได้โดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย

สิ่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้เห็นได้ว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับความนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างมากทำให้มีการออกแบบเพื่อลดขนาดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน มีการออกแบบสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำในช่วงพิกัดต่าง ๆ ตั้งแต่พิกัดน้อยกว่า 1Kw จนมากกว่า 15,000Kw ที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 208 V จนถึง 138 Kv

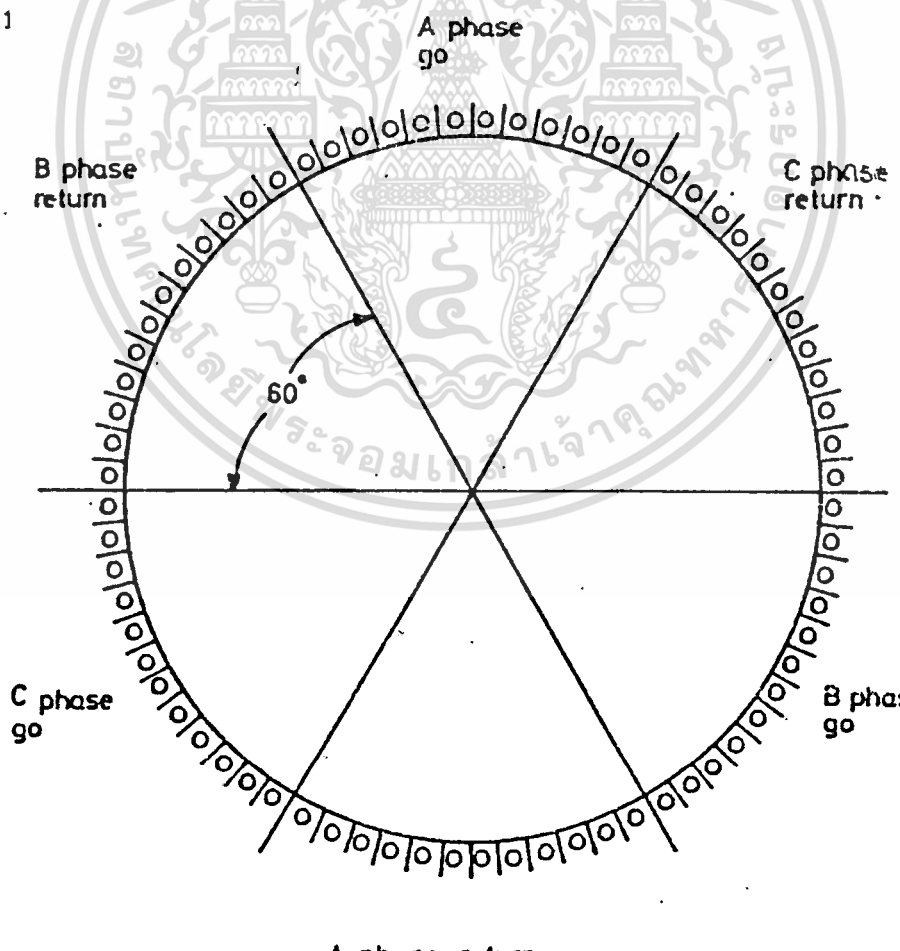
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส เกิดเนื่องจากการพันขดลวดทางด้านสเตเตอร์ให้มีลักษณะเป็นแบบ 3 เฟสเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน หมุนอยู่รอบ ๆ ช่องอากาศในมอเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กตัวผ่านตัวนำทางด้านโรเตอร์ขึ้น ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวโรเตอร์ทำให้มีกระแสไฟไหลในตัวนำ กระแสไฟที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวโรเตอร์ทำให้โรเตอร์เริ่มหมุน นั่นคือมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าที่ตัวสเตเตอร์กลายมาเป็นพลังงานกลซึ่งเกิดจากการหมุนของโรเตอร์ และนำเอาพลังงานกลส่วนนี้ไปใช้งานต่อไป

-สเตเตอร์

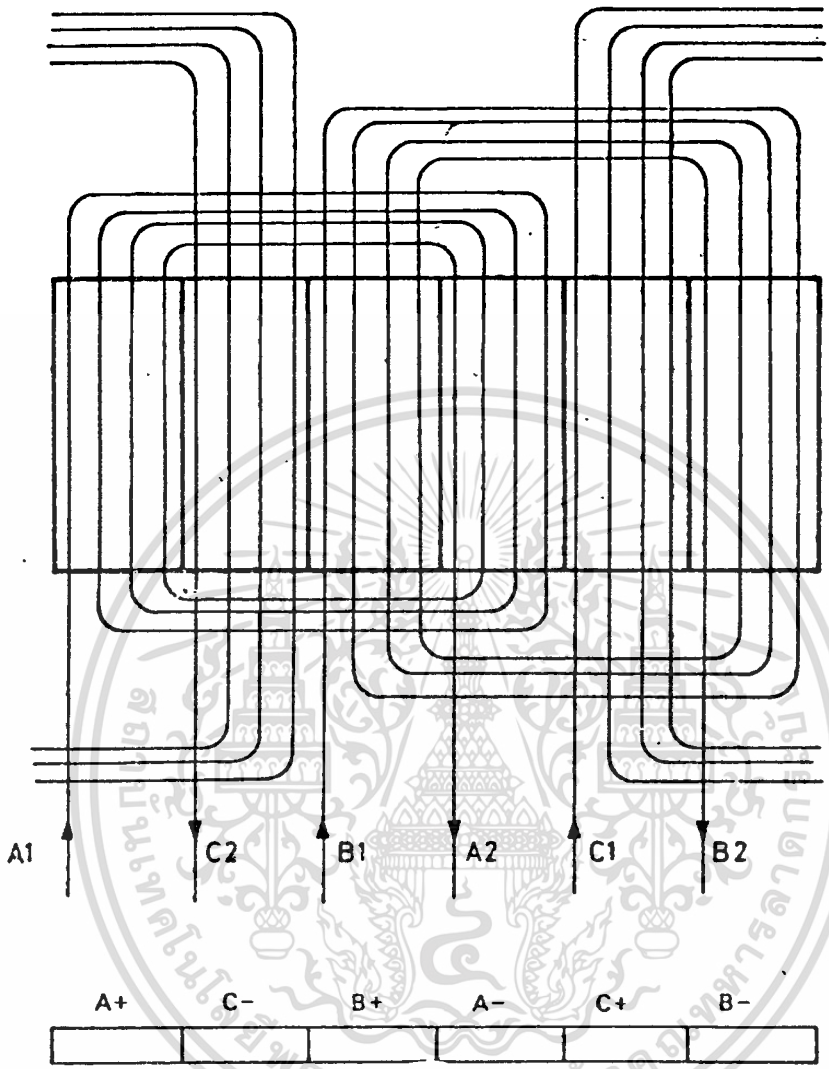
การออกแบบการพันขดลวดทางด้านสเตเตอร์มีอยู่มากมายหลายวิธีแต่ทุกวิธีจะขึ้นอยู่กับหลักการที่วางขดลวดในแต่ละเฟสให้มีมุมทางไฟฟ้าต่างกัน 120 องศาซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแสดงการออกแบบการพันขดลวดด้านสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

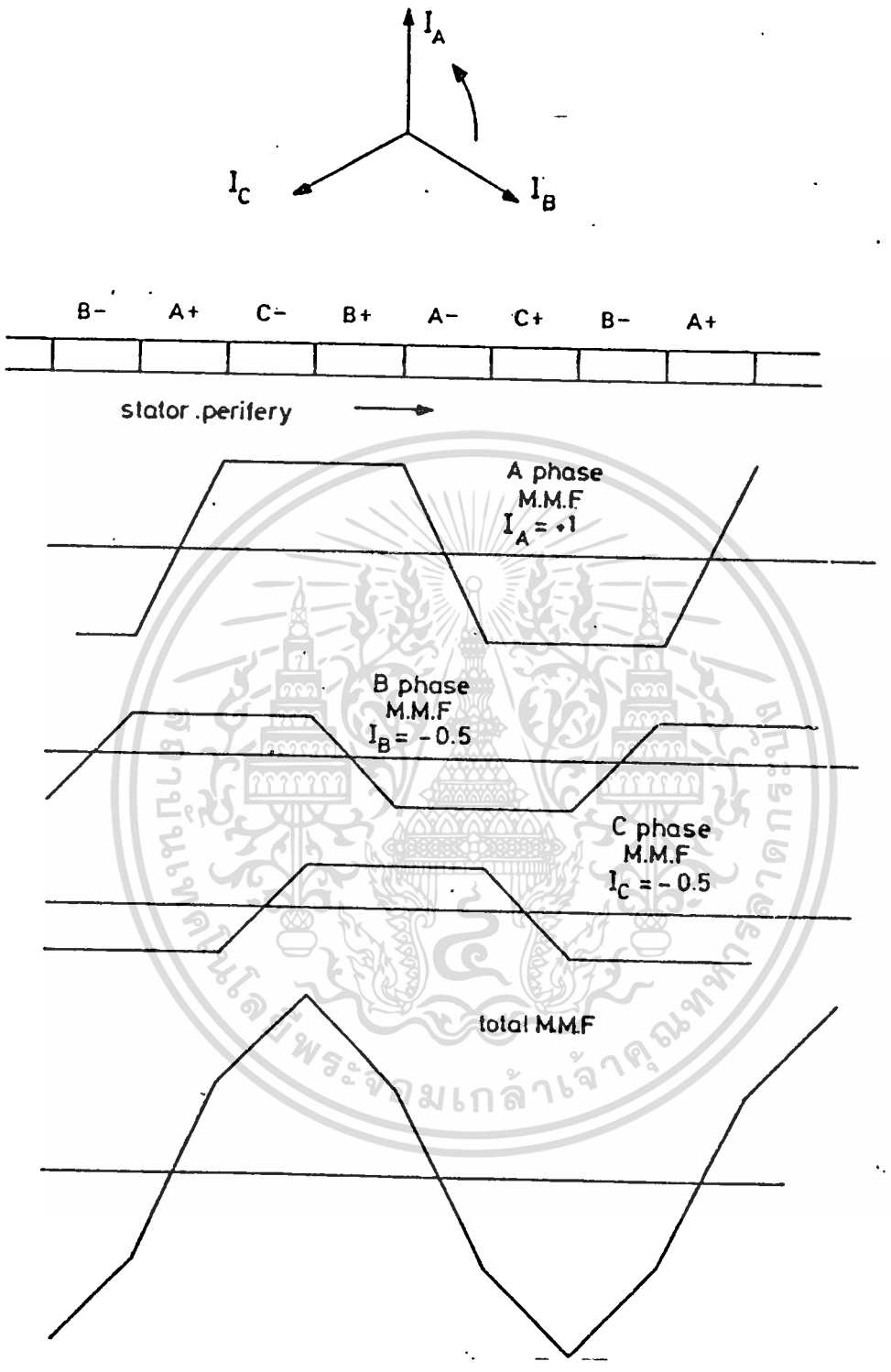
วิธีการพันขดลวดทางด้านสเตเตอร์อย่างง่าย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแสดงการพันขดลวดด้านสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส

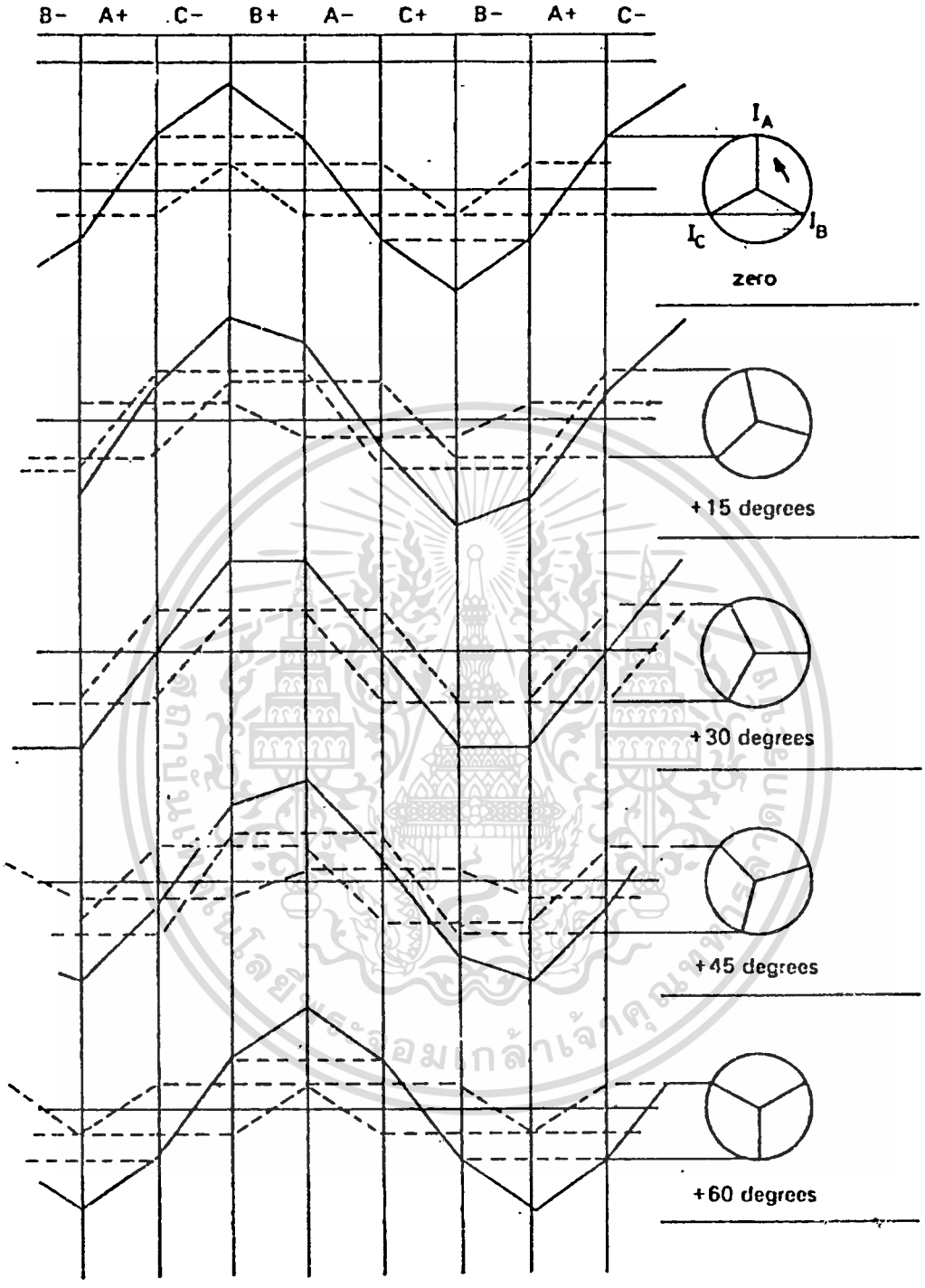
กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดในแต่ละเฟสมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปซายน์ที่มีมุมทางไฟฟ้าต่างกัน 120 องศา ผลจากการพันขดลวดลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงลัพธ์ของสนามแม่เหล็ก หมุนอยู่รอบ ๆ ตัวสเตเตอร์ด้วยความเร็วซิงโครนัส ซึ่งความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะขึ้นอยู่กับ จำนวนขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นและความถี่ไฟที่ป้อนให้กับตัวสเตเตอร์ รูปที่ 3 แสดงแรงเคลื่อนแม่เหล็กในแต่ละเฟสและแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้โดยที่ขนาดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสที่ป้อนเข้าขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 รูปแสดงแรงเคลื่อนแม่เหล็กในแต่ละเฟสและแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส ซึ่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบ ๆ ช่องอากาศซึ่งจะพบว่าลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กนี้ไม่ได้มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปซายน์ที่แท้จริงและมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากการวางขดลวดในช่องสล็อตที่ตัวสเตเตอร์มีลักษณะเป็นช่วง ๆ ไม่ต่อเนื่องทำให้สนามแม่เหล็กลัพท์ที่ได้มีลักษณะสัญญาณที่ไม่เป็นสัญญาณซายน์ที่แท้จริง อย่างไรก็ตามผลของฮาร์โมนิคของแรงเคลื่อนแม่เหล็กนี้มีค่าน้อยทำให้เราสามารถละทิ้งผลอันนี้ได้

แรงเคลื่อนสนามแม่เหล็กนี้จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหมุนอยู่ในช่องอากาศและแกนเหล็ก โดยเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะตัดขดลวดตัวนำที่อยู่ทางด้านโรเตอร์เพื่อที่จะทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวโรเตอร์

-โรเตอร์

ตัวโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้ มี 2 ลักษณะ ซึ่งอาจจะประกอบด้วยลวดตัวนำที่นั่นอยู่ที่ตัวโรเตอร์มีลักษณะคล้ายคลึงกับขดลวดทางด้านสเตเตอร์ โดยที่มีวงแหวนลื่นเป็นตัวต่อที่ขั้วของสายในแต่ละเฟส มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดนี้เรียกว่าแบบ wound rotor ลวนอีกลักษณะหนึ่งนั้น โรเตอร์จะประกอบด้วยแท่งตัวนำฝังอยู่ที่ตัวโรเตอร์โดยที่ปลายทั้ง 2 ข้างมีการลัดวงจร มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดนี้เรียกว่าแบบกรงกระรอก cage rotor

-การกำเนิดแรงบิด

ขณะที่ตัวโรเตอร์หยุดนิ่ง เมื่อเราป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าทางด้านสเตเตอร์ จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหมุนตัดผ่านตัวนำทางด้านโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวโรเตอร์ ซึ่งต่อในลักษณะลัดวงจรอยู่ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ในขดลวด ผลนี้คล้ายคลึงกับการเกิดการลัดวงจรในหม้อแปลงไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าด้านโรเตอร์จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นต้านกับสนามแม่เหล็กหมุนนี้ ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดขึ้นทำให้โรเตอร์หมุนเพื่อลดผลของการเหนี่ยวนำในตัวโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุน

เมื่อความเร็วของโรเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ตัวนำทางด้านโรเตอร์ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กน้อยลง ทำให้ความถี่ที่เกิดขึ้นที่ตัวโรเตอร์มีค่าลดลง โดยทั่วไปความถี่ที่ตัวโรเตอร์มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนกับความเร็วของตัวโรเตอร์ ค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเหนี่ยวนำในตัวโรเตอร์ จะขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับความเร็วของตัวโรเตอร์ แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ตัวโรเตอร์จะลดลงเมื่อความเร็วที่ตัวโรเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการ

$$Te = \pi(P/2)l*r*Bp*Fp*\sin\delta$$

เมื่อ

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

l = ความยาวของตัวโรเตอร์

r = รัศมีของตัวโรเตอร์

Bp = ค่าสูงสุดของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ช่องอากาศ

Fp = ค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์

δ = มุมระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวโรเตอร์กับสเตเตอร์

หรือจะหาจากสมการ

$$Te = 3/2(P/2)*\phi m*Ir*\sin\delta$$

เมื่อ

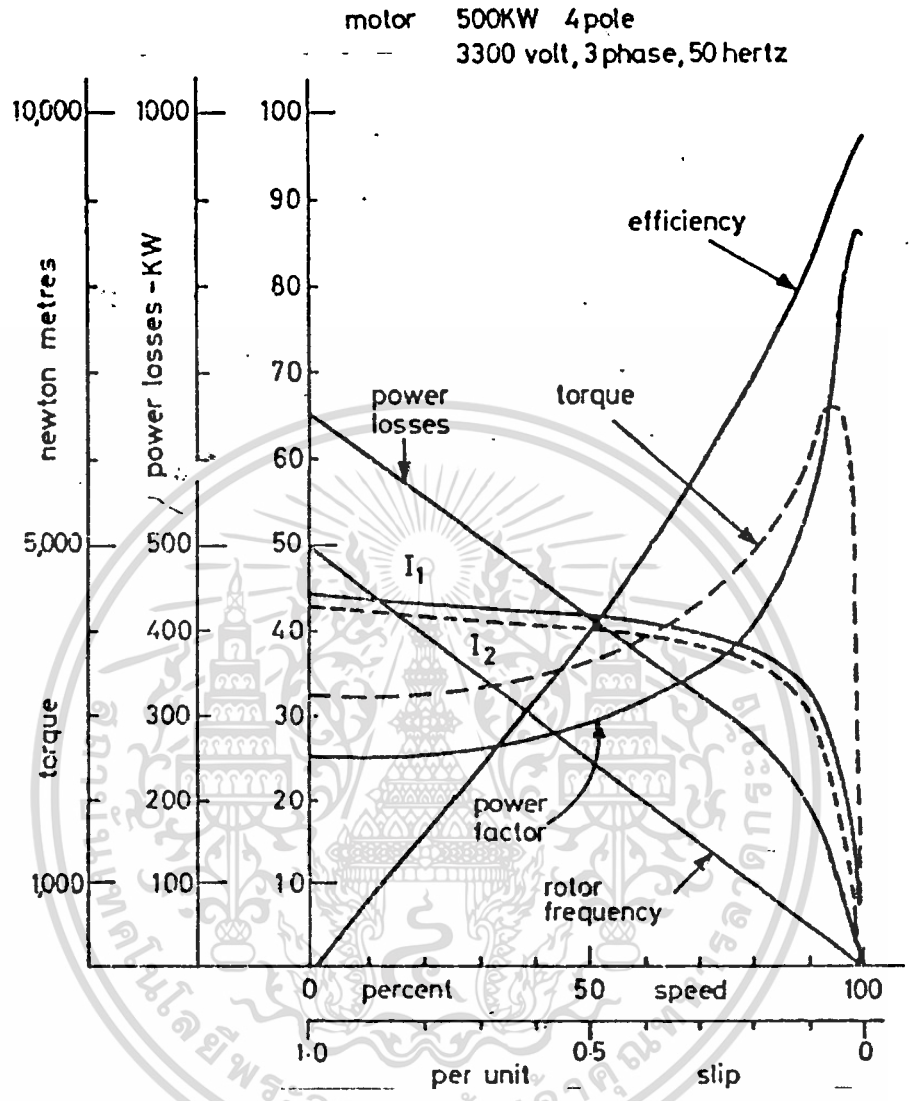
ϕm = เส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวคล้องต่อเฟส

Ir = กระแสสูงสุดของตัวโรเตอร์

ค่าของแรงบิดที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับมุมระหว่างกระแสทางด้านโรเตอร์และเส้นแรงแม่เหล็กทางด้านสเตเตอร์ ถ้าค่าความเหนี่ยวนำทางด้านโรเตอร์มีค่ามาก กระแสไฟที่เกิดขึ้นจะมีเฟสตามหลังแรงดันอยู่ ทำให้แรงบิดมีค่าลดลง ในขณะที่โรเตอร์หยุดนิ่ง ค่าความถี่ที่ตัวโรเตอร์มีค่ามากดังนั้นผลของความเหนี่ยวนำที่ตัวโรเตอร์มีค่ามากกว่าขณะที่โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูง จากที่กล่าวมานี้จะพบว่าถ้าโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสแล้วจะไม่เกิดการเหนี่ยวนำของขดลวดทางด้านสเตเตอร์เนื่องจากไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่าน ทำให้ไม่มีการกำเนิดแรงบิดขึ้นที่ตัวโรเตอร์ ฉะนั้นในความเป็นจริงมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้จะหมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ามีค่าคงที่



รูปที่ 5 กราฟแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่คงที่

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่มีความถี่คงที่ จุดสำคัญของการทำงานของมอเตอร์คือ จุดที่ค่าแรงบิดมีค่าสูงสุด ที่ค่าความเร็วของมอเตอร์สูงกว่านี้ ค่าความเหนี่ยวนำในตัวมอเตอร์จะมีค่าน้อย แรงบิดต่อกระแสไฟมีค่าสูง แต่ถ้าความเร็วของมอเตอร์มีค่าลดลง ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากขึ้น ทำให้แรงบิดที่ได้มีค่าลดลงไป ในการใช้งานเราอาจจะต้องใช้วิธีการเพิ่มแรงบิดขณะสตาร์ทให้กับมอเตอร์ด้วยเมื่อมอเตอร์ถูกต่ออยู่กับโหลด ผลของ skin effect จะมีค่ามากเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
026984

ความเร็วของมอเตอร์มีค่าน้อยทั้งนี้เป็นผลดีในการป้องกันมิให้แรงบิดของมอเตอร์มีค่าต่ำลงจนเกินไปแต่ก็จะทำให้เกิดความสูญเสียในตัวนำมากขึ้น ทำให้มอเตอร์มีอุณหภูมิสูง ฉะนั้นในทางปฏิบัติจึงควรจะมีการสร้างระบบระบายความร้อนให้กับมอเตอร์ ทั้งนี้เพื่อป้องกันและยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์ด้วย

จากรูปเราจะเห็นว่า จุดที่เราเลือกใช้งานของมอเตอร์จะอยู่ทางขวาของจุดที่แรงบิดมีค่าสูงสุด เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงาน ค่าของ เพาเวอร์แฟคเตอร์และค่าของแรงบิดต่อกระแส มีค่าสูง นอกจากนี้มอเตอร์ยังทำงานอยู่ในช่วงที่มีเสถียรภาพดี เนื่องจากว่าแรงบิดของมอเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วมีค่าลดลง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เราพบว่าควรจะใช้งานมอเตอร์ในช่วงความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัส ซึ่งมอเตอร์จะมีเสถียภาพดี และประสิทธิภาพการทำงานสูง

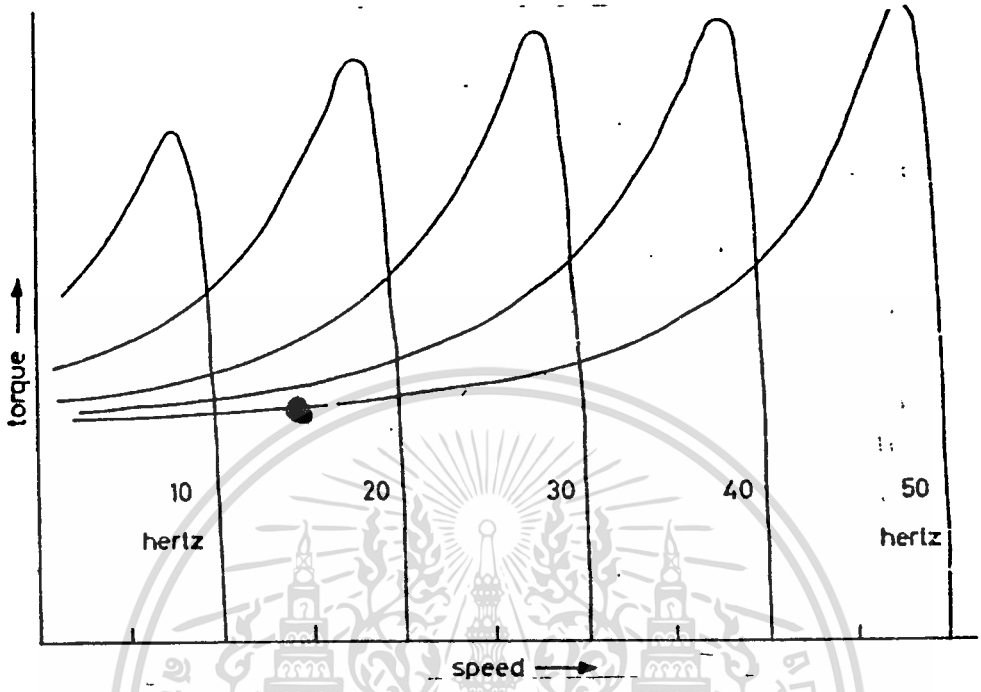
แม้ว่าโรเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบที่น้อยกว่าสนามแม่เหล็กหมุนก็ตาม สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวโรเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส เท่ากับสนามแม่เหล็กหมุนในอากาศ จากลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เราสามารถจะสรุปได้ว่า การะแสทางด้านสเตเตอร์จะประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเกิดหนึ่องจากผลของตัวโรเตอร์มีการเหนี่ยวนำทำให้ลัดวงจร อีกส่วนหนึ่งใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก แต่ในกรณีของมอเตอร์ กระแสส่วนที่ใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กนี้มีค่ามากกว่ากระแสของหม้อแปลง เนื่องจากการเหนี่ยวนำผ่านอากาศ ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์

-การใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อมีการควบคุมความถี่ของสัญญาณไฟที่ป้อน

จากหัวข้อที่แล้วเราได้กล่าวถึงกรณีการใช้งานมอเตอร์ที่แหล่งจ่ายไฟและสัญญาณความถี่มีค่าคงที่ ในกรณีที่ความถี่ที่ป้อนให้กับมอเตอร์เปลี่ยนไป เราจำเป็นที่จะต้องรักษาเงื่อนไข่ที่ว่าให้เส้นแรงแม่เหล็กในอากาศมีค่าคงที่ เพื่อให้แรงบิดของมอเตอร์มีค่าคงที่ จากรูปที่ 6 จะแสดงให้เห็นถึงกราฟของแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์เมื่อความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปเป็นอัตราส่วนกับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ทำให้จุดใช้งานของมอเตอร์จะอยู่ทางขวาของจุดที่เกิดแรงบิดสูงสุด ซึ่งอยู่ในการทำงานที่เสถียรของมอเตอร์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานและค่าแรงบิดต่อกระแสไฟมีค่าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานมอเตอร์ในลักษณะดังกล่าวนี้จำเป็นที่จะต้องมีระบบไฟที่สามารถจะป้อนไฟให้กับมอเตอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณรูปซายน์ที่สามารถจะปรับแรงดันแรงความถี่ไฟได้ด้วย



รูปที่ 6 กราฟแสดงแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์เมื่อความถี่เปลี่ยน

-สิ่งที่ต้องพิจารณาในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

1. ความถี่ของสัญญาณไฟที่ป้อนเข้าทางสเตเตอร์
2. ระดับแรงดันที่ป้อนให้
3. ขนาดของกระแสไฟที่มอเตอร์ต้องการ

พารามิเตอร์ทั้ง 3 นี้สามารถที่จะควบคุมได้โดยอิสระต่อกัน เพื่อให้การทำงานของมอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงสุด

-ความถี่ของสัญญาณไฟที่ป้อนให้

การเปลี่ยนแปลงความถี่มีผลทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนไป เนื่องจากความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นมีค่าเปลี่ยนไป เนื่องจากแรงบิดเกิดขึ้นจากความแตกต่างของมุมระหว่างสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์กับสเตเตอร์ ความเร็วรอบของโรเตอร์จึงมีค่าน้อยกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะทำให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วซิงโครนัสได้โดยการเพิ่มความถี่ไฟให้กับสเตเตอร์เล็กน้อย วิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้สามารถที่จะชดเชยความเร็วที่ตกไปเล็กน้อยของโรเตอร์ให้มีค่าเพิ่มขึ้นได้ ฉะนั้นมอเตอร์สามารถที่จะหมุนด้วยความเร็วที่สูงหรือต่ำกว่าปกติได้ตราบเท่าที่โครงสร้างของมอเตอร์จะทนทานได้

-ระดับแรงดันที่ป้อนให้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันของมอเตอร์เหนี่ยวนำกับหม้อแปลงไฟฟ้าว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกัน ทำให้เราสามารถที่จะสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำทางด้านโรเตอร์ เป็นไปตามสมการ

$$E = 4.44N*F*\phi$$

เมื่อ N = จำนวนรอบของขดลวดทางด้านโรเตอร์

F = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำทางด้านโรเตอร์

จากสมการจะพบว่าถ้าต้องการให้เส้นแรงแม่เหล็กนี้มีค่าคงที่เพื่อรักษาให้แรงบิดมีค่าคงที่แล้ว เราจะต้องรักษาอัตราส่วนของ แรงดันต่อความถี่ให้มีค่าคงที่ อย่างไรก็ตาม เราไม่จำเป็นที่จะต้องรักษาเงื่อนไขดังกล่าวนี้เสมอไป ในบางกรณีการเพิ่มค่าเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะทำให้แรงบิดมีค่าสูงขึ้น แต่จะสามารถเพิ่มได้ถึงจุด ๆ หนึ่งเท่านั้นเนื่องจากอาจจะเกิดการอิ่มตัวของแกนเหล็กได้ การเพิ่มค่าเส้นแรงแม่เหล็กนี้ยังมีผลในการเพิ่มค่าความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็กในตัวมอเตอร์อีกด้วย

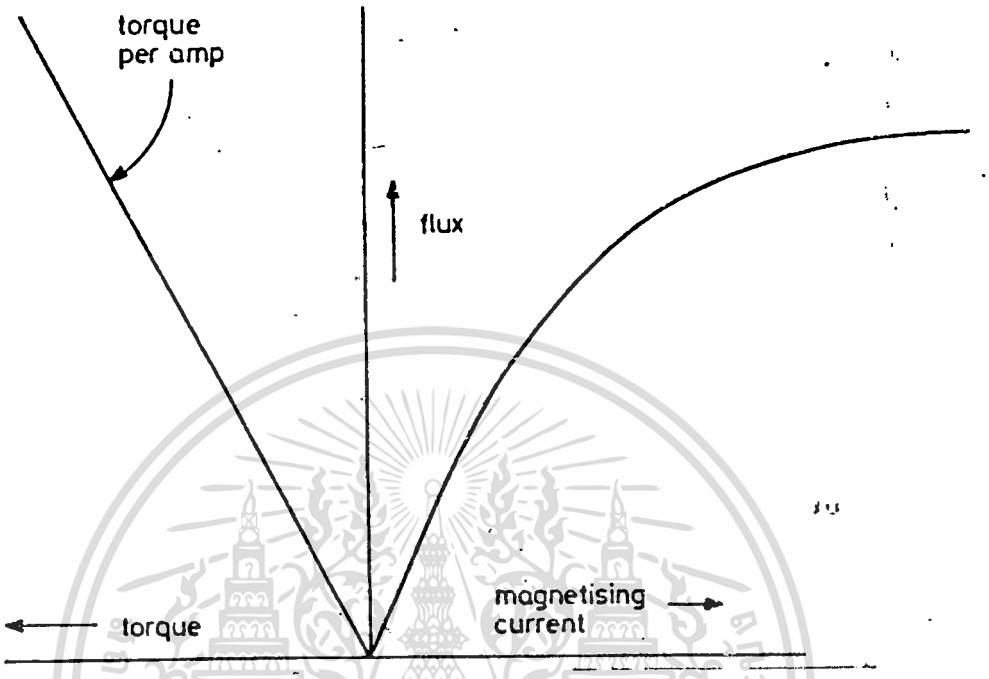
ส่วนในกรณีของการลดค่าของเส้นแรงแม่เหล็กนี้ จะพบว่ามีประโยชน์ในบางกรณีเช่น ถ้ามอเตอร์ทำงานในขณะที่ปลดโหลดออกหรือโหลดมีค่าน้อย ค่าสูญเสียในแกนเหล็กจะลดลงเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กลดลง หรือถ้าให้มอเตอร์ทำงานที่ความถี่สูง ๆ โดยที่แรงดันคงที่ที่พิกัดเราจำเป็นต้องลดค่าเส้นแรงแม่เหล็กลงทั้งนี้เพื่อป้องกันการเสื่อมของฉนวนในตัวมอเตอร์

การลดค่าของแรงดันและเส้นแรงแม่เหล็กนี้ยังถือว่าเป็นวิธีการป้องกันมอเตอร์และวงจรขับมอเตอร์ได้อีกวิธีหนึ่งด้วย เพราะถ้าเกิดความผิดปกติขึ้นในวงจรเนื่องจากมีการไหลของกระแสเกินพิกัดแล้ว การลดแรงดันลงหรือตัดออกจากวงจรจะช่วยในการป้องกันมอเตอร์มิให้เสียหายได้

ในรูปที่ 7 นี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นแรงแม่เหล็ก ค่าของกระแส magnetizing นี้จะมีผลต่อการอิ่มตัวของมอเตอร์และค่าของแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อกระแสที่ใช้ในการสร้างแรงบิดที่ตัวโรเตอร์มีค่าคงที่



รูปที่ 7 กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ กับ เส้นแรงแม่เหล็ก

-กระแสที่มอเตอร์ต้องการ

แรงบิดที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ เกิดจากการกระทำระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศกับกระแสที่ตัวโรเตอร์ เมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็วซิงโครนัสซึ่งค่า สลิป มีค่าน้อย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของกระแสที่ด้านโรเตอร์มีค่าสูง แรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับค่าของกระแสที่ไหลผ่านโดยประมาณ ดังนั้นการควบคุมกระแสทางด้านโรเตอร์ ก็คือการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์นั่นเอง แต่ทั้งนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ค่าของสลิปมีค่าน้อย ๆ

กระแสทางด้านสเตเตอร์จะมีขนาดเท่ากันกับกระแสทางด้านโรเตอร์โดยประมาณ โดยมีค่าอัตราส่วนวนจำนวนรอบของมอเตอร์เป็นตัวกำหนดอยู่ด้วย แต่กระแสทางด้านสเตเตอร์จะมีส่วนของกระแส magnetizing รวมอยู่ด้วย ในควบคุมความเร็วของมอเตอร์เราจะถือว่ากระแสส่วนนี้เป็นอิสระกับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยที่ค่าของกระแส magnetizing นี้จะมีค่าคงที่เพื่อทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในวงจรมีค่าคงที่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เพื่อที่จะทำความเข้าใจในการทำงานของมอเตอร์เราจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงวงจรสมมูลของมอเตอร์ ซึ่งสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตลอดจนการทำงานของมอเตอร์ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ตัวโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุน มีความเร็วเท่ากันซึ่งสามารถแทนวงจรสมมูลของมอเตอร์ด้วยวงจรสมมูลของหม้อแปลง โดยที่ขดลวดที่ทางสเตเตอร์มีจำนวนรอบเท่ากับ T_1 ขดลวดทางด้านโรเตอร์มีจำนวนรอบเท่ากับ T_2 อย่างไรก็ตามขดลวดทางด้านสเตเตอร์จะได้รับแรงดันที่มีความถี่ F_2 ในขณะที่ความถี่ของแรงดันเหนี่ยวนำที่ด้านโรเตอร์มีค่าเท่ากับความถี่สลิป รูปที่ 8 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยที่

R_2 = ค่าความต้านทานของขดลวดตัวนำทางด้านโรเตอร์

L_2 = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำทางด้านโรเตอร์

R_1 = ค่าความต้านทานของขดลวดตัวนำทางด้านสเตเตอร์

L_1 = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดตัวนำทางด้านสเตเตอร์

ความสูญเสียเนื่องจากวงจรแม่เหล็ก คือค่าความสูญเสียจากแกนเหล็ก จะใช้สัญลักษณ์ R_L เป็นค่าความต้านของแกนเหล็ก ส่วนค่าอิมพีแดนซ์ของแกนแหล็กจะอยู่ทางด้าน สเตเตอร์ค่าความถี่ที่เกิดขึ้นทางด้านโรเตอร์สามารถหาได้จากสมการ

$$F_2 = S_1 * F_1$$

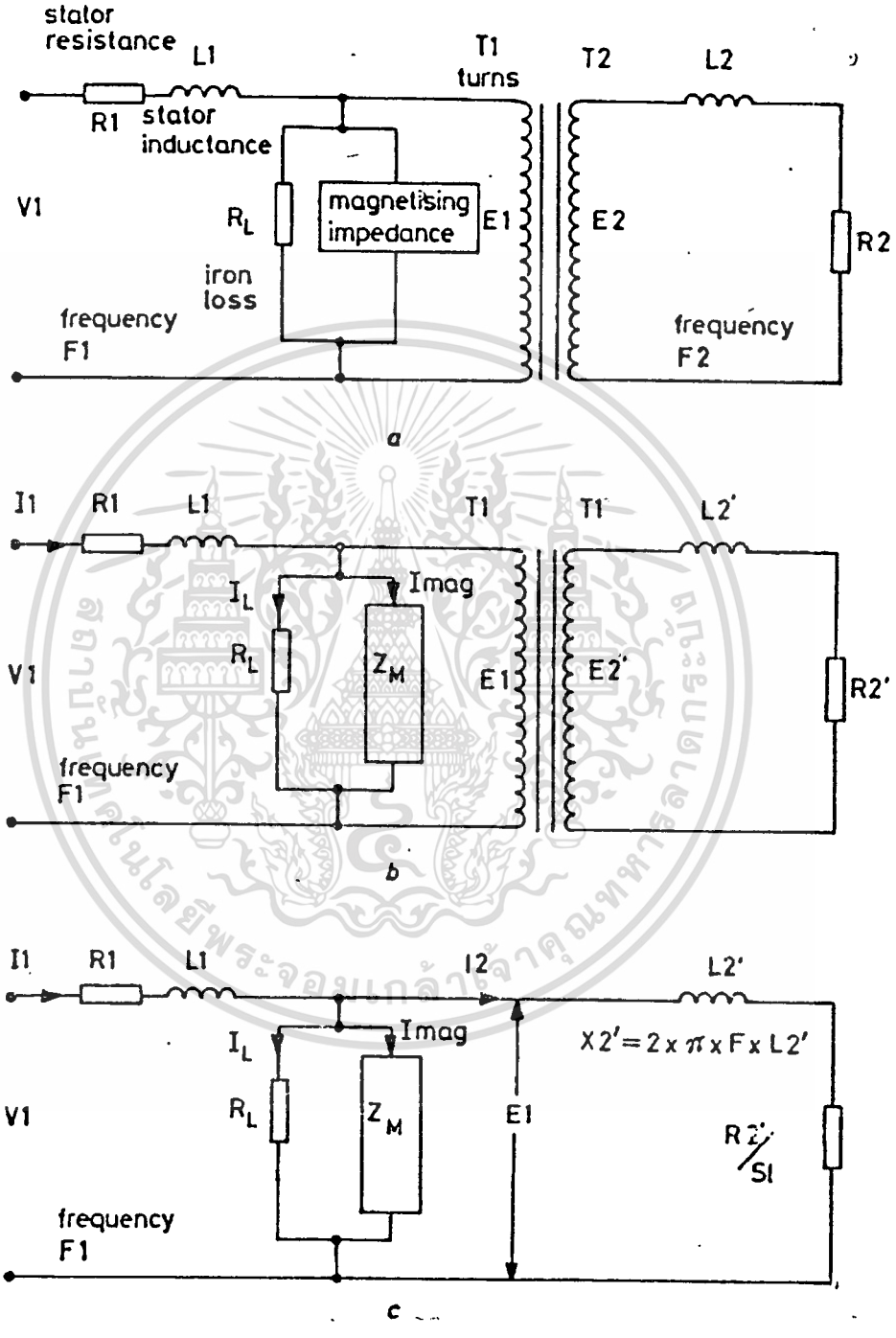
เมื่อ S_1 เป็นค่าสลิปต่อหน่วย

แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นทางด้านโรเตอร์จะมีความสัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำทางด้านสเตเตอร์ดังสมการ

$$E_2 = E_1 * S_1 * T_2/T_1$$

แม้ว่าวงจรสมมูลนี้สามารถที่จะนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์และการทำงานของมอเตอร์ได้ แต่ในทางปฏิบัติเราจะทำการย้ายค่าต่าง ๆ ทางด้านโรเตอร์ไปยังด้านสเตเตอร์เพื่อที่จะทำให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างสะดวก และค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง การย้ายข้างของค่าต่าง ๆ ทางด้านโรเตอร์สามารถทำได้ตามลำดับดังรูป b และ c ซึ่งจะสรุปได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 รูปแสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_2' = R2*(T_2/T_1)^2$$

$$L_2' = L_2*(T_2/T_1)^2$$

จากรูปเราสามารถสรุปได้ว่า

1. กระแส Imag เป็นกระแสส่วนที่มอเตอร์นำไปใช้ในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กและเพื่อสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ E_1 ที่ตัวสเตเตอร์ด้วย

2. $I_L^2*R_L$ เป็นค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากแกนเหล็ก

3. $I_1^2*R_1$ เป็นค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากขดลวดตัวนำทางด้านสเตเตอร์

4. พลังงานไฟฟ้าที่ส่งข้ามมาจากฝั่งสเตเตอร์มีค่าเท่ากับ $I_2^2*R_2'/S_1$

5. $I_2^2*R_2$ เป็นค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากขดลวดตัวนำทางด้านโรเตอร์

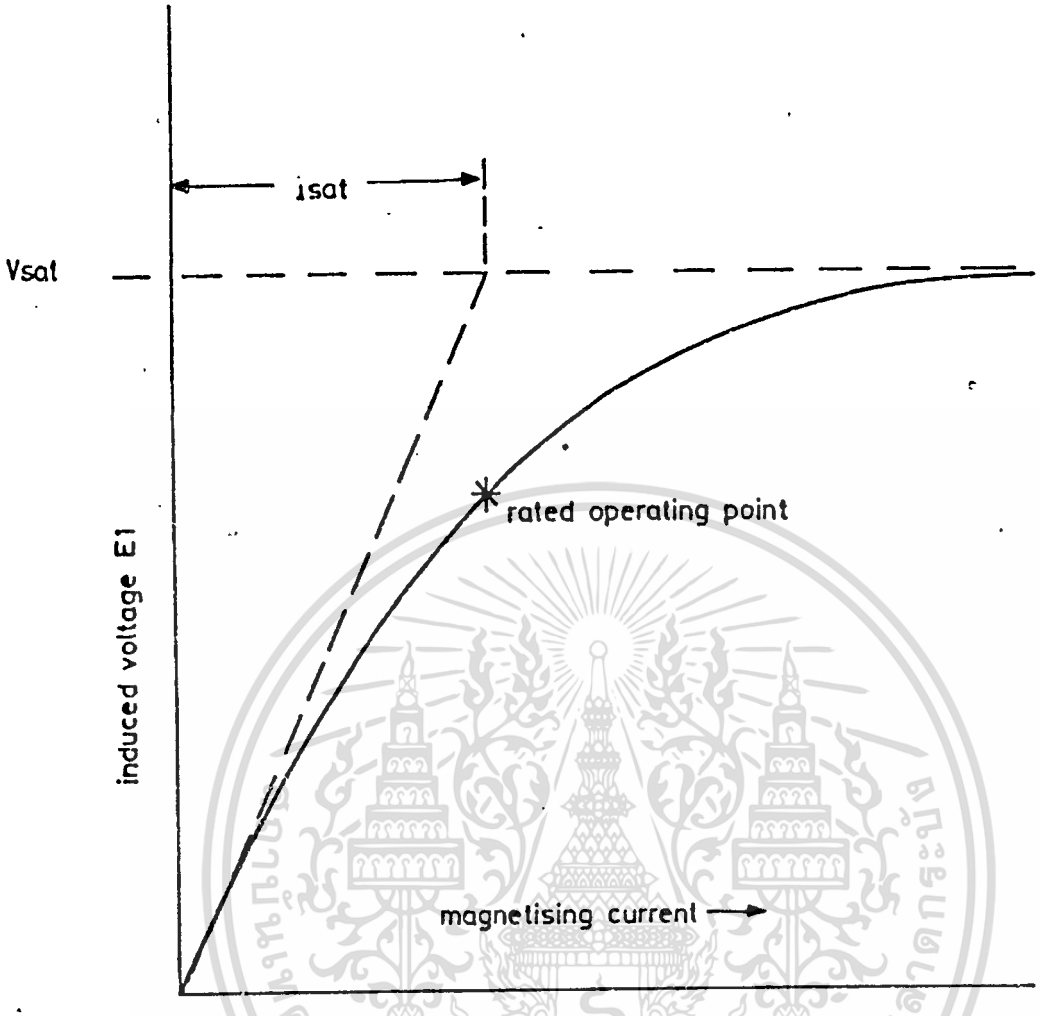
6. พลังงานที่มอเตอร์จ่ายออกมาที่เพลา มีค่าเท่ากับผลต่างของสมการในข้อ 4 และข้อ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $I_2^2*R_2'((1-S_1)/S_1)$

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเมื่อเรานำเอาวงจรสมมูลนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

1. ในปัจจุบัน มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างสูงเนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน และราคาถูก โครงสร้างทางด้านโรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วยแท่งตัวนำฝังอยู่ โดยที่ปลายทั้ง 2 ข้างของแท่งตัวนำนี้มีการต่อลัดวงจรอยู่ ซึ่งจากผลดังกล่าว เนื่องจากแท่งตัวนำมีขนาดใหญ่ ค่าความต้านทานของแท่งตัวนำนี้จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความถี่ที่เกิดขึ้นที่ตัวโรเตอร์เปลี่ยนแปลงไป ฉะนั้นในการคำนวนเราจึงจำเป็นต้องประมาณค่าความต้านทานนี้โดยจะใช้ค่าความต้านทานของมอเตอร์เมื่อความถี่ที่ตัวโรเตอร์มีค่ามาก แต่โดยทั่ว ๆ ไปค่าความต้านทานนี้จะมีค่าน้อยอยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบจากมันมากนัก

2. ค่าของกระแส Imag นี้ไม่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำตลอดไป เนื่องจากการเพิ่มค่าของ Imag นี้จะทำให้มอเตอร์อิ่มตัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำกับกระแสแมกนิไตส์

-แผนภูมิเวกเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

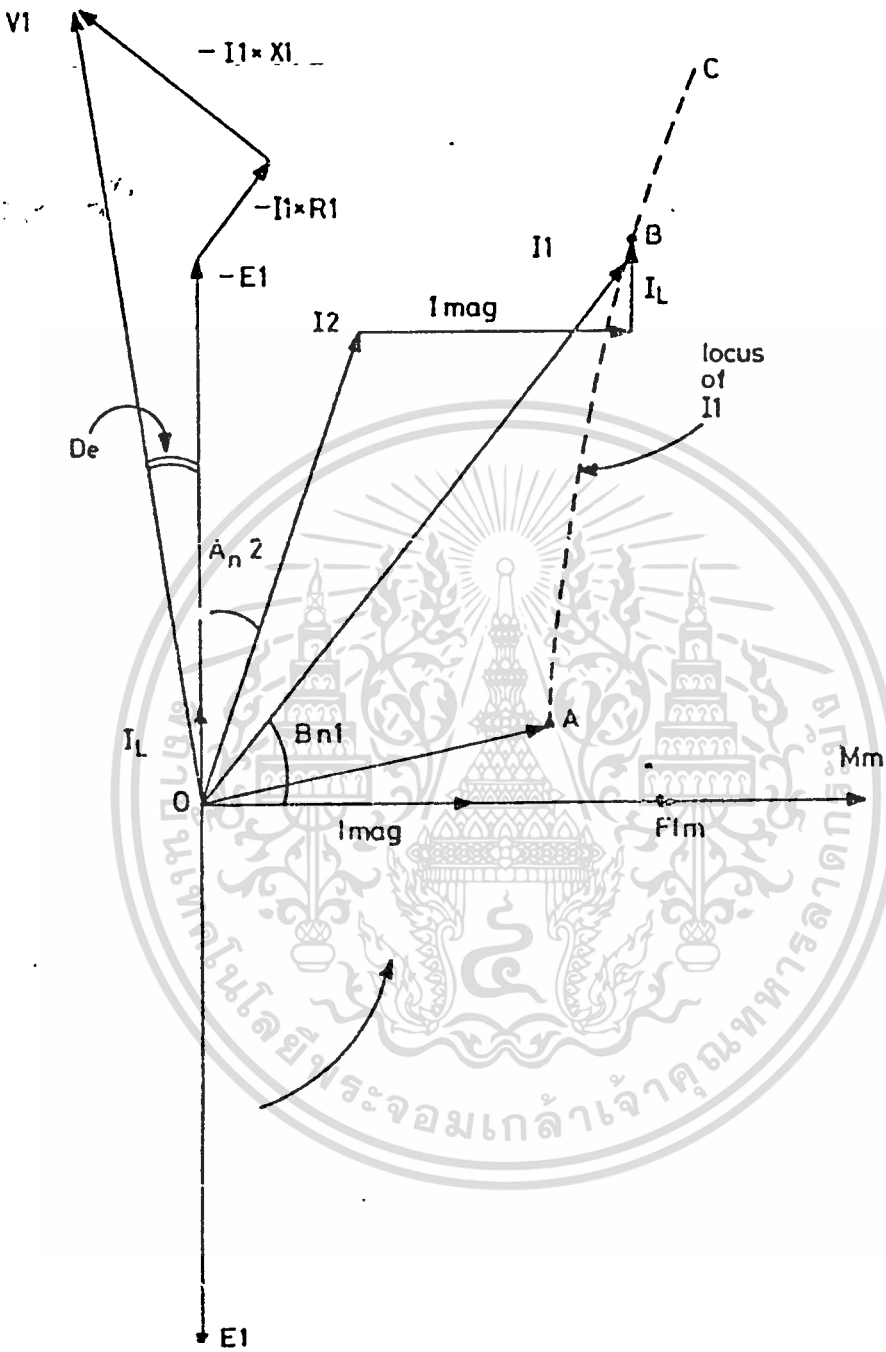
แผนภูมิเวกเตอร์ มีประโยชน์ในการทำความเข้าใจในระบบการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีลักษณะเป็นรูปสัญญาณซายน์ ในที่นี้ข้อกำหนดของแผนภูมิมีดังนี้

1. ทิศทางการหมุนของเวกเตอร์ต่าง ๆ จะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

2. เวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็ก คือผลรวมของเวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กลัพท์ที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็กในแต่ละเฟส

3. กระแส Imag จะอยู่ในเฟสเดียวกันกับเวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 กราฟแสดงถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์ในรูปของเวคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แรงดันที่เกิดขึ้นในตัวต้านทานมีทิศทางตรงข้ามกับกระแส

5. แรงดันที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำจะมีเฟสตามหลังกระแสที่เกิดขึ้นบนตัวมัน 90 องศาไฟฟ้า

จากรูปเราจะได้ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามรูปแผนภูมิคือ

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

$$I1 = I_2 + Imag + I_L$$

-การวิเคราะห์สมการของมอเตอร์เมื่อค่าเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

การวิเคราะห์สมการของมอเตอร์ภายใต้เงื่อนไขที่เส้นแรงแม่เหล็กคงที่ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันเหนี่ยวนำกับความถี่มีคงที่ ถ้ากำหนดให้แรงบิดที่พิกัดมีค่าคงที่เท่ากับ Tr และความถี่ที่พิกัดมีค่าเท่ากับ Fr จะได้ว่า

ความเร็วสลิป SS = S1r*120*Fr/P RPM

เมื่อ P คือจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ และค่าความเร็วสลิปที่ค่าแรงบิดใด ๆ จะมีค่าเท่ากับ

SS = T/Tr(S1r*120*Fr/P)

ค่าของสลิป S1 ที่ความถี่ใด ๆ สามารถหาได้จาก

S1 = S1r*T/Tr*F/Fr

อิมพีแดนซ์ของโรเตอร์ Z_2 มีค่าเท่ากับ

$Z_2 = \{ (2*\pi*F*L_2')^2 + (R_2'/S1)^2 \}^{0.5}$ เนื่องจากเรากำหนดให้เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ ดังนั้น

E1/F = Er/Fr

เมื่อ Er คือค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่พิกัด

กระแสไฟฟ้าทางด้านโรเตอร์หาได้จาก

$$I_2 = E_1 / Z_2$$

มุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ของกระแสทางด้านโรเตอร์ An2 หาได้จาก

TAN(An2) = $(2*\pi*F*L_2'*S_1)/R_2'$

เนื่องจากเรากำหนดให้เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ทำให้ค่าของกระแส Imag มีค่าคงที่ตลอดย่านการใช้งานค่าของกระแส I_L จะหาได้จาก E_1 / R_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟทางด้านสเตเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

$$I_{power} = I_2 COS(An2)+I_L$$

$$I_{react} = I_2 *SIN(An2)+Imag$$

สามารถหาค่า I_1 ที่ไหลเข้ามอเตอร์ได้ดังนี้

$$I_1 = [(I_{power})^2+(I_{react})^2]^{0.5}$$

$$Bn1 = ATN(I_{power}/I_{react})$$

สุดท้ายค่าของ V_1 จะหาได้จากสมการ

$$V_{power} = E_1+I_1*X_1*COS(Bn1)+I_1*R_1*SIN(Bn1)$$

$$V_{react} = I_1*X_1*SIN(Bn1)-I_1*R1*COS(Bn1)$$

$$V_1 = [(V_{power})^2+(V_{react})^2]^{0.5}$$

มุมระหว่าง แรงดันทั้ง 2 ส่วนคือ

$$De = ATN(V_{react}/V_{power})$$

ฉะนั้นจะได้ว่าอินท์พุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์มีค่าเท่ากับ

$$Pfm = SIN(Bn1-De)$$

พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ

$$power\ loss = (I_1)^2*R_1+(I_2)^2*R_2+(E_1)^2/R_L$$

พลังงานสูญเสียทั้งหมดจะมีค่าเป็น 3 เท่าของสมการข้างต้น

ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จาก

$$S = (1-S_1)*(120*F/P)\ \ RPM$$

พลังงานกลที่มอเตอร์จ่ายออกมาจะมีค่าเท่ากับ

$$Power\ out = 2*\pi*S*T/60\ \ watts$$

- ความสูญเสียภายในตัวมอเตอร์

เมื่อนำมอเตอร์มาใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ เพื่อปรับความเร็ว พบว่างงานสูญเสีย ซึ่งเกิดขึ้นบนตัวมอเตอร์จะไม่สามารถที่จะวัดออกมาได้ง่าย ๆ เนื่องจากส่วนประกอบหลายส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียในตัวมอเตอร์ขึ้น เมื่อความเร็ว ความถี่ แรงดันและกระแส ของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไป ความสูญเสียทั้งหมดจึงควรจะหาจากผลรวมของความสูญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียในแต่ละส่วน ซึ่งเราสามารถอธิบายได้เป็นส่วน ๆ ดังนี้

1. ความสูญเสียเนื่องจากตัวนำ

ขดลวดที่ใช้ในการพันมอเตอร์จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งเสมอ แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานนี้จะมีค่าเพียงเล็กน้อย ความสูญเสียเนื่องจากตัวนำจึงเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการ I^2R ความต้านทานจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งอาจจะเกิดจากการขับโหลดมาก ๆ นาน ๆ นอกจากนี้ผลของ skin effect ก็ควรจะนำมาใช้ในการพิจารณาความสูญเสียที่เกิดขึ้นด้วย

2. ความสูญเสียเนื่องมาจากแกนเหล็กของมอเตอร์

ในการทำงานครบไซเคิล ค่าของเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้เกิดค่าพลังงานสูญเสียแบบ อีสเทอร์ริซิส ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของแกนเหล็ก ค่าความสูญเสียนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ชนิดของเหล็กปกติค่าความสูญเสียนี้จะเป็นสัดส่วนกับ (ฟลักซ์)^x* ความถี่ x จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-2.5 ขึ้นกันชนิดของเหล็กที่นำมาใช้

นอกจากความสูญเสียในรูปของอีสเทอร์ริซิสแล้วยังมีความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (eddy current) ซึ่งความสูญเสียในส่วนนี้จะเป็นไปตาม (ความถี่)^2*(ฟลักซ์)^2 ซึ่งเราสามารถที่จะลดผลของความสูญเสียในส่วนนี้ได้โดยการทำการแยกแกนเหล็กออกเป็นแผ่นบาง ๆ โดยในแต่ละแผ่นมีฉนวนกั้นกลางอยู่ซึ่งจะช่วยทำให้ค่าความสูญเสียในแกนเหล็กลดลง

3. ความสูญเสียเนื่องมาจากแรงเสียดทาน

โดยทั่วไป ความสูญเสียในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วที่เพลาของมอเตอร์ ถ้ามอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงจะเกิดการสูญเสียมาก

4. ความสูญเสียเนื่องมาจากแรงลม

ความสูญเสียเนื่องมาจากการติดใบพัดเพื่อทำการคูลลิ่งมอเตอร์ไม่ให้มีอุณหภูมิสูงจนเกินไปความสูญเสียในส่วนนี้จะมีค่าสูงเมื่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วสูง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2.2 ทฤษฎีและหลักการของอินเวอร์เตอร์แบบพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น

บทนำ

ข้อจำกัดโดยทั่วไปของ Six-Step อินเวอร์เตอร์ คือ การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ความเร็วต่ำ เหตุผลเนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวสเตเตอร์นั้นมีลักษณะไม่ต่อเนื่องทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นมีลักษณะกระตุก ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นระบบการทำงานของ Six-Step อินเวอร์เตอร์จะไม่นำไปใช้งานควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่ำมาก ๆ ได้

พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์ที่มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ในปัจจุบันนี้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวได้ โดยการใช้อุปกรณ์สวิทส์ซึ่ง ทำงานที่ความถี่สูง เพื่อปรับปรุงให้กระแสที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์มีรูปร่างใกล้เคียงกับสัญญาณซายน์มากขึ้น ทำให้สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวสเตเตอร์ หมุนอย่างต่อเนื่องซึ่งทำให้การเกิดการกระตุกของ แรงบิดนั้นหมดไป

จากข้อได้เปรียบดังกล่าวมานี้ทำให้ อินเวอร์เตอร์ ชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ที่ความเร็วต่ำให้ดีพอ ๆ กับการใช้งานในย่านความเร็วสูง ๆ โดยอาศัยวงจรทางอิเลคทรอนิคส์พื้นฐานและการใช้อุปกรณ์ทางดิจิตอลและไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งมีราคาไม่แพงมากนักทำให้การใช้งาน อินเวอร์เตอร์ แบบ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาขึ้นมาใช้งานกันอย่างมากแม้ว่าจะไม่นำมาใช้งานในย่านความเร็วต่ำก็ตาม แต่ถึงแม้ว่า อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ จะมีมานานแล้วก็ตาม แต่การประดิษฐ์อุปกรณ์จำพวก สวิทส์ซึ่ง เช่น ทรานซิสเตอร์ , จีทีโอ เพิ่งจะประสบความสำเร็จเมื่อไม่นานมานี้ทำให้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกันต่อไป

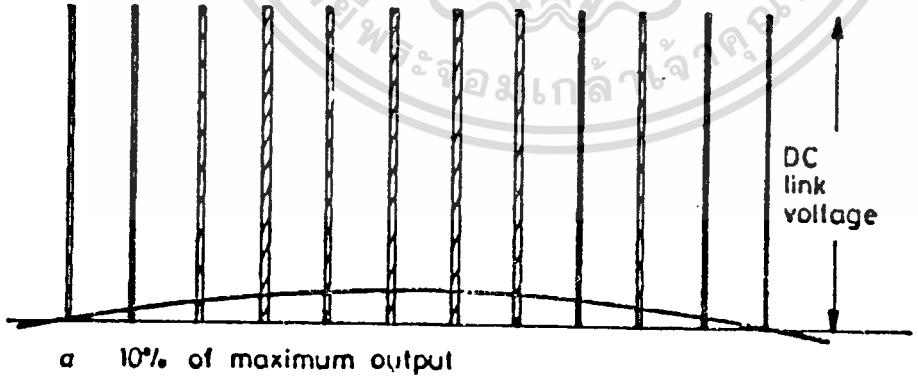
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานเบื้องต้น

การทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบพัลส์วิดมอดดูเลชั่นนี้เริ่มต้นจากการแปลงสัญญาณไฟสลับจากภายนอก เพื่อสร้างไฟกระแสตรง จากนั้นจึงนำเข้าไปยังส่วนของอุปกรณ์สวิทส์ชิ่ง เพื่อทำการสวิทส์ชิ่ง ให้กลายเป็นไฟกระแสสลับ เพื่อป้อนเข้าสู่มอเตอร์ต่อไป โดยที่เราสามารถที่จะปรับความถี่และขนาดของแรงดัน ที่ป้อนเข้าที่มอเตอร์ ได้ตามต้องการ

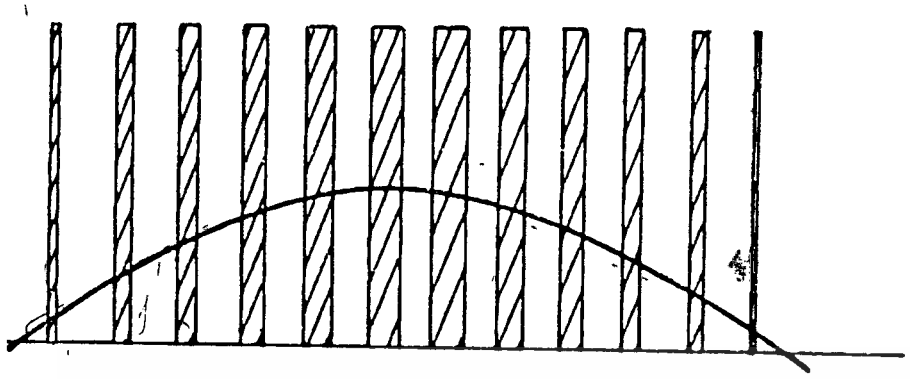
การทำงานของ six-step อินเวอร์เตอร์นั้นจะทำการสวิทส์ชิ่งให้กระแสหรือแรงดันไหลเข้าสู่มอเตอร์ เพียงชุดละ 1 ครั้งในช่วงครึ่งไซเกิล ของสัญญาณ เพื่อสร้างสัญญาณซายน์ ที่มีลักษณะเป็น สแควร์ หรือ รูปคลื่น ควอซี่สแควร์ ส่วนใน

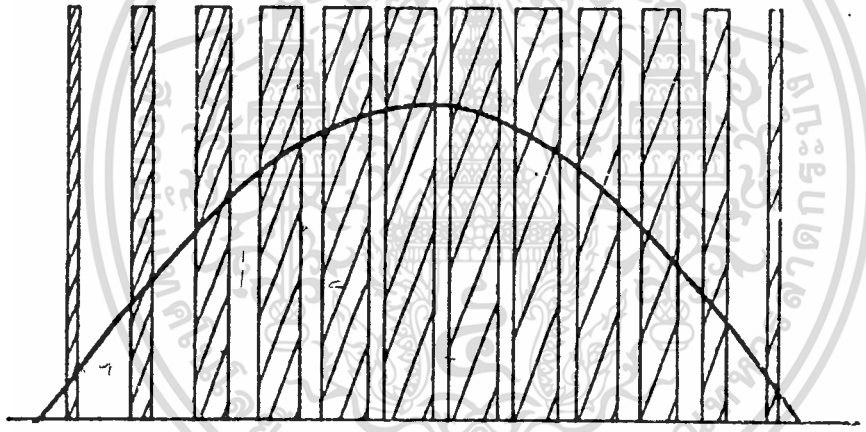
กรณีของ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ นั้นจะทำการ สวิทส์ชิ่ง หลาย ๆ ครั้งในช่วงครึ่งไซเกิล และสามารถที่จะควบคุมความกว้างของพัลส์หรือ ความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตได้ ซึ่งโดยวิธีการดังกล่าวเราไม่จำเป็นที่จะต้องปรับระดับแรงดันกระแสตรงทางด้านอินพุตเลย การเปลี่ยนขนาดแรงดันทำได้โดยการควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ ที่ควบคุมจากรูปแบบ การ สวิทส์ชิ่ง นั่นเอง



a 10% of maximum output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 11 รูปแสดงสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่นอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 11 แสดงให้เห็นลักษณะเบื้องต้นของสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่น ในครึ่งไซเกิลที่ได้มาจากการสวิทส์ชิ่ง ความกว้างของสัญญาณมีความสัมพันธ์กับขนาดของแรงดัน แรงดันฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับความถี่ที่ใช้ในการ สวิสท์ชิ่งการปรับขนาดของแรงดันสามารถทำได้โดยการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยที่ความกว้างของสัญญาณทุกลูกมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราส่วนเท่ากัน ถ้าช่วงเวลาในการ On มีเพียง 50% ใน 1 ไซเกิล แรงดันด้านเอาท์พุต ที่ได้ก็จะมีค่าเพียง 50% ของ แรงดันกระแสตรงทางด้านอินท์พุต เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

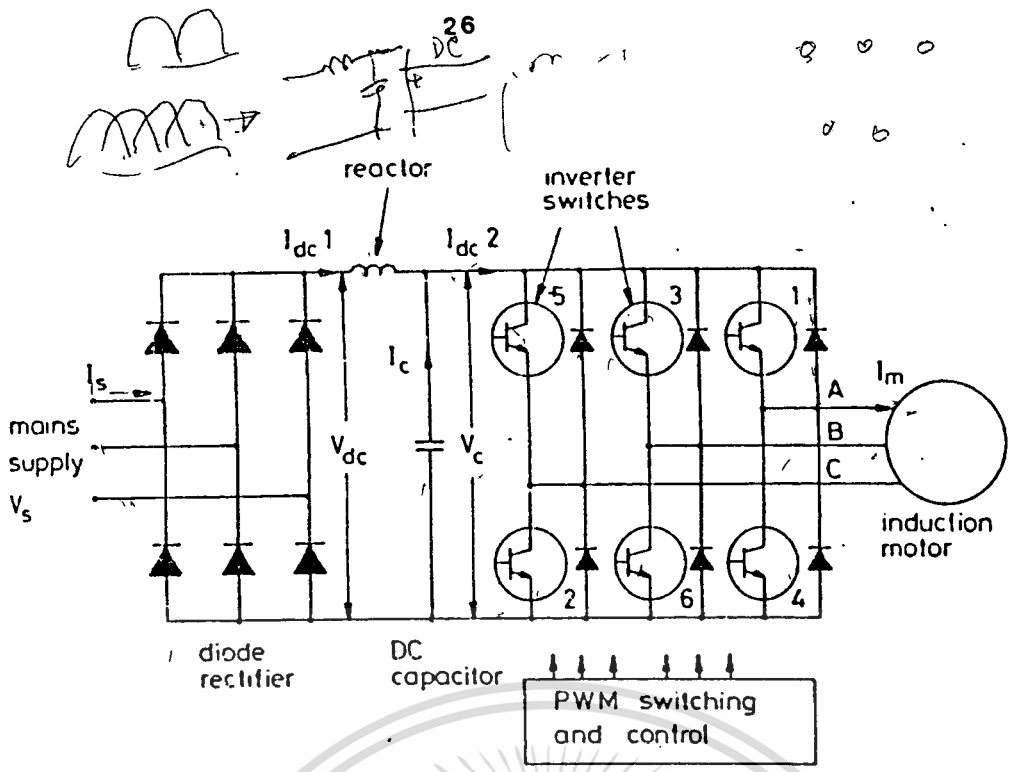
ความถี่ของสัญญาณ เอาท์พุต ที่ได้จากการสวิสทชิ่ง สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนรูปแบบของการ สวิทส์ชิ่ง หรือ การเปลี่ยนจำนวนของพัลส์ ในครึ่งไซเกิลนั่นเอง ในทางปฏิบัติ ความถี่ที่ใช้ในการ สวิทส์ชิ่งจะถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์สวิทส์ชิ่ง ที่ใช้ในวงจรเอง ซึ่งจะพบว่าถ้าต้องการให้มอเตอร์ ทำงานในย่านความเร็วต่ำ สัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก อินเวอร์เตอร์ จะมีจำนวนพัลส์ ในครึ่งไซเกิลมาก ในขณะเดียวกันถ้าต้องการให้มอเตอร์ ทำงานที่ความเร็วสูง จำนวนพัลส์ ในครึ่งไซเกิลที่ได้จาก อินเวอร์เตอร์มีจำนวนน้อยลง

จากลักษณะการทำงานดังกล่าวนี้ พบว่ากระแสที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์ที่ความเร็วต่ำมีลักษณะเป็นรูปซายน์มากขึ้นและฮาร์โมนิค ที่เกิดขึ้นก็มีน้อยทำให้เกิดข้อได้เปรียบเหนือกว่าอินเวอร์เตอร์ แบบ six-step ในขณะที่ถ้าต้องการให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วสูง เนื่องจากผลของอินดักแตนส์ ในตัวมอเตอร์ มีค่าน้อย ทำให้ผลของฮาร์โมนิคที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากและเกิดผลกับตัวมอเตอร์น้อย ในทางปฏิบัตินิยมใช้งานอินเวอร์เตอร์ ทั้ง 2 ลักษณะคือ จะให้อินเวอร์เตอร์ ทำงานในโหมดพัลส์วิด-มอดดูเลชั่น ในช่วงความถี่ต่ำจนถึงระดับความถี่ปานกลาง จากนั้นจะเปลี่ยน โหมดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ให้ทำงานในลักษณะของ Six-Step ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์สวิทส์ชิ่ง กล่าวคือ สวิทส์ที่ใช้งานที่ระดับแรงดันสูงๆ ไม่สามารถทำงานที่ความถี่สูง ๆ ได้ เนื่องจาก การ Turn-off ทำได้ช้า ทำให้เกิดโอเวอร์แลป ขึ้นถ้าใช้งานในโหมด ของพัลส์วิดมอดดูเลชั่นผลข้อนี้ทำให้แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์มีขนาดลดลง และทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวสวิทส์มากซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ในวงจรเสียหายได้ ถ้าไม่มีการป้องกัน การปรับให้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ มาเป็นแบบ Six-Step นี้จะช่วยลดผลดังกล่าวได้และยังสามารถช่วยลดพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการสวิสท์ชิ่ง ที่เกิดขึ้นได้ด้วย

การทำงานและระบบของ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์

วงจรโดยทั่วไปของ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับ Six-Step แตกต่างกันตรงที่ชุดเร็คติไฟเออร์ ของอินเวอร์เตอร์แบบพัลส์วิดมอดดูเลชั่นจะใช้ไดโอด เป็นตัวเร็คติไฟย์แทน ซึ่งทำให้แรงดันไฟกระแสตรงที่ได้มีค่าคงที่ตลอดช่วงการทำงานและ เราไม่จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนระดับแรงดันไฟกระแสตรงนี้อีกเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 รูปแสดงอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรพัลส์วิดมอดดูเลชั่นอินเวอร์เตอร์

จากรูปจะพบว่า พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ จัดเป็น โวลท์เตจซอสท์ อินเวอร์เตอร์ แบบหนึ่ง ฉะนั้นเราสามารถที่จะนำมอเตอร์ หลาย ๆ ตัวมาต่อขนานกับเพื่อควบคุมความเร็วร่วมกันได้ แต่จะต้องคำนึงถึงพิกัดของอินเวอร์เตอร์ ระดับแรงดันที่ส่งให้กับมอเตอร์ ได้โดยการเปลี่ยนความกว้างของสัญญาพัลส์ ไดโอด ในวงจรมีไว้เพื่อเป็นทางผ่านของกระแสรีแอคแตนส์ ส่วนรีแอคแตนส์ ที่ใส่ไว้เพื่อป้องกันการเกิดกระแสกระชาก ขณะเปิดสวิสท์ของแหล่งจ่าย นอกจากนี้ยังเป็นตัวป้องกันการเกิดสัญญาณรบกวนในระบบและในแหล่งจ่ายไฟด้วย

ตัวเก็บประจุ ที่ใส่ในวงจรทำหน้ารักษาระดับแรงดันในวงจรให้คงที่ตลอดจนทำหน้าที่กำจัดแรงดันริปเพิล ที่เกิดขึ้น และยังเป็นทางผ่านของกระแสรีแอคทีฟ ที่ไหลมาจากไดโอดด้วย

วงจรที่ใช้ในการควบคุมการ สวิทส์ของทรานซิสเตอร์ ต้องออกแบบเพื่อที่จะให้ทรานซิสเตอร์ ทำงานอย่างต่อเนื่องด้วยความถี่ที่ใช้ในการสวิทส์ซิ่งสัญญาณเอาท์พุต ที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ คือการสลับกันทำงานระหว่างสวิทส์ ทางด้านบวก กับสวิทส์ทางด้านลบ ด้วยค่าความถี่ของสัญญาณพาหะ ค่าเฉลี่ยของการสวิทส์ซิ่งที่ความถี่สูงใน 1 ไซเกิลคือความถี่เอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ดังนั้น จุดที่ระดับแรงดันเป็นศูนย์ของ แรงดันเอาท์พุต จะอยู่ที่จุดที่ช่วงเวลาทำงานของสวิทส์ทางด้านบวก มีค่าเท่ากับ ช่วงเวลาทำงานของสวิทส์ทางด้านลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ อินเวอร์เตอร์ คือการทำงานสลับกันไปมาระหว่างสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์ในแต่ละขา เป็นการสลับกันทำงานระหว่างทรานซิสเตอร์ กับไดโอด ที่ความถี่สูง เพื่อทำให้กระแสที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์ มีลักษณะต่อเนื่อง ทั้งนี้เรายังต้องสามารถควบคุมระดับแรงดันและความถี่ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ด้วย

คุณสมบัติของพัลส์วิดมอดดูเลชั่น-อินเวอร์เตอร์ ที่เหมือนกับ โวลต์เตจซอสท์ อินเวอร์เตอร์ ทั่ว ๆ ไปคือเมื่อความถี่ที่ใช้ในการควบคุมมีค่าลดลง จะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานกลับ คืนพลังงานให้กับ อินเวอร์เตอร์ ทำให้แรงดันกระแสตรง มีระดับแรงดันสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานมีการคืนกลับมาชาจท์ให้กับตัวเก็บประจุ โดยผ่านมาทางไดโอด ผลการเกิด การถ่ายเทพลังงานกลับนี้ อาจจะทำให้อุปกรณ์ในวงจร อินเวอร์เตอร์ เสียหายได้ ฉะนั้นในการออกแบบอินเวอร์เตอร์จึงจำเป็นต้องมีวงจรป้องกันการเกิด การถ่ายเทพลังงานกลับ คือมีการตรวจสอบระดับแรงดันไฟกระแสตรง เมื่อพบว่าแรงดันนี้มีค่าสูงขึ้นจะต้องเพิ่มความถี่ให้มอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์มีความเร็วสูงขึ้น หรือเราอาจจะต้องต่อวงจรเพื่อทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานที่มอเตอร์จ่ายคืนกลับมานี้ออกเสีย ทำให้มอเตอร์ลดความเร็วลงมาได้รวดเร็ว ซึ่งจัดได้ว่าเป็นการ เบรคมอเตอร์ได้วิธีหนึ่ง

พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ นี้จะให้ข้อดีที่เหนือกว่า Six-step อินเวอร์เตอร์ หลายประการดังนี้

1. การควบคุมความเร็วรอบของ มอเตอร์ สามารถทำได้ในย่านที่กว้างกว่า และสามารถควบคุมความเร็วรอบของ มอเตอร์ ที่ความเร็วต่ำได้ดีกว่าด้วย

2. ที่ความเร็วต่ำ มอเตอร์ จะไม่มีการเกิด การกระตุกของแรงบิด

3. เนื่องจากกระแสที่ไหลเข้า มอเตอร์ มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณซายน์ ทำให้ ฮาร์โมนิค ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย พลังงานสูญเสียในมอเตอร์ก็จะมีค่าน้อย ตลอดจนการเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบก็น้อยด้วยเช่นกัน

4. เนื่องจากการใช้ ไดโอด เป็นตัว เรคติไฟย์ ทำให้ค่าอินพุตเพาเวอร์ แฟคเตอร์ มีค่าสูงตลอดช่วงการใช้งาน

5. เนื่องจาก อินเวอร์เตอร์ ชนิดนี้เป็นแบบโวลต์เตจซอสท์ อินเวอร์เตอร์ ฉะนั้นเราจึงสามารถนำ มอเตอร์ หลาย ๆ ตัวมาต่อใช้งานร่วมกันได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบดังกล่าวนี้ก็ถูกจำกัดด้วยการที่จะต้องใช้วงจรต่าง ๆ เพื่อป้องกัน และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ อินเวอร์เตอร์ ความยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบ รูปแบบการสวิสท์ชิ่ง และวงจรป้องกันต่าง ๆ ทำให้ อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ไม่ ได้เปรียบไปกว่า Six-Step อินเวอร์เตอร์ มากนัก

<u>การพิจารณาในการออกแบบ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น-อินเวอร์เตอร์ และการใช้งาน</u>

ระบบ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น-อินเวอร์เตอร์ จัดเป็นระบบ โวลต์เตจซอสท์ อินเวอร์เตอร์ เนื่องจากมี ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ ต่อขนานอยู่ในวงจร ทำให้ระดับแรงดันด้านอินพุต มีค่าคงที่ตลอด นอกจากนี้ตัวเก็บประจุนี้ยังช่วยลดริปเพิล โวลต์เตจ และทรานเซี้ยนส์ โวลต์เตจ เพื่อป้องกันวงจร อินเวอร์เตอร์ อีกด้วย

ในทางปฏิบัติ ทรานเซี้ยนส์ โวลต์เตจ ที่เกิดขึ้นนี้มาจากผลของการทำงานของการสวิทส์ที่ความถี่สูง ซึ่งทำให้เกิด di/dt สูง ทำให้เกิดแรงดันกระชากสูงในวงจร ซึ่งอาจจะทำให้ วงจรภายใน อินเวอร์เตอร์ เสียหายได้ ฉะนั้นในการออกแบบเราจะต้องพยายามลดค่า อินดักแตนส์ในสายไฟ และ อินดักแตนส์ในวงจรของ มอเตอร์ ให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

อุปกรณ์สวิทส์ชิ่ง ที่ใช้ในการสวิทส์ควรจะมีวงจร สนับเบอร์ เพื่อป้องกันการเกิด di/dt กล่าวโดยสรุป อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการ ออกแบบจะต้องแบบมาใช้งานกับความถี่สูง สามารถทนต่อการเกิด di/dt , dv/dt ได้สูงอีกด้วย

กระแสที่ป้อนเข้า มอเตอร์โดย อินเวอร์เตอร์มีลักษณะค่อนข้างจะเป็นรูปซายน์ ฉะนั้น ฮาร์โมนิคของกระแส ที่เกิดขึ้นจึงมีค่าน้อยความสูญเสียเนื่องจากตัวนำที่เกิดขึ้น<u>ที่ตัว</u> มอเตอร์ ที่ใช้ อินเวอร์เตอร์ กับความสูญเสียเนื่องจากตัวนำ ที่เกิดที่ตัวมอเตอร์ ขณะที่ป้อนไฟกระแสสลับให้โดยตรงจึงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในกรณีของ ความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก ที่เกิดขึ้นนั้น เนื่องจากผลของฮาร์โมนิคของแรงดัน เมื่อใช้อินเวอร์เตอร์มีค่ามาก ทำให้ต้องคำนึงถึงชนิดของเหล็กที่นำมาใช้งานด้วย เพื่อลดผลของความสูญเสียเนื่องจากเหล็กที่ใช้ในตัวมอเตอร์ด้วย

รีแอคเตอร์ ที่ต่ออนุกรมไว้ในวงจร มีส่วนช่วยในการลดการเกิดสัญญาณรบกวน ซึ่งเกิดจากการ สวิทส์ชิ่ง ในระบบ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ป้องกันการเกิด di/dt ในวงจรอินเวอร์เตอร์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันการเกิดกระแสเกินพิกัด

การทำงานผิดพลาดของระบบ อินเวอร์เตอร์ แบบ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น จะมีลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นในระบบ อินเวอร์เตอร์ แบบ Six-Step คือการผิดพลาดเนื่องจากการ สวิทส์ชิ่งของ สวิทส์ ที่ขาของ อินเวอร์เตอร์ ซึ่งอาจจะเกิดที่ขาหนึ่งขาใดหรือในหลาย ๆ ขา ก็ได้ ผลเนื่องจากการเกิดข้อผิดพลาดนี้จะทำให้อุปกรณ์ในวงจร อินเวอร์เตอร์ เสียหายได้เนื่องจากกระแสที่เกิดขึ้นนี้มีค่ามาก เนื่องจากตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ในวงจร ข้อแตกต่างของ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ กับ Six-Step อินเวอร์เตอร์ คือ การทำงานของสวิทส์ของ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ มีความเร็วในการ turn-off สูงกว่า อินเวอร์เตอร์ แบบ Six-Step แต่ทว่าแรงดันอินท์พุตที่ด้านไฟกระแสสลับนั้นไม่สามารถควบคุมให้ตัดออกจากระบบ เมื่อเกิดข้อผิดพลาดได้ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ ฟิวส์ หรือ เบรคเกอร์ เป็นตัวตัดไฟออก เมื่อเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระบบ ซึ่ง ฟิวส์ หรือ เบรคเกอร์ นี้มีความเร็วในการทำงานช้า อาจไม่สามารถป้องกันความเสียหายของ อุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรอินเวอร์เตอร์ได้ทัน

ดังนั้นความสามารถในการป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดนี้จึงนิยมป้องกันที่สวิทส์ชองของ อินเวอร์เตอร์เลย กล่าวคือการออกแบบวงจรขับ ควรจะมีการต่อวงจรป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ในระบบด้วย ถ้ามีการตรวจพบความผิดพลาดขึ้นในระบบ สวิทส์จะต้องหยุดการทำงานทันที ก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้นในวงจร การป้องกันโดยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพสูงและความเชื่อถือสูง ดังนั้นการออกแบบวงจรขับ จึงควรมีการป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดดังกล่าวนี้ด้วย ในทางปฏิบัติเราควรจะต่อ ฟิวส์ หรือ เบรคเกอร์ เข้าไปที่ทางแรงดันไฟกระแสตรงด้วย

การเกิดการถ่ายเทพลังงานกลับ ใน มอเตอร์

พลังงานที่ อินเวอร์เตอร์ จ่ายให้กับมอเตอร์ นั้นจะมีค่าเท่า ๆ กับพลังงานที่มอเตอร์จ่ายคืนให้กับวงจร อินเวอร์เตอร์เนื่องจากเมื่อความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์ มีค่าลดลง สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวสเตเตอร์ จะเคลื่อนที่ช้ากว่า สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจาก โรเตอร์ นั่นคือ มอเตอร์ เปลี่ยนการทำงานกลายเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายพลังงงานกลับออกมาชาจท์ประจุให้กับตัวเก็บประจุ ทำให้ ระดับแรงดันไฟด้านกระแสตรงมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ ในวงจรเสียหาย ซึ่งถ้าต้องการให้มีความเร็วรอบลดลงอย่างรวดเร็ว เราจำเป็นต้องใช้วงจรช่วยในการดูดกลืนพลังงานส่วนนี้เสีย โดยการสลายพลังงานนี้ผ่านค่าความต้านทานค่าหนึ่ง หรือการใช้วงจรเพื่อป้อนพลังงานส่วนนี้คืนให้กับแรงดันทางด้านอินพุต การตรวจจับว่าเกิดการ ถ่ายเทพลังงานกลับ ขึ้นหรือไม่นั้นเราสามารถตรวจวัดที่ระดับแรงดันกระแสตรงนี้ ว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือไม่

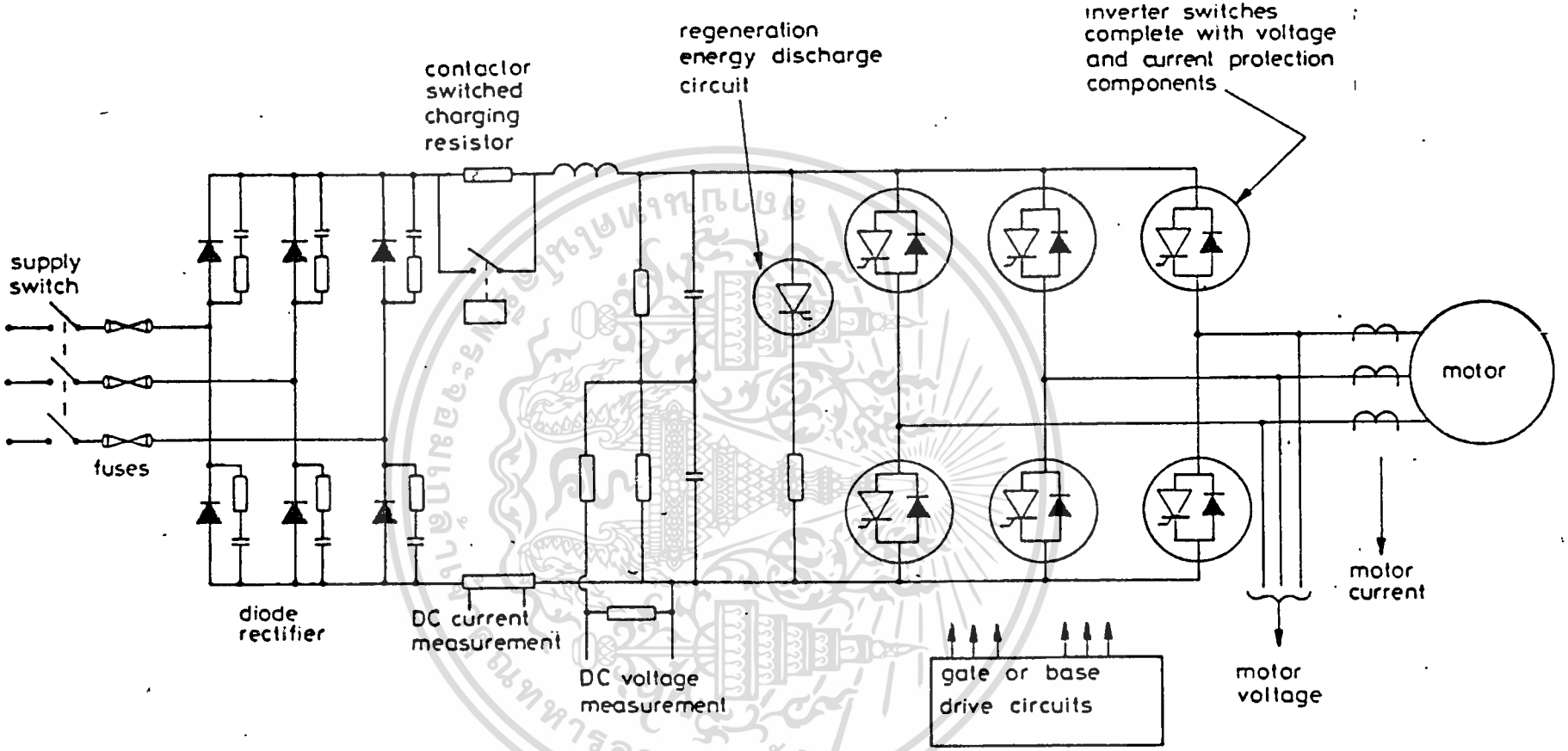
วงจร อินเวอร์เตอร์ ส่วนมากมักจะหลีกเลี่ยงการดูดกลืนพลังงานโดยการสลายพลังงานส่วนนี้ ผ่านค่าความต้านทานเนื่องจากไม่ต้องการให้ระดับแรงดันไฟกระแสตรงเปลี่ยนไป ซึ่งอาจจะป้องกันการเกิด การถ่ายเทพลังงานกลับ โดยการตัดมอเตอร์ออกจากอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ความเร็วของ โรเตอร์ มีค่าลดลงจนกระทั่งน้อยกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดรอบ ๆ ตัว สเตเตอร์ แล้วจึงสวิทส์ให้มอเตอร์ เข้าสู่ อินเวอร์เตอร์ ต่อไป หรือ อาจป้องกันโดยการใช้การควบคุมความถี่ โดยการตรวจวัดระดับแรงดันไฟกระแสตรงว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ถ้าระดับแรงดันไฟกระแสตรงมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ความถี่ทางเอาท์พุตของอินเวอร์เตอร์มีค่าสูงขึ้นตาม

ข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งของ อินเวอร์เตอร์ แบบนี้ก็คือ กรณีการเกิดการถ่ายเทพลังงานกลับขึ้นในระบบที่มีควบคุมความเร็ว มอเตอร์ หลาย ๆ ชุด ด้วยการอาศัยระดับแรงดันกระแสตรงร่วมกัน เราสามารถที่จะโยกย้ายพลังงานจากมอเตอร์ ตัวที่เกิดการ ถ่ายเทพลังงานย้อนกลับนี้ไปยัง มอเตอร์ ตัวอื่น ๆในระบบได้ ปัจจัยที่มีผลต่ออุปกรณ์สำคัญพื้นฐาน ในวงจร พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์

เนื่องจากการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ ชนิดนี้สามารถทำงานในย่านความถี่สูงความถี่ในการ สวิทส์ซึ่ง มีค่าสูงและความถี่ของเอาท์พุต ที่ได้จาก อินเวอร์เตอร์ก็มีค่าสูงเช่นกัน ฉะนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้าง คือ ทรานซิสเตอร์กำลัง , ไดโอด , ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ จึงควรมีความสามารถในการทำงานที่ความถี่สูง ๆ ได้ด้วย

ตัวเก็บประจุที่นำมาใช้ จะต้องเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสม สามารถยอมให้กระแสกระชาก ไหลผ่านได้โดยไม่ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวมันเปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากนี้ยังต้องสามารถทนต่อแรงดันกระชาก ได้สูง สามารถทำงานในย่านความถี่สูง ๆ ได้โดยไม่เกิดการรั่วของประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 รูปแสดงวงจรพัลส์วิดมอดดูเลชั่นอินเวอร์เตอร์

ตัวสวิทส์ในวงจร อินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในปัจจุบันคือ ทรานซิสเตอร์กำลัง , จีทีโอ เนื่องจากความสามารถในการใช้งานที่ความถี่สูงได้ดีกว่า ไทริสเตอร์

จากรูป 13 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของ อินเวอร์เตอร์ ที่ใช้งานโดยทั่วไป ส่วนของคอนแทคเตอร์ สวิทส์ชิ่ง ชาจท์จิ่ง รีซิสเตอร์ ทำหน้าที่ในการทำให้ ตัวเก็บประจุหลักในวงจรมีการ ชาจท์ประจุ อย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการเกิดกระแสกระชาก ขณะเปิดสวิทส์ จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ในขณะเริ่มเปิด ตัวต้านทาน ที่ใส่เข้าไปนี้จะถูกลัดวงจรออกเมื่อเปิดสวิทส์ไประยะหนึ่ง โดยใช้รีเรย์ หรือใช้ ไทริสเตอร์เป็นตัว สวิทส์ เพื่อลัดวงจรที่ตัวต้านทานออก เมื่อทำการชาจท์ตัวเก็บประจุเรียบร้อยแล้ว การป้องกันการเกิด การถ่ายเทพลังงานกลับ สามารถทำได้โดยการต่อสวิทส์-ความต้านทาน คร่อมตัวประจุ สวิทส์ที่ใช้อาจจะเป็น ไทริสเตอร์ โดยมันจะนำกระแสเมื่อตรวจพบว่า ระดับแรงดันไฟกระแสตรง มีค่าสูงกว่าปกติและจะหยุดนำกระแสเมื่อตรวจพบว่าแรงดันไฟกระแสตรงมีค่าปกติ

<u>การควบคุมการทำงานของ ระบบ อินเวอร์เตอร์</u>

ส่วนสำคัญที่สุดของ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ คือการควบคุมระดับแรงดันและความถี่ของเอาท์พุต ที่ได้จากการสร้าง รูปแบบการสวิทส์ โดยการควบคุมการทำงานของสวิทส์ที่ขาของอินเวอร์ ดังเราจะสรุปได้ว่า

1. การควบคุมแรงดันของมอเตอร์ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนความกว้างของสัญญาณพัลส์ ที่เกิดจากการ สวิทส์ชิ่ง

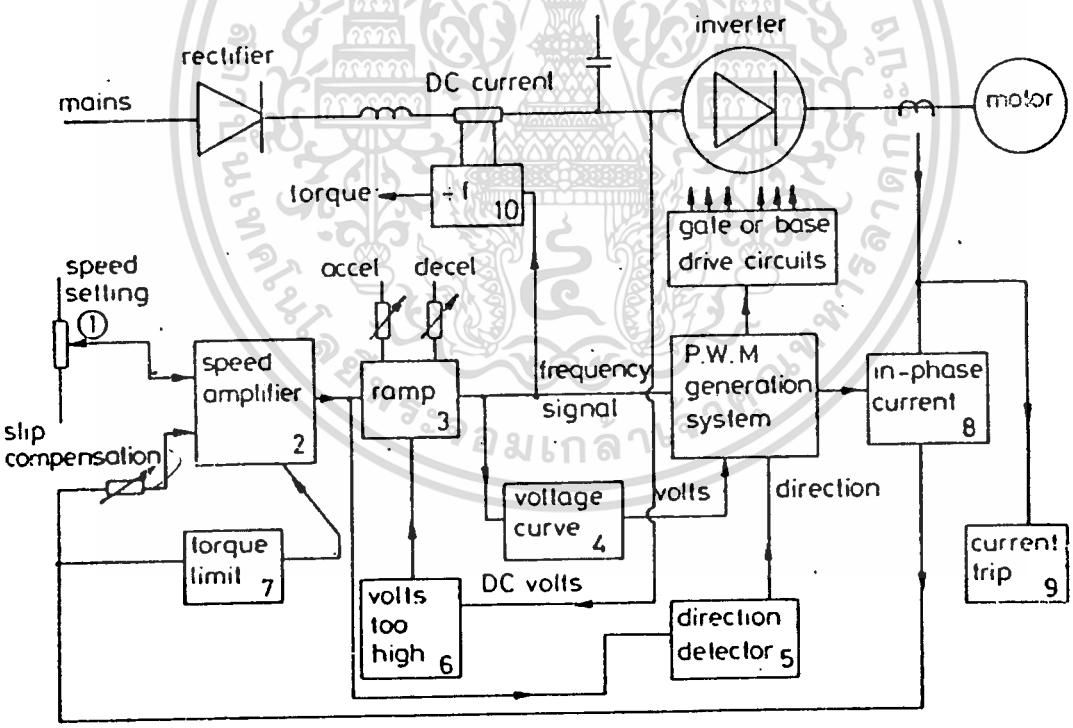
2. การควบคุมความถี่ของ มอเตอร์ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนจำนวนพัลส์ในครึ่งไซเกิล หรือการเปลี่ยน รูปแบบ การ สวิทส์ชิ่ง เช่นกัน

ในทางปฏิบัติ การควบคุมแรงดัน หรือความถี่ของสัญญาณที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เราสามารถที่จะควบคุมได้อย่างอิสระต่อกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของ รูปแบบที่ออกแบบให้ สวิทส์ชิ่ง แต่ในการควบคุมการทำงานให้มอเตอร์สามารถปรับความเร็วได้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรักษาให้ พลักซ์ ที่ช่องอากาศมีค่าคงที่ตลอดช่วงการทำงานที่ความเร็วต่าง ๆ เพื่อรักษาให้ แรงบิด มีค่าคงที่ ฉะนั้นเงื่อนไขนี้จำเป็นอย่างยิ่งในการสร้าง รูปแบบ ในการ สวิทส์ชิ่ง

การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบค่าของ กระแสที่ไหลในตัว มอเตอร์ หรืออาจจะเป็นกระแสในส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟทางด้านไฟกระแสตรง กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์มีส่วนประกอบแยกออกเป็น 2 ส่วนคือในส่วนของกระแสที่ใช้ในการสร้าง ฟลักซ์ และกระแสที่ใช้ในการสร้างแรงบิด การวัดในลักษณะของ กระแสไฟตรง นั้นจะวัดอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ มอเตอร์ ซึ่งพลังงานนี้จะมีค่าคงที่ตลอดช่วงการใช้งานที่ โหลดคงที่ ในรูปที่ เป็นการควบคุม ระบบ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ ในทางปฏิบัติทั่วไป หัวใจของระบบการทำงานอยู่ที่ รูปแบบ ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณชายน์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ Z-80 CPU เป็นตัวสร้าง รูปแบบการสวิทส์ เพื่อควบคุมแรงดันและความถี่ตลอดจนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งการควบคุมในส่วนอื่นเราจะใช้วงจรทาง อิเลคทรอนิคส์ เป็นตัวควบคุม



Control system for PWM drive

รูปที่ 14 รูปแสดงบล็อกการควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป 14 การควบคุมระบบเริ่มจากการปรับค่าความถี่ที่ต้องการให้กับมอเตอร์จากนั้นจึงพิจารณาระดับของแรงดันที่ต้องป้อนให้กับมอเตอร์เพื่อรักษาค่าของ ฟลักซ์ ที่ ช่องอากาศ ให้มีค่าคงที่ เราสามารถอธิบายการทำงานอย่างคร่าว ๆ ตามลำดับดังนี้

1. ความเร็วของมอเตอร์ที่ต้องการสามารถทำได้โดยการปรับค่าที่ (1)

2. ในส่วนที่ (2) สัญญาณที่เป็นสัดส่วนกับ โหลด จะถูกบวกเพิ่มขึ้นไปเพื่อชดเชยค่า สลิป ที่เกิดขึ้นเมื่อโหลด มีการเปลี่ยนแปลง

3. ความถี่นี้จะเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่อง โดยมีวงจร อิเลคทรอนิคส์แรมส์ พังก์ชั่น ทำหน้าปรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ ความถี่นี้เพื่อให้อัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงความเร็วของ Motor มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ หรืออย่างรวดเร็วก็ได้แล้วแต่ความต้องการ

ถ้าหาก อัตราหน่วงขณะที่ลดความเร็วของมอเตอร์ลงมามีค่าสูงจะทำให้เกิดการ ถ่ายเทพลังงานย้อนกลับขึ้นในระบบทำให้ แรงดันไฟกระแสตรง มีค่าสูงขึ้นซึ่งใน (6) จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อลดขนาดของความหน่วงของสัญญาณ แรมส์ นี้

ในบางระบบอาจจะต้องมีส่วนของวงจร ตรวจวัด การเกิดโหลดเกินพิกัด ซึ่งเราสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมค่าของกระแสไฟตรง ที่ป้อนให้กับ มอเตอร์ ถ้าเกิด โอเวอร์โหลด ขึ้นเนื่องจากค่าของกระแสมีค่าสูง วงจรจะทำงานและทำการส่งสัญญาณไปลดความถี่ของ อินเวอร์เตอร์ ลงจนกระทั่งถึงค่า แรงบิดที่พิกัด ซึ่งสามารถทำได้โดยวงจรใน (7)

จากรูปจะพบว่าการวัดค่า พารามิเตอร์ ของ มอเตอร์ จุดสำคัญอยู่ที่การวัดค่าแรงบิดซึ่งจะทำให้สามารถทราบว่า มอเตอร์ ยังสามารถรับ โหลด ได้ แต่การวัดค่าแรงบิด ของ มอเตอร์ ที่เพลาโดยตรงนั้นทำได้ยุ่งยาก และการวัดในส่วนของกระแสไฟตรง โดยตรงเพื่อนำมาควบคุม แรงบิด นั้น เนื่องจากมี ส่วนประกอบ ของกระแส magnetizing อยู่ด้วยทำให้นำมาเป็นตัวกำหนดค่าแรงบิดโดยตรงไม่ได้ ในกรณีทั่วไป เราจะวัดค่าแรงบิด ของ มอเตอร์ได้โดยวงจรใน (8) ซึ่งจะทำหน้าที่ แยกกระแสส่วนที่ อินท์เฟส กับ แรงดัน ค่า เอาท์พุต ที่ได้จาก (8) จะเป็นตัวกำหนดแรงบิด ของ มอเตอร์ นอกจากนี้ยังใช้ในการชดเชยค่า สลิป และ กำหนด พิกัดของแรงบิด ของ มอเตอร์ ด้วยถ้าเราจะใช้ค่า กระแสไฟตรง เป็นตัวกำหนดค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดเราจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนค่าของกระแสไฟตรง นี้ให้อยู่ในรูปของการโยกย้ายพลังงาน เนื่องจากเราทราบมาแล้วว่า พลังงาน เกิดจากผลคูณระหว่าง แรงบิด กับ ความเร็ว ทำให้เราสามารถที่จะหาค่า แรงบิด ของ มอเตอร์ ได้โดยการวัดค่าความถี่ที่ป้อนให้กับ มอเตอร์ ทำให้เราสามารถหาค่า แรงบิด ได้ในที่สุด ซึ่งวงจรใน (10) จะทำหน้าที่ดังกล่าว

ในกรณีที่เราต้องควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ให้ถูกต้องตามต้องการเราอาจจะใช้ ทาร์โค-เจนเนอเรเตอร์ วัดความเร็วของ มอเตอร์ ได้ เพื่อหาค่าความเร็วที่แท้จริง ในกรณีนี้เราไม่จำเป็นต้องใช้วงจรชดเชยค่าสลิป และ แรงบิด สามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็ว กับ ความถี่ เพื่อหาค่าความเร็วสลิป อย่างไรก็ดีการวัดค่ากระแสในวงจรยังควรจะต่อไว้เพื่อป้องกัน อินเวอร์เตอร์และควรจะป้องกันที่ อินเวอร์เตอร์ สวิทส์ หรือ ที่ขั้วของมอเตอร์ ไม่ควรจะวัดที่ด้านกระแสไฟตรงเนื่องจากกระแสที่จุดนี้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แม้ว่ามอเตอร์ จะใช้งานที่ โหลดเต็มที่ก็ตาม

<u>สมรรถภาพและการนำไปประยุกต์ใช้งาน พัลล์วิดมอดดูเลชั่น-อินเวอร์เตอร์</u>

ในทางปฏิบัติ พัลล์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ มีความสามารถในการใช้งานสูง สามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในปัจจุบันมีการผสมผสานการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ โดยที่ในย่านความถี่ต่ำจะปรับให้ อินเวอร์เตอร์ทำงานแบบ พัลล์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ แต่ในย่านความถี่สูงจะปรับให้ อินเวอร์เตอร์ ทำงานแบบ Six-Step เพื่อลดผลของกระแสกระชาก เมื่อทำงานที่แรงดันสูง ๆ

การพัฒนาและปรับปรุงการทำงานของ อินเวอร์เตอร์ในปัจจุบันมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น มีวิธีการมากมายที่จะใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดผลของฮาร์โมนิค ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ความสามารถและประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทำงานของ อินเวอร์เตอร์-สวิทส์ ที่ความถี่สูง ๆ และอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะต้องมีการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมและสามารถที่จะทำงานได้ และมีความเชื่อถือได้สูง

ประสิทธิภาพ ของ พัลล์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ มีค่าสูงเนื่องจากการใช้ไดโอด เป็นตัวเรคติไฟย์ เพื่อสร้างแรงดันไฟกระแสตรง ให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ ของ กระแสอินท์พุต มีค่าสูงและแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลยแม้ว่าความเร็วของ มอเตอร์ จะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ยิ่งกว่านั้น ขนาดของ กระแสอินพุต ยังสัมพันธ์กับ พลังงานที่ระบบขับมอเตอร์ และ โหลดต้องการมากกว่าที่จะมีความสัมพันธ์กับ แรงบิด ของ มอเตอร์ นั่นคือ กระแสอินท์พุต จะมีค่าคงที่ตลอด แม้ว่าความเร็วหรือ แรงบิด ของ มอเตอร์ จะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

<u>มอเตอร์ และ ฮาร์โมนิคส์ ที่เกิดขึ้นในระบบ</u>

ฮาร์โมนิค ของกระแส ที่เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการสวิทส์ชิ่ง ถ้า ความถี่ในการสวิทสชิ่ง มีค่าสูง จะทำให้ ฮาร์โมนิค ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย

จากการพิจารณาโดยสรุป จะพบว่า ฮาร์โมนิค ที่เกิดขึ้นในระบบ มีค่าน้อย และ พัลส์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์เตอร์ สามารถนำไปใช้กับ งานต่าง ๆ ได้มากมาย ในวงการอุตสาหกรรม หรือการนำไปใช้งานในระบบ เซอร์โว หรือการควบคุมการทำงานของระบบโรบอติก เนื่องจากสามารถทำงานที่ความเร็วต่ำมาก ๆ (ใกล้ศูนย์) ได้ดี โดยไม่เกิด การกระตุกของแรงบิด อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวนและการสร้างสัญญาณ PWM

วิธีการสร้างสัญญาณ PWM มีด้วยกันหลายวิธี ตั้งแต่การใช้วิธี NATURAL-SAMPLED PWM ANALOQUE TECHNIQUES หรืออาจใช้วิธี REGULAR-SAMPLED PWM DIGITAL TECHNIQUES หรือใช้วิธี MICROPROCESSOR-BASED HARMONIC ELIMINATION และวิธี OPTIMISED PWM TECHNIQUES

<u>การใช้วิธีแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป</u>

แบบ NATURAL-SAMPLED PWM TECHNIQUES วิธีนี้จะไม่เหมาะกับดิสครีต ดิจิตอล ฮาร์ดแวร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ ซอฟท์แวร์ ในทางตรงกันข้ามแบบ REGULAR SAMPLED PWM TECHNIQUES จะใช้กับดิสครีต ดิจิตอล ฮาร์ดแวร์ , LSI หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ ซอฟท์แวร์ สำหรับวิธีการกำจัดฮาร์โมนิค จะเหมาะกับการใช้งานที่ความถี่ต่ำ ๆ (จำนวนพัลซ์ PWM มีค่าน้อย) วิธีนี้จะทำให้มีความสูญเสียทางสวิทช์ชิ่งจะมีค่าต่ำ และยังมีผลรวมของฮาร์โมนิค ดิสทอร์ทชั่นต่ำ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธี REGULAR SAMPLING TECHNIQUES

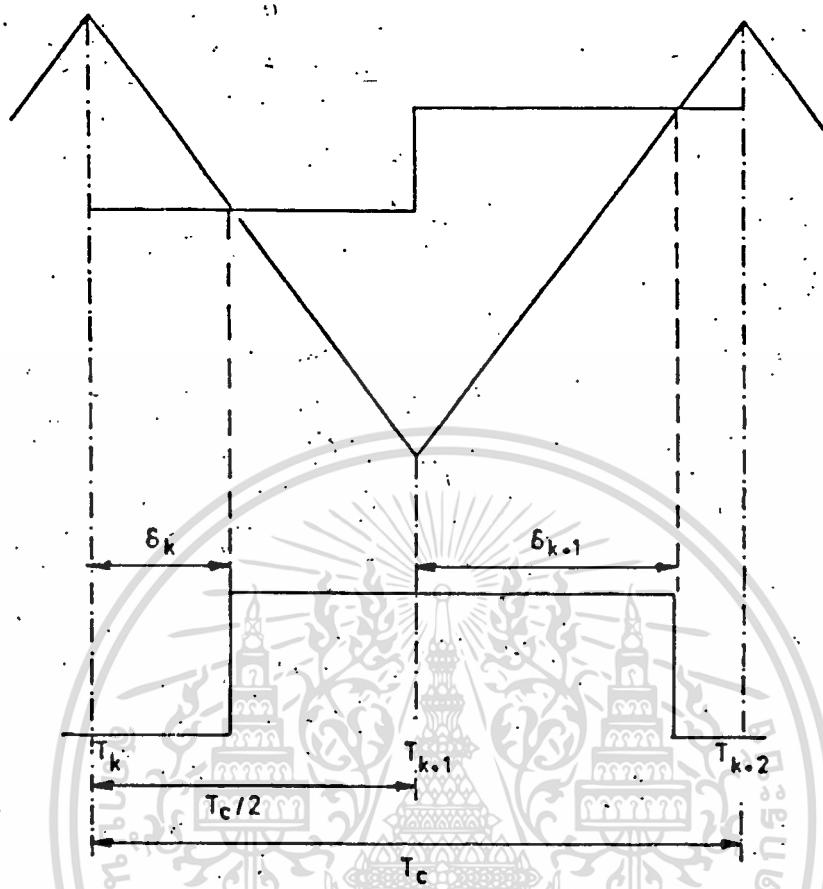
พื้นฐานในการกำเนิดสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น จะใช้การสุ่มระดับบวกระดับลบของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับสัญญาณเอาท์พุทที่ต้องการแล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคำนวนความกว้างพัลซ์ โดยจะใช้สมการที่จะกล่าวต่อไป วิธีนี้จะคำนวนเพียงหนึ่งในสี่ของรูปคลื่นในหนึ่งคาบเวลา และจะใช้ผลของการคำนวนที่ได้มาจัดรูปให้ครบอีกสามส่วนจนเต็มคาบเวลา ผลจากการสมมาตรของรูปคลื่นในหนึ่งคาบเวลา ยังเป็นผลทำให้ฮาร์โมนิคเลขคู่หายไปและฮาร์โมนิคลำดับต่ำจะมีค่าน้อยลง

สมการ NONSINUSOIDAL MODULATING ที่ทำให้ PWM SWITCHING EDGES ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ผลรวมฮาร์โมนิคดิสทอร์ทชั่นน้อยที่สุด สัญญาณ MODULATING ประกอบด้วย

$$m(t) = M(\sin(wt)+1/4\sin(3wt))$$

ฮาร์โมนิคที่สูงๆ ในสมการนี้จะไม่ทำให้สมการเปลี่ยนแปลงมากนัก เราจึงสามารถตัดทิ้งได้ สมการนี้แสดงให้เห็นว่า m(t) จะไม่ขึ้นกับ อัตราส่วนความถี่ (FREQUENCY RATIO) จะแปรผันตรงกับมอดดูเลชั่นเดป (MODULATION DEPTH (M)) เราจะใช้รูปประกอบการพิจารณาในการคำนวนความกว้างพัลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 แสดงสมการหาพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น

โดยที่ $\delta_k = T_C/4 - (MT_C/4)*F(T_k)$

$\delta_{k+1} = T_C/4 + (MT_C/4)*F(T_{k+1})$

เมื่อ $F(T_k) = SIN(T_k)+1/4SIN(3T_k)$

และ $H(T_k) = (MT_c/4).F(T_k)$

จากสมการข้างต้นเราสามารถกำหนดจำนวนพัลซ์ต่อครึ่งไซเคิ้ล โดยสามารถกำหนดได้จากค่า P เช่น ถ้า P=9 พัลซ์ต่อครึ่งไซเคิ้ลจะเท่ากับ 9 ด้วย หรือถ้าค่า P=15 พัลซ์ต่อครึ่งไซเคิ้ลจะเท่ากับ 15 ด้วย สำหรับ $\delta_k = Tc/4 + H(Tk)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Tk คือ SAMPLING POINTS DEGREE โดยคำนวนจากการกำหนดจำนวนพัลซ์ต่อครึ่งไซเคิ้ลตามที่เราต้องการ(คือค่า P) นั่นคือ ถ้า P=9 จะได้ Tk = 180/P จะได้ Tk=20 องศา ถ้า p=15 จะได้ Tk=12 องศา ดังแสดงได้ดังตาราง .

ตารางแสดงความกว้างพัลซ์เมื่อ P=9

SAMPLING POINTS Tk, DEGREE	WIDTH
0	$\delta_0 = Tc/4 - 0$
20	$\delta_1 = Tc/4 + H(20)$
40	$\delta_2 = Tc/4 - H(40)$
60	$\delta_3 = Tc/4 + H(60)$
80	$\delta_4 = Tc/4 - H(80)$
100	$\delta_5 = Tc/2 - \delta_4$
120	$\delta_6 = Tc/2 - \delta_3$
140	$\delta_7 = Tc/2 - \delta_2$
160	$\delta_8 = Tc/2 - \delta_1$
180	$\delta_9 = \delta_0$
200	$\delta_{10} = \delta_1$
220	$\delta_{11} = \delta_2$
240	$\delta_{12} = \delta_3$
260	$\delta_{13} = \delta_4$
280	$\delta_{14} = \delta_5$
300	$\delta_{15} = \delta_6$
320	$\delta_{16} = \delta_7$
340	$\delta_{17} = \delta_8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงความกว้างพัลซ์ เมื่อ p=15

SAMPLING POINT Tk, DEGREES	WIDTH
0	$\delta_0 = Tc/4 - 0$
12	$\delta_1 = Tc/4 + H(12)$
24	$\delta_2 = Tc/4 - H(24)$
36	$\delta_3 = Tc/4 + H(36)$
48	$\delta_4 = TC/4 - H(48)$
60	$\delta_5 = Tc/4 + H(60)$
72	$\delta_6 = Tc/4 - H(72)$
84	$\delta_7 = Tc/4 + H(84)$
96	$\delta_8 = Tc/4 - \delta_7$
108	$\delta_9 = Tc/4 - \delta_6$
120	$\delta_{10} = Tc/4 - \delta_5$
132	$\delta_{11} = Tc/4 - \delta_4$
144	$\delta_{12} = Tc/4 - \delta_3$
156	$\delta_{13} = Tc/4 - \delta_2$
168	$\delta_{14} = Tc/4 - \delta_1$
180	$\delta_{15} = \delta_0$
192	$\delta_{16} = \delta_1$
204	$\delta_{17} = \delta_2$
216	$\delta_{18} = \delta_3$
228	$\delta_{19} = \delta_4$
240	$\delta_{20} = \delta_5$
252	$\delta_{21} = \delta_6$
264	$\delta_{22} = \delta_7$
276	$\delta_{23} = \delta_8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

288 $\delta_{24} = \delta_{9}$

300 $\delta_{25} = \delta_{10}$

312 $\delta_{26} = \delta_{11}$

324 $\delta_{27} = \delta_{12}$

336 $\delta_{28} = \delta_{13}$

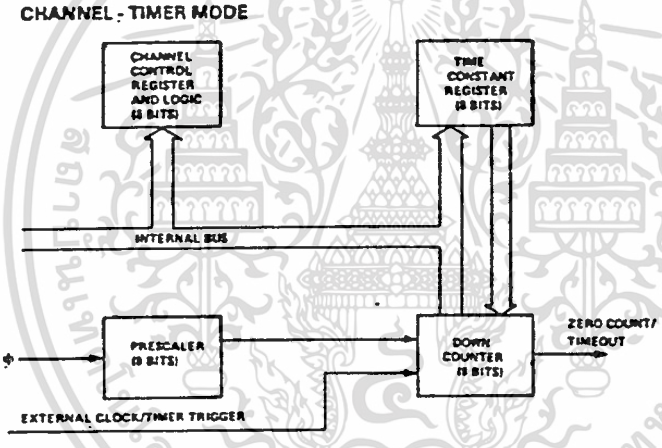
348 $\delta_{29} = \delta_{14}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครโปรเซสเซอร์ ฮาร์ดแวร์ คอนฟิกูเรชัน

ส่วนนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการสร้างสัญญาณ PWM ค่าความกว้างพัลซ์ ที่ถูกคำนวนจาก ไมโครโปรเซสเซอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็น TIME INTERVALS โดยใช้ไทเมอร์ที่สามารถโปรแกรมได้ 4 ตัว ในที่นี้จะใช้ Z-80 ซีทีซี ของบริษัทไซลอก โดยใช้เป็นตัวไทเมอร์ ก่อนอื่นเราจะพิจารณาโครงสร้างภายในและหลักการทำงานอย่างคร่าว ๆ ของ Z-80 ซีทีซี ก่อน จากนั้นจึงค่อยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของ Z-80 ซีทีซี ในการสร้างสัญญาณ PWM

บล็อกไดแกรม (BLOCK DIAGRAM) ในการใช้ Z-80 ซีทีซี ในโหมดไทเมอร์ (CHANNEL-TIMER MODE)

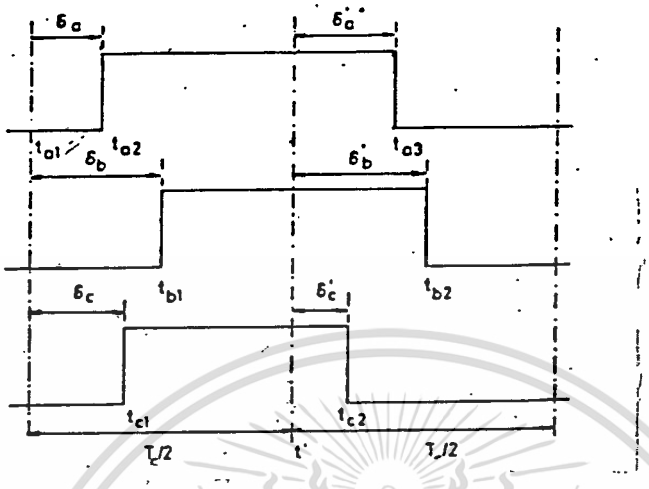


รูปที 16 แสดงบล็อกการทำงานของ z-80 ซีทีซี ในโหมดไทม์เมอร์

จาก บล็อกไดแกรม เราจะต้องทำการเซ็ทค่าเพื่อให้ Z-80 ซีทีซี ให้ทำงานในโหมดไทเมอร์ก่อน หลังจากนั้นจึงส่งค่าเวลาคงที่ (TIME CONSTANT) ให้ไทเมอร์ทำการนับโดยใช้สัญญาณนาฬิกา.0 (จาก Z-80 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.579 เมกกะเฮิรทซ์) นำมาหารด้วยค่า PRESCALAR (256) สัญญาณนาฬิกานี้จะเป็นสัญญาณใช้ในการนับเมื่อไทเมอร์นับค่าเวลาคงที่ (TIME CONSTANT = 0) มันจะส่งสัญญาณ ZERO COUNT ซึ่งสัญญาณจะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้ D-ฟลิบ-ฟลอบ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำเนิดรูปแบบ PWM โดยใช้ไทเมอร์ 4 ตัว



รูปที่ 17 แสดงความกว้างพัลซ์ของสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น

จากรูปแสดงให้เห็นถึงความกว้างที่แตกต่างกัน $\delta_a, \delta_b, \delta_c$ ในหนึ่งคาบเวลาของสัญญาณพาหะซึ่งจะเป็นค่าไทเมอร์ตัวที่ 1 - ตัวที่ 3 ใช้เป็นค่าเวลาคงที่ (TIME CONSTANT) ที่จุดเริ่มต้นของแต่ละคาบของสัญญาณพาหะ ไมโครโปรเซส-เซอร์จะทำการอ่านค่าไทเมอร์ของเฟส A , เฟส B , เฟส C ด้วยค่า $\delta_a, \delta_b, \delta_c$ ตามลำดับ เมื่อไทเมอร์ตัวที่ 1 - ตัวที่ 3 ของเฟส A,B,C นับค่าเสร็จ (=0) มันจะส่งสัญญาณ TIME OUT ที่ได้กล่าวไปแล้วซึ่งจะใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้ D ฟลิบ-ฟลอบ ซึ่งจะทำให้เอาท์พุทของ D ฟลิบ-ฟลอบ เปลี่ยนสถานะเดิม (Q) ไปเป็นอีกสถานะหนึ่ง ช่วงนี้จะไม่มีการอินเทอร์รัพท์จากไมโครโปรเซสเซอร์เลย ต่อมาเมื่อไทเมอร์ตัวที่ 4 นับค่าเวลาคงที่ $T_c/2 = 0$ แล้วมันจะส่งสัญญาณอิน-เทอร์รัพท์ให้ไมโครโปรเซสเซอร์ ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการอ่านค่า δ'_a δ'_b และ δ'_c ของเฟส A,B,C ไปให้ไทเมอร์ 1 - ไทเมอร์ 3 และจะทำการส่งค่า $T_c/2$ ให้ไทเมอร์ 4 ทำการนับต่อไป ถ้าเราพิจารณาจากรูป ถ้าเราใช้ระบบไทเมอร์ 3 ตัวจากรูป เฟส A จะอินเทอร์รัพท์ไมโครโปรเซสเซอร์ในหนึ่งคาบของสัญญาณพาหะที่เวลา TA1 , TA2 , TA3 เฟสB ที่ TB1 และ TB2 เฟสC ที่ TC1 และ TC2 จะพบว่าไมโครโปรเซสเซอร์จะถูกอินเทอร์รัพท์ 7 ครั้งใน 1 คาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาของสัญญาณพาหะ แต่ละครั้งมันจะทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์ จะเห็นว่าไมโครโปรเซสเซอร์จะถูกใช้งานมากจนไม่มีเวลาทำงานอื่น ในขณะที่เราใช้ไทเมอร์ 4 ตัว ไมโครโปรเซสเซอร์จะถูกอินเทอร์รัพท์เพียง 2 ครั้งเท่านั้นในหนึ่งคาบเวลาของสัญญาณพาหะ ทำให้ไมโครโปรเซสเซอร์มีเวลาไปทำงานอื่นได้

เวลาในการทำงานของโปรแกรมอินเทอร์รัพท์จะเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ในระบบไทเมอร์ 4 ตัว ความกว้างของพัลซ์ที่สั้นที่สุดควรจะมีค่าสั้นกว่าเวลาซึ่งใช้ในโปรแกรมอินเทอร์รัพท์ ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อ PWM ฮาร์โมนิค สเปคตรัม นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในโปรแกรม บริการอินเทอร์รัพท์ควรจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของคาบสัญญาณพาหะ ซึ่งไม่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในรูปสัญญาณ PWM เลย

<u>การออกแบบโปรแกรม</u>

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการสร้างสัญญาณ พัลซ์วิดมอดดูเลชั่น อินเวอร์-เตอร์ โดยแบ่งส่วนของโปรแกรมเป็น 2 ส่วน

1.โปรแกรมหลัก

2.โปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์

1.โปรแกรมหลัก

โปรแกรมส่วนนี้เป็นส่วนที่กำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานของระบบ , การคำนวนค่าความกว้างพัลซ์ และการรับค่าใหม่จากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล โปรแกรมหลักนี้จะถูกแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ ดังนี้

ส่วนของการเซ็ทการทำงานของระบบ

ส่วนของการคำนวนความกว้างพัลซ์

ส่วนของการตรวจสอบค่าใหม่จากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอก

เป็นดิจิตอลกับค่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเซ็ทการทำงานของระบบ

ในส่วนนี้ยังแบ่งย่อยเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรก

ส่วนการกำหนดคำสั่งต่าง ๆ ให้ Z-80 ซีพียู

ก่อนเริ่มโปรแกรม เราจะต้องมีการเซ็ทคำสั่งการทำงานให้ Z-80 ซีพียู โดยทำการเซ็ทให้มันสามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัพท์จากไทเมอร์ 4 โดยจะให้ Z-80 ซีพียู ทำการอินเทอร์รัพท์ในโหมด 2 และกำหนดแอดเดรสของโปรแกรมอินเทอร์รัพท์ด้วย

ส่วนที่ 2

ส่วนการกำหนดค่าคำสั่งการทำงานให้ Z-80 ซีทีซี

ภายในส่วนนี้เราจะกำหนดการทำงานของ Z-80 ซีทีซี โดยให้แชนแนลทั้ง 4 ของ Z-80 ซีทีซี ทำงานในโหมดไทเมอร์กำหนดให้ไทม์เมอร์ทั้ง 4 แชนแนล สามารถทำการอินเทอร์รัพท์ z-80 ซีพียูได้ทั้ง 4 แชนแนล แต่เนื่องจากข้อจำกัดของ z-80 ซีทีซี โดยภายในตัว z-80 ซีทีซี จะกำหนดให้แชนแนล 0 มีความสำคัญสำหรับการอินเทอร์รัพท์สูงสุด ขณะที่แชนแนล 3 มีความสำคัญต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 18 แสดงโฟล์ชาร์ทการกำหนดการทำงานให้กับ Z-80 CPU และ Z-80 CTC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการคำนวนความกว้างพัลซ์

ค่าที่นำมาคำนวนนี้จะรับมาจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลนี้ ซึ่งจะมีค่าทั้งหมด 256 ค่า เพราะฉะนั้น รูปแบบของสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น จะมีทั้งหมด 256 แบบ แต่ละแบบจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ เมื่อคำนวนค่าเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะมีการเรียกใช้ รูปแบบของสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น ขึ้นอยู่กับการปรับค่าจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยจะรับค่าและนำค่านั้นมาเปรียบเทียบดูว่าตรงกับ รูปแบบใดแล้วจึงส่งคำสั่งให้ Z-80 CPU นำรูปแบบในหน่วยความจำนั้นมาใช้

ภายในส่วนการคำนวนความกว้างพัลซ์นี้จะมีการเรียกใช้โปรแกรมย่อย ๆ ภายในโปรแกรมหลัก โปรแกรมย่อยที่ใช้ในโปรแกรมหลัก เช่น โปรแกรมการคูณ , การหาร , การบวก , การลบ เป็นต้น

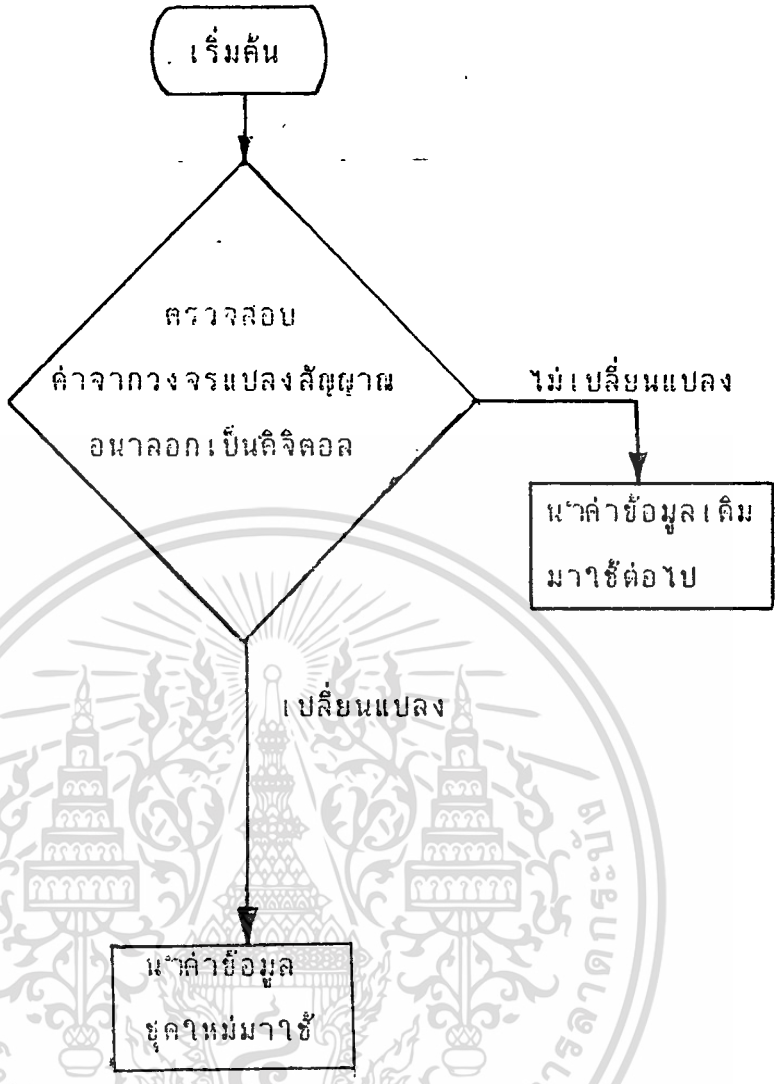
ส่วนการตรวจสอบค่าใหม่จากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลกับค่าเดิม

โปรแกรมส่วนนี้ จะมีการตรวจสอบค่าอยู่ตลอดเวลาว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลหรือไม่ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะนำข้อมูลจากหน่วยความจำชุดเดิมมาใช้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงค่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าใหม่ แสดงว่ารูปแบบของสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นมีการเปลี่ยนแปลง Z-80 ก็จะมีการส่งคำสั่งให้มีการนำข้อมูลจากหน่วยความจำชุดใหม่ไปใช้ และจะรอรับค่าใหม่จากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 19 แสดงโฟลชาร์ทการคำนวนความกว้างพัลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



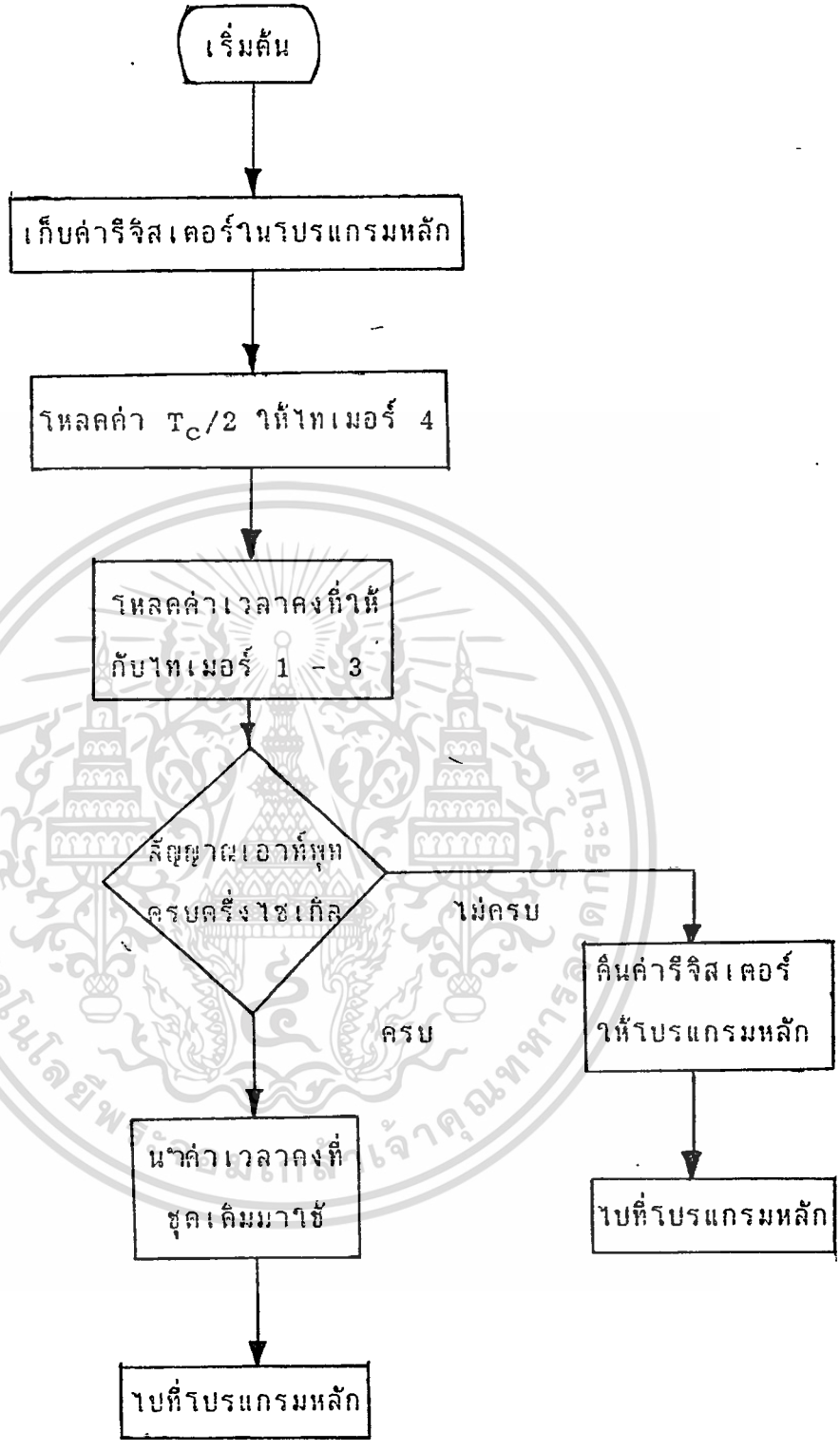
รูปที่ 20 แสดงโฟลชาร์ทการตรวจสอบค่าจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์

โปรแกรมส่วนนี้จะทำงานทันทีที่ไทเมอร์ตัวที่ 4 นับค่าเวลาคงที่ (Tc/2=0) มันจะส่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์ให้ z-80 และโปรแกรมการอินเทอร์รัพท์จะเริ่มทำงานทันที โดยจะต้องเก็บค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ ของโปรแกรมหลักก่อน และทำการส่งค่า Tc/2 ให้ไทม์เมอร์ตัวที่ 4 ทำการนับต่อไป หลังจากนั้น z-80 จะเริ่มทำการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ ค่าที่อ่านมานี้จะเป็นค่าเวลาคงที่ให้ ไทม์เมอร์ 1-3 ของเฟส A,B และ C ตามลำดับ หลังจากนั้นตำแหน่งของหน่วยความจำก็จะเปลี่ยนไป ซึ่งจะมีข้อมูลชุดใหม่รอไว้เพื่อให้ z-80 อ่านค่าให้ไทม์เมอร์ต่อไป หลังจากนั้น z-80 จะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งไปให้ไทม์เมอร์ครบครึ่งคาบของสัญญาณเอาท์พุทหรือยัง ถ้าครบแล้ว z-80 จะเซ็ทค่าหน่วยความจำใหม่ซึ่งมีค่าเวลาคงที่ชุดเดียวกับครึ่งคาบแรกของสัญญาณเอาท์พุท ทั้งนี้เพราะว่าสัญญาณเอาท์พุทจะสมมาตรกันทั้งครึ่งบวกและครึ่งลบ และในกรณีที่ยังไม่ครบครึ่งคาบสัญญาณเอาท์พุท z-80 จะทำการส่งข้อมูลจนครบครึ่งคาบ หลังจากนั้นหลังจากได้ทำการตรวจสอบทั้ง 2 กรณีแล้ว จะคืนค่ารีจิสเตอร์ที่เก็บไว้ให้โปรแกรมหลัก และรอการอินเทอร์รัพท์จากไทม์เมอร์ 4 ต่อไป ซึ่งจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 แสดงโฟลชาร์ทของโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

วิธีทำการทดลอง

การทดลองนี้เราจะมีการต่อเชื่อมกัน (INTERFACE) ระหว่าง วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล เข้ากับ SINGLE BOARD ที่มี Z-80 เป็นซีพียู จากนั้นจะต่อเชื่อมจาก SINGLE BOARD ไปยังวงจรล็อคเอาท์เพื่อหน่วงสัญญาณอินพุทเพื่อไม่ให้ทรานซิสเตอร์ทำงานพร้อมกัน และจากวงจรล็อกเอาท์จะถูกต่อไปยังวงจรกำลังเพื่อขับทรานซิสเตอร์กำลังต่อไป การต่อวงจรระหว่างZ-80 SINGLE BOARD กับ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล และ การต่อวงจรระหว่าง Z-80 CTC กับ วงจรล็อคเอาท์ได้แสดงในรูปที่ 22 และรูปที่ 23

ผลการทดลอง

การทดลองนี้เราจะใช้ Z-80 ซีพียู เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นโดยเราจะมีการเปลี่ยนค่า มอดดูเลชั่น เดบ (MODULATION DEPTH) โดยจะมีค่าระหว่าง 0.1-0.9 p.u. และค่า P (FREQUENCY RATIO FOR SUBOPTIMAL = w_c/w) จะเปลี่ยนค่า P=9 และ P=15 โหลดที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ โหลดที่เป็นอินดักแตนซ์ ซึ่งมีค่าประมาณ 80 มิลลิเฮ็นรี่ หลังจากนั้นเราจะวัดสัญญาณเอาท์พุทของกระแสที่คร่อมตัวโหลด โดยจะวัดสัญญาณเอาท์พุทของกระแส และเปรียบเทียบ ที่ค่า P=9 และ P=15 เพื่อดูว่าสัญญาณเอาท์พุทของกระแสจะเข้าใกล้ค่าสัญญาณซายน์มากน้อยเพียงใด เมื่อค่า P เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

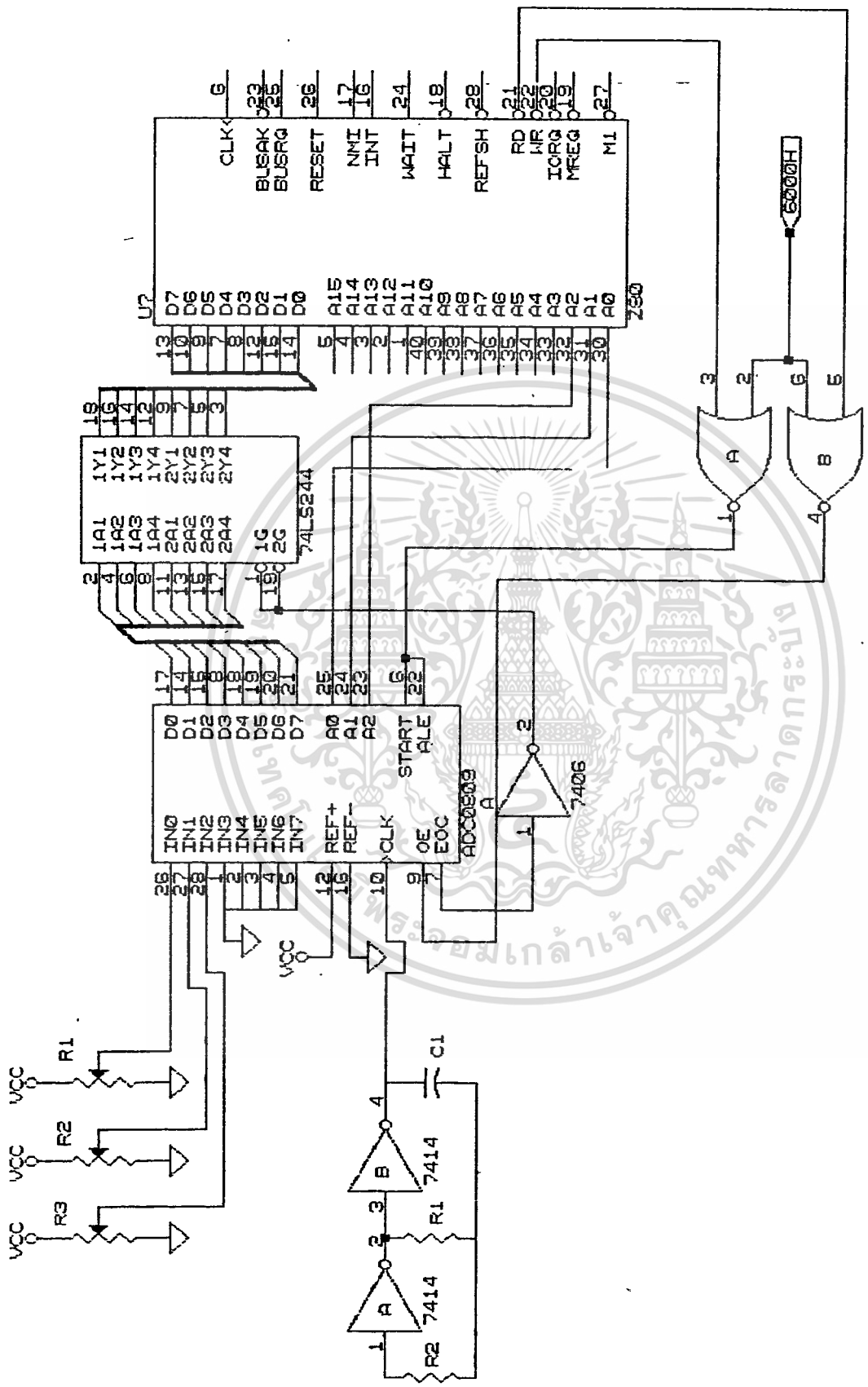
- หลักการทำงานของวงจรล็อคเอาท์ (Lock-Out Circuit)

จากวงจรดังรูป เมื่อเราได้สัญญาณที่สร้างมาจาก Z-80 CTC นำสัญญาณจากขา ZC/TOO-ZC/TO2 ไปทริกที่ขาคล็อก(clk) ของ JK-ฟลิปฟลอบ เราจะได้สัญญานรูปแบบการสวิทส์ซึ่งของวงจรอินเวอร์เตอร์ แต่เพื่อความปลอดภัยและป้องกันมิให้ สวิทส์ที่ขาของอินเวอร์เตอร์มีการลัดวงจร ขณะที่สวิทส์มีการเปลี่ยนสถานะ เราจึงนำสัญญานที่ได้จาก JK ฟลิปฟลอบมาผ่านเข้าไปยังวงจรล็อกเอาท์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการหน่วงสัญญานที่ขอบของสัญญานเอาท์พุทจากตัวฟลิปฟลอบ โดยใช้ IC เบอร์ 4528 ซึ่งเป็นวงจรโมโนสเตเบิ้ล ทำหน้าที่ในการหน่วงสัญญานที่ขอบของสัญญาน โดยช่วงเวลาที่ใช้ในการหน่วงนี้จะสามารถกำหนดได้ด้วยค่าของ ความต้านทาน (R_2) และตัวเก็บประจุ (C_2) ในการทดลองเราใช้ค่าความต้านทาน R_2 = 2 K ,C_2 = 1 nF ทำให้สัญญานมีการหน่วงเวลาออกไปประมาณ 10 sec ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้สวิทส์ที่ขาของอินเวอรเตอร์หยุดการนำกระแสแล้วจึงทำให้สวิทส์อีกตัวบนขาเดียวกันนำกระแสแทนโดยที่ไม่เกิดการลัดวงจรขึ้น

- วงจรรับค่าจากอนาล็อกเพื่อนำมาแปลงเป็นสัญญานดิจิตอล

เนื่องจากการใช้เทคนิคการสร้างรูปแบบ (PWM) ด้วยเทคนิคดังกล่าว เราจำเป็นที่จะต้องมีการรับค่าจากภายนอก เพื่อทำการคำนวนความกว้างของสัญญานพัลซ์ที่ความถี่ใหม่ โดยจะมีการรับค่าจาก IC ADC0809 ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญานอนาล็อกมาเป็นดิจิตอล โดยจะใช้ค่าของแอดเดรสที่ 6000H-6002H เป็นแอดเดรสที่ CPU จะไปทำการรับค่าเข้ามา โปรแกรมการทำงานของ CPU จะต้องคอยตรวจสอบข้อมูลในแอดเดรสต่าง ๆ ถ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม CPU จะต้องทำการคำนวนค่าของสัญญานใหม่ โดยในขณะที่ทำการคำนวนอยู่นั้นก็จะส่งค่าของข้อมูลชุดเก่าออกไปก่อน รอจนกว่าค่าใหม่จะถูกคำนวนเสร็จและถูกบรรจุไว้ในหน่วยความจำเรียบร้อยแล้ว CPU จึงจะส่งค่าสัญญานความกว้างของพัลซ์ชุดใหม่นี้ออกไปให้กับ Z-80 CTC เพื่อทำงานขั้นต่อไป ซึ่งผลก็คือจะทำให้ความถี่ที่ได้จากเอาท์พุทของ อินเวอร์เตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงไป

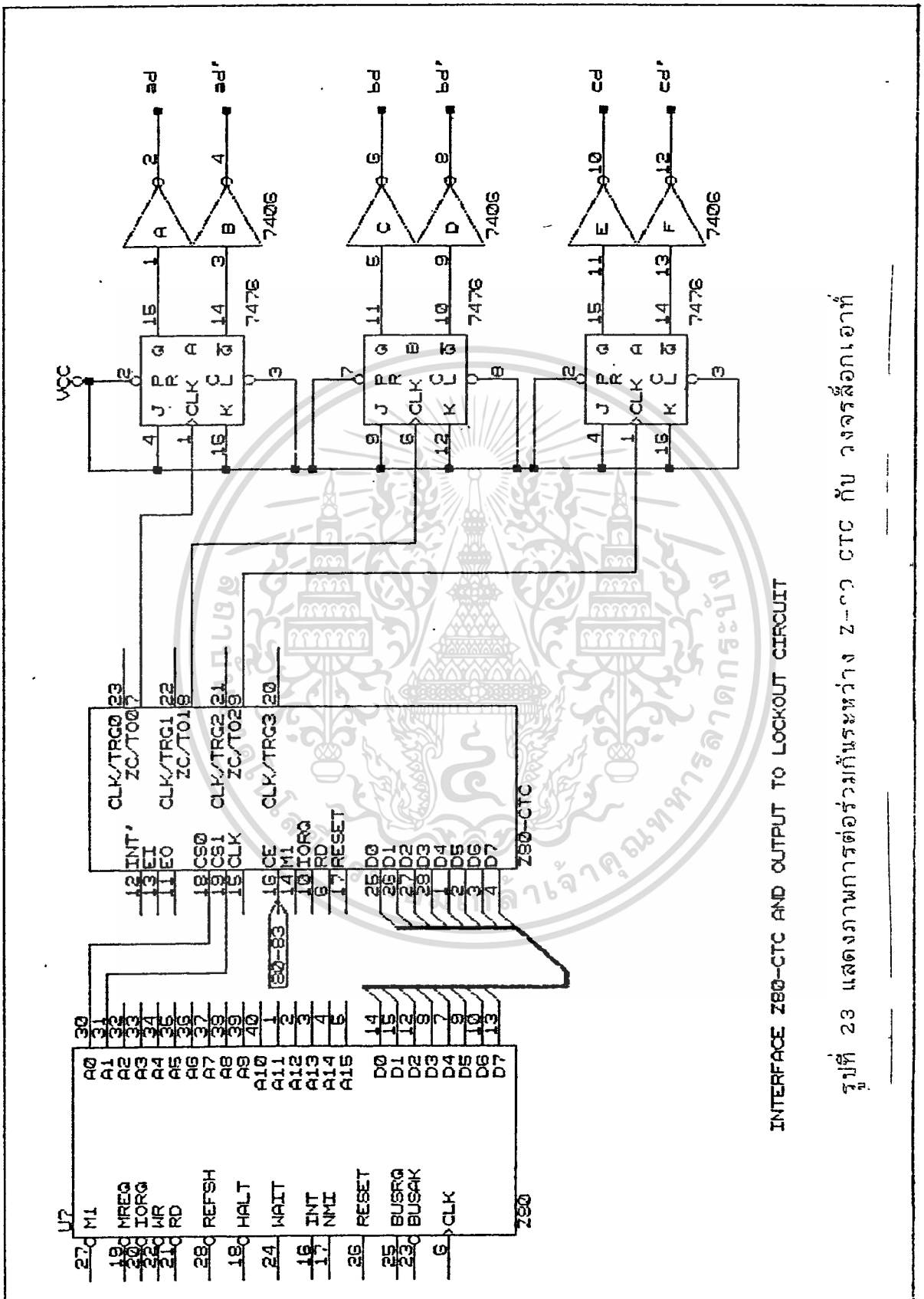
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 แสดงภาพการต่อร่วมกันระหว่าง Z-80 SINGLE BOARD กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

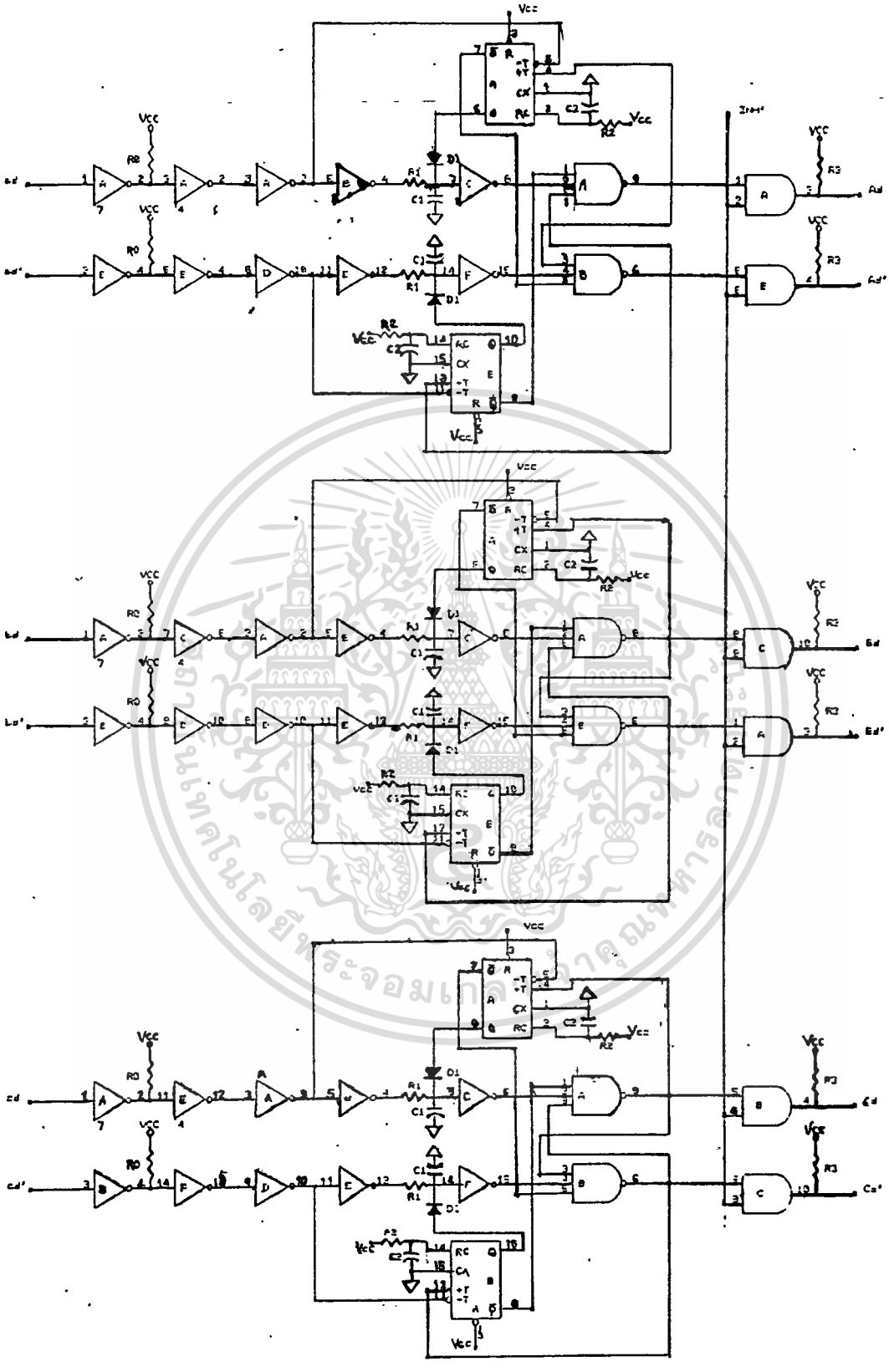
INTERFACE ADC TO Z-80 SINGLE-BOARD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



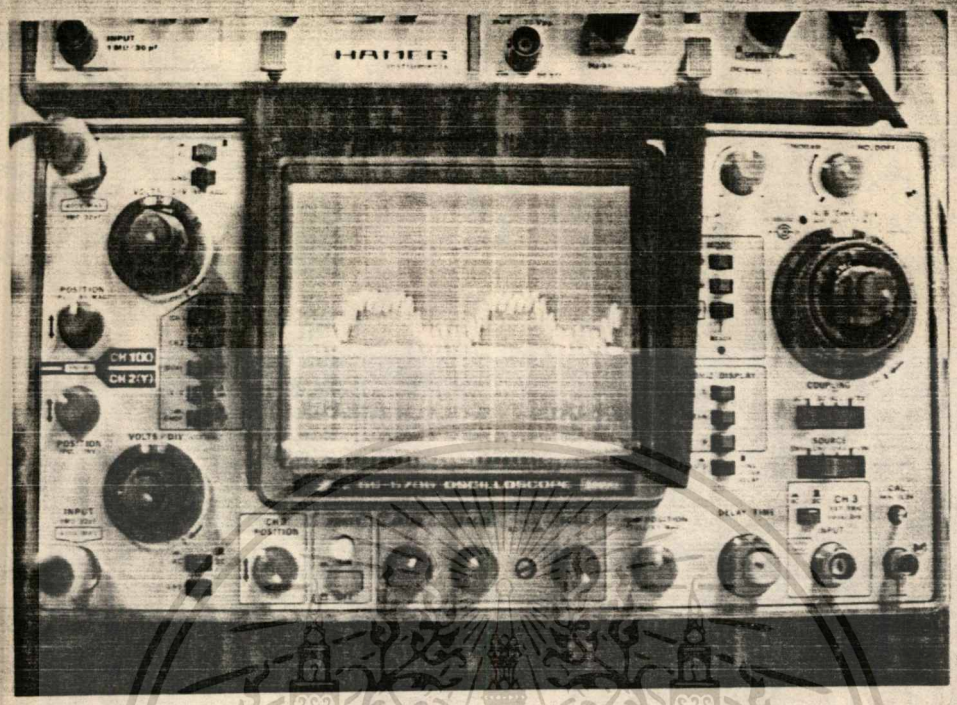
รูปที่ 23 แสดงภาพการต่อร่วมกันระหว่าง Z-80 CTC กับ วงจรล็อกเอาท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใ

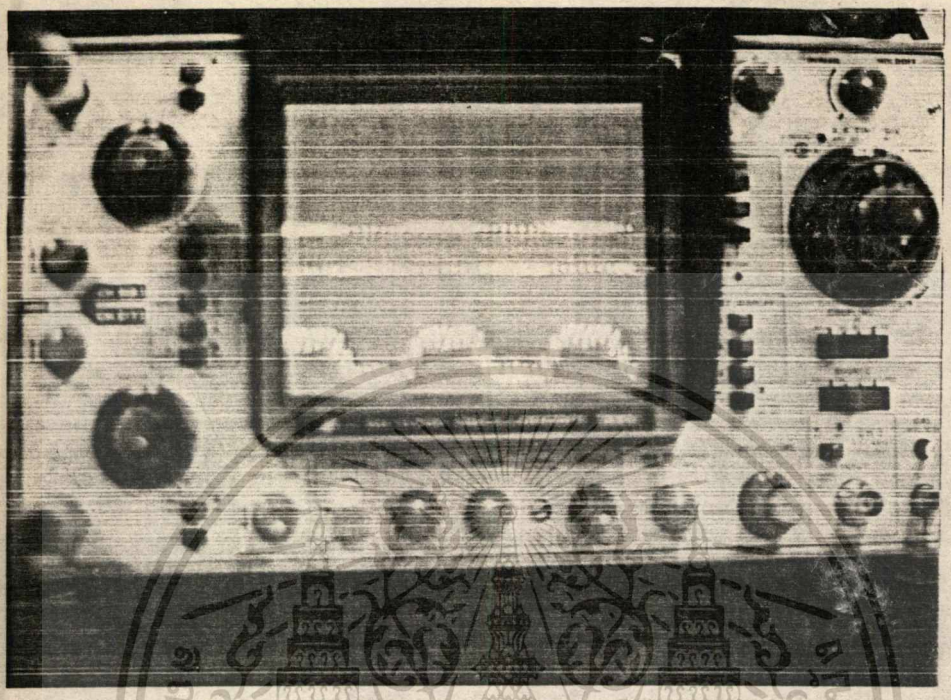


รูปที่ 24 แสดงวงจร J-K FLIPFLOP 3 ชุด สำหรับแสดงสัญญาณจาก ซีทีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

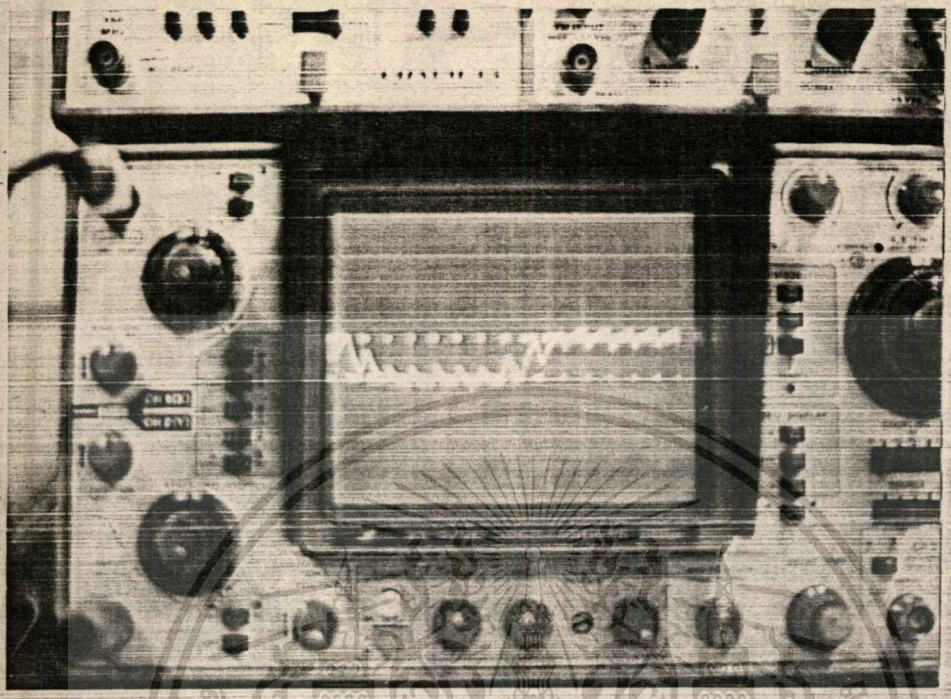


รูปที่ 25 ภาพแสดงสัญญาณแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์ 100 V/div
กระแสไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์ 2 A/div
โหลด = ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ
สเกลเวลา = 5 ms/div
หมายเหตุ P = 15 , M = 0.9



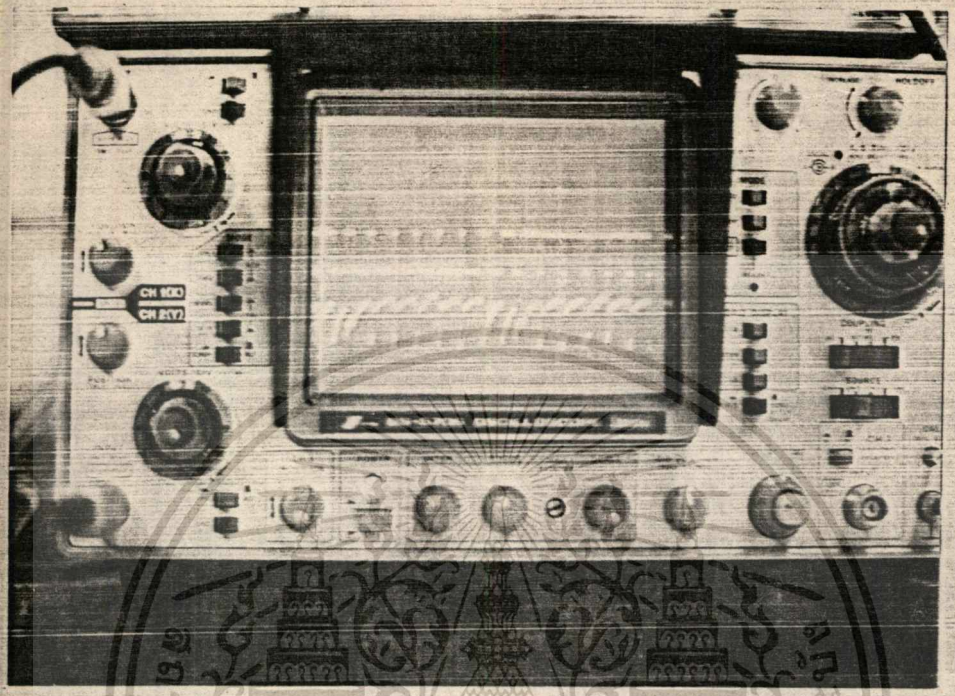
รูปที่ 26 ภาพแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมโหลด 500 V/div.
กระแสไฟฟ้าที่ไหลในโหลด 2 A/div
โหลด = ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ
สเกลเวลา = 5 ms/div
หมายเหตุ P = 15 , M = 0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



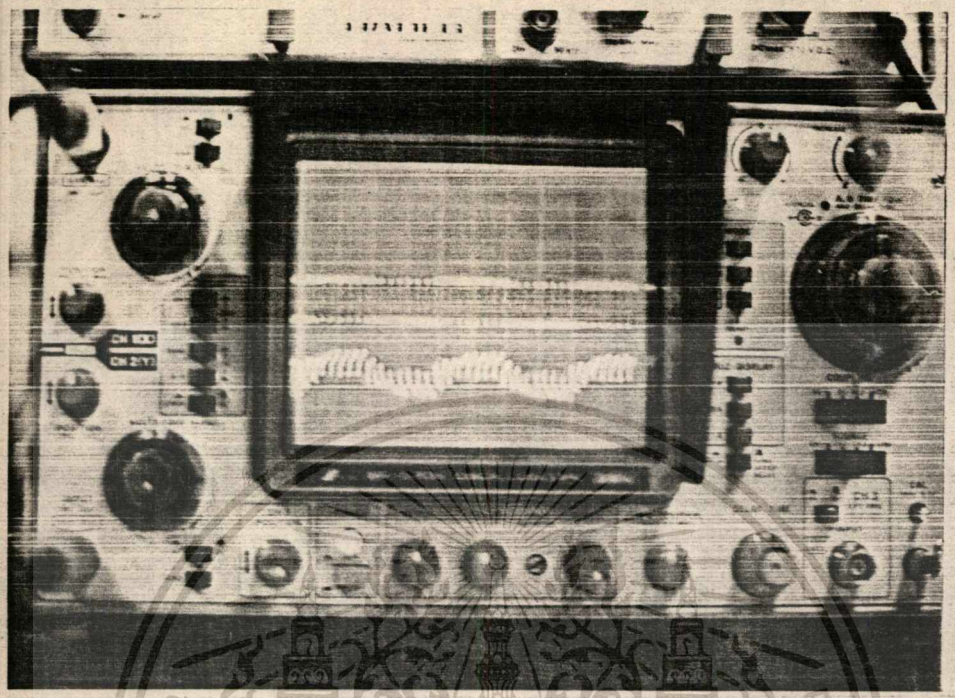
รูปที่ 27 ภาพแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมโหลด 500 V/div
กระแสไฟฟ้าที่ไหลในโหลด 2 A/div
โหลด = ตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ
สเกลเวลา = 5 ms/div
หมายเหตุ P = 15 , M = 0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



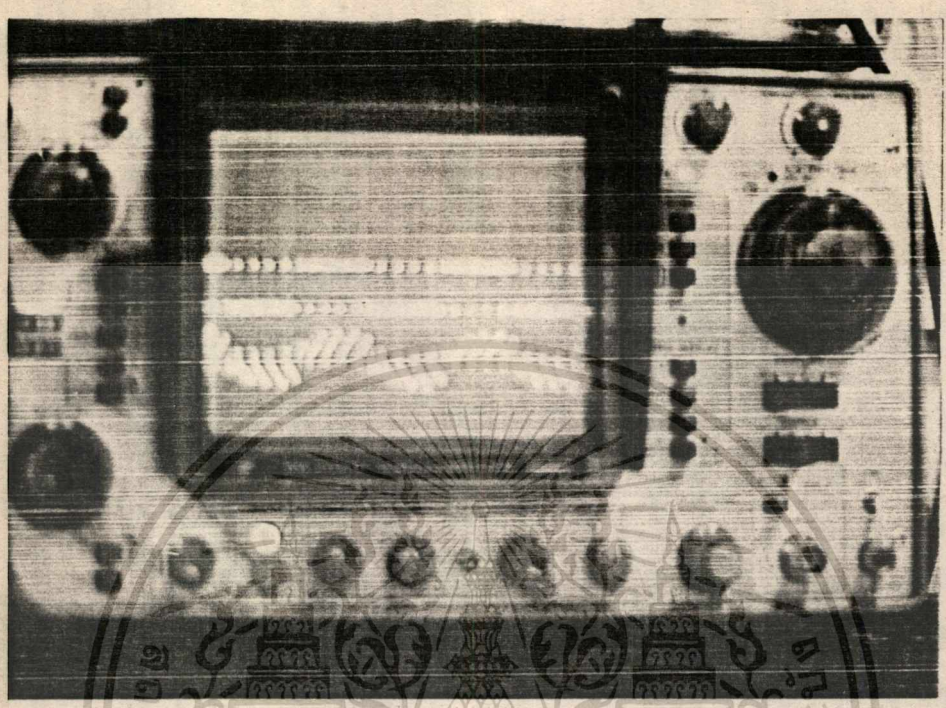
รูปที่ 28 ภาพแสดงสัญญาณแรงดันคร่อมโหลด 500 v/div
กระแสไฟตรงที่ไหลเข้ามอเตอร์ 2 A/div
โหลด = มอเตอร์ขนาด 250 วัตต์
สเกลเวลา = 5 ms/div
หมายเหตุ P = 15 , M = 0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



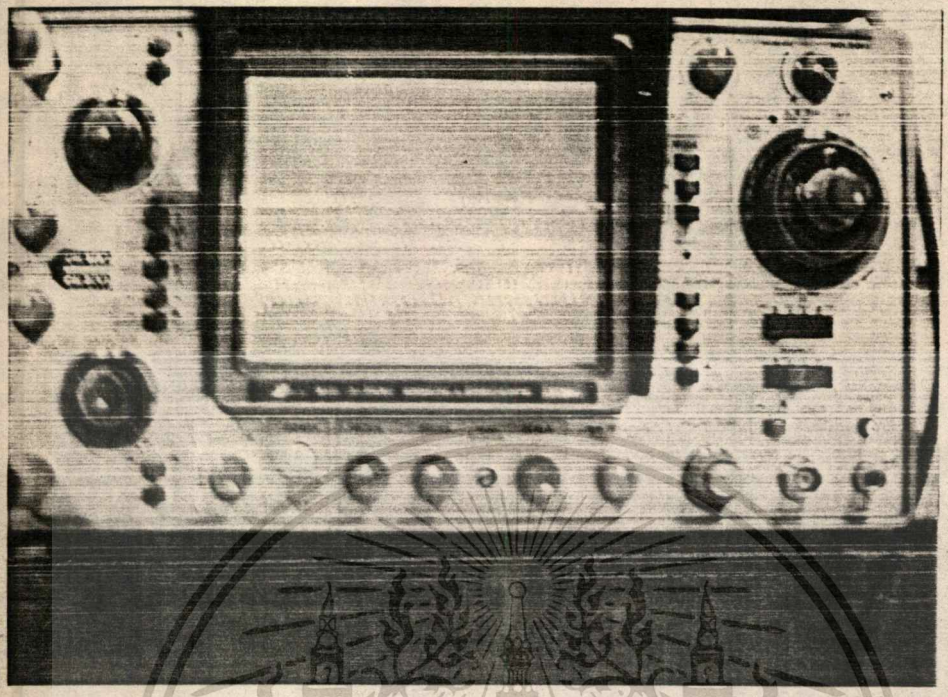
รูปที่ 29 ภาพแสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหลด 500 V/div
กระแสไฟตรงที่ไหลเข้ามอเตอร์ 1 A/div
โหลด = มอเตอร์ขนาด 250 วัตต์
สเกลเวลา = 5 ms/div
หมายเหตุ P = 15 , M = 0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 30 ภาพแสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหลด 500 V/div
กระแสไฟตรงที่ไหลเข้ามอเตอร์ 1 A/div
โหลด = มอเตอร์ขนาด 250 วัตต์
สเกลเวลา = 5 ms/div
หมายเหตุ P = 9 , M = 0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31 ภาพแสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหลด 500 V/div
กระแสไฟตรงที่ไหลเข้ามอเตอร์ 1 A/div
โหลด = มอเตอร์ขนาด 250 วัตต์
สเกลเวลา = 5 ms/div
หมายเหตุ P = 15 , M = 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลองจะพบว่า สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณรูปซายน์ แต่ถ้ามีการเพิ่มค่า P จะทำให้เอาท์พุทที่ต้องการมีความใกล้เคียงกับสัญญาณซายน์มากขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงสัญญาณ พัลซ์วิดมอดดูเลชั่น ที่คำนานได้จาก Z-80 CPU จะต้องมีค่าถูกต้อง แต่เนื่องจากข้อจำกัดบางประการ เช่น ค่าเวลาคงที่(time constant) ที่ส่งให้กับไทม์เมอร์จะต้องมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม แต่ค่าเวลาคงที่ที่คำนวนได้จากสมการมีค่าเป็นจุดทศนิยม ซึ่งจำเป็นที่ต้องปัดเศษ ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น นอกจากนี้ ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ ที่ป้อนให้กับไทม์เมอร์ถ้าความถี่ในการนับมีค่าน้อย ก็จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้เช่นกัน

ข้อจำกัดในการสร้าง รูปแบบการสวิทส์ชิ่ง เกิดเนื่องจากข้อจำกัดในตัว Z-80 CTC ซึ่งเป็นไทม์เมอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเอาท์พุทให้กับ JK Flip-Flop มีค่าเวลาคงที่ ซึ่งใช้รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิทเป็นตัวสร้างทำให้คาความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตที่เกิดขึ้นมีข้อจำกัดในการปรับค่าความถี่ นอกจากนี้ การที่จะต้องให้ ไทเมอร์ อีก 3 ตัวส่งสัญญาณอินเทอรรัพท์ CPU เพื่อให้ตัวมันเองหยุดการทำงาน ทำให้มีการอินเทอร์รัพท์ CPU มากและทำให้ CPU ทำงานผิดพลาดได้

รูปแบบการสร้างสัญญาณ พัลซ์วิดมอดดูเลชั่น จะใช้วิธีการคำนวนแบบ on-line ซึ่งใช้วิธิการมอดดูเลทสัญญาณซายน์กับสsampling ดังได้อธิบายถึงการสร้างไปแล้ว ด้วยวิธีการดังกล่าว ค่าอัตราส่วนจำนวนพัลซ์ P ที่เพิ่มขึ้นด้วยจำนวน 3 เท่าของเลข 3 ที่เป็นเลขคี่ (P = 9 , 15 , 27 , 45 , ...) ซึ่งผลจากการกำหนดค่า p จะทำให้สัญญาณซายน์ที่ได้มีลักษณะสมมาตรซึ่งสะดวกในการคำนวนความกว้างของสัญญาณพัลซ์ ทำให้ต้องคำนวนความกว้างเพียง 1/4 ไซเคิลเท่านั้น จะนั้นก็นำค่าความกว้างใน 1/4 ไซเคิลมาต่อเรียงกันให้กับ ไทเมอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณครบ 1 ไซเคิล จากนั้นจึงนำค่าส่งให้กับ ไทม์เมอร์ ทำงานในลักษณะ real-time ทำให้คำนวนค่าต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว และวิธิการดังกล่าวนี้ไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำมากนัก ตลอดจนการเพิ่มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปรับปรุงเพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งานมีมาก เนื่องจากสามารถจะทำได้โดยการสั่งงานโดยการโปรแกรมเพื่อสั่งให้ CPU ทำงาน นอกจากนี้ยังสามารถที่จะป้องกันการเกิดโอเวอร์โหลดการเกิดกระแสเกิน แรงดันไฟฟ้าเกินหรือตก ได้สะดวกอีกด้วย

การพัฒนาในขั้นต่อไปนั้น ควรจะเพิ่มความเร็วให้กับ CPU การเลือกใช้ IC ไทม์เมอร์ ที่มีสมรรถนะสูงขึ้น ตลอดจนการเพิ่มเติมในการควบคุมแบบ Close-loop เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำการวิจัยจาก อ. วรศักดิ์ จิตรภักดี อาจารย์ที่ปรึกษา อ.วันชัย ริ้วรุจา อาจารย์ผู้ให้แนะนำเพิ่มเติม และ พี่วิโรจน์ พลนุรักษ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและ อ. เกียรติวรรณ ทรงสัตย์ ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในระหว่างทำการวิจัยและค้นคว้า และเพื่อน ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลดังกล่าวเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ลงวน กุศลทศกูล
ศิริพงษ์ ตรีอุดมสิน
2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. David Finney , " Variable frequency AC motor drive systems ", Peter Peregrinus Ltd., 1988

2. S.R. Bowes and A.Midoun , " Mcroprocessor implementation of new optimal PWM switching strategies ", IEE PROCEEDINGS,Vol 135,pt.B,No.5,SEPTEMBER 1988, PP 269-280

3. นิมิตร อมฤทธิ์วาจา , " การประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมพัลซ์วิดมอดดูเลชั่นอินเวอร์เตอร์", คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2532

4. ศูนย์ภาษาคอมพิวเตอร์ , " การใช้งาน z-80 "

5. Lance A Leventhal Winthrop Saville , " z-80 Assembly Language Subroutines "

6. Lance A Leventhal , " z-80 Assembly Language Programming "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า