



สายอากาศเลือกรับสัญญาณแบบรอบตัวและแบบทิศทางเดียว

Switched Combine of Omnidirectional and Unidirectional Antennas



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

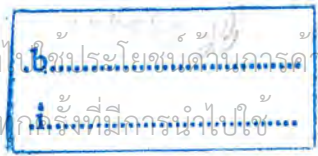
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 54956

วัน,เดือน,ปี ๒1 มี.ย. 2548



สายอากาศเดี่ยวรับสัญญาณแบบรอบตัวและแบบทิศทางเดียว
Switched Combine of Omnidirectional and Unidirectional Antennas



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546


ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง สายอากาศเลือกรับสัญญาณแบบรอบตัวและแบบทิศทางเดียว

Switched Combine of Omnidirectional and Unidirectional Antennas

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจันทนา ชูดม 44015004
2. นายเทวรักษ์ นักรบ 44015009
3. นายสุรเชษฐ์ วาณิชชัลลอ 44015040


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.สมพล โทศลิวีตร์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศเลือกจับสัญญาณแบบรอบตัวและแบบ
ทิศทางเดียว

Switched Combine of Omnidirectional and
Unidirectional Antennas

โดย นางสาวจันทนา ชูถม 44015004

นายเทวรักษ์ นักรบ 44015009

นายสุรเชษฐ์ วาณิชย์ลออ 44015040

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์
รศ.ดร. สมผล โกศลวิตร

บทกัตย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอระบบการเลือกจับสัญญาณจากสายอากาศสองชนิดคือสายอากาศแบบไดโพลที่แพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวและสายอากาศแบบวงแหวนบนแผ่นระนาบสะท้อนที่แพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้งสองชนิด โดยที่ตัวสายอากาศแบบวงแหวนบนแผ่นระนาบสะท้อนจะหมุนเพื่อหาทิศทางของคลื่นที่รับเข้ามาที่มีความแรงมากกว่าสายอากาศแบบไดโพลที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง สำหรับสายอากาศที่ได้ศึกษาสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นสถานีลูกข่ายในการสื่อสารเคลื่อนที่ต่อไป

Abstract

This project presents the switched combine of omnidirectional and unidirectional antennas. The antenna configuration is composed of a dipole antenna radiating omnidirectional beam and a ring above the reflector antenna radiating unidirectional beam. The radiation characteristics of both antenna types are examined. The received signal strength from the unidirectional antennas. The beam will be selected by the stronger signal. The results from the study are necessary for applying to the base station for mobile communications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ภาครับสัญญาณ	2
2.1.1 สายอากาศไดโพล (Dipole antennas)	2
2.1.2 สายอากาศแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ (Coaxial Collinear antennas)	8
2.1.3 สายอากาศแบบวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบ (Ring antennas)	9
2.1.4 สายอากาศแบบตัวสะท้อน	12
2.1.5 เครื่องวิเคราะห์ความเข้มของสัญญาณ	21
2.2 ภาควิเคราะห์สัญญาณ	22
2.2.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบซัสเซสซีฟแอสเพ็กซ์ซิเมชัน (Success Approximation ADC)	22
2.3 ภาคควบคุมสายอากาศ	28
2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	28
2.3.2 สเต็ปปีงมอเตอร์	30
2.3.3 วงจรขับมอเตอร์	36
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง	37
3.1 การออกแบบสายอากาศ	37
3.1.1 การออกแบบสายอากาศแบบวงแหวน	37
3.1.2 การออกแบบแผ่นสะท้อนและระยะห่างที่วางสายอากาศวงแหวนกับระนาบแผ่นสะท้อน	39
การสร้าง	39
3.2 การสร้างและออกแบบ ภาคการขับเคลื่อนสเต็ปปีงมอเตอร์ด้วย MCS-51	40
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	47
4.1 ผลการทดสอบสายอากาศ	47
4.1.1 ผลการทดสอบสายอากาศไดโพลที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องรับ	47
4.1.2 ผลการทดสอบสายอากาศวงแหวน(Ring Antenna)	52
4.1.3 ผลการทดสอบสายอากาศวงแหวนบนระนาบแผ่นสะท้อน (Ring Reflect Antenna)	56
4.2 การทดสอบผลที่ออกมาจากเครื่องรับ	61
4.3 การทดสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยทำการจำลอง การทำงานหาตำแหน่งที่มีความเข้มของสัญญาณสูง	63
4.3.2 ผลการวัดสัญญาณหลังจากผ่านวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล	66
4.4 การทดสอบระบบหาตำแหน่งความเข้มของสัญญาณ	68
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	73
5.1 สรุปและวิจารณ์	73
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	74
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลำดับการทำงาน (Block diagram) ของระบบ	2
รูปที่ 2.2 การไหลของกระแสบนสายนำสัญญาณเส้นลวดคู่	3
รูปที่ 2.3 การไหลของกระแสและการแพร่สัญญาณของสายนำสัญญาณปลายเปิด	3
รูปที่ 2.4 การไหลกระแสและการแพร่ของโคโพลเชิงเส้น	3
รูปที่ 2.5 การแพร่กระจายสัญญาณของโคโพลยาวครึ่งคลื่น	4
รูปที่ 2.6 การแพร่กระจายสัญญาณของโคโพลเชิงเส้นความยาวน้อยกว่าความยาวคลื่นมาก ($l \ll \lambda$)	4
รูปที่ 2.7 การแพร่กระจายสัญญาณของโคโพลเชิงเส้นความยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของ ความยาวคลื่น ($l > \lambda/2$) และความยาวมากกว่าความยาวคลื่น ($l > \lambda$)	4
รูปที่ 2.8 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ปรากฏรอบโคโพลครึ่งคลื่น	5
รูปที่ 2.9 สายอากาศโคแอกเซียลคอนลินีเยอร์	8
รูปที่ 2.10 สายอากาศที่มีวงแหวนล้อมรอบโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นภายใน	9
รูปที่ 2.11 การสะท้อนของคลื่นระนาบ, การโพลาริเซชันในแนวนอน	13
รูปที่ 2.12 การสะท้อนของคลื่นระนาบ, การโพลาริเซชันแบบตั้งฉาก	20
รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซีลเซสซีฟแอมป์หรืออิมพีเม้นต์	23
รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมแสดงเวลาการทำงานของวงจร ADC แบบซีลเซสซีฟแอมป์หรืออิมพีเม้นต์	24
รูปที่ 2.15 การจัดหาไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I ² C เบอร์ PCF8591	26
รูปที่ 2.16 ตำแหน่งขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	29
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส	31
รูปที่ 2.18 การทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส	32
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแบรคัวร์ลิคเตนซีได้	33
รูปที่ 2.20 เส้นแรงแม่เหล็กขณะกระตุ้นเฟส 1	33
รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการหมุนเมื่อมีการกระตุ้นเฟสจากเฟส 1 ไปยังเฟส 2	34
รูปที่ 2.22 โครงสร้างไฮบริดสเต็ปปีงมอเตอร์	35
รูปที่ 2.23 หลักการทำงานของไฮบริดสเต็ปปีงมอเตอร์	35
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการชี้ทิศทางกับความกว้างของสายอากาศในแต่ละค่า ของค่ารัศมีของตัวสายอากาศ	37
รูปที่ 3.2 การต่ออุปกรณ์วัดแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของ สนามไฟฟ้า	38
รูปที่ 3.3 การต่ออุปกรณ์วัดแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของ สนามแม่เหล็ก	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.4 ขนาดและลักษณะของสายอากาศคอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์	39
รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อระหว่างส่วน Control กับส่วนอื่นๆ	40
รูปที่ 3.6 วงจรการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล	41
รูปที่ 3.7 การต่อวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่สมบูรณ์	42
รูปที่ 3.8 โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์	43
รูปที่ 3.9 ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบฟูสเต็ม	43
รูปที่ 3.10 การออกแบบวงจรขับสเต็ปมอเตอร์	44
รูปที่ 3.11 การต่อวงจรขับมอเตอร์ที่สมบูรณ์	45
รูปที่ 3.12 การต่อวงจรเข้าร่วมกันที่สมบูรณ์แล้ว	46
รูปที่ 4.1 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพล	47
รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)	48
รูปที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไดโพล	49
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า	50
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามแม่เหล็ก	50
รูปที่ 4.6 ลักษณะของสายอากาศไดโพลที่นำมาใช้งานจริง	51
รูปที่ 4.7 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศวงแหวน	52
รูปที่ 4.8 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)	53
รูปที่ 4.9 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศวงแหวน	54
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า	55
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามแม่เหล็ก	55
รูปที่ 4.12 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศวงแหวนบนแผ่นระนาบสะท้อน	56
รูปที่ 4.13 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)	57
รูปที่ 4.14 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศวงแหวนบนแผ่นระนาบสะท้อน	58
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวน ติดแผ่นระนาบสะท้อน ระยะห่าง 4.866 เซนติเมตร และที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวน ติดแผ่นระนาบสะท้อน ระยะห่าง 4.866 เซนติเมตร และที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามแม่เหล็ก	59
รูปที่ 4.17 ลักษณะของสายอากาศวงแหวนล้อมรอบโพรบติดแผ่นระนาบสะท้อนที่ใช้งานจริง	60
รูปที่ 4.18 แสดงค่าสัญญาณที่วัดออกมาจากโดยทำการวัดช่วงที่รับสัญญาณมาเทียบความเข้ม	61
รูปที่ 4.19 โฟร์ซาร์ดโปรแกรมจำลองการทำงานหาตำแหน่งที่มีความเข้มของสัญญาณ	66
รูปที่ 4.20 ผลของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	67
รูปที่ 4.21 การจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทดสอบความเข้มของสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง	68
รูปที่ 4.22 ลักษณะการหมุนตามทิศทางที่มีความเข้มของสัญญาณ ที่ 90 องศา	69
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและระดับสัญญาณ	70
รูปที่ 4.24 ลักษณะการหมุนตามทิศทางที่มีความเข้มของระดับสัญญาณ ที่ 135 องศา	71
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและระดับสัญญาณ	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในระบบการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามลักษณะของตัวพาข้อมูลข่าวสารได้เป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ การส่งข้อมูลทางสายส่ง (Wire Communication) ใช้การส่งข้อมูลไปตามสายนำสัญญาณ เช่น ระบบโทรศัพท์ ระบบสายใยแก้วนำแสง เป็นต้น และ การส่งแบบไร้สาย (Wireless Communication) ซึ่งใช้การแพร่กระจายไปในอากาศซึ่งอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) เช่น ระบบการสื่อสารดาวเทียม ระบบโทรศัพท์ไร้สาย เป็นต้น ซึ่งลักษณะทั้ง 2 ที่กล่าวมามีคุณลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน การนำไปใช้จึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ลักษณะพื้นที่ที่นำไปใช้ และต้นทุนการผลิต เป็นต้น

ในการประยุกต์ใช้การส่งแบบไร้สายที่จะกล่าวถึงคือ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ (cellular) เป็นระบบการสื่อสารที่ได้รับความนิยมมีผู้ใช้เป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้จำนวนของสถานีฐาน (Base Station) ที่ใช้รองรับพื้นที่ให้บริการต้องเพิ่มขึ้นไปด้วย จึงเป็นเหตุให้มีการพัฒนาตัวสายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ซึ่งความหมายของสายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงต้องประกอบไปด้วยสิ่งเหล่านี้ คือ มีอัตราขยาย (Gain) ที่สูง มีสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) ที่ดี มีการโพลาไรซ์ (Polarization) ตามต้องการ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วสถานีฐานจะใช้สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัว (Omnidirectional Pattern) เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ โดยกว้าง แต่จะเกิดข้อบกพร่องตรงที่เมื่อนำไปใช้ในพื้นที่แคบๆและมีระยะทางไกล เช่น อุโมงค์ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำลงไป จึงได้มีการคิดริเริ่มว่าจะนำสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Pattern) เข้ามาทดแทนในส่วนนี้เพราะสายอากาศแบบมีทิศทางมีกำลังที่สูงและมีทิศทางที่แน่นอนทำให้แพร่กระจายไปได้ในระยะทางที่ไกลและบริเวณพื้นที่ที่แคบ

ดังนั้นแนวความคิดที่จะนำสายอากาศทั้งสองชนิดมาใช้งานร่วมกันได้เกิดขึ้น โดยการทดลองนี้ ได้สร้างสายอากาศมา 2 ชนิดคือสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว (Omnidirectional Antenna) และสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทาง (Directional Antenna) โดยใช้หลักการในการแพร่กระจายคลื่นของทั้ง 2 ตัวมาใช้ประโยชน์ในการรับสัญญาณ เมื่อทิศทางที่รับสัญญาณมาขึ้นเกิดการผิดเพี้ยนไป โดยไม่ใช่จุดที่รับสัญญาณได้แรง ก็จะทำการหมุนสายอากาศแบบทิศทางเพื่อหาสัญญาณที่แรงขึ้นรับเข้ามา สามารถจะนำไปใช้เลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานอื่นๆบริเวณใกล้เคียงได้ เมื่อสัญญาณจากสถานีฐานเดิมเกิดการขัดข้อง โดยในส่วนของการทำงานจะมีแบ่งเป็นส่วนรับสัญญาณ ส่วนประมวลผล และส่วนควบคุมสายอากาศ โดยใช้การนำเสนอในรูปแบบของโปรแกรมที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้งานได้โดยตรง และในการออกแบบนี้สามารถจะนำไปปรับปรุงให้ใช้ได้กับย่านความถี่อื่นๆและบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะจำกัดได้ตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

ระบบของการเลือกรับสัญญาณแบบรอบตัวและแบบทิศทางมีส่วนประกอบอยู่ 3 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ภาครับสัญญาณ ได้แก่ ส่วนของสายอากาศและเครื่องวิเคราะห์ความเข้มของสัญญาณ (Field strength meter)
2. ภาควิเคราะห์สัญญาณ เป็นส่วนที่นำสัญญาณจากภาครับสัญญาณ มาวิเคราะห์หาตำแหน่งของสายอากาศที่มีความเข้มสูงแล้วส่งต่อไปยังภาคควบคุมสายอากาศ
3. ภาคควบคุมสายอากาศ เป็นส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของสายอากาศทั้งหมด โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และสแต็ปปีงมอเตอร์



รูปที่ 2.1 ลำดับการทำงาน (Block diagram) ของระบบ

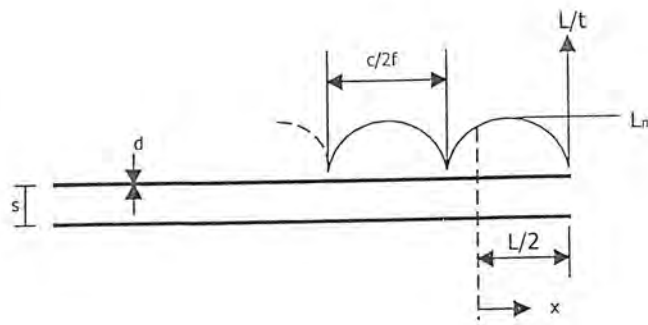
2.1 ภาครับสัญญาณ

2.1.1 สายอากาศแบบ ไดโพล

2.1.1.1 หลักการพื้นฐานของสายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)

สายอากาศไดโพลนั้นเกิดจากการป้อนกระแสเข้าไปในลวดตัวนำ (two wire transmission line) สมมติว่าลวดตัวนำนี้ไม่มีการสูญเสีย เมื่อกระแสไหลมาถึงปลายสาย ก็จะเกิดการสะท้อนกลับ โดยที่กระแสมีขนาดเท่าเดิมแต่กลับเฟส 180 องศา เมื่อนำสัญญาณหรือกระแสที่ออกจากแหล่งกำเนิดมารวมกับสัญญาณที่สะท้อนกลับ จะได้ค่าของสัญญาณที่จุดต่างๆบนสายนำสัญญาณ ที่ไม่เท่ากัน ดังรูป 2.2 ซึ่งเรียกว่า คลื่นนิ่ง (Standing Wave) การไหลของกระแสในสายนำสัญญาณจะกลับเฟส 180 องศาทุกครั้งลูกคลื่นของสัญญาณสำหรับสายส่งแบบสมมาตร (symmetrical transmission line) ค่ากระแสในครึ่งรอบของสายหนึ่ง จะมีขนาดเท่ากับกระแสของอีกสายหนึ่ง ในช่วงเวลาเดียวกันแต่กลับเฟส 180 องศา ดังแสดงด้วย ลูกศรบนสายนำสัญญาณในรูป 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

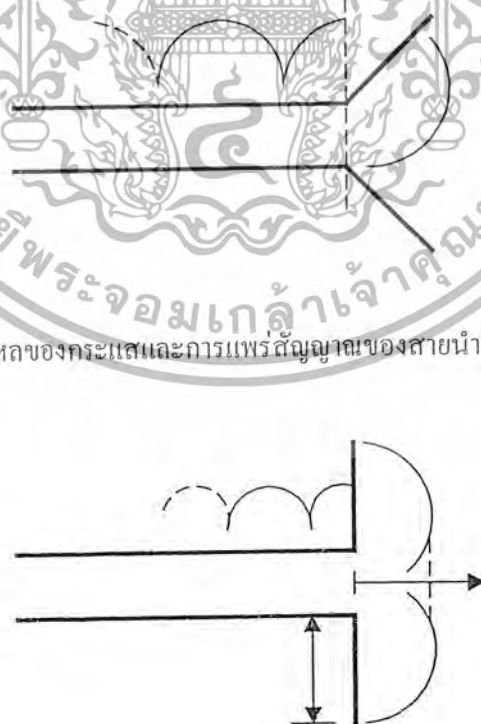


รูปที่ 2.2 การไหลของกระแสบนสายนำสัญญาณเส้นลวดคู่

ถ้าหากช่องว่างระหว่าง 2 เส้นของสายส่งแบบสมมาตร (s) น้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น การแพร่กระจายคลื่นจากสายหนึ่ง จะถูกหักล้างจากคลื่นอีกสายหนึ่งจนหมด ฉะนั้นจึงไม่มีการแพร่กระจายของคลื่นเกิดขึ้นจากสายนำสัญญาณที่มีโครงสร้างแบบนี้

เมื่อเราจัดสายนำสัญญาณให้เป็นอย่างรูป 2.3 การแพร่กระจายของคลื่นจากทั้งสองสายของสายนำสัญญาณปลายเปิดจะถูกหักล้างกันเพียงบางส่วนเท่านั้น ทำให้มีคลื่นที่แพร่กระจายออกไปจากสายนำสัญญาณแบบนี้ได้

เมื่อเราจัดสายนำสัญญาณให้เป็นอย่างรูป 2.4 พัฒนามาจากรูป 2.3 มาเป็นไดโพลเชิงเส้นซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปของสายอากาศแบบไดโพลที่ใช้กันแพร่หลาย



รูปที่ 2.3 การไหลของกระแสและการแพร่สัญญาณของสายนำสัญญาณปลายเปิด

รูปที่ 2.4 การไหลกระแสและการแพร่ของไดโพลเชิงเส้น

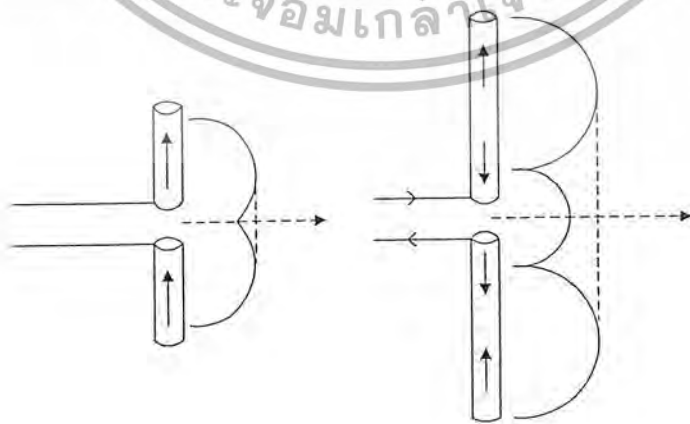
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์การสะท้อนของคลื่นในไดโพลเชิงเส้นคือเมื่อคลื่นลูกแรกเดินทางมาถึงปลายสาย ด้านหนึ่งจะสะท้อนกลับ ทำให้ทิศทางการไหลของกระแสเปลี่ยนเป็นไหลสวนกัน และในขณะเดียวกัน คลื่นลูกที่สองเดินทางมาถึงพอดีตรงปลายสาย เนื่องด้วยกระแสเท่ากันแต่ทิศทางกระแสสวนกันจึงทำให้ กระแสหักล้างกันเป็นศูนย์ ถ้าพิจารณาจุดถัดมาจากปลายลวดตัวนำ พบว่าขนาดของคลื่นที่เดินทางไปกับที่ สะท้อนกลับมามีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการเสริมและหักล้างของกระแสขึ้น จนพิจารณาผลลัพธ์ของ กระแสได้ว่าที่ระยะเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่นจากปลายลวดตัวนำจะมีค่าขนาดของกระแสมากที่สุด ซึ่งเป็นคุณสมบัติถูกนำมาใช้เป็นสายอากาศไดโพลที่ความยาวคลื่นเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นดัง แสดงในรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 การแพร่กระจายสัญญาณของไดโพลยาวครึ่งคลื่น

ซึ่งถ้าไดโพลมีความยาวน้อยกว่านี้ หรือมากกว่านี้ขนาดกระแสจะลดลงดังรูป 2.6 และ 2.7

รูปที่ 2.6 การแพร่กระจายสัญญาณของไดโพลเชิงเส้นความยาวน้อยกว่าความยาวคลื่นมาก ($l \ll \lambda$)

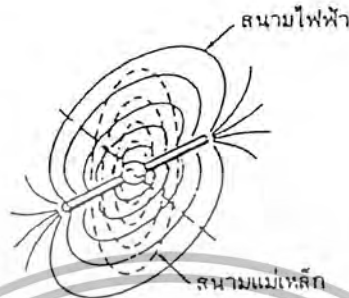


รูปที่ 2.7 การแพร่กระจายสัญญาณของไดโพลเชิงเส้นความยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ($l > \lambda/2$) และมีความยาวมากกว่าครึ่งของความยาวคลื่น ($l > \lambda$)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

เนื่องจากปลายสายอากาศทั้งสองด้านมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองสนามไฟฟ้านี้ เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ แต่สนามไฟฟ้าในที่นี้ ไม่จำกัดอยู่เฉพาะแผ่นประจุ แต่กระจายออกสู่อวกาศดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ปรากฏรอบไดโพลครึ่งคลื่น

สังเกตว่าในกรณีเดียวกันนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นด้วย เพราะมีกระแสในสายอากาศ เนื่องจากกระแสไหลมากที่สุดบริเวณจุดป้อนสัญญาณ สนามแม่เหล็กบริเวณจุดป้อนสัญญาณจึงแรง ทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกไปได้ คลื่นดังกล่าวจะเดินทางไปเรื่อยๆ แม้ว่ากระแสและแรงดันจะหยุดป้อนให้สายอากาศแล้วก็ตาม

อย่างไรก็ดีเมื่อคลื่นเดินทางยังห่างจากสายอากาศเท่าใด พลังงานก็จะอ่อนลง แอมพลิจูดของคลื่น (หรือสนาม) แม่เหล็กไฟฟ้าที่เรานิยามวัดเป็นแรงดันที่เหนี่ยวนำบนเส้นลวด (สายอากาศ) เราเรียกค่าที่วัดได้ว่า ความแรงสนาม (field strength)

ความแรงสนามจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเครื่องส่งและกำลังส่ง ความแรงจะน้อยลง ณ จุดที่ห่างออกไปโดยแปรผกผันกับระยะทาง ในทำนองเดียวกันถ้ากำลังส่งของเครื่องมากขึ้น ความแรงของสนามจะแรงขึ้นตาม แต่อย่างไรก็ตาม ความแรงของสนามเป็นค่าแรงดัน (ที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ) แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรตามกำลังสองของแรงดัน ฉะนั้นความแรงสนามจะเป็นสัดส่วนของรากที่สอง (square root) ของกำลังที่เครื่องส่งนั่นคือ ถ้ากำลังส่งเพิ่มเป็นสองเท่า ความแรงของสนามจะเพิ่มเป็น $\sqrt{2}$ เท่า หรือ 1.414 เท่า

2.1.1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศไดโพล

1. ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นมีค่าจำกัดความในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศ เกี่ยวกับสนามระยะไกล ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น สามารถหาได้จากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.1)$$

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น

2. ความหนาแน่นของกำลังงานที่แพร่กระจาย

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังงานไฟฟ้า โดยที่ความสัมพันธ์ได้แก่ พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น มีสมการแสดงความสัมพันธ์คือ

$$\boldsymbol{\omega} = \bar{\mathbf{E}} \times \bar{\mathbf{H}} \quad (2.2)$$

$\boldsymbol{\omega}$ = พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น

$\bar{\mathbf{E}}$ = ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้น

$\bar{\mathbf{H}}$ = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น

เนื่องจากพอยดิงเวกเตอร์แสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานที่พุ่งผ่านผิวปิดจะหาโดยการอินทิเกรตจะได้

$$\mathcal{P} = \iint_s \boldsymbol{\omega} \cdot d\mathbf{s} = \iint_s \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{n} da \quad (2.3)$$

\mathcal{P} = กำลังงานทั้งหมดซึ่งขณะเวลานั้น

da = พื้นที่จวบจนพื้นผิวปิด

ในกรณีแปรผันกับเวลา จะหาค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่แพร่กระจายจากสายอากาศตามสมการ

$$\begin{aligned} P_{rad} = P_{av} &= \iint_s \bar{w}_{rad} \cdot d\mathbf{s} \\ &= \iint_s \bar{w}_{av} \cdot d\mathbf{s} \end{aligned} \quad (2.4)$$

3. ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นเราจำเป็นต้องรู้จักไดเรกทิฟเกน (Directive Gain) ก่อน ไดเรกทิฟเกนคือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของ

สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสภาพเจาะจงทิศทางคือค่าของไดเรกทิฟเฟน ในทิศทางที่มีค่ามากที่สุด หรือคืออัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นที่มากที่สุด ต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส ได้สมการว่า

$$D_g = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.5)$$

$$D_0 = \frac{U_{max}}{U} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.6)$$

D_g = ไดเรกทิฟเฟน (ไม่มีหน่วย)

D_0 = ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (ไม่มีหน่วย)

U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

U_{max} = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

U_0 = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (W/หน่วยมุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (W)

4. อัตราการขยาย (Gain)

เกนเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทาง โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ค่าสภาพเจาะจงทิศทางอธิบายคุณสมบัติ ในกรณีทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เอน ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยเฉพาะโดยทั่วไปแล้วเราจะพิจารณาเฉพาะเพาเวอร์เอนในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนี้

$$\text{อัตราการขยาย} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_m} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.7)$$

$U(\theta, \phi)$ = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น

P_m = กำลังทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ

5. ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพสายอากาศทั้งหมด e_t จะใช้เมื่อคำนึงการสูญเสียต่างๆที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศ การสูญเสียอาจเนื่องมาจาก

ก) การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพงษ์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ

ข) การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน ($\Gamma^2 R$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปจะคำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.8)$$

- เมื่อ e_t = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)
 e_r = ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ $= (1 - |\Gamma|^2)$ (ไม่มีหน่วย)
 e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)
 e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)
 Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ

2.1.2 สายอากาศแบบโคแอกเซียลคอลลิเนียร์ (Coaxial Collinear Antenna)

สายอากาศแบบโคแอกเซียลคอลลิเนียร์เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างประกอบด้วยสายโคแอกเซียล (Coaxial Cable) หลายๆ เส้นมาต่อเรียงกัน ได้ดังรูปที่ 2.9 โดยที่แต่ละเส้นมีความยาว $\lambda_c/4$ (ค่า λ_c คือ ความยาวคลื่นในสาย) ที่มีความถี่กึ่งกลางที่ใช้งาน และในการต่อกันระหว่างสายแต่ละเส้น ซึ่งทำหน้าที่เป็นเอลิเมนต์ของอาร์เรย์ (Array Element) นั้นจะสลับระหว่างตัวนำเส้นในกับตัวนำเส้นนอก เพื่อให้มีเฟสของการป้อนกระแสของเอลิเมนต์ที่เป็นเฟสเดียวกัน เพื่อทำให้บรอดไซด์อาร์เรย์ (Broadside Array) สายอากาศแบบนี้มีแพทเทิร์นการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบออมนิไดเรกชันแนล (Omnidirectional) มีข้อดีคือสร้างได้ง่าย และรูปร่างกะทัดรัด



รูปที่ 2.9 สายอากาศโคแอกเซียลคอลลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรู๊ปงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

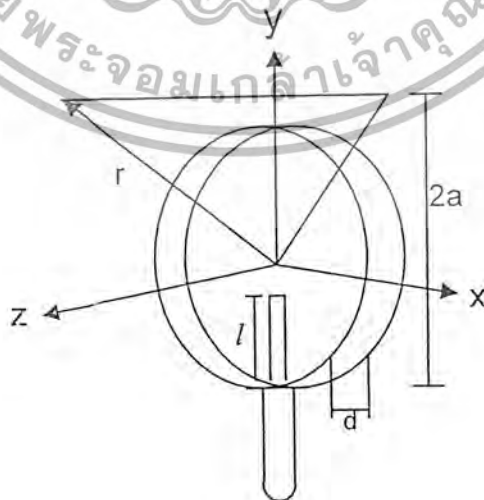
สายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์โดยทั่วไป มีลักษณะดังรูปที่ 2.9 ซึ่งนอกจากจะเป็นสายอากาศที่ติดอยู่กับกราวด์เพลนแล้ว อาจเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างสมมาตรรอบกราวด์เพลนโดยอาศัยทฤษฎีเงา (Image Theory) ได้เช่นกัน สายโคแอกเชียลแต่ละเส้น (#1, #2, ..., #N) จะมีความยาวหนึ่งส่วนสี่ของคลื่นในสาย ต่อกันอยู่ในลักษณะที่สลับตัวนำในและตัวนำนอก การทำเช่นนี้จะทำให้สายโคแอกเชียลแต่ละเส้นทำหน้าที่สองอย่างในเวลาเดียวกัน คือ 1) ทำหน้าที่เป็นสายส่งนำคลื่นไปสู่สายอากาศตัวถัดๆ ไป และ 2) ทำหน้าที่เป็นสายอากาศเอเลเมนต์ของลิเนียร์อาร์เรย์ และเมื่อความยาวของสายเป็นความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ทำให้แต่ละเอเลเมนต์ของลิเนียร์อาร์เรย์ถูกป้อนด้วยกระแสมีเฟสเดียวกัน ซึ่งเป็นผลให้สายอากาศนี้เป็นบรอดไซด์อาร์เรย์ที่มีแพทเทิร์นเป็นแบบออมนิไดเรกชันแนล

2.1.3 สายอากาศแบบวงแหวนวงกลมล้อมรอบโพรบ

2.1.3.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐาน

สายอากาศที่นำมาใช้จะประกอบด้วยโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยความยาว l ที่ต่อกับสายนำสัญญาณแบบสายโคแอกเชียลโดยผ่านตัวต่อ (connector) แบบ N-type และถูกล้อมรอบด้วยวงแหวนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปทรงกระบอกโดยมีรัศมีและความยาวของวงแหวนเป็น a และ d ตามลำดับ ซึ่งโพรบจะวางตัวตามแนวแกน y ดังรูป

ให้พิจารณาว่า วงแหวนเป็นส่วนหนึ่งของท่อนำคลื่นแบบทรงกระบอกซึ่งมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายในทิศทาง z และ $-z$ และจะแพร่กระจายออกจากขอบของวงแหวนที่ช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกมาจากช่องเปิดทั้ง 2 ด้านนี้ จะสอดคล้องกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโหมดคลื่น (mode) ต่างๆ มากมายที่อยู่ภายในท่อนำคลื่นทรงกระบอก ดังนั้นความยาวของวงแหวนและรัศมีจึงถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อที่จะทำให้โหมดอื่นๆ ถูกตัดออกไปให้เหลือเพียงโหมดคลื่นหลัก (dominant mode: TE_{11}) เพียงโหมดเดียว แต่อย่างไรก็ตาม บริเวณที่ใกล้กับโพรบก็ยังคงมีโหมดคลื่นอื่นๆ รวมอยู่ด้วย



รูปที่ 2.10 สายอากาศที่มีวงแหวนล้อมรอบโพรบไฟฟ้าเชิงเส้นภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้ว โหมดคลื่นอื่นๆที่ไม่ใช่โหมดหลักจะเป็นรูปแบบของคลื่นที่เรียกว่า คลื่นจางหาย (evanescent wave) และโหมดคลื่นเหล่านี้จะมีขนาดลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางที่คลื่นเดินทางออกจากโพรมีต่ามากขึ้น ด้วยเหตุนี้จะต้องเลือกระยะทางที่ห่างจากโพรมีต่าให้ขนาดของโหมดคลื่นอื่นๆมีค่าน้อยมากจนสามารถเพิกเฉยได้ เพื่อที่ว่าบริเวณขอบของวงแหวนที่ช่องเปิดทั้งสองด้านที่เป็นจุดที่คลื่นจะเดินทางออกไปนั้น จะมีแต่รูปแบบหลักเพียงรูปแบบเดียว ซึ่งก็คือการกำหนดค่าความยาวของวงแหวนนั่นเอง ส่วนการกำหนดค่ารัศมี จะต้องทำให้มีค่าความถี่คัตออฟ (cutoff frequency) ที่ต่ำสุด เพื่อให้มีเพียงโหมดคลื่นหลักแพร่กระจายออกจากช่องเปิดทั้ง 2 ด้านของวงแหวน และโหมดคลื่นอื่นๆที่อยู่ติดกับโหมดคลื่นหลัก คือ TE_2 , จะต้องถูกตัดออกไป ดังนั้น ค่ารัศมีของวงแหวนที่เหมาะสมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$0.293\lambda < a < 0.486\lambda \quad (2.9)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นที่ความถี่ที่ใช้งาน (operating frequency) โดยค่าความถี่ที่ใช้งานคือ $f = 1900$ MHz

2.1.3.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานสายอากาศ (Essential Antenna Parameters)

1. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคือ รูปที่ใช้เพื่อเป็นตัวบอกว่า ทิศทางต่าง ๆ รอบตัวสายอากาศสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นอย่างไร มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่กัณฑ์ (rectangular) กับ แบบเชิงขั้ว (polar) ซึ่ง แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูด (amplitude) ของสนาม (field) หรือกำลังงาน (power) กับทิศทาง (direction) ของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งแสดงในรูปของมุม (angle) ในหน่วยองศา (degree) หรือเรเดียน (radian)

2. ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน (ตลอดพื้นผิวทรงกลม) แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นกับสนามแม่เหล็กของสายอากาศในระยะไกล ได้ดังนี้

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} \left[|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2.10)$$

เมื่อ E_θ, E_ϕ คือ ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าในสนามระยะไกล

η คือ อินทรินสิคอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

3. ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ค่าการชี้ทิศทาง คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงว่า สายอากาศมีความแรงที่ทิศทางต่าง ๆ มากน้อยแค่ไหน ซึ่งวัดในหน่วยของ dBi เขียนเป็นสมการได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_0 = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.11)$$

เมื่อ U_{\max} คือ ค่าสูงสุดของความเข้มการแผ่กระจายคลื่น
 P_{rad} คือ กำลังงานที่แผ่กระจายคลื่น

$$P_{\text{rad}} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U \sin(\theta) d\theta d\phi \quad (2.12)$$

4. การเข้าหากันได้ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ (Matching Impedance)

การเข้าหากันได้ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณ จะเป็นตัวบอกว่า คลื่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด (source) นั้น สามารถจะถูกส่งผ่านสายอากาศออกไปได้หมดหรือไม่ โดยพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อย่าง คือ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของสายอากาศ และค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) ของสายนำสัญญาณ (Transmission Line)

5. ความกว้างของลำคลื่นที่กึ่งกำลังลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beam Width : HPBW)

คือ มุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มการแผ่กระจายคลื่นในลำคลื่นหลักมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด โดยจะวัดในหน่วยองศา (degree)

6. อัตราขยาย (Gain)

คือ ความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าการชี้ทิศทาง โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ประสิทธิภาพของสายอากาศจะประกอบด้วย ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ , ประสิทธิภาพของตัวนำ และประสิทธิภาพของฉนวน

$$\text{Gain} = \text{Directivity} \times \text{Efficiency of antenna} \quad (2.13)$$

7. ค่าอัตราส่วนของลำคลื่นหลักต่อลำคลื่นย่อย (Side Lobe Ratio : SLR)

คือ อัตราส่วนระหว่างระดับลำคลื่นย่อยแรกต่อระดับลำคลื่นหลัก

$$\text{SLR} = \text{Side lobe level (dB)} - \text{Main lobe level (dB)} \quad (2.14)$$

8. ค่าความกว้างของลำคลื่นที่เป็นศูนย์คู่แรก (First Null Beam Width : FNBW)

คือ มุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มการแผ่กระจายคลื่นในลำคลื่นหลักมีค่าลดลงเป็นศูนย์ โดยจะวัดในหน่วยองศา (degree)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การโพลาไรซ์ (Polarization)

คือ ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบอกว่า เมื่อคลื่นเดินทางออกจากสายอากาศสนามไฟฟ้า (Electric field) จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ประกอบไปด้วย

9.1 การโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarization)

คือ เมื่อคลื่นเดินทาง สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอด แบ่งเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization)

9.2 การโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular Polarization)

คือ เมื่อคลื่นเดินทาง สนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะวงกลมตลอด การเคลื่อนที่ของคลื่น แบ่งเป็น วงกลมหมุนขวา (right hand circular) และ วงกลมหมุนซ้าย (left hand circular)

9.3 การโพลาไรซ์แบบวงรี (Elliptical Polarization)

คือ เมื่อคลื่นเดินทาง สนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะวงรี

10. ช่วงกว้างความถี่ (Bandwidth : Δf)

คือ ช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด หรือช่วงความถี่ที่สายอากาศยังคงมีคุณสมบัติต่างๆ อยู่ในช่วงใช้งานได้ เหมือนกับที่ใช้งานได้ เหมือนกับที่ออกแบบไว้ที่ความถี่กลาง แบ่งเป็น

10.1 ช่วงกว้างความถี่แคบ (Narrow - band)

คือ ความถี่ที่มีช่วงความถี่ของความถี่ใช้งานน้อย

$$\Delta f = \frac{f_H - f_L}{f_o} \times 100 \% \quad (2.15)$$

10.2 ช่วงความถี่กว้าง (Broadband)

คือ ความถี่ที่มีช่วงความถี่ของความถี่ใช้งานมาก

$$\Delta f = \frac{f_H}{f_L} : 1 \quad (2.16)$$

2.1.4 สายอากาศแบบตัวสะท้อน

สายอากาศแบบตัวสะท้อน จัดเป็นสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงกว่าสายอากาศอย่างง่าย เช่น สายอากาศไดโพล ฯลฯ การแผ่พลังงานของสายอากาศแบบตัวสะท้อนนี้จะเกิดจากการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มีอัตราขยายต่ำ เช่น ไดโพล หรือ ฮอร์น เป็นต้น ตรงไปยังตัวสะท้อนที่เป็นพื้นผิวตัวนำขนาดใหญ่ โดยแหล่งกำเนิดที่มีอัตราขยายต่ำนี้ จะเรียกว่า อะเพอร์เจอร์ปฐมภูมิ และตัวสะท้อนขนาดใหญ่กว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศที่มีอัตราขยายต่ำ เช่น ไดโพล หรือ ฮอร์น เป็นต้น ตรงไปยังตัวสะท้อนที่เป็นพื้นผิวตัวนำขนาดใหญ่ โดยแหล่งกำเนิดที่มีอัตราขยายต่ำนี้ จะเรียกว่า อะเพอร์เจอร์ปฐมภูมิ และตัวสะท้อนขนาดใหญ่กว่านี้เรียกว่า อะเพอร์เจอร์ทุติยภูมิ การวิเคราะห์การแผ่พลังงานของสายอากาศแบบนี้จะเป็นการวิเคราะห์การแผ่พลังงานเนื่องจากกระแสที่อะเพอร์เจอร์ทุติยภูมิ

2.1.4.1 แผ่นสะท้อนแบบระนาบ

สำหรับการวิเคราะห์การแผ่พลังงานจากแผ่นสะท้อนแบบระนาบ (Plane Reflector) นั้นจะสมมุติให้คลื่นระนาบนั่นตกกระทบบนระนาบตัวนำขนาดอนันต์ (Infinite Conducting Plane) ที่วางอยู่ในระนาบ $x = 0$ ในกรณีทีระบบพิกัดนี้สามารถหมุนได้โดยจะหมุนจนกระทั่งทิศทางของคลื่นระนาบ ζ อยู่ในระนาบ $z = 0$ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การสะท้อนของคลื่นระนาบ, การโพลาไรซ์เซชันในแนวอนันต์ของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบบนจะสามารเขียนใหม่ได้เป็น

$$E_t = E_{oi} e^{j(\omega t - \gamma z)} \quad (2.17)$$

เมื่อ γ_ζ เป็นค่าคงตัวการแพร่กระจาย (Propagation Constant) ของคลื่นระนาบที่เคลื่อนที่ในทิศทางของ ζ ในกรณีที่ไม่ว่าค่าหนึ่งถึงตัวแปรตามเวลาแบบฮาร์โมนิก (Harmonic Time Dependence) ค่าของค่าคงตัวการแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบบนพจน์ขององค์ประกอบ x และ y จะได้เป็น

$$E_i = E_{oi} e^{-j(\gamma_{xi}x + \gamma_{yi}y)} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันสนามไฟฟ้าของคลื่นสะท้อน (Reflected Wave) และคลื่นส่ง (Transmitted Wave) จะเป็น

$$E_r = E_{Or} e^{-j(\gamma_{xr}x + \gamma_{yr}y + \gamma_{zr}z)} \quad (2.19)$$

และ

$$E_t = E_{Ot} e^{-j(\gamma_{xt}x + \gamma_{yt}y + \gamma_{zt}z)} \quad (2.20)$$

สำหรับการโพลาไรซ์เซชันในแนวนอน (Horizontal Polarization) ของคลื่นนั้นแนวเดอรัสนามไฟฟ้าจะขนานกับระนาบของตัวสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 2.11 เนื่องจากองค์ประกอบในแนวสัมผัสของสนามไฟฟ้าจะต่อเนื่องที่ระนาบ $x = 0$ นั่นคือ

$$E_i + E_r = E_t \quad x=0 \quad (2.21)$$

เมื่อแทนสมการ (2.18) ถึง (2.20) ใน (2.21) จะได้

$$E_{oi} e^{-j\gamma_{yi}y} + E_{or} e^{-j(\gamma_{yr}y + \gamma_{zr}z)} = E_{ot} e^{-j(\gamma_{yt}y + \gamma_{zt}z)} \quad (2.22)$$

สมการ (2.22) นี้สามารถใช้ได้กับทุกค่าของ z เมื่อ

$$\gamma_{zr} + \gamma_{zt} = 0 \quad (2.23)$$

ในทำนองเดียวกันสมการ (2.22) สามารถใช้ได้กับทุกค่าของ y เมื่อ

$$\gamma_{yi} = \gamma_{yr} = \gamma_{yt} \quad (2.24)$$

ในกรณีที่ค่าคงตัวการแพร่กระจายในครึ่งวงกลม $x > 0$ และครึ่งวงกลม $x < 0$ ใช้สัญลักษณ์เป็น γ_1 และ γ_2 ตามลำดับ สมการ (2.24) จะกลายเป็น

$$\gamma_1 \sin \phi_i = \gamma_1 \sin \phi_r = \gamma_2 \sin \phi_t \quad (2.25)$$

เมื่อแกน $-x$ จะใช้เป็นแกนอ้างอิงในการวัดมุมของคลื่นส่งดังแสดงในรูปที่ 18 นี้จะเป็นกฎของ-

สเนลล์ (Snell's Law) และสองพจน์แรกของสมการ (2.25) จะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\sin \phi_i}{\sin \phi_r} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad (2.27)$$

สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ระนาบ $x = 0$ จะวิเคราะห์ได้จากเงื่อนไขขอบเขต โดยที่ขอบเขตนี้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะต่อเนื่อง โดยสมการของสนามไฟฟ้าที่ขอบเขตนี้จะแสดงในสมการส่วนสมการ(2.21)ของสนามแม่เหล็กจะได้เป็น

$$H_{iy} + H_{ry} = H_{ty} \quad (2.28)$$

จากสมการ (2.21)และ (2.28) จะได้

$$\frac{E_i + E_r}{H_{iy} + H_{ry}} = \frac{E_t}{H_{ty}} \quad (2.29)$$

หรือ

$$\frac{1 + E_r/E_i}{\left(\frac{1}{E_i/H_{iy}}\right) + \left(\frac{1}{E_r/H_{ry}}\right)} = \frac{E_t}{H_{ty}} \quad (2.30)$$

เมื่อนิยามให้อิมพีแดนซ์ในครึ่งวงกลม $x > 0$ และ $x < 0$ เป็นอัตราส่วนขององค์ประกอบในแนวสัมผัสของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามลำดับจะได้

$$Z_1 = \frac{E_i}{H_{iy}} = \frac{-E_r}{H_{ry}} \quad (2.31)$$

และ

$$Z_2 = \frac{E_t}{H_{ty}} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าสะท้อนและสนามไฟฟ้าตกกระทบ นั่นคือ

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \quad (2.33)$$

เมื่อแทนสมการ (2.31) ถึง (2.33) ใน (2.30) จะได้

$$\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2.34)$$

สมการ (2.34) จะกลายเป็น

$$\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2.35)$$

สำหรับอิมพีแดนซ์เหล่านี้จะสามารถหาได้จากสมการของแมกซ์เวลล์ดังต่อไปนี้

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} = \begin{vmatrix} \hat{a}_x & \hat{a}_y & \hat{a}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 0 & E_z \end{vmatrix} \quad (2.36)$$

จากสมการ (2.18) จะได้เป็น

$$E_z = E_0 e^{-j(\gamma_x x + \gamma_y y)} \quad (2.37)$$

เมื่อแทนสมการ (2.37) ใน (2.35) จะได้

$$H_y = \frac{1}{j\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial x} = \frac{-\gamma_x}{j\omega\mu} E_z \quad (2.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนสมการ (2.38) ใน (2.32) และ (2.33) ตามลำดับจะได้

$$Z_1 = \frac{-j\omega\mu_1}{\gamma_{x1}} \quad (2.39)$$

และ

$$Z_2 = \frac{-j\omega\mu_2}{\gamma_{x2}} \quad (2.40)$$

จากรูปที่ 18 ความสัมพันธ์จะเป็น

$$\gamma_{x1} = \gamma_1 \cos \phi_i \quad (2.41)$$

$$\gamma_{y1} = \gamma_1 \sin \phi_i \quad (2.42)$$

และ

$$\gamma_2^2 = \gamma_{x2}^2 + \gamma_{y2}^2 = \gamma_{x2}^2 + \gamma_{y1}^2 \quad (2.43)$$

เมื่อแทนสมการ (2.42) ใน (2.43) จะได้เป็น

$$\gamma_{x2} = (\gamma_2^2 - \gamma_{y1}^2)^{1/2} = (\gamma_2^2 - \gamma_1^2 \sin^2 \phi_i)^{1/2} \quad (2.44)$$

เมื่อแทนสมการ (2.41) ใน (2.39) และสมการ (2.44) ใน (2.40) จะได้

$$Z_1 = \frac{-j\omega\mu_1}{\gamma_1 \cos \phi_i} \quad (2.45)$$

$$Z_2 = \frac{-j\omega\mu_2}{(\gamma_2^2 - \gamma_1^2 \sin^2 \phi_i)^{1/2}} \quad (2.46)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง 54956 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_1^2 = j\omega\mu_1(\sigma_1 + j\omega\varepsilon_1) \quad (2.47)$$

$$H_y = \frac{1}{j\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial x} = \frac{-\gamma_x}{j\omega\mu} E_z \quad (2.48)$$

เมื่อแทนสมการ (2.48) ใน (2.41) และ (2.42) ตามลำดับจะได้

$$Z_1 = \frac{-j\omega\mu_1}{\gamma_{x1}} \quad (2.49)$$

และ

$$Z_2 = \frac{-j\omega\mu_2}{\gamma_{x2}} \quad (2.50)$$

จากรูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์จะเป็น

$$\gamma_{x1} = \gamma_1 \cos \phi_i \quad (2.51)$$

$$\gamma_{y1} = \gamma_1 \sin \phi_i \quad (2.52)$$

และ

$$\gamma_2^2 = \gamma_{x2}^2 + \gamma_{y2}^2 = \gamma_{x2}^2 + \gamma_{y1}^2 \quad (2.53)$$

เมื่อแทนสมการ (2.52) ใน (2.53) จะได้เป็น

$$\gamma_{x2} = (\gamma_2^2 - \gamma_{y1}^2)^{1/2} = (\gamma_2^2 - \gamma_1^2 \sin^2 \phi_i)^{1/2} \quad (2.54)$$

เมื่อแทนสมการ (2.51) ใน (2.49) และสมการ (2.54) ใน (2.50) จะได้

$$Z_1 = \frac{-j\omega\mu_1}{\gamma_1 \cos \phi_i} \quad (2.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_2 = \frac{-j\omega\mu_2}{(\gamma_2^2 - \gamma_1^2 \sin^2 \phi_i)^{1/2}} \quad (2.56)$$

เมื่อ

$$\gamma_1^2 = j\omega\mu_1(\sigma_1 + j\omega\epsilon_1) \quad (2.57)$$

$$\gamma_2^2 = j\omega\mu_2(\sigma_2 + j\omega\epsilon_2) \quad (2.58)$$

ในกรณีที่ครึ่งวงกลม $x > 0$ เป็นอวกาศว่างซึ่งมีความนำเป็นศูนย์และครึ่งวงกลม $x < 0$ เป็นตัวนำที่สมบูรณ์ซึ่งมีความนำเป็นอนันต์ ดังนั้นเมื่อแทนสมการ (2.57) ใน (2.55) และสมการ (2.58) ใน (2.56) จะได้

$$Z_1 = -\left(\frac{\mu_1}{\epsilon_1}\right)^{1/2} \frac{1}{\cos \phi_i}; \quad \sigma_1 = 0 \quad (2.59)$$

และ

$$Z_2 = 0; \quad \sigma_2 = \infty \quad (2.60)$$

ดังนั้นเมื่อแทนสมการ (2.59) และ (2.60) ใน (2.45) จะได้

$$\Gamma = -1 \quad (2.61)$$

เครื่องหมายลบในสมการ (2.61) นั้น จะแสดงถึงการกลับตรงกันข้ามในเฟสของเวกเตอร์ไฟฟ้าจากการสะท้อน

ในอันดับต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์คลื่นถูกโพลาไรซ์ในแนวตั้ง (Vertical Polarized Wave) โดยเวกเตอร์ไฟฟ้าจะอยู่ในระนาบตั้งฉากกับแกน z จากสมการแมกซ์เวลล์จะได้

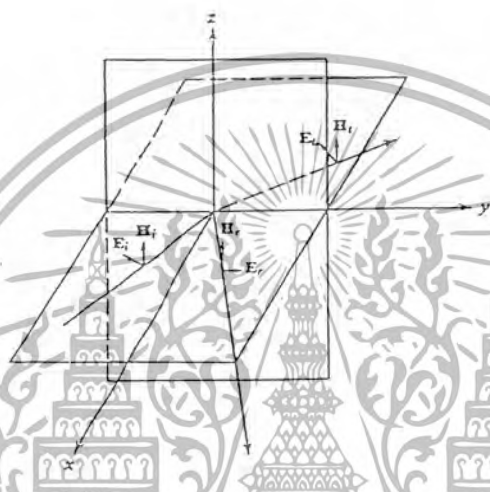
$$\nabla \times \vec{E} = (\sigma + j\omega\epsilon)\vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{a}_x & \hat{a}_y & \hat{a}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 0 & H_z \end{vmatrix} \quad (2.62)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_z = H_o e^{-j(\gamma_x x + \gamma_y y)} \quad (2.63)$$

เมื่อแทนสมการ (2.63) ใน (2.62) จะได้

$$E_y = \frac{-1}{\sigma + j\omega\epsilon} \frac{\partial H_z}{\partial x} = \frac{\gamma_x}{\sigma + j\omega\epsilon} H_z \quad (2.64)$$



รูปที่ 2.12 การสะท้อนของคลื่นระนาบ, การโพลาไรซ์เชิงแนวตั้งฉาก สำหรับการโพลาไรซ์เชิงแนวตั้ง (Vertical Polarization) นั้นอัตราส่วนขององค์ประกอบในแนวสัมผัสของสนามจะได้เป็น

$$Z_1 = \frac{E_{iy}}{H_i} = \frac{-E_{ry}}{H_r} = \frac{\gamma_{x1}}{\sigma_1 + j\omega\epsilon_1} \quad (2.65)$$

และ

$$Z_2 = \frac{E_y}{H_i} = \frac{\gamma_{x2}}{\sigma_2 + j\omega\epsilon_2} \quad (2.66)$$

เมื่อแทนสมการ (2.51), (2.52) และ (2.54) ในสมการ (2.65) และ (2.66) ตามลำดับจะได้

$$Z_1 = \frac{\gamma_1 \cos\phi_i}{\sigma_2 + j\omega\epsilon_2} \quad (2.67)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนสมการ (2.51) ,(2.52) และ (2.54) ในสมการ (2.65) และ (2.66) ตามลำดับจะได้

$$Z_1 = \frac{\gamma_1 \cos \phi_i}{\sigma_2 + j\omega\epsilon_2} \quad (2.67)$$

$$Z_2 = \frac{(\gamma_2^2 - \gamma_1^2 \sin^2 \phi_i)^{1/2}}{\sigma_2 + j\omega\epsilon_2} \quad (2.68)$$

ในกรณีที่ครึ่งวงกลม + x และอากาศว่าง ซึ่งมีความนำเป็นศูนย์และครึ่งวงกลม -x เป็นตัวนำสมบูรณ์ ซึ่งมีความนำเป็นอนันต์ ดังนั้นอิมพีแดนซ์ในสมการ (2.67) และ (2.68) จะได้เป็น

$$Z_1 = \left(\frac{\mu_1}{\epsilon_1} \right)^{1/2} \cos \phi_i, \quad \sigma_1 = 0 \quad (2.69)$$

$$Z_2 = 0, \quad \sigma_2 = \infty \quad (2.70)$$

และสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะได้เป็น

$$\Gamma = -1 \quad (2.71)$$

2.1.5 เครื่องวิเคราะห์ความเข้มของสัญญาณ

ลักษณะของเครื่องมีขนาดเล็กไม่ใหญ่ และน้ำหนักเบา โดยออกแบบให้ตรวจสอบสัญญาณของสถานีลูกข่ายและการติดตั้งใช้งานส่วนตัว โดยผลแสดงออกมาสามารถเลือกดูผลได้ในหลายลักษณะ อย่างเช่นค่าเป็นเลขฐานสิบ , เลขฐานสอง , เลขฐานสิบหก หรือจะออกมาในรูปของหน่วย dB

คุณลักษณะพื้นฐานของเครื่อง

ค่าอิมพีแดนซ์ที่ขาเข้า	50 โอห์ม
แรงเคลื่อนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	100 dB
ย่านความถี่	1895.15 MHz ถึง 1917.95 MHz
ส่วนต่อพอร์ท	ใช้แบบ D-sub มี 9 ขา (RS - 232C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ภาควิเคราะห์สัญญาณ

เป็นส่วนการนำสัญญาณมาประมวลผล โดยทำการเทียบค่าภายในโปรแกรม MCS-51 ที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้งาน โดยจะช่วยให้การแปลงค่า, เทียบผลและทำการส่งต่อไปยังส่วนของภาคควบคุมเป็นไปได้ง่ายขึ้น

ภาษาที่ใช้ในการเขียน โปรแกรมจะใช้ภาษาแอสเซมบลี (Assembly) ซึ่งนำโปรแกรมที่เขียนสำเร็จมาถ่ายข้อมูลลงบนตัวไอซี (Integrated Circuit) ทำให้ชุดอุปกรณ์นั้นมีขนาดเล็กลง

การรับค่าสัญญาณมานั้นจำเป็นต้องผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลเพื่อนำมาวิเคราะห์สัญญาณได้ในการประมวลผล ตามทฤษฎีของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

2.2.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกคิดิจิตอลแบบซัสเซสซีฟแอสปรีอ็อกซิเมชัน (Successive Approximation ADC)

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) ที่ได้รับความนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดีคือการแปลงแบบซัสเซสซีฟแอสปรีอ็อกซิเมชัน ไอซี ADC ที่เลือกมาทำการทดลองนี้คือใช้วงจร ADC แบบนี้ก่อนถ้าจะแปลเป็นไทยอาจเรียกกระบวนการ ADC แบบซัสเซสซีฟแอสปรีอ็อกซิเมชันนี้ว่า เป็นการแปลงแบบประมาณใกล้เคียง โคอะแรมของการทำงานของกระบวนการ ADC แบบนี้แสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อกหรือ DAC สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมสอิจวงจร ADC แบบซัสเซสซีฟแอสปรีอ็อกซิเมชันนี้จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสองหรือไบนารีรีจิสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิตอลของวงจร DAC ภายในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซตหรือรีเซตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม ต่อไปจะอธิบายการทำงานของ ADC แบบนี้ไปที่ละขั้นขอพิจารณาโคอะแรมเวลาในรูปที่ 2.14 ประกอบด้วย

- 1.ส่งสัญญาณเริ่มต้นการทำงาน (start converter) มายังซัสเซสซีฟแอสปรีอ็อกซิเมชันรีจิสเตอร์ (successive approximation register)
- 2.ขณะนี้สถานะของรีจิสเตอร์จะไม่ว่าง (busy) สัญญาณนาฬิกาถูกแรกถูกส่งเข้ามาเพื่อกำหนดให้ค่าของรีจิสเตอร์เท่ากับ 0000
- 3.เอาต์พุตของ DAC จะเป็น 0V ส่งไปในวงจรเปรียบเทียบเพื่อเปรียบเทียบกับ V_{in} ในขณะนี้จะได้เอาต์พุตเท่ากับ -5V กำหนดเป็นลอจิก "0"
- 4.เมื่อสัญญาณนาฬิกาถูกส่งต่อไปเข้ามา จะทำการเซตบิต MSB ของรีจิสเตอร์เป็น "1"
- 5.ในกรณีเป็น ADC ขนาด 4 บิต ดังนั้นการที่บิต MSB เซต จะทำให้วงจร DAC แปลงค่าเป็นแรงดัน 8V นำไปเปรียบเทียบกับที่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่อย่างน้อยกว่า V_{in} ดังนั้น เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็น "0" ทำให้รีจิสเตอร์ยังคงเป็นคงค่าบิต MSB ให้เป็น "1" ต่อไป
- 6.ต่อมาบิต B2 (ถัดจากบิต MSB 1 บิต เนื่องจากมี 4 บิต กำหนดบิต MSB = B3) จะเซตมีค่าเท่ากับ 4V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8V เช่น 12V นำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} ก็ยังน้อยกว่ารีจิสเตอร์จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ "1" เช่นกัน
- 7.ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาต์พุตมา DAC กลายเป็น $8+4+2 = 14V$ ซึ่งมากกว่า V_{in} ทำให้

วงจรเปรียบเทียบเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น "1" ซึ่งจะส่งสัญญาณมาควบคุมให้ B1 กลายเป็น "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.เมื่อบิต LSB ถูกเซต จะมีค่าแรงดัน 1V เข้ามารวมกับค่าของ B3 , B2 , B1 เป็น $8+4+0+1 = 13 \text{ V}$ นำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} ปรากฏยังน้อยกว่า V_{in} ทำให้ที่บิต BC หรือ LSB มีค่าเป็น "1"

9.ขณะนี้ทุกบิตในรีจิสเตอร์ถูกนำมาแปลงค่าเรียบร้อยแล้ว ทำให้สถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็นพร้อมการทำงาน (ready)

10.ข้อมูลดิจิทัลที่ได้รับจากการ ADC แบบนี้ จะมีค่า 1101 หรือ 13V ซึ่งใกล้เคียงกับ V_{in} มากที่สุด ถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนมากที่สุด ถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่แปลงได้จะมีความใกล้เคียงกันมากขึ้น ช่วงเวลาการแปลงสัญญาณจะเริ่มขึ้นตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบ ไปจนถึงเมื่อสถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมการทำงาน อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ $n+1$ พัลส์ โดย n เท่ากับจำนวนบิตของรีจิสเตอร์

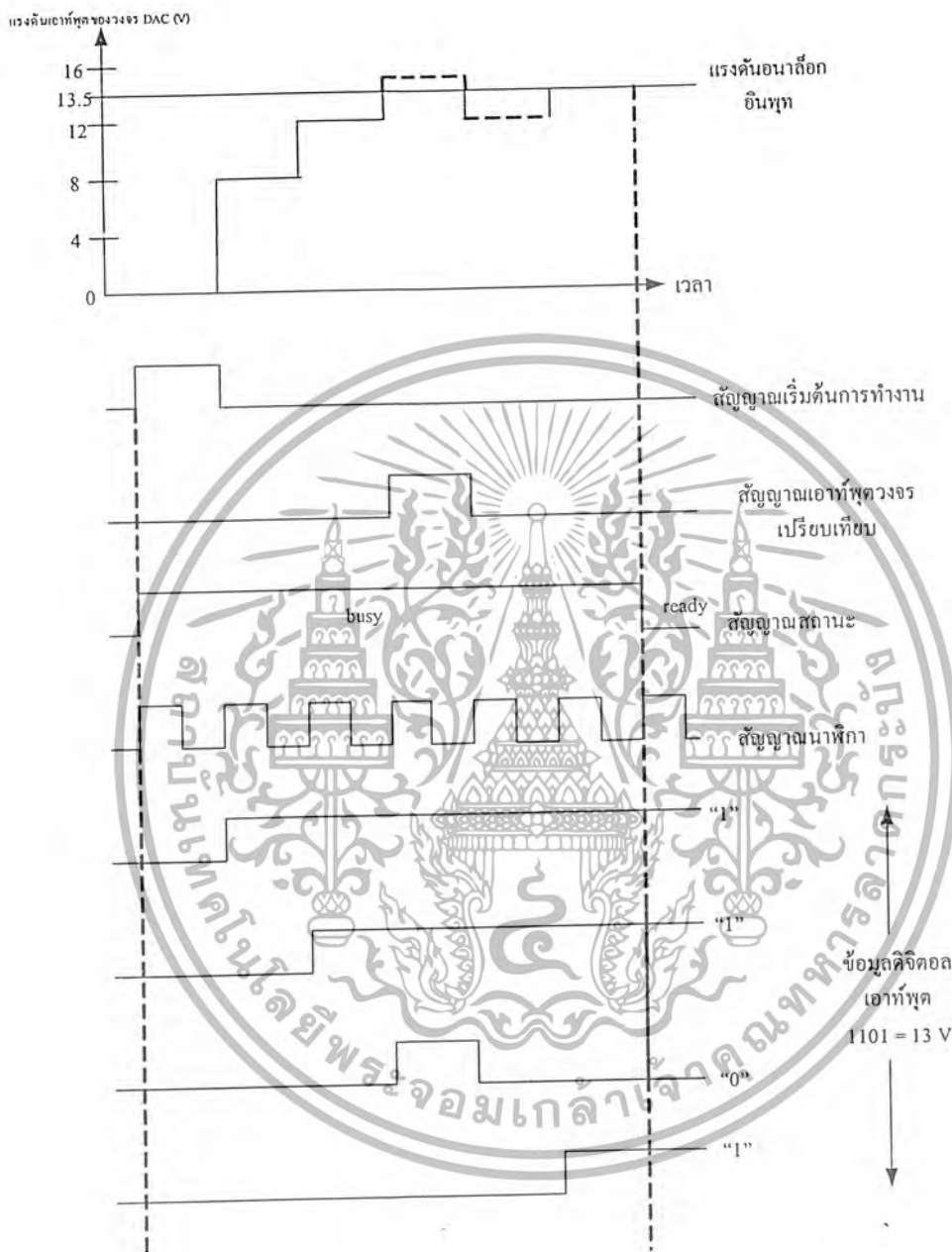


รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซีฟแอปเพร็อกซิเมชัน

1. ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 8 บิตเมื่อเทียบเป็นแรงดันอนาล็อกควรมีค่าเท่ากับ 5.0000V แต่จากการคำนวณได้ค่าแรงดัน 4.9804V นั่นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195V หรือ 19.5mV แต่การบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ VLSB ดังนั้นในวงจร ADC ขนาด 8 บิตที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางที่เรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น $(\pm) 1 / 2 \text{ LSB}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ไคอะแกรมแสดงเวลาการทำงานของวงจร ADC แบบซีเอสเอสซีพีแอฟพรีอักษิเมชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

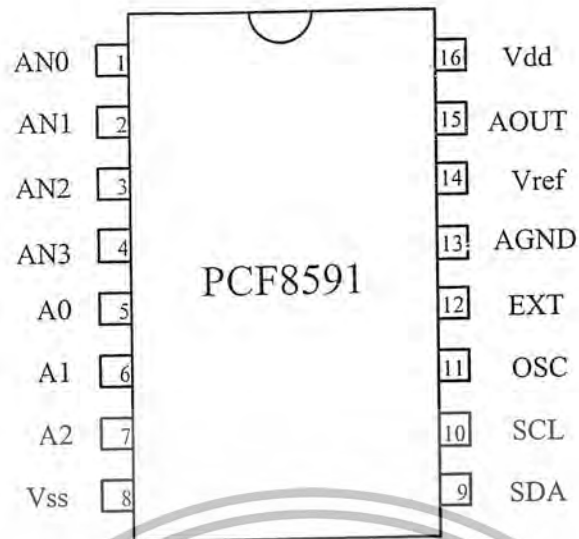
2. ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (conversion time)

เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรมอนิเตอร์และแบบซัสเซสซีฟแอปพลิเคชันใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลจนเสร็จสิ้น พารามิเตอร์ตัวนี้มักจะปรากฏในคุณสมบัติของไอซีที่ทำงานเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีทำการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นลง จะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End of Conversion) ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจร, ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของสัญญาณอนาล็อกอินพุต

3. ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

ในการทดลองนี้จะใช้ไอซี ADC ที่มีความสามารถสูงเบอร์ PCF8591 เนื่องจากตัวมันมีวงจร ADC แบบซัสเซสซีฟแอปพลิเคชันขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจร DAC อีก 1 ช่องด้วยระบบการเชื่อมต่อเป็นระบบบัส I^2C ทำให้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางมีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

1. ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
2. ทำงานที่แรงดัน 2.5V ถึง 6V
3. กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะ (standby) ต่ำ
4. ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I^2C
5. สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0,A1,A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว
6. อัตราการสุ่มข้อมูล (sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C
7. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) สามารถรับสัญญาณอนาล็อกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
8. การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
9. สัญญาณอนาล็อกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{ss} ไปจนถึง V_{dd}
10. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลเป็นแบบซัสเซสซีฟแอปพลิเคชันขนาด 8 บิต
11. มีวงจรแปลงสัญญาณเป็นอนาล็อกขนาด 8 บิต 1 ช่อง



รูปที่ 2.15 การจัดหาไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I^2C เบอร์ PCF8591

PCF8591สามารถทำหน้าที่เป็น ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต 4 ช่องและทำหน้าที่เป็น ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกได้คร่าวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I^2C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุด 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตสูงสุดได้ 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0,A1,A2 การจัดหาของ PCF8591 แสดงในรูปที่ 2.15 ส่วนรายละเอียดตำแหน่งขาต่างๆมีดังนี้

ขา AN0 –AN3 (ขา 1-4) เป็นขาอินพุตสำหรับบ่อนสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการแปลงค่า

ขา A0-A2 (ขา 5 – 7) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัวต้องกำหนดการต่อขา A0-A2 ของ PCF8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว

ขา Vss (ขา 8) เป็นขาต่อกราวด์

ขา SDA , SCL (ขา 9 และขา 10) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณบัส I^2C

ขา OSC (ขา 11) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไฟ +5V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อลงกราวด์

ขา EXT (ขา 12) เป็นขาสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน

ขา AGND (ขา 13) เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิงปกติต่อลงกราวด์

ขา Vref(ขา 15) เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

ขา Vdd (ขา 16) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2V ถึง +6V ปกติใช้ +5V

4. รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆของ PCF8591

- ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I^2C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างอิงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ

- ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของระบบแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ 2.15

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอินทิเกรตอนาล็อกเอาต์พุต เมื่อต้องการอินทิเกรตต้องกำหนดให้ขาค่านี้เป็น "1"

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอนาล็อกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับการเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอนาล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านเรียงอันดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงอันดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น "1"

บิต 0 และบิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องอินพุตอนาล็อกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น "1" หลังจากอ่านค่าของบิต "0" และบิต "1" แล้ว ในการอ่านครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591 เมื่อจ่ายไฟแก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น "0"

- วงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน ขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการ OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 10.25 MHz

- การอ่านค่าข้อมูลอินพุตอนาล็อกของ PCF8591

มาลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมข้อมูลกำหนดแอดเดรสโดยในที่นี้กำหนดแอดเดรสของ PCF8591 ไว้ที่ 0000 (ขา A0 , A1, A2 ต่อลงกราวด์ทั้งหมด) และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (ป้อนข้อมูลลอจิก " 0 " ให้แก่บิต R/W)
2. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
3. ส่งข้อมูลควบคุมไปยัง PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ส่งสัญญาณ STOP
5. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
6. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเรสอีกครั้งโดยครั้งนี้กำหนดให้เป็นโหมด อ่านข้อมูล (ส่งลอจิก “1” ให้แก่บิต R/W) เพื่อเริ่มต้นการอ่านค่าข้อมูลจากช่องสัญญาณอนาล็อกอินพุท
7. อ่านค่าจากอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลช่องที่ 1
8. หากต้องการอ่านค่าในช่องต่อไปก็ให้เริ่มต้นการติดต่อใหม่ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าต่อเนื่องทั้ง 4 ค่าหรือมากกว่าจึงต้องเขียนโปรแกรมลูปเพื่อกำหนดรอบการทำงาน 4 รอบหรือมากกว่า ก็จะสามารถอ่านค่าได้อย่างครบทุกช่อง

2.3 ภาคควบคุมสายอากาศ

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

คุณสมบัติทั่วไปที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาในไอซี
- มีขาสัญญาณเข้าและออกจำนวน 32 บิต
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในในตัว (On-Chip Program Memory) ขนาด 4 K โดยเฉพาะเบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 8 K สำหรับเบอร์ 8031 และ 8032 จะไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้
- มีหน่วยจำข้อมูลภายในตัว (On-Chip Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ โดยเบอร์ 8032 และ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายมากขึ้น
- มีไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ (Timer / Counter) ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว โดยเฉพาะเบอร์ 8032 หรือ 8052 จะมีไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ จำนวน 3 ตัว
- การอินเตอร์รัพต์สามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะทำการอินเตอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยการอินเตอร์รัพต์ยังสามารถจัดลำดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ
- มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเองซึ่งทำงานเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex)
- มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางตรรกศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาในการทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิร์ตซ์
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟเพียง 5 โวลต์เพียงชุดเดียว

โครงสร้างของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูป 2.16 สำหรับหน้าที่การใช้งานของแต่ละขามีดังนี้



รูปที่ 2.16 ตำแหน่งขาค้างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ขา V_{cc} เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง +5 โวลต์

ขา V_{ss} เป็นขากกราวด์

ขาพอร์ต 0 (Port 0) มี 8 ขา ได้แก่ ขา P0.0 – P0.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำมาใช้เป็นพอร์ตอินพุตอิมพีแดนซ์สูงได้ นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) ซึ่งจะใช้งานเป็นแบบมัลติเพลกซ์กับการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (D0-D7)

ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขา ได้แก่ ขา P1.0-P1.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง

สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้สำหรับเบอร์ 8032 และ 8052 ขาพอร์ต P1.0 และ P1.1 จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา T2 และ T2EX ตามลำดับด้วย

ขาพอร์ต 2 มี 8 ขา ได้แก่ ขา P2.0-P2.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้พอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 มี 8 ขา ได้แก่ P3.0-P3.7 เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ

ขา รีเซต (RST) ใช้สำหรับการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรีเซตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 แมกซ์ซีคล็อก ในขณะที่ยังมีสัญญาณรีเซ็ตทำงานอยู่

ขา ALE/PROG เป็นขาสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการลอค (latch) ค่าตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขา ALE ยังทำหน้าที่เป็นอินพุตรับพัลส์ในการโปรแกรม (program pulse input) ในส่วนของหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM

ขา PSEN (Program Store Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสไตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขา PSEN จะส่งสัญญาณสไตรบจำนวน 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ซีคล็อก แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก จะไม่มีการส่งสัญญาณสไตรบแต่อย่างใด

ขา EA/VPP (External Access enable/VPP) เป็นขาสำหรับการเลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมจากภายในหรือจากภายนอก โดยถ้ามีสถานะเป็น 0 จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่ตำแหน่งแอดเดรส 0-0FFFH (0-1FFFH ถ้าเป็นเบอร์ 8052) อย่างไรก็ตามถ้าบิตป้องกัน (security bit) ในหน่วยความจำ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขา ALE ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟสำหรับการโปรแกรม (Vpp) ขนาด 21 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM

ขา XTAL1 และ ขา XTAL2 เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์ตติ้งออสซิลเลเตอร์แอมป์ลิไฟเออร์ (inverting oscillator amplifier) สำหรับใช้คู่ร่วมกับคริสตัลภายนอก

2.3.2 สเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ เปรียบเสมือนทรานสดิวเซอร์แบบแปลงไฟฟ้าไปเป็นเชิงกล ซึ่งมีอินพุตเป็นกลุ่มของไบนารีโวลต์เตจและเอาต์พุตเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ในเชิงมุมเป็นสเต็ป ด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าวสเต็ปป์มอเตอร์จะได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น ใช้เป็นตัวป้อนกระดาษ และกำหนดช่วงห่างของบรรทัดในไลน์พริ้นเตอร์ x-y พล็อตเตอร์ ขับเครื่องจักรที่คอนโทรลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอรื แรนด้อม-แอกเซตติคส์เมโมรี่จนกระทั่งถึงหุ่นยนต์ โดยขนาดของสตีปอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1 องศาถึง 30 องศา

สตีปปีงมอเตอร์แบ่งออกไปได้หลายชนิดด้วยกัน เช่น Variable Reluctance (VR) , Permanent Magnet (PM) และแบบไฮบริด (Hybrid) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สตีปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Stepmotor)

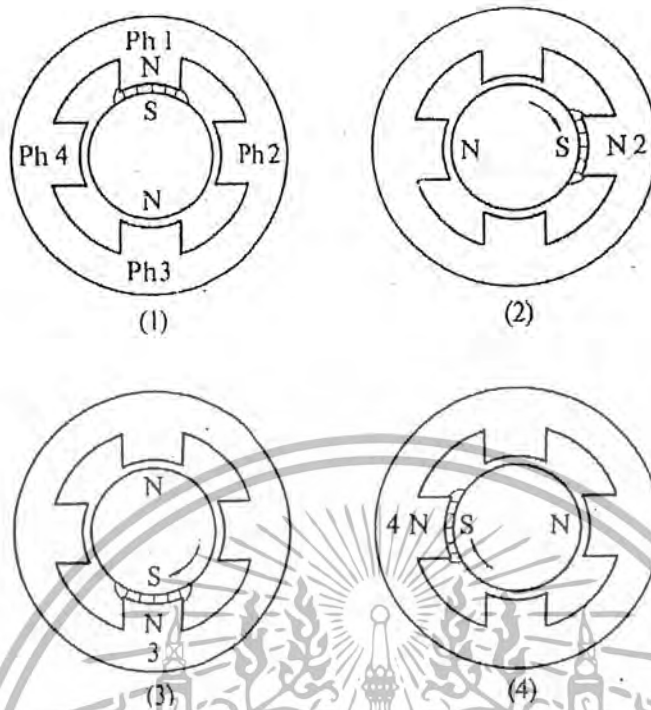
สตีปปีงมอเตอร์ชนิดนี้ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์และซี่ฟันของสเตเตอร์ล้อมรอบ ซี่ฟันของสเตเตอร์ถูกพันด้วยขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการให้สตีปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร มีขนาดมุมสตีปเล็กลงจะต้องเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีโครงสร้างแบบมีขั้วแม่เหล็กหลายขั้วทำได้ยาก



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสตีปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส

ตัวอย่างการทำงานของสตีปปีงมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร สมมติว่ามอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรทรงกระบอกและมีสเตเตอร์ 4 ซี่ฟัน ซึ่งรอบๆ พันด้วยขดลวดมีรูปแบบการทำงานพื้นฐานคือ เมื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นตามลำดับเฟส โรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางของการกระตุ้น ดังรูป 2.18 เป็นการแสดงตำแหน่งของโรเตอร์ในแต่ละสตีป หลังจากกระตุ้นที่เฟส 1-2-3-4 ตามลำดับ มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

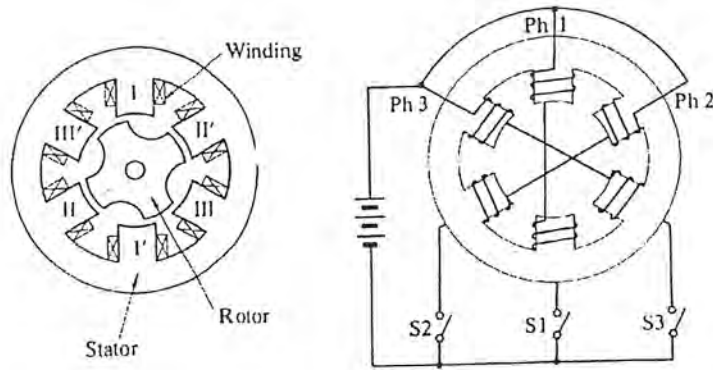


รูปที่ 2.18 การทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรขนาด 4 เฟส

ข้อเสียของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรคือ ขนาดมุมสเต็ปใหญ่ ทำให้มีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบน้อย เนื่องจากโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีหลายขั้วทำได้ยาก ทำให้ไม่สามารถสร้างสเต็ปขนาดเล็กได้ สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็กทำให้ค่าทอร์คที่ทำได้ค่อนข้างน้อย ปริมาณมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ค แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูงและสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กมากราคาสูง สารแม่เหล็กราคาถูกเช่น ฟอร์ไรท์ มีสภาพความเป็นแม่เหล็กน้อยจึงทำให้ค่าของทอร์คต่ำ

2. สเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ (Variable Reluctance Stepmotor)

โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลัคแตนซ์ได้ มีโรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากเหล็กผสมซิลิกอน ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กที่มีค่าความซึมซับ (Permeability) สูง สามารถให้เส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากไหลผ่านได้



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้

ในรูปเป็นสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ขนาด 3 เฟส โดยโครงสร้างของโรเตอร์มี 4 ชีฟฟันและสเตเตอร์มี 6 ชีฟฟัน แต่ละเฟสของสเตเตอร์มี 2 ชีฟฟันอยู่ตรงข้ามกัน โดยจะพันขดลวดแบบอนุกรมในแต่ละขด ดังนั้น ทั้ง 2 ชีฟฟันของเฟสหนึ่งของสเตเตอร์จะมีขั้วตรงกันข้าม ถ้ามีการกระตุ้นเฟสเกิดขึ้นขั้ว I, II, III จะเป็นขั้วได้และขั้ว I', II', III' จะเป็นขั้วเหนือ การทำงานจะเริ่มจากการกระตุ้นที่เฟส 1 ก่อน (S1 "ON") ซึ่งจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นดังรูป 2.20

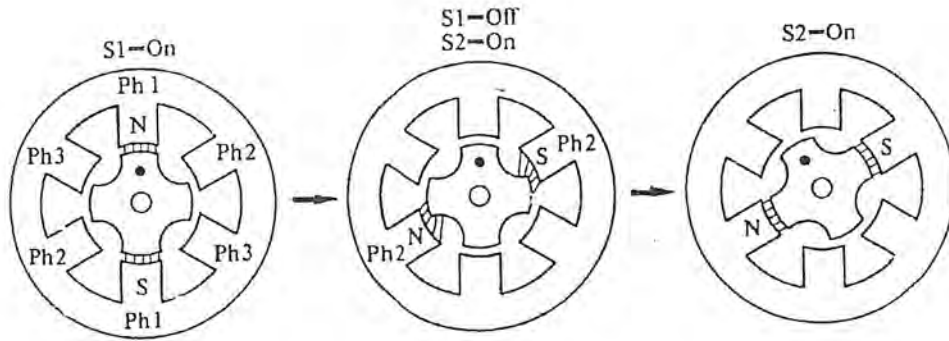
ตัวโรเตอร์จะพยายามวางตำแหน่งตัวเองให้อยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดค่าความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุดในแนวขั้ว I-I'



รูปที่ 2.20 เส้นแรงแม่เหล็กขณะกระตุ้นเฟส 1

ในขณะที่เริ่มต้นที่จะกระตุ้นเฟส ดังรูปที่ 2.21 เส้นแรงแม่เหล็กจะไม่อยู่ในแนวทางเดินที่สะดวกจึงทำให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กมีค่าสูง ตัวโรเตอร์ก็จะพยายามปรับตัวเองเพื่อให้ค่าความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุดด้วยการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาซึ่งแรงบิดที่ใช้หมุนเกิดจากแรงของเส้นแม่เหล็กแล้วจะไปหยุดที่ตำแหน่งความต้านทานแม่เหล็กน้อยที่สุดนั่นคือจะหมุนไป 1 สเต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการหมุนเมื่อมีการกระตุ้นเฟสจากเฟส 1 ไปยังเฟส 2

คุณสมบัติพื้นฐานสำหรับโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ได้

- 1) ช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเฟสของโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้ค่าทอร์คมากขึ้นและมีความถูกต้องแม่นยำทางด้านหนึ่งดีขึ้น
- 2) โครงสร้างของการสเต็ปปีงมีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสเต็ปของการหมุนโรเตอร์ 1 รอบ (s) มุมที่เปลี่ยนไป 1 สเต็ป (θ_s) จำนวนเฟสของสเตเตอร์ (m) และจำนวนขั้วของโรเตอร์ (N_r) หาได้จากสมการ

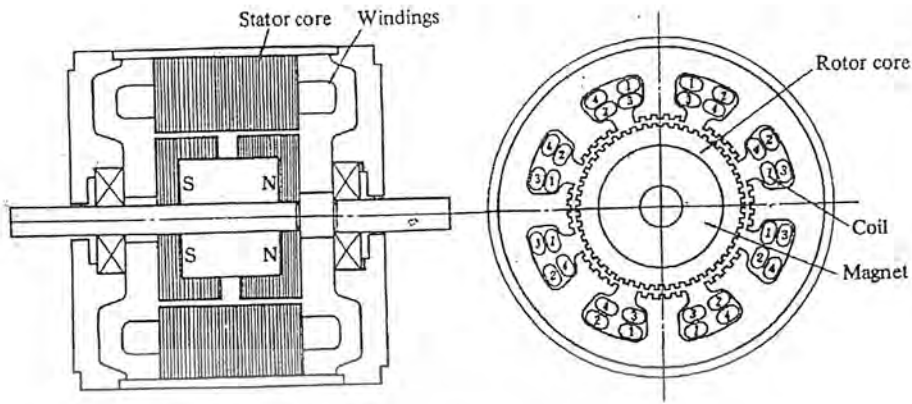
$$s = 360 / \theta_s = mN_r$$

เพื่อลดขนาดมุมสเต็ปลงจำนวนขั้วของโรเตอร์ต้องเพิ่มขึ้น ขั้วเฟสของสเตเตอร์จะต้องเพิ่มขึ้นด้วย โดยโครงสร้างแต่ละขั้วของเฟสใดๆจะมีหลายขั้วเฟส แต่จำนวนขั้วเฟสของสเตเตอร์ไม่ใช่องค์ประกอบโดยตรงที่จะกำหนดมุมสเต็ปของสเต็ปปีงมอเตอร์

3. สเต็ปปีงมอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid Stepmotor)

เป็นรูปแบบหนึ่งของสเต็ปปีงมอเตอร์ซึ่งมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ไฮบริดหมายถึงการทำงานร่วมกันของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ได้ ไฮบริดสเต็ปปีงมอเตอร์มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ได้ แต่การต่อขดลวดต่างกันโดยในหนึ่งเฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์แบบแปรค่ารีล็กแตนซ์ได้ จะมีสองขดลวดและขดลวดทั้งที่ถูกพันที่ขั้วเดียวกัน ถูกเรียกว่าเป็นรูปแบบของไบไฟลาร์ (Bifilar) ซึ่งจะให้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกันในการกระตุ้นแต่ละครั้ง

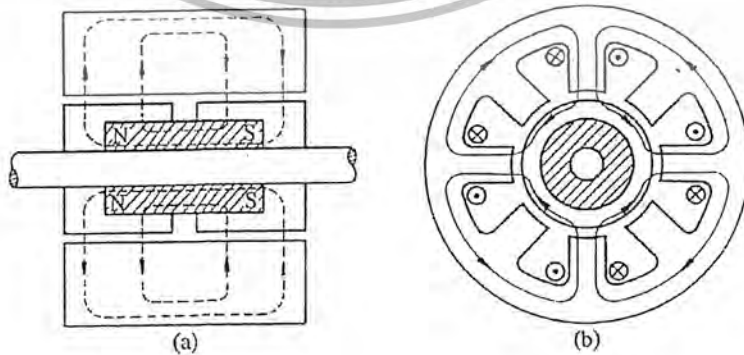
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 โครงสร้างไฮบริดสเต็ปป์มอเตอร์

คุณสมบัติที่สำคัญของไฮบริดสเต็ปป์มอเตอร์ คือ โครงสร้างของมอเตอร์มีแม่เหล็กถาวรอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างเฟสทั้งสอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กซึ่งสร้างจากสเตเตอร์ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบเฮเทอโรโรโพลาร์ ดังนั้นทอร์กเกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็กสองชนิด คือสนามจากแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นขดลวดแต่ละขด โครงสร้างของขั้วขั้วของสเตเตอร์จะใหญ่กว่าขั้วขั้วของโรเตอร์เล็กน้อย เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่

หลักการการทำงานของไฮบริดสเต็ปป์มอเตอร์ แตกต่างจากสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับกระแสที่ผ่านขดลวดอย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของขั้วขั้วด้วย ซึ่งขั้วขั้วถูกออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างขนาดเล็ก และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแกนกลางเพื่อลดผลของการออสซิลเลชันทางแม่คานิตี



รูปที่ 2.23 หลักการทำงานของไฮบริดสเต็ปป์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของไฮบริดสตีปิ้งมอเตอร์ คือมีขนาดเสตีปขนาดเล็กมีความละเอียดของสตีปต่อรอบสูงมีค่าทอร์คสูงกว่าสตีปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ แต่สตีปิ้งมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ได้มีแรงเฉื่อยทางแมคคานิกส์น้อยกว่าสตีปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด

นอกจากสตีปิ้งมอเตอร์ทั้งสามชนิดที่กล่าวมาแล้วยังมีสตีปิ้งมอเตอร์ชนิดอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึงอีก เช่น ลิเนียร์สตีปิ้งมอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบให้มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นอิเล็กโตรไฮดรอลิกสตีปิ้งมอเตอร์ ซึ่งเป็นสตีปิ้งมอเตอร์กำลังสูงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.3.3 วงจรขับมอเตอร์

1. วงจรขับแบบจ่ายกระแสทิศทางเดียว (Unipolar Drive)

วงจรแบบขับแบบยูนิโพลาร์ เป็นการนำสัญญาณเอาท์พุทของวงจรถลจิกซีแควนเซอร์ ส่งไปที่วงจรถับเพื่อทำการจ่ายกระแสที่ไหลผ่านเข้ายังขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์โดยตรงและเป็นการจ่ายกระแสในทิศทางเดียว

2. วงจรขับแบบจ่ายกระแสสองทิศทาง (Bipolar Drive)

ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะดีหากขดลวดทุกขดถูกกระตุ้นอย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาที่จำกัดและสร้างทอร์ค ขนาดที่เหมาะสมโดยเฉพาะมอเตอร์ขนาดเล็กในการขับมอเตอร์ 4 เฟสไฮบริดจันมอเตอร์ การขับแบบไบโพลาร์จะเป็นวงจรถับที่ดีที่สุดเนื่องจากขดลวดทั้ง 4 จะถูกจ่ายกระแสอย่างสม่ำเสมอ ในการขับแบบไบโพลาร์โดยใช้วงจรถับ มีลักษณะวงจรถับพื้นฐาน 2 แบบ คือ ใช้แหล่งจ่ายไฟ 2 แหล่งและแบบแหล่งจ่ายไฟแหล่งเดียว



บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 การออกแบบสายอากาศ

3.1.1 การออกแบบสายอากาศแบบวงแหวน

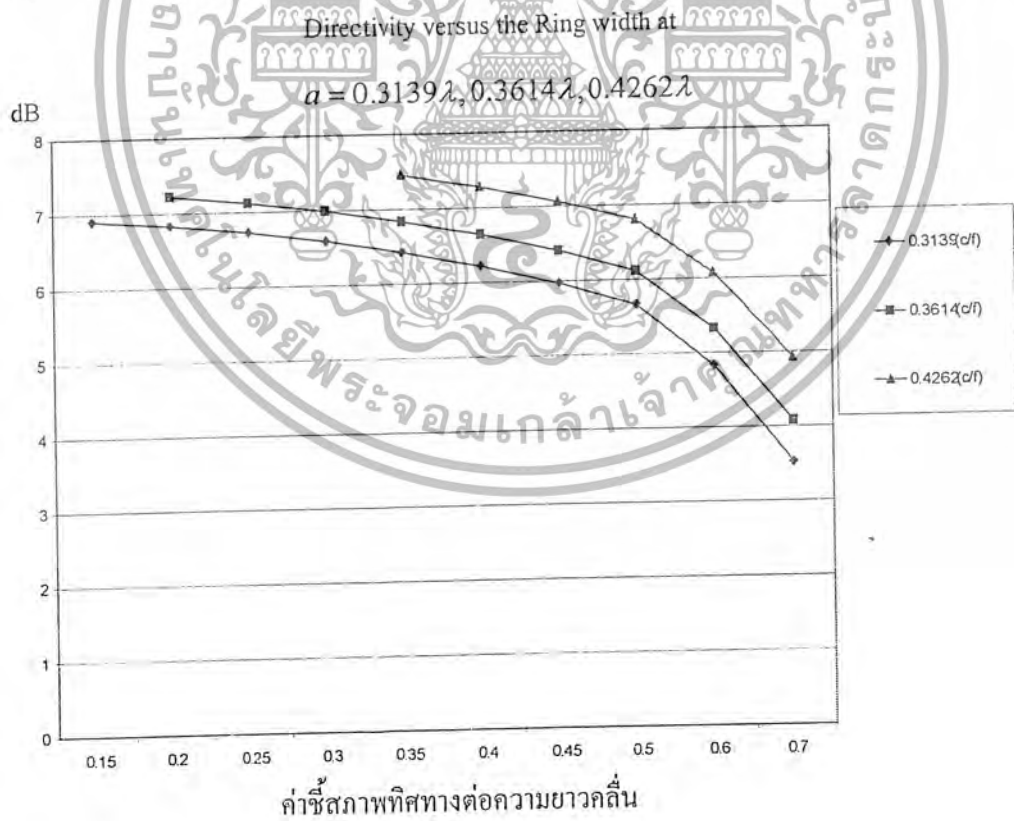
การออกแบบสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาคือ ค่ารัศมีและความกว้างของตัวสายอากาศ , ความยาวของโพรบที่ใช้กับตัวสายอากาศ , การแพร่กระจายคลื่น , ค่าฮาล์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์

1. การพิจารณาค่ารัศมีและความกว้างของตัวสายอากาศ

จะพิจารณาค่ารัศมีที่ทำให้เกิดลำคลื่นหลักเท่านั้น ในกรณีของตัวสายอากาศรูปแบบของคลื่นหลักคือ โหมด TE_{11} จากสมการในบทที่ 2 ว่าค่ารัศมีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง

$$0.293\lambda < a < 0.486\lambda$$

ซึ่งการเลือกค่ารัศมีก็จะต้องสอดคล้องกับความกว้างของวงแหวน โดยค่ารัศมีหนึ่งก็จะต้องเหมาะสมกับความกว้างเพียงค่าเดียวเท่านั้น ผลจะทำให้ค่าการชี้ทิศทางมีค่าสูงสุด แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการชี้ทิศทางกับความกว้างของสายอากาศในแต่ละค่าของค่ารัศมีของตัว

สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะพบว่าค่ารัศมีที่ 0.3139 λ เป็นความกว้างที่เหมาะสมที่สุดจะให้ค่าการชี้ทิศทางที่มีค่าสูงสุดและทำให้คลื่นที่ออกจากสายอากาศเป็นรูปแบบของคลื่นหลัก TE_{11} นั้นมีค่าเท่ากับ 0.1548 λ ซึ่งก็เป็นค่าที่เราเลือกใช้ในการทดลอง

2. การพิจารณาค่าความยาวโพรบ

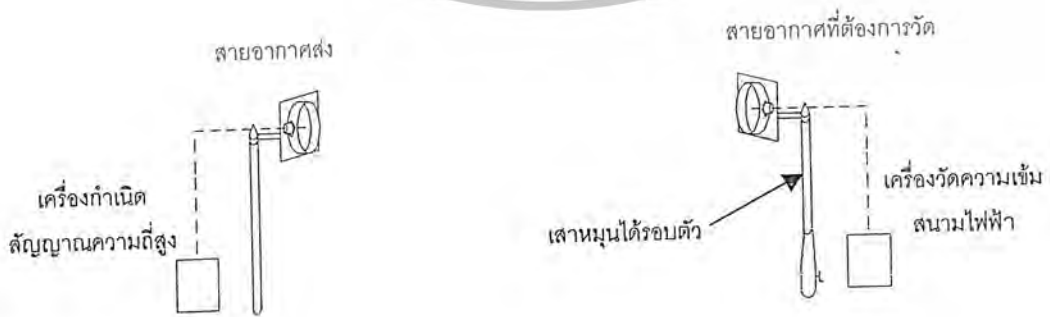
จากการทำการทดลองได้ค่าโพรบที่มีความยาวประมาณ 3.6 เซนติเมตร ซึ่งค่าความยาวโพรบที่ได้ นั้นจะต้องทำให้เข้าใกล้การเกิดรีโซแนนซ์ (Resonance) ให้มากที่สุดเพื่อคลื่นที่ส่งออกไปมีพลังงานมากที่สุด ระยะทางก็จะไปได้ไกลด้วย ค่าอิมพีแดนซ์ในการออกแบบสายอากาศมีค่าเท่ากับ 50Ω สามารถส่งไปได้สมบูรณ์ และต้องพิจารณาค่า VSWR โดยให้ค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด แต่ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 1.5 และค่าการสูญเสียของการสะท้อนกลับ (Return loss) ต้องมีค่าน้อยกว่า -15 dB

3. การพิจารณารูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมี 2 ทิศทาง คือ ในระนาบของสนามไฟฟ้า (Electric field plane) และระนาบของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field plane) โดยจะทำการวัดแพทเทิร์นดังรูป



รูปที่ 3.2 การต่ออุปกรณ์วัดแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของสนามไฟฟ้า

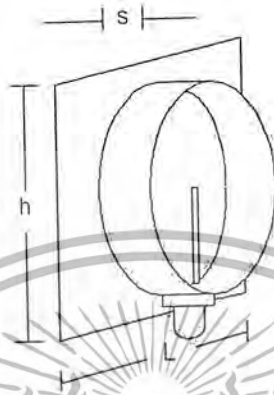


รูปที่ 3.3 การต่ออุปกรณ์วัดแพทเทิร์นของการแพร่กระจายคลื่นในระนาบของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบแผ่นสะท้อนและระยะห่างที่วางสายอากาศวงแหวนกับระนาบแผ่นสะท้อน

เนื่องจากการกำหนดระยะห่าง (S) เป็นตัวกำหนดค่าเกน (Gain) และอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายอากาศในการพิจารณาจะต้องคำนึงถึงเกน และอิมพีแดนซ์ไปพร้อมๆกัน



รูปที่ 3.4 ขนาดและลักษณะของสายอากาศคอร์เนอร์เฟลทเตอร์

จากการทดลองเลือกตำแหน่งของระยะห่าง (S) = 0.3λ จะได้ค่าเกนประมาณ 4.5 dB (6.5 dBi) ดังนั้นระยะห่าง S

$$= 0.3\lambda$$

$$= 0.3 \times 16.22 \text{ เซนติเมตร}$$

$$= 4.866 \text{ เซนติเมตร}$$

ตามทฤษฎี แผ่นสะท้อนจะเลือกใช้ที่ขนาด 1.5 เท่าของตัวสายอากาศวงแหวน โดยพิจารณาจากลำคลื่นที่แพร่กระจายออก ว่ามีส่วนที่สะท้อนกลับหรือทะลุผ่านในปริมาณที่ใช้งานได้ และในที่นี้ต้องพิจารณาผู้ไปกับระยะห่างด้วย

ดังนั้นเราจึงได้ขนาดใช้ในการทดลองเป็น

$$\text{ความยาวของแผ่นสะท้อน (L)} = 17 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{ความกว้างของแผ่นสะท้อน (H)} = 17 \text{ เซนติเมตร}$$

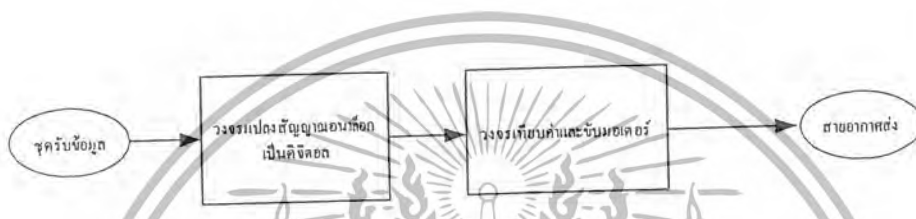
$$\text{ระยะห่างระหว่างสายอากาศวงแหวนกับแผ่นระนาบสะท้อน (S)} = 4.866 \text{ เซนติเมตร}$$

การสร้าง ตัดแผ่นปริ้นซ์มีขนาด 17×17 เซนติเมตร และนำไปติดบนแผ่นอะคริลิกยึดด้วยกาว โดยวัดระยะห่างจากสายอากาศวงแหวนไป 4.866 เซนติเมตร (0.3λ) แล้วทำการต่อสาย RG-8/U เข้ากับ Connector ของสายอากาศวงแหวนเพื่อทำการวัดค่าต่างๆ

3.2 การสร้างและออกแบบ ภาคการขับเคลื่อนสแต็ปปีงมอเตอร์ด้วย MCS-51

การที่จะออกแบบต้องคำนึงถึงการทำงานของภาคขับเคลื่อนสแต็ปปีงมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบ่งเป็นส่วนทำงานย่อยดังนี้

1. การรับและส่งข้อมูล
2. การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล
3. การคำนวณค่าพัลส์จากข้อมูลองศาที่มีค่าระดับความแรงของสัญญาณที่แรงที่สุด
4. การกระตุ้นและควบคุมหมุนสแต็ปปีงมอเตอร์
5. วงจรขยายกระแสในการขับเคลื่อนสแต็ปปีงมอเตอร์



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อระหว่างส่วน Control กับส่วนอื่นๆ

การออกแบบ

1. การรับและส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลออกจากเครื่องตรงช่อง Detect out

สัญญาณที่พบของ cell หรือ personal station เราสามารถที่จะสังเกตได้โดย การต่อสโคปกับ Detect out เอาท์พุทที่ได้นี้จะใช้เพื่อเช็คค่าผิดพลาดในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ ของช่องสัญญาณที่ต้องการ , ผลกระทบ , และ burst timing ในค่าของ Real time

เมื่อระดับ output ถูกตั้งอัตโนมัติด้วย attenuator , รูปคลื่นอาจจะเกิดเป็นพัลส์ๆ ระหว่าง step ระหว่างที่กำลัง monitor ดู เพื่อที่จะสามารถ monitor ดูรูปคลื่น Detect out ได้ , เราจะใช้ CS - TRACE : CCH ใน manual attenuation mode

1.1 ขั้นตอนการปฏิบัติ

- กดปุ่ม CS - TRACE
- กดปุ่ม F1 (CA No.) เพื่อเลือกตัวเลขของ carrier ที่ต้องการ โดยใช้ปุ่ม UP / DOWN หรือใส่ตัวเลขจำนวน 2 หลัก โดยใช้ปุ่มตัวเลขต่างๆ จากนั้นกดปุ่ม ENTER
- ต่อ scope หรือ scope แบบ digital - storage กับตัวต่อ Detect out บน front panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 คุณลักษณะต่างๆ ของ Detect Out

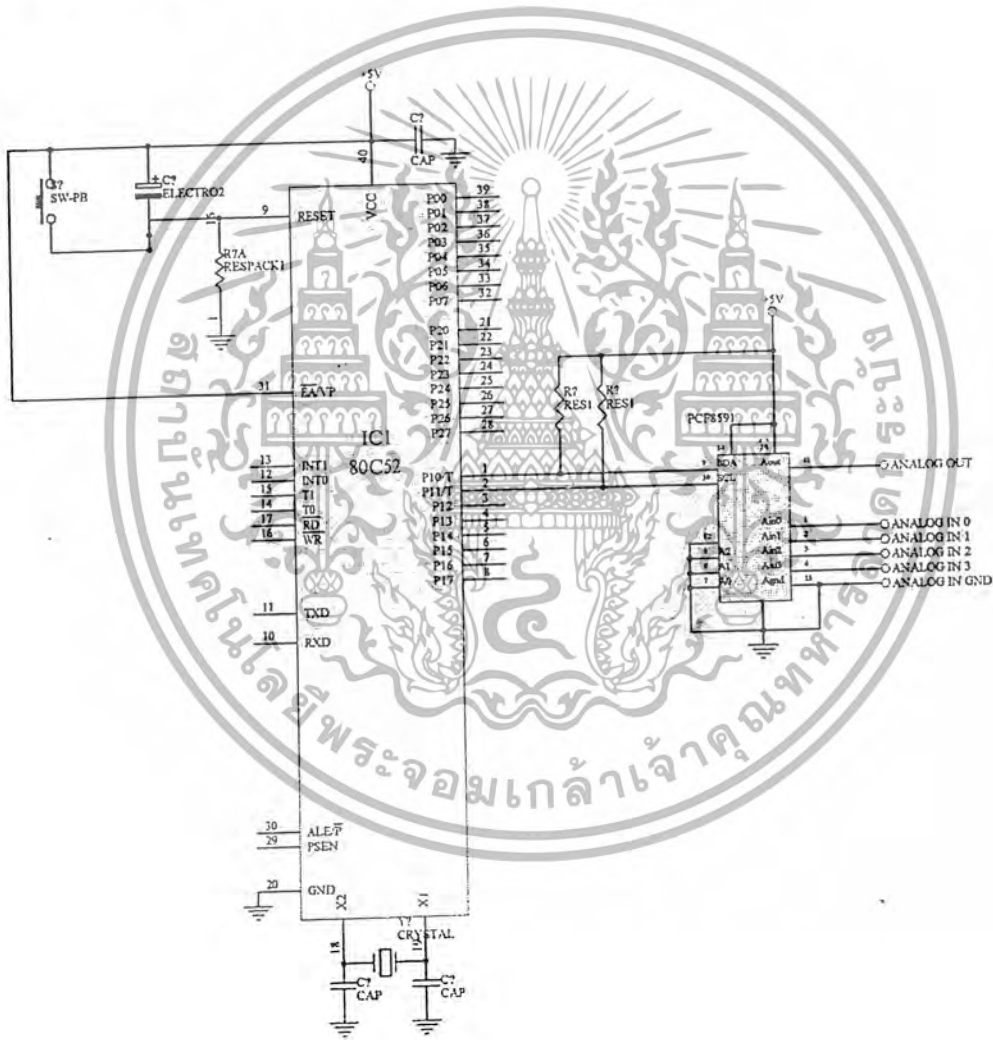
- Output Impedance : 1 kΩ
- Output Voltage : 1.5 V Approximate with 50 dB μV - Input (ATT OFF)

2. การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล

การออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51

การใช้ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบ Succussive Approximation

มีคุณสมบัติดังนี้

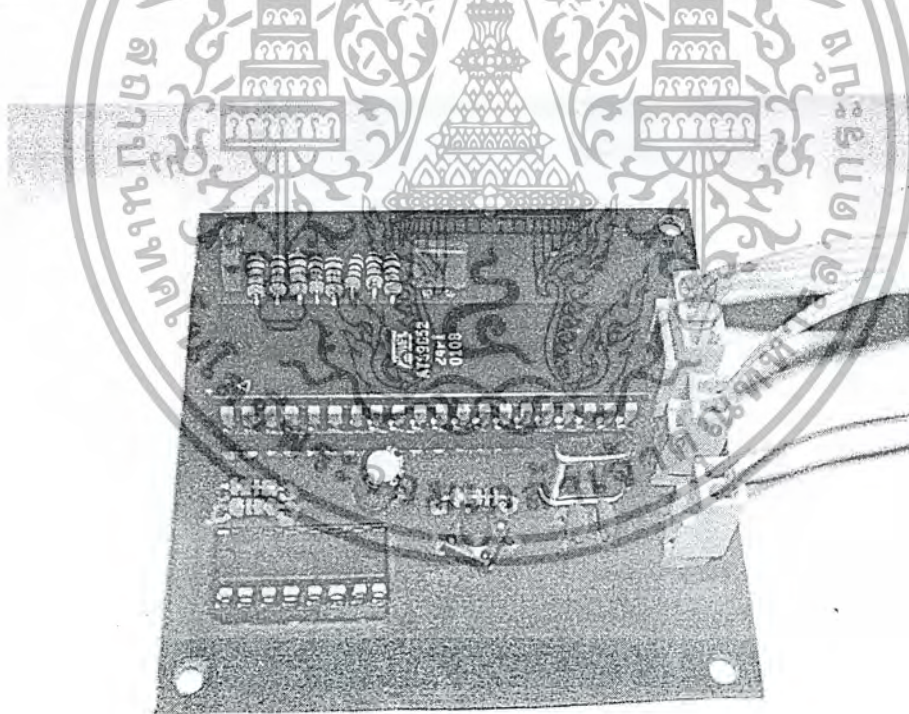


รูปที่ 3.6 วงจรการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทำงานร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ง่าย
2. มีอินพุตผลต่างแรงดันอนาล็อก
3. ระดับสัญญาณทางด้านอินพุตและเอาต์พุตสอดคล้องทั้งแรงดันที่ทีแอลและมอส
4. ทำงานด้วยแรงด้วยแรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์
5. มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไอซีเอง
6. มีย่านระดับแรงดันอินพุต 0 ถึง 5 โวลต์
7. มี 20 ขา
8. มีความเร็วในการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

การเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS -51 นั้น ในการทำงานร่วมกันจำเป็นต้องเริ่ม start A/D ก่อนโดยทำให้ขา WR เป็น Low ความเร็วในการแปลงสัญญาณเท่ากับ $100 \mu s$ เมื่อแปลงเสร็จแล้วก็จะมีสัญญาณออกมาที่ขา INTR เป็นระดับลอจิกสูง ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมต้องทำการเขียนพอร์ต A/D ก่อนนั่นคือทำให้ WR และ CS ของ A/D ทำงานหลังจากนั้นก็รอขา INTR เป็นระดับลอจิกสูง แล้วจึงอ่านข้อมูลเข้าไปเก็บเป็นการสิ้นสุดการทำงาน 1 รอบ หรืออีกวิธีหนึ่งเมื่อทำการ start A/D แล้วให้วนดูปรอทจนกว่าจะเกินเวลารอบ $100 \mu s$ แล้วจึงมาอ่านค่า A/D ไปเก็บ



รูปที่ 3.7 การต่อวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่สมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณค่าพัลส์จากข้อมูลองศาที่มีค่าระดับความแรงของสัญญาณที่แรงที่สุด

จากค่าองศาที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 รับค่ามาจากคอมพิวเตอร์ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 0-360 องศา ซึ่งทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลทั้งหมดด้วยขนาด 1 ไบต์ เนื่องจากข้อมูล 1 ไบต์ เมื่ออยู่ในฐานสิบหกสามารถแทนค่าได้สูงสุดคือ FF H เมื่อแปลงเป็นค่าฐานสิบมีค่า 255 เท่านั้น จึงออกแบบให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุนไป 2 องศา / 1 พัลส์ที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จ่ายออกมา

จากการที่ออกแบบให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์หมุนไป 2 องศา / 1 พัลส์ ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของมอเตอร์ ที่หมุนเพียง 1.8 องศา / 1 พัลส์ หรือ 200 พัลส์ / 1 รอบ จากที่คิด สูงสุดขององศาที่เป็นไปได้นำมาหารด้วย 2 (2 องศา) จึงที่ 180 พัลส์ จึงต้องทำการชดเชยด้วยซอฟต์แวร์ที่เขียนมาด้วย

4. การกระตุ้นและควบคุมมอเตอร์สเต็ปป์มอเตอร์

การกระตุ้นแบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส (full step) เป็นการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งไปเรื่อยๆ ถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1, 2, 3, 4 แล้ววนกลับมาที่ขดที่ 1 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 1 แล้วย้อนกลับไปยังขดที่ 4, 3, 2 แล้วกลับมาที่ขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางของการหมุนสวนกัน การทำงานจะแสดงรูปที่ 3.10 และการนำไปใช้จริงนั้นต้องคำนึงแรงบิดของตัวสเต็ปป์มอเตอร์เองด้วย

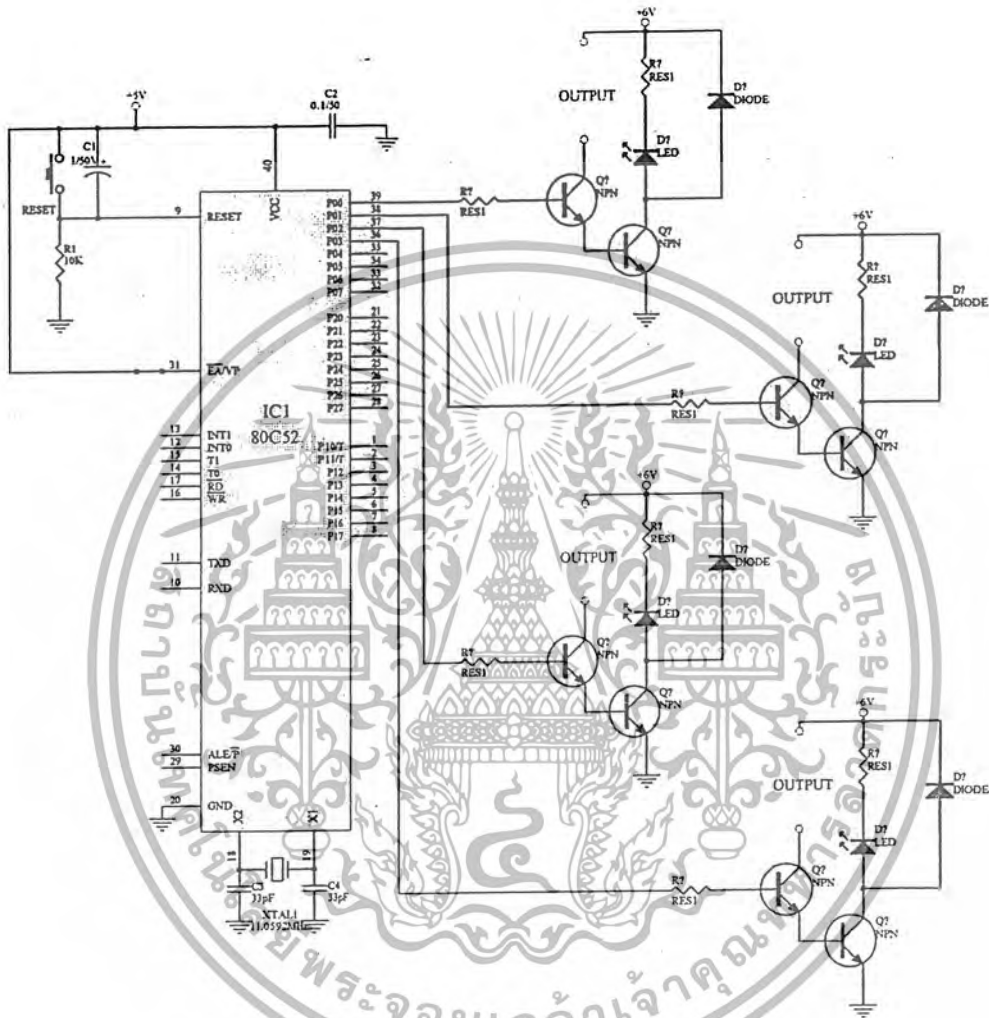


รูปที่ 3.8 โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

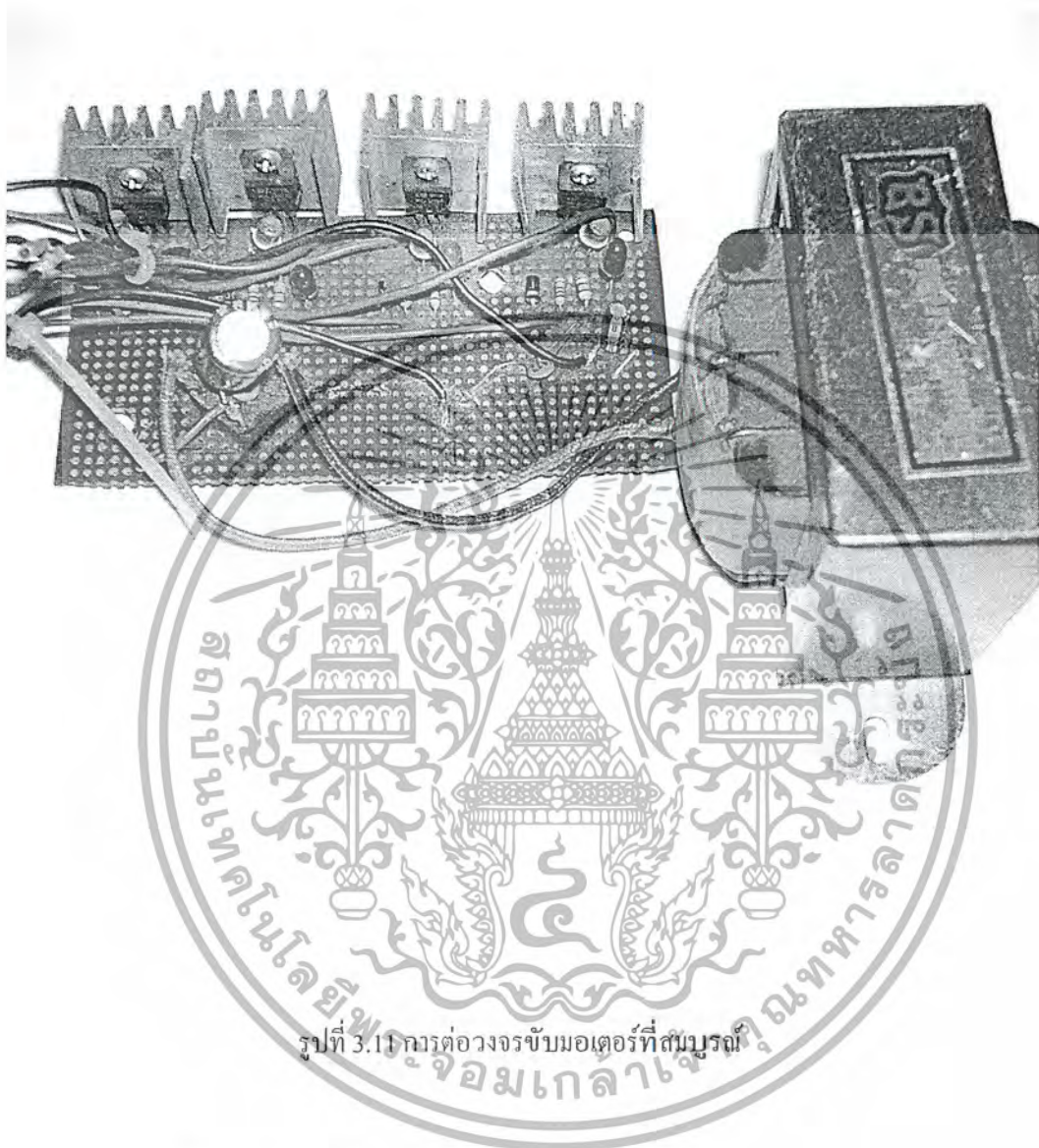
รูปที่ 3.9 ลำดับการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสของมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การออกแบบวงจรขับสี่บิตปิงมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

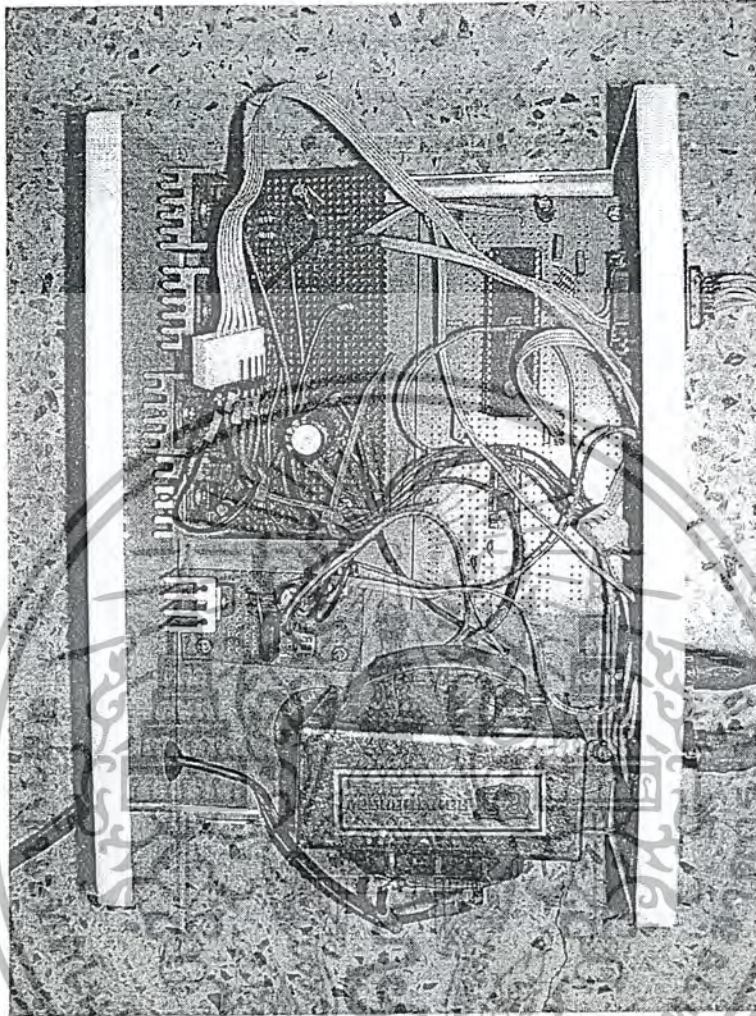


รูปที่ 3.11 การต่อวงจรขับมอเตอร์ที่สมบูรณ์

5. วงจรขยายกระแสในการขับสเต็ปิ่งมอเตอร์

คุณสมบัติของสเต็ปิ่งมอเตอร์ที่ใช้ แรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ และกระแส 1 แอมป์ ซึ่งค่าจากเอาพุตออกมาจาก MCS-51 ไม่สามารถนำมาขับสเต็ปิ่งมอเตอร์ได้โดยตรงจึงนำมาผ่านวงจรขยายกระแส เพื่อยกระดับของกระแสให้มากพอที่จะขับสเต็ปิ่งมอเตอร์ก่อน ตัววงจรมันใช้ทรานซิสเตอร์มาต่อแบบดาlington โดยใช้ Common Collector เพื่อให้ได้กระแสสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การต่อวงจรเข้ารวมกันที่สมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบสายอากาศ

4.1.1 การทดสอบสายอากาศไดโพลที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องรับ

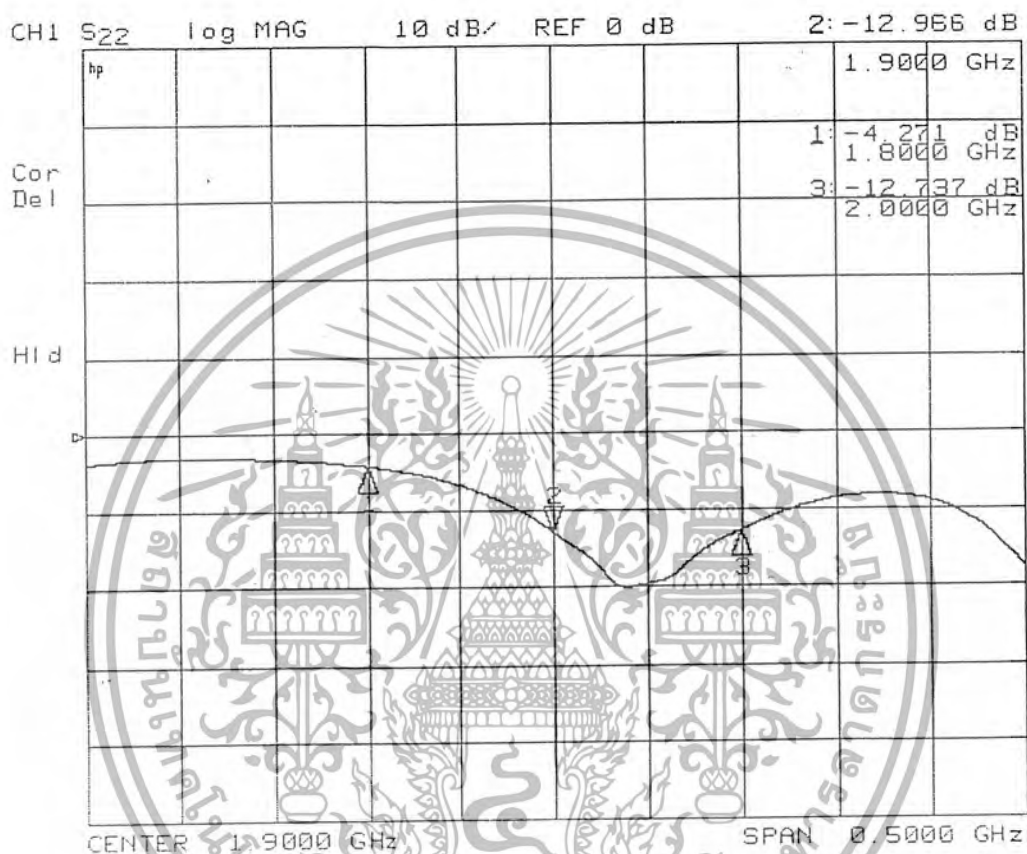
1. ทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance), ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Log mag) , ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ของสายอากาศไดโพล



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $38.516 - j16.67 \Omega$

รูปที่ 4.1 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพล

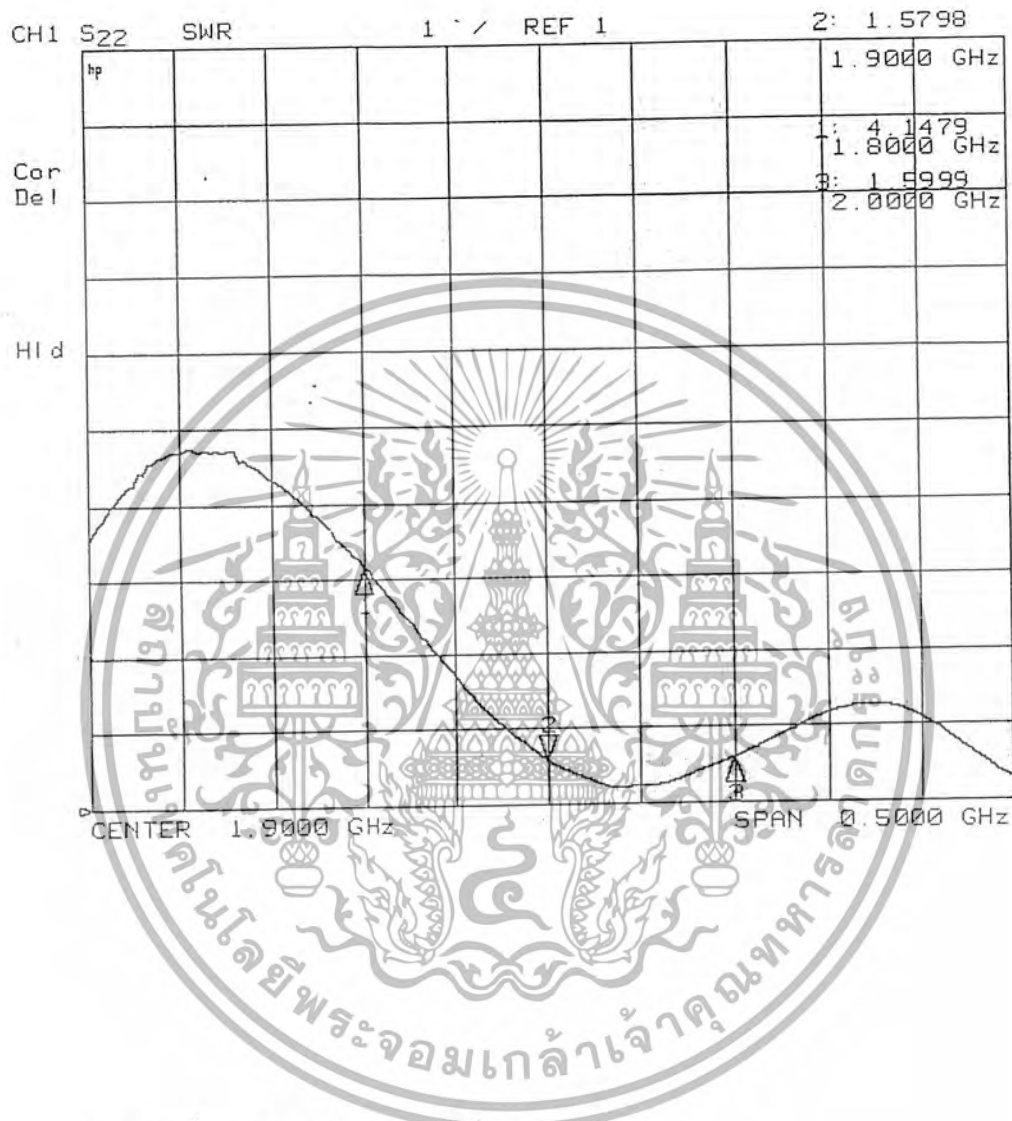
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะได้ -12.966 dB

รูปที่ 4.2 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่า SWR จะได้ 1.5798 : 1

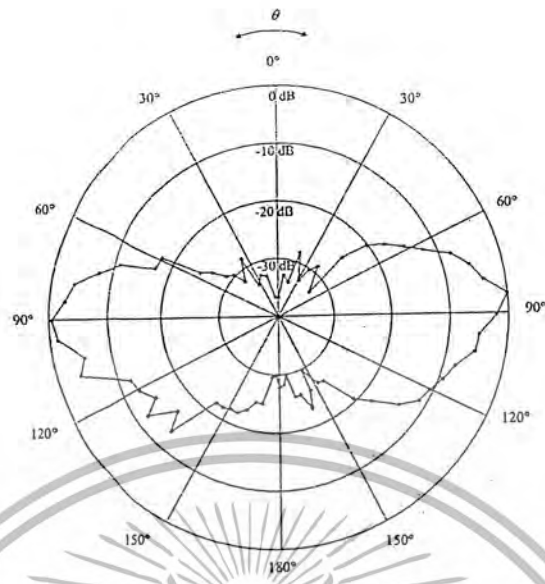
รูปที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศไดโพล

จากรูปจะเป็นค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) , ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) , ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Log mag) ที่วัดได้จากเครื่อง Network Analyzer การวัด marker จุดไว้ที่ความถี่ 1900 MHz ในช่วงความถี่

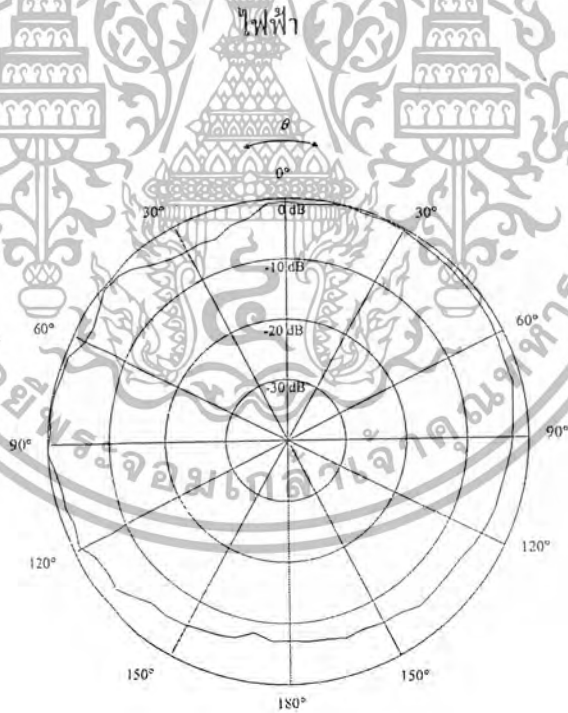
ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล



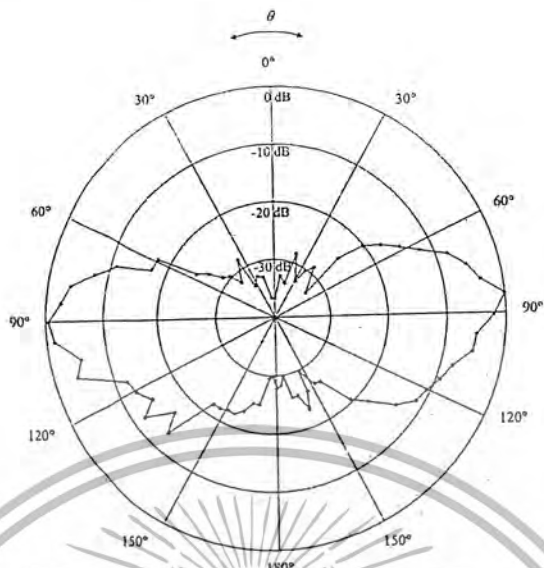
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนาม



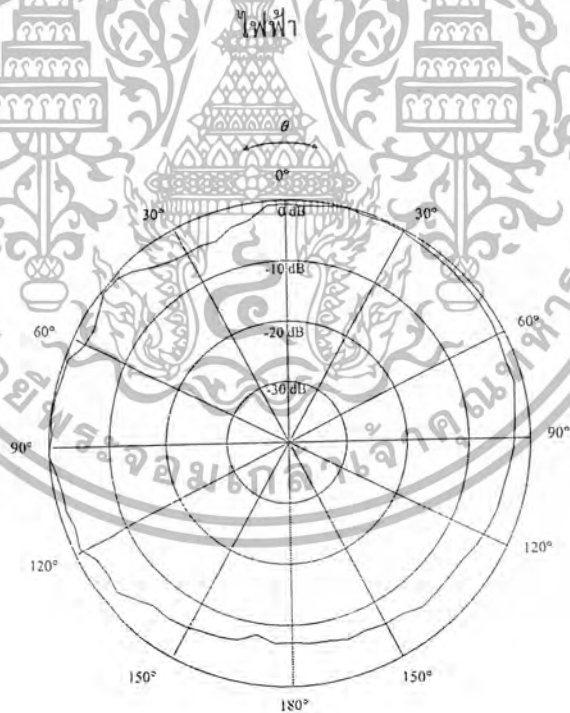
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนาม
แม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพล

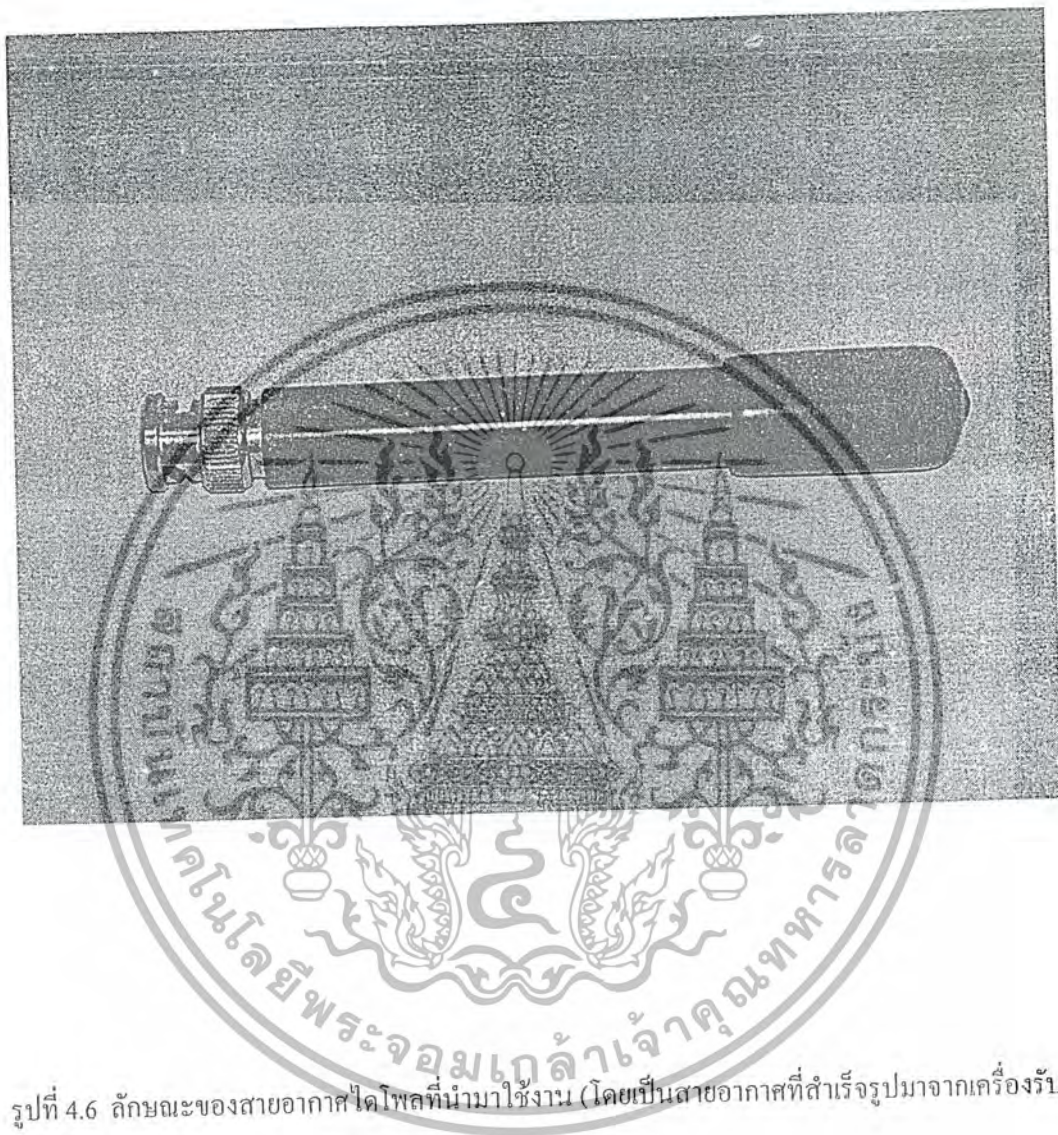


รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนาม



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



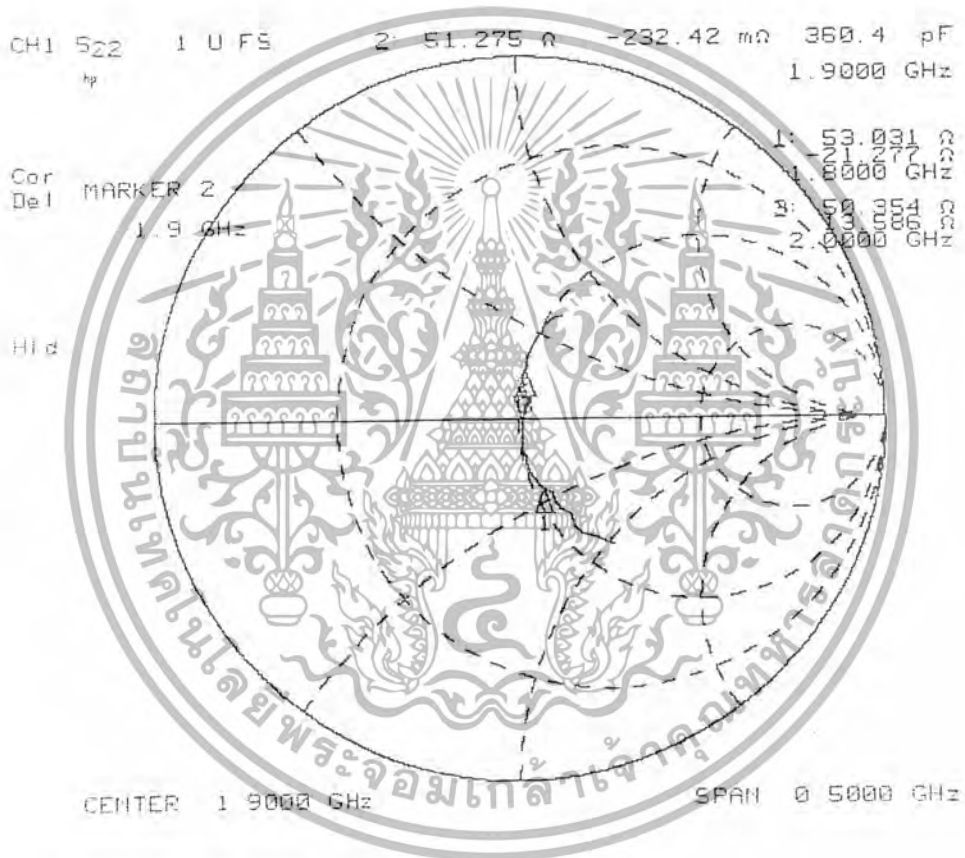
รูปที่ 4.6 ลักษณะของสายอากาศไดโพลที่นำมาใช้งาน (โดยเป็นสายอากาศที่สำเร็จรูปมาจากเครื่องรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดสอบสายอากาศวงแหวน (Ring Antenna)

สายอากาศวงแหวนล้อมรอบโพรบเชิงเส้นไฟฟ้า มีค่ารีซีมของวงแหวนเท่ากับ 0.3139λ (5.09 เซนติเมตร) โดยทำงานที่ความถี่เท่ากับ 1900 MHz รูปที่ 4.6 เป็นการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) แล้วทำการปรับแต่งผลจนมีค่าเข้าใกล้ 1 และไม่เกิน 1.5 โดยตัดส่วนโพรบให้ได้สัดส่วน

1. ทำการวัด ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) , ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Log mag) , ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ของสายอากาศวงแหวน



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $51.275 - j232.42 \text{ m}\Omega$

รูปที่ 4.7 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศวงแหวน

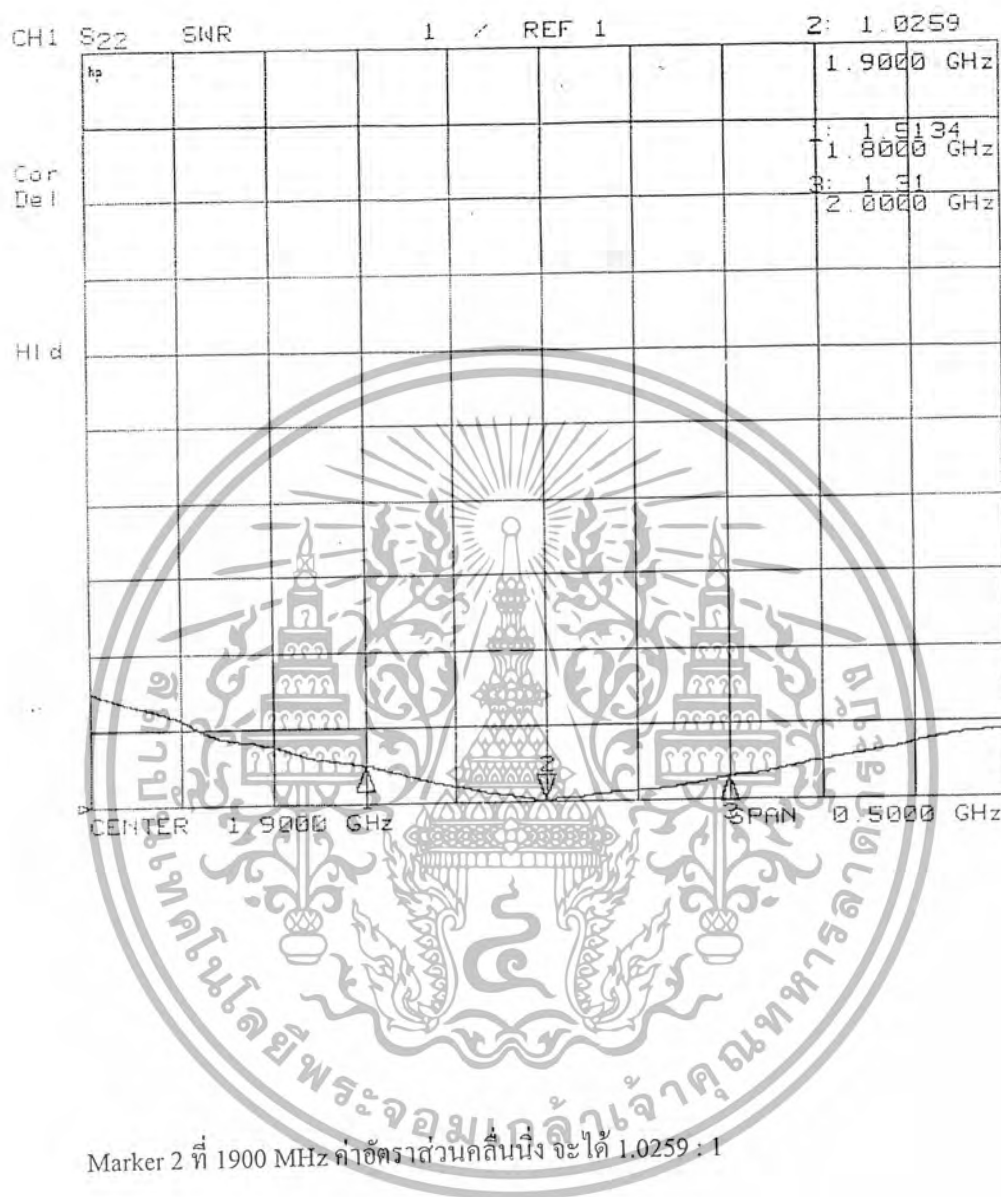
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะได้ -37.862 dB

รูปที่ 4.8 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง จะได้ 1.0259 : 1

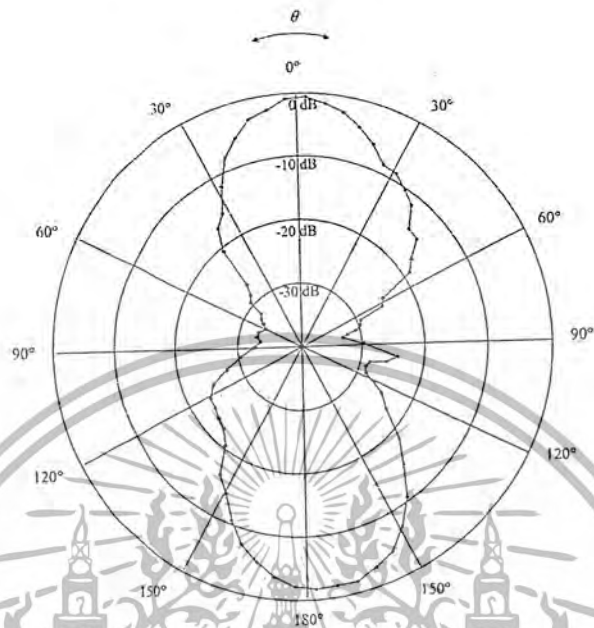
รูปที่ 4.9 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศวงแหวน

จากรูปจะเป็นค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) , ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) , ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Log mag) ที่วัดได้จากเครื่อง Network Analyzer การวัด marker จุดไว้ที่ความถี่ 1900 MHz ในช่วงความถี่ใช้งาน

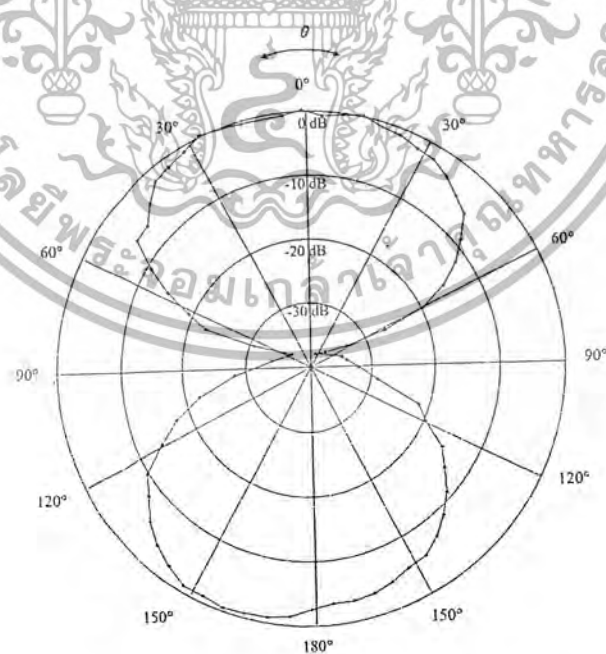
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวน

ทำการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก โดยวัดจากเครื่อง Network Analyzer แล้วนำผลมาวาดกราฟ



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า



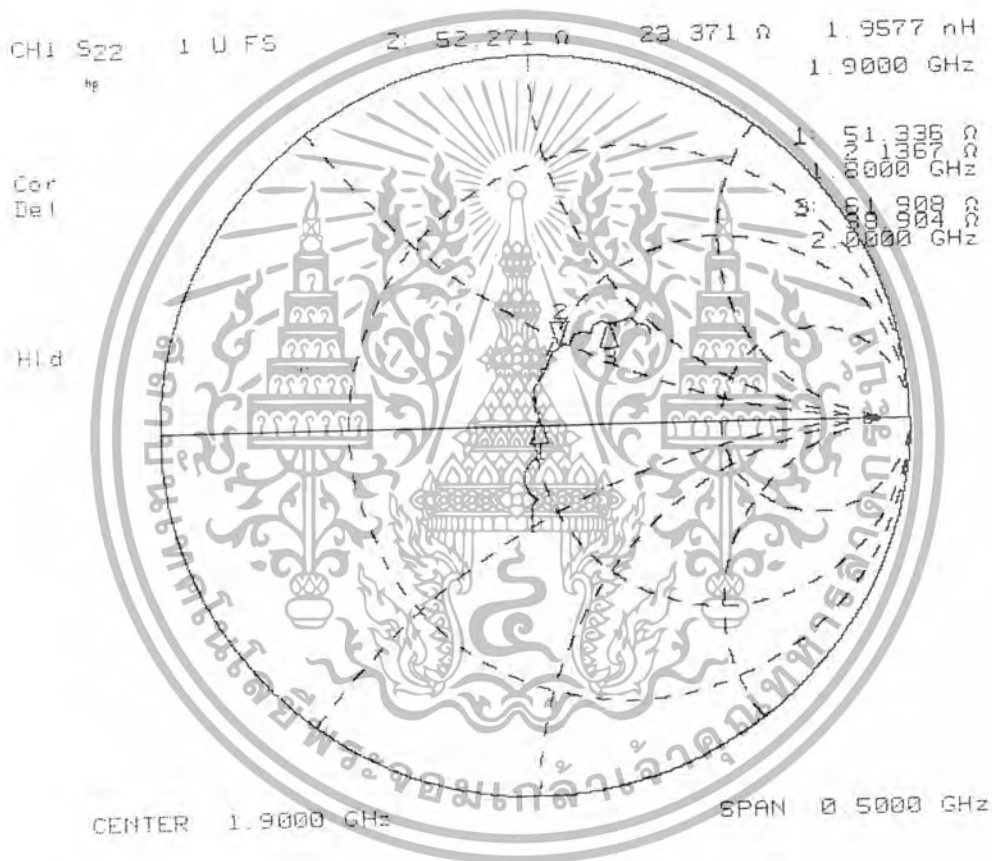
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเพื่อทำการทดลองเพื่อทำการหาการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศ (Far Field) โดยทำการหมุนสายอากาศตัวรับไปรอบแล้วรับค่าจากมมต่างๆที่ได้จากการทดสอบและนำมาวาดกราฟเป็นแพทเทิร์นดังข้างต้น

4.1.3 การทดสอบสายอากาศวงแหวนบนระนาบแผ่นสะท้อน (Ring Reflect Antenna)

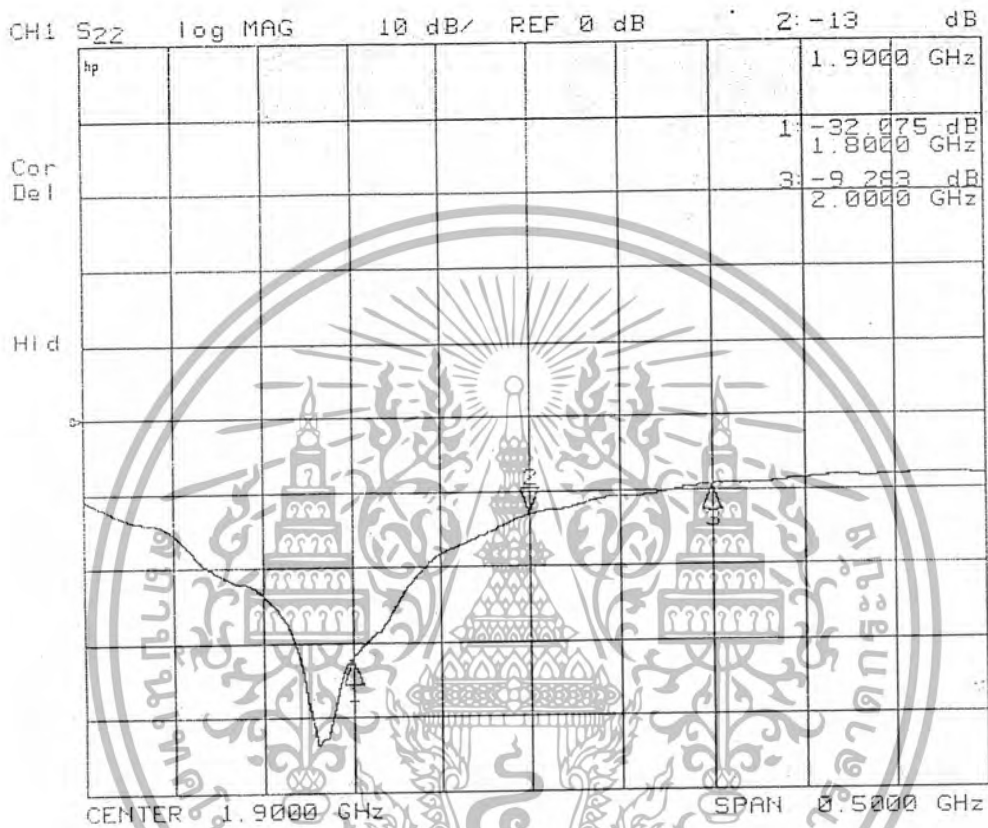
1. ทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) , ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Log-mag) , ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ของสายอากาศวงแหวน



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ $52.271 + j23.371 \Omega$

รูปที่ 4.12 การวัดค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศวงแหวนบนระนาบแผ่นสะท้อน

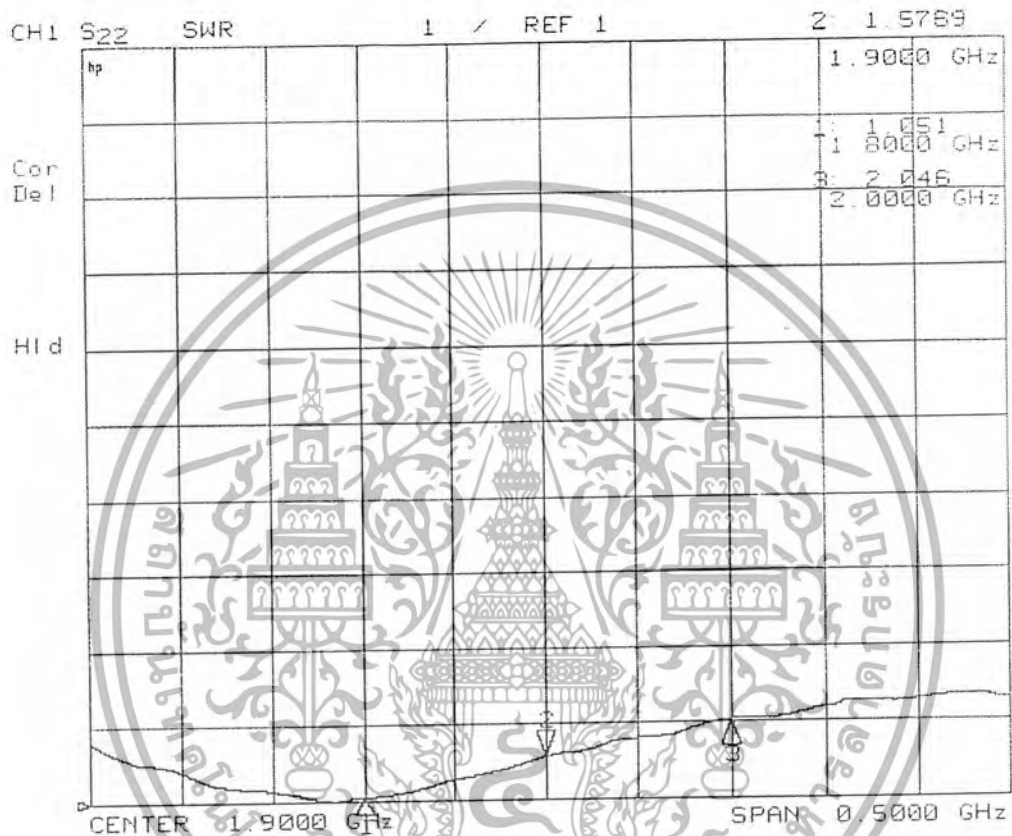
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะได้ -13 dB

รูปที่ 4.13 ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

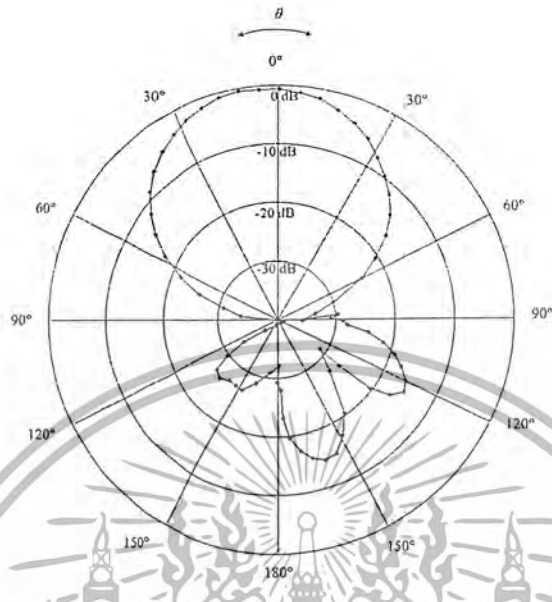


Marker 2 ที่ 1900 MHz ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง จะได้ 1.5769 : 1

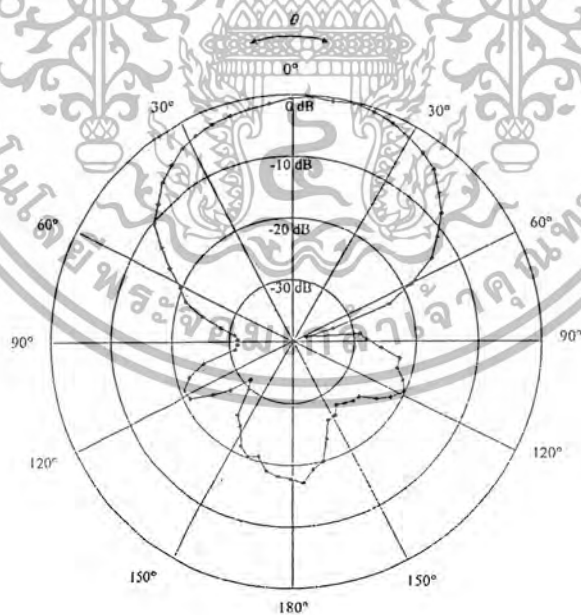
รูปที่ 4.14 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศวงแหวนบนระนาบแผ่นสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กและระนาบสนามไฟฟ้าสามารถแสดงผลที่ได้จากการทดสอบและการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบกับผลจากการวิเคราะห์ได้ดังนี้



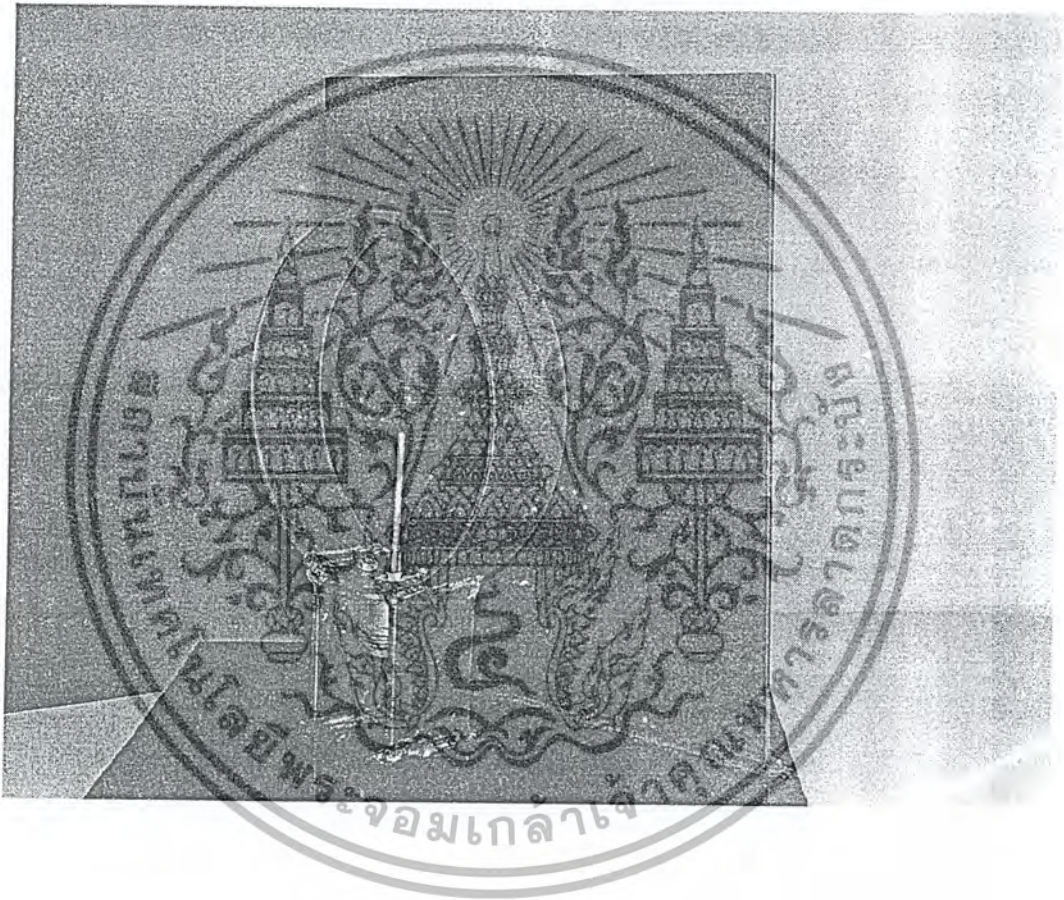
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนคิดแผ่นระนาบสะท้อน ระยะห่าง 4.866 เซนติเมตร และที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามไฟฟ้า



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศวงแหวนคิดแผ่นระนาบสะท้อน ระยะห่าง 4.866 เซนติเมตร และที่ความถี่ 1900 MHz ในระนาบสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าส่วนของสายอากาศแบบวงแหวน โดยปกติจะมีลำคลื่นออก 2 ทิศทาง ทิศทางตามปากท่อของสายอากาศ แต่เมื่อนำแผ่นระนาบสะท้อนมาขึ้นด้านหนึ่งของลำคลื่นเพื่อให้ได้ลำคลื่นออกด้านเดียวโดยติดตั้งห่างตามระยะที่กำหนดได้ในบทที่ 3 (0.3λ) เมื่อทำการพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์นั้น จะมีลักษณะการแพร่กระจายของลำคลื่นที่ใกล้เคียงกัน.

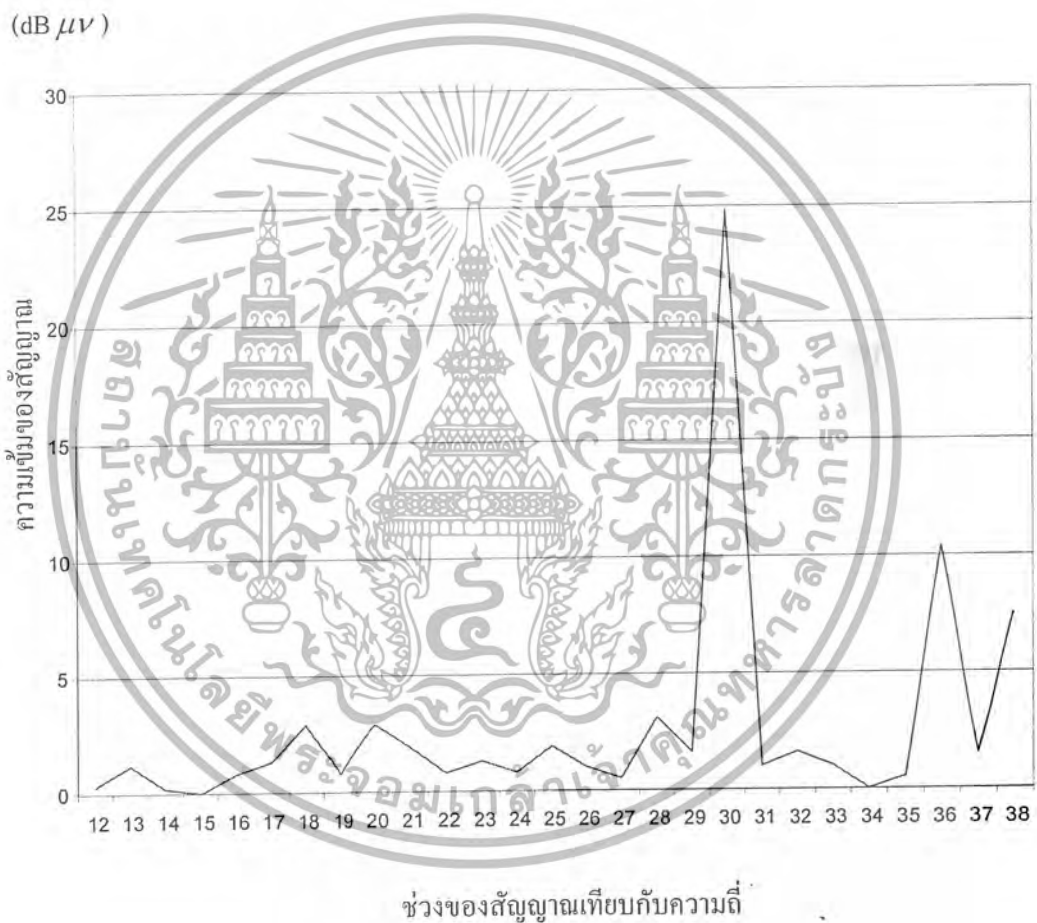


รูปที่ 4.17 ลักษณะของสายอากาศวงแหวนล้อมรอบโพรบิคคแผ่นระนาบสะท้อนที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบผลที่ออกมาจากเครื่องรับ

การทดลองที่ 4.2.1 เป็นการทดลองเก็บค่าผลที่ออกมาจากเครื่องรับแล้วทำการพล็อตกราฟ โดยผลที่ออกมาจากเครื่องรับนั้นจะแสดงค่าสัญญาณที่วัดออกมาโดยเทียบกับช่วงของแต่ละความถี่ โดยจะสามารถดูได้ว่าที่เราต้องการวัดสัญญาณนั้นมีความถี่ที่เท่าไรหรือมีความเข้มของสัญญาณสูง หรือเลือกพิจารณาที่ความถี่ที่ต้องการแล้วพิจารณาว่ามีความเข้มของสัญญาณ ณ. จุดนั้นเท่าใด



รูปที่ 4.18 แสดงค่าสัญญาณที่วัดออกมาจากโดยทำการวัดช่วงที่รับสัญญาณมาเทียบความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเทียบค่าความเข้มสัญญาณที่วัดออกมาจากช่วงสัญญาณกับความถี่ที่สอดคล้องกันมีดังนี้

ช่วงสัญญาณ	ความถี่ (MHz)	ช่วงสัญญาณ	ความถี่ (MHz)
5	1896.35	23	1901.75
6	1896.65	24	1902.05
7	1896.95	25	1902.35
8	1897.25	26	1902.65
9	1897.55	27	1902.95
10	1897.85	28	1903.25
11	1898.15	29	1903.55
12	1898.45	30	1903.85
13	1898.75	31	1904.15
14	1899.05	32	1904.45
15	1899.35	33	1904.75
16	1899.65	34	1905.05
17	1899.95	35	1905.35
18	1900.25	36	1905.65
19	1900.55	37	1905.95
20	1900.85	38	1906.25
21	1901.15	39	1906.55
22	1901.45	40	1906.85

ตารางที่ 4.1 ใช้เป็นส่วนเปรียบเทียบความถี่และช่วงที่กำหนดขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

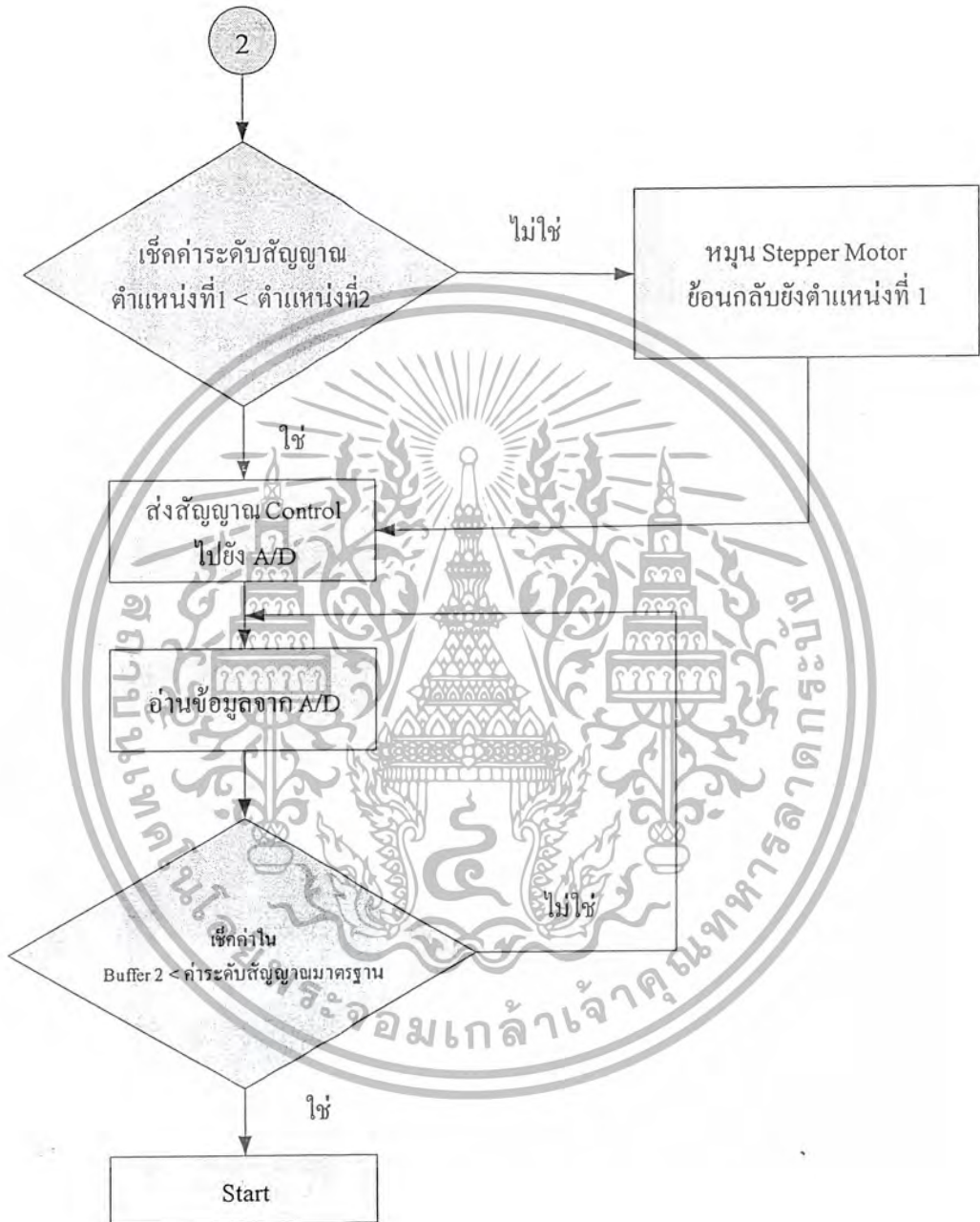
4.3.1 โปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนปั๊มมอเตอร์โดยทำการจำลองการทำงานหาตำแหน่งที่มีความเข้มของสัญญาณสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 โปรแกรมจำลองการทำงานหาค่าแห่งที่มีความเข้มของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

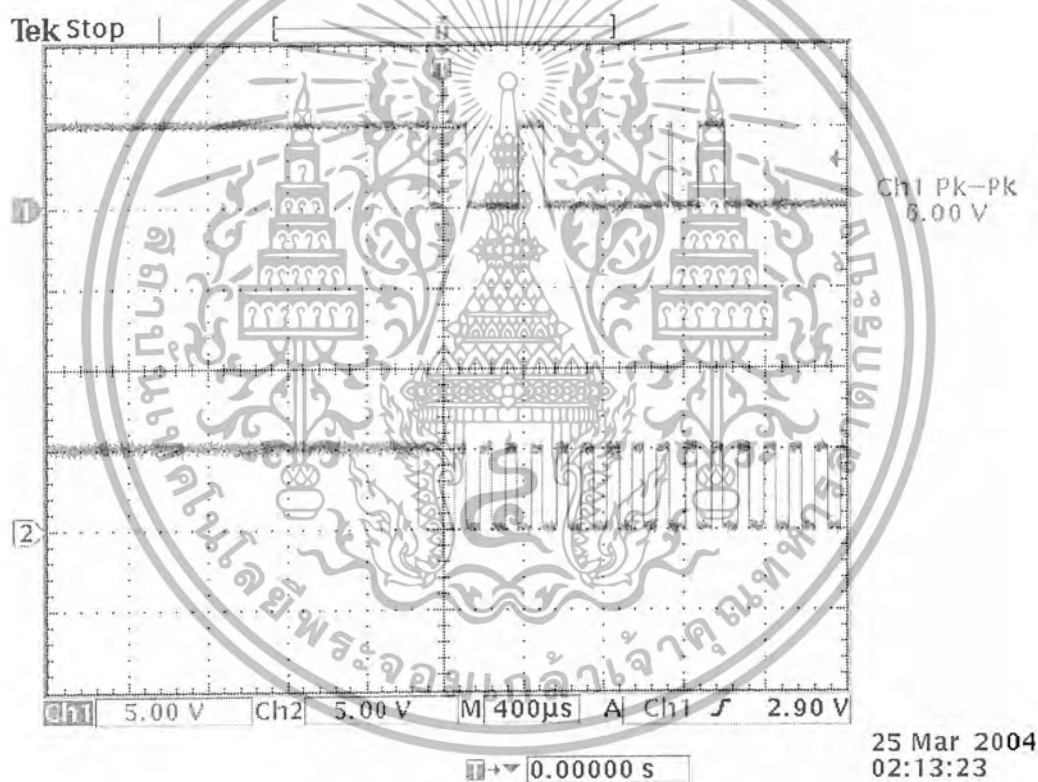
4.3.2 ผลการวัดสัญญาณหลังจากผ่านวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ทำการตรวจวัดสัญญาณที่ออกมาหลังจากผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยจะแสดงในรูปของสัญญาณพัลส์ สัญญาณที่รับเข้ามาแปลงนั้นจะรับมาจากชุดรับ โดยประกอบด้วย สายอากาศ และเครื่องวัดความเข้มของสัญญาณ ผลที่ออกมาจากเครื่องวัดจะเป็นลักษณะสัญญาณทางเวลา เราต้องการนำสัญญาณที่ได้ไปควบคุมการทำงานชุดขับจึงต้องทำการแปลงสัญญาณที่ได้ก่อน จึงทำการวัด ลักษณะของสัญญาณที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลได้ดังรูปที่ 4.20

เราทำการวัดสัญญาณออกมาโดยได้ช่วงของแบนด์ที่ได้อีกกว้าง จึงทำการเก็บช่วงสัญญาณได้เป็น ช่วงๆจากสโคป แล้วทำการบันทึกผลดังรูปที่ 4.20

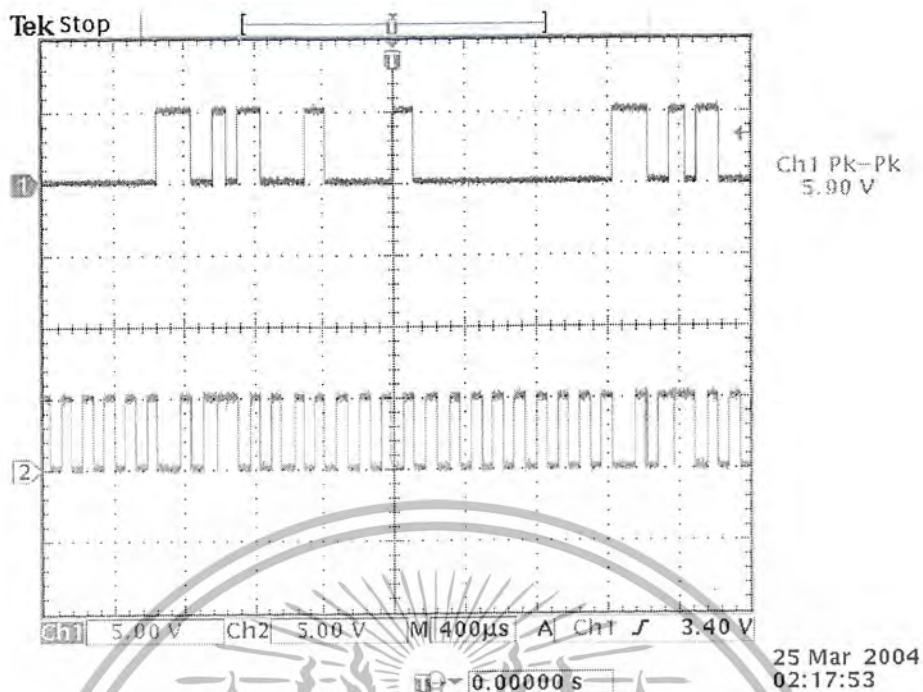
ผลจากการวัดสัญญาณได้ในช่วงที่ 1

ช่วงที่กราฟออกมาเป็นเส้นตรงนั้นจะเป็นช่วงที่โปรแกรมสั่งให้สแตมป์มอเตอร์ทำงานหลังจากนั้น กราฟจะออกมาเป็นรูปพัลส์เมื่อโปรแกรมสั่งให้มีการรับส่งข้อมูลจาก AVR ไปยังส่วนของ MCS



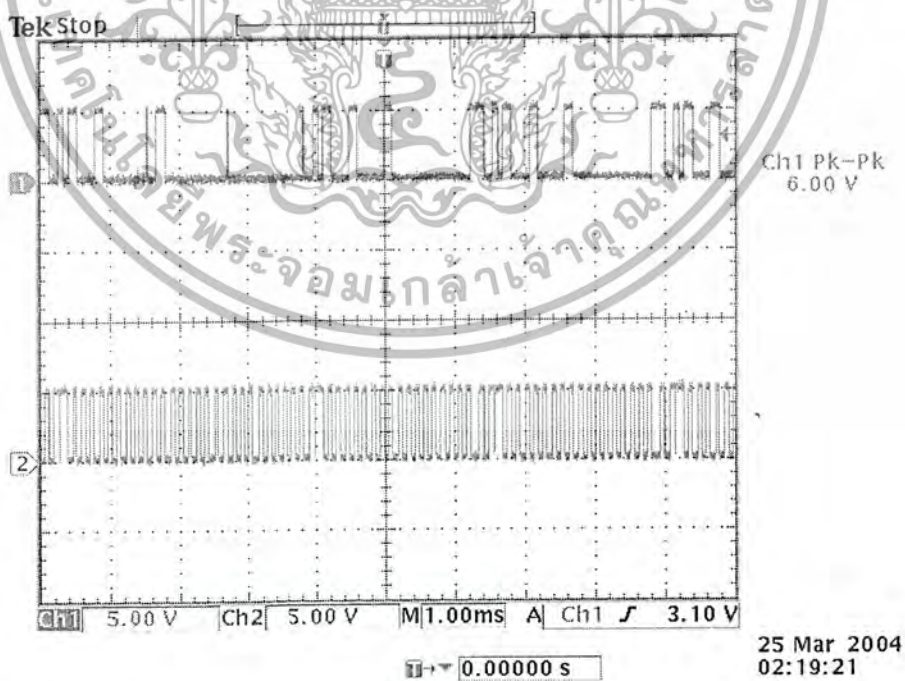
ผลการวัดสัญญาณได้ในช่วงที่ 2

จะเป็นสัญญาณที่บอกถึงการอ่านหรือเขียนค่าของโปรแกรม MCS โดยจะสังเกตจากรูปสัญญาณพัลส์ที่เกิดการซ้กันของรูปพัลส์ไปนั่นเอง



ผลการวัดสัญญาณได้ในช่วงที่ 3

จะลักษณะพัลส์เหมือนกับช่วงที่ 2 แต่เราทำการขยายช่วงแบนด์ออกให้รับช่วงสัญญาณได้กว้างขึ้น จึงมองออกว่าช่วงพัลส์ที่ซ้ำกันช่วงแรกเป็นการอ่านข้อมูล และช่วงที่สองและสามจะเป็นการเขียนข้อมูลจากความยาวของพัลส์ที่เกิดขึ้นภายหลัง



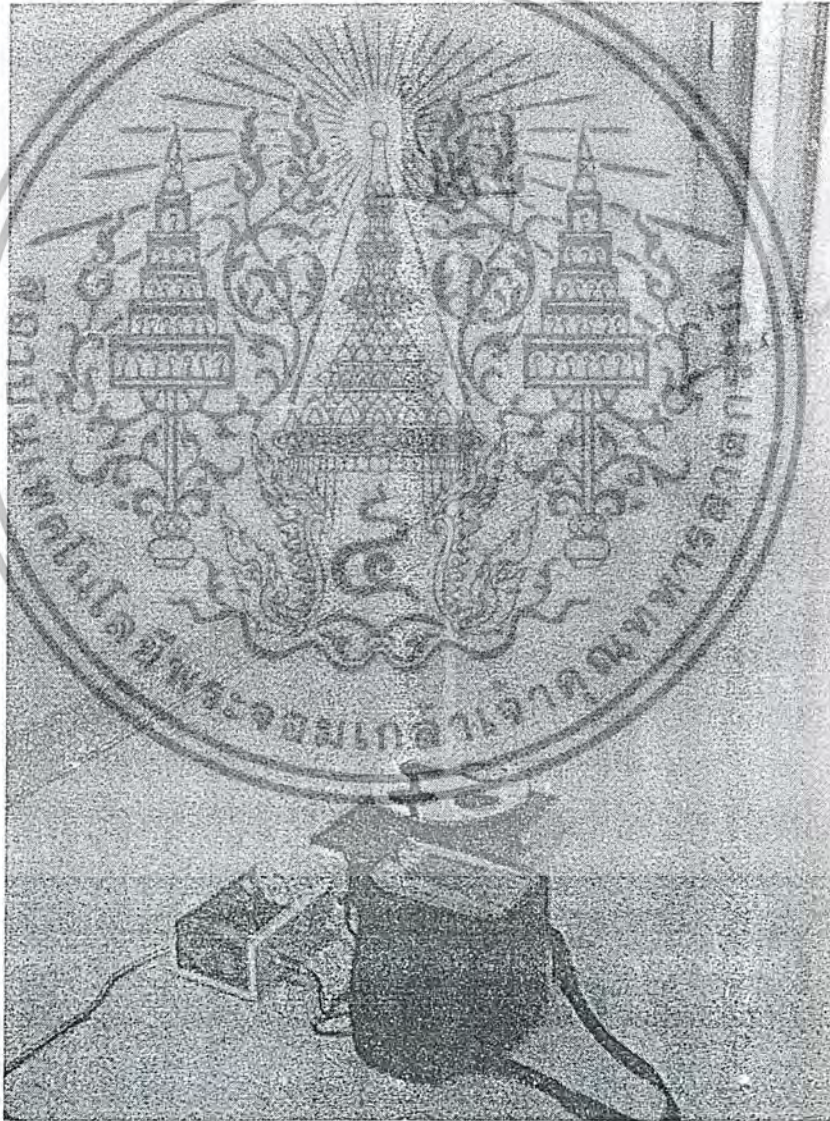
รูปที่ 4.20 ผลของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบระบบหาตำแหน่งความเข้มของสัญญาณ

การทดลองที่ 4.4.1

เมื่อทำการกำหนดตำแหน่งของตัวส่ง และทำการทดสอบชุดรับสัญญาณ โดยให้ทำการหมุนหาตำแหน่งที่มีความเข้มของสัญญาณ แล้วเปรียบเทียบแต่ละตำแหน่ง ต่อจากนั้นจะทำการหมุนไปยังตำแหน่งที่วิเคราะห์สัญญาณได้ว่ามีความเข้มของสัญญาณสูงกว่า โดยเราจะทำการเก็บค่าของความเข้มของสัญญาณออกมาแต่ละตำแหน่งที่เราทำการหมุนไปปรับค่าแล้วทำการพล็อตกราฟเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับระดับค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ โดยทำการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังรูป



รูปที่ 4.21 การจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทดสอบความเข้มของสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.4.1.1

ผลการทดสอบตำแหน่งที่ 90 องศา กับ 135 องศา เมื่อกำหนดให้ที่ 90 องศา มีความเข้มสูง

ขั้นตอนการทดลองให้สายอากาศตัวส่ง 2 ตัวอยู่ในทิศทางที่ต่างกันจากชุดภาครับสัญญาณและให้ค่าความเข้มของสัญญาณต่างกันด้วย และในขณะที่การทดลองนี้เราได้กำหนดให้ที่ 90 องศา มีความเข้มสูงกว่า ซึ่งเราจะทำการวัดเปรียบเทียบสายอากาศทั้งสองดังนี้คือรูป



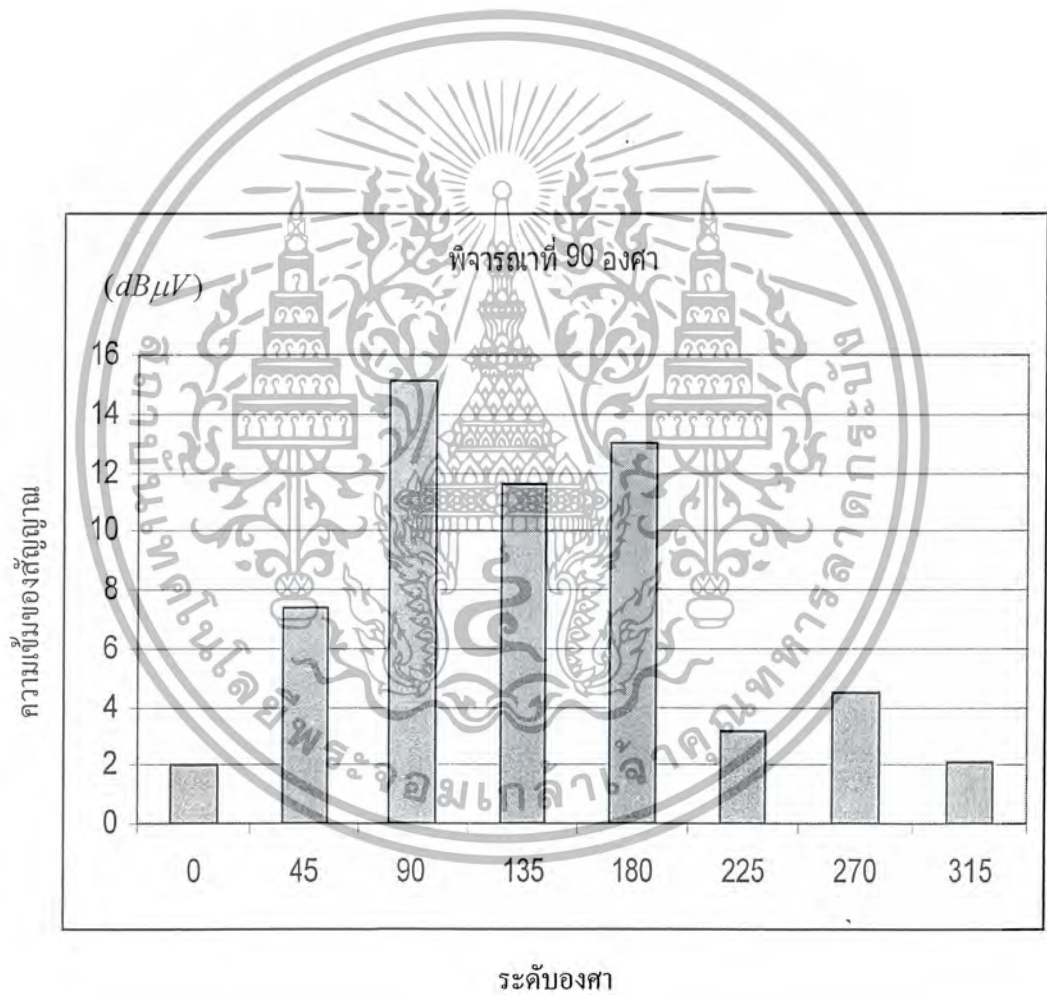
รูปที่ 4.22 ลักษณะการหมุนตามทิศทางที่มีความเข้มของสัญญาณที่ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบในการทำงานที่ 1

เริ่มจากการเซตเครื่องแล้วทำการรับค่าในจุดที่ 1 (90 องศา) แล้วหมุนไปรับค่าที่จุดที่ 2 (135 องศา) แล้วนำผลมาเทียบค่า เมื่อพบว่าที่จุดที่ 1 มีค่าสัญญาณที่แรงกว่าจะทำการหมุนกลับไปหายังทิศทางนั้น แล้วเมื่อสัญญาณเกิดการลดทอนลงไปมากจนต้องทำการหมุนสัญญาณใหม่ เครื่องก็จะหมุนมารับค่าเปรียบเทียบเช่นเดียวกับขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้ว

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ แสดงดังรูป



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.4.1.2.

ผลการทดสอบตำแหน่งที่ 90 องศา กับ 135 องศา เมื่อกำหนดให้ที่ 135 องศา มีความเข้มสูง
 ขั้นตอนการทดลองให้สายอากาศตัวส่ง 2 ตัวอยู่ในทิศทางที่ต่างกันจากชุดภาครับสัญญาณและให้
 ค่าความเข้มของสัญญาณต่างกันด้วย และในขณะที่การทดลองนี้เราได้กำหนดให้ที่ 135 องศา มีความ
 เข้มสูงกว่า ซึ่งเราจะทำการวัดเปรียบเทียบสายอากาศทั้งสองต้นนี้ดังรูป



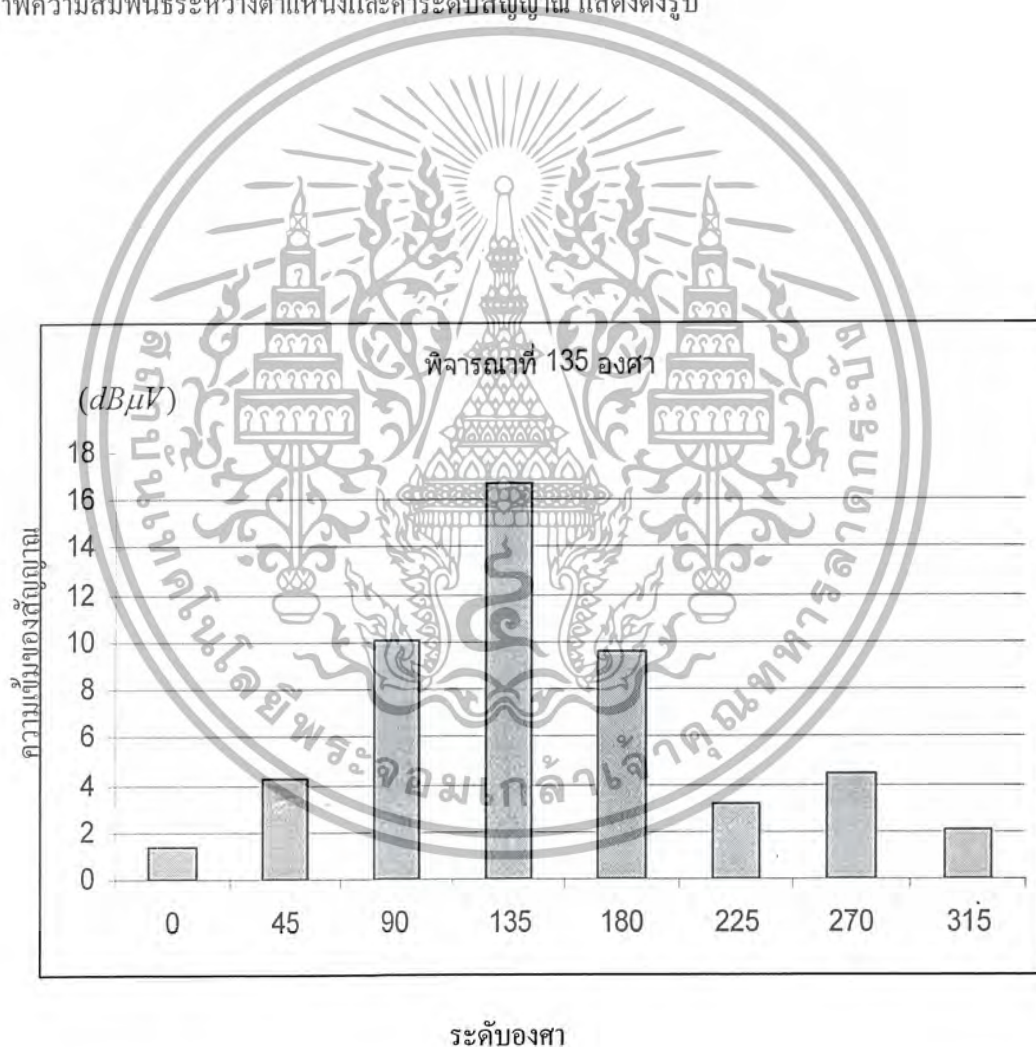
รูปที่ 4.24 ลักษณะการหมุนตามทิศทางที่มีความเข้มของสัญญาณที่ 135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบในการทำงานที่ 2

เริ่มจากการเซตเครื่องแล้วทำการรับค่าในจุดที่ 1 (90 องศา) แล้วหมุนไปรับค่าที่จุดที่ 2 (135 องศา) แล้วนำผลมาเทียบค่าเมื่อพบว่าค่าในจุดที่ 2 มีความแรงมากกว่าเครื่องก็จะทำการสั่งให้หยุดที่จุดนั้น แล้วรอนกว่าค่าความเข้มของสัญญาณนั้นจะลดลง แล้วทำการรับค่าที่จุดที่ 1 ใหม่เพื่อเทียบกับจุดที่ 2 แล้วหมุนไปยังจุดที่พบว่ามีความเข้มของสัญญาณแรงกว่า เครื่องจะทำการระบวนการเช่นนี้ไปเรื่อยๆ เมื่อพบว่าความเข้มของสัญญาณที่จุดที่รับมานั้นลดลง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าระดับสัญญาณ แสดงดังรูป



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปและวิจารณ์

สายอากาศจะแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว และส่วนที่สองออกแบบและสร้างสายอากาศวงแหวนล้อมรอบโพรบวางบนแผ่นระนาบสะท้อนมีการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทาง สายอากาศทั้งสองจะทำงานที่ความถี่ 1900 MHz และมีการแพร่กระจายคลื่นที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งก็เป็นคุณสมบัติของแต่ละสายอากาศสามารถนำไปออกแบบและสร้างเพื่อใช้งานตามต้องการ

สายอากาศที่ใช้รับสัญญาณได้รอบตัวโดยจะติดตั้งกับตัวรับข้อมูล (field strength meter) มีค่าเกนอยู่ที่ 2.15 dBi โดยสายอากาศนี้จะใช้คู่กับตัววัดความเข้มของสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง

รูปแบบของสายอากาศวงแหวนที่ทำการออกแบบไว้ใช้ที่ท่อทองเหลืองที่มีรัศมีขนาด 4.752 เซนติเมตร ความกว้าง 2.525 เซนติเมตร โดยโพรบที่ใช้เป็นโพรบเชิงเส้นไฟฟ้าทำจากเส้นทองเหลืองที่มีความยาวประมาณ 4.05 เซนติเมตร เลือกใช้โดยพิจารณาจากค่าการหักเหของ การแพร่กระจายของลำคลื่น ออกปากช่องท่อทองเหลืองทั้งสองด้าน แต่ในลักษณะของการนำไปใช้งานจะต้องการลำคลื่นเพียงทิศทางเดียว จึงติดตั้งแผ่นระนาบสะท้อนทำจากแผ่นปรินซ์ขนาดกว้าง 17 เซนติเมตร ยาว 17 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างจากสายอากาศวงแหวน 4.16 เซนติเมตร ทั้งขนาดและระยะห่างจะมีผลต่อลำคลื่น ถ้าระยะใกล้จะทำให้เกิดลำคลื่นหลังมากเกิน ในการออกแบบเบื้องต้นจะใช้การคำนวณตามสมการและออกแบบในสายอากาศในโปรแกรม nec มาพิจารณาในการสร้าง

การพิจารณาการแพร่กระจายคลื่นในส่วนของสายอากาศโคแอกเชียลนั้นจะทำงานหลักในการรับสัญญาณแบบรอบทิศทางโดยจะใช้สายอากาศวงแหวนช่วยรับสัญญาณในแบบทิศทางเนื่องจากคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นจะได้เกนมากกว่า

การวิเคราะห์สัญญาณ เป็นส่วนของการตรวจจับสัญญาณที่ได้มาจากภาครับสัญญาณ โดยนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่งของสัญญาณเพื่อให้ได้ความเข้มที่สุดแล้วส่งต่อไปยังภาคควบคุมสายอากาศ

ภาคควบคุมสายอากาศ เป็นส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของสายอากาศทั้งหมดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และสเต็ปปีงมอเตอร์

ประโยชน์ที่ได้จะใช้เมื่อการส่งจากสถานีฐานระยะใกล้เดิมนั้นเกิดขัดข้องหรือสัญญาณที่ได้ไม่สมบูรณ์จะใช้สายอากาศแบบวงแหวนติดแผ่นระนาบสะท้อนมาช่วยหมุนหาสถานีฐานระยะใกล้เคียงเป็นสถานีใหม่รับสัญญาณมาแทน เพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณขาดหาย ซึ่งในการสร้างต้องแบ่งชิ้นงานออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนภาครับสัญญาณ ภาควิเคราะห์สัญญาณ และภาคควบคุมการหมุนของสายอากาศ

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ในการสร้างสายอากาศจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่นำมาใช้เป็นอย่างแรก ทั้งขนาดท่อที่ใช้ต้องพิจารณาจากขนาดท่อที่มีจริงตามท้องตลาด การนำมาติดตั้งเป็นชุดจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่ใช้แผ่นรองว่ามีการสูญเสียไม่มากเกินไป และอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ร่วมด้วยต้องไม่ส่งผลต่อการแพร่กระจายคลื่นมาก

เครื่องรับสัญญาณเนื่องจากที่ความถี่สูงจึงหาเครื่องรับได้ยากและมีราคาสูง การสร้างเองก็ทำได้ยาก

ภาควิเคราะห์สัญญาณนั้นจะต้องเลือกใช้ชุดควบคุมที่มีขนาดเล็กเพื่อสะดวกในการติดตั้งเป็นสำคัญ

ภาคควบคุมจะใช้สเต็ปป์มอเตอร์ในการขับเฟืองโดยทำการหาขนาดเฟืองให้เหมาะสมกับงาน และมอเตอร์ต้องมีแรงขับที่เพียงพอในการขับเฟืองและชุดสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) Alarm For Service Area	Beeper sounds below specified field level
Settable Level	0 to 85 dB, in 1 dB steps
(4) Panel Preset Function	Stores/recalls panel settings
Number of Storeable Items	50
(5) Data Memory Function	Stores/recalls measurement screen
Number of Storeable Items	1000 max. (depends on measurement function)
(6) Auto Power-Off	Turned off about 5 minutes after last key operation, cancelable
(7) Analog Detected Output	Demodulated signal can be observed using oscilloscope
Output Level	0 to 2 Vp-p
Output Impedance	1 k Ω
(8) Remote Control Connector	RS-232C serial interface, 9-pin D-sub connector All control settings except power on/off with personal computer
Communication System	Full duplex
Synchronous System	Asynchronous
Baud Rate	9600 baud
(9) Printer Output	712 (optionally available) Hardcopy of LCD panel display and measurement data
(10) Battery Life for Continuous Operation	
Manganese Battery	16 hours approx
BP-95S (optionally available)	48 hours approx
(11) Environmental Conditions	
Spec-Guaranteed Temperature Range	0 to 40° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating Humidity Range	30 to 85% RH
Storage Temperature Range	-10 to 50 °C
(12) Dimensions and Weight	213 (W) × 120 (H) × 200 (D)mm
	3 kg (including battery) approx
(13) Accessories	Antenna 1
	D Cell 8
	Carrying Case 1
	Instruction Manual 1

2. Panel Description

2.1 Front Panel

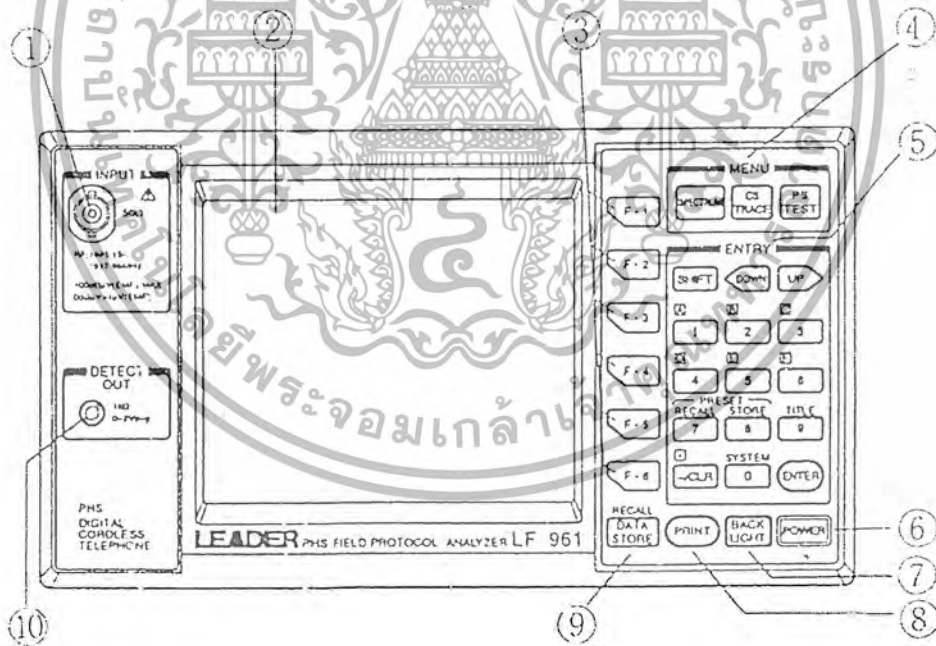


Figure 1 Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. INPUT connector
Connect the antenna
2. LCD panel
3. Function keys
Select the menus displayed
4. MENU keys
SPECTRUM: Selects the spectrum measurement mode
CS-TRACE: Selects the cell station measurement mode
PS TEST: Selects the connection test mode
5. ENTRY keys
SHIFT Activates blue function
UP, DOWN Selects the channel number and moves the cursor
0-9 Numeric keys to input data
-/CLR Pressing “-” key before entering numerical value clears the value being entered
ENTER Enters numerical value or functions selected
A-F Inputs hexadecimal data
PRESET (RECALL/STORE) Stores/recalls panel settings
TITLE Titles measurement screen
SYSTEM Displays the SYSTEM setting screen
6. POWER key
Press to turn power on; press again to turn power off
7. BACKLIGHT key
Turns backlight on/off
8. PRINT key
To print the screen and measurement data to the 712 Printer
9. DATA STORE key
Stores/recalls measurement results
10. DETECT OUT connector
Outputs received waveform to an oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Rear Panel

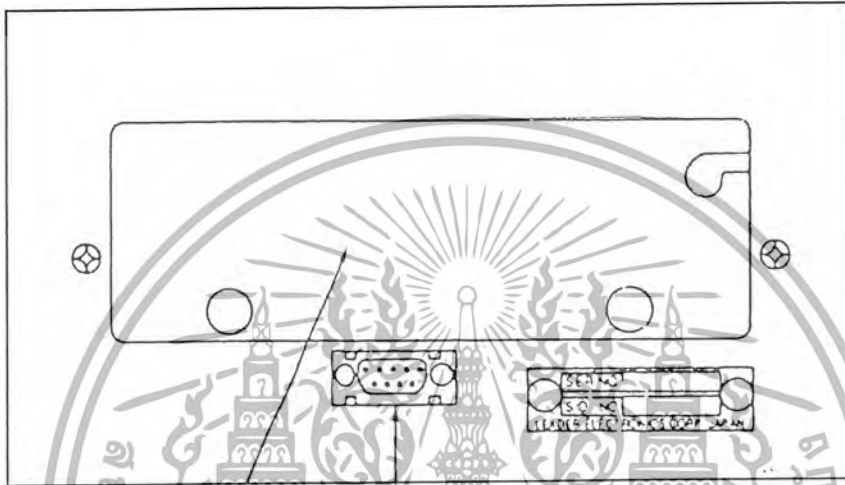


Figure 2 Rear Panel

11. Battery compartment, cover
Install 8 type D cells. The battery pack or AC adapter (optionally available) can also be used.
12. 9-pin D-sub connector (RS-232C)
Outputs data to the 712 Printer or personal computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจำลองการทำงานการหาตำแหน่งที่ให้ค่าสัญญาณมากที่สุดโดยรับค่าอินพุตจากสัญญาณดิจิทัลที่ได้ทำการแปลงแล้ว

```
-----  
;DEFINE  
-----  
POINT      EQU    051H  
STEP       EQU    050H  
COUNT_1   EQU    060H  
COUNT_2   EQU    061H  
COUNT_DEF EQU    062H  
TURN_RE1   EQU    063H  
TURN_RE2   EQU    064H  
TURN_DEF   EQU    065H  
COUNT_11  EQU    066H  
ROUND      EQU    067H  
SDA        BIT    P1.0  
SCL        BIT    P1.1  
FLAG       EQU    02FH  
I2C_ACK    BIT    FLAG.0  
I2C_ADDR   EQU    030H  
I2C_DATA   EQU    031H  
CONTROL    EQU    032H  
DA_DATA    EQU    033H  
AD_DATA    EQU    034H  
BUFFER     EQU    035H  
PCF_ID     EQU    10010000B  
AMP_MAX    EQU    010H  
-----  
;MAIN PROGRAM  
-----  
ORG 0000H  
MAIN:  MOV  PC, #00H  
       SETB SDA  
       SETB SCL  
       MOV  DA_DATA, #0  
       MOV  STEP, #01H  
       MOV  PC, STEP  
START: MOV  AMP_MAX, #00H  
       MOV  COUNT_1, #9  
       MOV  COUNT_2, #32  
       MOV  COUNT_DEF, #00H  
       MOV  TURN_RE1, #00H  
       MOV  TURN_RE2, #00H  
       MOV  TURN_DEF, #00H  
       MOV  COUNT_11, COUNT_1  
       MOV  TURN_RE1, COUNT_1  
       MOV  TURN_RE2, COUNT_2  
       MOV  A, COUNT_1  
       JZ  LOOP1  
LOOP:  ACALL M_CW  
       DJNZ COUNT_1, LOOP  
LOOP1: MOV  R1, #BUFFER  
       MOV  CONTROL, #01000000B  
       ACALL PCF_WR  
       ACALL PCF_RD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL PCF_RD
MOV A,AD_DATA
CLR C
SUBB A,#09H
JC LOOP1
MOV @R1,AD_DATA
MOV A,COUNT_2
CLR C
SUBB A,COUNT_11
MOV COUNT_DEF,A
MOV TURN_DEF,A
LOOP2: ACALL M_CW
DJNZ COUNT_DEF,LOOP2
INC R1
LOOP8: ACALL PCF_WR
ACALL PCF_RD
ACALL PCF_RD
MOV A,AD_DATA
CLR C
SUBB A,#09H
JC LOOP8
MOV @R1,AD_DATA
ACALL D_MAX
MOV A,POINT
JZ LOOP4
LOOP3: ACALL M_CCW
DJNZ TURN_DEF,LOOP3
LOOP4: INC R1
LOOP5: ACALL PCF_WR
ACALL PCF_RD
ACALL PCF_RD
MOV A,AD_DATA
CLR C
SUBB A,#09H
JC LOOP5
MOV @R1,AD_DATA
MOV A,AD_DATA
CLR C
SUBB A,#0BH
JNC LOOP5
MOV A,POINT
JZ LOOP7
LOOP6: ACALL M_CCW
DJNZ TURN_RE1,LOOP6
AJMP START
LOOP7: ACALL M_CCW
DJNZ TURN_RE2,LOOP7
AJMP START

;-----
;DATA MAX
;-----
D_MAX: MOV POINT,#00H
MOV A,@R1
MOV R0,#BUFFER
CLR C
SUBB A,@R0
JC DATA1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    A,@R1
MOV    AMP_MAX,A
MOV    @R0,A
RET
DATA1: MOV    AMP_MAX,@R0
MOV    POINT,#01H
RET
;-----
;MOTOR CW
;-----
M_CW:  MOV    ROUND,#90
M_CW1: MOV    A,STEP
        SWAP  A
        CLR  C
        RLC  A
        JNC  NEXT_LEFT
NEXT_LEFT: SWAP  A
        MOV  STEP,A
        MOV  P0,STEP
        ACALL DELAY
        DJNZ ROUND,M_CW1
        RET
;-----
;MOTOR CCW
;-----
M_CCW:  MOV    ROUND,#90
M_CCW1: MOV    A,STEP
        CLR  C
        RRC  A
        JNC  NEXT_RIGHT
NEXT_RIGHT: MOV  STEP,A
        MOV  P0,STEP
        ACALL DELAY
        DJNZ ROUND,M_CCW1
        RET
;-----
;DELAY 100 MS
;-----
DELAY:  MOV    R7,#10
D1:    MOV    R6,#0E6H
D2:    NOP
        NOP
        DJNZ R6,D2
        DJNZ R7,D1
        RET
;-----
;PCF8591 READ
;-----
PCF_RD: MOV    I2C_ADDR,#PCF_ID+1
        ACALL I2C_SLAVE
        ACALL I2C_RD
        MOV  AD_DATA,I2C_DATA
        ACALL I2C_NACK_BIT
        ACALL I2C_STOP
        RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----
;PCF8591 WRITE
;-----
PCF_WR:    MOV    I2C_ADDR,#PCF_ID
           ACALL I2C_SLAVE
           MOV    I2C_DATA,CONTROL
           ACALL I2C_WR
           MOV    I2C_DATA,DA_DATA
           ACALL I2C_WR
           ACALL I2C_STOP
           RET

```

```

;-----
;I2C_WR
;-----

```

```

I2C_WR:    PUSH  ACC
           SETB  I2C_ACK
           MOV   A,I2C_DATA
           MOV   R5,#008
I2C_WR_1:  RLC   A
           MOV   SDA,C
           ACALL I2C_CLK
           DJNZ  R5,I2C_WR_1
           SETB  SDA
           ACALL I2C_DELAY
           SETB  SCL
           ACALL I2C_DELAY
           JB   SDA,I2C_WR_2
I2C_WR_2:  CLR   I2C_ACK
           CLR   SCL
           POP   ACC
           RET

```

```

;-----
;I2C_RD
;-----

```

```

I2C_RD:    PUSH  ACC
           CLR   A
           MOV   R5,#008
I2C_RD_1:  ACALL I2C_DELAY
           SETB  SCL
           ACALL I2C_DELAY
           MOV   C,SDA
           RLC   A
           CLR   SCL
           DJNZ  R5,I2C_RD_1
           MOV   I2C_DATA,A
           POP   ACC
           RET

```

```

;-----
;I2C_SLAVE
;-----

```

```

I2C_SLAVE: PUSH  ACC
           SETB  I2C_ACK
           MOV   A,I2C_ADDR
           ACALL I2C_START
           MOV   R5,#008
I2C_SLAVE_1: RLC  A
           MOV   SDA,C

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL I2C_CLK
DJNZ R5,I2C_SLAVE_1
SETB SDA
ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
JB SDA,I2C_SLAVE_2
CLR I2C_ACK
I2C_SLAVE_2: CLR SCL
POP ACC
RET

```

```

;-----
;I2C_START
;-----

```

```

I2C_START: JNB SCL,I2C_START_1
CLR SCL
I2C_START_1: SETB SDA
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
CLR SDA
ACALL I2C_DELAY
CLR SCL
RET

```

```

;-----
;I2C_STOP
;-----

```

```

I2C_STOP: JNB SCL,I2C_STOP_1
CLR SCL
I2C_STOP_1: CLR SDA
ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
SETB SDA
RET

```

```

;-----
;I2C_CLK
;-----

```

```

I2C_CLK: ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
CLR SCL
RET

```

```

;-----
;I2C_ACK_BIT
;-----

```

```

I2C_ACK_BIT: CLR SDA
ACALL I2C_DELAY
ACALL I2C_CLK
SETB SDA
RET

```

```

;-----
;I2C_NACK_BIT
;-----

```

```

I2C_NACK_BIT: SETB SDA
ACALL I2C_DELAY
ACALL I2C_CLK
SETB SCL

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
RET
;-----
;I2C_DELAY
;-----
I2C_DELAY: MOV R6,#00CH
I2C_DELAY_1:NOP
NOP
DJNZ R6,I2C_DELAY_1
RET
;-----
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือจากหลายๆท่านดังนี้

ดร.ชวงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. สมผล	โกศลวิตร	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.สมยศ	จุนณะปิยะ	
ดร.พิเชษฐ	ม่วงนวล	
คุณไพโรจน์	วุ่นชุม	
คุณสุธาณี	ละมุดศรี	
คุณชวลลวิษ	หมั่นทรัพย์	
คุณระพีนทร์	ชัดปึก	
คุณเทพประสิทธิ์	ชัยบาง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้