



เครื่องบันทึกการกระจายคลื่นของสายอากาศอัตโนมัติ
AUTOMATIC ANTENNA PATTERN RECORDER



โดย

นายประวิทย์ชัย	สมานรักษ์	รหัส 34182112
นายประเสริฐ	อมรเลิศไผวงศ์	รหัส 34182113
นายไพฑูรย์	อ่วมน้อย	รหัส 34182117
นายอนงค์ศักดิ์	เสริสชาติ	รหัส 34182140

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำออกใช้

032716

ใบรับรองปริญญาโท

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

เครื่องบันทึกการกระจายคลื่นของสายอากาศอัตโนมัติ

AUTOMATIC ANTENNA PATTERN RECORDER

โดย

นายประวิทย์	สมานรักษ์	รหัส 34132112
นายประเสริฐ	อมรเลิศไพวงศ์	รหัส 34132113
นายไพฑูรย์	อ่วมน้อย	รหัส 34132117
นายอนุศักดิ์	เสรีสาชาติ	รหัส 34132140

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

อาจารย์ที่ปรึกษา PROJECT

..... อ. ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์

(.....)

..... อ. สมผล โทศลย์วิตร

(.....)

..... กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับประเมินเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032713

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	A
ABSTRACT	B
คำนำ	C
บทที่ 1 สายอากาศ	1
- รูปแบบของการกระจายคลื่น	1
- สายอากาศกับรูปแบบและทิศทาง	2
- ความยาวของสายอากาศกับความถี่	4
- ความถี่และความยาวคลื่น	6
- อัตราขยายและสภาพการขึ้นนำของสายอากาศ	7
บทที่ 2 สเตปปีงมอเตอร์	10
- ข้อดีและข้อเสียของสเตปปีงมอเตอร์	10
- ชนิดของสเตปปีงมอเตอร์	11
- แบบ solenoid - ratchet	11
- แบบ variable - reluctance	13
- แบบ แม่เหล็กถาวร	24
- แบบ hybrid (synchronous inductor motor)	28
- แบบ electromechanical	33
- การขับสเตปปีงมอเตอร์แบบยูนีโพล่า	35
- การขับสเตปปีงมอเตอร์แบบไบโพล่า	41
บทที่ 3 IC 8255	44
- IC TCA 1560B	55
- ADC 0804	62
บทที่ 4 การสร้างอุปกรณ์ hardware	66
- ชุดเฟืองและแท่นหมุน	66
- ชุดขับสเตปปีงมอเตอร์และ power supply	68
- การ์ดอินเทอร์เฟส และ วงจร A/D	72
การทดลองและผลการทดลอง	74
สรุปและวิจารณ์	98
ภาคผนวก	99
กิตติกรรมประกาศ	129

บทคัดย่อ

เครื่องบันทึกการกระจายคลื่นของสายอากาศอัตโนมัตินี้ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ Hardware และ Software โดยส่วนของ Hardware ได้แก่ Card Interface & A/D ชุดติดตั้งสายอากาศ และชุดขับ Stepping Motor ส่วนของ Software ซึ่งเขียนด้วยภาษา C นั้นจะสามารถทำให้ระบบทั้งหมดในส่วน Hardware ทำงานอย่างสอดคล้องกัน โดยจะได้รูปภาพแสดงออกหน้าจอ มอนิเตอร์ได้ 3 ลักษณะ คือ Polar Plot, Angle Plot และค่า Table ซึ่งยังสามารถพิมพ์ออกมาเพื่อวิเคราะห์ได้นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกข้อมูลต่างๆ ลงใน Diskette และเรียกข้อมูลออกมาแสดงผลในภายหลังได้

ชื่อโครงการ เครื่องบันทึกการกระจายคลื่นของสายอากาศอัตโนมัติ

ABSTRACT

THIS AUTOMATIC ANTENNA PATTERN RECORDER CONTAIN OF 2 PARTS ARE HARDWARE PARTS AND SOLFWARE PARTS , THE HARDWARE PARTS ARE CARD INTERFACE A/D ,STEPPING MOTOR DRIVER , AND ANTENNA BASE, THE SOLFWARE IS WRITTEN BY C LANGUAGE FOR CONTROL HARDWARE , IT SHOW GRAPH ON MONITOR 3 FORMS ARE POLAR PLOT , ANGLE PLOT AND TABLE VALUE WHICH CAN PRINT OUT FOR ANALYSES AND CAN SAVE DATA IN DISKETE FOR SHOW DATA IN NEXT TIME.

Project Name Automatic Antenna Pattern Recorde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารได้ใช้เทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วยให้การสื่อสารเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสื่อสารโดยใช้การกระจายคลื่นจะมีสายอากาศส่งและสายอากาศรับตั้งนั้นรูปแบบของการกระจายคลื่นของสายอากาศชนิดต่างๆ จึงจำเป็นต่อการสื่อสาร ดังนั้นการสร้างสายอากาศให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการส่งและรับนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวัดและทดสอบรูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศนั้นๆ หลายครั้งจนกว่าจะได้ตามที่ต้องการซึ่งการวัดและบันทึกรูป pattern โดยทั่วไปทำได้ลำบากและมีความละเอียดไม่เพียงพอ

project ขึ้นนี้สามารถที่จะทำการวัดและทดสอบการกระจายคลื่นเป็นไปอย่างอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมโดยไม่รวมถึงเครื่องส่งและเครื่องรับซึ่งในโครงการนี้สามารถตั้งความละเอียดในการวัดได้ต่ำสุดที่ 2 องศาต่อหนึ่งสเทปของการวัด นอกจากนี้ยังสามารถเก็บข้อมูลต่างๆลงใน diskette เพื่อนำมาวิเคราะห์ในภายหลังได้

คณะผู้จัดทำ

บทที่ 1

สายอากาศ

รูปแบบของการแพร่คลื่นของสายอากาศ

จากที่ทราบมาแล้วว่าไดโพลเป็นส่วนประกอบขึ้นพื้นฐานของสายอากาศ ซึ่งจะส่งหรือรับ (สายอากาศของเครื่องส่ง และเครื่องรับต้องมีคุณสมบัติเหมือนกัน) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกรอบตัวสายอากาศ ลักษณะรูปร่างของการกระจายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปร่างต่างๆ กันเรียกกันว่ารูปแบบหรือแพทเทิร์นซึ่งจะเป็นตัวกำหนด ค่าไดเรกทิวิตี (DIRECTIVITY) คือ การกระจายพลังงานไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ ซึ่งมีความสำคัญในการรับหรือส่งในทิศทางเดียวและป้องกันการรบกวนจากสถานีอื่นๆ

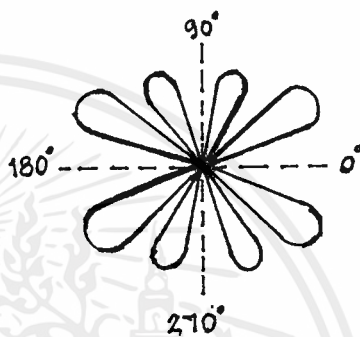
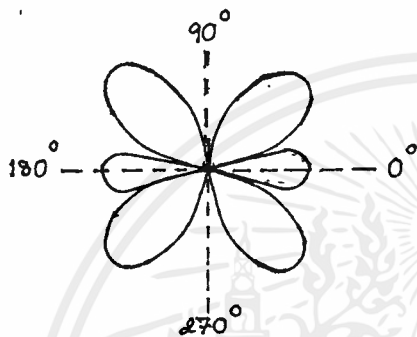
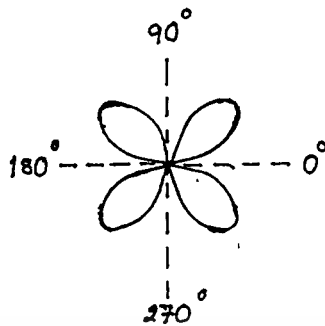
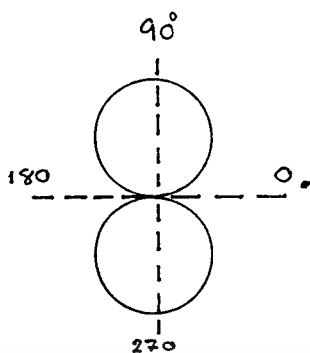
การหารูปร่างของแพทเทิร์น นั้นหาได้โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ หรือการบวกเวกเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ รูปร่างของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศถ้าพลังงานถูกแพร่กระจายออกไปทั่วๆ ในทุกทิศทางรูปแบบการแพร่กระจายจะเป็นรูปทรงกลมที่มีสายอากาศแบบไดโพลอยู่ตรงกลางของสายอากาศดังรูปที่ 1-1 ซึ่งแสดงรูปแบบของสายอากาศ $\lambda/2$ ซึ่งรีโซแนนซ์กับความถี่หนึ่งๆ



รูปที่ 1-1

ความเข้มของการแพร่กระจายพลังงานจะลดลง ในขณะที่ระยะทางจากสายอากาศเพิ่มขึ้น รูปแบบของสายอากาศแบบ $\lambda/2$ โดยทั่วไปจะเป็นรูปโดนัท ซึ่งไดเรกทิวิตีและรูปแบบจะแปรกับความยาวทางไฟฟ้าของสายอากาศ ดังแสดงดังรูปที่ 1-2 ซึ่งแสดงว่าไดโพลซึ่งมีความยาวทางฟิสิกส์ เท่ากัน แต่ทำงานที่ตำแหน่งต่างๆกันจะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบที่ได้จะแตกต่างกันด้วย

ก. สายอากาศความยาว $\lambda/2$ ข. ขณะทำงานที่ความถี่เป็น 2 เท่าของรูป ก. มี 4 โลบ



ค. ขณะทำงานที่ความถี่เป็น 3 เท่าของรูป ก. มี 6 โลบ 4. ขณะทำงานที่ความถี่เป็น 4 เท่าของรูป ก. มี 8 โลบ

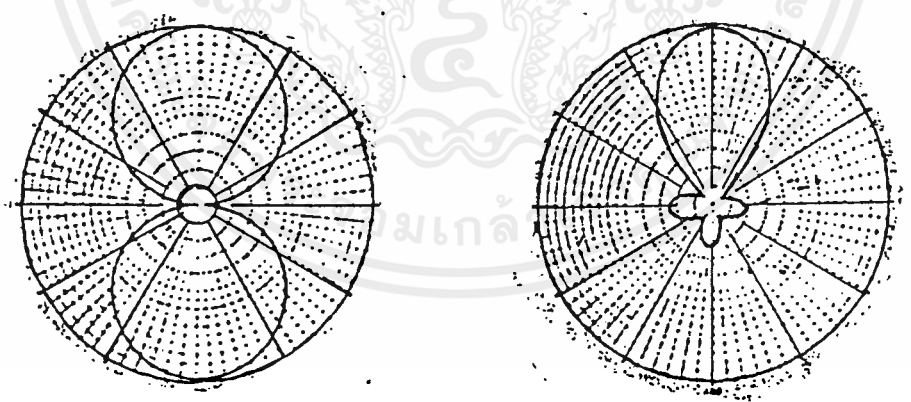
รูปที่ 1-2

โดยทั่วไปที่ความยาวของสายอากาศตัวหนึ่ง เมื่อให้ทำงานที่ความถี่มีค่ามากขึ้นจำนวนโอบ (Lobe) จะมากขึ้นด้วย ซึ่งไม่เป็นผลดีนักในแง่การส่งหรือการรับ เพราะกำลังจะได้น้อยลง แต่ดีในแง่ติดตั้งถ้าเครื่องรับดีพอ นอกจากนี้เพื่อปรับปรุงให้รูปแบบมีรูปร่างต่างๆ กัน ตามที่ต้องการก็จะมี การเพิ่มส่วนประกอบอื่นๆ รวมทั้งไดโพล เช่น ไตรเฟดเดอร์หรือตัวชี้หน้า รีเฟดเดอร์หรือตัวสะท้อนนอกจากนี้รูปแบบของไดโพลชนิดเดียวกัน จะแตกต่างกันถ้าต่อ (Feed) สายส่งที่ตำแหน่งต่างๆ กัน เช่นตรงปลายกับตรงกลาง

สายอากาศกับรูปแบบและทิศทางกขและการรับคลื่น

ในการเลือกสายอากาศเราจำเป็นต้องพิจารณา รูปแบบและทิศทางของสัญญาณที่แพร่มา ตลอดจนรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งมาจากสถานีส่งด้วย ดังเช่น สถานีส่งติดตั้งสายอากาศที่เป็นชนิด โอมห้โตเรชั่นนอล (omnidirectional) หรือมีการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณในทุกทิศทางรอบสายอากาศ เมื่อสัญญาณมาถึงเครื่องรับ จึงมีทิศทางของคลื่นจากเครื่องส่งโดยตรงเพียงทิศทางเดียว ดังนั้นเครื่องรับจะต้องออกแบบ ให้ใช้สายอากาศในลักษณะการรับสัญญาณเพียงทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทั้งนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการรับสูงขึ้นและสามารถขจัดสัญญาณรบกวนที่มาจากที่อื่น หรือมาจากการสะท้อนให้หมดไป สิ่งที่เราจะทราบได้ถึงทิศทางการรับ หรือส่งของสายอากาศ หรือรูปแบบการรับสัญญาณ

ญาณของสายอากาศ เราจะทำได้โดยการวัดสัญญาณความถี่ที่ต้องการรับปริมาณของความแรงที่รับได้จะขึ้นกับทิศทางคลื่นสัญญาณที่มายังตัวสายอากาศ แล้วเขียนความแรงของสัญญาณในทิศทางต่างๆ ลงในกราฟรูปวงกลม ซึ่งในกรณีของสายอากาศ เครื่องรับเราทำได้โดยการรับสัญญาณที่รับได้โดยส่งอากาศด้วยการจูนมิเตอร์วัดสัญญาณให้ตรงกับความถี่ที่ส่งมาแล้วทำการหมุนสายอากาศไปโดยรอบ เพื่อดูว่าการวางสายอากาศในรูปใดจะให้สัญญาณแรงที่สุดการที่เราหมุนที่สายอากาศในการวัดจะเป็นการสะดวกทั้งนี้เพราะสถานีส่งจะไม่เคลื่อนที่ ไปโดยรอบสายอากาศเครื่องรับได้ เมื่อวัดสัญญาณได้ก็จะนำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 1-3 จากรูปที่ 1-3 เป็นนกรเปรียบเทียบรูปแบบของการรับสัญญาณของสายอากาศชนิดสัญญาณทิศทางเดียวกับสายอากาศ ฮาล์ฟเวฟไดโพลจะเห็นว่าทิศทางการรับสัญญาณของไดโพลเป็นไปได้สองทิศทางคือ ททางด้านมุม 0 องศา และ 180 องศา ส่วนทิศทางการรับสัญญาณของสายอากาศในรูป ข. จะรับได้ดีในทิศทาง 0 องศาเพียงทิศทางเดียวเท่านั้นซึ่งเป็นรูปแบบที่แตกต่างจากไดโพล ในส่วนที่เป็นวงของกราฟที่ร่างดังรูปเรียกว่า "โลบ" (ดูรูปที่ 1-3 ข.)



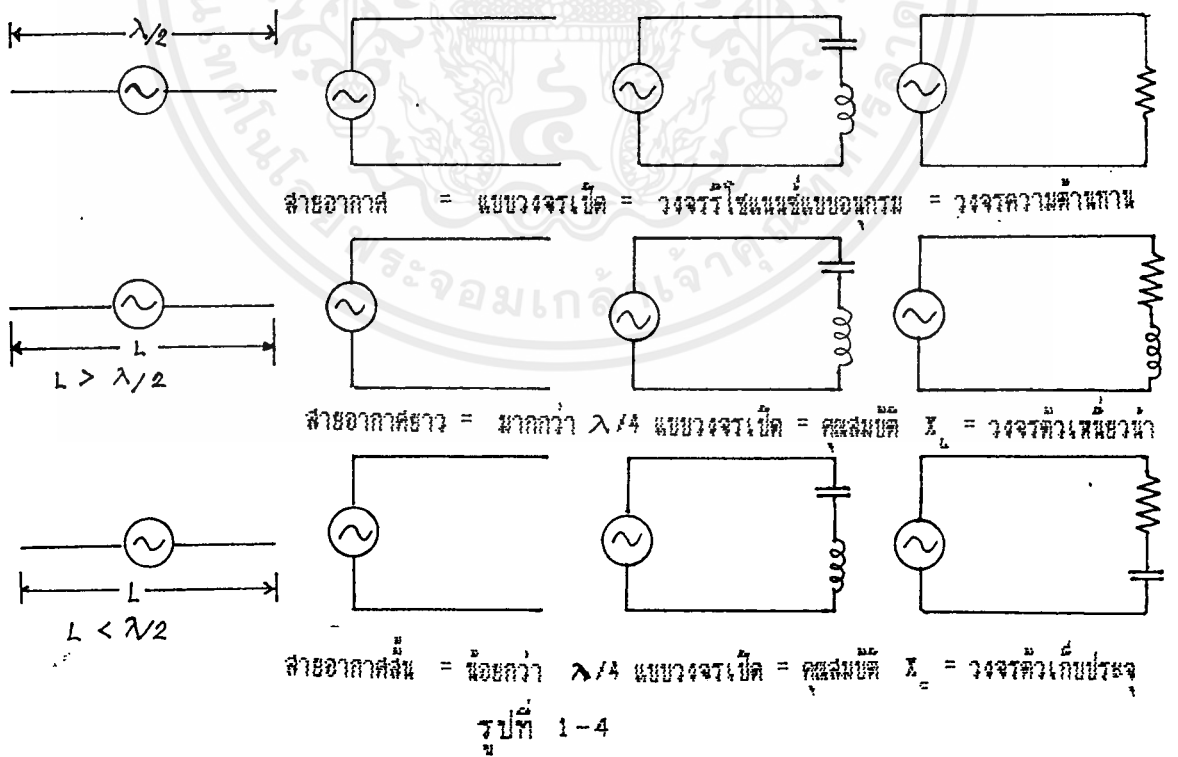
รูปที่ 1-3

โลบที่มีสัญญาณเข้ามาามากที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นทิศทางของเสาอากาศในการรับหรือส่งสัญญาณส่วนโลบเล็กๆ ที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการเพราะเป็นส่วนที่สายอากาศรับสัญญาณที่มาจากที่อื่นแทน

"โลบ" ที่มีส่วนรับสัญญาณได้สูงสุดเราเรียกว่า "โลบส่วนหน้า" (Front Lobe) ส่วนรูปแบบของโลบที่มีทิศทางตรงข้ามกับโลบส่วนหน้า เราเรียกว่า "โลบส่วนหลัง" (Back Lobe) ความแตกต่างของโลบส่วนหน้าและโลบส่วนหลังเป็นตัวบอกถึงคุณสมบัติในเรื่องการรับสัญญาณในบางครั้ง เราพูดถึงในเทอมของอัตราส่วนของโลบส่วนหน้าต่อโลบส่วนหลัง ซึ่งเราเรียกว่าอัตราส่วนโลบ ซึ่งค่าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงก็แสดงให้เห็นว่าสายอากาศนั้นจะมีทิศทางการรับได้เพียงทิศทางเดียว สายอากาศบางชนิด ออกแบบเพื่อรับสัญญาณ ได้หลายทิศทางดังนั้นส่วนของโลบอาจจะมีได้หลายโลบและแต่ละโลบอาจจะไม่แตกต่างกันมากนักก็ได้ การเลือกสายอากาศ จำเป็นที่จะต้องพิจารณารูปแบบนี้ด้วย ผู้ผลิตมักจะทำให้รูปแบบของการรับสัญญาณนี้ด้วยเสมอ

ความยาวของสายอากาศกับความถี่

ถ้าความยาวของสายอากาศพอดีก็จะเกิดวงจรเรโซแนนซ์ขึ้น ซึ่งจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะส่งหรือรับพลังงานได้ดีที่สุด ซึ่งจะสามารถแทนสายอากาศด้วยโหลดที่เป็นสายอากาศล้วน (pure resistance) ดังแสดงในรูปที่ 1-4 ก.



รูปที่ 1-4 ข. แสดงสายอากาศที่มีความยาวที่เหมาะสมเล็กน้อยก็จะแทนวงจรด้วยความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ และรูปที่ 26 ค. ถ้าสั้นกว่านั้นจะแทนด้วยตัวเก็บประจุ สายอากาศที่มีความยาวต่างๆ กันจะนำไปใช้ที่ความถี่ต่างกันสายอากาศแบบ $\lambda/2$ จะนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดซึ่งเป็นสายอากาศที่มีความยาวคลื่นครึ่งหนึ่งของความ

ยาวคลื่น สำหรับค่าความถี่ที่ใช้งานค่าหนึ่งเท่านั้น เมื่อค่าความถี่ที่ใช้งาน (operating frequency) เปลี่ยนไปความยาวทางฟิสิกส์ของสายอากาศจะไม่เปลี่ยนไปแต่ความยาวทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนเราสามารถเห็นได้จากตัวอย่างดังรูป 1-4 ที่ความถี่ใช้งาน 300 MHz สายอากาศแบบ $\lambda/2$ (ยาวเท่ากับ 50 ซม.) คือรูปที่ 1-4 ก. ซึ่งสายอากาศตัวเดียวกันจะนำมาใช้ที่ความถี่แตกต่างกัน คือรูปที่ 1-4 ข. ความถี่เท่ากับ 600 MHz $\lambda/2$ เท่ากับ 25 ซม. พิจารณาจากสูตร $v = f \lambda$ เมื่อคิดว่าการเคลื่อนที่ของคลื่นในสายอากาศเท่ากับการเคลื่อนที่ของคลื่นโลหะซึ่งทางปฏิบัติแตกต่างกัน

เมื่อ v เท่ากับความเร็วของคลื่นในอากาศ 3×10^8 m/s

f เป็นความถี่ที่ใช้งาน

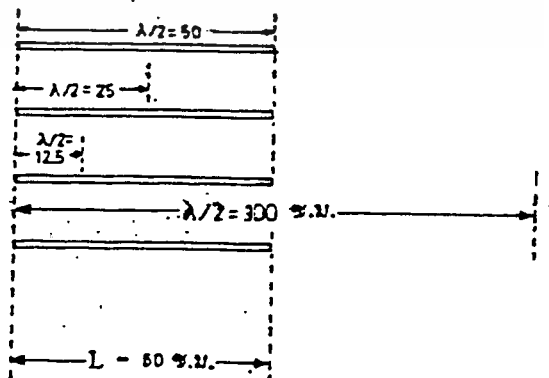
λ เป็นความยาวคลื่น

ความยาวของสายอากาศที่ความถี่นี้คือ z

จะแสดงว่าเมื่อความยาวทางฟิสิกส์คงที่ ความยาวทางไฟฟ้าของสายอากาศจะเปลี่ยนตามความถี่และก็เป็นไปได้ที่จะตัดความยาวของสายอากาศเป็น $\lambda/2$ ที่ความถี่ที่ใช้งานค่าใดค่าหนึ่งและในทำนองเดียวกันถ้าให้ความยาวทางไฟฟ้าคงที่ จะทำให้ความยาวจริงๆ เปลี่ยนไปโดยการตัดออกหรือต่อเข้า เช่นถ้าให้เป็นสายอากาศแบบ $\lambda/2$ ที่ความถี่ 300 MHz ดังนั้นความยาวเท่ากับ 50 ซม. 5 ถ้าที่ความถี่ 600 MHz เพราะฉะนั้นเท่ากับ 25 ซม. ก็ตัดออกเป็นต้นที่ความถี่แตกต่างกันหรือความถี่เดียวกันก็จะได้ความยาวทางไฟฟ้าแตกต่างกัน (ในขณะที่ความยาวทางไฟฟ้าเท่ากัน) ก็จะได้ดังรูปที่ 1-2 ก. ถึง รูปที่ 1-2 ง. ซึ่งบางครั้งเราไม่ต้องระบุแบบดังกล่าวข้างต้น

ความถี่ MHz	ความยาวทางไฟฟ้า
300	$\lambda/2$
600	λ
1200	2λ
150	$\lambda/4$

L คือความยาวจริงของสายอากาศ.



ความถี่และความยาวคลื่น

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ผกผันกันโดยมีความเร็วเป็นตัวกำหนดความเร็วที่คลื่นวิทยุเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ขึ้นกับคุณสมบัติของสายอากาศ และความถี่ที่คลื่นวิทยุเคลื่อนที่ไปตามสายส่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายส่งด้วย อากาศมีตัวคงที่ 2 อย่างคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ซึ่งเป็น 8.85 $\mu F/V$ และค่าคงที่ Permeability เป็น 1.256 $\mu H/V$ จะได้ความเร็วของการเคลื่อนที่ของคลื่นในอากาศเป็น 3×10^8 m/s

เพราะฉะนั้นความถี่ของคลื่นวิทยุและความยาวของโลหะที่นำมาทำเป็นสายอากาศก็อาจจะคำนวณโดยสูตร $V = f \lambda$ ได้ สำหรับสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูงอาจคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความยาวของสายอากาศ(ฟุต)} = 492/f_{(MHz)}$$

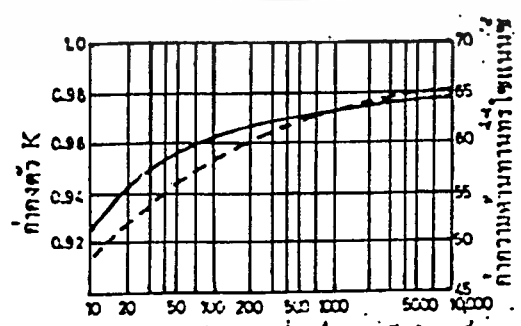
แต่ความยาวจริงของสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ จะไม่เท่ากับ $\lambda/2$ ในอากาศเลยทีเดียว แต่ขึ้นกับความหนาของตัวนำที่นำมาทำเป็นสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 28 ซึ่ง (K) เป็นค่าที่ต้องนำมาคูณกับ $\lambda/2$ ในอากาศเพื่อที่จะให้รีโซแนนซ์ ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของคลื่นในตัวนำจะไม่ได้โดยสะดวกเพราะค่าความต้านทานของโลหะ ในทางปฏิบัติจึงทำให้สั้นกว่า $\lambda/2$ ในอากาศประมาณ 5%

$$\text{ที่ความถี่ } 3.5 \text{ MHz} - 30 \text{ MHz}$$

$$\text{ความยาวของสายอากาศ } \lambda/2 \text{ (ฟุต)} = 492 \times 0.95 / f_{(MHz)}$$

ที่ความถี่มากกว่า

$$\text{ความยาวของสายอากาศ } \lambda/2 \text{ (ฟุต)} = 492 \times K / f_{(MHz)}$$



อัตราส่วนของความยาวจริงกับเส้นผ่าศูนย์กลาง

รูปที่ 1-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายและสภาวะการชี้หน้าของสายอากาศ

ถ้าเรามีสัญญาณที่มีกำลัง 0.00001 mW หลังจากส่งสัญญาณนี้ผ่านสายที่ยาวจนเกิดความสูญเสียในสายไปเหลืออยู่ที่ด้านเอาต์พุทของสายเพียง $1/10$ ของสัญญาณเดิมและถ้าสมมุติว่านำสัญญาณนี้ป้อนเข้าเครื่องขยายที่มีอัตราขยาย $10,000,000,000$ เท่า ค่าความเอาต์พุทของเครื่องขยายทำได้โดยคิดเป็น dB จะได้อัตราขยายของเครื่องมีเพียง 100 dB นั่นคือสัญญาณอินพุทมีค่า 0.000001 mW ซึ่งถ้าเทียบสัญญาณ 1 mW เราจะพบว่าสัญญาณนี้มีขนาด -50 dB เมื่อเพิ่มขึ้นด้านอัตราขยาย 100 dB นั่นคือสัญญาณเอาพุทมีค่า 40 dB ถ้าหาขนาดสัญญาณลักษณะเอาต์พุทก็จะได้เท่ากับ 10 W

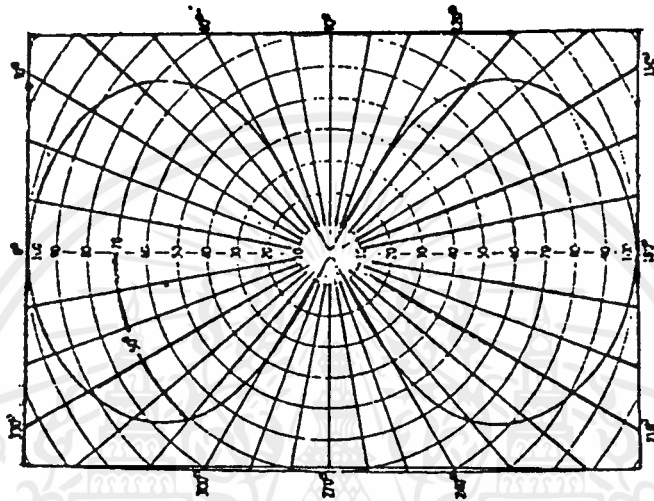
dB เป็นหน่วยที่วัดอัตราขยายของสายอากาศโดยเทียบกับสายอากาศไอโซโทรปิก (isotropic antenna) ถ้าเปรียบสายอากาศไอโซโทรปิก กับหลอดไฟกลมซึ่งให้ความสว่างเท่ากันทุกๆ ทิศทางเราจะออกแบบให้ไฟสว่างเฉพาะจุดที่เราต้องการให้มันสว่างได้ เช่นการใช้โคมหลอดไฟยาวซึ่งจะให้แสงสว่างในด้านความยาวมากกว่าทางด้านข้าง สายอากาศมี Director ก็เสมือนเราใส่เลนส์นูนไว้ข้างหน้าหลอดไฟ ซึ่งก็จะพยายามบีบแสงให้เป็นลำพุ่งออกไป สายอากาศที่เราใส่ reflector ก็เหมือนเราใส่กระจกเงาไว้สะท้อนแสงส่งที่เราไม่ใช้ในด้านหลังของหลอดไฟให้สะท้อนออกไปในด้านหน้าผลที่เราใส่ตัวชี้หน้าหรือตัวสะท้อน ก็จะทำให้เราเพิ่มความเข้มของคลื่นวิทยุ ณ ทิศทางที่เราต้องการมากขึ้นแต่มุมของการส่งก็จะแคบลงตามลำดับ ถ้าเราพยายามที่จะเพิ่มอัตราขยายอัตราขยายออกไป ในทางทฤษฎีแล้วสายอากาศของเครื่องรับและเครื่องส่งไม่มีอะไรผิดแปลกจากกัน บางคนนิยมเทียบอัตราขยายของสายอากาศกับไดโพล เนื่องจากว่าไดโพลเป็นสายอากาศที่ง่ายที่สุดที่เราสามารถสร้างและทดสอบคุณสมบัติมันได้ในทางปฏิบัติ

สภาวะการชี้หน้าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศ จะเป็นตัวบอกว่าสายอากาศจะรับสัญญาณได้ดีในทางทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรืออาจเรียกว่า รูปแบบของสภาวะการชี้หน้า ถึงแม้ว่าสายอากาศแบบ ยูนิไดเรกชัน จะรับสัญญาณได้ดีในทิศทางโดยเฉพาะของมัน แต่มันก็สามารถรับสัญญาณในทิศทางอื่นได้ด้วย แต่ความไวอาจน้อยกว่าทิศทางของรูปแบบ สภาวะการชี้หน้าจะแสดงการเปลี่ยนแปลงความไวที่ทุกๆ ทิศทางโดยปกติจะแสดงโดยกราฟในเชิงมุม รูปร่างของโลบของรูปแบบในเชิงมุม (polar pattern) จะแสดงคุณสมบัติดังรูปที่ 1-7 ซึ่งรูปแบบของสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ ในเทอมของแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ จะเป็น สองทิศทาง มีโลบมีขนาด เท่ากันทั้งด้านหน้าและด้านหลัง สองทิศทางทิศทางที่มีความไวมากที่สุดอยู่ในแนวตั้งฉากกับความยาวของสายอากาศ ซึ่งรูปแบบนี้จะมีลักษณะเป็น 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงส่วนเวลาหรือการเขียนเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือซีกแนวตั้งฉากกับกระดาษซึ่งจะมีรูปร่างเหมือนกันโดยการหมุนแนวระนาบของกระดาษ
 ครอบตัวมีเอง ลังเกตที่จุด 70.7% บนเส้น 0 องศา ซึ่งเรียกจุด half power point
 และจะเป็นตำแหน่งที่มีความกว้างของโลบมากที่สุด มุมที่แสดงจุดนี้เรียกว่า ความกว้าง
 ของลำคลื่นเชิงมุม (beamwidth angle) จะเป็นตัวบอกคุณสมบัติเปรียบเทียบสภาพชั้นนำ
 ของสายอากาศชนิดต่างๆ



รูปที่ 1-7

จากรูปนี้ความกว้างของลำคลื่นเชิงมุมเป็น 50 องศาในทางทฤษฎี
 สายอากาศทิศทางเดียวที่สมบูรณ์ จะมีความกว้างเชิงมุมเป็น 10 องศาในการออกแบบ จะ
 มีค่ามุมนี้มากหรือน้อยกว่า 18 องศาเล็กน้อยนอกจากทิศทางที่มีค่ามากที่สุดแล้วยังมีทิศทางที่
 รับได้น้อยที่สุดเรียกว่า null lobe ซึ่งจะอยู่ระหว่างทิศทางที่การรับดีที่สุดถึง 2 โลบ ที่ตา
 แหน่งนี้สายอากาศไดโพลจะรับสัญญาณไม่ได้เลย ถึงแม้จะรีโซแนนซ์ กับความถี่ที่ส่ง

ปกติรูปแบบการชี้ทิศใน 3 มิติของสายอากาศจะเปรียบเทียบกับสาย
 อากาศแบบไอโซโทรปิก ซึ่งเป็นแบบอุดมคติในทางทฤษฎี ที่จะกระจายพลังงานในทุกทิศ
 ททางด้วยความเข้มของคลื่นเท่ากัน ธรรมดาสายอากาศแบบ $\lambda/2$ ชนิดไดโพลจะมีอัตรา
 ขยายในทุกทิศทางเป็น 2.15 dB เมื่อเทียบกับไอโซโทรปิกซึ่งมีอัตราขยาย 0 dB

อัตราขยายของสายอากาศ ในทางปฏิบัติวัดจากกำลังของสัญญาณที่วัด
 ได้จากสายอากาศที่ต้องการ หาอัตราขยายเปรียบเทียบกับกำลังที่เหนี่ยวนำจากสายอากาศ
 แบบ $\lambda/2$ ไดโพลที่มีขนาด รีโซแนนซ์ สำหรับความถี่นั้นของสัญญาณโดยวัดที่ระยะห่างเท่า
 กันกำลังอินพุทเท่ากัน เช่น สายอากาศมีอัตราขยายกำลังเท่ากับ 10 หมายความว่าสูญเสีย

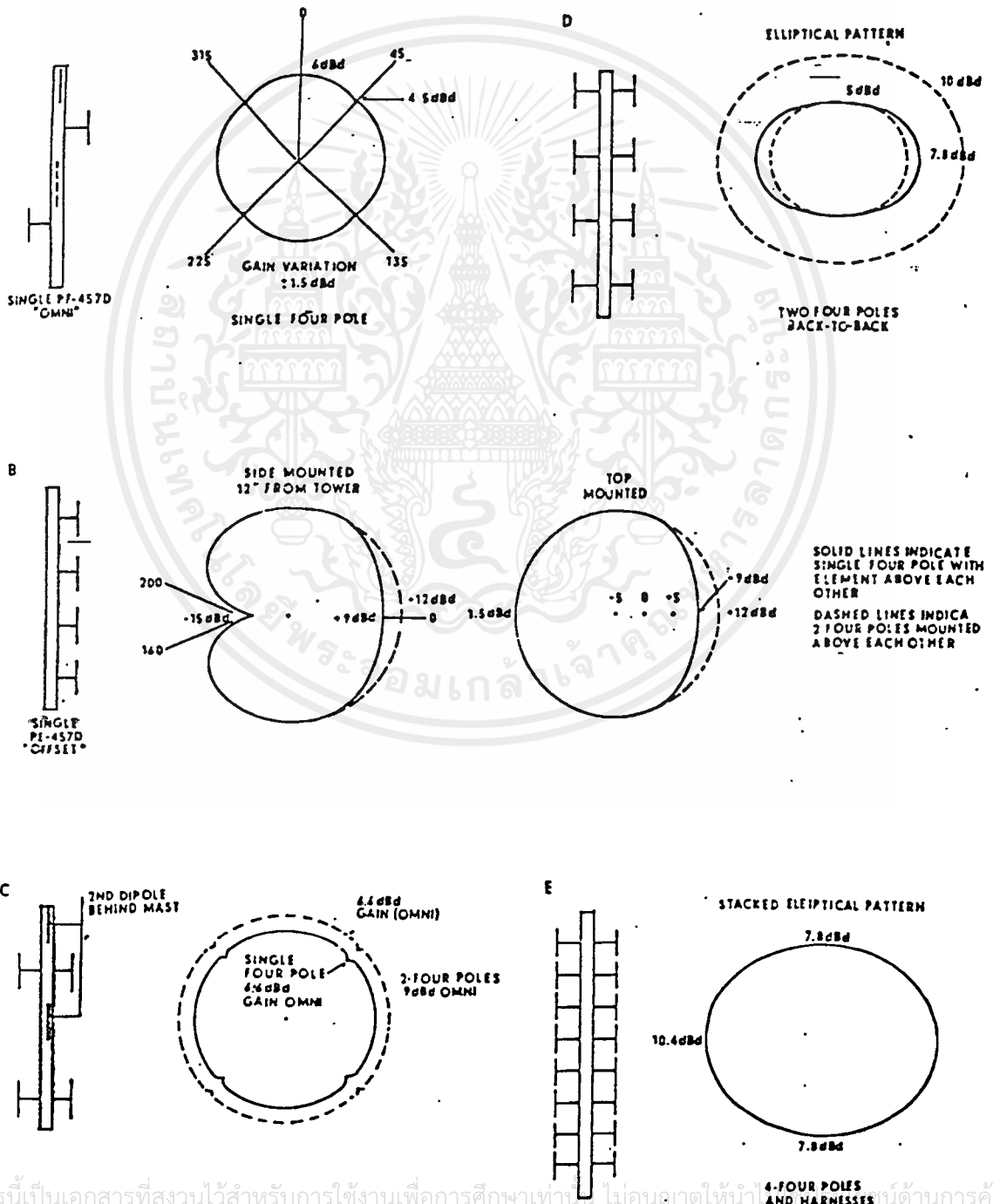
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อากาศที่ต้องการเป็น 10 เท่าของเดิมแล้วมาตรฐานนอกจากนี้การทดลองมักวัดเป็นความเข้มพร้อมสนามสัมพันธ์ (relative field strength) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับกำลังงานคือ $F_1/F_2 = P_1/P_2$ เมื่อ F คือความเข้มสนามสัมพันธ์เพื่อจะเป็นกำลังงานเพื่อหาอัตราขยายต่อไปก็ต้องยกกำลัง เพื่อความสะดวกในการหาอัตราขยายจะใช้หน่วยเป็น dB ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับกำลังงานทางนี้คือ

$$dB = 10 \log P_1/P_2$$

$$= 20 \log E_1/E_2$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปแบบ pattern ของ folded dipole ชนิดต่างๆ ที่มีการนำไปใช้

บทที่ ๕

สเตปป์ิงมอเตอร์

สเตปป์ิงมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เชิงกลทางไฟฟ้าที่มี IN-PUT เป็นโบนารีโวลเตจ และ OUT-PUT เป็นลักษณะของการเคลื่อนที่เชิงมุมหรือ หมุนไปเป็นสเตป (แต่ละสเตปอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 3.0 องศา ขึ้นกับโครงสร้างของสเตปป์ิงมอเตอร์) การป้อนสัญญาณพัลส์ในลักษณะซีควเอนซ์ของเลขโบนารี ให้กับขดของสเตเตอร์ที่มีอยู่หลายขด (แต่ละขดเรียกว่า "เฟส") จะเกิดแรงผลักดันต่อโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่อง

2.1 ข้อดีและข้อเสียของเตปป์ิงมอเตอร์

ข้อดี

- สามารถขับเคลื่อนแบบ OPEN LOOP โดยไม่มีการ FEEDBACK ได้ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมตำแหน่งหรือ ความเร็ว โดยไม่มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ
- ความผิดพลาดเนื่องจากตำแหน่งน้อยมาก เพราะการเคลื่อนที่เป็นแบบสเตป ซึ่งมีองศาที่แน่นอน
- สเตปมอเตอร์ตอบสนองต่อสัญญาณดิจิทัลทางด้าน IN-PUT ตั้งนั้น จึงเหมาะสำหรับใช้ควบคุมพิวเตอร์ควบคุม
- ส่วนประกอบทางกลมีน้อย และ ไม่ต้องการบำรุงรักษามาก
- ติดตั้งได้ง่าย มีความทนทาน

ข้อเสีย คือ :

- สเตปป์ิงมอเตอร์มีการขับเคลื่อนแบบมมสเตปที่แน่นอน ทำให้ขาดความยืดหยุ่นใน STEP RESOLUTION
- ประสิทธิภาพต่ำหากใช้วงจรขับแบบธรรมดา
- เกิด OVERSHOOT และ OSCILLATION ใน STEP RESPONSE
- มีความสามารถจำกัด เมื่อใช้กับโหลดที่มีความเฉื่อยสูง
- FRICTION LOAD จะเพิ่มความผิดพลาดของตำแหน่ง หากควบคุมแบบ OPEN LOOP แต่ละความผิดพลาดจะเป็นแบบไม่สะสม (NON-ACCUMULATIVE)
- กำลังทางด้าน OUT-PUT มีค่าจำกัด

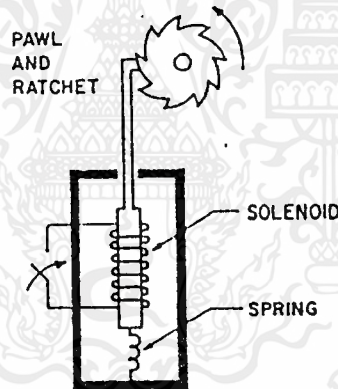
2.2 ชนิดของสเตรปมอเตอร์

สเตรปมอเตอร์สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 5 แบบ คือ

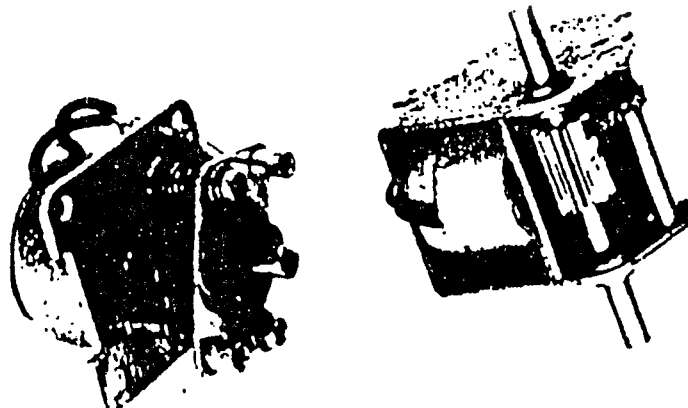
1. แบบ SOLENOID - RATCHET
2. แบบ VARIABLE - RELUCTANCE (VR)
3. แบบ PERMANENT - MAGNET (PM)
4. แบบ HYBRID (SYNCHRONOUS INDUCTOR)
5. แบบ ELECTROMECHANICAL

แต่ละแบบที่นิยมใช้และมีมากในท้องตลาด มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ VARIABLE RELUCTANCE (VR) และแบบ PERMANENT MAGNET (PM) ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

1. สเตรปมอเตอร์แบบ SOLENOID - RATCHET ประกอบด้วยสปริงดึงกลับ, โซลินอยด์ ที่ต่อแกนกับของลิ้นสปริงที่บังคับให้เฟืองหมุนตาม ทุกครั้งที่โซลินอยด์ถูกกระตุ้น มันจะดึงสปริงขึ้นลง ทำให้เฟืองหมุนไป 1 สเตป และเมื่อหยุดการกระตุ้นคอยล์ สปริงจะดันแกนกลับ ดังแสดงในรูป 2-1 ซึ่งเราจะเห็นได้



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของสเตรปมอเตอร์แบบ SOLENOID - RATCHET



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-2 สเตรปมอเตอร์แบบ SOLENOID - RATCHET

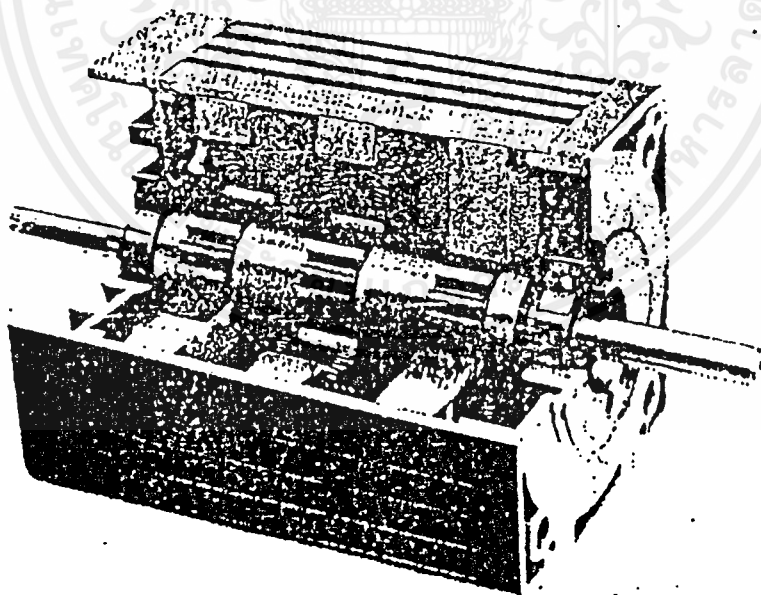
ว่ามอเตอร์สามารถสแตปได้เพียงทิศทางเดียว อย่างไรก็ตามหากมีลื่นสปริง 2 ชุด โซลินอยด์ก็สามารถควบคุมได้ 2 ทิศทาง

ข้อดี

- ทอร์คยัดสูง
- ไม่มีการ OSCILLATION
- OUT - PUT สูงเมื่อเทียบอัตราส่วนกับราคา
- ราคาถูก
- ต้องการกำลังเฉพาะขณะทำการสแตปเท่านั้น

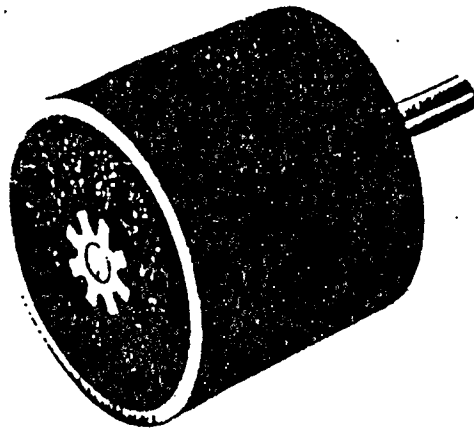
ข้อเสีย

- STEPPING RATE ต่ำ
- สามารถขับเคลื่อนได้เพียงทิศทางเดียว
- เสียงดังขณะทำการสแตป
- มีอายุการใช้งานจำกัด



รูปที่ 2-3 สเตปมอเตอร์ที่มี MULTI - STACK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

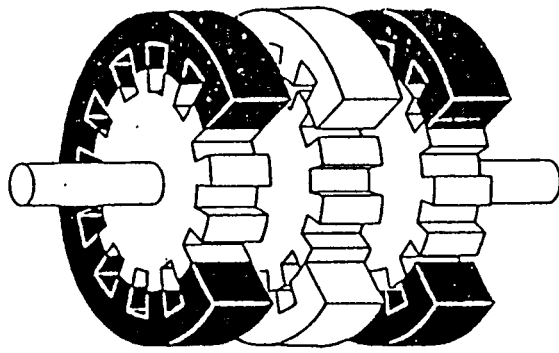


รูปที่ 2-4 สเต็ปมอเตอร์ที่มี SINGLE - STACK

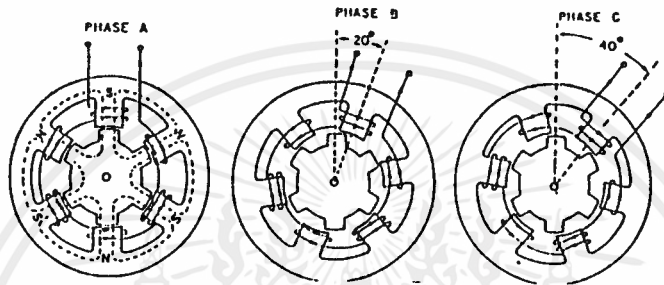
2. สเต็ปมอเตอร์แบบ VARIABLE - RELUCTANCE เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเราสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบ MULTIPLE - STATOR - STACK - MOTOR และ SINGLE - STATOR - STACK รูป 2-3 และ 2-4 จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภายนอกของมอเตอร์ดังกล่าว

- แบบ MULTIPLE - STATOR - STACK MOTORS

ประกอบด้วย SOFT IRON MULTIPLE POLE ROTOR และ LAMINATED WOUND STATOR จำนวนซี่ของโรเตอร์และ สเตเตอร์จะมีจำนวนเท่ากับเฟสของสเตเตอร์ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความละเอียดของสเต็ปของมอเตอร์ VR STEP MOTOR ในอดีตส่วนมากจะมีโครงสร้างเป็นแบบ MULTIPLE - STATOR - STACK MOTOR ซึ่งโดยมากจะมีโครงสร้างเป็นแบบ 3 เฟส หรือ 4 เฟส แต่ในปัจจุบันได้รับความนิยมน้อยกว่าแบบ SINGLE - STATOR - STACK เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตสูง ดังในรูป 2-3 แสดงให้เห็นโครงสร้างของ MULTIPLE - STATOR - STACK MOTOR ชนิด 3 เฟส ในการที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้นั้นสเตเตอร์สแตคหรือโรเตอร์สแตคจะต้องมี RADIALLY OFFSET สำหรับมอเตอร์ 3 เฟสดังในรูปที่ 2-3 นั้น สเตเตอร์สแตค จะมีออฟเซตเป็น $1/3$ เท่าของพิทช์ในแต่ละเฟส และ ซีโรเตอร์อยู่ในแนวที่ตรงกัน รูปที่ 2-5 จะแสดงถึงตำแหน่งต่างๆ ของทั้ง 3 เฟส ซึ่งมีซี่สเตเตอร์ 12 ซี่ และ ซีโรเตอร์ 12 ซี่ จะสังเกตได้ว่า ถ้ามอเตอร์เป็นแบบ 2 เฟส จะขับเคลื่อนได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น รูปที่ 2-6 แสดงถึงตำแหน่งของขดลวดและ ซีของ 3 PHASE MULTIPLE - STATOR - MOTOR



รูปที่ 2-5 รูปแสดงการจัดวางตำแหน่งขั้วของสเตปมอเตอร์ 3 เฟส ที่มี MULTIPLE - STATOR STACK



รูปที่ 2-8 การจัดวางตำแหน่งขดลวดและขั้วของสเตปมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งมีขั้วทั้ง 6 ขด แต่ละ สเตเตอร์ และ ซี โรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน แต่เมื่อซีสเตเตอร์ของทั้ง 3 สเตค จะอยู่ต่างกัน 1/3 เท่าของ พิกซ์ หรือ 20 องศา เมื่อขดลวดของเฟส A ถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ซี โรเตอร์จะเข้าหาตำแหน่งที่มีรีรีคเตนซ์น้อยที่สุด และ ถูกยึดในแนวเดียวกับขั้วสเตเตอร์ของเฟส A ซึ่งเส้นทางของฟลักซ์ สนามแม่เหล็กจะแสดงดังในรูปที่ 2-6 ตำแหน่งของโรเตอร์ภายใต้สภาวะที่กล่าวถึงอยู่นี้จะสมดุลย์อย่างเสถียรกับเฟส A

โดยทั่วไปความสัมพันธ์ระหว่าง STEP ANGLE RESOLUTION, N จำนวน สเตปต่อรอบจำนวนซี แม่เหล็กต่อเฟส และ จำนวนเฟสของ MULTIPLE - STATOR - STACK MOTOR จะได้ดังนี้

$$N = Tn \quad \text{สเตป/รอบ} \quad \dots\dots\dots (1)$$

T = จำนวนขั้วต่อเฟส

n = จำนวน เฟส

จำนวนองศาในแต่ละสเตป

$$R = 360/Tn \quad \text{องศา/สเตป} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ดังนั้นมอเตอร์ดังรูป ซึ่งมี n = 3, T = 6 จะได้

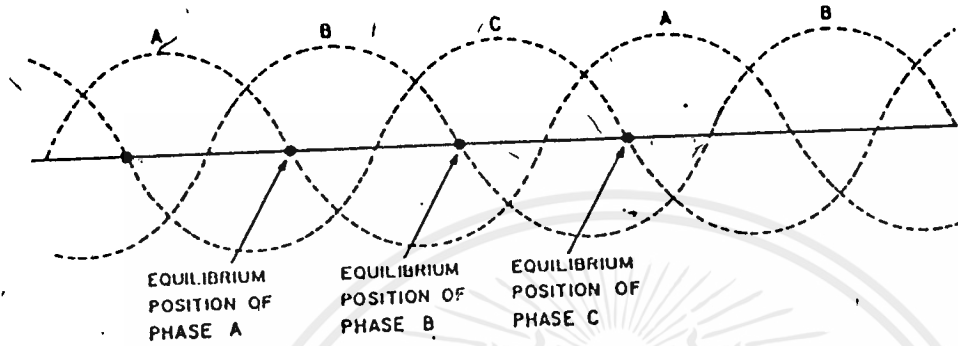
$$N = 18 \quad \text{สเตป/รอบ} \quad \dots\dots\dots (3)$$

และ $R = 360/18 = 20 \quad \text{องศา/สเตป} \quad \dots\dots\dots (4)$

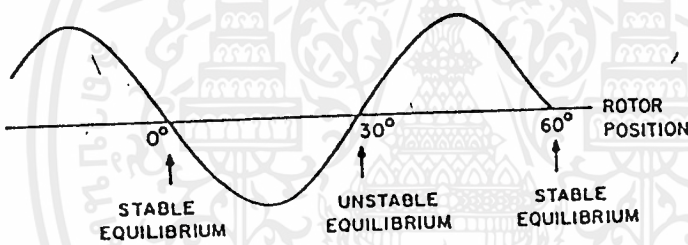
ในทางปฏิบัติจะเกิดสแตติคทอร์คขึ้นบนโรเตอร์ ซึ่งสแตติคทอร์คนี้จะมีค่าขึ้นอยู่กับมุมที่เบนไปจากแนวสมมาตรของสเตเตอร์กับโรเตอร์เป็นมุมต่างๆ โดยค่าของมุมจะอยู่ระหว่าง 0° ถึง 360° / Tn ลักษณะของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสแตติคทอร์คกับมุม สำหรับแต่ละสเตคจะแสดงดังในรูปที่ 2-7 ที่ตำแหน่ง 0° คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่มีเสถียรภาพ และ ตำแหน่งที่มู่อื่นใดๆ จะเป็นตำแหน่งที่ไม่เสถียรภาพ ซึ่งจะมีแรงดึงเนื่องจากสนามแม่เหล็กเข้าหากัน จนทำให้ค่ารีลัคแตนซ์ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ สเตเตอร์และโรเตอร์จะอยู่ในแนวสมมาตรกันพอดี



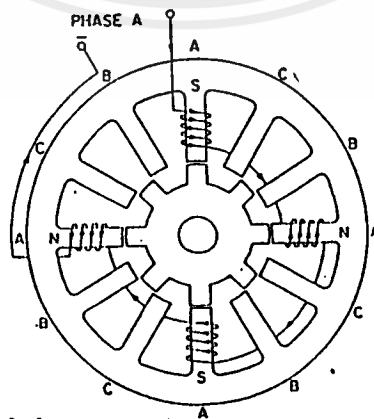
รูปที่ 2-8 ทอร์คยึดในแต่ละเฟสของสเตปมอเตอร์ 3 - เฟส



รูปที่ 2-7 ทอร์คยึดทางด้านสเตตติคโดยทั่วไป

- SINGLE - STATOR - STACK VR STEP MOTOR

จะมีขนาดเล็กและ โครงสร้างที่ง่ายกว่า VR STEP MOTOR แบบข้างต้น โดยมันจะประกอบด้วย



รูปที่ 2-10 โดอะแกรมของ VR สเตปมอเตอร์ 3 เฟส ที่มี SINGLE - STACK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตเตอร์ที่มี ALIGNED - TEETH ซึ่งจะมีแนวสมมาตรตรงกันเป็นกลุ่มๆ แต่อย่างไรก็ตามจำนวนขั้วโรเตอร์และสเตเตอร์จะไม่เท่ากัน ทำให้มุมสเตตถูกแบ่งออกเป็น 1.8 ถึง 30 องศา รูป 2-10 แสดงไดอะแกรมของ 3 PHASE VR STEP MOTOR ในกรณีนี้สเตเตอร์จะมีจำนวน 12 ขั้ว แต่โรเตอร์มีเพียง 8 ขั้ว มอเตอร์จะมีการพันในลักษณะเป็น 4 ขั้ว ซึ่งในรูปจะแสดงเฉพาะเฟส A เท่านั้น เมื่อแต่ละเฟสถูกกระตุ้นโดยแรงดันไฟตรงผ่านขั้วของมัน ซีโรเตอร์ทั้งสี่จะถูกยึดกับขั้วสเตเตอร์ทั้งสี่ของเฟส A ที่ถูกกระตุ้นดังรูป 2-10 เมื่อเฟส B ถูกกระตุ้น และหยุดการกระตุ้นเฟส A โรเตอร์จะหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม 15 องศา ดังนั้น ซีโรเตอร์อีก 4 ขั้ว จะถูกยึดติดอยู่กับขั้วสเตเตอร์ทั้งสี่ของเฟส B แต่หากกระตุ้นเฟส C จะเป็นผลให้โรเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม 15 องศา ดังนั้น หลักสำคัญของ SINGLE STATOR STACK VR STEP MOTOR ก็คือ โรเตอร์จะพยายามเคลื่อนเข้าหาตำแหน่งที่มีรีลักแตนซ์ต่ำสุด ซึ่งก็คือ ตำแหน่งที่ขั้วสเตเตอร์ถูกกระตุ้นนั่นเอง

ในกรณีที่มีจำนวนขั้วของสเตเตอร์และ โรเตอร์ของ SINGLE - STATOR - STACK VR STEP MOTOR จะมีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$N- = Nr - P \dots\dots\dots (5)$$

- เมื่อ $N-$ = จำนวนขั้วในสเตเตอร์
- Nr = จำนวนขั้วในโรเตอร์
- p = จำนวนขั้วสเตเตอร์ต่อเฟส

มุมสเตต R เป็นองศาต่อสเตต จะได้

$$R = 360/N$$

เมื่อ N = จำนวนสเตตต่อรอบ

$$\text{และ } N = (NrN-)/(N- - Nr) \dots\dots\dots (7)$$

กำหนดให้ n เป็นองศาต่อเฟส ดังนั้น

$$N- = pn \dots\dots\dots (8)$$

จากสมการ (5), (7), (8) เราจะได้

$$p = N/(N(N-1)) \quad ; \quad N- > Nr \dots\dots\dots (9)$$

$$p = N/(N(N+1)) \quad ; \quad N- < Nr \dots\dots\dots (10)$$

ซึ่ง p จะเป็นจำนวนเต็มเสมอ

ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ 4 เฟส ซึ่งประกอบด้วยซีโรเตอร์ 8 ขั้ว และ ขั้วสเตเตอร์ 12 ขั้ว ดังรูป

$N- = 12, Nr = 8$ และ $n = 4, N = 24$ ดังนั้น จากสมการจะได้

$$P = 24 / (4 * 2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (5) ถึง (10) จะใช้ประโยชน์ในการออกแบบ เช่น สมการเหล่านี้จะแสดงถึงมุมสเตปมากที่สุด นั่นคือ 30 องศา เมื่อ p เป็นจำนวนเต็ม สมการ (9) แสดงให้เห็นว่า p จะแปรสัดส่วนโดยตรงกับ N (จำนวนสเตปต่อรอบ) ค่า N จะต่ำสุดเมื่อ p มีค่าเป็น 2 (p มีค่าเป็น 1 ไม่ได้นอกเสียจากมีเพียง 1 ซีต้อ เฟส) ดังนั้นสมการ (9) จึงได้เป็น

จำนวนเฟสน้อยที่สุดสำหรับการควบคุม 2 ทิศทาง (birectional control) คือ 3 เฟส ดังนั้น

$$N = 2n'(n - 1)$$

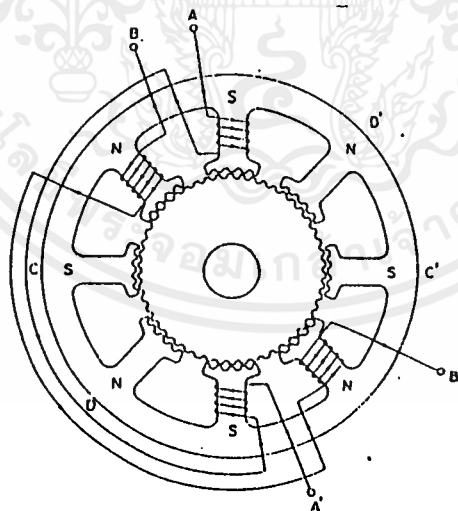
นั่นคือเมื่อต้องการออกแบบมอเตอร์ให้มี 200 สเตปต่อรอบ จะได้ว่า $N = 200$ จากสมการที่ (9) และ (10) และ มอเตอร์ควรมีมากกว่า 3 เฟส ดังนั้น ถ้า $n = 3$ จะทำให้ p ไม่ได้เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้น เราจึงเลือก $n = 4$ หรือ 4 เฟส

$$P = 200 / (4 * 5) = 10 \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{จากสมการ (8) } N- = 10 * 4 = 40 \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{จากสมการ (5) } Nr = Nr + p = 50 \dots\dots\dots (16)$$

ดังนั้น เมื่อเราต้องการให้ Nr มากกว่า N- มอเตอร์ควรมี 40 ซีสเตเตอร์ และ 50 สเตเตอร์ หากใช้โครงสร้างตามรูป มอเตอร์ดังกล่าวจะสร้างได้ยาก เนื่องจากมีลักษณะซี่ซึ่งจะเป็นผลให้มอเตอร์มีขนาดใหญ่ รูปที่ 2-11 จะ



รูปที่ 2-11 ไตอะแกรม ของ VR สเตปมอเตอร์ 4-เฟส ที่มี SINGLE STACK

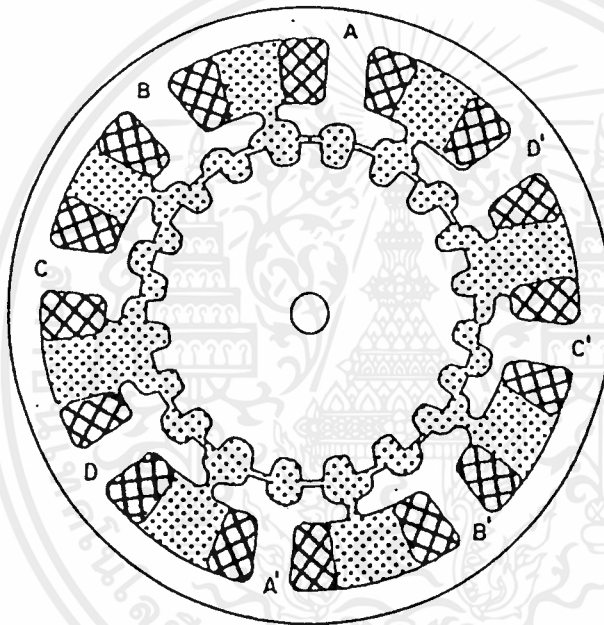
แสดงให้เห็นถึง โครงสร้างจริงในการปฏิบัติของ SINGLE STACK 4 PHASE VR STEP MOTOR ซึ่งมี 200 สเตปต่อรอบหรือ 1.8 องศาต่อสเตป โรเตอร์จะมี 50 ซี ส่วนสเตปจะมี TOOTH PITCH สำหรับ 48 ซี แต่เราจะพบว่า มีเพียง 40 ซีสเตเตอร์เท่านั้น สำหรับซี่สเตเตอร์ที่หายไปอีก 8 ซี ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุผลทางโครงสร้าง

เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์มีทซ์ เป็น 48 ต่อ 50 ทำให้มีเพียง 2 ซีโรเตอร์ตรงกันข้าม (ห่างกัน 180°) จะยึดติดอยู่ในแนวเดียวกัน กับซีโรเตอร์ทั้งสองที่อยู่ตรงกันข้ามกับซีโรเตอร์สำหรับมอเตอร์ 4 เฟส ที่มี 8 ซีว เป็นไปไม่ได้ที่ซีโรเตอร์จะมีซีวตรงกันข้ามกัน ดังนั้นซีวที่อยู่ใกล้กันจะมีซีวตรงกันข้ามแทน ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กจะกระจายเป็นแบบยูนิฟอร์มเมื่อเฟสนั้นถูกทำให้นำกระแส

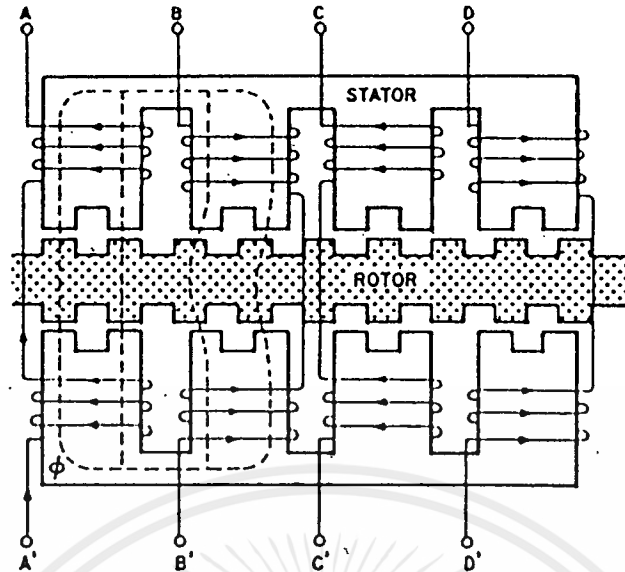
2.2.1. คุณสมบัติของ 3 PHASE และ 4 PHASE VR MOTOR



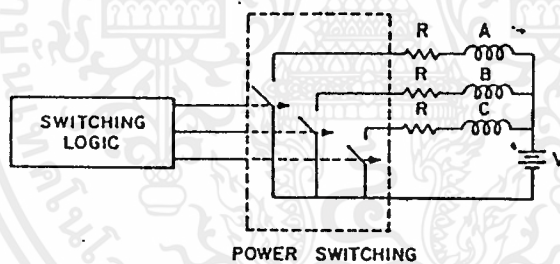
รูปที่ 2-12 VR สเตปมอเตอร์ ที่มี SINGLE STACK

ส่วนใหญ่มอเตอร์ทั้ง 3 เฟส และ 4 เฟส จะมีโครงสร้างเป็นแบบ SINGLE STACK VR STEP MOTOR สมการ (5) ถึง (10) เราจะใช้หาความละเอียดของ สเตปมอเตอร์ สเตปมอเตอร์ 3 เฟส จะใช้ซีโรเตอร์น้อยกว่าแบบ 4 เฟส เช่น สเตปมอเตอร์แบบ 24 สเตปรอบ หรือ 15 องศาต่อสเตป ซึ่งเป็น VR MOTOR ที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม สเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส ที่มี 12 ซีว ดังรูป 2-10 จะแทนได้ด้วยสเตเตอร์ 6 ซีว แต่มอเตอร์ 4 เฟส ที่มีความละเอียดของสเตปเท่ากัน จะต้องใช้ถึง 8 ซีโรเตอร์ (6 ซีโรเตอร์) เป็นผลให้มีช่องว่างของขดลวดมอเตอร์ 3 เฟส มากกว่าทำให้ได้ทอร์คที่สูงกว่า ในขณะที่ขนาดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-13 ไตอะแกรมของ VR สเตปมอเตอร์ 4 เฟส แบบเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 2-14 ไตอะแกรมแสดงการสวิตชิงของสเตปมอเตอร์ 3 - เฟส

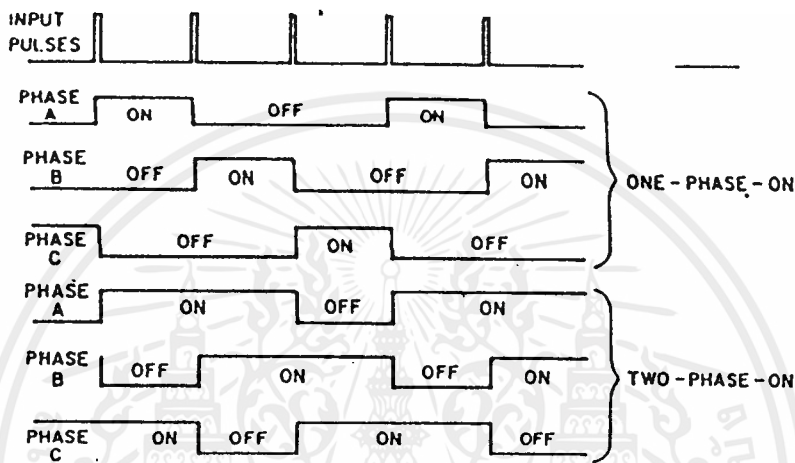
รูป 2-14 แสดงการต่อเพาเวอร์สวิตชิงของมอเตอร์ 3 เฟส วิธีควบคุมที่ง่ายที่สุดคือการกระตุ้นเพียงเฟสเดียวในแต่ละซีควเอนซ์ของการทำงาน ซึ่งเรียกรวมกันว่า ONE - PHASE - ON แต่วิธีที่ใช้กันมากในทางปฏิบัติคือการกระตุ้นที่เดียว 2 เฟส ที่เรียกว่า TWO-PHASE-ON สำหรับสเตปมอเตอร์ 3 เฟส การควบคุมแบบ ONE - PHASE - ON จะมีซีควเอนซ์ของการสวิตชิงเป็น A-B-C-A-B..... หรือ A-C-B-A-C..... สำหรับการควบคุมแบบ TWO-PHASE-ON จะมีสวิตชิงซีควเอนซ์เป็น AB-BC-CA-AB..... หรือ BA-AC-CB-BA... เมื่อ AB และ BC คือการที่ทั้งเฟส A และ B ถูกกระตุ้นพร้อมกัน

ไตอะแกรมเวลาของการกระตุ้นแบบ ONE-PHASE-ON และ TWO-PHASE-ON ของมอเตอร์ 3 PHASE VR MOTOR แสดงตั้งในรูป 2-15 สำหรับ 4 PHASE VR MOTOR นั้น การควบคุมแบบ

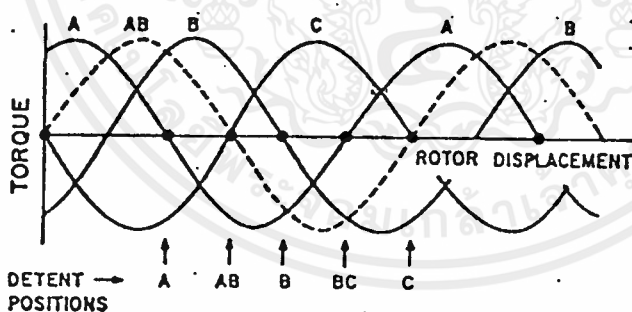
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TWO-PHASE-ON สำหรับการหมุนในทิศทางหนึ่งจะเป็น AB-BC-CD-DA

สำหรับสเตปมอเตอร์ที่มีมากกว่า 4 เฟส โดยทั่วไปจะใช้สวิตซ์ซึ่งในการกระตุ้นมากกว่า 2 เฟส ในเวลาเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับมอเตอร์ 3 เฟส และ 4 เฟส จะสามารถกระตุ้นได้พร้อมกันมากที่สุด 2 เฟส



รูปที่ 2-15 ตั้งเวลาของ VR สเตปมอเตอร์ 3 เฟส ที่กระตุ้นเฟสเดียว และกระตุ้น 2-เฟส พร้อมกัน



รูปที่ 2-18 รูปร่างของทอร์กยึดในสเตปมอเตอร์ 3 เฟส

การทำงานของ 3 PHASE VR MOTOR แบบ TWO-PHASE-ON จะมีทอร์กยึดเท่ากับแบบ ONE-PHASE-ON ดังนั้น ถ้าป้อนกระแสขนาดเดียวกันให้กับขดของมอเตอร์ ดังรูป 2-16 จะแสดงให้เห็นถึง STATIC HOLDING TORQUE CURVE ของมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งสามารถ นิสูจน์ได้ด้วยสมการ

$$T_{aB} = T_a + T_b = -K \sin 0 - K \sin (0-120) = -K \sin (0-60)$$

เมื่อ T_a และ T_b เป็นค่าทอร์กยึดของเฟส A และ เฟส B ตามลำดับ

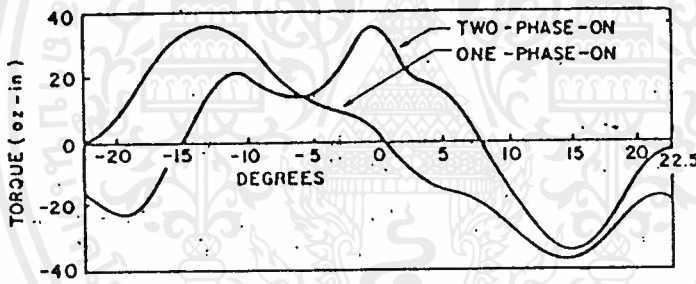
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tab เป็นค่าทอร์คของทั้ง 2 เฟสที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน

K เป็นค่าทอร์คคงที่

การควบคุมแบบกระตุ้น 2 เฟสพร้อมกัน จะไม่เปลี่ยนมุมสแตปของมอเตอร์ เพียงแต่ตำแหน่ง ABSOLUTE DETENT ของมอเตอร์ที่ทำงานเป็นแบบกระตุ้น 2 เฟส พร้อมกัน จะเลื่อนไปครึ่งหนึ่งของมุมสแตป เมื่อเทียบกับแบบกระตุ้นเฟสเดียว

นอกจากนี้ยังมีการควบคุมแบบ HALF - STEP SWITCHING อีกแบบ ซึ่งการสวิทชิงแบบนี้จะมีซีเค้นซ์ เป็น A-AB-B-BC-C-CA- ดังแสดงในรูป 2-16 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงรูปร่างของทอร์ค ซึ่งการควบคุมแบบ HALF-STEP นี้จะเป็นการเพิ่มทอร์คเข้าไประหว่าง NATURAL DETENT POSITION ของมอเตอร์ เป็นผลให้ทอร์ครวมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เป็นไปอย่างนุ่มนวลกว่า ข้อสำคัญของการควบคุมแบบ HALF-STEP ก็คือ ทำให้มุมสแตปลดลงครึ่งหนึ่ง นั่นหมายความว่าถ้ามอเตอร์เป็นแบบ 24 สแตปต่อรอบ ความละเอียดจะเพิ่มขึ้นเป็น 48 สแตปต่อรอบ

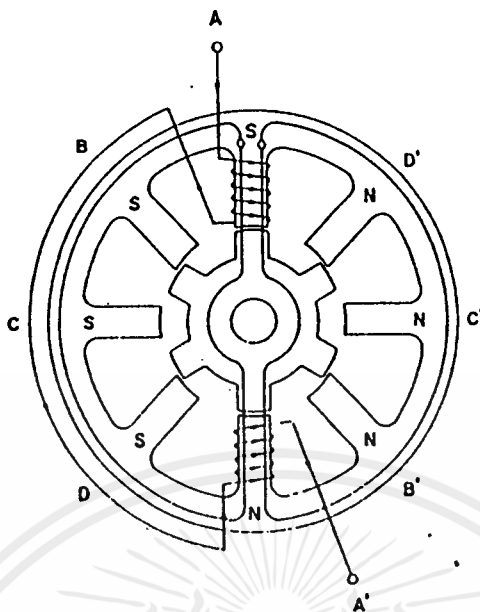


รูปที่ 2-17 ทอร์คฮิสตแกรมสแตติคของสแตปมอเตอร์ 3-เฟส ในทางปฏิบัติ

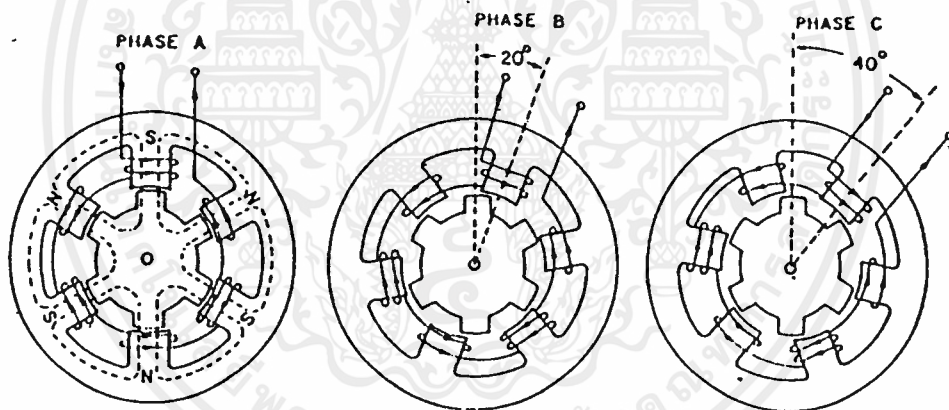
รูปร่างของทอร์คฮิสตแกรมสแตติคของ VR สแตปมอเตอร์จริงๆแล้ว ไม่ได้เป็นรูปไซน์เลยเสียทีเดียว

รูปที่ 2-17 แสดงรูปร่างของทอร์คทางสแตติคของมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งมีมุมสแตป 15 องศา จุดที่แสดงว่าสแตปมอเตอร์มีความเสถียร หรือ ไม่นั้น จะพิจารณาที่ 22.5 องศา เราจะพบว่าทอร์คจะไม่เพิ่มเมื่อทำงานแบบ TWO PHASE ON แต่อย่างไรก็ตามสแตติคทอร์คของการกระตุ้นทั้งสองแบบจะมีรูปร่างที่แตกต่างกัน และการแคมป์ที่เกิดขึ้นจะหมดไปเร็วกว่า เนื่องจากผลดังกล่าวข้างต้น

สำหรับ 4 PHASE VR STEP MOTOR นั้น สามารถกระตุ้นเป็นแบบ ONE PHASE ON หรือ TWO PHASE ON ก็ได้ ดังรูป 2-18 และ 2-19 ซึ่งแสดงภาพตัด



รูปที่ 2-18 ภาพตัดขวางของ VR สเตปมอเตอร์ 4-เฟส ที่มี SINGLE STACK เมื่อกระตุ้นเฟสเดียว โดยแสดงให้เห็นเฉพาะขดลวดที่เฟส "A"



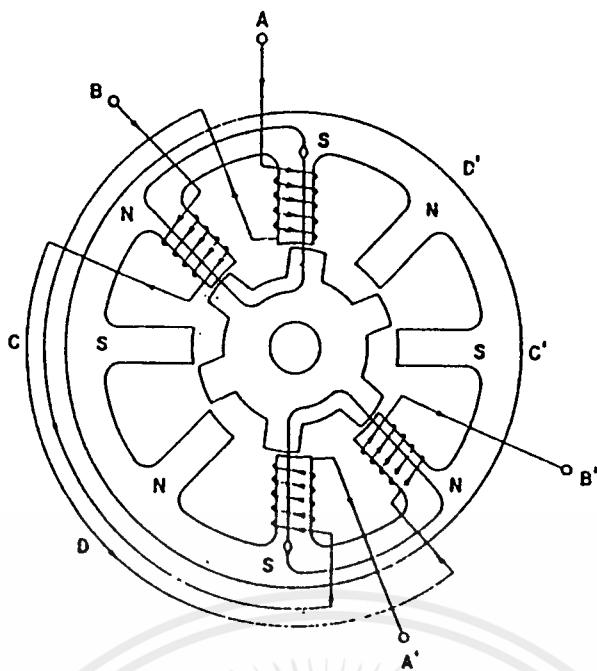
รูปที่ 2-19 ภาพตัดขวางแสดงตำแหน่งโรเตอร์ของ VR สเตปมอเตอร์ 4 เฟส ที่มี SINGLE STACK เมื่อถูกกระตุ้น 2 - เฟส พร้อมกัน โดยในที่นี้จะแสดงเฉพาะขดลวดที่ เฟส 4 และ เฟส ขวางของ 4 PHASE VR STEP MOTOR ที่มีสเต็ปละ 15 องศา จะสังเกตเห็นได้ว่า ขดสเตเตอร์ จะมีการต่อขั้วเป็นแบบ S - S - S -S - N - N - N - N

เราสามารถทำให้เกิดทอร์กยัดสูงๆ ได้โดยโดยการกระตุ้นแบบ TWO PHASE ONE เนื่องจาก สเตตติคทอร์คจะมีรูปคลื่นที่ห่างกัน 90 องศาทางกล ดังนั้น ขดลวด 2 เฟสที่อยู่ติดกันจะถูกกระตุ้นทันทีทันใด ทำให้ทอร์กรวมเป็น

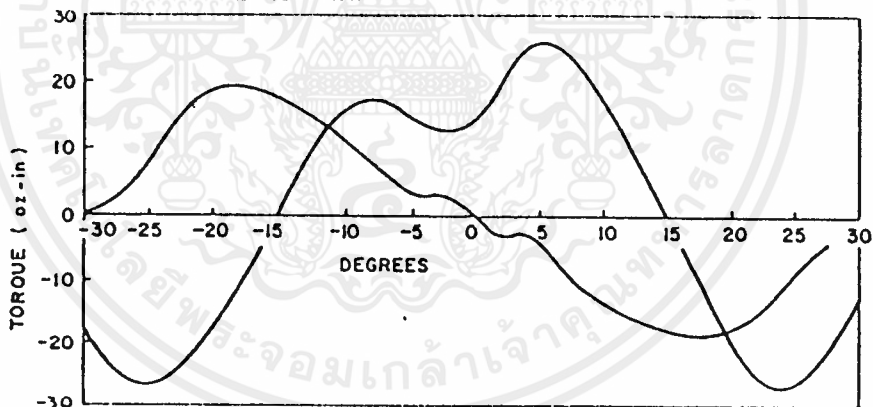
$$T_{ab} = T_a + T_b = K \sin 0 - K \sin (0-90^\circ) = - 2 K \sin (0-45^\circ)$$

ดังนั้นในทางทฤษฎี การกระตุ้นแบบ TWO PHASE ON จึงมีค่าทอร์กยัดสูงกว่าเป็น 2 เท่าของการกระตุ้นแบบ ONE PHASE ON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



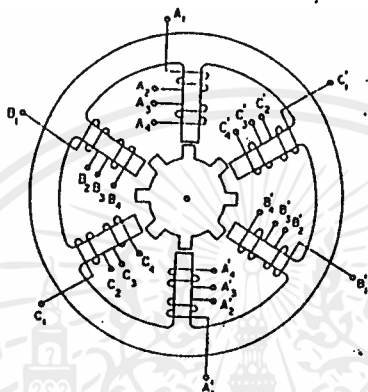
รูปที่ 2-20 ภาพตัดขวางแสดง VR สเต็ปมอเตอร์ 4-เฟส SINGLE STACK โดยการสลับขั้วต่อ
 ข้อเสียบของการวางขดลวดดังรูป 2-18 และ 2-19 ก็คือจะเกิดฟลักซ์ย้อนกลับที่มีเส้นฟลักซ์ตัดผ่าน
 แกนเหล็กของมอเตอร์ ทำให้ฟลักซ์สนามแม่เหล็กลดลง ดังนั้นสเตเตอร์เฟสของมอเตอร์ 4 เฟส จะต้องมีการ
 ฝับแบบสลับขั้วต่อดังรูป 2-20 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าแต่ละเฟสจะมี 2 ขั้วที่มีขั้วเดียวกัน แต่เส้นฟลักซ์จะสั้นกว่า
 เมื่อกระตุ้นแบบ TWO PHASE ON ทอร์คยึดจะต่ำและทอร์คเกรเดียนท์จะไม่สูงนัก สเต็ปมอเตอร์ควรมีรูปร่าง
 รูป 2-21 แสดงให้เห็นทั้งแบบ ONE PHASE ON และ



รูปที่ 2-21 สเต็ปมอเตอร์คียบของสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งถูกกระตุ้นแบบเฟสเดียว และแบบ 2 เฟสพร้อมกัน
 แบบ TWO PHASE ON ซึ่งในการนี้ทอร์คยึดสูงสุดและทอร์คเกรเดียนท์จะมีค่าสูงขึ้น ถ้าหากว่ากระตุ้น
 แบบ TWO STEP MOTOR ได้ดังต่อไปนี้
 มอเตอร์ 3 เฟส

ข้อเสีย

- ประสิทธิภาพต่ำ
- ใช้ขดลวดมากกว่า
- ต้องใช้วงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่มากกว่า เนื่องจากมีเฟสมากกว่าในการสวิตช์



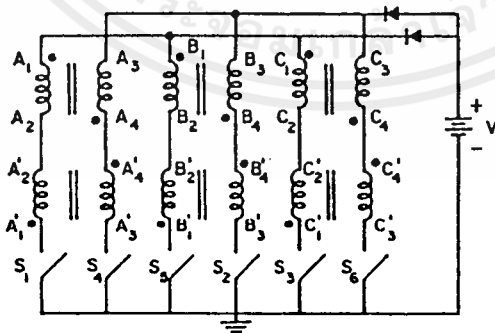
รูปที่ 2-23 รูปแสดงการต่อขดไบเฟลาร์ ใน VR สเตปมอเตอร์

3. สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (PERMANENT MAGNET)

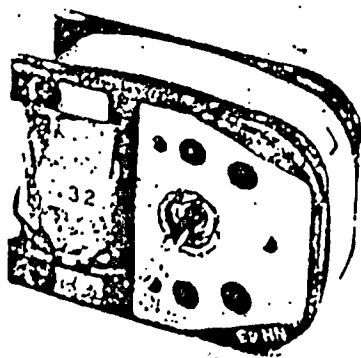
แม่เหล็กถาวร จะสามารถวางอยู่ที่โรเตอร์ และ สเตเตอร์ ซึ่งจะได้กล่าวใน รายละเอียด

ดังต่อไปนี้

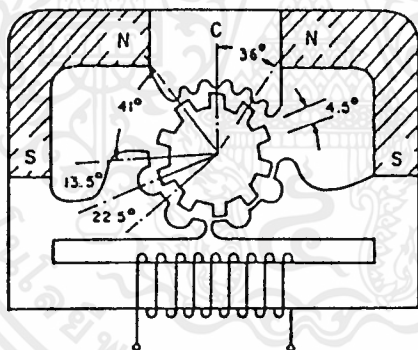
- สเตปมอเตอร์แบบสเตเตอร์แม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2-24 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 2-24 แสดงรูปร่างของสเตปมอเตอร์ที่มีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่ สเตเตอร์หลักซ์ แม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรจะผ่าน SOFT IRON ROTOR TOOTH POLE PIECES ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับ SOFT IRON ROTOR TOOTH มอเตอร์ดังในรูป จะมี 10 ขั้วโรเตอร์ ดังนั้น ระยะพิทช์ของโรเตอร์จะเท่ากับ 36 องศา โดยสเตเตอร์จะแบ่งซี่ทั้งหมดออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A และ B ซึ่งจะมีระยะ พิตช์ 36 องศา ส่วนซี่ของสเตเตอร์ กลุ่ม C จะมีระยะพิทช์ เป็น 18 องศา ความสัมพันธ์ ของตำแหน่งของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์ จะแสดงดังรูป 2-25

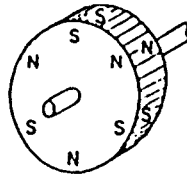


รูปที่ 2-25 ไดอะแกรมของสเตเตอร์ ชนิดที่มีสเตเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การกระตุ้นขดลวดสเตเตอร์ (ENERGIZE STATOR WINDING) จะมีขั้วควมซ์เป็น +V, 0, -V, 0, โรเตอร์จะเคลื่อน ที่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เป็นมุม 18 องศา สเตปมอเตอร์แบบนี้มีข้อดีคือ มีทอร์คยิด (HOLDING TORQUE) สูง ขณะที่หยุดการกระตุ้นให้ขดลวด นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างง่ายๆ แต่ข้อเสียก็มีคือ มอเตอร์จะสามารถเคลื่อนที่ได้เพียงทิศทางเดียว และ ความเร็วก็ไม่สูงมากนัก

สเตปมอเตอร์แบบโรเตอร์แม่เหล็กถาวร

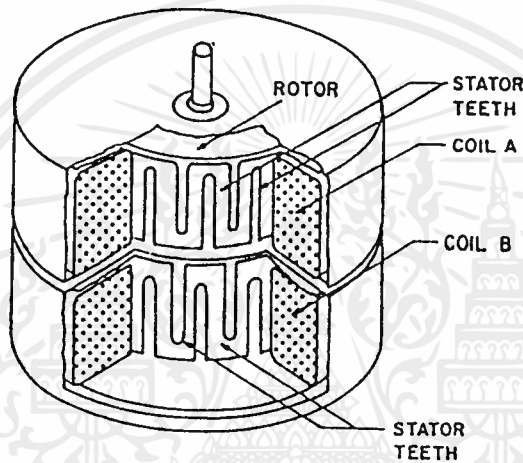
สเตปมอเตอร์แบบนี้จะมีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่โรเตอร์ ซึ่งมอเตอร์แบบนี้จะมีโครงสร้างง่ายๆและราคาไม่แพง สเตปมอเตอร์ที่มีอยู่ในท้องตลาดจะมีตั้งแต่ 2-8 เฟสและมี 2-24 ขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



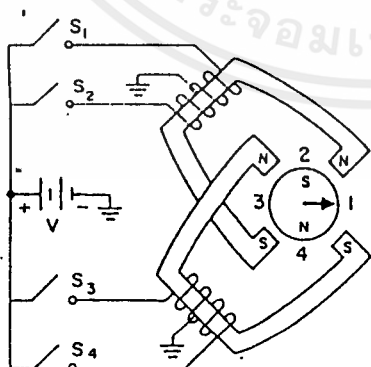
รูปที่ 2-26 รูปร่างของโรเตอร์ในสเตปมอเตอร์ ชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร

รูป 2-26 จะแสดงให้เห็นถึงโรเตอร์ ซึ่งมีสนามแม่เหล็กอยู่ 6 ขั้ว ส่วนของสเตเตอร์จะมีทั้งแบบ 2 หรือ 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะประกอบไปด้วย ขดไบไฟลาร์



รูปที่ 2-27 รูปผ่าของสเตปมอเตอร์ ชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร 2 ขั้ว

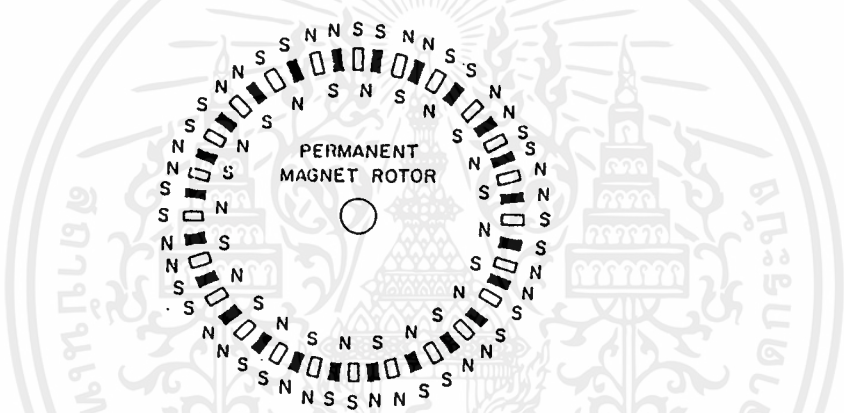
รูปที่ 2-27 จะแสดงภาพผ่าของสเตปมอเตอร์ที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร และมีสเตเตอร์ 2 ขั้ว สเตเตอร์ แต่ละขั้วจะมีขดไบไฟลาร์ 1 ขด ในห้องตลาดส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่มีสเตเตอร์ 2 ขั้ว ซึ่งก็คือ มอเตอร์ 4 เฟส นั้นเอง ดังนั้นมอเตอร์ที่มีสเตเตอร์ 4 ขั้วก็คือ มอเตอร์ 8 เฟส



SWITCHES CLOSED	STEP POSITION
S_1, S_3	1
S_2, S_3	2
S_2, S_4	3
S_1, S_4	4

รูปที่ 2-28 ไตอะแกรมของสเตปมอเตอร์ชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร

รูป 2-28 แสดงถึง โครงสร้างง่ายๆ ของมอเตอร์ที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรและมีสเตเตอร์ 2 ชุด โรเตอร์ 2 ชุด เมื่อขดลวดสเตเตอร์ถูกทำให้นำกระแสตามซีควেনซ์ ดังรูปจะเห็นว่าโรเตอร์จะหมุนตาม เข็มนาฬิกา หรือ ทวนเข็มนาฬิกา ด้วยมุมสเตป 90 องศา โดยเรียกการขับแบบนี้ว่าการขับแบบยูนิโพลาร์ (UNIPOLAR DRIVE) ซึ่งจะใช้แหล่งจ่ายไฟ ที่มีไฟบวกเท่านั้น โดยทั่วไป ขดลวดไบโพลาร์ ของมอเตอร์ ส่วนใหญ่จะไม่ต่อกันภายใน เราจึงต้องขับมอเตอร์โดยต่อขดลวดไบโพลาร์ ที่แต่ละส่วนของสเตเตอร์ เดียวกัน ขนานเข้าด้วยกัน ดังนั้น จึงมีสวิตช์เพียง 2 ตัวเท่าที่จำเป็นต้องใช้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ต้องการให้เกิด การหมุนกลับและหมุนตาม เรานิยมใช้การขับแบบไบโพลาร์ โดยที่แหล่งจ่ายไฟจะต้องใช้ทั้งไฟบวกและไฟลบ เรานิยมใช้การขับแบบไบโพลาร์ โดยที่แหล่งจ่ายไฟจะต้องใช้ทั้งไฟบวกและไฟลบ สเตเตอร์ในแต่ละเฟสจะ เป็นแบบขดลวดเดี่ยว เพื่อใช้สำหรับการขับแบบไบโพลาร์



รูปที่ 2-29 รูปแสดงสเตปมอเตอร์ชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร 24 ขั้วบนโรเตอร์และมี สเตเตอร์ 2 ชุด

รูปที่ 2-29 แสดงผังของมอเตอร์ที่มี 24 ขั้วบนโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและมีสเตเตอร์อยู่ 2 ชุด สเตเตอร์แต่ละชุดจะมี 24 ซี ซึ่งวางตัวอยู่โดยรอบสเตเตอร์ แต่ละซีของสเตเตอร์ทั้ง 2 ชุด จะแยกห่างจาก กันเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างซีบนสเตเตอร์แต่ละชุด ในรูป 2-29 จะเห็นว่าแต่ละซีของสเตเตอร์ ชุดแรกจะเป็นสีขาว และของอีกชุดจะเป็นสีดำ ขดลวดในแต่ละสเตเตอร์จะวางตัวในแนวเดียวกับซีของแต่ละ สเตเตอร์ ซึ่งจะถูกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ที่มีขั้วตรงกันข้ามเมื่อขดลวดของสเตเตอร์ถูกสวิตช์ตามลำดับ (ทั้งขดลวด ไบโพลาร์ ที่มีการขับแบบยูนิโพลาร์ และแบบขดลวดเดี่ยวที่ขับแบบไบโพลาร์) ซีว NV SS NV SS..... ที่เกิดขึ้น บนขั้วของสเตเตอร์จะเลื่อนไปทุกๆ 1 ซีว ในช่วงระยะเวลาหนึ่งทั้งแบบตามเข็มนาฬิกาและแบบทวนเข็มนาฬิกา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ซีควেনซ์ของการสวิตช์ในแต่ละเฟส โรเตอร์จะหมุนไป 1 สเตเตอร์พิตช์ เป็นมุม 7.5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปมุมของแต่ละสเตปของ โรเตอร์แม่เหล็กถาวร จะสามารถคำนวณได้จาก

$$R = 360 / N \text{ องศา}$$

เมื่อ N - คือ จำนวนซี่ทั้งหมดบนสเตเตอร์

หรือ อาจคำนวณจากสมการ

$$R = 360 / 2PQ \text{ องศา}$$

เมื่อ P = จำนวนคู่ขั้วขั้วขั้วโรเตอร์

Q = จำนวนขั้วของสเตเตอร์

ข้อดี ข้อเสีย ของมอเตอร์ชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร สามารถสรุปได้ดังนี้

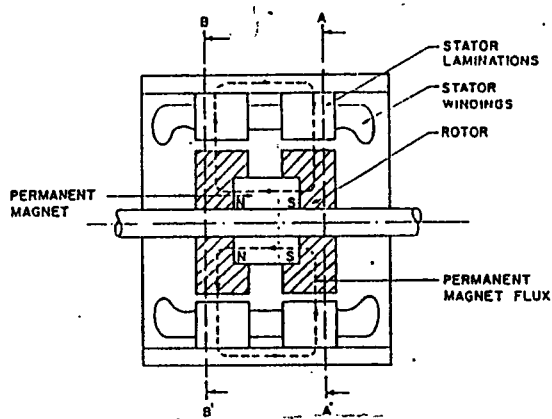
ข้อดี

- มีทอร์คชัต แม้อาจอยู่ในสภาวะหยุดกระตุ้น (DE-ENERGIZED)
- มีทอร์คชัตที่สูง เมื่อเทียบกับขนาดของมัน
- ใช้กำลัง ไม่มากในการขับและควบคุม มอเตอร์ชนิดที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร
- มีคุณสมบัติในการดัมป์ที่ดี (DAMPING CHARACTERISTICS) เนื่องจาก โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร
- สามารถควบคุมได้ 2 ทิศทาง
- ราคาไม่แพง

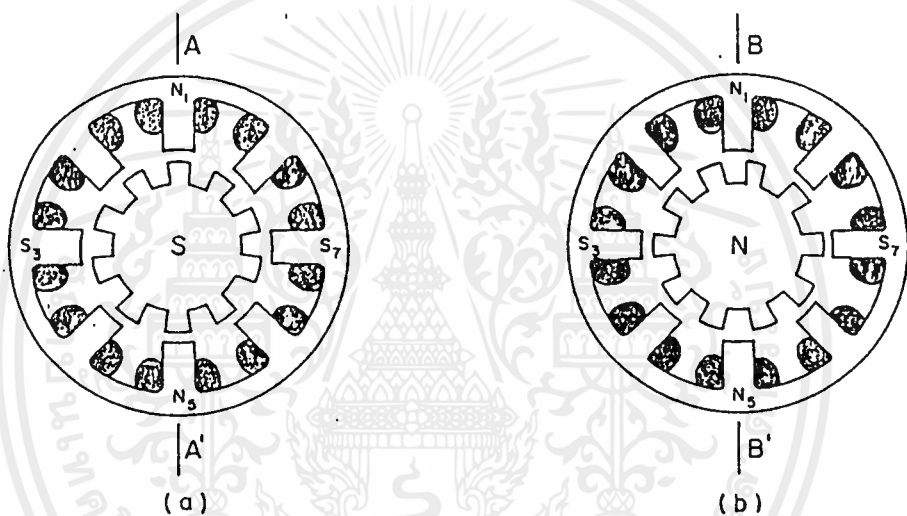
ข้อเสีย

- อัตราส่วนระหว่าง ทอร์ค กับแรงเสียดที่โรเตอร์ต่ำ
- ความเข้มสนามแม่เหล็กไม่คงที่
- กระแสย้อนกลับ (BACK EMF) ไม่คงที่
- ไม่เหมาะสมสำหรับสเตปน้อยๆ เนื่องจากโครงสร้างของมัน

4. สเตปมอเตอร์ แบบ HYBRID (SYNCHRONOUS INDUCTOR MOTOR)



รูปที่ 2-30 ภาพตัดแกนของไฮบริดจ์สเตปมอเตอร์

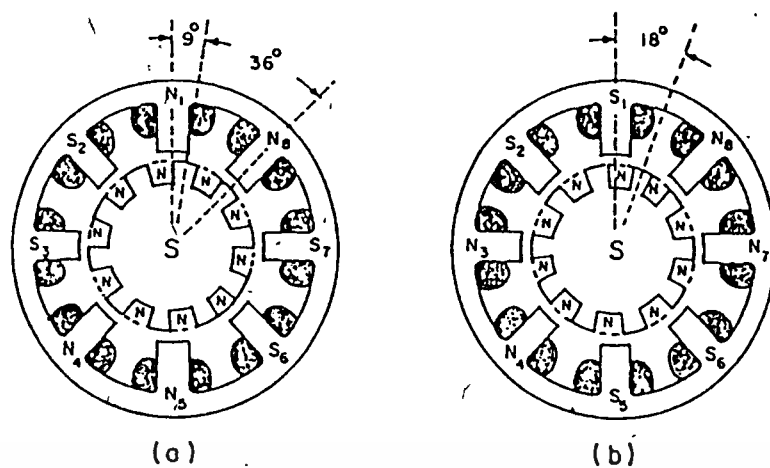


รูปที่ 2-31 ภาพตัดขวางของไฮบริดจ์สเตปมอเตอร์

เป็นสเตปมอเตอร์ที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร เหตุที่เรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่าเป็นไฮบริดจ์ก็เนื่อง
จากมันใช้หลักการทำงานผสมกันระหว่างมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร กับ มอเตอร์แบบวาริเอเบิล รีลัคแทนซ์

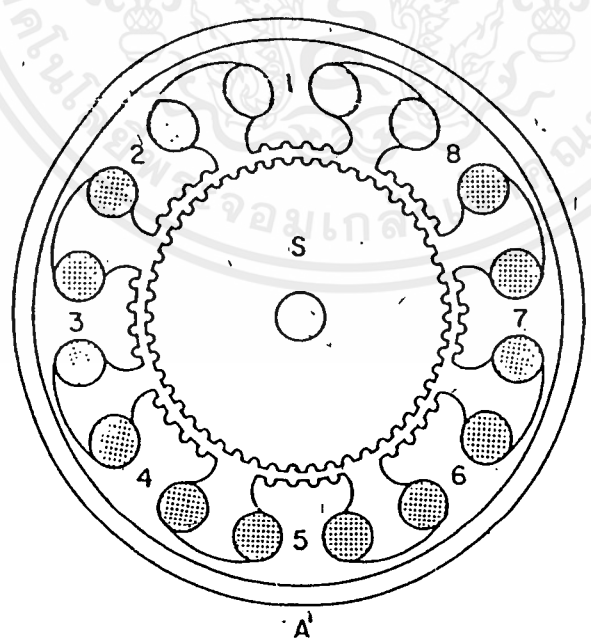
มอเตอร์ชนิดนี้ถูกออกแบบมาให้ AC SYNCHRONOUS มอเตอร์ 2 เฟส ซึ่งนิยมนำไปใช้ในงานที่ไม่
ต้องการความเร็วมากนัก ในโครงสร้างพื้นฐานจะแสดงดังในรูป 2-30 และ 2-31 รูป 2-31 จะแสดงให้เห็น
ภาพตัดแกนของไฮบริดจ์สเตปมอเตอร์ โรเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวร วางตัวในแนวแกนของมอเตอร์
และจะทำหน้าที่ผลิตฟลักซ์แม่เหล็ก ดังรูป 2-30 ตัวโรเตอร์จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนหนึ่งเป็นซี่ฟัน
และอีกส่วนหนึ่งเป็นซี่ใต้ และเนื่องจากเป็นแม่เหล็กถาวร TEETH ของโรเตอร์ส่วนที่สองจะไม่อยู่ในแนว
เดียวกัน แต่จะวางอยู่ห่างออกไปครึ่งโรเตอร์ TOOTH PITCH จากรูป 2-31 จะเห็นว่าสเตปมอเตอร์มีทั้งหมด 8
ซี่ (8 TEETH) โดยฟันซดลวดเป็นแบบ 2 เฟส 4 ซี่ ทำเป็นซดไบพอลาร์หรือ ซดลวดเดี่ยว (SINGLE COIL
WINDING) ก็ได้ ในกรณีที่ใช้ซดไบพอลาร์ แต่ละเฟสจะต้องมีซดลวดอยู่ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



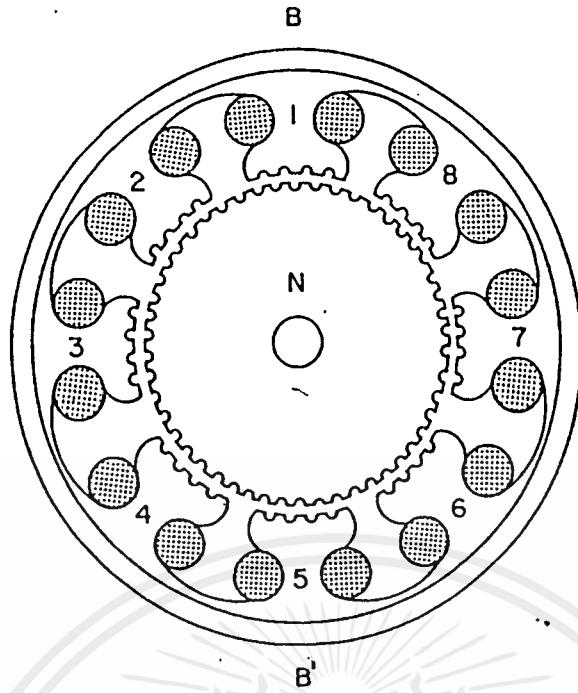
รูปที่ 2-32 ตำแหน่งโรเตอร์ของไฮบริดจ์สเตปมอเตอร์, เมื่อถูกกระตุ้น 2 เฟสพร้อมกัน
 รูปที่ 2-32 แสดงการควบคุมการทำงานแบบกระตุ้น 2 เฟส พร้อมกัน โรเตอร์ของทั้ง 2 ส่วน
 จะเกยกัน นั่นคือส่วน BB' จะเกยอยู่กับ AA' ทางด้านหลัง

รูป 2-33 และ 2-34 แสดงภาพตัดขวางของสเตปมอเตอร์ที่มีความละเอียด 200 สเตปต่อรอบ
 ซึ่งมีขั้วสเตเตอร์ 48 ขั้ว และมีโรเตอร์ 50 ขั้ว ในรูป 2-33 นั้น ขั้วกลุ่มหนึ่งบนโรเตอร์จะวางตัวอยู่ในแนวเดียวกับ
 กึ่งกลางขั้วของ SALIENT POLE 1 และ 5 ดังนั้น ที่กึ่งกลางของ SALIENT POLE 3 กับ 7 จะมีค่าพิทซ์
 เป็นครึ่งหนึ่งของโรเตอร์ ซึ่งที่จุดนี้จะมีค่ารีลัคแทนซ์มากที่สุด แต่รูปที่ 2-34 จุดกึ่งกลางขั้วของ SALIENT
 POLE จะอยู่ที่ตำแหน่ง 3 และ 7 ดังนั้น จุดกึ่งกลางขั้วของขั้ว 1 และ 5 จะมีค่ารีลัคแทนซ์มากที่สุด



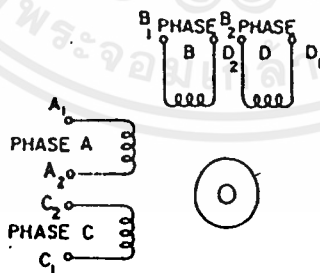
รูปที่ 2-33 ภาพตัดขวางของสเตปมอเตอร์ที่มีความละเอียด 200 สเตปต่อรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



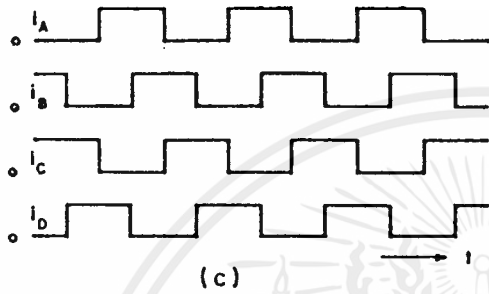
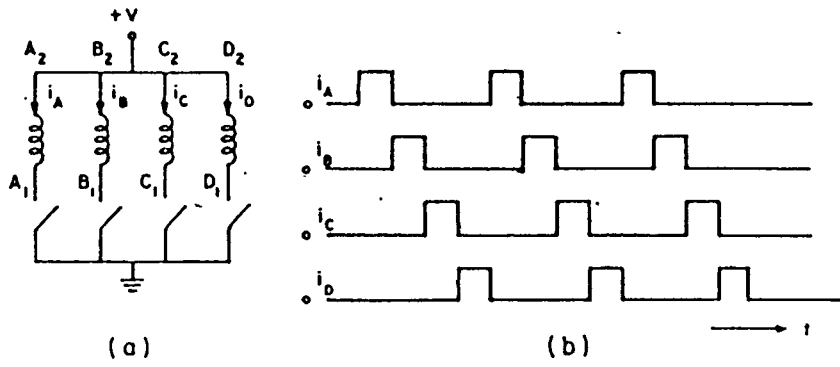
รูปที่ 2-24 ภาพตัดขวางของสเตปมอเตอร์ที่มีความละเอียด 20 สเตปต่อรอบ

รูป 2-35 แสดงไดอะแกรมของขดลวดไบพอลาร์ ส่วนรูป 2-36 แสดงการต่อขดไบพอลาร์ เพื่อขับเป็นแบบยูนิโพลาร์ โดยการกระตุ้นเฟสเดียว และแบบกระตุ้นสองเฟสพร้อมกัน รูป 2-37 แสดงการต่อขดไบพอลาร์ หนานกันเพื่อขับ ไบโพลาร์

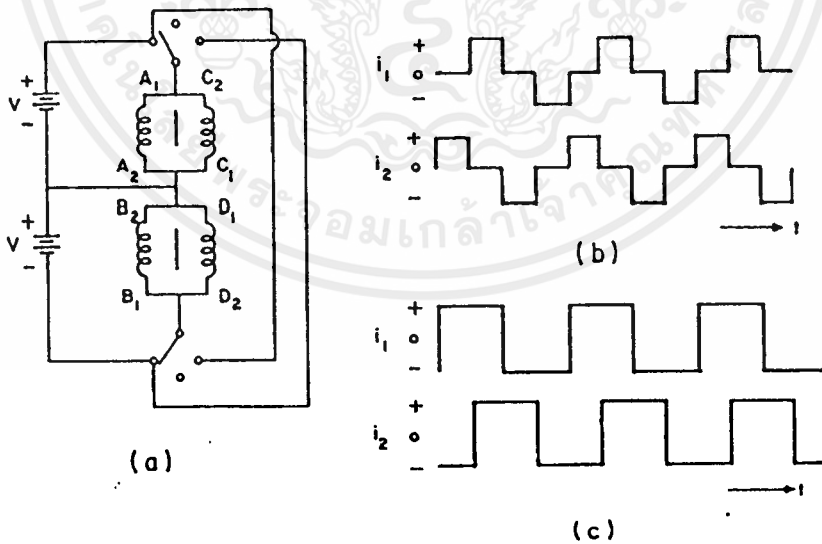


รูปที่ 2-35 ไดอะแกรมของขดไบพอลาร์ในไฮบริดจ์สเตปมอเตอร์ 4 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-36 ก) แสดงการต่อขดไบโพลาร์เมื่อขับแบบยูนิโพลาร์
 ข) เมื่อขับแบบกระตุ้นเฟสเดียว
 ค) เมื่อขับแบบกระตุ้น 2 เฟสพร้อมกัน

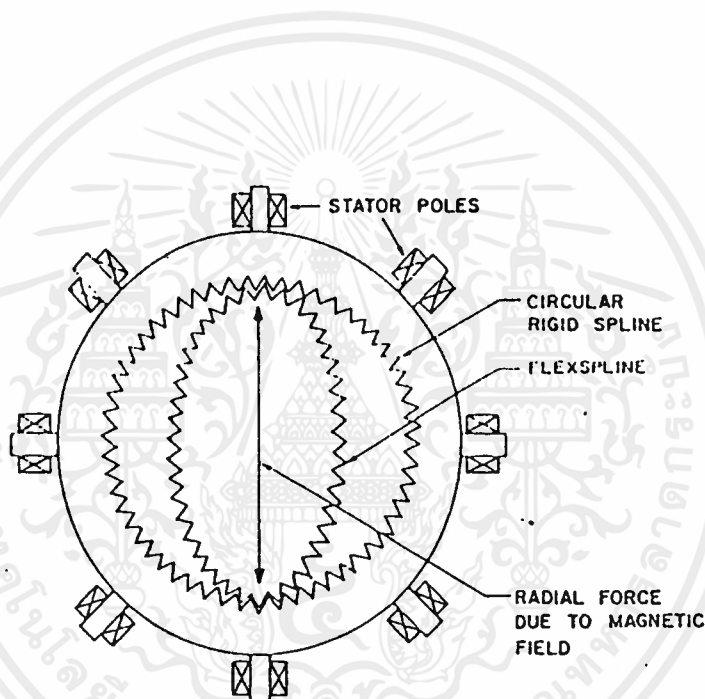


รูปที่ 2-37 การต่อขดไบโพลาร์ขนานกันสำหรับขับแบบไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สเตปมอเตอร์แบบ ELECTROMECHANICAL

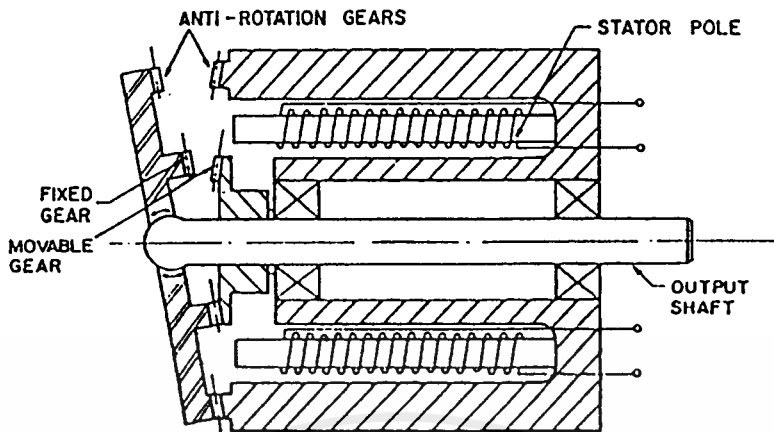
แบบนี้ใช้มากในระบบเกียร์ประสิทธิภาพสูงที่มีระยะพิทช์ (PITCH) แตกต่างกัน การเคลื่อนที่จะใช้หลักการของสนามแม่เหล็กหรือ โซลินอยด์แบบง่าย ๆ เพื่อให้ทอร์คที่ OUT PUT สูง และมีมุมสเตปน้อยๆ สเตปมอเตอร์ชนิดนี้ที่รู้จักกันดีมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ RESPONSYN STEP MOTOR มีหลักการทำงานและโครงสร้าง ดังรูป 2-38 ซึ่งใช้หลักการของการขับเคลื่อน ฮาร์โมนิก แทนการผลิตคลื่นที่ขดลวดของสเตเตอร์



รูปที่ 2-38 โครงสร้างของ RESPONSYN สเตปมอเตอร์

ดังนั้น สเตเตอร์จะถูกกระตุ้นในรูปของการหมุนของสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับการผลิตคลื่น จึงทำให้มีขนาดของซี่ที่เล็กมาก เป็นผลให้ขนาดของสเตปน้อยมาก โดยเฉลี่ยแล้วขนาดของมุมสเตปของ RESPONSYN STEP MOTOR จะมีช่วงอยู่ระหว่าง 480-2000 สเตปต่อรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-39 อุปกรณ์พื้นฐานของ ELECTROMECHANICAL สเตปมอเตอร์

ข้อดี ข้อเสีย ของสเตปมอเตอร์ชนิด ELECTROMECHANICAL สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ข้อดี

- อัตราส่วนของ ทอร์คต่อแรงเฉื่อยสูงมาก
- สามารถใช้กับโหลดที่แรงเฉื่อยสูง
- มีอัตราการสเตปต่อวินาทีสูง
- การออสซิลเลชันน้อยและมีแคมป์ที่ดีกว่า
- ไม่เกิดการเรโซแนนซ์หากทำงานในสภาวะปกติ
- มีมุมสเตปน้อยมาก
- มีการหมุนได้สองทิศทาง

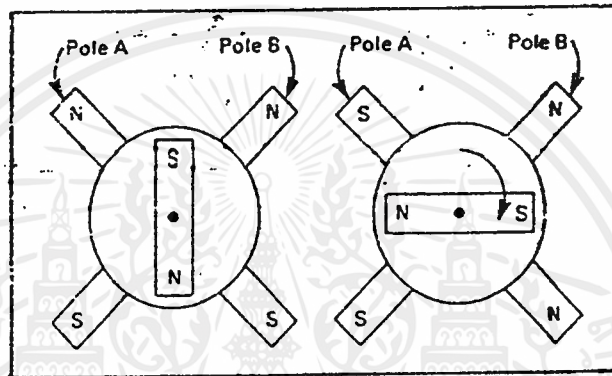
ข้อเสีย

- OUTPUT จะมีความเร็วรอบต่ออนาทีต่ำ อันเป็นผลมาจากมุมสเตปที่น้อยมาก
- ใช้ได้ในระบบเกียร์เท่านั้น
- ต้องการมีการหยอดน้ำมันเครื่องอยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์แบบยูนีโพลาร์

โครงสร้างเบื้องต้นของสเตปป์มอเตอร์ ประกอบด้วยแกนหมุนที่สร้างจากแม่เหล็กถาวร หมุนอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าภายนอก การป้อนกระแสให้กับแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กมาพลักหรือดึงดูดกับแม่เหล็กถาวรบนแกนหมุน และเกิดแรงบิดหรือทอร์ก (torque) ขึ้นได้ โครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์อย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 2-40

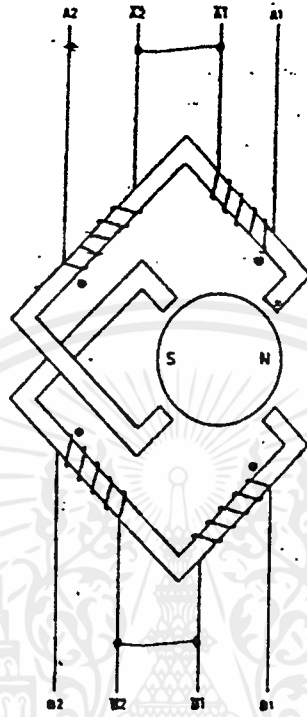


รูปที่ 2-40 โครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์อย่างง่าย

ถ้าให้กระแสแก่แม่เหล็กไฟฟ้าขั้ว A และ B พร้อมกันทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 2-40 ก โดยมีขั้วเหนืออยู่บนทั้งคู่แม่เหล็กถาวรบนแกนหมุนก็จะจัดขั้วเหนือ-ใต้ ไปตามขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ในที่นี้จะจัดให้ขั้วใต้อยู่ด้านบนและขั้วเหนืออยู่ด้านล่าง โดยมีแนวการวางตัวอยู่ระหว่างกึ่งกลางของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าขั้ว A และ B ซึ่งเป็นขั้วเหนือทั้งคู่ ถ้ากลับขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าขั้ว A ดังรูปที่ 2-40 ข ก็จะทำให้แกนหมุนซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรบิดตัวไป 90 องศาจากตำแหน่งเดิมเรียกว่าการเคลื่อนที่แบบฟูลสเตป (full step) แต่ถ้าขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าขั้ว A ถูกตัดกระแส แทนการกลับขั้วแม่เหล็กไฟฟ้านี้ก็จะทำให้แกนหมุนบิดตัวไป 45 องศา จากตำแหน่งเดิมโดยบิดตัวมาอยู่ในแนวของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าขั้ว B เรียกว่าการเคลื่อนที่แบบฮาร์ฟสเตป (half step)

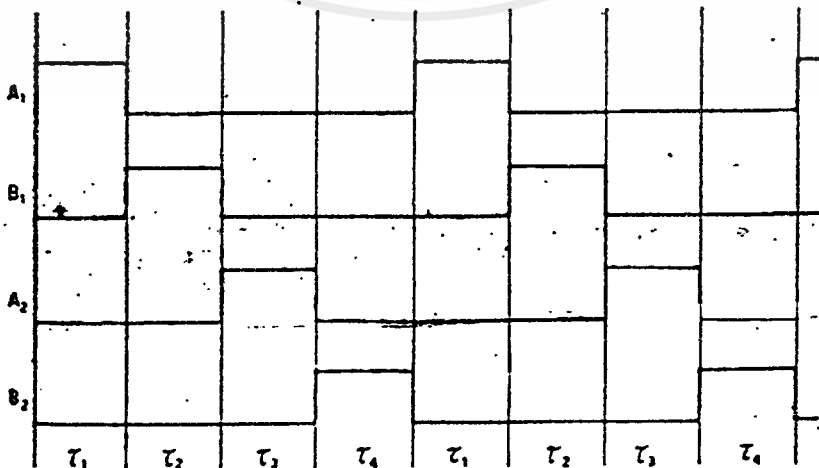
สเตปป์มอเตอร์ที่มีการเคลื่อนที่แต่ละขั้นเล็กลงๆ ก็จะต้องมีจำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้ามากขึ้น การกลับขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการกลับทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านขดลวดของแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโดยการป้อนกระแสผ่านขดลวดทีละครึ่งสำหรับขดลวดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบแยกกลางกึ่ง (center tapped) สำหรับโครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์แบบมีแทปกลาง สามารถเขียนในรูปแยก 4 ขดครึ่งเป็นชุดใน $A_1 - A_2$

A_2-A_2, B_2-B_2 และ B_2-B_2 ดังแสดงรูปที่ 2-41



รูปที่ 2-41 โครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบมีเทปกกลาง

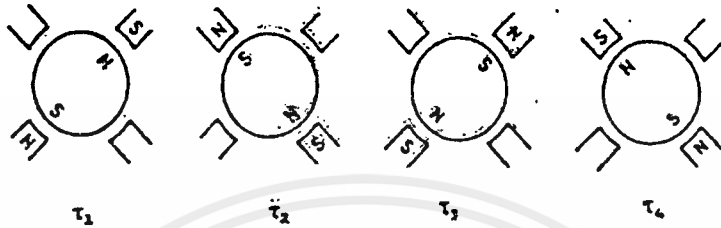
จากรูปที่ 2-40 ถ้าต่อขด A_1, A_2, B_1, B_2 เข้ากับแหล่งจ่ายทำให้กระแสไหลผ่านขดลวด A_1, B_1, A_2, B_2 ที่ละขดตามลำดับดังโดยแกรมเวลาดังรูปที่ 2-42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกรูปที่ 2-42 โดยแกรมผังช่วงเวลาแสดงการขับเคลื่อนกระแสซึ่งมีการนำไปใช้

จ่ายให้แก่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ลยขด

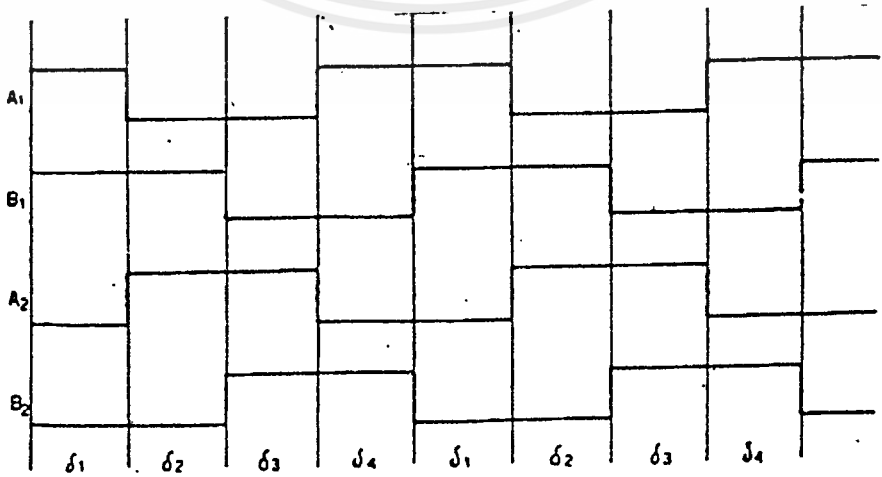
ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่ลยตอนของผ้งเวลา ($\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$) จะทำให้แกนมุมนที่เป็นแม่เหล็กถาวรเคลื่อนตัวดังรูปที่ 2-43



รูปที่ 2-43 สนามแม่เหล็กและการเคลื่อนตัวของแกนมุมน

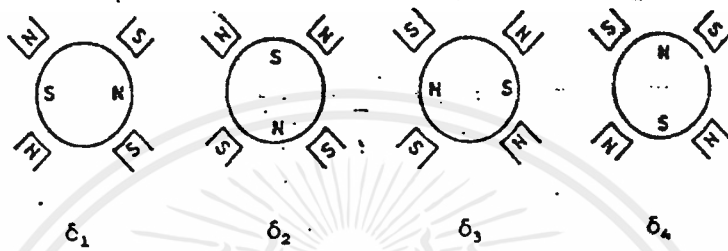
จะเห็นว่าแกนมุมนจะหมุนครบหนึ่งรอบทุกๆ 4 ช่วงจึงหวัหการขับเคลื่อนโดยวิธีนี้เรียกว่าการขับแบบ เวฟยูนิโพล่า (wave unipolar) คำว่ายูนิโพล่าหมายถึงถึงกระแสที่ไหลในขดลวดของแม่เหล็กไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวกันทุกขด และการป้อนกระแสให้กับขดลวดแต่ละขดจะ ป้อนให้ขดลวดที่ลยขดตามลำดับเหมือนลูกคลื่นนั่นเองและการขับเคลื่อนของแกนมุมนก็เป็น การเคลื่อนที่แบบพัลสเตปดังกล่าว

เราสามารถขับเคลื่อนให้แกนมุมนเคลื่อนที่แบบพัลสเตป โดยการป้อนกระแสให้แก่ขอลวด 2 ขดพร้อมกันเป็นการขับแบบสองเฟส (two phase driving) ดังแสดงในไดอะแกรมผ้งเวลาในรูปที่ 2-44 โดยการขับขด $A_1 - B_1, B_1 - A_2, A_2 - B_2$ และ $A_1 - B_2$ ในช่วงเวลา τ_1, τ_2, τ_3 และ τ_4 ตามลำดับ



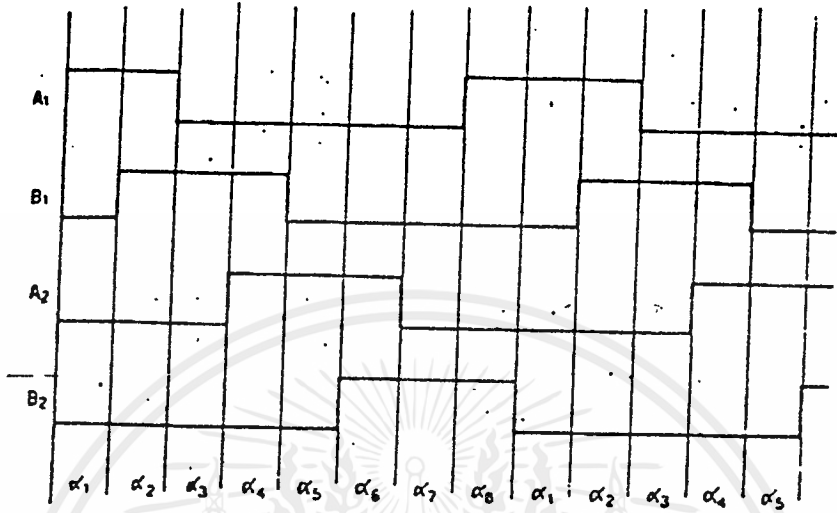
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 2-44 การขับแบบยูนิโพล่าสองเฟสทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของแกนหมุนก็หมุนครบหนึ่งรอบทุกๆ 4 ช่วงจังหวะหรือฟูลสเตป เช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2-45

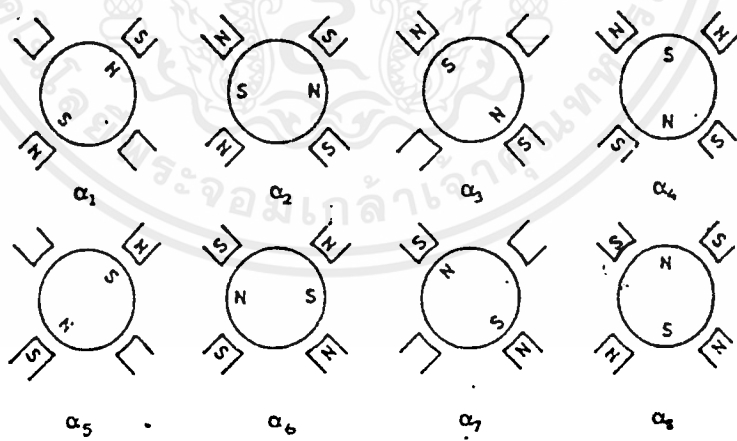


รูปที่ 2-45 การเคลื่อนที่แบบฟูลสเตปเมื่อขับแบบ ยูนิโพล่าสองเฟส การขับแบบสองเฟสจะให้แรงบิดสูงขึ้นแต่จะมีการสูญเสียกำลังงานเพิ่มขึ้นด้วยในการขับแบบเวฟ ยูนิโพล่าขั้วแม่เหล็กบนแกนหมุน จะอยู่ในแนวเดียวกับแนวของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนการขับแบบยูนิโพล่า สองเฟส ขั้วแม่เหล็กบนแกนหมุนจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าขั้ว A และ ขั้ว B

ถ้านำวิธีการขับแบบเวฟ ยูนิโพล่ามาผสมกับยูนิโพล่าสองเฟส ทำให้แกนหมุนเคลื่อนที่ไปเป็นแบบฮาร์ฟสเตปดังไดอะแกรมผังเวลาในรูปที่ 2-46 จากผังเวลาจะเห็นว่า $\alpha_1 = \pi_1$, $\alpha_2 = \pi_1$, $\alpha_3 = \pi_2$, $\alpha_4 = \pi_2$, $\alpha_5 = \pi_2$ ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนหมุนและขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่แต่ละช่วงเวลาของการหมุน แสดงดังรูปที่ 2-47 การขับเคลื่อนแบบฮาร์ฟสเตปจะใช้เมื่อต้องการลดการเรโซแนนซ์เมื่อสเตปปีงมอเตอร์มีการขับเคลื่อน ในแต่ละขั้นของการเคลื่อนที่ของแกนหมุน แกนหมุนจะมีการสั่นหรือออสซิลเลทอยู่ในบริเวณจุดกึ่งกลางหรือตำแหน่งบาลานซ์



รูปที่ 2-46 โดยแกรมผังเวลาแสดงการขับแบบอาร์ฟสเตปยูนิโพล่า

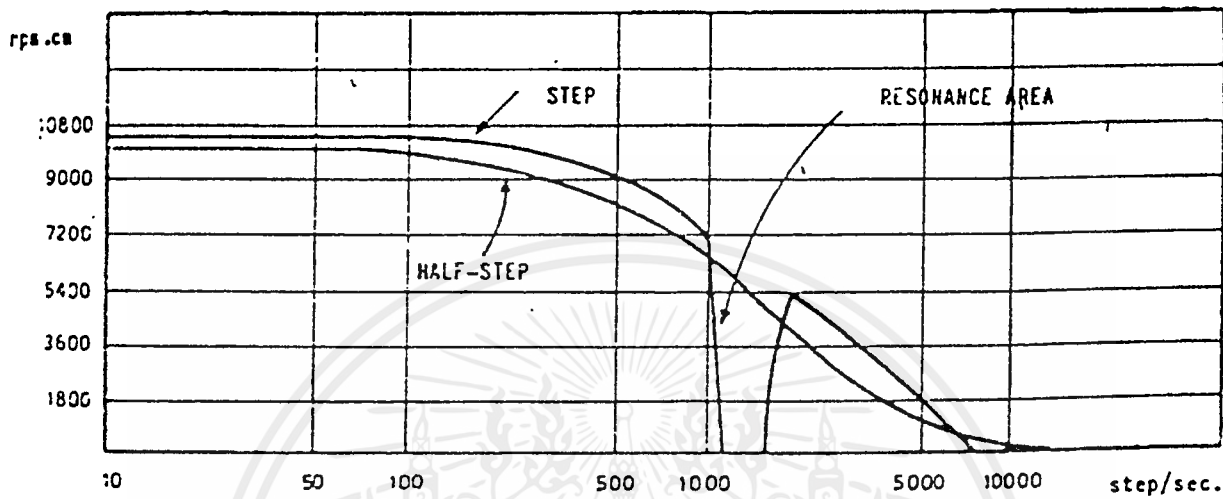


รูปที่ 2-47 ผังแสดงการเคลื่อนที่ของแกนหมุนและขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า

ในแต่ละขั้นของเคลื่อนที่แบบอาร์ฟสเตป

ช่วงความถี่ของการใช้งานของสเตปปีงมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสเตปปีงมอเตอร์และโหลด การออสซิลเลทจะทำให้แกนหมุนไม่อยู่ในสภาพบาลานซ์หรือหยุดนิ่งก่อนที่จะได้รับสัญญาณควบคุมขั้นต่อไปได้ทัน จึงทำให้ตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของแกนหมุนผิดไปทั้งสิ้น การขับเคลื่อนสเตปปีงมอเตอร์อ้างอิงแบบอาร์ฟสเตปจะมีความถี่ของการเรโซ

แนบที่ไม่อยู่ในช่วงความถี่ของการใช้งานของสเตปป์มอเตอร์ ดังนั้นการขับอาร์ฟสเตปป์จึง
 สมรรถนะดีกว่า แบบพูลสเตปป์ กราฟเปรียบเทียบตำแหน่งการหมุน กับความถี่สำหรับการ
 การขับเคลื่อนแบบอาร์ฟสเตปป์และพูลสเตปป์ ดังรูปที่ 2-48



รูปที่ 2-48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งการหมุนกับความถี่
 สำหรับการขับเคลื่อนแบบอาร์ฟสเตปป์และพูลสเตปป์

ตารางแสดงการป้อนสัญญาณขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์แบบอาร์ฟเวฟสเตปป์ยูนิโพลาร์แสดงดังรูปที่ 2-49

STEP	A ₁	A ₂	B ₂	B ₁
1	1	0	0	1
2	0	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	1	0	0
5	0	1	1	0
6	0	0	1	0
7	1	0	1	0
8	1	0	0	0
1	1	0	0	1

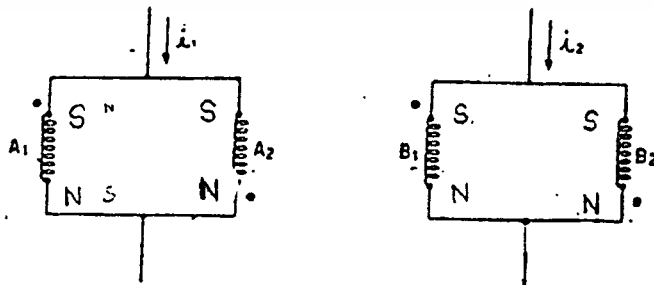
รูปที่ 2-49 ลำดับการขับเคลื่อนแบบอาร์ฟสเตปป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตารางแสดงการป้อนสัญญาณขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์แบบพูลสเตปป์ยูนิโพลาร์แสดงดังรูปที่ 2-50

STEP	A ₁	A ₂	B ₂	B ₁
1	1	0	0	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	1	0
1	1	0	0	1

รูปที่ 2-50 ลำดับการขับเคลื่อนแบบฟูลสเต็ปยูนิโพล่า
การขับสเต็ปมอเตอร์แบบไบโพล่า

เนื่องจากการขับสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟสจะให้แรงบิดสูงกว่าวิธีการขับแบบ เวฟ ยูนิโพล่าเนื่องจากมีขดลวดได้รับกระแสขับพร้อมกันครั้งละ 2 ขดเราสามารถปรับปรุงการขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ให้มีแรงบิดสูงขึ้นได้โดยการป้อนกระแสขับให้กับขดลวดทั้ง 4 พร้อมกันโดยวิธีขับแบบไบโพล่า หรือใช้วิธีขับกระแสให้กับขดลวดทั้ง 4 ขดเป็นสองทิศทางการต่อขดลวดทั้ง 4 จึงนำมาต่อรวมกันเป็นขดลวด 2 ขดเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบไม่มีเซ็นเตอร์แทป ดังรูปที่ 2-51

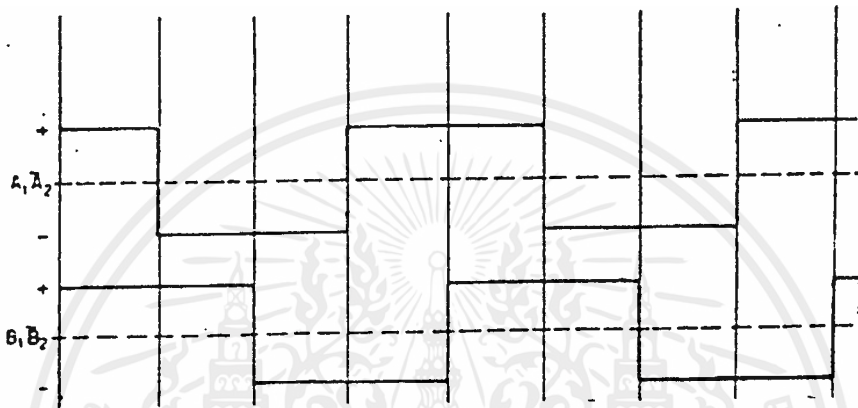


รูปที่ 2-51 การต่อขดลวดของสเต็ปมอเตอร์

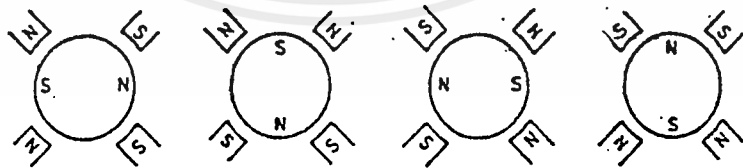
แบบไม่มีเซ็นเตอร์แทปสำหรับการขับแบบไบโพล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งแบบไม่มีเซ็นเตอร์แทปสำหรับการขับแบบไบโพล่า

ไดอะแกรมผังเวลาของการขับสเตปป์มอเตอร์แบบไบโพลาร์ แสดงดังรูปที่ 2-52 การขับขดลวด A และ B ในแต่ละขั้นของการเคลื่อนที่ จะควบคุมด้วยทิศทางของกระแส ในแต่ละขดลวดของแม่เหล็กไฟฟ้า คือ $(A+, B+)$, $(A-, B+)$, $(A-, B-)$ และ $(A+, B-)$ ตามลำดับ



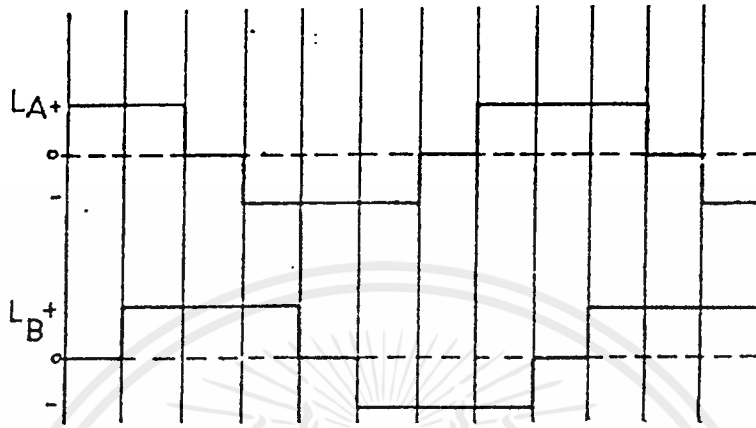
รูปที่ 2-52 ผังเวลาของการขับสเตปป์มอเตอร์แบบไบโพลาร์ ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนหมุนของแต่ละขั้นของการขับเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 2-53 การเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบใช้ 4 ช่วงจึงหว่าจึงเป็นการเคลื่อนที่แบบฟูลสเตป



รูปที่ 2-53 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนหมุนและขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า ของการขับแบบไบโพลาร์ ฟูลสเตป

เอกสาร การขับเคลื่อนของสเตปป์มอเตอร์แบบไบโพลาร์ อาร์ฟูลสเตปสามารถทำได้ด้วยการควบคุมทิศทางกระแสและการหยุดกระแสในขดลวดแต่ละขดสลับกันไปได้

อะแกรมผังเวลาการควบคุมกระแส ในรูปที่ 2-54



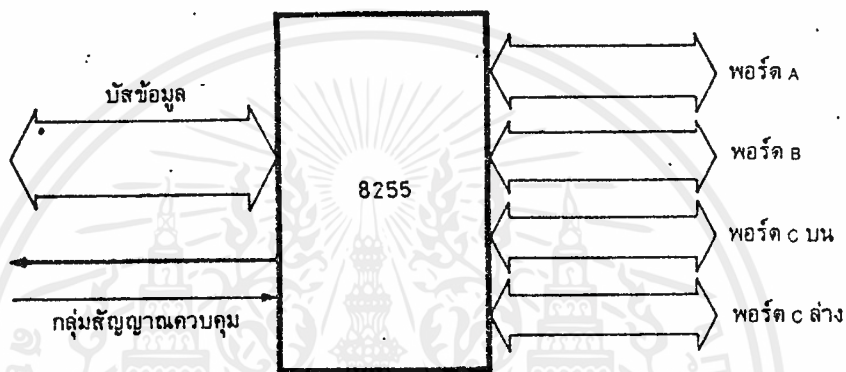
รูปที่ 2-54 ผังเวลาการขับแบบไบโพล่า อาร์ฟส เตป ตารางการป้อนสัญญาณการขับส เตป บึงมอ เตอร์ แบบฟูลส เตป ไบโพล่า

STEP	A+	A-	B-	B+
1	1	0	0	1
2	0	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	1	0	0
5	0	1	1	0
6	0	0	1	0
7	1	0	1	0
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

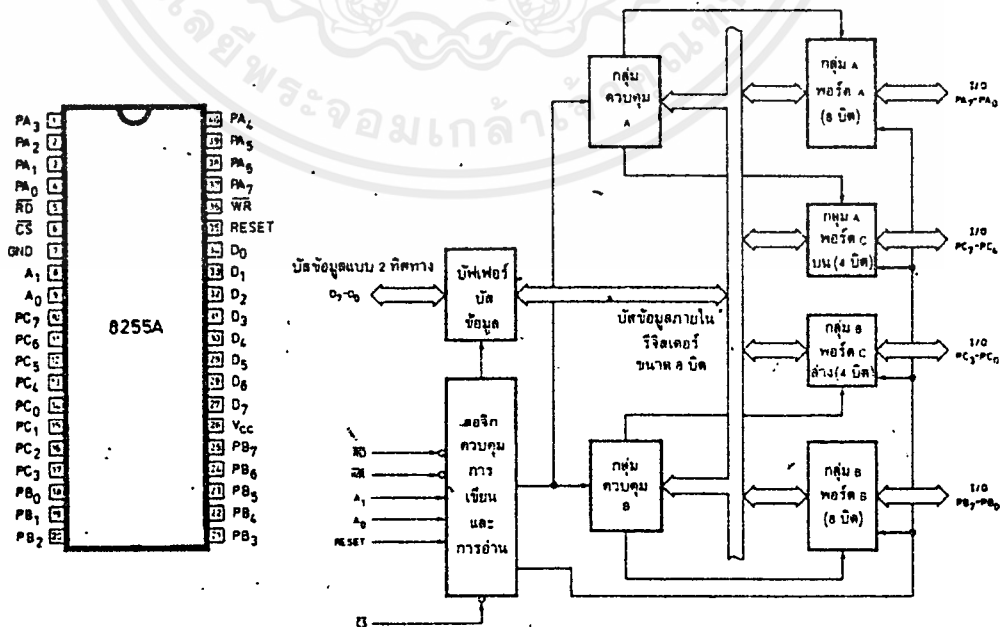
บทที่ 3

IC 8255

8255 เป็นไอซีที่มี 40 ขาได้รับการออกแบบให้มีสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับ 8080 แต่สัญญาณนี้พอเหมาะที่จะใช้กับ Z-80 ได้เช่นกัน 8255 เป็นไอซีที่ต่อเป็นพอร์ตให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 3 พอร์ตโดยมีโครงสร้างพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนผังโครงสร้างของไอซี 8255



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 3-2 แผนผังวงจรภายในและการจัดขาของไอซี 8255

การเรียกพอร์ตของ 8255 จะเรียกพอร์ตต่างๆ ว่าพอร์ต A พอร์ต B และ พอร์ต C โดยพอร์ต C แยกเป็น 2 ส่วนคือ พอร์ต C ล่างหรือตั้งแต่ PC_0-PC_3 มี จำนวน 4 บิตและพอร์ต C บนตั้งแต่ PC_4-PC_7 ที่พิเศษคือ พอร์ตทุกพอร์ตเป็นได้ทั้ง พอร์ตเอาต์พุตและพอร์ตอินพุต

รูปที่ 3-3 เป็นแผนผังของไอซีและการจัดวางขาของไอซี 8255 การทำงานของวงจรมักจะใช้สัญญาณควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์มาควบคุมการทำงาน โดยไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งคำสั่งมาโปรแกรมการทำงานหรือกำหนดรูปแบบของพอร์ตให้เป็น อินพุตหรือเอาพุตก็ได้

ขาต่างๆของ 8255

เพื่อให้เข้าใจวิธีการต่อใช้งานจึงจำเป็นต้องเข้าใจความหมายและตำแหน่งของขาต่างๆ เสียก่อน ข้าง 40 ขาของไอซีประกอบด้วย

D_0-D_7 เป็นขาที่ข้อมูลอินพุตจะต้องผ่านเข้าออกจากส่วนนี้ D_0-D_7 จึงต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลจากพอร์ตผ่านทางบัสนี้

CS (สัญญาณเลือกชิป) ขานี้เป็นขาอินพุตที่จะรับสัญญาณจากภายนอกเพื่อเลือกชิป 8255 โดยเมื่อขานี้เป็น "0" จะทำให้ 8255 ต่อเข้ากับระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ตได้

RD (สัญญาณการอ่าน) เป็นสัญญาณอินพุตที่ต้องส่งมาจาก CPU เมื่อสัญญาณที่ขานี้เป็น "0" และสัญญาณ CS เป็น "0" ด้วย ไอซี 8255 จะทำตัวให้ CPU อ่านข้อมูลจากบัสในขณะที่เป็นพอร์ตอินพุต

WR เป็นสัญญาณการเขียน จะแอกทีฟเมื่อสัญญาณ WR และสัญญาณ CS เป็น "0" สัญญาณนี้จะมาจาก CPU เมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ตที่กำหนด

A_0-A_3 (สัญญาณแอดเดรส) ลอจิกของสัญญาณทั้งสองจะถอดรหัสออกเป็น 4 รหัสเพื่อกำหนดรีจิสเตอร์ภายในที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตเอาพุตของ 8255

RESET (สัญญาณรีเซ็ต) เป็นสัญญาณที่ส่งมาจากภายนอกเข้า มาทำการรีเซ็ต 8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่างๆของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการรีเซ็ตก็จะกลับเข้าสู่โหมดอินพุตหรือทุกพอร์ตที่เป็นพอร์ตอินพุต

PA_0-PA_7 เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ตของ 8255 ที่ชื่อพอร์ต A การเลือกพอร์ตจะเลือกโดยสัญญาณแอดเดรส A_0-A_3 ารศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ PB_0-PB_7 จะมีเป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ต B ของ 8255 ถูกเลือกโดยสัญญาณ

แอดเดรส $A_0 - A_1$

$PC_0 - PC_7$ เป็นสายสัญญาณที่เป็นพอร์ต C ของ 8255 การกำหนดพอร์ตนี้ จะได้รับการกำหนดโดยสัญญาณแอดเดรส $A_0 - A_1$ พอร์ต C นี้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม $PC_0 - PC_3$ และกลุ่ม $PC_4 - PC_7$ รีจิสเตอร์ภายในของ 8255

เมื่อต่อ 8255 เข้ากับ CPU ได้แล้วสิ่งที่ผู้ใช้จะต้องทำก็คือการโปรแกรมให้ 8255 ทำงานตามที่ต้องการ จากกรณีที่ 8255 มีพอร์ต 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตจะเป็นเสมือน รีจิสเตอร์ที่สามารถเขียนและอ่านได้รีจิสเตอร์แต่ละตัวนี้จึงถูกกำหนดด้วยแอดเดรสตามที่ตั้งไว้

\overline{RD}	\overline{WR}	$\overline{A1}$	$\overline{A0}$	ความหมาย
1	0	0	0	เขียนพอร์ต A ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	0	0	อ่านพอร์ต A ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	0	1	เขียนพอร์ต B ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	0	1	อ่านพอร์ต B ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	1	0	เขียนพอร์ต C ซึ่งเป็นข้อมูล
0	1	1	0	อ่านพอร์ต C ซึ่งเป็นข้อมูล
1	0	1	1	เขียนข้อมูล ซึ่งเป็นรหัสควบคุม
0	1	1	1	อ่านเข้ามา ซึ่งไม่มีความหมายใด

รูปที่ 3-3 สัญญาณการควบคุมการทำงานของ 8255

การใช้งาน 8255 จะตั้งรหัสควบคุม (control code) เข้าไปยังพอร์ต ข้อมูลควบคุมเพื่อควบคุมการทำงานของ 8255 โดยใช้สัญญาณควบคุมพอร์ตรหัสหมายเลข 13H การควบคุมการทำงานของ 8255 มีหลายโหมดแต่ละโหมดจะแตกต่างกันออกไปการโปรแกรมให้ 8255 ทำงานจะทำได้ 3 โหมดคือ โหมด 0, โหมด 1, และ โหมด 2

โหมด 0 หรืออินพุทเอาพุทแบบพื้นฐาน

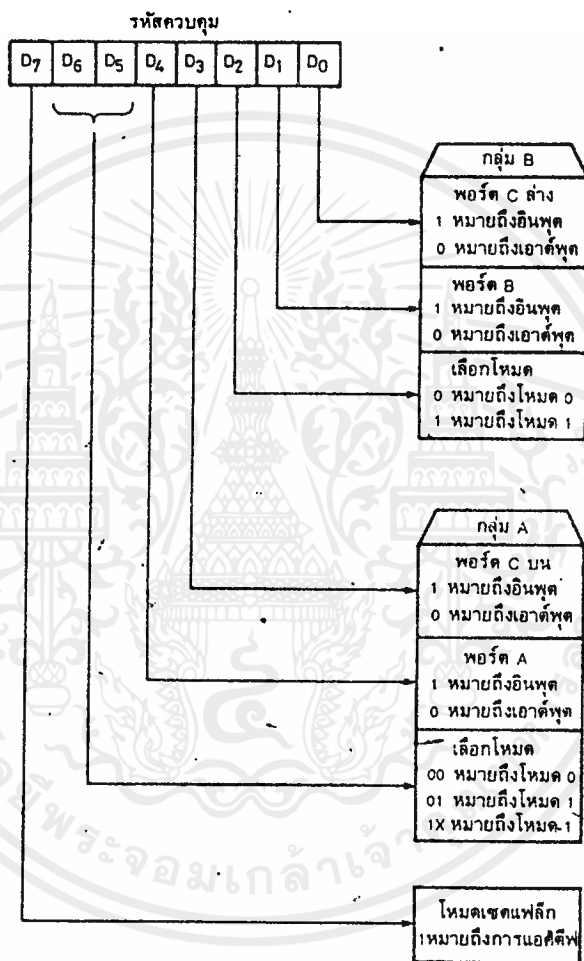
การกำหนดโหมดการทำงาน จะต้องส่งข้อมูลเข้าไปโปรแกรมในพอร์ตควบคุมของ 8255 แต่ละบิตของข้อมูลที่ส่งเข้าไปจะมีความหมายในตัวเอง ลักษณะความหมายแต่ละบิตในรหัสควบคุมแสดงได้ดังรูป 3-4

การโปรแกรม 8255 คือ การให้รหัสบิตต่างๆ เข้าไปในรหัสควบคุมแล้วส่งไปยังรีจิสเตอร์ของพอร์ตควบคุมความหมายของบิตต่างๆ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

บิต D_7 เป็นบิตที่แสดงรหัสควบคุมถ้าบิตนี้เป็น "1" หมายถึงรหัสควบคุมนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเซตโหมดต่างๆ ของ 8255

บิต D_6 และ D_5 เป็นการเลือกโหมดของพอร์ต A ซึ่งมี 3 โหมด คือโหมด 0 โหมด 1 และโหมด 2 ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 ความหมายของบิตต่างในรหัสควบคุม

บิต D_6 ถ้ามีค่าเป็น "0" หมายถึงการกำหนดพอร์ต A เป็นเอาพุต ถ้า ค่าเป็น "1" จะหมายถึงการกำหนดให้พอร์ต A เป็นอินพุต

บิต D_5 เป็นบิตที่บอกถึงการเซตของพอร์ต C บนถ้าเป็น "0" จะทำให้พอร์ต C บนเป็นเอาต์พุต

บิต D_4 เป็นบิตที่บอกถึงการเซตโหมดของพอร์ต A ถ้าเป็น "0" หมายถึงเลือกโหมด 0 และถ้าเลือกเป็น "1" หมายถึงการเลือกโหมด 1

บิต D_1 เป็นการกำหนดอินพุทเอาต์พุทของพอร์ต B ถ้าเป็น "0" หมายถึงเอาต์พุท ถ้าเป็น "1" หมายถึงอินพุท

บิต D_0 เป็นการกำหนดอินพุทเอาต์พุทของพอร์ต C ล่าง ถ้าเป็น "0" หมายถึงเอาต์พุทถ้าเป็น "1" หมายถึงอินพุท

การโปรแกรม 8255 จะเริ่มจากการเซตค่าที่ต้องการแล้วเอาต์พุทไปยังพอร์ตควบคุม เช่น ถ้าต้องการโปรแกรมให้ทั้งพอร์ต A, B และ C เป็นพอร์ตเอาต์พุทหมดเราจะเลือก 8255 ให้อยู่ในโหมด 0 โดยมีรหัสควบคุมเป็น 10000000 หรือ 80H ดังนั้นจึงเขียนคำสั่งได้ดังนี้

LD A, 80H หมายถึงกำหนดรหัสควบคุม

OUT(13H), A หมายถึงส่งไปยังพอร์ตควบคุม

หลังจากที่กระทำคำสั่ง OUT นี้ผ่านไปแล้ว พอร์ต A, B และ C จะเป็นพอร์ตเอาต์พุทหมดซึ่งก็จะส่งข้อมูลจาก CPU ไปยังพอร์ตต่างๆ ได้ เช่น ถ้าต้องการส่งข้อมูล 8AH ไปยังพอร์ต A ข้อมูล 41H ไปยังพอร์ต B และ ข้อมูล 25H ไปยังพอร์ต C คำสั่งที่ใช้คือ

LD A, 8AH หมายถึงเลือกค่า 8AH

OUT(10H), A หมายถึงส่งไปยังพอร์ต A

LD A, 41H หมายถึงเลือกค่า 41H

OUT(11H), A หมายถึงส่งไปยังพอร์ต B

LD A, 25H หมายถึงเลือกค่า 25 H

OUT(12H), A หมายถึงส่งให้พอร์ต C

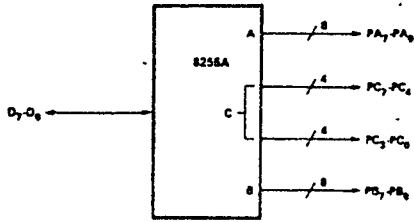
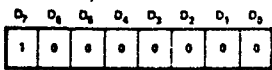
เนื่องจากมีพอร์ตที่รับส่งข้อมูล 3 พอร์ตคือ พอร์ต A, B, C ซึ่งพอร์ต C จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ พอร์ต C ล่างและพอร์ต C บน เราสามารถโปรแกรมให้ทั้งพอร์ต 4 พอร์ต นี้เป็นอินพุทเอาต์พุทก็ได้

การทำงานในโหมด 0

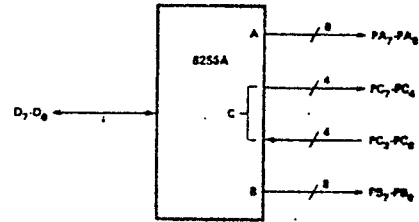
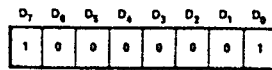
โหมด 0 เป็นโหมดที่กำหนดให้พอร์ตทุกพอร์ตบนตัว 8255 เป็นพอร์ตอินพุทเอาต์พุทแบบพื้นฐานรูปแบบความเป็นไปได้จะมีทั้งสิ้น 16 รูปแบบ ตามลักษณะของพอร์ต A และ พอร์ต B พอร์ต C บนและพอร์ต C ล่าง ลักษณะของรหัสควบคุมแต่ละแบบจะเป็นดังรูป 3-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

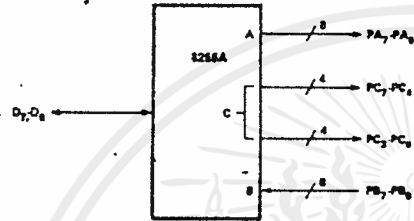
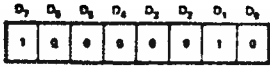
รหัสควบคุม # 0



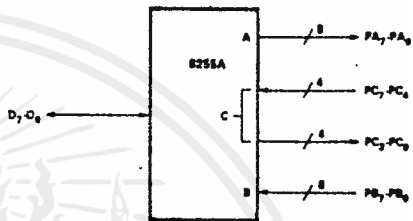
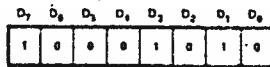
รหัสควบคุม # 1



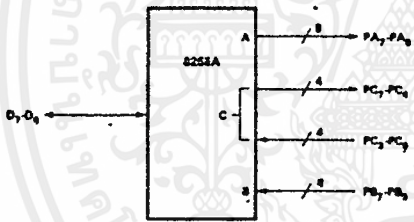
รหัสควบคุม # 2



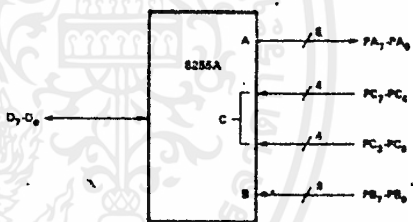
รหัสควบคุม # 6



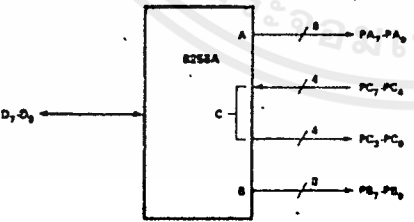
รหัสควบคุม # 3



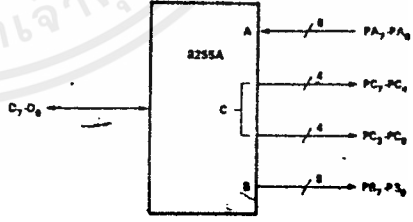
รหัสควบคุม # 7



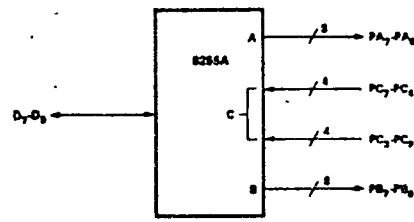
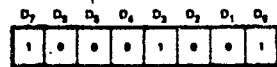
รหัสควบคุม # 4



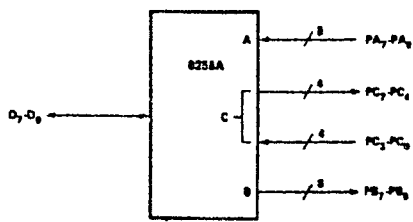
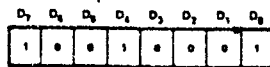
รหัสควบคุม # 8



รหัสควบคุม # 5

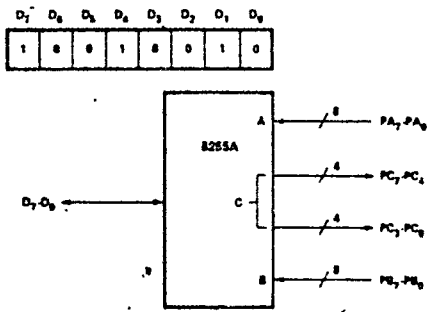


รหัสควบคุม # 9

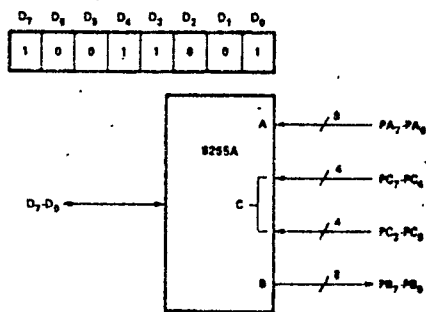


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 3-5 ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่างๆ ในโหมด 0

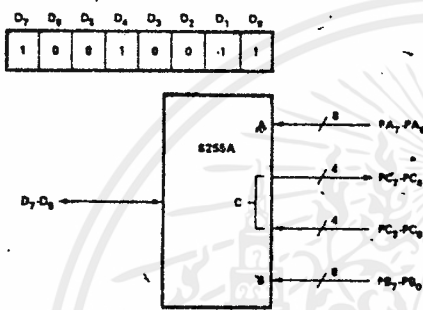
รหัสควบคุม #10



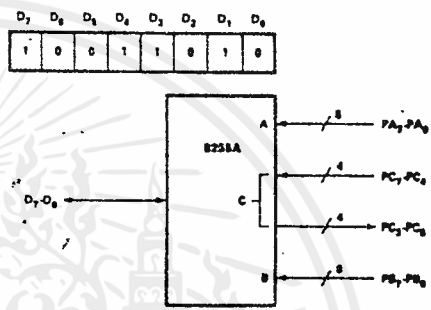
รหัสควบคุม #13



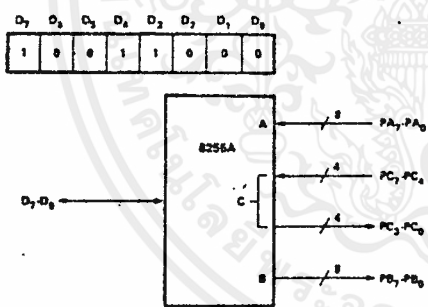
รหัสควบคุม #11



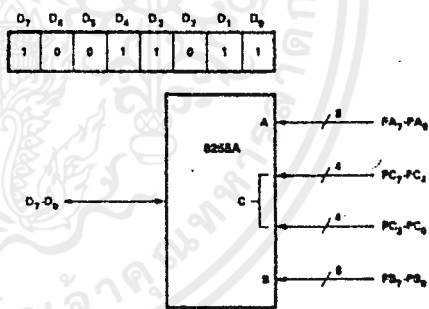
รหัสควบคุม #14



รหัสควบคุม #12



รหัสควบคุม #15

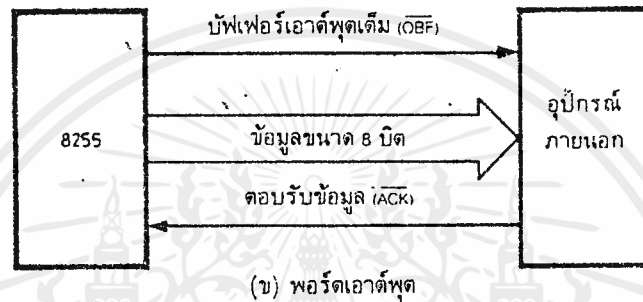
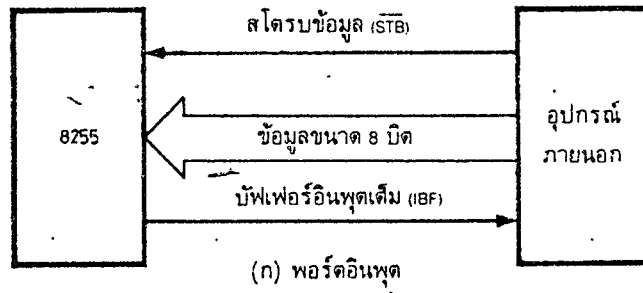


รูปที่ 3-5 (ต่อ) ลักษณะของรหัสควบคุมแบบต่างๆ ในโหมด 0

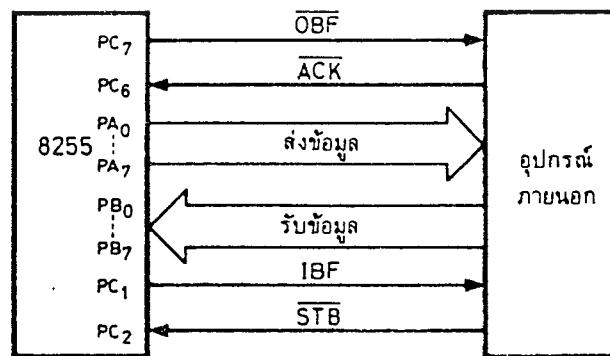
การทำงานของ 8255 ในโหมด 1

การทำงานของ 8255 ในโหมด 1 เป็นโหมดที่ทำให้อินพุตเอาต์พุตมีการตรวจสอบสัญญาณ (handshaking) โดยใช้อินพุตเอาต์พุตของพอร์ต A และพอร์ต B เป็นหลักและใช้พอร์ต C บนเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณ (handshaking) ของพอร์ต A พอร์ต C ล่างเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ต B การจัดสัญญาณต่างๆ เหล่านี้แสดงดังรูปที่ 3-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-6 โครงสร้างตัวตรวจสอบสัญญาณของพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต
 แนวความคิดการใช้พอร์ตอินพุตเอาต์พุตโดยมีตัวตรวจสอบสัญญาณก็เพื่อให้มี
 การซิงโครไนซ์ระหว่างอุปกรณ์ภายนอกที่ทำงานได้เข้ากับการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่ทำงาน
 ได้เร็ว ลักษณะของการรับส่งข้อมูลอินพุตเอาต์พุตแบบมีตัวตรวจสอบสัญญาณดังรูปที่ 3-6
 นั้น จะใช้ $PA_0 - PA_7$ เป็นเอาต์พุตและ $PB_0 - PB_7$ เป็นอินพุตโดยมีพอร์ต C เป็น
 ตัวตรวจสอบสัญญาณดังในรูปที่ 3-7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3-7 วงจรการต่อ 8255 ในโหมด 1 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

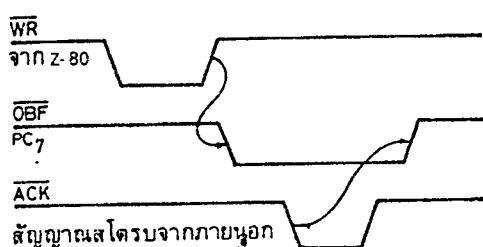
เมื่อโปรแกรม 8255 เป็นโหมด 1 แล้ว ตัว 8255 จะให้พอร์ต C เป็นสัญญาณควบคุมโดยแต่ละบิตของพอร์ต C เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3-8

ขา	กรณีอินพุต	กรณีเอาต์พุต
PC ₀	INTR _B	INTR _B
PC ₁	IBF _B	$\overline{\text{OBF}}_B$
PC ₂	$\overline{\text{STB}}_B$	$\overline{\text{ACK}}_B$
PC ₃	INTR _A	INTR _A
PC ₄	$\overline{\text{STB}}_A$	I/O
PC ₅	IBF _A	I/O
PC ₆	I/O	$\overline{\text{ACK}}_A$
PC ₇	I/O	$\overline{\text{OBF}}_A$

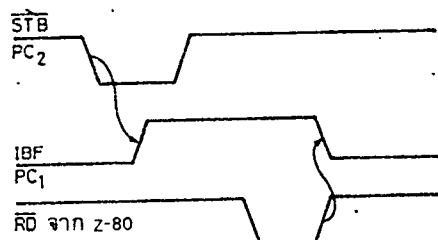
รูปที่ 3-8 หน้าที่ของสัญญาณต่างๆ ของพอร์ต C ในการทำงาน

เป็นตัวตรวจสอบสัญญาณเมื่อ 8255 ทำงานในโหมด 1

โดยปกติ 8255 จะให้สัญญาณอินเทอร์รัพต์ไปบอก CPU ด้วยสัญญาณของ 8255 จะเกิดขึ้นที่ PC₀ และ PC₃ โดยที่เมื่อบัพเฟอร์พร้อมแล้วและต้องการให้ CPU ส่งอินพุตหรือเอาต์พุตมาที่บัพเฟอร์ สัญญาณอินเทอร์รัพต์ก็เกิดขึ้น โครงสร้างการตรวจสอบสัญญาณของ 8255 แสดงด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3-9



(ก) เมื่อเป็นพอร์ตเอาต์พุต



(ข) เมื่อเป็นพอร์ตอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3-9 แผนผังเวลาการรับและส่งข้อมูลโดยใช้ตัวตรวจสอบสัญญาณ

สังเกตว่าการทำงานของ 8255 จะเกี่ยวข้องกับสัญญาณ RD และ WR ซึ่งจะทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไป การตรวจสอบสัญญาณซึ่งกันและกันนี้เป็นวิธีการรับส่งที่มีประสิทธิภาพ ในการที่จะโปรแกรมโหมด 1 นี้เราจะใช้รหัสควบคุมเป็น $101(1/0) 01(1/0)0$ ในส่วน $1/0$ หมายถึงถ้าเป็นอินพุตก็คือ "1" ถ้าเป็นเอาพุตก็คือ "0" โดย $1/0$ ตัวแรกเป็นของพอร์ต A ตัวที่ 2 เป็นของพอร์ต B เช่น ถ้าต้องการให้พอร์ต A เป็นเอาพุต และพอร์ต B เป็นอินพุตเราจะใช้รหัสควบคุมเป็น 10100110 หรือ $A6H$

จากการพิจารณาการทำงาน of CPU จะเห็นว่าทำอย่างไรจึงจะเขียนหรืออ่านพอร์ตได้อย่างถูกต้อง วิธีง่ายวิธีหนึ่งคือ CPU จะต้องคอยตรวจสอบสัญญาณของ 8255

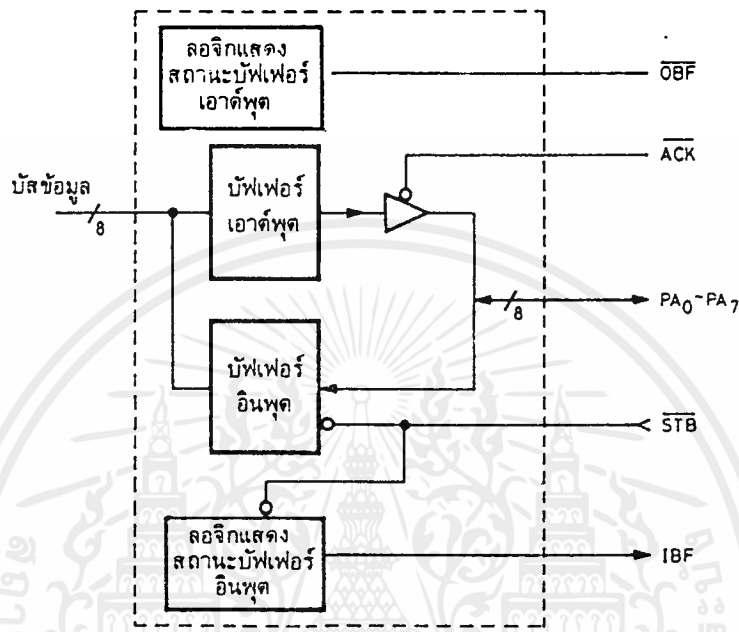
การทำงานของ 8255 ในโหมด 2

8255 ยังมีหมดการทำงานอีกโหมดหนึ่งคือ โหมด 2 ซึ่งทำได้เฉพาะพอร์ต A ในโหมดนี้ 8255 จะใช้ 8255 จะใช้พอร์ต A ทำหน้าที่เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทางคือสามารถเป็นไปได้ทั้งพอร์ตอินพุตและเอาพุต โดยโครงสร้างของพอร์ต A ทั้งอินพุตเอาพุตมีตัวตรวจสอบสัญญาณทั้งคู่ ส่วนพอร์ต C จะทำหน้าที่เป็นสัญญาณตรวจสอบ โดยมีสัญญาณแต่ละขา ดังรูปที่ 3-10

พอร์ต C	ความหมาย
PC ₀	I/O
PC ₁	I/O
PC ₂	I/O
PC ₃	INTR _A
PC ₄	\overline{STB}_A
PC ₅	IBF _A
PC ₆	\overline{ACK}_A
PC ₇	\overline{OBF}_A

รูปที่ 3-10 หน้าที่ของพอร์ต C ในโหมด 2

สังเกตว่าเมื่อโปรแกรมพอร์ต A เป็นโหมด 2 แล้วพอร์ต B จะต้องโปรแกรมเป็นโหมด 0 หรือโหมด 1 ก็ได้ซึ่งก็ทำงานแบบแยกอิสระอีกโหมดหนึ่งซึ่งงานพอร์ตแบบสองทิศทางนี้ใช้ได้กับงานบางประเภท และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑-11 โครงสร้างของพอร์ต A ที่ทำงานแบบพอร์ต 2 ที่ทิศทาง

สังเกตว่า เมื่อโปรแกรมพอร์ต A เป็นโหมด 2 แล้ว พอร์ต B จะต้องโปรแกรมเป็นโหมด 0 หรือโหมด 1 ก็ได้ซึ่งก็ทำงานแบบแยกอิสระอีกในการใช้งานพอร์ตแบบ 2 ที่ทิศทางนี้ใช้ได้กับงานบางประเภท เช่น ใช้ในการรับส่งข้อมูลของพอร์ตมาตรฐานบางประเภท เช่น IEEE 488 หรือใช้เชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ในการรับส่งข้อมูลสลับกันไปและกลับ

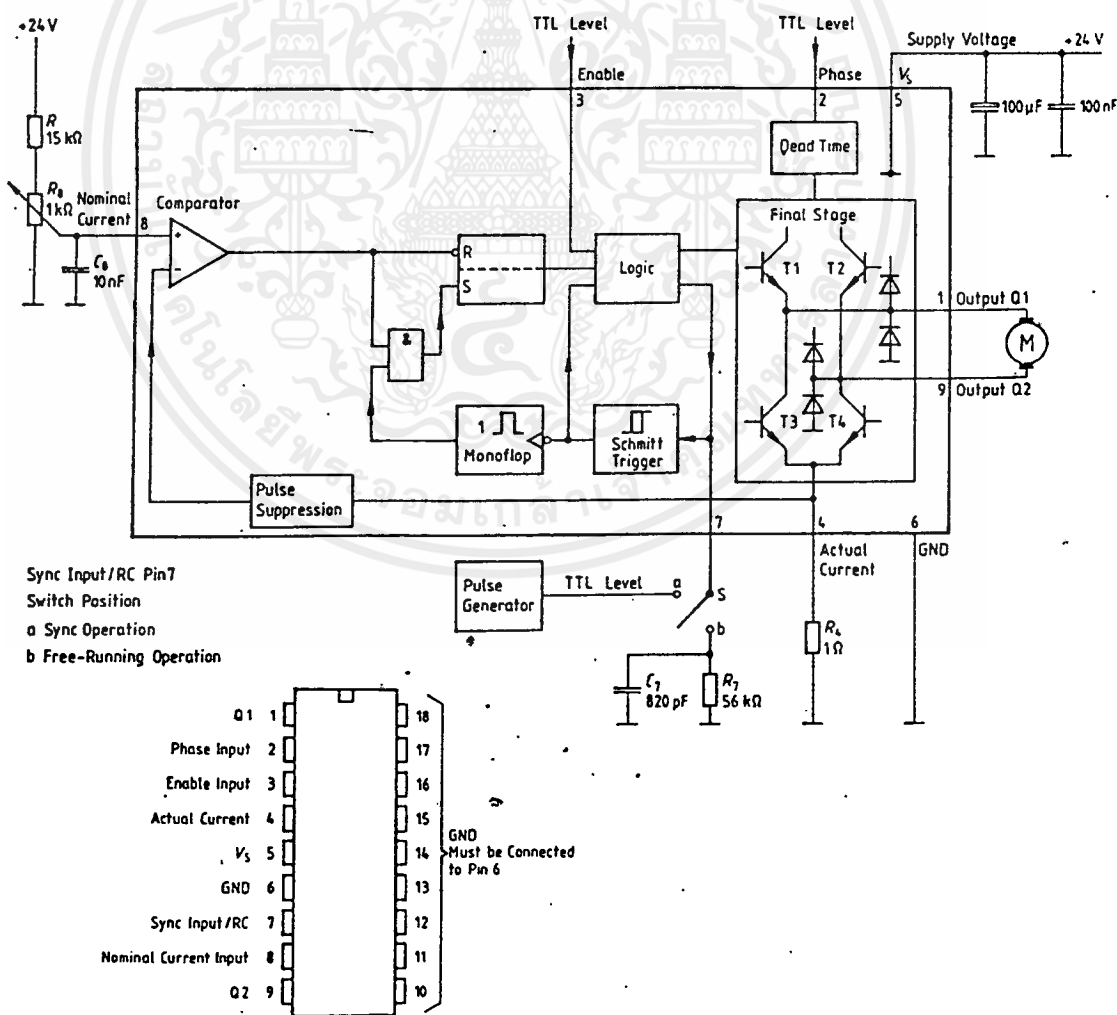
TCA1560B

ไอซีควบคุมมอเตอร์

คุณสมบัติ

คุณสมบัติเด่นที่สำคัญของไอซีเบอร์นี้ได้แก่

- * ให้กระแสเอาต์พุตสูงสุด 1.25 A
- * ย่านแหล่งจ่ายแรงดัน 8 - 40 V (สูงสุด 45 V)
- * แรงดันอินพุตระดับ TTL
- * ใช้ควบคุมมอเตอร์ชนิด 2 ขั้ว 1 เฟสได้โดยตรง
- * ย่านอุณหภูมิใช้งาน -25°C ถึง +85°C
- * สามารถต่อขยายเพิ่มเพื่อควบคุมมอเตอร์ชนิดหลายเฟสได้
- * ใช้ร่วมกับ TCA 1561B ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 3-12 แสดงการจัดขา และแผนผังการทำงานภายในที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ TCA1560B

แผนภูมิแสดงการทำงานของไอซีตัวนี้แสดงดังรูปที่ 3-12 ภายในกรอบสี่เหลี่ยมใหญ่เป็นวงจรภายในจะเห็นว่ามียังจร digital ตั้งเปรียบเทียบ และภาคเอาต์พุต ส่วนนอกกรอบสี่เหลี่ยมใหญ่มีอุปกรณ์ประเภท ตัวความต้านทาน, ตัวเก็บประจุต่ออยู่ภายนอกไม่กี่ตัวเท่านั้น เพื่อคอยควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามต้องการ เราจะมาดูกันเป็นส่วน ๆ

ภาคเอาต์พุต

ภาคเอาต์พุตจัดแบบพหุผลส่งออกทางขา 1 และขา 9 มี free-wheel diode 2 ชุด ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันและกราวด์เพื่อป้องกันแรงดันย้อนกลับจากโหลดแบบอินดักทีฟ

อินพุต

ปกติที่เอาต์พุต Q_1 กับ Q_2 จะยังไม่จ่ายกระแสออกก็ต่อเมื่อ แรงดันอินพุตที่ขาอินพุต (ขา 3) ได้รับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8 V อีกกรณีหนึ่งคือ แหล่งจ่ายกระแสลดลงต่ำสุดถึง 1 mA เหมือนกับทำให้ขา 3 เปิดวงจรก็ให้ผลเช่นเดียวกัน และถ้าขา อินพุตได้รับแรงดันเท่ากับหรือสูงกว่า 2 V ทราานซิสเตอร์ที่ภาคสุดท้าย (final stage) จะนำกระแส

เฟส

ระดับแรงดันที่ขา 2 เป็นตัวกำหนดตำแหน่งมุมเฟสของกระแสเอาต์พุตซึ่งเราสามารถกำหนดได้ เอาต์พุต Q_1 จะแสดงเป็นตัวรับกระแสเข้า (sink) เมื่อแรงดันที่ขา 2 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8 V และจะแสดงเป็นตั้งส่งออกกระแส (source) เมื่อแรงดันที่ขา 2 เท่ากับหรือสูงกว่า 2 V ส่วนเอาต์พุต Q_2 มีลักษณะตรงกันข้ามกับ Q_1 นั่นคือ รับกระแสเข้าเมื่อแรงดันที่ขา 2 เท่ากับหรือสูงกว่า 2 V

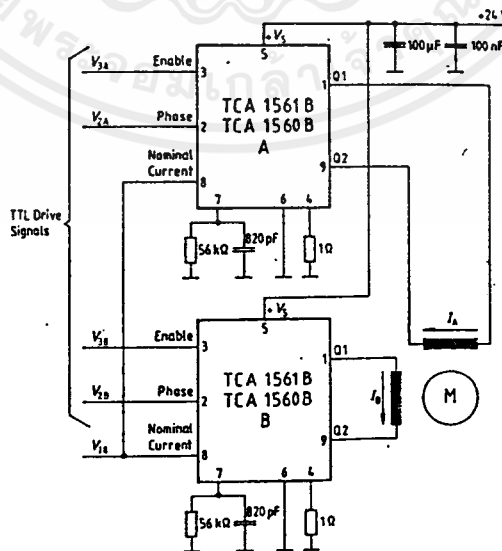
จ่ายกระแสออกเมื่อแรงดันที่ขา 2 สูงกว่าหรือเท่ากับ 0.8 V ในขณะที่เปลี่ยนเฟสอาจจะทำให้เกิดกระแสครอสโอเวอร์ขึ้น วงจรภายในของไอซีจะตัดกระแสส่วนนี้ออกไม่ให้เข้าสู่ตัวไอซีได้

Enable		L	L	H	H
Phase		L	H	L	H
Output	Q1	/	/	L	H
Output	Q2	/	/	H	L
Transistor	T1	X	X	X	-
Transistor	T2	X	X	-	X
Transistor	T3	X	X	-	X
Transistor	T4	X	X	X	-

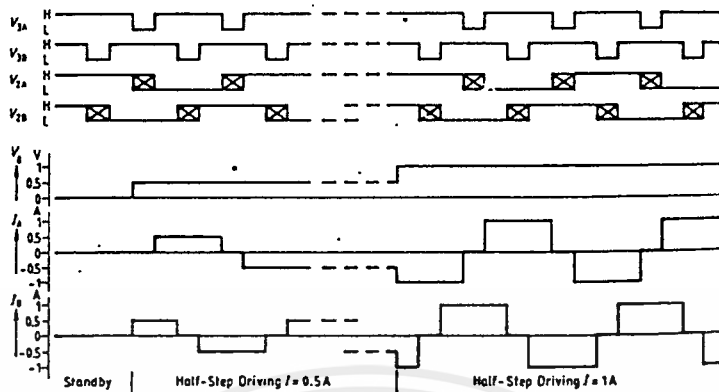
L = Low voltage level, input open
 H = High voltage level
 X = Transistor turned off
 - = Transistor conducting
 .. = Transistor conducting with current limiting turned on
 / = Output high-impedance
 at:
 $V_i > 10 \text{ mV}$
 $R_i > 0 \Omega$

ตารางที่ 1 แสดงระดับลอจิกที่ใช้ควบคุมและเอาพุที่ได้
 กระแสสมมุติ

กระแสสมมุติ (nominal current) เป็นตัวกำหนดกระแสสูงสุดในขดลวดมอเตอร์ สามารถปรับกระแสสมมุติได้โดยปรับแรงดันตกคร่อมขา 8 ไปเปรียบเทียบกับแรงดันตกคร่อมขา 4 ซึ่งเป็นกระแสจริง (actual current) ถ้ากระแสสมมุติมีมากเกินไป (แรงดันขา 8 สูงกว่าขา 4) จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ภาคสุดท้ายหยุดรับกระแสเข้ามาซึ่งถูกควบคุมด้วยวงจร logic อีกที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 3-13 แสดงการต่อ TCA 1560B 2 ตัวที่ใช้ในโครงการ นำไปใช้



รูปที่ 3-14 แสดงแผนภูมิเวลาของการประยุกต์ใช้งานรูปที่ 3-13

ซึ่งอินพุท

การซึ่งโครนัสไอซีเบอร์ร่อนุญาตให้ใช้ได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกใช้วงจรกำเนิดระดับแรงดัน TTL (pulse generator) วิธีที่สองใช้วงจร RC ทั้งสองวิธีนี้ป้อนสัญญาณเข้าขา ซึ่งอินพุท (ขา 2) โดยผ่านสวิตช์ว่าจะเลือกวิธีไหน

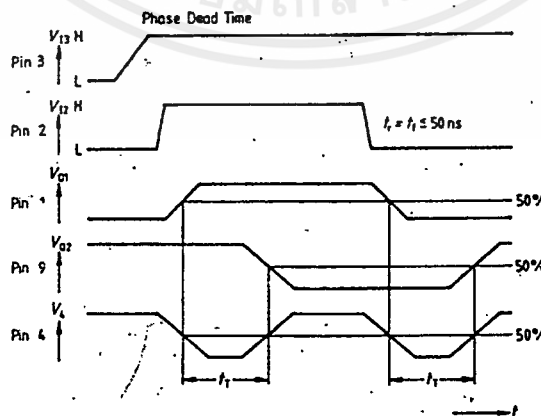
ในโครงงานนี้ใช้วิธีที่สอง free-running โดยใช้ C_7 กับ R_7 ต่อร่วมกันเป็นวงจร RC ทำหน้าที่นี้ อธิบายพอเข้าใจได้ว่าหลังจากป้อนแหล่งจ่ายแรงดันให้ตัวไอซีแล้ว C_7 จะทำการประจุแรงดันไว้วราว ๆ 2.4 V ในขณะที่กระแสที่ขดลวดมอเตอร์จะเพิ่มขึ้น แรงดันที่ขา 4 ก็เช่นกัน เมื่อกระแสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสูงเกินกว่ากระแสสมมุติที่เรากำหนดไว้แต่แรกที่ขา 8 แล้วตัวเปรียบเทียบจะให้เอาต์พุทไป รีเซต RS F/F วงจร logic ทำงานไปทำให้ทรานซิสเตอร์ T_3 กับ T_4 หยุดนำกระแส C_7 จะหยุดการเก็บประจุและคายประจุผ่านทาง R_7 ทรานซิสเตอร์ T_3 กับ T_4 จะหยุดนำกระแสแทนเท่าใดขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงที่ของ C_7 กับ R_7 (time constant = $R_7 C_7$) หลังจากผ่านช่วงต่ำกว่าจุดทริกเกอร์เทรลโวลแล้ว ซีมิคอนดักเตอร์จะส่งเอาต์พุทช่วงขอบขาลงไปกระตุ้นโมโนสเตเบิลให้ทำงาน และทำให้แรงดันที่ขา 4 ลดลงต่ำกว่าแรงดันที่ขา 8 (เนื่องจากเพิ่งผ่านช่วงเทรลโวลมา) RS F/F จึงถูกรีเซ็ต วงจร logic จึงไปควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ T_3 และ T_4 นำกระแส C_7 เริ่มเก็บประจุใหม่อีกครั้ง ถ้าแรงดันขา 4 ขึ้นสูงเกินกว่าแรงดันขา 8 ทรานซิสเตอร์ T_3 กับ T_4 จะหยุดนำกระแสอีก เราไม่สามารถทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้อีกครั้งหากแรงดันคายประจุของ C_7 ยังไม่ถึงต่ำกว่าจุดทริกเกอร์เทรล

โวลต์ช่วงเวลาคายประจุของ C_T หาได้จากฟังก์ชันของ R_T กับ C_T

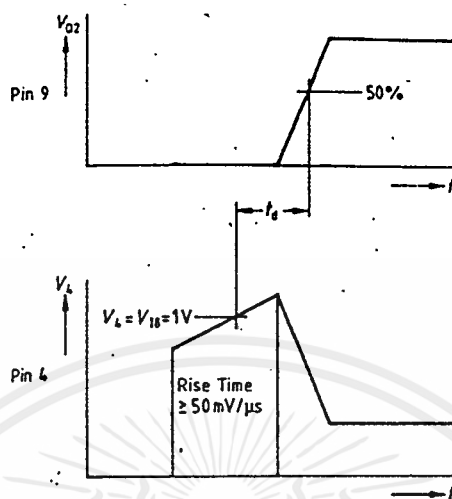
สรุปได้ว่า ฟรีรันนิ่ง คือการทำงานอย่างอิสระโดยอาศัยการประจุและคายประจุของวงจร RC (R_T, C_T) ไม่สามารถปรับค่าเวลาได้ถ้าต้องการปรับต้องเปลี่ยนค่าของ C_T, R_T เท่านั้นส่วนวิธีใช้วงจรกำเนิด pulse ตัววงจรอาจเป็นแบบปรับคาบเวลาได้ด้วยก็ได้

พารามิเตอร์	ต่ำสุด	สูงสุด	หน่วย	หมายเหตุ
ความถี่จิ้งก	1	100	กิโลเฮิรตซ์	
แรงดันอินพุตลอจิก H	2	-	โวลต์	
แรงดันอินพุตลอจิก L	-	0.8	โวลต์	
กระแสอินพุตลอจิก H	-	50-100	ไมโครแอมป์	
กระแสอินพุตลอจิก L	-	100	ไมโครแอมป์	
เวลาขึ้นและลงของพัลส์อินพุตและจิ้งกอินพุต	-	2	ไมโครวินาที	
เวลาหน่วงปิด	-	2-3	ไมโครวินาที	รูปที่ 8
trigger threshold (ขา 7)	-	0.6-0.8	โวลต์	รูปที่ 6
คาบเวลาปิด	-	64	ไมโครวินาที	รูปที่ 7
เวลาการประจุของ C_T	2.2	2.4	โวลต์	
phase dead time	0.1	1.0	ไมโครวินาที	รูปที่ 5

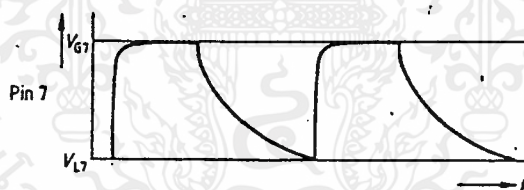
ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติหลักย่อยที่สำคัญของไอซี TCA 1560B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 8-15 รูปร่างสัญญาณของ phase dead time ที่เอาพุททั้งสองขา

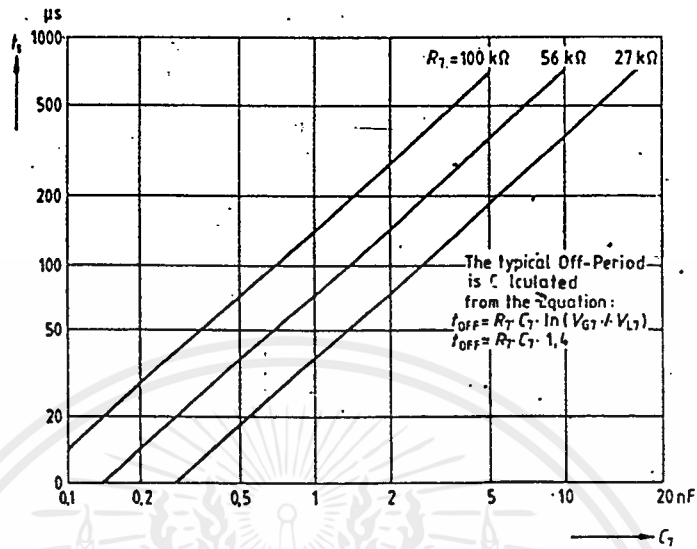


รูปที่ 3-15 turn-off delay ของตัวไอซีให้นานสุด 3 ไมโครวินาที



รูปที่ 3-17 ลักษณะสัญญาณทรiggerเทรซโวลเมื่อมีการป้อนสัญญาณซึ่งค
ภาคกำลังพัลส์

การกำจัดพัลส์ (pulse suppression) หรือจะพูดให้เข้าใจง่ายขึ้นได้ว่าการกำจัดสิ่งรบกวนที่ไม่พึงประสงค์อื่นจะทำให้ชิพไอซีทำงานผิดพลาดได้วงจรนี้กำจัดพัลส์บวกที่มีคาบเวลาดั้งแต่ 0.5 μ s ขึ้นไปสาเหตุที่จะทำให้อาณัติทำงานเช่นเกิดจากกระแสครอสโอเวอร์ขณะเฟสกำลังเปลี่ยนการทำงานจะกระทำผ่านฟรีเวลล์ไดโอด แรงดันขา 4 สูงเกินกว่าที่ยอมรับได้ เป็นต้น ระยะเวลาที่นานที่สุดที่ภาคกำจัดพัลส์จะสามารถหลีกเลี่ยงกระแสครอสโอเวอร์ได้มีค่าเท่ากับเวลาคืนตัวย้อนกลับ (reverse recovery time) ของฟรีเวร์ไดโอด เราสามารถควบคุม TCA 1550B ได้ด้วยการป้อนระดับลอจิกเข้าที่ขาเฟสและขาอินพุตตามตารางที่ 1 ใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-18 คาบเวลาเปิดของเอาพุททรานซิสเตอร์จะให้นานเท่าไรดูจากกราฟได้ การประยุกต์ใช้งาน

TCA 1560B 1 ตัวสามารถควบคุมสเตปป์มอเตอร์ชนิด 1 เฟสได้ 1 ตัว แต่ถ้าเรามีสเตปป์มอเตอร์ชนิด 2 เฟส, 3 เฟส, 4 เฟส ก็สามารถต่อไอซีเบอร์นี้เพิ่มตามจำนวนเฟสของมอเตอร์เพื่อให้สามารถควบคุมเฟสทุกเฟสได้ รูปที่ 3-14 แสดงแผนภูมิเวลาของการประยุกต์ใช้งานจะเห็นได้ว่าเราสามารถควบคุมสเตปป์มอเตอร์ได้ง่ายมากด้วยการป้อนขบวนพัลส์ที่มีระดับลอจิกต่างกัน เข้าที่ขาอินพุตและขาเฟสถึงขั้นควบคุมทีละครั้งสเตปป์ได้ ยังมีคุณสมบัติที่ปรักยอ่ยสำคัญควรคำนึงถึงแสดงให้เห็นไว้แล้วในตารางที่ 2 รูปที่ 3-15 ช่วงเวลานี้อยู่ในช่วงแรงดันขาขึ้นของขา 1 แรงดันขาลงของขา 9 และช่วงเปลี่ยนแรงดันของขา 4 ระดับทรานซิสเตอร์ทรานซิสโตร์ในรูปที่ 3-18 ควรนำมาพิจารณาพร้อมกับคาบเวลาปิด (off period) ของรูปที่ 3-18 เพราะสองอย่างนี้จะต้องสัมพันธ์โดยใช้ตัวเก็บประจุ C_T กับตัวความต้านทาน R_T เป็นสิ่งพิจารณาส่วนค่าเวลาหน่วงปิด (turn-off delay: t_{off}) จะต้องไม่เกิน 3 μ s ดังแสดงในรูปที่ 3-18 เมื่อโหลดเป็นมอเตอร์สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างคือ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่า 150°C ภาคสุดท้ายของชิพไอซีจะหยุดทำงาน แต่จะทำงานใหม่เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 130°C

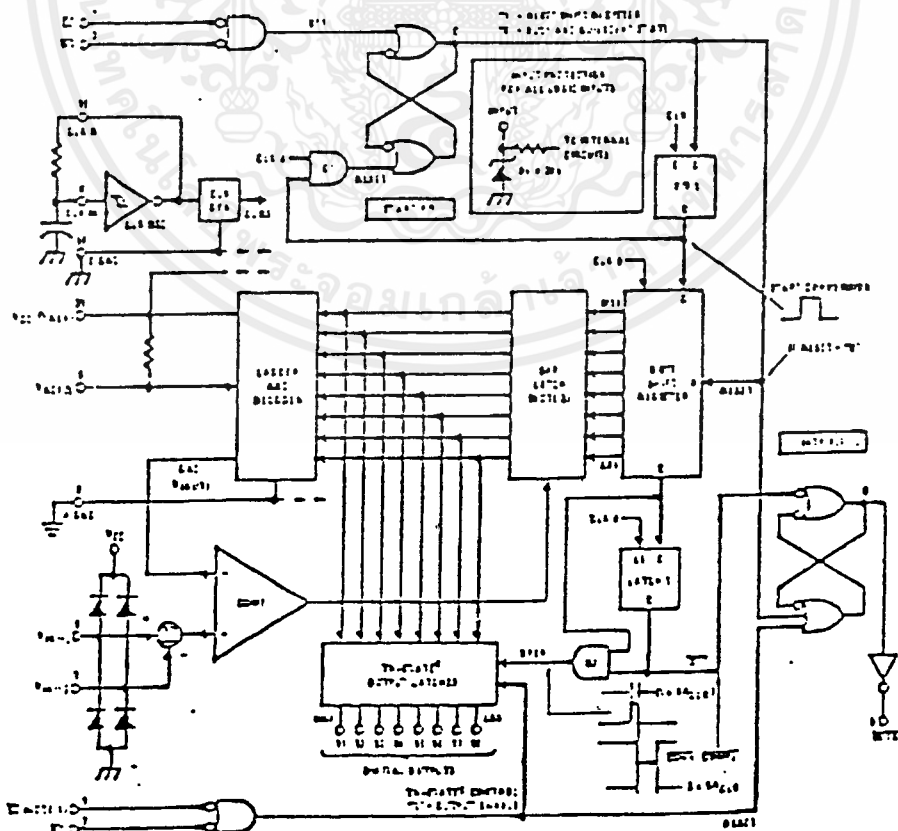
ADC

Analog to Digital ADC 0804

IC ADC 0804 เป็น IC ประเภท CMOS ซึ่งอาศัยหลักการทำงานของ successive approximation ในการแปลงสัญญาณ analog เป็นสัญญาณ digital มีขนาดสัญญาณ digital ทางเอาต์พุต 8 bit และ ADC 0804 นั้นสามารถที่จะต่อเข้ากับ CPU ได้อีกหลายเบอร์ได้โดยตรงแต่ในการใช้งานกับ CPU เบอร์ต่างๆ ที่มีขนาด data มากกว่า 8 bit เราจะใช้ 8255 หรือ IC เบอร์อื่นในการ interface อีกครั้ง

ลักษณะที่สำคัญ

- สัญญาณอินพุตเป็นแบบ Differential Analog
- อุปกรณ์ทางอินพุตและเอาต์พุตจะเป็นแบบ MOS หรือ TTL ก็ได้
- ทำงานที่ 2.5 V
- มี Clock Generator อยู่ในตัว
- no zero adjust required

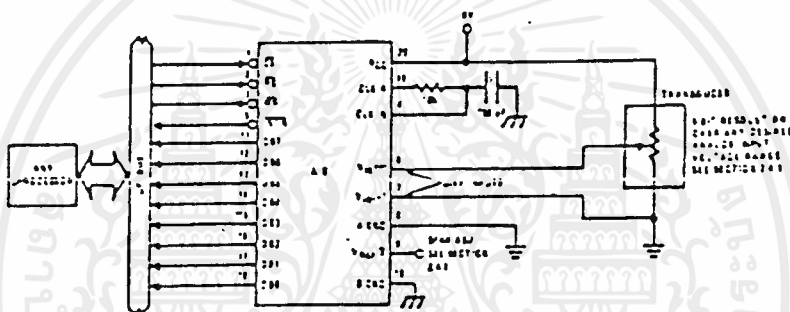


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3-19 BLOCK DIAGRAM ของ ADC 0804 นี้ที่มีการนำไปใช้

Key Specification

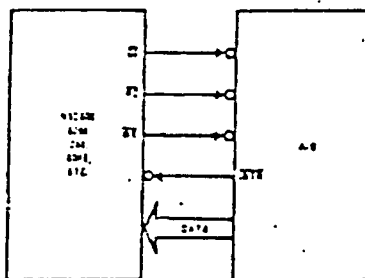
- ขนาดสัญญาณ digital ทาง output 8 bit
- Total error 1/4 LSB , 1/2 LSB , 1 LSB
- เวลาในการ conversion 100 μ S

Typical Applications

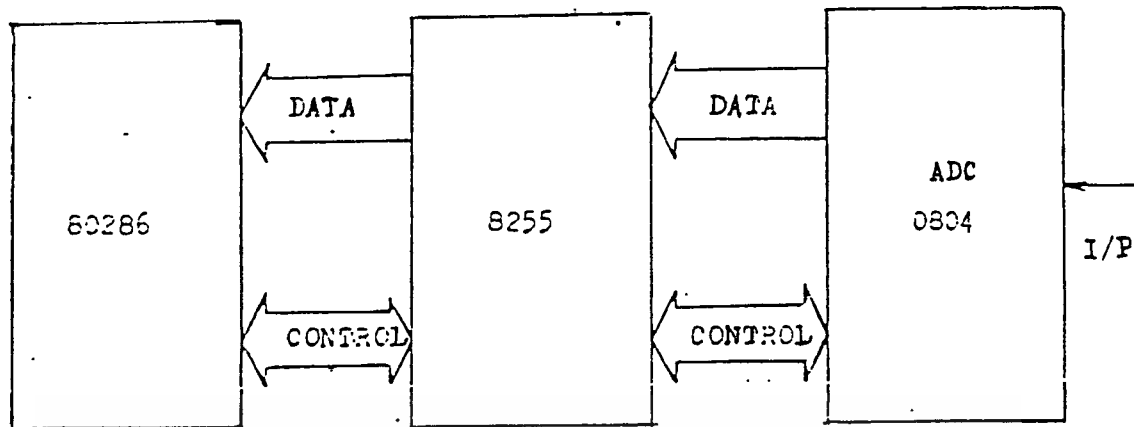


รูปที่ 3-20 การประยุกต์ใช้งาน ADC 0804

SC60 Interface



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3-21 การอินเตอร์เฟส ADC 0804 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



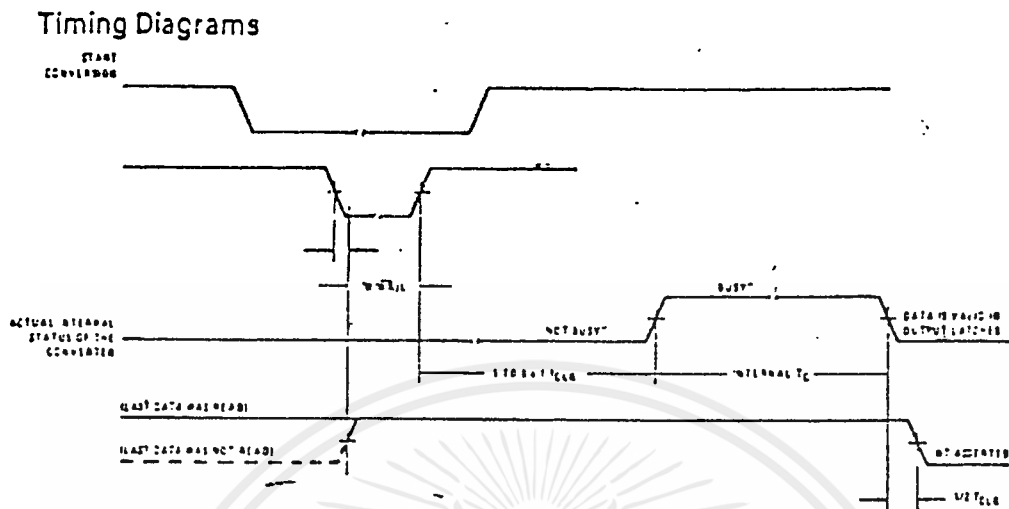
รูปที่ 3-22 การอินเตอร์เฟส ADC 0804

จากรูปจะเห็นว่า ขาสัญญาณ data $D_{20} - D_{27}$ ต่อเข้าโดยตรงกับขาสัญญาณ data ของ $B_0 - B_7$ ของ 8255 ซึ่งเรากำหนดให้ port B ของ 8255 เป็นอินพุต port ซึ่งรับสัญญาณจาก ADC 0804 ขา C_0 ต่อเข้ากับขา RD ของ ADC 0804 เพื่อจะทำหน้าที่บอกให้ ADC 0804 ทราบว่าต่อวงจรที่จะอ่านข้อมูลที่เปลี่ยนสัญญาณ digital เข้ามาเก็บไว้ใน 8255 ขา C_1 ต่อกับ WR ของ ADC 0804 เพื่ออนุญาตให้ ADC 0804 รับสัญญาณจาก S-meter ซึ่งเป็นสัญญาณ analog มาเป็นขบวนการ conversion เป็น digital ขา C_2 ต่อเข้ากับขา INTR ของ ADC 0804 เพื่อที่จะบอกให้ 8255 ทราบว่าขบวนการ conversion ได้เสร็จเรียบร้อยแล้ว หรือเพื่อบอกถึงว่า ADC 0804 พร้อมที่จะติดต่อกับ 8255 แล้ว

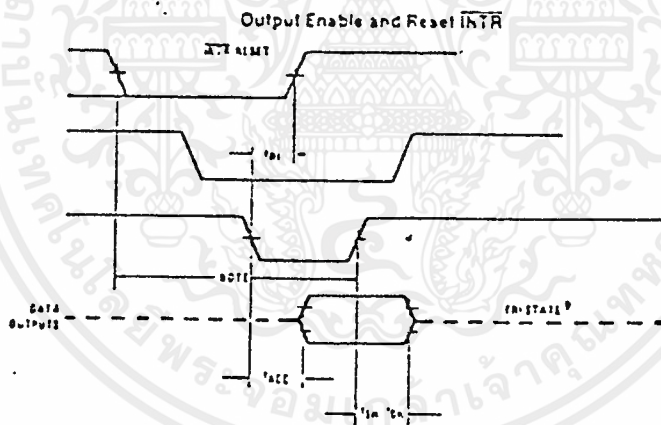
ขบวนการ conversion

จาก Timing Diagram ในรูปที่ 3-23 ของ ADC 0804 จะเห็นว่าเมื่อขาสัญญาณ CS Active ซึ่งหมายถึงว่าขณะนี้ ADC 0804 ได้รับสัญญาณการติดต่อกับ Computer ทำหน้าที่ใดหน้าที่หนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับคำสั่งของ computer แล้วจากนั้นสัญญาณ WR จะ active ขึ้นซึ่ง computer ต้องการให้ ADC 0804 ตัวนี้กระทำขบวนการ conversion สัญญาณ analog ที่รับเข้ามาทาง อินพุตเพื่อให้เป็นสัญญาณ digital สัญญาณ digital ที่ได้จากขบวนการนี้ ยังถูกเก็บอยู่ใน ADC 0804 ต่อมาชั่วระยะเวลาหนึ่ง สัญญาณ INTR ก็ได้ active เพื่อแสดงให้เห็นว่าขณะนี้ ADC 0804 ได้กระทำการ conversion ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว และรอรับคำสั่งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 Timing Diagram



รูปที่ 9-23 Timing Diagram

ขบวนการ Read Data จาก ADC 0804

เมื่อสัญญาณ INTR ของ ADC 0804 active ขึ้นนั้นก็หมายถึง ADC 0804 พร้อมที่จะติดต่อกับ 8255 หลังจากนั้น 8255 ก็ส่งสัญญาณ CS ให้เพื่อบอกว่า 8255 พร้อมที่จะติดต่อกับ นั้นก็หมายความว่า 8255 ได้ read สัญญาณ digital เข้าเก็บไว้ใน 8255 แล้ว ดังนั้น RD ก็จะมี active หรือเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่ง data ก็ถูกส่งจาก ADC 0804 ไปยัง 8255 ทั้งนี้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การสร้าง Hardware

หลังจากที่ได้ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาประกอบเป็นโครงงานมาแล้วเราจะมาทำการสร้างโดยแบ่งการสร้าง hardware เป็น 3 ส่วน คือ

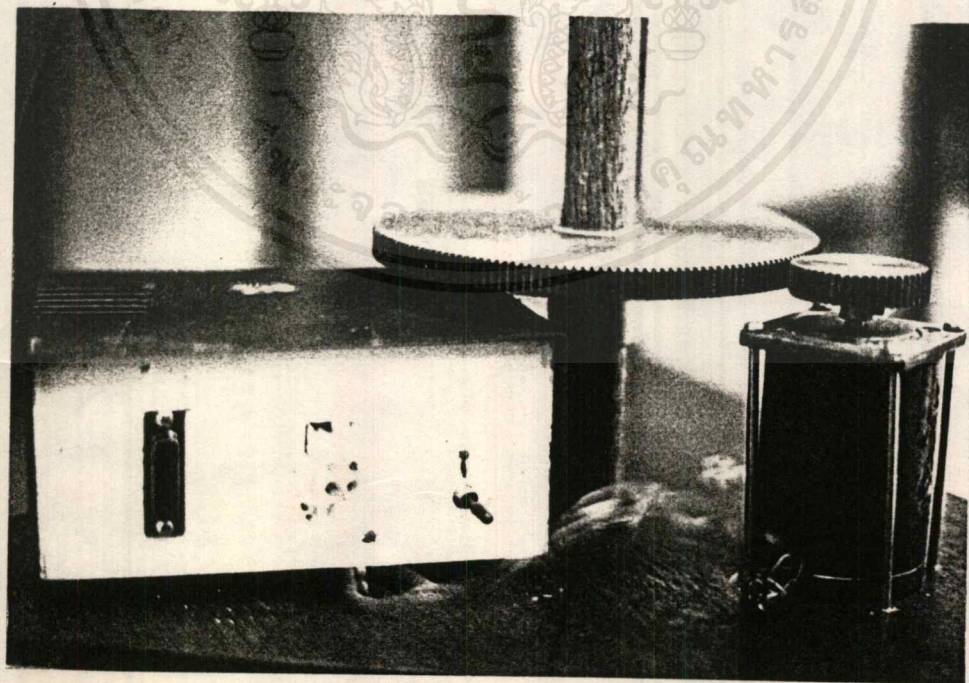
1. ชุดเฟืองและแท่นหมุน
2. ชุดขับ stepping motor และวงจร supply
3. การ์ด Interface และวงจร A/D

ส่วนที่ 1 ชุดเฟืองและแท่นหมุน

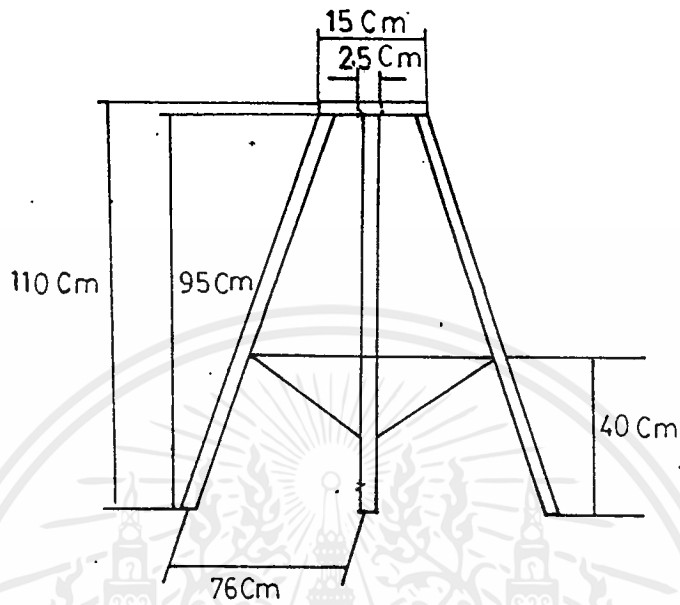
ได้ออกแบบเฟืองเพลลา = 180 ฟัน

เฟือง stepping motor = 50 ฟัน

ตั้งจะเห็นตามรูปที่ 4-1 ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีรูปที่ 4-1 ชุดขนาดเฟืองของทั้งสองเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

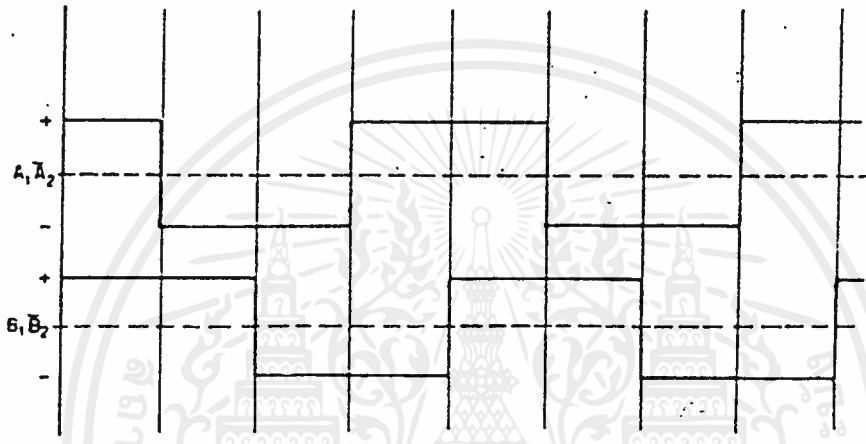


- ขนาดของแท่นชกขั้วไฟ

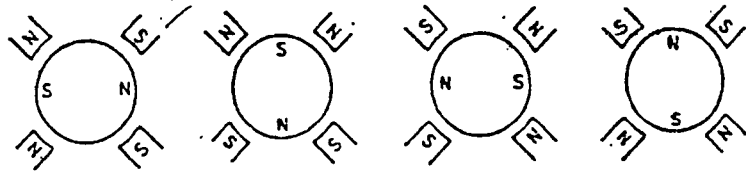
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 ชุดรับ *stepping motor* และวงจร *power supply*

มอเตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบไบโพลาร์และจัดการขับแบบ ฟูลสเตปซึ่งจะทำให้มีค่า ทอร์คสูงโดยตารางสัญญาณการขับจะเป็นดังรูปที่ 4-3

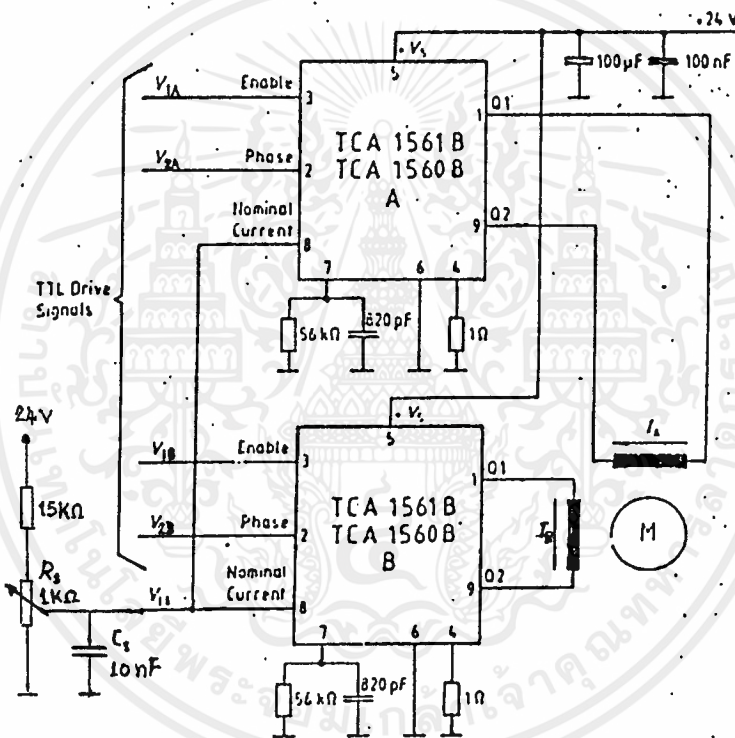


รูปที่ 4-3 สัญญาณการขับ *stepping motor* แบบไบโพลาร์ฟูลสเตป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4-4 แสดงการหมุนของการแบบไบโพลาร์ ฟูลสเตปที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4-4 แสดงการหมุนของ stepping motor จากการหมุนจะเห็นว่าเราต้องใช้ 4 ช่วงสัญญาณจึงจะครบ ซึ่งต้องป้อนสัญญาณดังรูปที่ 4-3 ช่วง 1-4 แก่ขดลวดใน motor ทั้งสองขดเป็นการขับกระแสแบบสองทิศทางซึ่งวงจรที่ใช้เราจะใช้ IC เบอร์ TCA 1560B ในเบกที่ 3 ซึ่งสามารถรับกระแสได้ตัวเลข 1.25 A ที่เราไม่ใช้ไอซีเบอร์ TCA 1561B ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 2.5 A เป็นเพราะไม่มีขายในประเทศไทย การจัดวงจรสำหรับขับ motor จะจัดดังรูปที่ 4-5 โดยมี VR ค่า 1K ที่ต่อขา 8 เป็นตัวควบคุมกระแสที่ไหลในขดลวดของ stepping motor ทั้งสองขดพร้อมกัน



รูปที่ 4-5 วงจรที่ใช้ขับ stepping motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Logic Table

Enable		L	L	H	H
Phase		L	H	L	H
Output	Q1	/	/	L	H
Output	Q2	/	/	H	L
Transistor	T1	X	X	X	.
Transistor	T2	X	X	.	X
Transistor	T3	X	X	..	X
Transistor	T4	X	X	X	..

at:
 $V_i > 10 \text{ mV}$
 $R_i > 0 \Omega$

- L = Low voltage level, input open
- H = High voltage level
- X = Transistor turned off
- .
- .. = Transistor conducting
- .. = Transistor conducting with current limiting turned on
- / = Output high-impedance

รูปที่ 4-6 ตารางการป้อนสัญญาณขับ stepping motor

จากตารางสัญญาณควบคุม เราจะป้อน logic เข้าที่ขา 2,3 ของไอซีทั้งสองพร้อมกันให้ขับกระแสแบบพัลสตามรูปที่ 4-3 ขาสัญญาณที่ใช้ป้อนก็จะมีอยู่ 4 สายเราจะใช้รหัสควบคุมดังรูปที่ 4-7 คือ (ดูรูปที่ 4-5, 4-6 ประกอบ)

ขดที่ 1 ขดที่ 2 IC_A IC_B

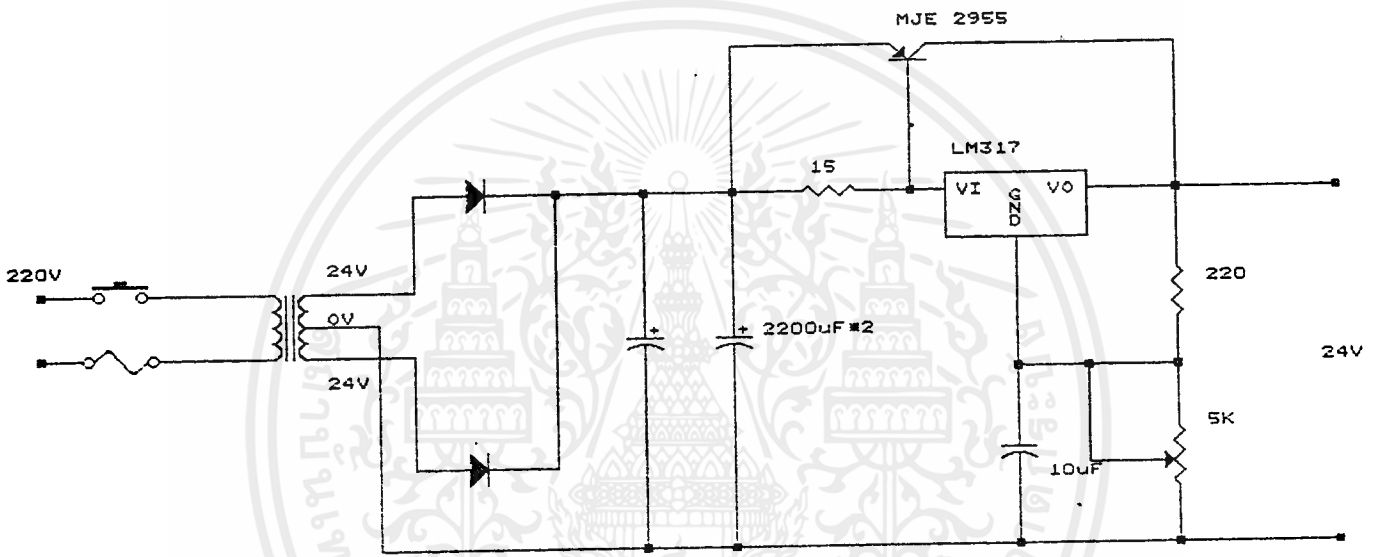
	Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂	E _A	P _B	E _A	P _B
1	H	L	H	L	H	H	H	H
2	L	H	H	L	H	L	H	H
3	L	H	L	H	H	L	H	L
4	H	L	L	H	H	H	H	L

รูปที่ 4-7 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ อินพุตและ เอาพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-7 ในช่วงของ ขา enable, phase ของ ไอซีทั้งสองตัว
 เราก็จะนำมาเป็นรหัสควบคุมโดยการป้อนจาก คอมพิวเตอร์จะได้รหัสฐาน 16 ดังนี้คือ
 ช่วง 1 = 1111₂ = OFH , ช่วง 2 = 1011₂ = OBH , ช่วง 3 = 1010₂ = OAH ,
 ช่วง 4 = 1110₂ = OEH ถ้าต้องการให้หมุนกลับด้านก็กลับรหัสค่าช่วง 2 กับ ช่วง
 4 กันก็จะทำให้ motor หมุนกลับด้านไปอีกทางหนึ่ง

ในส่วนของวงจร power supply ที่จะใช้ในวงจรรูปที่ 4-5 จะแสดง
 ดังรูปที่ 4-7



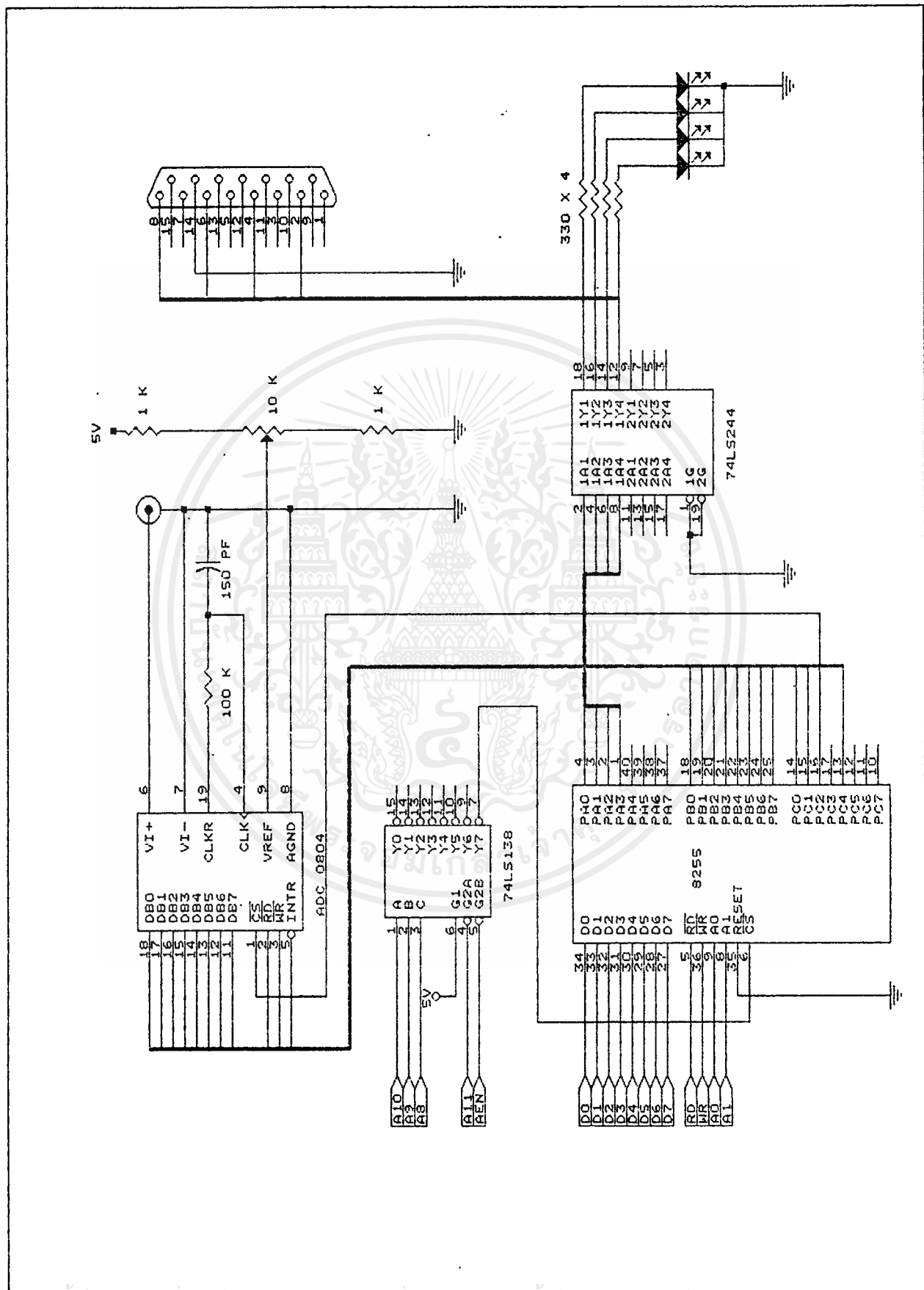
รูปที่ 4-7 แสดงวงจร power supply

จากรูปเป็นวงจรฟูลเวฟเร็คตีไฟโดยใช้ไอซี LM 317 เป็นไอซีเร็คกูเลเตอร์
 มี R ค่า 220 โอห์มและ VR ค่า 5 K เป็นตัวคอยควบคุมแรงดันเอาพุทโดยสามารถปรับค่า
 แรงดันเอาพุทสูงสุดถึง 29 V โดยคำนวณได้จากสูตร

$$V_{out} = 1.25 [1 + (VR_1 / R_1)]$$

มีทรานซิสเตอร์เบอร์ MJE 2955 เป็นตัวช่วยในการจ่ายกระแสกับ ไอซี LM
 317 โดยถ้ามีค่ากระแสไหลเกิน 40 mA จะไหลผ่านทรานซิสเตอร์แทนโดยให้ค่ากระแสที่
 ไหลผ่านไอซีสูงสุดจากสมการ $I_{max} = 0.6 / R_2$ ไอซี LM 317 สามารถจ่ายกระแส
 สูงสุดได้ถึง 1.5 A แต่ในวงจรนี้ออกแบบให้กระแสไหลสูงสุดแค่ 40 mA ส่วนที่เหลือจะ
 ไหลผ่านทรานซิสเตอร์แทน

ส่วนที่ 3 การ์ด interface และวงจร A/D

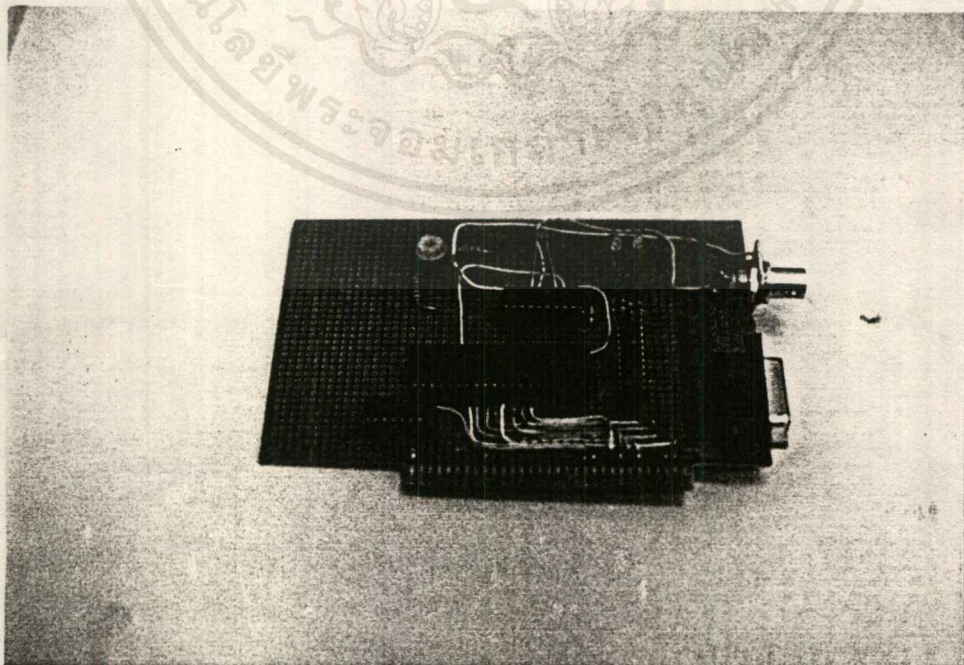


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร interface ประกอบด้วย 74LS138 และ 8255 ซึ่งจะต่อ address bus และ data bus จาก คอมพิวเตอร์ โดยค่าที่ส่งมายัง address bus ที่ทำให้การ์ดนี้ทำงานลักษณะต่างๆ ดังนี้

- 0 x 700 คือ set ให้ port A ของ 8255 ทำงาน
- 0 x 701 คือ set ให้ port B ของ 8255 ทำงาน
- 0 x 702 คือ set ให้ port C ของ 8255 ทำงาน
- 0 x 703 คือ รหัส control port set mode ของ 8255

โดยรูปที่ 4-8 วงจรจะใช้ port B ของ 8255 ทำงานในลักษณะ inport โดยรับสัญญาณ digital ที่แปลงจาก A/D เก็บไว้รอ cpu รับเข้าไปคำนวณ ส่วน port A จะให้ทำงานเป็น outport เพื่อนำสัญญาณ digital ไป control stepping motor โดยมี 74LS244 เป็น buffer ซึ่งสามารถตรวจสอบสัญญาณ control stepping motor ได้จาก LED ในส่วน port C จะใช้ในการ control READ และ WRITE ของ ไอซี A/D รวมถึงการรับสัญญาณที่บอกว่า A/D แปลงสัญญาณจาก analog เป็น digital เสร็จแล้วคือ ขา Intr ของ ไอซี A/D ส่วนของ วงจร A/D สามารถปรับโวลเตจอ้างอิงที่ VR 10 K เพื่อให้สามารถรับสัญญาณ analog ที่แรงที่สุดของ field strength meter ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 4-8 นี้แสดงการ์ด interface เมื่อประกอบเสร็จ

การทดลองและผลการทดลองวัดคุณสมบัติ
การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

จุดประสงค์ วัด PATTERN ของสายอากาศชนิดต่าง ๆ

ย่านความถี่ที่ทดสอบ 370 , 470 MH_z

อุปกรณ์

- 1 เครื่องส่ง HEWLETT PACKARD รุ่น 8640 M
- 2 FIELD STRENGTH METER
- 3 สาย TRANSMISSION LINE , CONNECTOR
- 4 CARD INTERFACE , A/D
- 5 ชุดขับ STEPPING MOTOR , แทนหมุนสายอากาศ
- 6 MICRO COMPUTER
- 7 PRINTER

ลำดับขั้นการทดลอง

เนื่องจากการทดลองนี้ เป็นการวัดสายอากาศแบบ FAR FIELD จึงให้ระยะห่างระหว่าง สายอากาศส่งและสายอากาศรับ มีระยะ $R > 2D^2/\lambda$

R คือ ระยะห่างระหว่างปลายสายอากาศส่งถึงสายอากาศรับ

D คือ มิติใหญ่สุดของสายอากาศ

λ คือ ความยาวคลื่น

ขนาดของ D และ λ จะเปลี่ยนไปตามที่ใช้ ดังนี้

ชนิดของสายอากาศ	D	ความถี่ที่ใช้	λ	R
CORNER	1 m	470 MH _z	0.639 m	3 m
DIPOLE	30 m	370 MH _z	0.8 m	0.22m
YAGI-13E	1.5 m	370 MH _z	0.8 m	5.5 m
STUB DIPOLE	25 m	440 MH _z	0.68 m	0.19 m

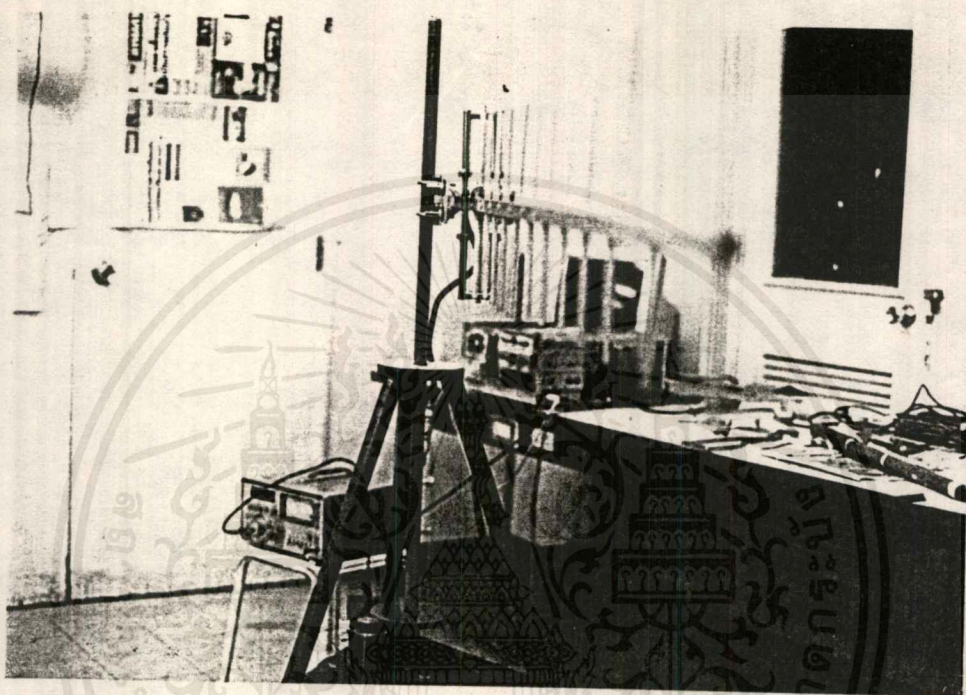
1. ติดตั้ง CARD INTERFACE ลงบน COMPUTER

2. ต่ออุปกรณ์ภาคส่ง ซึ่งประกอบด้วย สายอากาศส่ง, สายส่ง, เครื่องส่ง เข้าด้วยกันดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ต่ออุปกรณ์ภาครับ ซึ่งประกอบด้วย สายอากาศรับ, เครื่องรับ, สายส่ง, ไปแทนหมอน

สายอากาศ , และชุดขับ STEPPING MOTOR ดังรูป 1.



รูปที่ 1 อุปกรณ์ภาครับ

4. ต่อสายรับสัญญาณจาก OUTPUT ของ FSM เข้ากับ INPUT ของ

CARD INTERFACE

5. ต่อสายควบคุมจาก CARD INTERFACE ไปยังชุดขับ STEPPING MOTOR

6. เปิดเครื่องส่งและ FSM หมุนสายอากาศส่งและรับให้ตรงกัน และปรับความแรง

ของสัญญาณที่ FSM โดยใช้ METER วัดให้ได้ที่ 1 VOLT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ เปิดเครื่องที่ COMPUTER และ BOOT DOS ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๘. ใส่แผ่น PROJECT ลงไปยัง DRIVE ที่ต้องการใช้

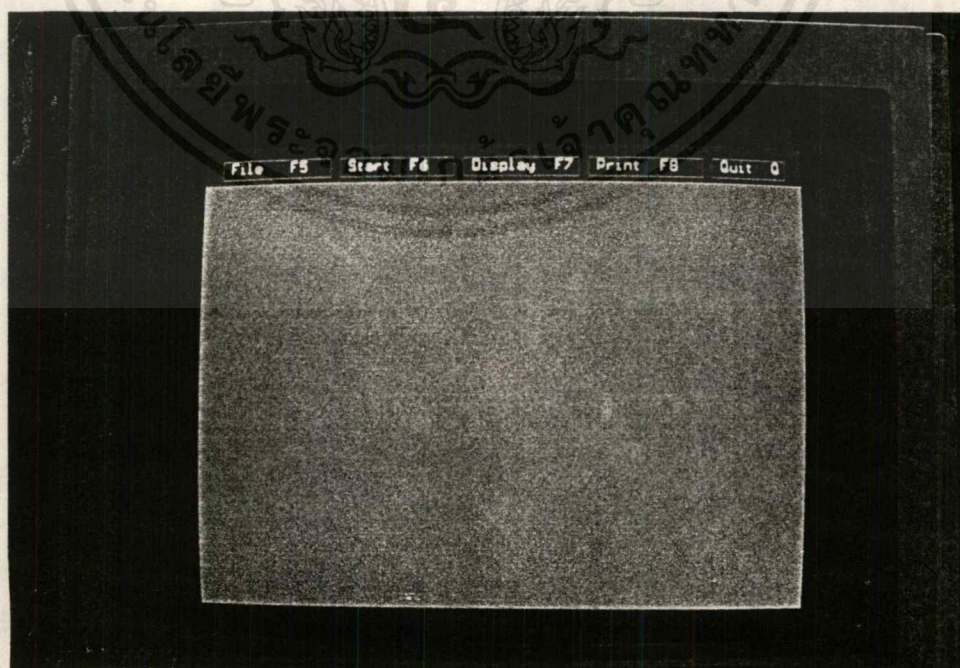
๙. เรียก PROGRAM จาก FILE ชื่อ PROJECT.EXE

การใช้งาน SOFTWARE

ในส่วนของ SOFTWARE ก็คือ PROGRAM PROJECT.EXE สามารถนำไปใช้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- เปิดเครื่อง
- BOOT DOS เข้าเครื่อง
- เรียก FILE PROJECT

เมื่อเรียก FILE PROJECT แล้ว จะปรากฏเมนูหลักขึ้นบนจอภาพ ซึ่งเมนูหลักจะประกอบด้วย BLOCK ที่จะใช้งานตามดังรูปที่ ๒.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ๒
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK FILE จะทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการ SAVE FILE, LOAD FILE, CLEAR ข้อมูลเดิมในหน่วยความจำ

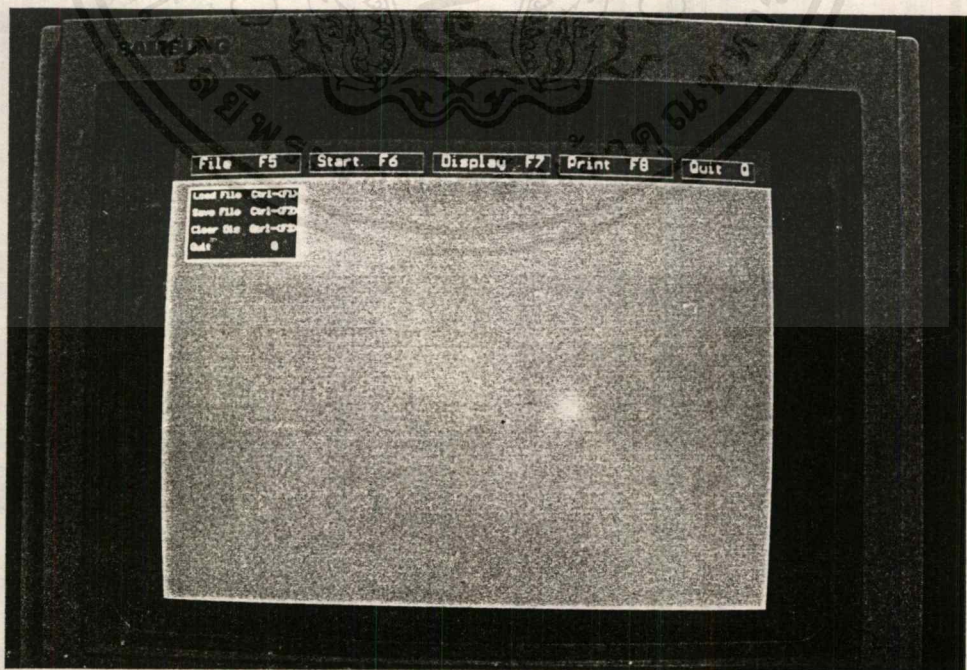
BLOCK START จะทำหน้าที่รับชื่อของสายอากาศที่จะทดสอบ ความถี่ที่จะทดสอบ และ STEP ของการวัด

BLOCK DISKRAY จะทำหน้าที่ RUN PROGRAM โดยสามารถ RUN ได้ 2 รูปแบบ คือ POLAR PLOT และ SPECTRUM GRAPH PLOT และสามารถแสดงเป็น TABLE ได้เมื่อวัดเสร็จแล้ว

BLOCK PRINT จะทำหน้าที่พิมพ์รูป GRAPHIC บนหน้าจอที่จะแสดงบนกระดาษโดยผ่านเครื่องพิมพ์

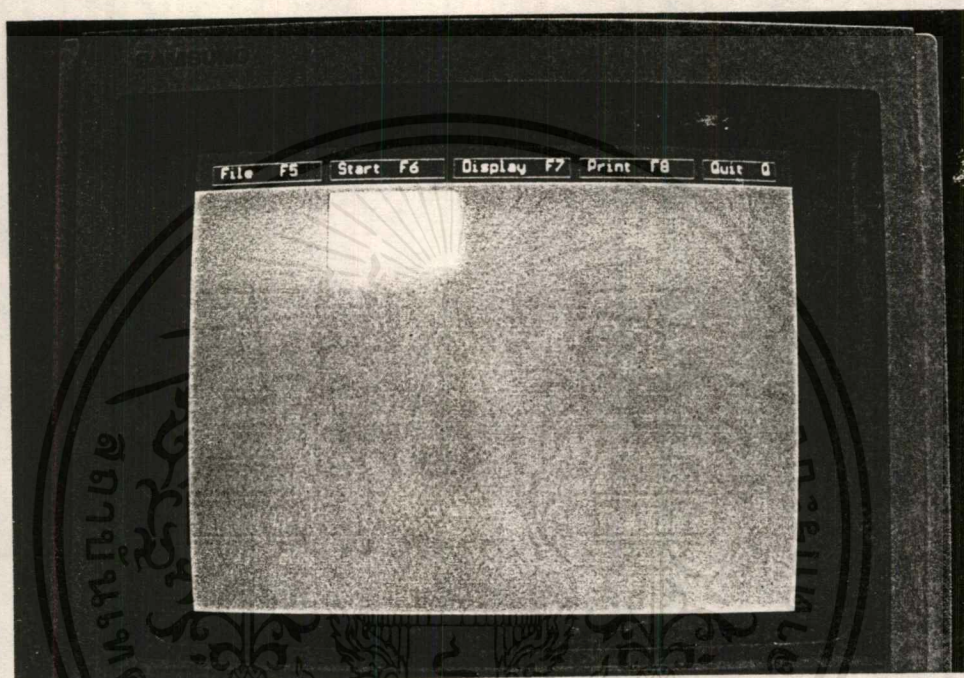
BLOCK QUIT เป็นการเลิกใช้ PROGRAM

เมื่อเราต้องการจะ RUN เครื่องเพื่อทดสอบสายอากาศ ก็ให้เราเข้าไปใน block file เพื่อทำการ clear screen ในกรณีมีข้อมูลค้างอยู่ menu ย่อยของ block file แสดงดังรูปที่ 3.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3. แสดง submenu ของ block file

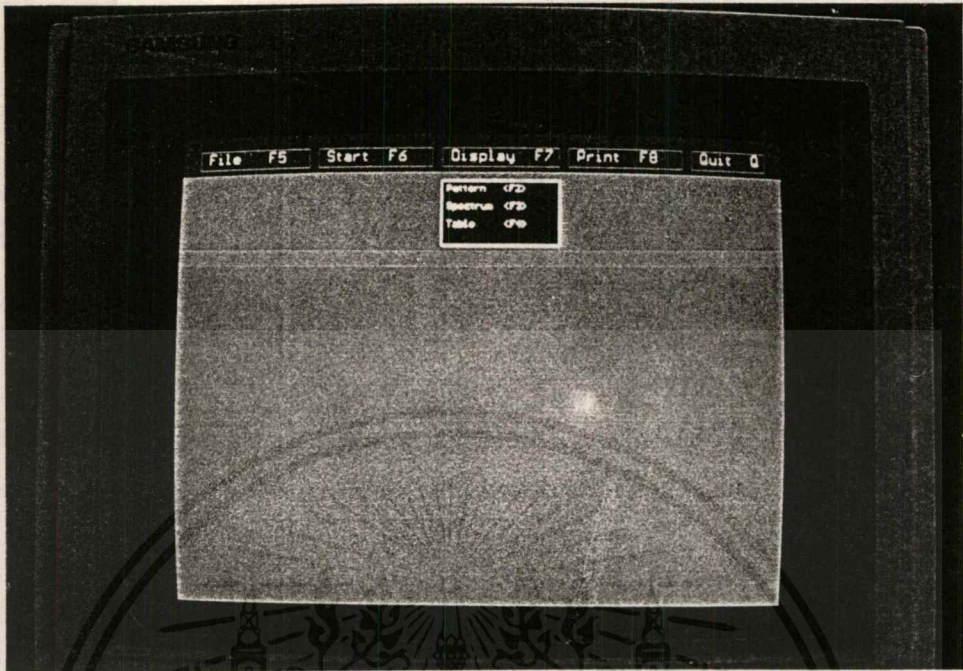
หลังจากออกจาก submenu ของ block file โดยกด Q แล้วเราจะเข้ามา submenu ของ block start เพื่อทำการกำหนดชื่อของสายอากาศความถี่ที่ทดสอบ และ step ของการหมุน รูปที่ 4. แสดง submenu ของ block start



รูปที่ 4. แสดง submenu ของ block start

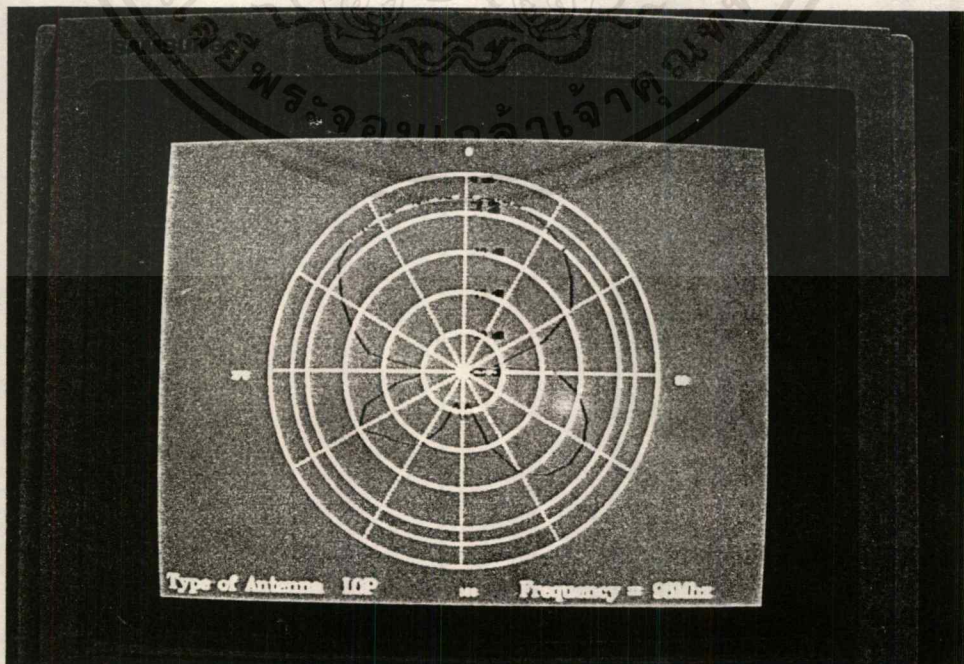
หลังจากกำหนดค่าต่างๆ แล้วเราจะทำการ RUN programe โดยเข้าไปใน block display โดยรูปแบบของการ plot จะเป็น 3 แบบ คือ Polar plot , Radiation Graph plot และค่า table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

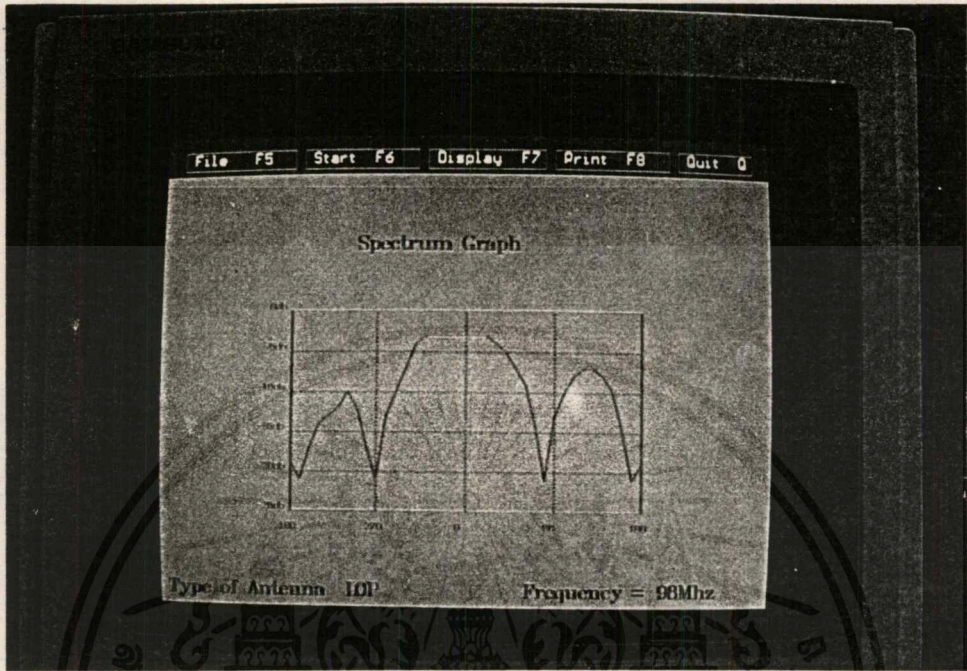


รูปที่ 5. แสดง submenu ย่อยของ block start

ภาพที่ได้จะสามารถแสดงออกมาได้ใน 3 ลักษณะ ดังรูปที่ 6, 7, 8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 6. polar plot ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

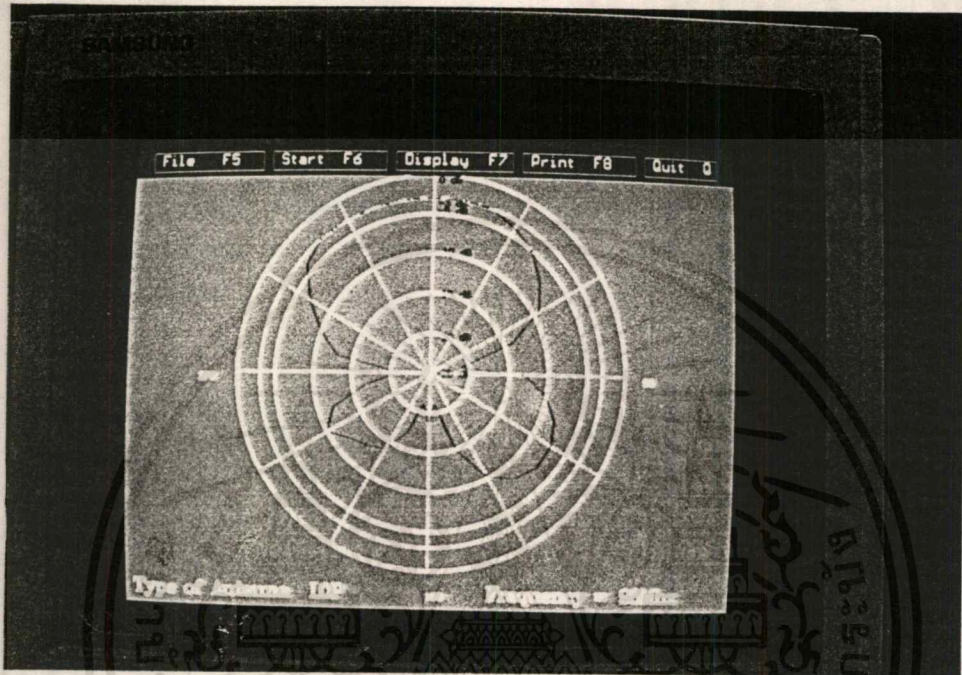


รูปที่ 7. Radiation graph

File	F5	Start	F6	Display	F7	Print	F8	Quit	Q
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
18	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
19	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
20	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
21	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
22	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
23	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
24	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
25	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
26	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
27	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
28	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
29	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
31	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
32	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
33	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
34	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
35	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
36	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
37	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
38	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
39	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
40	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
41	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
42	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
43	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
44	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
45	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
46	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
47	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
48	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
49	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
50	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

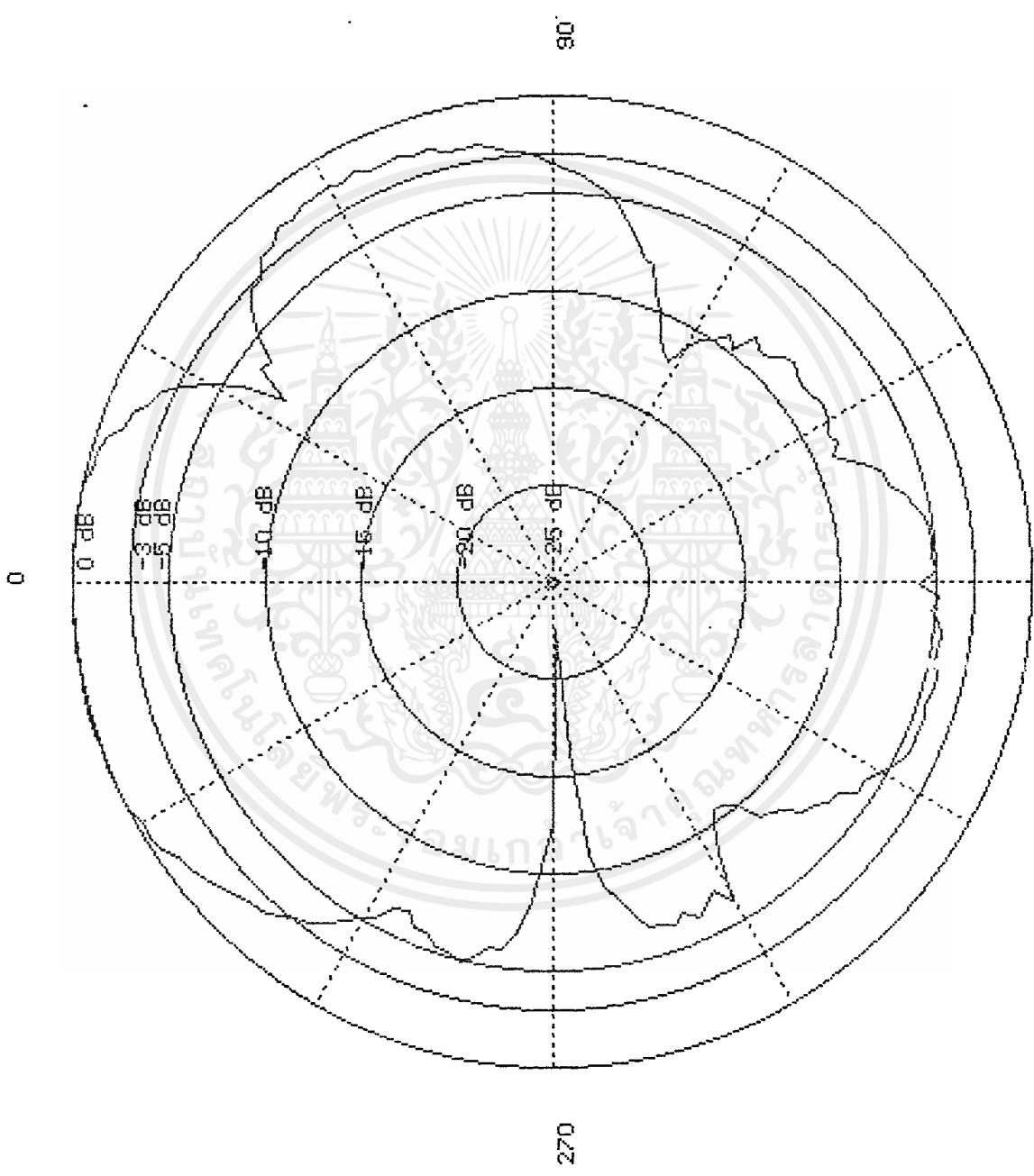
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขรูปที่ 8. Table ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราต้องการจะทำการทดสอบสายอากาศตัวต่อไป ก็ให้กด F₁ menu หลักก็ปรากฏขึ้นดังรูปที่ ๘. จากนั้นก็ทำไปตามขั้นตอนเดิม



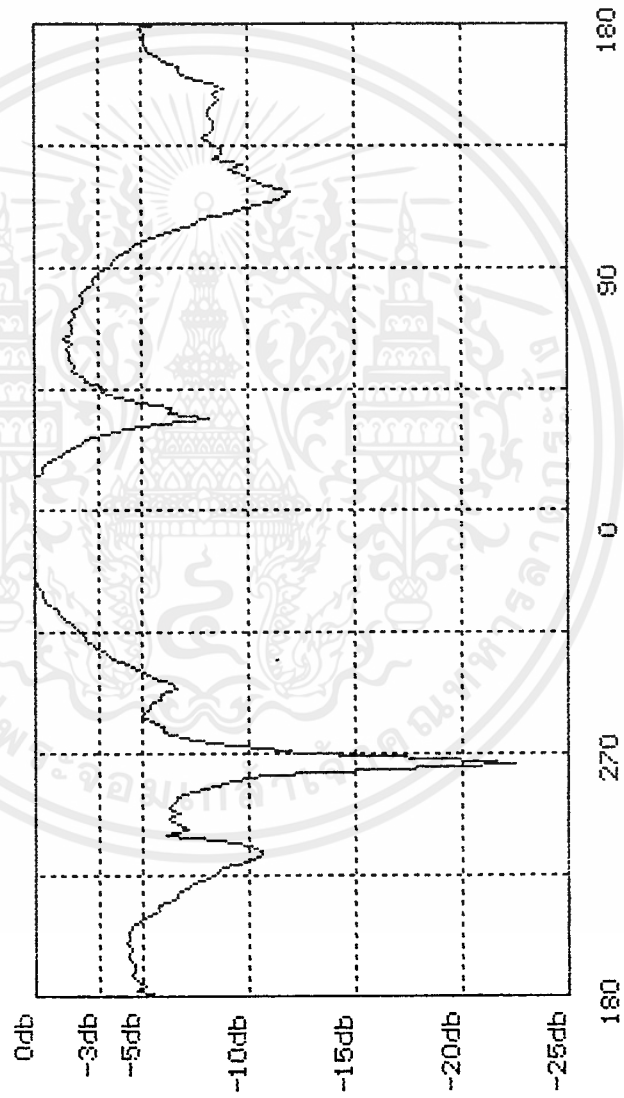
รูปที่ ๘. แสดงกลับมาของ menu หลัก

Type of Antenna **CORNER** 180 Frequency = 470Mhz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radiation Graph

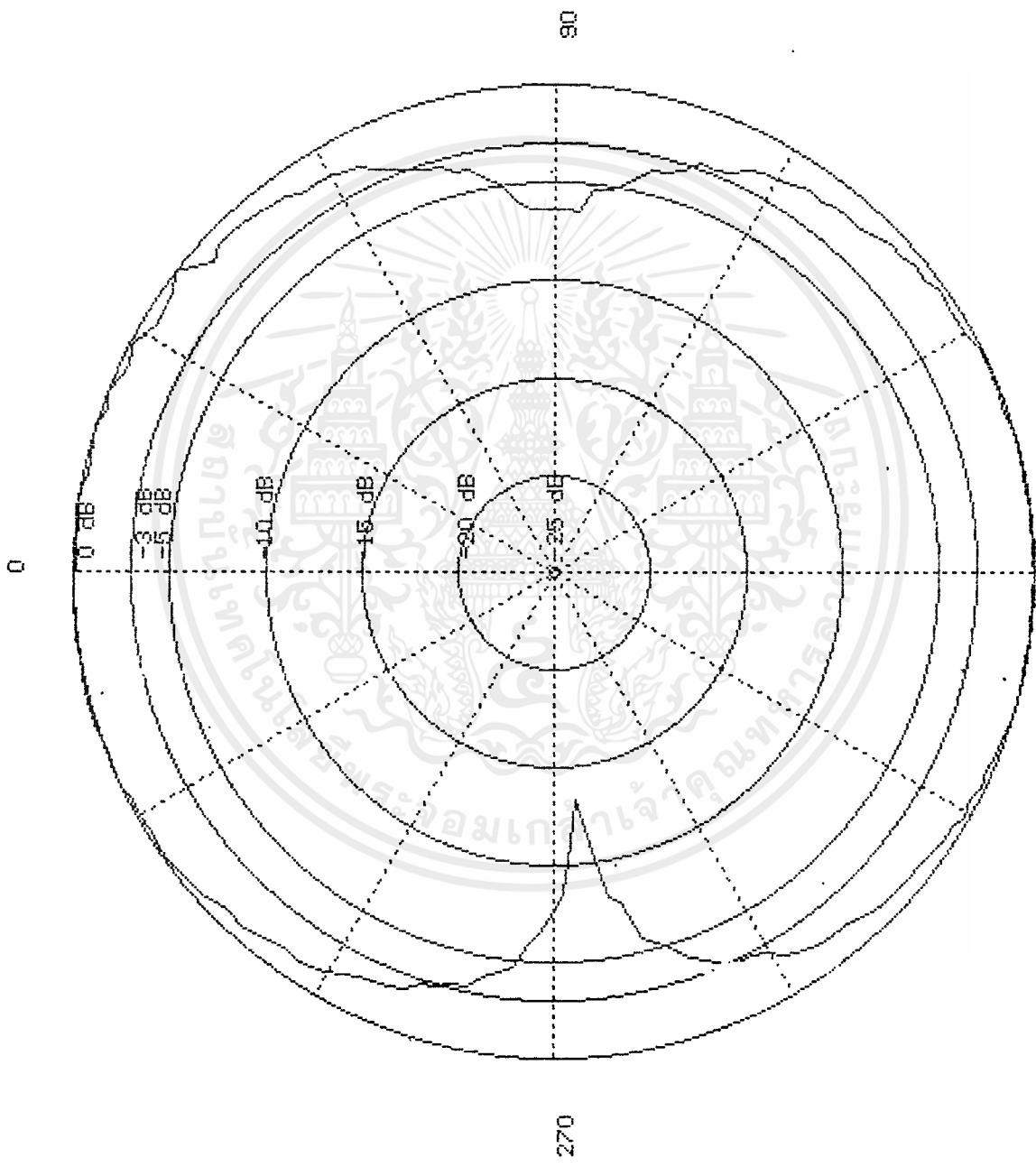


Type of Antenna CORNERI Frequency = 470Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 = -0.00dB 46 = 3.22dB 90 = 3.62dB 136 = 8.31dB 180 = 5.99dB 226 = 8.58dB 270 = 12.57dB 316 = 2.02dB
 2 = -0.00dB 48 = 2.42dB 92 = 3.68dB 138 = 7.96dB 182 = 4.78dB 228 = 8.76dB 272 = 10.86dB 318 = 1.77dB
 4 = -0.00dB 50 = 2.29dB 94 = 3.94dB 140 = 8.31dB 184 = 5.15dB 230 = 10.07dB 274 = 8.31dB 320 = 1.49dB
 6 = -0.00dB 52 = 1.85dB 96 = 4.38dB 142 = 8.49dB 186 = 4.84dB 232 = 10.51dB 276 = 6.99dB 322 = 1.20dB
 8 = -0.00dB 54 = 1.90dB 98 = 4.73dB 144 = 8.49dB 188 = 4.61dB 234 = 10.75dB 278 = 6.05dB 324 = 1.01dB
 10 = -0.00dB 56 = 1.73dB 100 = 5.15dB 146 = 8.22dB 190 = 4.67dB 236 = 10.07dB 280 = 6.05dB 326 = 0.56dB
 12 = -0.00dB 58 = 1.69dB 102 = 5.92dB 148 = 8.13dB 192 = 4.73dB 238 = 8.67dB 282 = 5.46dB 328 = 0.42dB
 14 = 0.38dB 60 = 1.60dB 104 = 6.69dB 150 = 8.40dB 194 = 4.38dB 240 = 6.19dB 284 = 5.09dB 330 = 0.42dB
 16 = 0.45dB 62 = 1.77dB 106 = 7.54dB 152 = 8.67dB 196 = 4.39dB 242 = 7.22dB 286 = 5.27dB 332 = 0.14dB
 18 = 0.75dB 64 = 1.48dB 108 = 7.79dB 154 = 8.49dB 198 = 4.61dB 244 = 6.77dB 288 = 5.40dB 334 = -0.00dB
 20 = 1.32dB 66 = 1.81dB 110 = 9.14dB 156 = 8.95dB 200 = 4.32dB 246 = 6.26dB 290 = 5.99dB 336 = -0.00dB
 22 = 1.52dB 68 = 1.81dB 112 = 9.96dB 158 = 8.31dB 202 = 4.38dB 248 = 6.77dB 292 = 5.99dB 338 = -0.00dB
 24 = 2.20dB 70 = 1.65dB 114 = 11.11dB 160 = 7.30dB 204 = 4.44dB 250 = 6.26dB 294 = 6.69dB 340 = -0.00dB
 26 = 2.42dB 72 = 1.90dB 116 = 11.87dB 162 = 6.84dB 206 = 4.61dB 252 = 6.55dB 296 = 6.40dB 342 = -0.00dB
 28 = 3.32dB 74 = 1.77dB 118 = 12.01dB 164 = 6.77dB 208 = 4.96dB 254 = 6.69dB 298 = 5.52dB 344 = -0.00dB
 30 = 4.49dB 76 = 2.27dB 120 = 10.98dB 166 = 6.05dB 210 = 5.40dB 256 = 7.38dB 300 = 5.15dB 346 = -0.00dB
 32 = 5.99dB 78 = 2.27dB 122 = 10.29dB 168 = 5.95dB 212 = 5.95dB 258 = 8.58dB 302 = 4.67dB 348 = -0.00dB
 34 = 8.22dB 80 = 2.24dB 124 = 9.96dB 170 = 5.33dB 214 = 5.79dB 260 = 9.34dB 304 = 4.05dB 350 = -0.00dB
 36 = 6.26dB 82 = 2.45dB 126 = 9.24dB 172 = 5.15dB 216 = 6.62dB 262 = 10.98dB 306 = 3.52dB 352 = -0.00dB
 38 = 6.48dB 84 = 2.63dB 128 = 9.85dB 174 = 5.21dB 218 = 6.69dB 264 = 16.31dB 308 = 3.32dB 354 = -0.00dB
 40 = 5.09dB 86 = 2.83dB 130 = 8.40dB 176 = 5.21dB 220 = 7.22dB 266 = 22.56dB 310 = 2.79dB 356 = -0.00dB
 42 = 3.99dB 88 = 3.07dB 132 = 8.76dB 178 = 4.96dB 222 = 7.46dB 268 = 19.19dB 312 = 2.46dB 358 = -0.00dB
 44 = 3.22dB 134 = 8.76dB 224 = 8.22dB 314 = 2.33dB

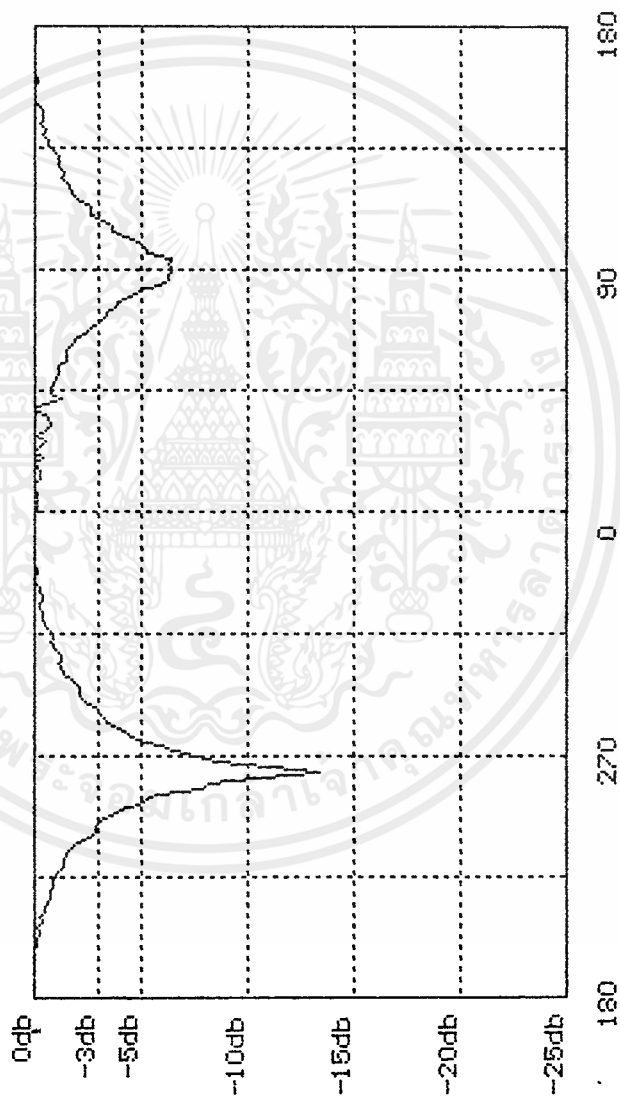
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Type of Antenna **DIPOLES** Frequency = **370Mhz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

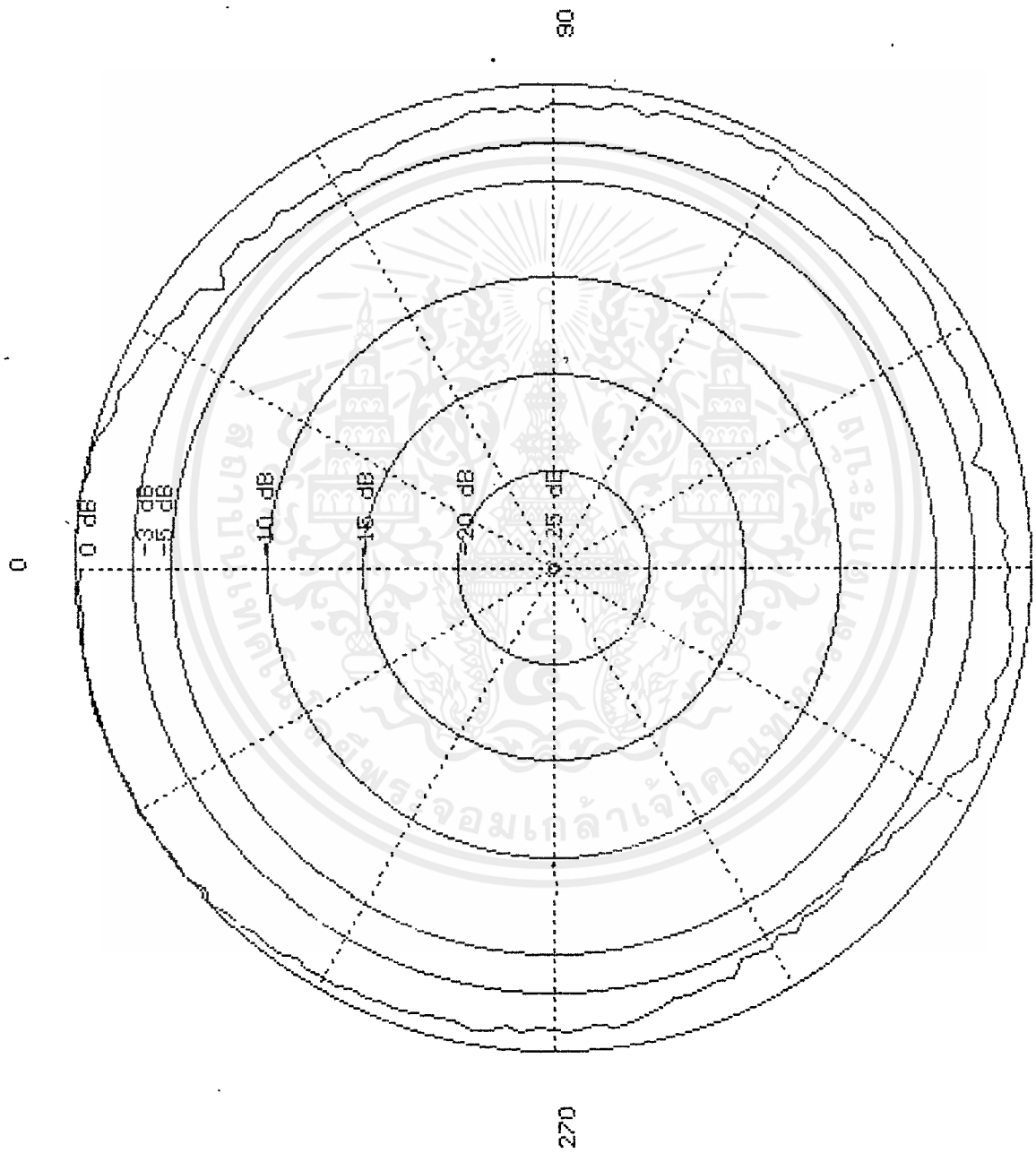
Radiation Graph



Type of Antenna **DIPOLES** Frequency = **370Mhz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

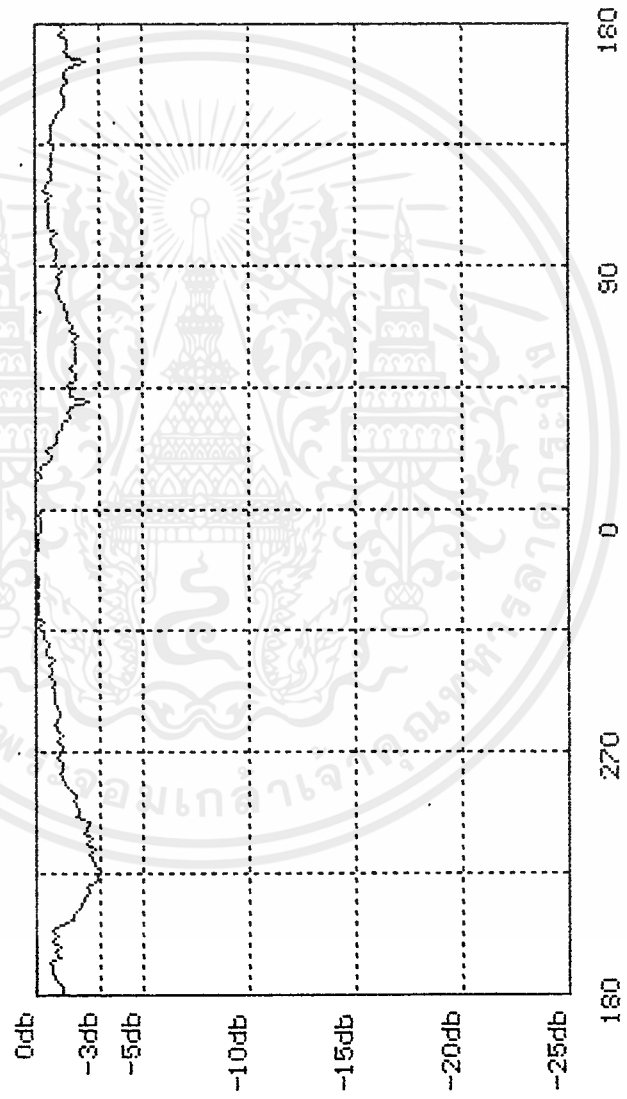
0 = 0.17dB 90 = 6.48dB 136 = 0.67dB 180 = -0.00dB 226 = 1.09dB 270 = 7.71dB 316 = 0.86dB
2 = 0.24dB 92 = 6.33dB 138 = 0.75dB 182 = 0.03dB 228 = 1.32dB 272 = 6.53dB 318 = 0.53dB
4 = 0.14dB 94 = 6.48dB 140 = 0.45dB 184 = -0.00dB 230 = 1.48dB 274 = 5.81dB 320 = 0.49dB
6 = 0.21dB 96 = 5.33dB 142 = 0.60dB 186 = -0.00dB 232 = 1.44dB 276 = 4.61dB 322 = 0.42dB
8 = -0.00dB 98 = 5.21dB 144 = 0.35dB 188 = 0.03dB 234 = 1.60dB 278 = 4.41dB 324 = 0.35dB
10 = -0.00dB 100 = 4.90dB 146 = 0.45dB 190 = -0.00dB 236 = 1.77dB 280 = 4.01dB 326 = 0.28dB
12 = 0.28dB 102 = 4.32dB 148 = 0.45dB 192 = -0.00dB 238 = 2.02dB 282 = 3.41dB 328 = 0.42dB
14 = 0.31dB 104 = 3.73dB 150 = 0.31dB 194 = -0.00dB 240 = 2.69dB 284 = 3.32dB 330 = 0.31dB
16 = 0.17dB 106 = 3.73dB 152 = 0.10dB 196 = -0.00dB 242 = 2.98dB 286 = 3.12dB 332 = 0.31dB
18 = 0.03dB 108 = 3.37dB 154 = 0.03dB 198 = -0.00dB 244 = 2.88dB 288 = 2.88dB 334 = 0.03dB
20 = 0.38dB 110 = 2.69dB 156 = -0.00dB 200 = 0.21dB 246 = 3.12dB 290 = 2.42dB 336 = -0.00dB
22 = 0.10dB 112 = 2.69dB 158 = -0.00dB 202 = 0.14dB 248 = 3.68dB 292 = 2.20dB 338 = 0.17dB
24 = 0.35dB 114 = 2.51dB 160 = 0.14dB 204 = 0.35dB 250 = 4.05dB 294 = 2.15dB 340 = 0.10dB
26 = 0.53dB 116 = 2.07dB 162 = -0.00dB 206 = 0.17dB 252 = 4.96dB 296 = 2.02dB 342 = 0.07dB
28 = 0.24dB 118 = 1.85dB 164 = 0.10dB 208 = 0.38dB 254 = 5.27dB 298 = 1.85dB 344 = 0.03dB
30 = 0.56dB 120 = 1.65dB 166 = -0.00dB 210 = 0.28dB 256 = 5.79dB 300 = 1.48dB 346 = -0.00dB
32 = 0.78dB 122 = 1.52dB 168 = 0.03dB 212 = 0.60dB 258 = 7.96dB 302 = 1.36dB 348 = -0.00dB
34 = 0.71dB 124 = 1.28dB 170 = -0.00dB 214 = 0.56dB 260 = 8.22dB 304 = 1.24dB 350 = -0.00dB
36 = 0.60dB 126 = 1.44dB 172 = -0.00dB 216 = 0.71dB 262 = 10.63dB 306 = 1.36dB 352 = -0.00dB
38 = -0.00dB 128 = 1.13dB 174 = -0.00dB 218 = 0.79dB 264 = 13.48dB 308 = 1.20dB 354 = -0.00dB
40 = 0.53dB 130 = 1.24dB 176 = -0.00dB 220 = 0.86dB 266 = 11.23dB 310 = 0.90dB 356 = -0.00dB
42 = 1.28dB 132 = 1.13dB 178 = -0.00dB 222 = 0.97dB 268 = 8.67dB 312 = 0.79dB 358 = -0.00dB
44 = 0.86dB 134 = 0.90dB 224 = 0.93dB 314 = 0.90dB



Type of Antenna YAGI-13E Frequency = 370Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radiation Graph

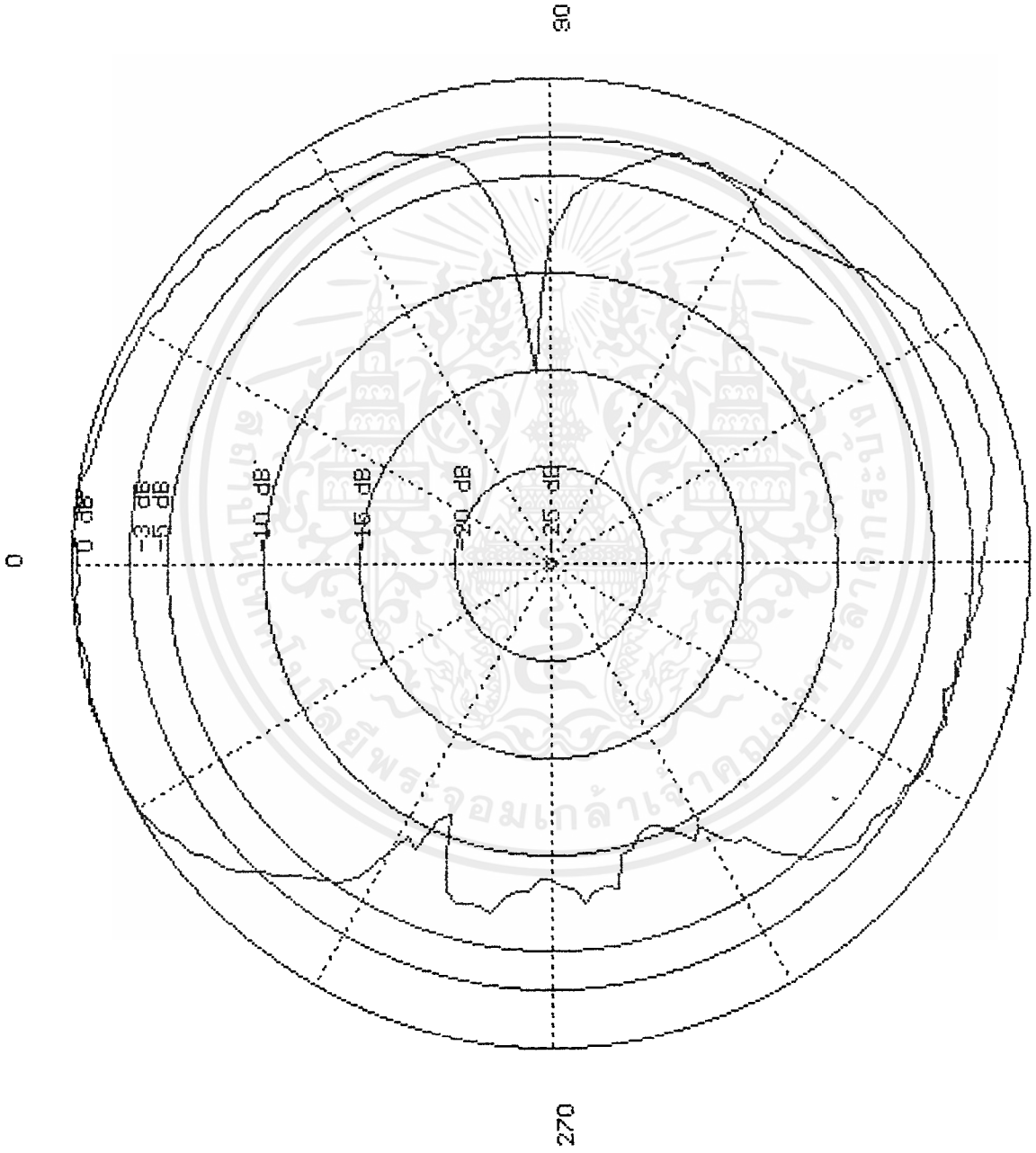


Type of Antenna · YAGI-13E Frequency = 370Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46	= 1.56dB	90	= 1.05dB	136	= 0.71dB	180	= 1.20dB	226	= 3.07dB	270	= 1.16dB	316	= 0.24dB
48	= 1.90dB	92	= 0.93dB	138	= 0.78dB	182	= 1.32dB	228	= 2.79dB	272	= 1.36dB	318	= 0.38dB
50	= 1.94dB	94	= 1.05dB	140	= 0.82dB	184	= 1.20dB	230	= 2.69dB	274	= 1.09dB	320	= 0.10dB
52	= 1.65dB	96	= 1.01dB	142	= 0.86dB	186	= 0.93dB	232	= 2.56dB	276	= 1.32dB	322	= 0.24dB
54	= 1.98dB	98	= 0.82dB	144	= 0.97dB	188	= 0.86dB	234	= 2.79dB	278	= 1.09dB	324	= 0.24dB
56	= 1.98dB	100	= 0.78dB	146	= 1.05dB	190	= 0.82dB	236	= 2.42dB	280	= 0.97dB	326	= 0.03dB
58	= 1.94dB	102	= 1.01dB	148	= 1.28dB	192	= 0.75dB	238	= 2.74dB	282	= 1.09dB	328	= 0.21dB
60	= 1.94dB	104	= 0.71dB	150	= 1.40dB	194	= 1.13dB	240	= 2.29dB	284	= 1.13dB	330	= 0.07dB
62	= 1.81dB	106	= 0.71dB	152	= 1.48dB	196	= 0.93dB	242	= 2.42dB	286	= 1.05dB	332	= 0.17dB
64	= 2.11dB	108	= 0.67dB	154	= 1.32dB	198	= 1.13dB	244	= 2.60dB	288	= 0.90dB	334	= 0.17dB
66	= 1.73dB	110	= 0.71dB	156	= 1.28dB	200	= 0.86dB	246	= 1.94dB	290	= 0.97dB	336	= 0.03dB
68	= 1.85dB	112	= 0.67dB	158	= 1.60dB	202	= 1.05dB	248	= 2.02dB	292	= 0.90dB	338	= -0.00dB
70	= 1.60dB	114	= 0.56dB	160	= 1.40dB	204	= 0.78dB	250	= 1.90dB	294	= 0.82dB	340	= -0.00dB
72	= 1.52dB	116	= 0.78dB	162	= 1.40dB	206	= 1.16dB	252	= 1.85dB	296	= 0.97dB	342	= -0.00dB
74	= 1.40dB	118	= 0.49dB	164	= 1.63dB	208	= 1.81dB	254	= 1.90dB	298	= 0.71dB	344	= 0.10dB
76	= 1.40dB	120	= 0.53dB	166	= 2.42dB	210	= 1.85dB	256	= 1.73dB	300	= 0.78dB	346	= 0.21dB
78	= 1.13dB	122	= 0.78dB	168	= 1.52dB	212	= 2.07dB	258	= 1.48dB	302	= 0.67dB	348	= 0.17dB
80	= 1.01dB	124	= 0.78dB	170	= 1.44dB	214	= 2.15dB	260	= 1.36dB	304	= 0.93dB	350	= 0.07dB
82	= 1.05dB	126	= 0.64dB	172	= 1.60dB	216	= 2.29dB	262	= 1.13dB	306	= 0.60dB	352	= 0.28dB
84	= 1.13dB	128	= 0.82dB	174	= 1.52dB	218	= 2.51dB	264	= 1.36dB	308	= 0.56dB	354	= 0.28dB
86	= 1.09dB	130	= 0.82dB	176	= 1.24dB	220	= 2.46dB	266	= 1.32dB	310	= 0.67dB	356	= 0.35dB
88	= 1.32dB	132	= 0.86dB	178	= 1.48dB	222	= 2.83dB	268	= 1.09dB	312	= 0.38dB	358	= 0.21dB
134	= 0.93dB	134	= 0.93dB	224	= 2.98dB	224	= 2.98dB	314	= 0.45dB	314	= 0.45dB		

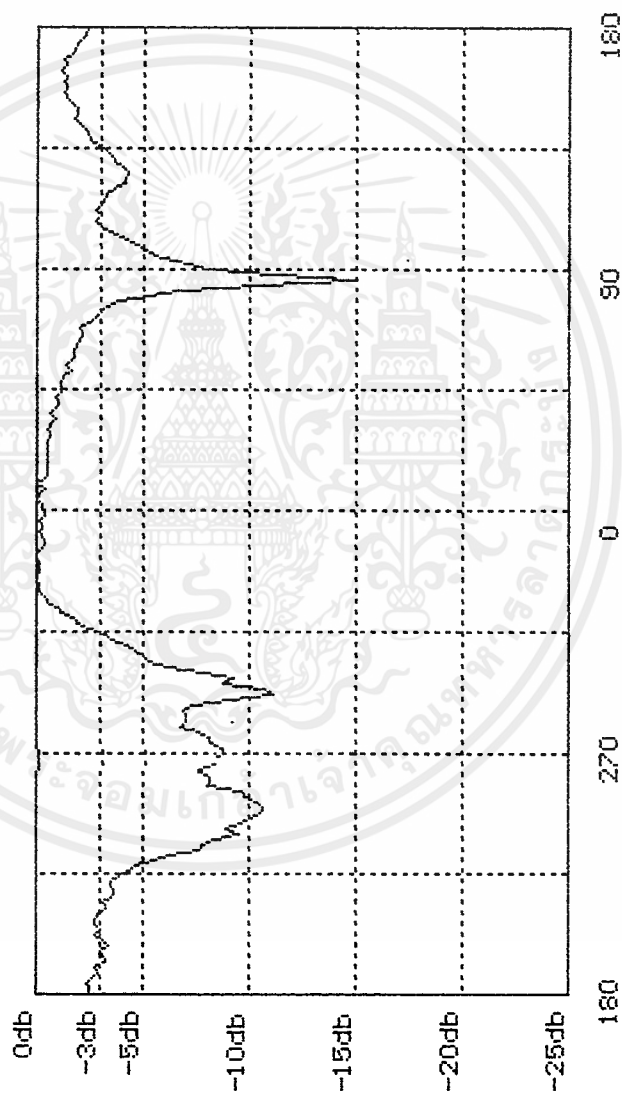
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Type of Antenna YAGI_13EH 180 Frequency = 370Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radiation Graph

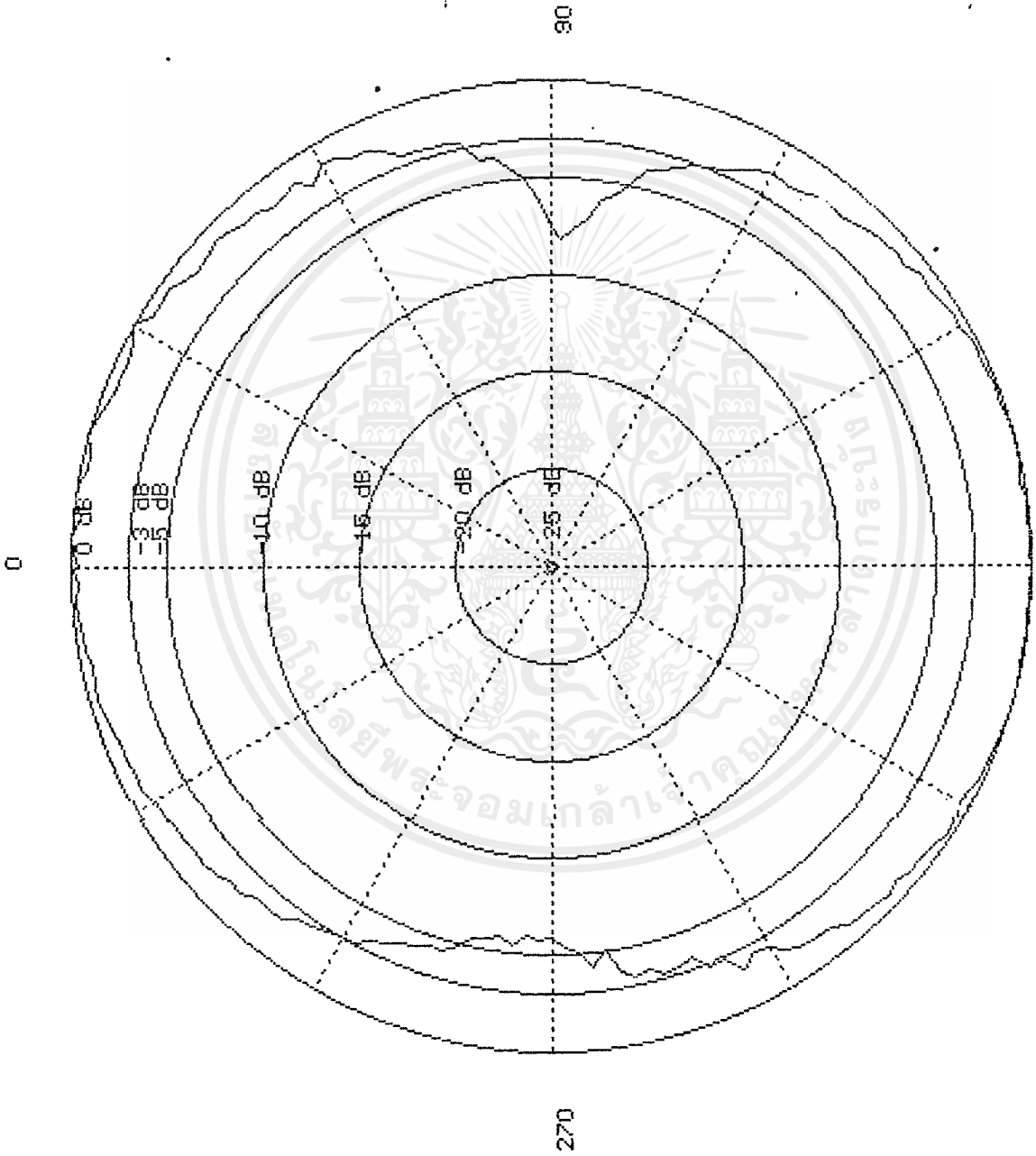


Type of Antenna YAGI 13EH Frequency = 370Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 = 0.31dB 46 = 1.20dB 90 = 8.22dB 136 = 3.03dB 180 = 2.51dB 226 = 4.49dB 270 = 8.86dB 316 = 2.60dB
2 = 0.35dB 48 = 1.24dB 92 = 7.15dB 138 = 2.51dB 182 = 2.51dB 228 = 4.73dB 272 = 8.76dB 318 = 1.94dB
4 = -0.00dB 50 = 1.32dB 94 = 5.99dB 140 = 2.42dB 184 = 2.46dB 230 = 5.59dB 274 = 8.13dB 320 = 1.81dB
6 = 0.14dB 52 = 1.65dB 96 = 5.40dB 142 = 2.37dB 186 = 2.74dB 232 = 6.33dB 276 = 8.13dB 322 = 1.20dB
8 = 0.38dB 54 = 1.44dB 98 = 4.90dB 144 = 2.11dB 188 = 2.93dB 234 = 7.71dB 278 = 7.71dB 324 = 1.01dB
10 = 0.07dB 56 = 1.73dB 100 = 4.55dB 146 = 1.85dB 190 = 2.83dB 236 = 7.79dB 280 = 6.84dB 326 = 0.60dB
12 = 0.45dB 58 = 1.77dB 102 = 4.10dB 148 = 1.98dB 192 = 3.27dB 238 = 8.40dB 282 = 7.07dB 328 = 0.42dB
14 = 0.53dB 60 = 1.77dB 104 = 3.57dB 150 = 1.94dB 194 = 3.17dB 240 = 9.54dB 284 = 7.07dB 330 = 0.24dB
16 = 0.53dB 62 = 1.94dB 106 = 3.12dB 152 = 1.73dB 196 = 3.12dB 242 = 8.95dB 286 = 6.99dB 332 = 0.14dB
18 = 0.56dB 64 = 2.11dB 108 = 2.83dB 154 = 1.48dB 198 = 3.47dB 244 = 9.75dB 288 = 7.46dB 334 = 0.10dB
20 = 0.53dB 66 = 2.24dB 110 = 3.03dB 156 = 1.36dB 200 = 3.22dB 246 = 10.18dB 290 = 9.24dB 336 = -0.00dB
22 = 0.60dB 68 = 2.11dB 112 = 2.79dB 158 = 1.44dB 202 = 2.79dB 248 = 10.51dB 292 = 11.23dB 338 = 0.21dB
24 = 0.60dB 70 = 2.51dB 114 = 3.03dB 160 = 1.32dB 204 = 3.03dB 250 = 10.75dB 294 = 10.86dB 340 = 0.24dB
26 = 0.60dB 72 = 2.83dB 116 = 3.22dB 162 = 1.44dB 206 = 2.79dB 252 = 10.40dB 296 = 8.76dB 342 = 0.07dB
28 = 0.64dB 74 = 3.07dB 118 = 3.32dB 164 = 1.13dB 208 = 2.83dB 254 = 9.85dB 298 = 9.34dB 344 = 0.10dB
30 = 0.53dB 76 = 3.37dB 120 = 3.73dB 166 = 1.44dB 210 = 2.93dB 256 = 9.65dB 300 = 7.96dB 346 = 0.28dB
32 = 0.71dB 78 = 3.99dB 122 = 4.21dB 168 = 1.28dB 212 = 3.32dB 258 = 8.04dB 302 = 6.19dB 348 = 0.38dB
34 = 0.90dB 80 = 5.33dB 124 = 4.16dB 170 = 1.65dB 214 = 3.17dB 260 = 8.13dB 304 = 5.33dB 350 = 0.28dB
36 = 0.67dB 82 = 6.77dB 126 = 4.32dB 172 = 1.77dB 216 = 3.52dB 262 = 8.04dB 306 = 5.02dB 352 = 0.24dB
38 = 0.97dB 84 = 10.51dB 128 = 4.10dB 174 = 1.98dB 218 = 3.69dB 264 = 7.62dB 308 = 4.73dB 354 = 0.28dB
40 = 1.05dB 86 = 15.07dB 130 = 3.73dB 176 = 2.20dB 220 = 3.52dB 266 = 8.31dB 310 = 4.32dB 356 = 0.21dB
42 = 0.90dB 88 = 11.35dB 132 = 3.62dB 178 = 2.29dB 222 = 3.62dB 268 = 8.49dB 312 = 3.62dB 358 = 0.38dB
44 = 1.20dB 134 = 3.27dB 224 = 3.94dB 314 = 3.32dB

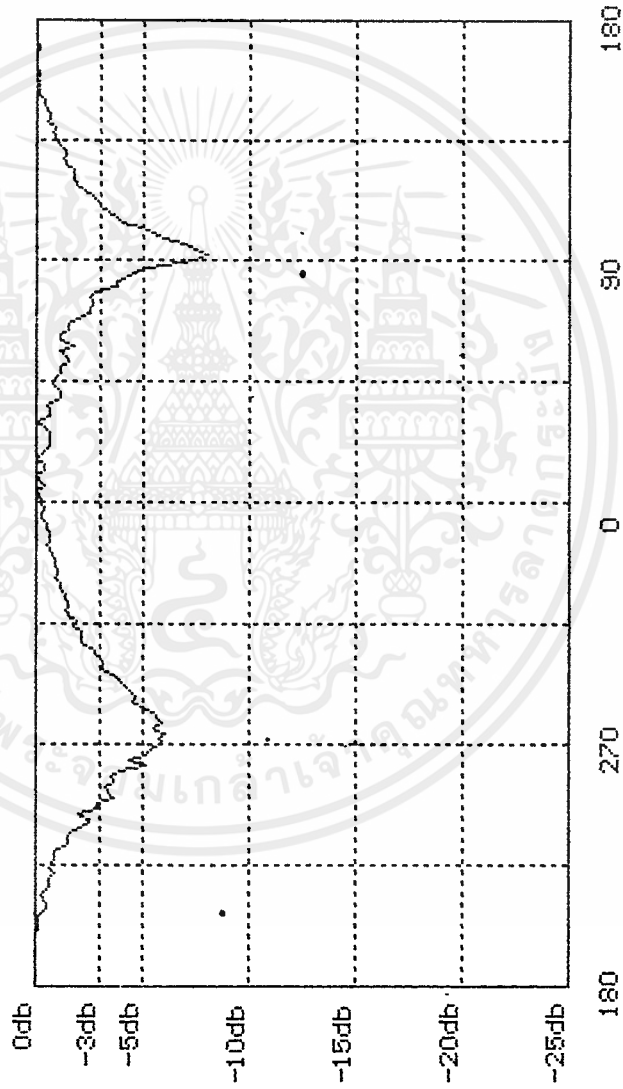
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ทำกำไรใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Type of Antenna Dipole3 Frequency = 440Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radiation Graph



Type of Antenna Dipole3 Frequency = 440Mhz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 = 0.38dB	46 = 0.90dB	90 = 7.62dB	136 = 0.93dB	180 = 0.07dB	226 = 0.86dB	270 = 5.99dB	316 = 1.94dB
2 = 0.24dB	48 = 1.24dB	92 = 8.04dB	138 = 0.82dB	182 = -0.00dB	228 = 0.90dB	272 = 5.79dB	318 = 1.60dB
4 = 0.10dB	50 = 1.13dB	94 = 7.54dB	140 = 0.93dB	184 = -0.00dB	230 = 0.97dB	274 = 6.05dB	320 = 1.48dB
6 = 0.49dB	52 = 1.60dB	96 = 7.07dB	142 = 0.60dB	186 = -0.00dB	232 = 1.40dB	276 = 5.59dB	322 = 1.60dB
8 = 0.24dB	54 = 1.44dB	98 = 5.99dB	144 = 0.64dB	188 = -0.00dB	234 = 1.52dB	278 = 5.92dB	324 = 1.40dB
10 = -0.00dB	56 = 1.20dB	100 = 5.59dB	146 = 0.60dB	190 = -0.00dB	236 = 1.60dB	280 = 5.72dB	326 = 1.40dB
12 = 0.38dB	58 = 1.95dB	102 = 4.96dB	148 = 0.42dB	192 = 0.03dB	238 = 1.81dB	282 = 5.59dB	328 = 1.24dB
14 = 0.49dB	60 = 1.20dB	104 = 4.05dB	150 = 0.45dB	194 = 0.03dB	240 = 2.42dB	284 = 5.02dB	330 = 1.20dB
16 = 0.10dB	62 = 1.24dB	106 = 3.78dB	152 = 0.21dB	196 = 0.10dB	242 = 2.56dB	286 = 4.61dB	332 = 0.90dB
18 = 0.31dB	64 = 1.52dB	108 = 3.47dB	154 = 0.14dB	198 = 0.10dB	244 = 2.11dB	288 = 4.67dB	334 = 1.01dB
20 = 0.56dB	66 = 1.60dB	110 = 3.12dB	156 = 0.17dB	200 = -0.00dB	246 = 2.98dB	290 = 4.38dB	336 = 0.97dB
22 = 0.71dB	68 = 1.94dB	112 = 2.93dB	158 = 0.03dB	202 = 0.14dB	248 = 2.93dB	292 = 4.16dB	338 = 0.90dB
24 = 0.64dB	70 = 2.51dB	114 = 2.69dB	160 = 0.21dB	204 = 0.24dB	250 = 3.73dB	294 = 3.94dB	340 = 0.82dB
26 = 0.75dB	72 = 2.56dB	116 = 2.37dB	162 = 0.10dB	206 = 0.14dB	252 = 3.42dB	296 = 3.73dB	342 = 0.75dB
28 = 0.38dB	74 = 2.65dB	118 = 1.94dB	164 = -0.00dB	208 = 0.45dB	254 = 3.37dB	298 = 3.17dB	344 = 0.56dB
30 = 0.10dB	76 = 2.60dB	120 = 1.77dB	166 = 0.10dB	210 = 0.56dB	256 = 3.73dB	300 = 3.22dB	346 = 0.75dB
32 = 0.67dB	78 = 2.79dB	122 = 1.77dB	168 = -0.00dB	212 = 0.38dB	258 = 3.62dB	302 = 3.03dB	348 = 0.75dB
34 = 0.71dB	80 = 3.78dB	124 = 1.81dB	170 = 0.21dB	214 = 0.31dB	260 = 3.94dB	304 = 2.83dB	350 = 0.53dB
36 = 0.60dB	82 = 3.83dB	126 = 1.44dB	172 = -0.00dB	216 = 0.56dB	262 = 5.15dB	306 = 2.69dB	352 = 0.60dB
38 = 1.01dB	84 = 4.49dB	128 = 1.28dB	174 = -0.00dB	218 = 0.71dB	264 = 4.49dB	308 = 2.20dB	354 = 0.31dB
40 = 1.20dB	86 = 4.96dB	130 = 1.48dB	176 = -0.00dB	220 = 0.71dB	266 = 5.21dB	310 = 2.20dB	356 = 0.31dB
42 = 1.09dB	88 = 5.92dB	132 = 1.36dB	178 = -0.00dB	222 = 0.97dB	268 = 5.40dB	312 = 2.15dB	358 = 0.45dB
44 = 0.82dB		134 = 1.01dB		224 = 0.75dB		314 = 1.81dB	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์

เครื่องบันทึกรูปแบบการกระจายคลื่นอัตโนมัตินี้สามารถทำให้การวัดและการบันทึกเป็นไปได้อย่างสะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยใช้จำนวนคนในการวัดน้อยลงทำให้ effect ที่เกิดจากคนน้อยลงด้วย ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริง และผลที่ได้จะดีเพียงใดจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

- สถานที่ที่ทำการทดลองต้องมีการสะท้อนคลื่นน้อย
- ระยะห่างระหว่างปลายสายอากาศส่งและปลายสายอากาศรับต้องห่างกันมากกว่า $2D^2/\lambda$
- การตั้งทิศทางของสายอากาศส่งให้ตรงกับสายอากาศรับก่อนทำการทดสอบ
- ความถี่ที่ส่งและความถี่ที่รับต้องเป็นความถี่เดียวกัน และเป็นความถี่ของสายอากาศนั้น
- การ set ค่าเริ่มต้นที่ 0 องศา ต้องให้ field strength meter รับได้แรงที่สุด และปรับที่ output ให้มีค่า 1 volte



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม PROJECT.C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<graphics.h>
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
#include<stdlib.h>
#include<alloc.h>
#include<bios.h>
#include<dos.h>
#include<string.h>
void start(void);
void wind(void);
void inti(void);
void disp(void);
void Print_Graph();
void calcu(void);
void calcu2(void);
void moter(void);
void run(void);
void casebox1(void);
void spectrum(void);
void loadf();
void savef();
void *save_image;
void *win_image;
void *win1_image;
void *win2_image;
void *win3_image;
void *sub1win;
void *sub3win;
struct data{
    char str1[9];
    char str4[10];
    int ang;
    float level[36];
} ant;

char str2[9];
char *buf;
int lp=0;
int mod,dire;
    int max_x,max_y;
    float t[30];
    const double pi=3.141592654;
    unsigned linepattern;
    union key{
        char ch[2];
        int ii;
    }keyin;

void start(void)
{
    int maxx,maxy;
    unsigned linepattern;
    int h,a1,b1,x1,x2,y1,y2,k=0;
    int i=1,x=40;
    const double pi=3.141592654;

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่สามารถเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยได้

```

setbkcolor (2);

maxx=getmaxx();
maxy=getmaxy();
for (i=1;i<6;i++) {
    setcolor(15);
    circle(maxx/2,maxy/2,x*i);
}
setcolor(14);
circle(maxx/2,maxy/2,176);
for (h=0;h<=5;h++) {
    setlinestyle(1,linepattern,1);
    a1=200*sin(k*pi/180);
    b1=200*cos(k*pi/180);
    x1=maxx/2+b1;
    y1=maxy/2-a1;
    x2=maxx/2-b1;
    y2=maxy/2+a1;
    line(x1,y1,x2,y2);
    k=k+30;
}
settextstyle (TRIPLEX_FONT, HORIZ_DIR, 2);
outtextxy(10,450,"Type of Antenna ");
outtextxy(200,450,ant.str4);
outtextxy(380,450,"Frequency =");
outtextxy(520,450,ant.str1);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,4);
setcolor(14);
outtextxy(maxx/2,10,"0");
outtextxy(maxx/2,460,"180");
outtextxy(maxx/2+220,maxy/2,"90");
outtextxy(maxx/2-240,maxy/2,"270");
setcolor(8);
outtextxy(maxx/2,maxy/2-5," -25 dB");
outtextxy(maxx/2,maxy/2-42," -20 dB");
outtextxy(maxx/2,maxy/2-84," -15 dB");
outtextxy(maxx/2,maxy/2-126," -10 dB");
outtextxy(maxx/2,maxy/2-168," -5 dB");
outtextxy(maxx/2,maxy/2-200," 0 dB");
outtextxy(maxx/2,maxy/2-176," -3 dB");
}

/*-----*/

void main()
{
    int top,bottom,lp=0;
    inti();

    wind();
    closegraph();
}

void inti(void)
{
    int GraphDriver, GraphMode, xasp, yasp, ASR;
    GraphDriver=DETECT;
    ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
}

```

```

    initgraph(&GraphDriver, &GraphMode, "c:\\tc\\bgi ");
    setbkcolor(2);
}

void wind(void)
{
    unsigned linepattern;
    union keyt{
        char ct[2];
        int it;
    }keyit;

    inti();
    save_image=malloc(imagesize(0,0,639,40));
    win_image=malloc(imagesize(20,50,140,115));
    win1_image=malloc(imagesize(150,50,270,115));
    win2_image=malloc(imagesize(280,50,400,115));
    win3_image=malloc(imagesize(410,50,530,115));
    sub1win=malloc(imagesize(120,45,300,70));
    sub3win=malloc(imagesize(20,45,180,70));
    menu();
    do
    {
        keyit.it=bioskey(0);
        if(!keyit.ct[0])switch(keyit.ct[1]){
            case 63:
                getimage(20,50,140,125,win_image);
                box1();
                casebox1();
                putimage(20,50,win_image,COPY_PUT);
                break;
            case 64:
                getimage(150,50,280,125,win1_image);
                box2();
                run();
                putimage(150,50,win1_image,COPY_PUT);
                break;
            case 65:
                getimage(280,50,400,115,win2_image);
                box3();
                disp();
                break;
            case 59:
                getimage(0,0,639,40,save_image);
                menu();
                break;
            case 66:
                Print_Graph(5,1);
                break;
            case 68:
                putimage(0,0,save_image,COPY_PUT);
                break;
        }
    } while (keyit.ct[0]!='q');
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

menu()
{
    settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,6);

    setfillstyle (1,1);
    bar (0,0,639,40);
    setcolor (14);
    outtextxy(30,15,"File F5");
    outtextxy(160,15,"Start F6");
    outtextxy(290,15,"Display F7");
    outtextxy(420,15,"Print F8");
    outtextxy(550,15,"Quit Q");
    setcolor (3);
    rectangle(20,15,140,35);
    rectangle(150,15,270,35);
    rectangle(280,15,400,35);
    rectangle(410,15,530,35);
    rectangle(540,15,620,35);
}

void calcu(void)
{
    float readport();
    int db=0;
    int i,o,c,d,se=0,e=0,td;
    float le,a,b,p,l=0,t[30],xpos[365],ypos[365];
    max_x=getmaxx();
    max_y=getmaxy();
    p=(2*pi/360);
    td=ant.ang;
    setcolor(1);
    for (l=0;l<=(pi*2);l=l+(p*td))
    {
        if(lp==0){
            delay(500);
            ant.level[db]=readport(le);
            moter();
        }
        else
        {
            o=ant.level[db]*8;
            c=200-o;
            b=c*sin(l);
            a=-c*cos(l);
            xpos[db]=b+max_x/2;
            ypos[db]=a+max_y/2;
            putpixel(xpos[db],ypos[db],1);
            se=db-td;

            if(se>=0)
            {
                setlinestyle(0,linepattern,1);
                line(xpos[se],ypos[se],xpos[db],ypos[db]);
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        }
        db=db+td;
    }
    lp=1;
    return lp;
}

box1()
{
    setfillstyle(1,6);
    bar(20,50,140,125);
    setcolor(14);
    rectangle(20,50,140,125);
    settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,4);
    outtextxy(25,52, "Load File  Ctrl1-<F1>");
    outtextxy(25,70, "Save File  Ctrl1-<F2>");
    outtextxy(25,88, "Clear Dis  Ctrl1-<F3>");
    outtextxy(25,106,"Quit      Ctrl1-<F4>");
}

void casebox1(void)
{
    do
    {
        keyin.i=bioskey(0);
        if(!keyin.ch[0])switch(keyin.ch[1]){
            case 94:
                getimage(20,45,180,70,sub3win);
                bar(20,45,180,70);
                rectangle(20,45,180,70);
                outtextxy(30,55,"Load File : ");
                gotoxy(13,4);
                gets(str2);
                bar(20,45,180,70);
                rectangle(20,45,180,70);
                outtextxy(30,55,"Load File : ");
                outtextxy(110,55,str2);
                getch();
                putimage(20,45,sub3win,COPY_PUT);
                loadf();
                lp=1;
                break;

            case 95:
                getimage(20,70,180,95,sub3win);
                bar(20,70,180,95);
                rectangle(20,70,180,95);
                outtextxy(30,80,"Save File : ");
                gotoxy(13,6);
                gets(str2);
                bar(20,70,180,95);
                rectangle(20,70,180,95);
                outtextxy(30,80,"Save File : ");
                outtextxy(110,80,str2);
                getch();
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        putimage(20,70,sub3win,COPY_PUT);
        savef();
        break;

    case 96:
        lp=0;
        keyin.ch[0]='q';

    case 97:
        break;
    }
}
while (keyin.ch[0]!='q');
}
}
box2()
{
    setfillstyle(1,15);
    bar(150,50,280,125);
    setcolor(1);
    rectangle(150,50,280,125);
    settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,4);
    outtextxy(155,52, "Antenna      Alt-<A>");
    outtextxy(155,70, "Frequency  Alt-<F>");
    outtextxy(155,88, "Step angle Alt-<S>");
    outtextxy(155,106,"RUN          Alt-<R>");
}
void run(void)
{
    do
    {
        keyin.ii=bioskey(0);
        if(!keyin.ch[0])switch(keyin.ch[1]){
            case 30:
                getimage(120,45,300,70,sub1win);
                bar(120,45,300,70);
                rectangle(120,45,300,70);
                outtextxy(130,55,"Name IS :   ");
                gotoxy(25,4);
                gets(ant.str4);
                bar(120,45,300,70);
                rectangle(120,45,300,70);
                outtextxy(130,55,"Name IS :   ");
                outtextxy(200,55,ant.str4);
                getch();
                putimage(120,45,sub1win,COPY_PUT);
                break;

            case 33:
                getimage(120,70,300,95,sub1win);
                bar(120,70,300,95);
                setcolor(4);
                rectangle(

```

```

        120,70,300,95);
        outtextxy(130,80,"TEST AT :  ");
        gotoxy(25,6);
        gets(ant.str1);
        bar(120,70,300,95);
        rectangle(120,70,300,95);
        outtextxy(130,80,"TEST AT :  ");
        outtextxy(200,80,ant.str1);
        getch();
        putimage(120,70,sub1win,COPY_PUT);
        break;
    case 31:
        getimage(120,95,300,120,sub1win);
        bar(120,95,300,120);
        rectangle(120,95,300,120);
        outtextxy(130,105,"Step Angle : ");
        gotoxy(25,7);
        scanf("%d",&ant.ang);
        bar(120,95,300,120);
        rectangle(120,95,300,120);
        outtextxy(130,105,"Step Angle : ");
        sprintf(buf,"%d DEG",ant.ang);
        outtextxy(200,105,buf);
        getch();
        putimage(120,95,sub1win,COPY_PUT);
        break;
    }
}
while (keyin.ch[0]!='q');
}

box3()
{
    setfillstyle(1,1);
    bar(280,50,400,115);
    setcolor(15);
    rectangle(280,50,400,115);
    setttextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,4);
    outtextxy(285,52,"Pattern <F2>");
    outtextxy(285,70,"Spectrum <F3>");
    outtextxy(285,88,"Table <F4>");
}

void spectrum(void)
{
    setcolor(4);
    rectangle(140,180,500,380);
    setlinestyle(1,linepattern,1);
    line(230,180,230,380);
    line(320,180,320,380);
    line(410,180,410,380);
    line(140,220,500,220);
    line(140,260,500,260);
}

```

```

line(140,300,500,300);
line(140,340,500,340);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,4);
setbkcolor(15);
setcolor(6);
outtextxy(105,370,"-25db");
outtextxy(105,330,"-20db");
outtextxy(105,290,"-15db");
outtextxy(105,250,"-10db");
outtextxy(105,210," -5db");
outtextxy(105,170," 0db");
outtextxy(130,390,"180");
outtextxy(220,390,"270");
outtextxy(310,390,"0");
outtextxy(400,390,"90");
outtextxy(490,390,"180");
setcolor(1);
settextstyle (TRIPLEX_FONT, HORIZ_DIR, 2);
outtextxy(10,450,"Type of Antenna ");
outtextxy(200,450,ant.str4);
outtextxy(380,450,"Frequency =");
outtextxy(520,450,ant.str1);
outtextxy(200,100," Spectrum Graph ");
}

float readport(float le)
{
    float y,ze;
    float c=255.00 ;
    int px,wr,rd;
    outportb(0x703,0x8a); /*control port */
    outportb(0x702,0x0b);
    outportb(0x702,0x09);
    outportb(0x702,0x0f);
    do
    {
        wr=inportb(0x702);

        while (wr==0x1f);
        outportb(0x702,0x0b);
        outportb(0x702,0x0a);
        rd=inportb(0x701);
        ze=rd/c;
        le=-20*log10(ze);
        return le;
    }
}

void disp(void)

```

```

{
int i,j=20;
char ret;

keyin.ii=bioskey(0);
    if(!keyin.ch[0])switch(keyin.ch[1]){

        case 61:
            cleardevice();
            spectrum();
            calcu2();
            getimage(280,50,400,115,win2_image);
            break;
        case 62:
            cleardevice();
            settxtstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,4); /*
/*
            for(i=0;i<=44;i++){
                j=i*10;
                setbkcolor(8);
                setcolor(15);
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(0,20+j,buf);
            }
            for(i=45;i<=89;i++){
                j=(i-45)*10;
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(80,20+j,buf);
            }
            for(i=90;i<=134;i++){
                j=(i-90)*10;
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(160,20+j,buf);
            }
            for(i=135;i<=179;i++){
                j=(i-135)*10;
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(240,20+j,buf);
            }
            for(i=180;i<=224;i++){
                j=(i-180)*10;
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(320,20+j,buf);
            }
            for(i=225;i<=269;i++){
                j=(i-225)*10;
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(400,20+j,buf);
            }
            for(i=270;i<=314;i++){
                j=(i-270)*10;
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(480,20+j,buf);
            }
            for(i=315;i<=359;i++){
                j=(i-315)*10;
                sprintf ( buf," %d = %.2fdB",i, ant.level[i]);
                outtextxy(560,20+j,buf);
            }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        }
        getimage(280,50,400,115,win2_image);
        break;
    case 60:
        cleardevice();
        start();
        calcu();
        getimage(280,50,400,115,win2_image);
        break;
    }
    if (keyin.ch[0]=='q'){
        putimage(280,50,win2_image,COPY_PUT);
    }
}

void calcu2(void)
{
    float readport();
    int db=0;
    int i,oa,ca,d,se=0;
    float le,p,la,t[30],xipos[365],yipos[365];
    max_x=getmaxx();
    max_y=getmaxy();
    setcolor(1);
    for (la=0;la<=360;la=la+ant.ang)
    {
        if(lp==0){
            delay(500);
            ant.level[la]=readport(le);
            moter();
        }
        else
        {
        }

        oa=ant.level[la]*8;
        if(la<=180)
        {
            xipos[la]=320+la;
            yipos[la]=oa+180;
            putpixel(xipos[la],yipos[la],1);
            se=la-ant.ang;
            if (se>=0)
            {
                setlinestyle(0,linepattern,1);
                line(xipos[se],yipos[se],xipos[la],yipos[la]);
            }
        }

        if(la==180)
        {
            xipos[la]=140+(la-180);
            yipos[la]=oa+180;
            putpixel(xipos[la],yipos[la],1);
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

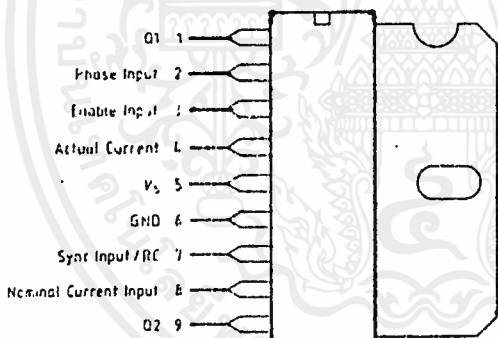
Stepper Motor Drivers

Preliminary Data

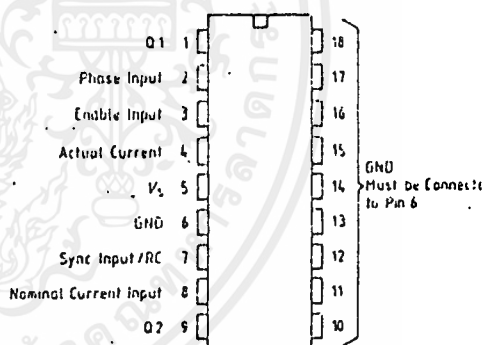
Type	Ordering Code	Package
TCA 1561 B	Q67000-A8209	P-SiP-9
TCA 1560 B	Q67000-A8208	P-DIP-18-L9

Pin Configurations (top view)

TCA 1561 B



TCA 1560 B



Pin Descriptions TCA 1561 B

Pin	Symbol	Function
1	Q1	Output Q1
2		Phase Input
3		Enable input
4		Actual current
5	V_S	Supply voltage
6	O_S	GND
7	RC	Sync input/RC
8		Nominal current input
9	Q2	Output Q2

The cooling fin is connected internally to pin 6 (ground).

TCA 1560 B

Pin	Symbol	Function
1	Q1	Output Q1
2		Phase Input
3		Enable input
4		Actual current
5	V_S	Supply voltage
6	O_S	GND
7	RC	Sync input/RC
8		Nominal current input
9	Q2	Output Q2
10-18		Ground (must be connected to pin 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(feof(fp)) return;
    printf(" can not read file \n");
}

fclose(fp);
}

```

```

#define PORTRAIT 0
#define LANDSCAPE 1

```

```

void Print_Graph(int Mode,int direction)
{

```

```

    char m;
    int i1,j1,k1,Msb,Lsb;
    int maxx,maxy;
    maxx=getmaxx();
    maxy=getmaxy();
    setviewport(0,0,maxx,maxy,0);
    fprintf(stdprn,"\0x1BA%c",7);

```

```

switch(direction){

```

```

    case PORTRAIT:

```

```

        Lsb=maxx&0x00FF;
        Msb=maxx>>8;
        for(j1=0;j1<=maxy/8;j1++){
            fprintf(stdprn,"\x1B%c%c%c",Mode,Lsb,Msb);
            for(i1=0;i1<=maxx;i1++)
            {
                m=0;
                for(k1=0;k1<8;k1++)
                {
                    m<<=1;
                    if(getpixel(i1,j1*8+k1))m++;
                }
                fprintf(stdprn,"%c",m);
            }
            fprintf(stdprn,"\x0a");
            fprintf(stdprn,"\x1b\x6A%c",12);
        }
        fprintf(stdprn,"\f");
        break;

```

```

    case LANDSCAPE:

```

```

        Lsb=maxy&0x00ff;
        Msb=maxy>>8;

```

```

        for(j1=0;j1<maxx;j1+=8)

```

```

        {
            fprintf(stdprn,"\x1B%c%c%c",Mode,Lsb,Msb);
            for(i1=maxy;i1>=0;i1--)
            {
                m=0;
                for(k1=0;k1<8;k1++){
                    m<<=1;
                    if(getpixel(j1+k1,i1))m++;
                }
            }
        }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        fprintf(stdprn,"%c",m);
    }
    fprintf(stdprn,"\x0a");
    fprintf(stdprn,"\x1b\x6A%c",12);
    }
    fprintf(stdprn,"\f");
}

void mater(void)
{
    int i,x,a,b;
    b=(ant.ang/2);
    outportb(0x703,0x8a);
    for (i=1;i<=b;i++){
        outportb(0x700,0x0f);
        delay(200);
        outportb(0x700,0x0b);
        delay(200);
        outportb(0x700,0x0a);
        delay(200);
        outportb(0x700,0x0e);
        delay(200);
    }
    outportb(0x700,0x00);
    delay(200);
}

```

DATA IC TCA 1560B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    if(la>180)
    {
        xpos[la]=140+(la-180);
        ypos[la]=oa+180;
        putpixel(xpos[la],ypos[la],1);
        se=la-ant.ang;

        if (se>=0)
        {
            setlinestyle(0,linepattern,1);
            line(xpos[se],ypos[se],xpos[la],ypos[la]);
        }
    }
}

lp=1;
return (lp);
}

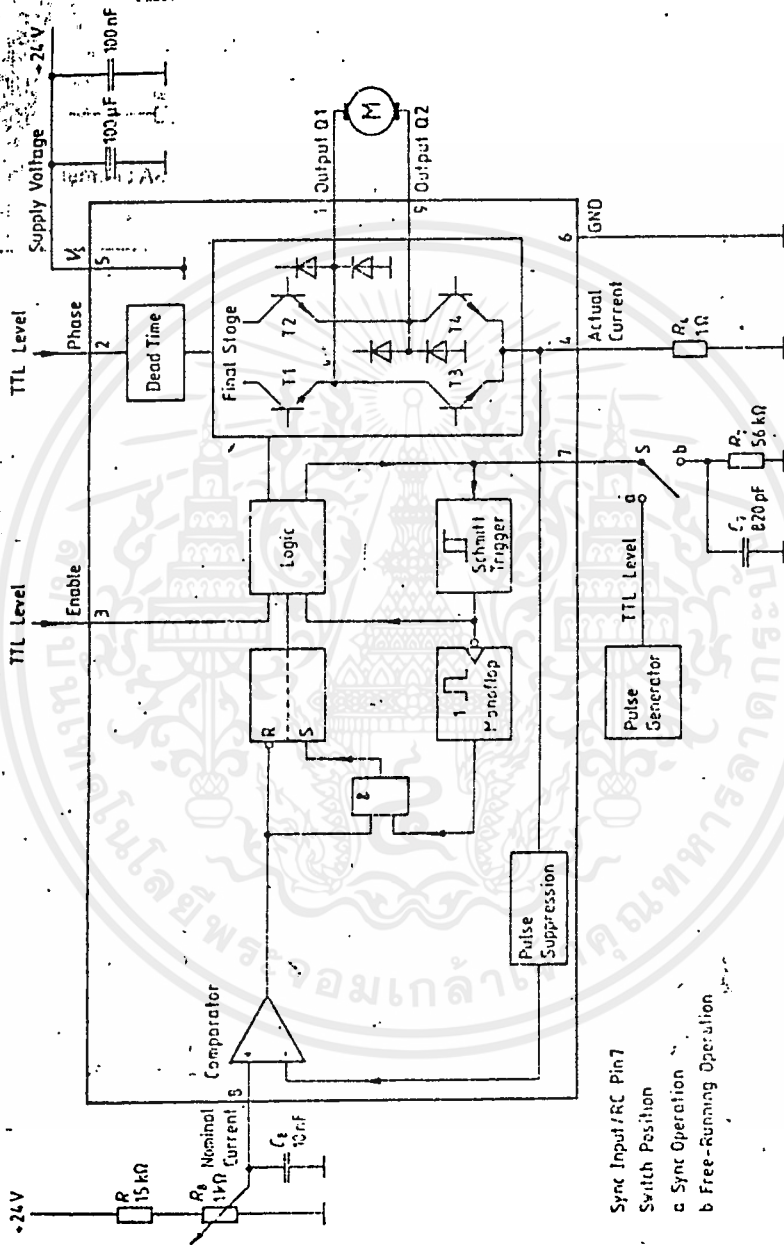
void savef()
{
    FILE *fp;
    if((fp=fopen(str2,"wb"))==NULL)
    {
        printf("can not open file\n");
        return;
    }
    if( fwrite(&ant,sizeof(struct data),1,fp)!=1){
        printf(" file write error \n");
    }
    fclose(fp);
}

void loadf()
{
    FILE *fp;
    if((fp=fopen(str2,"rb"))==NULL)
    {
        printf(" not open file\n");
    }
    if(fread(&ant,sizeof(struct data),1,fp)!=1)

```

TCA 1561 B
TCA 1560 B

Block Diagram



Siemens Aktiengesellschaft

Sync Input/RC Pin 7
 Switch Position
 a Sync Operation
 b Free-Running Operation

Logic Table

Enable		L	L	H	H
Phase		L	H	L	H
Output	Q1	/	/	L	H
Output	Q2	/	/	H	L
Transistor	T1	X	X	X	.
Transistor	T2	X	X	.	X
Transistor	T3	X	X	.	X
Transistor	T4	X	X	X	.

at:
 $V_i > 10 \text{ mV}$
 $R_i > 0 \Omega$

L = Low voltage level, input open

H = High voltage level

X = Transistor turned off

.

= Transistor conducting

.

= Transistor conducting with current limiting turned on

/ = Output high-impedance

TCA 1561 B

Maximum Ratings

$T_c = -25^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$

Description	Symbol	min	max	Unit
Supply voltage, pin 5	V_s	-0.3	45	V
Supply current, pin 5	I_s	0	2.5	A
Peak current in output transistors, pin 1, 9	I_o	-2.5	2.5	A

Diode currents

Diode to $+V_s$	I_{FH}		2.5	A
Diode to ground	I_{FL}		2.5	A
Input voltage, pins 2, 3, 7, 8	V_i	-0.3	6	V
Output current, pin 4	I_4	-2.5		A
Voltage, pin 4	V_4	-0.3	5	V
Ground current, pin 6	I_6		2.5	A
Junction temperature	T_j		150	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40	125	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance system - ambient	$R_{th \text{ SA}}$		70	K/W
system - case	$R_{th \text{ SC}}$		8	K/W

Operating Range

Supply voltage, pin 5 *	V_s	0	40	V
Package temperature	T_c	-25	85	$^\circ\text{C}$
Input voltage, pins 2, 3, 7	V_i		5	V
Output current	I_o	-2	2	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TCA 1561 B

Characteristics

 $V_S = 24\text{ V}; T_C = 25^\circ\text{C}$

Description	Symbol	Test conditions	min	typ	max	Unit
Supply current, pin 5	I_S	$V_{I3} = V_{IH}$.18	30	mA
Supply current, pin 5	I_S	$V_{I3} = V_{IL}$		0.5	1	mA

Output, pins 1, 9

Output voltage: source	V_{OH}	$ I_O = 1\text{ A}$		1.7	1.9	V
Output voltage: source	V_{OH}	$ I_O = 1.5\text{ A}$		1.9	2.1	V
Output voltage: sink	V_{OL}	$ I_O = 1\text{ A}$		1.2	1.4	V
Output voltage: sink	V_{OL}	$ I_O = 1.5\text{ A}$		1.5	1.7	V
Reverse current	$ I_{OS} $				300	μA
Phase dead time	t_T	Figure 1	0.1	0.3	1.0	μs
Forward voltage of diodes to V_S	V_{FH}	$I_{FM} = 1\text{ A}$		1.0	1.2	V
Forward voltage of diodes to V_S	V_{FH}	$I_{FM} = 1.5\text{ A}$		1.1	1.3	V
Forward voltage of diodes to ground	V_{FL}	$I_{FL} = 1\text{ A}$		1.1	1.3	V
Forward voltage of diodes to ground	V_{FL}	$I_{FL} = 1.5\text{ A}$		1.3	1.5	V

Inputs: enable, pin 8 and phase, pin 2

H input voltage	V_{IH}		2			V
L input voltage	V_{IL}				0.8	V
H input current	I_{IH}	$V_{IH} = 5\text{ V}$		50	100	μA
L input current	$-I_{IL}$	$V_{IL} = 0\text{ V}$			100	μA
Rise and fall time	t_r, t_f				2	μs

Nominal current, pin 8

Control range	V_{I8}		0		2	V
Input current	$-I_{I8}$	$V_{I8} = 0\text{ V}$			5	μA
Input offset voltage	$V_{I8(0)}$	Figure 5		0		mV

Actual current, pin 4

Control range	V_{I4}	Figure 5	0		2	V
Turn-off delay	t_D	Figure 3		2	3	μs

Sync input/RC, pin 7

Sync frequency	f	Duty cycle 0.5	1		100	kHz
Duty cycle	D	$f = 40\text{ kHz}$	0.1		0.9	
Rise and fall time	t_r, t_f				2	μs
Output current, pin 7	$-I_{O7}$		1.2	1.6	2.0	mA
Trigger threshold, pin 7	V_{T7}	Figure 2		0.6	0.8	V
Charging limit C-	V_{C-}		2.2	2.4		V
Off period	t_{OFF}	Figure 4		64		μs
Dynamic input resistance, pin 7	R_{in}	$V_{I7} = 1.5\text{ V}$		1		k Ω

TCA 1560 B

Maximum Ratings

 $T_C = 25^\circ\text{C}$ bis $+85^\circ\text{C}$

Description	Symbol	min	max	Unit
Supply voltage, pin 5	V_S	-0.3	45	V
Supply current, pin 5	I_S	0	1.25	A
Peak current in output transistors, pins 1, 9	I_O	-1.25	1.25	A

Diode currents, pins 1,9

Diode against $+V_S$	I_{FH}		1.25	A
Diode against ground	I_{FL}		1.25	A
Input voltage, pins 2, 3, 7, 8	V_I	-0.3	6	V
Output current, pin 4	I_A	-1.25		A
Voltage, pin 4	V_A	-0.3	5	V
Ground current, pin 6	I_G		1.25	A
Junction temperature	T_J		150	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40	125	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance system - ambient	$R_{th SA}$		70	K/W
system - case (measured at pin 14)	$R_{th SC}$		15	K/W

Operating Range

Supply voltage, pin 5	V_S	8	40	V
Package temperature measured at pin 14	T_C	-25	85	$^\circ\text{C}$
Input voltage, pins 2, 3, 7	V_I		5	V
Output current, pins 1, 9	I_O	-1	1	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TCA 1560 B

Characteristics

 $V_S = 24\text{ V}; T_C = 25^\circ\text{C}$

Description	Symbol	Test conditions	min	typ	max	Unit
Supply current, pin 5	I_C	$V_{I3} = V_{IH}$		18	30	mA
Supply current, pin 5	I_S	$V_{I3} = V_{IL}$		0.5	1	mA

Output, pins 1, 9

Output voltage: source	V_{OH}	$ I_{O1} = 0.5\text{ A}$		1.6	1.8	V
Output voltage: source	V_{OH}	$ I_{O1} = 0.75\text{ A}$		1.65	1.90	V
Output voltage: sink	V_{OL}	$ I_{O1} = 0.5\text{ A}$		1.0	1.2	V
Output voltage: sink	V_{OL}	$ I_{O1} = 0.75\text{ A}$		1.1	1.4	V
Reverse current	$ I_{OS} $				300	μA
Phase dead time	t_T	Figure 1	0.1	0.3	1.0	μs
Forward voltage of diodes to + V_S	V_{FH}	$I_{FH} = 0.5\text{ A}$		0.9	1.1	V
Forward voltage of diodes to + V_S	V_{FH}	$I_{FH} = 0.75\text{ A}$		0.95	1.15	V
Forward voltage of diodes to ground	V_{FL}	$I_{FL} = 0.5\text{ A}$		0.05	1.15	V
Forward voltage of diodes to ground	V_{FL}	$I_{FL} = 0.75\text{ A}$		1.0	1.2	V

Inputs: enable, pin 3 and phase, pin 2

H input voltage	V_{IH}		2			V
L input voltage	V_{IL}				0.8	V
H input current	I_{IH}	$V_H = 5\text{ V}$		50	100	μA
L input current	$-I_{IL}$	$V_{IL} = 0\text{ V}$			100	μA
Rise and fall time	t_r, t_f				2	μs

Nominal current, pin 8

Control range	V_{I8}		0		2	V
Input current	$-I_{I8}$	$V_{I8} = 0\text{ V}$			5	μA
Input offset voltage	$V_{I(8-4)}$	Figure 5		0		mV

Actual current, pin 4

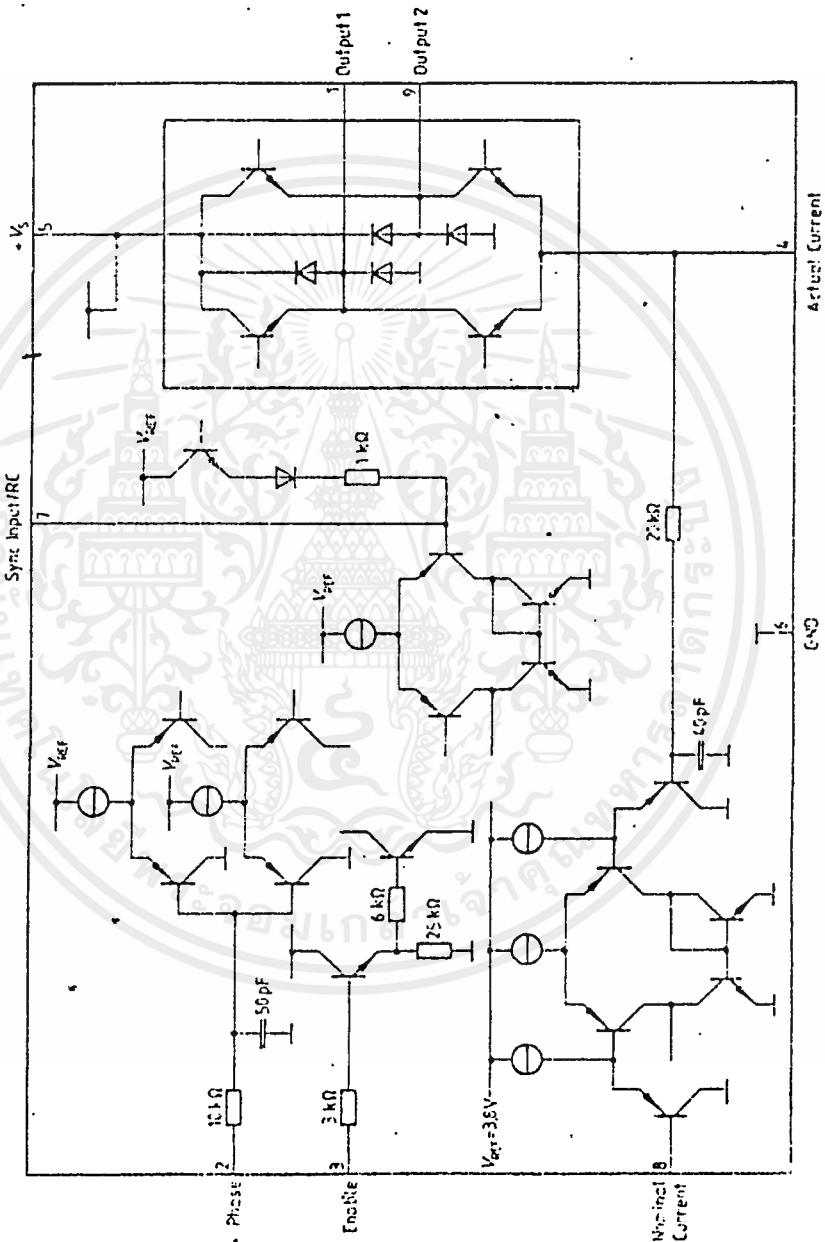
Regulating range	V_{I4}	Figure 5	0		2	V
Turn-off delay	t_D	Figure 3		2	3	μs

Sync input/RC, pin 7

Sync frequency	f	Duty cycle: 0.5	1		100	kHz
Duty cycle	D	$f = 40\text{ kHz}$	0.1		0.9	
Rise and fall time	t_r, t_f				2	μs
Output current, pin 7	$-I_{O7}$		1.2	1.6	2.0	mA
Trigger threshold, pin 7	V_{L7}	Figure 2		0.6	0.8	V
Charging limit C_7	V_{G7}		2.2	2.4		V
Off period	t_{OFF}	Figure 4		64		μs
Dynamic input resistance pin 7	R_{I7}	$V_7 = 1.5\text{ V}$		1		k Ω

TCA 1561 B
TCA 1560 B

Internal Wiring of Pins



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1
Phase Dead Time

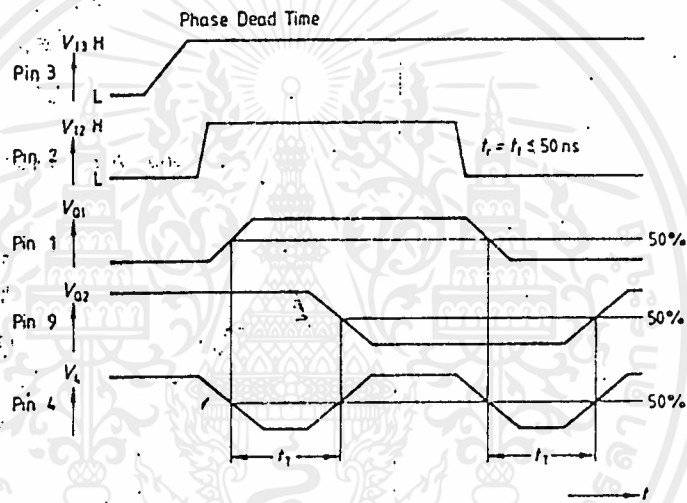
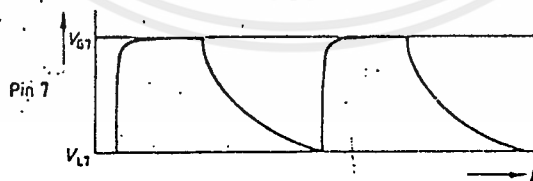


Figure 2
Trigger Threshold



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3
Turn-OFF Delay

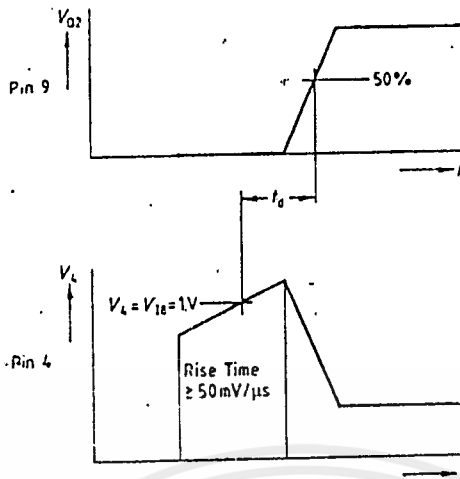
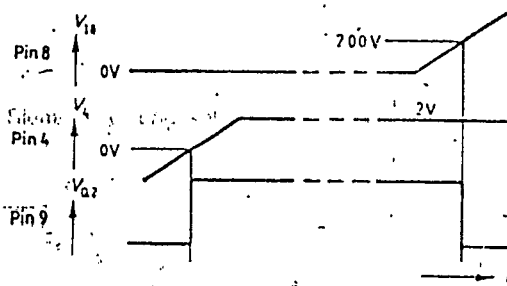
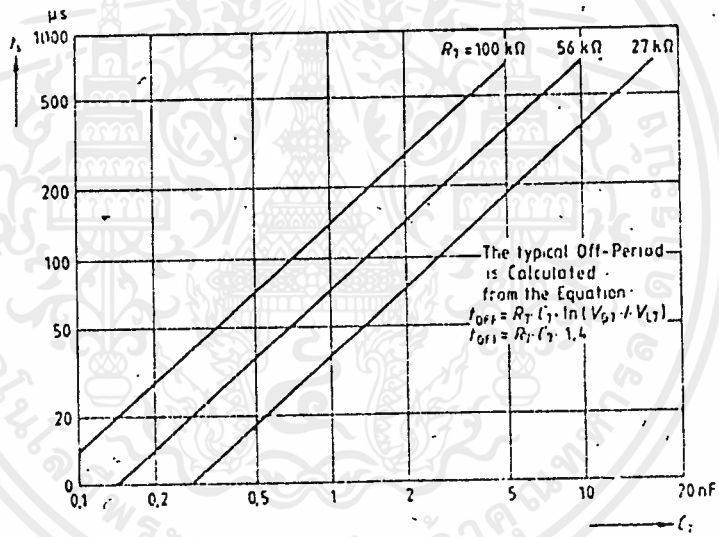
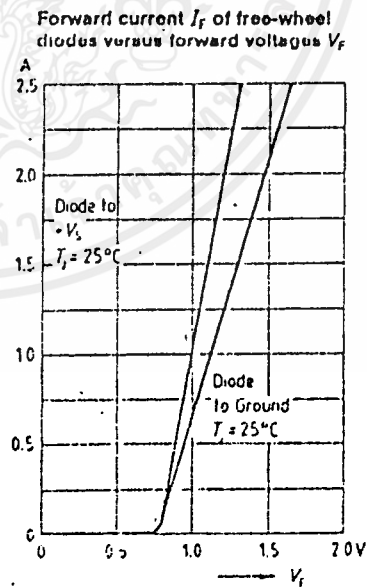
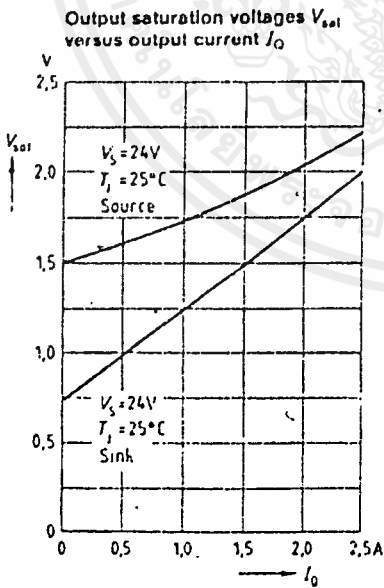
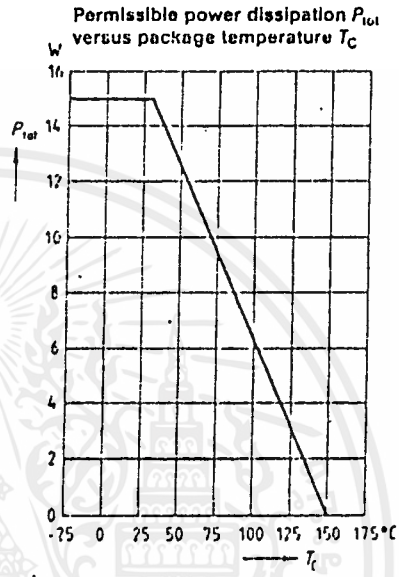
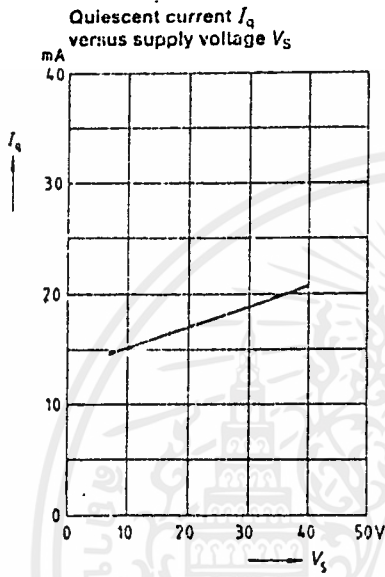


Figure 4
OFF Period versus Capacitance



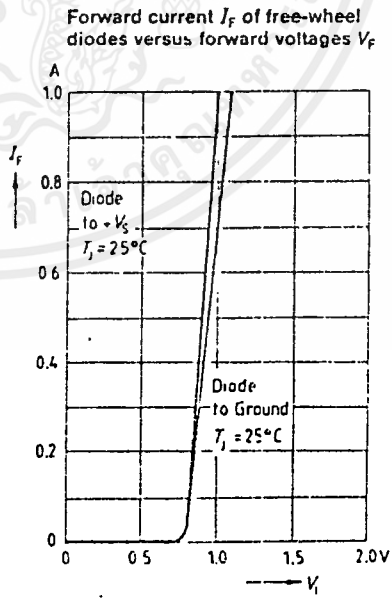
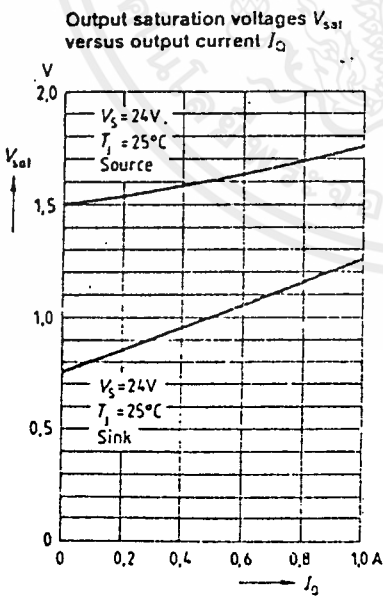
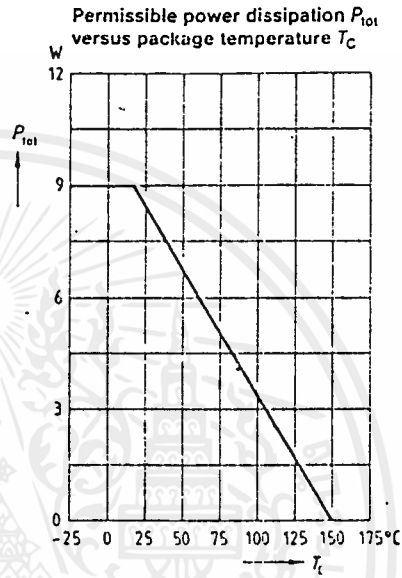
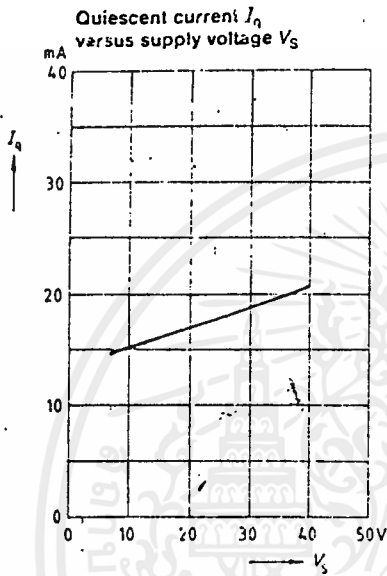
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TCA 1561 B



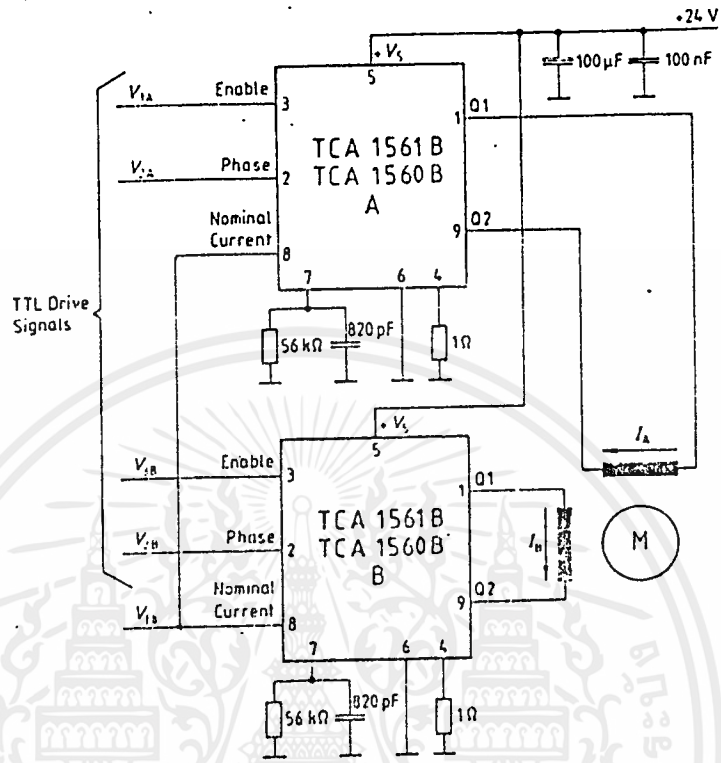
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TCA 1560 B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Circuit

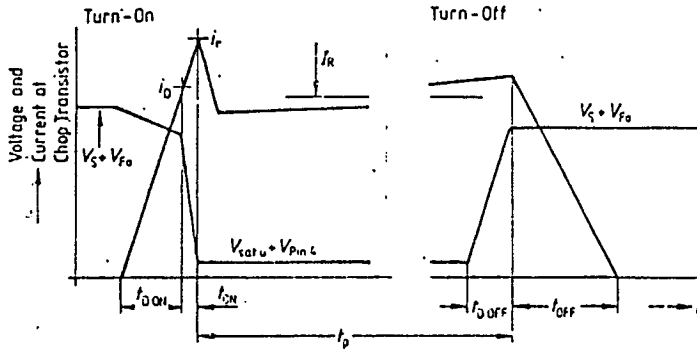


Pulse Diagram for Application Circuit



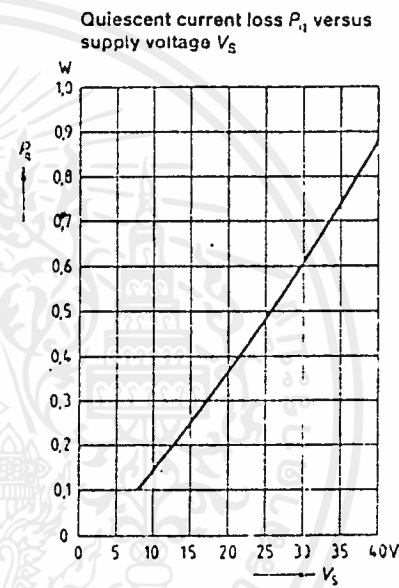
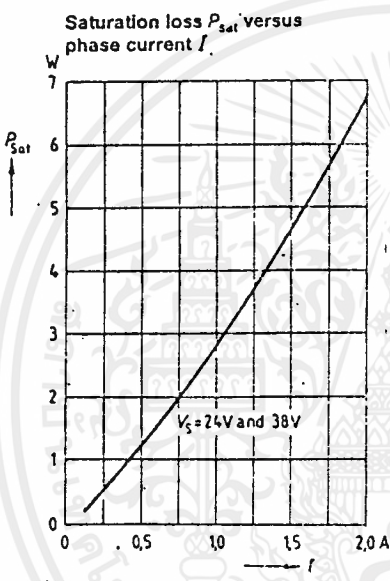
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calculation of Power Dissipation

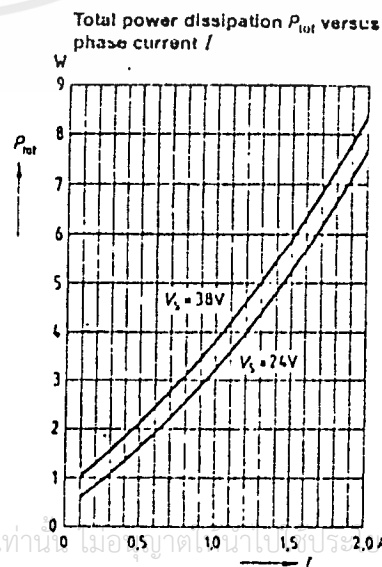
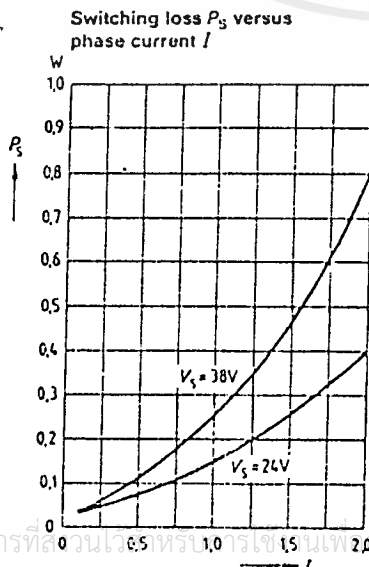


Characteristics for determining the typical power dissipation during chopper operation without phase reversal.

Parameters: $L_{load} = 10 \text{ mH}$, $C_7 = 820 \text{ pF}$, $R_7 = 33 \text{ k}\Omega$; $T_c = 25^\circ\text{C}$



TCA 1561 B
TCA 1560 B



Calculation of Power Dissipation

The total power dissipation P_{tot} comprises

- Saturation losses P_{sat} (transistor saturation voltage and diode forward voltages)
- Quiescent current losses P_q (quiescent current multiplied by supply voltage)
- Switching losses P_s (turn-on/turn-off operation)

The following equations give the power dissipation for chopper operation without phase reversal. This can be regarded as "worst case", as, in addition to the switching losses, full-load current flows for the entire time.

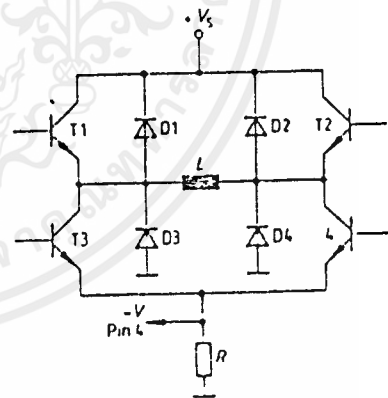
$$P_{tot} = P_{sat} + P_q + P_s$$

with $P_{sat} = I_R (V_{sat(su)} \cdot D + V_{fo} (1 - D) + V_{sat(sc)})$

$$P_q = I_q \cdot V_s$$

$$P_s = \frac{V_s}{T} \left\{ \frac{i_D \cdot t_{D,ON}}{2} + \frac{(i_D + i_r) \cdot t_{ON}}{4} + \frac{J_{IL}}{2} (t_{D,OFF} + t_{OFF}) \right\}$$

- I_R = Rated current (mean value)
- I_q = Quiescent current
- i_D = Reverse current during turn-on delay time
- i_r = Peak reverse current
- t_D = Conducting time of chop transistor
- t_{ON} = Turn-on time
- t_{OFF} = Turn-off time
- $t_{D,ON}$ = Turn-on delay time
- $t_{D,OFF}$ = Turn-off delay time
- T = Cycle duration
- D = Duty cycle t_D/T
- $V_{sat(su)}$ = Saturation voltage of sink transistor (T3, 4)
- $V_{sat(sc)}$ = Saturation voltage of source transistor (T1, 2)
- V_{fo} = Forward voltage of free-wheel diode (D1, 2)
- V_s = Supply voltage



กิติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีด้วยการช่วยเหลือให้การ
แนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่ ที่ใช้ในการทดลอง จากท่าน
อ. สมพล โกศลย์วิตร , อ. ประดิษฐ์ วัชรนิบูลย์ และ อ. ดลชัย สุขเจริญผล จนถึง
เพื่อน นักศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ โดยเฉพาะ คุณ ทวีรัตน์ ชาญเชิงพานิช ที่ซึ่งให้
ความอนุเคราะห์ในการใช้ computer เพื่อใช้ในการทำ project และการพิมพ์ปริญญา
โทฉบับนี้

จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นด้วยความจริงใจ

บรรณานุกรม

1. มัทธนา ปราการสมุทร , รศ. การเขียนชุดคำสั่งภาษาซี , พิมพ์ครั้งที่ 2 ,
โรงพิมพ์ ไอเทคพริ้นติง จำกัด .
2. ไมโนะ ไกรฤกษ์ , วิวัฒน์ กิรานนท์ , ทฤษฎีสายอากาศ , พิมพ์ครั้งที่ 2 ,
ตำราประกอบการเรียนการสอนวิชา 11401 , หน้า 1-12
3. ยืน กุวรรรณ , ทฤษฎีและการประยุกต์ ไมโครคอมพิวเตอร์ Z-80 ,
พิมพ์ครั้งที่ 2 , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , หน้าที่ 112-119
4. ยืน กุวรรรณ , สุธี จันทรวัตนวงศ์ , ทฤษฎีสายอากาศ , พิมพ์ครั้งที่ 10 ,
บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , หน้าที่ 19-35
5. วารสาร เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ , ฉบับที่ 112 ธันวาคม 2534 ,
หน้าที่ 33-37
6. วารสาร เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ , ฉบับที่ 97 ธันวาคม 2532-มกราคม
2533 , หน้าที่ 140-147
7. BEN EZZELL , GRAPHICS PROGRAMMING IN TURBO C 2.0 ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้