สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ และแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

FIELD STRENGTH METER DISPLAY ON COMPUTER

TO54946

โดย

นายเมธี ประเสริฐวงษา

นายยอดเผ่า สุวรรณรินทร์

นางสาวรุ่งนภา ขออิงกลาง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 54946
วัน,เดือน,ปี 1 มิ.ย. 2548
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ และแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

FIELD STRENGTH METER DISPLAY ON COMPUTER

โดย

นายเมธี	ประเสริฐวงษา	43010342
นายยอดเผ่า	สุวรรณรินทร์	43010344
นางสาวรุ่งนภา	ขออิงกลาง	43010355

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. นิภา สีสารุจิ

รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ และแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

Field strength meter display on computer

ผู้จัดทำ

1. นายเมธี ประเสริฐวงษา 43010342
2. นายยอดเผ่า สุวรรณรินทร์ 43010344
3. นางสาวรุ่งนภา ขออิงกลาง 43010355

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รศ. นิภา ลีลารุจิ)

.....

(รศ.ณรงค์ เหมกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ และแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

Field strength meter display on computer

โดย 1. นายเมธี ประเสริฐวงษา 43010342

2. นายยอดเผ่า สุวรรณรินทร์ 43010344

3. นางสาวรุ่งนภา ขออิงกลาง 43010355

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. นิภา ลีลารุจิ

รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ เป็นการสร้างเครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุย่านความถี่วีเอชเอฟ (VHF) โดยที่จะเลือกใช้ความถี่ย่านกระจายเสียงย่านเอฟเอ็ม (FM) และมีหลักการคือจะใช้สายอากาศเป็นตัวรับสัญญาณ ผ่านเครื่องรับเพื่อนำเอจีซี (AGC) มาใช้ในการประมวลผล โดยทำการแปลงระดับเอจีซี เป็นสัญญาณไบนารี่ binary โดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (analog to digital) แล้วส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller (MCU)) โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวจัดการข้อมูลที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ที่จะทำการประมวลผล และแสดงระดับความแรงของสัญญาณออกทางจอมอนิเตอร์ของคอมพิวเตอร์

Abstract

The objective of this project is construct the VHF field strength meter with FM broadband by use the antenna received the signal and demodulate by FM receiver that return AGC to converted to binary signal by analog to digital and pass to the MCU (MCS51) that arrange data from hardware and link data to computer for process and display on computer monitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 เครื่องรับระบบเอฟเอ็ม	2
2.1.1 การเลือกความถี่ไอเอฟ (IF)	3
2.1.2 ระบบสังเคราะห์ความถี่	4
2.1.3 วิธีสังเคราะห์ความถี่	4
2.1.4 เฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop)	6
2.1.5 ระบบสังเคราะห์ความถี่ในเครื่องรับส่งวิทยุ	8
2.1.6 คุณสมบัติของวงจรสังเคราะห์ความถี่	9
2.1.7 วงจรต่างๆ ในเฟสล็อกลูป	9
2.1.8 วงจรขยาย ไอเอฟ	11
2.1.9 ลิมิตเตอร์	12
2.1.10 การจับสัญญาณที่แรงกว่า	12
2.1.11 พรีเอ็มฟาสิส และดีเอ็มฟาสิส	12
2.1.12 การควบคุมความถี่อัตโนมัติ	14
2.1.13 วงจรอาร์เอฟ-เอจีซี	15
2.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	16
2.2.1 แบบแฟลชคอนเวอเตอร์	16
2.2.2 แบบซักเซสซีฟแอพพรีกซิเมชั่นคอนเวอร์เตอร์	18
2.3 การสื่อสารแบบอนุกรม และอาร์เอส-232 (RS-232)	19
2.3.1 การสื่อสารแบบอนุกรม	19
2.3.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	20
2.3.3 UART	26
2.4 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)	27
2.4.1 โครงสร้าง และหลักการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	27
2.4.2 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	29
2.4.2.1 วาริเอเบิ้ลรีลัคแทนซ์สเต็ปปิ้งมอเตอร์	29
2.4.2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	31
2.4.2.3 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การทำงานพื้นฐาน 33
2.4.4 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 35
2.5 ขดลวดเหนี่ยวนำ 35
2.5.1 ขนาดขดลวดในระบบ AWG 38
2.6 แผงรับสัญญาณแบบยากิไดโพล 41
2.6.1 สายนำสัญญาณ 42
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง 45
3.1 การออกแบบสายอากาศแบบยากิ 46
3.2 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม 48
3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to digital) 50
3.4 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 51
3.5 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 52
3.6 โปรแกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ 53
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง 56
4.1 การทดลองสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 56
4.2 การทดลองวงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม 56
4.2.1 การทดลองวงจร ภาค front end 56
4.2.2 การทดลองหาช่วงของการรับสัญญาณ 58
4.2.3 การทดลองเครื่องรับเอฟเอ็ม 62
4.3 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 63
4.4 การทดลองสายอากาศ 65
4.4.1 การวัดแพทเทอร์น (pattern) สายอากาศในแนวตั้ง 65
4.4.2 การวัดแพทเทอร์นสายอากาศในแนวนอน 69
4.4.3 หาค่าอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ 74
4.4.4 การวัดค่า VSWR และค่าการสูญเสียย้อนกลับ 77
4.5 การตั้งค่าเริ่มต้นของเครื่อง 78
4.6 การตั้งค่าตามเครื่องมาตรฐาน 81
4.7 การทดลองทั้งระบบ 82
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ 86
หนังสืออ้างอิง 87
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับแนโรว์แบนเอฟเอ็ม (Narrow band FM)	3
รูปที่ 2.2 แสดงวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรง	5
รูปที่ 2.3 แสดงแผนผังของเฟสล็อกลูป	6
รูปที่ 2.4 แสดงแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่	8
รูปที่ 2.5 แสดงวงจร VCO แบบใช้ FET	10
รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างลูปฟิลเตอร์	11
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรขยายไอเอฟ	11
รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบแอมปลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลทกับนอยส์	13
รูปที่ 2.9 แสดงขบวนการพรีเอ็มฟาสิสที่เครื่องส่ง และดีเอ็มฟาสิสที่เครื่องรับ	13
รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการควบคุมความถี่เอเอฟซีของเครื่องรับเอฟเอ็ม	14
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรเอเอฟซีเอเอฟซีอย่างง่าย	15
รูปที่ 2.12 วงจรเอจีซีดีเทคเตอร์	16
รูปที่ 2.13 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบแฟลชคอนเวอร์เตอร์	17
รูปที่ 2.14 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอพพรีอกซิเมชั่นคอนเวอร์เตอร์	19
รูปที่ 2.15 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของชุดข้อมูลอนุกรม	20
รูปที่ 2.16 รูปแบบอย่างที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	20
รูปที่ 2.17 คอนเน็คเตอร์อนุกรม เมื่อมองจากด้านหลังของคอมพิวเตอร์	23
รูปที่ 2.18 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ	25
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	27
รูปที่ 2.20 เส้นแรงแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงบิด	28
รูปที่ 2.21 แสดงการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	28
รูปที่ 2.22 โครงสร้างวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์มอเตอร์	30
รูปที่ 2.23 ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้น	30
รูปที่ 2.24 โรเตอร์ และสเตเตอร์	31
รูปที่ 2.25 หน้าตัดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟสที่มีฟันโรเตอร์ 50 ซี่ มุมสเต็ป 1.8 องศา	31
รูปที่ 2.26 โครงสร้างมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	32
รูปที่ 2.27 โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริดจ์	32
รูปที่ 2.28 การวางแม่เหล็กตามยาวเพื่อสร้างสนามขั้วเดียวกัน	33
รูปที่ 2.29 การทำงานพื้นฐานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 แสดงถึงขดลวดเหนี่ยวนำในทางปฏิบัติ 36
รูปที่ 2.31 แสดงถึงวงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำ 36
รูปที่ 2.32 แสดงถึงคุณสมบัติของความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำในทางปฏิบัติ 37
รูปที่ 2.33 แสดงผลของความถี่ ต่อค่า Q 37
รูปที่ 2.34 แผงสายอากาศยากิ 41
รูปที่ 2.35 สายนำสัญญาณ 42
รูปที่ 2.36 แสดงกราฟการสูญเสียสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณ 43
รูปที่ 2.37 คุณสมบัติเฉพาะของสายโคแอคเชียลแบบต่างๆ 44
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ 45
รูปที่ 3.2 แผงรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตราขยายสูง 47
รูปที่ 3.3 วงจรภายในของไอซี TDA 7000 48
รูปที่ 3.4 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม 49
รูปที่ 3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล 50
รูปที่ 3.6 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 51
รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรเลอร์ 52
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของการรับส่งข้อมูลระหว่าง PC กับไมโครคอนโทรเลอร์ 53
รูปที่ 3.9 Flow Chart การทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ 54
รูปที่ 3.10 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมบน PC 55
รูปที่ 4.1 แสดง Spectrum Output ที่ออกจาก Mixer 57
รูปที่ 4.2 แสดง Spectrum ของความถี่ fl และ fr 58
รูปที่ 4.3 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิเซอร์ที่ความถี่ 88 MHz 59
รูปที่ 4.4 แสดง Spectrum ของความถี่ fl และ fr ที่ความถี่ 88 MHz 59
รูปที่ 4.5 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิเซอร์ที่ความถี่ 90 MHz 60
รูปที่ 4.6 แสดง Spectrum ของความถี่ fl และ fr ที่ความถี่ 90 MHz 60
รูปที่ 4.7 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิเซอร์ที่ความถี่ 92 MHz 61
รูปที่ 4.8 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิเซอร์ที่ความถี่ 107 MHz 61
รูปที่ 4.9 แสดง Spectrum ของความถี่ fl และ fr 107 MHz 62
รูปที่ 4.10 การจัดอุปกรณ์การทดลองที่ 4.1 65
รูปที่ 4.11 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศความถี่ 87.5 MHz 68
รูปที่ 4.12 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศความถี่ 98 MHz 68
รูปที่ 4.13 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศความถี่ 107.5 MHz 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 การจัดอุปกรณ์การทดลองที่ 4.2 70
รูปที่ 4.15 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศความถี่ 87.5 MHz 73
รูปที่ 4.16 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศความถี่ 98 MHz 73
รูปที่ 4.17 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศความถี่ 108.5 MHz 74
รูปที่ 4.18 (1) สายอากาศยากิที่สร้างกับสายอากาศไดโพลตัวที่ 1 74
รูปที่ 4.19 (2) สายอากาศยากิที่สร้างกับสายอากาศไดโพลตัวที่ 2 75
รูปที่ 4.20 (3)สายอากาศไดโพลตัวที่ 1 กับสายอากาศไดโพลตัวที่ 2 75
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) 77
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) 78
รูปที่ 4.23 การจัดอุปกรณ์ในการทดลองที่ 5 79
รูปที่ 4.24 ระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ความถี่ 87.5Hz (1) 83
รูปที่ 4.25 ระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ความถี่ 87.5Hz (2) 84
รูปที่ 4.26 ระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ความถี่ 87.5Hz (3) 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เอาท์พุทของออปแอมป์ที่ V_{in} ค่าต่างๆ 18
ตารางที่ 2.2 บิตพาริตี้ของข้อมูล 22
ตารางที่ 2.3 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์ตามมาตรฐาน RS-232 24
ตารางที่ 2.4 แสดงการกระตุ้นแม่เหล็กเฟสเดียว 34
ตารางที่ 2.5 แสดงการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก 2 เฟส 34
ตารางที่ 2.6 แสดงการกระตุ้นสนามแม่เหล็กครึ่งเฟส 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปกติพื้นฐานของการติดต่อสื่อสารทางไกลนั้น ต้องมีทั้งด้านส่ง และด้านรับ โดยด้านส่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ (โดยใช้คลื่นความถี่ใดๆ ที่เหมาะสม) ออกไปในทิศทางที่กำหนด หรือทุกทิศทาง เช่นระบบกระจายเสียงเอฟเอ็ม (FM Broadcast) ,ระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ ส่วนทางด้านรับนั้นก็จะทำหน้าที่รับสัญญาณที่มาจากด้านส่ง ทั้งนี้ไม่ว่าทางด้านส่งจะส่งสัญญาณมาในรูปแบบใด การที่เครื่องรับจะรับสัญญาณได้แรงที่สุดนั้นสายอากาศทางด้านรับจะต้องหันไปทางสถานีส่ง

ผลการติดตั้งสายอากาศเข้ากับอุปกรณ์ โดยที่ไม่สนใจทิศทางของสถานีส่งอาจทำให้เครื่องรับไม่ได้รับสัญญาณที่แรงที่สุด จะทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลงไป เช่น สายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ ถ้าปรับสายอากาศไม่ตรงกับสถานีส่งก็จะทำให้ได้รับสัญญาณภาพ , เสียงไม่ชัดเจน หรือถ้าเป็นเครื่องรับวิทยุเอฟเอ็ม เสียงที่รับได้อาจเบา และมีเสียงรบกวน (เนื่องจากสัญญาณอื่นแรงกว่า) ได้

จากสาเหตุเบื้องต้นเพื่อให้สายอากาศติดตั้งในทิศทางที่เหมาะสมจึงมีการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้หาทิศทางที่คลื่นมีขนาดสัญญาณที่แรงที่สุด โดยใช้หลักการคือ ใช้สายอากาศหันทิศทางใดทิศทางหนึ่งแล้วค่อยๆหมุนสายอากาศให้เปลี่ยนทิศทางไปพร้อมๆกับการวัดความเข้มของคลื่นไปด้วย เมื่อสายอากาศหมุนครบรอบก็จะได้ความเข้มของคลื่นทุกๆทิศทาง จากนั้นนำความเข้มของคลื่นทิศทางต่างๆ มาเปรียบเทียบกันก็จะหาทิศทางที่สัญญาณแรงที่สุด (หรือทิศทางของสถานีส่ง) ได้

ในโครงงานนี้จึงเป็นการนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการทดลองสร้างอุปกรณ์วัดหาความเข้มของคลื่นวิทยุเรียก " เครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ และแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ (Field strength meter display on computer) " โดยจะใช้ในช่วงคลื่นกระจายเสียงเอฟเอ็ม มีความถี่ตั้งแต่ 87.5 ถึง 107.5 MHz ใช้สายอากาศแบบมีทิศทางในการรับคลื่น ใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวหมุนสายอากาศซึ่งจะให้ได้ความแน่นอนสูงการควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์จะควบคุมจากคอมพิวเตอร์แทนการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลที่ได้จากการวัดทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ จะทำให้สะดวกต่อการใช้งานคือสั่งงาน และดูผลได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์เลย

ประโยชน์อื่นๆของอุปกรณ์นี้คือสามารถนำไปประยุกต์ใช้หาตำแหน่งของสถานีส่งได้ โดยใช้เครื่องรับ 2-3 ตัว วางให้ห่างกันแล้วทำการวัดหาสัญญาณที่แรงที่สุดจากแต่ละเครื่อง ทิศทางของสัญญาณที่แรงที่สุด และระยะห่างของเครื่องรับแต่ละเครื่องที่สามารถนำมาคำนวณหาตำแหน่งของสถานีส่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 เครื่องรับระบบเอฟเอ็ม

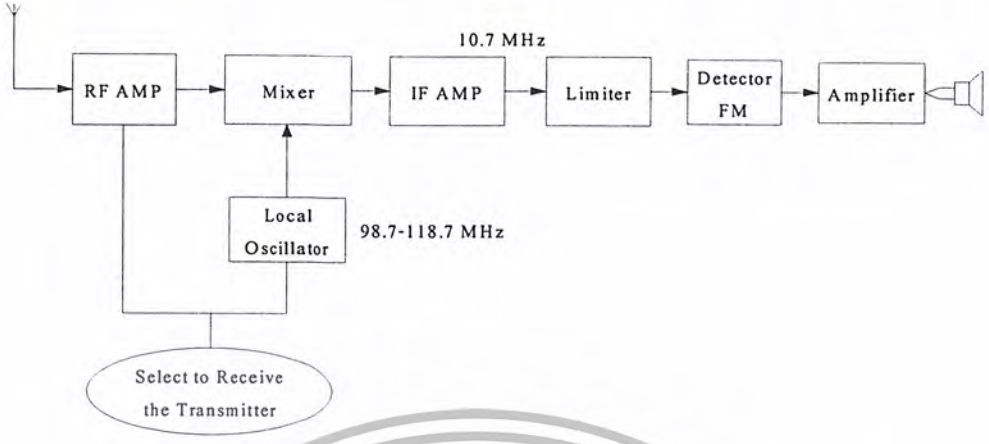
จากบล็อคไดอะแกรมของเครื่องรับระบบเอฟเอ็ม ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับเครื่องรับระบบเอเอ็ม (AM) มากจะแตกต่างกันก็ตรงที่ขบวนการดีเทคสัญญาณเท่านั้น สำหรับความถี่ ไอเอฟ มักจะใช้ค่า 10.7 MHz เพื่อกำจัดสัญญาณเงา และเพื่อให้ได้แบนด์วิดท์ของวงจรกว้างพอที่จะรับสัญญาณเอฟเอ็มได้ความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณเอฟเอ็ม ของสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่งจะมีค่า $\pm$75 KHz ดังนั้นแบนด์วิดท์ของเครื่องรับต้องมีค่า 150 KHz เป็นอย่างน้อยซึ่งปกติมักจะเผื่อให้กว้างอีกเล็กน้อยเป็น 180 ถึง 200 KHz

สมมติว่าเราจูนเครื่องรับไว้ที่ 100 MHz ลูกบิดหน้าปัดจะเลื่อนไปตรงกับความถี่ 100 MHz (บนหน้าปัด) วงจรขยายอาร์เอฟ (RF) จะจูนไว้ที่ 110.7 MHz เมื่อผ่านกรรมวิธีของเฮตเทอโรดายน์วงจรมิกเซอร์ ผลต่างของความถี่จะปรากฏที่อินพุทของวงจรขยาย ไอเอฟ เท่ากับ 110.7 MHz ลบด้วย 100 MHz ซึ่งจะเท่ากับ 10.7 MHz ดังนั้นสัญญาณความถี่ ไอเอฟ นี้ จะถูกขยาย และจำกัดแบนด์วิดท์ให้กว้างเพียงพอที่จะรับสัญญาณเอฟเอ็ม และแคบเพียงพอที่จะกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการอื่นๆทิ้งไป

สำหรับการทำงานของเครื่องรับระบบแบนด์แคบเอฟเอ็ม (Narrow band FM) จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ เมื่อรับสัญญาณผ่านเข้ามาทางสายอากาศแล้วจะทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้นแล้วจึงนำมารวมกับสัญญาณจากโลคอลออสซิลเลเตอร์ที่มิกเซอร์ภาคแรกเป็นการป้องกันความถี่เงา (Image Frequency) ซึ่งจะได้ความถี่กลาง 10.7 MHz จากนั้นจะผ่านการขยายแล้วส่งผ่านไปยังมิกเซอร์ภาคที่ 2 ซึ่งจะเป็นการรวมกับสัญญาณความถี่จากโลคอลออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ 10.245 MHz จะทำให้ได้สัญญาณความถี่กลางในระบบ AM โดยจะมีความถี่ ไอเอฟ เท่ากับ 445 KHz และที่มิกเซอร์ภาคที่2 นี้จะทำงานในลักษณะเป็นการควบคุมแถบความถี่งาน (Bandwidth) ให้แคบลงเพื่อลดการรบกวนกันของแต่ละช่องสัญญาณ จากนั้นจะทำการขยายแล้วจึงนำไปดีมอดูเลทเพื่อให้ได้สัญญาณที่ทำการส่งมาต่อไป

ถ้าพาหะของสัญญาณเอฟเอ็ม ที่ส่งมาจากเครื่องส่งมีความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ $\pm$50KHz (โดยความถี่เอฟเอ็ม เท่ากับ 100 MHz คงเดิม โลคอลออสซิลเลเตอร์คงเดิม) สัญญาณ ไอเอฟ จะมีความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ $\pm$50 KHz ด้วย ดังนั้นที่มอดูเลท (Modulate) มาบนพาหะจะยังอยู่ในสัญญาณ ไอเอฟ โดยไม่มีความเพี้ยนแม้ว่าความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็มจะลดทอนจาก 100 MHz ลงมาเหลือแค่เพียง 10.7 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับแนโรว์แบนด์เอฟเอ็ม (Narrow band FM)

2.1.1 การเลือกความถี่ ไอเอฟ

ข้อควรพิจารณาในการเลือกความถี่ ไอเอฟ มีอยู่หลายประการซึ่งส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับแบนด์วิดท์ ในทางทฤษฎีแบนด์วิดท์จะขึ้นอยู่กับความถี่ใช้งาน และค่า Q ของวงจร ตามสูตร BW = f_o/Q ฉะนั้นถ้าเราต้องการค่าซีเลกติวิตี้ที่ดี แบนด์วิดท์จะต้องแคบ เพราะฉะนั้นวงจรจะต้องมีค่า Q สูงแต่ความถี่ต้องมีค่าต่ำ ดังนั้นเราจึงนิยมเลือกความถี่ ไอเอฟ ให้มีค่าต่ำกว่าความถี่ใช้งาน ซึ่งจะเป็นผลดีในการออกแบบวงจรอีกด้วย เพราะวงจรความถี่ต่ำออกแบบให้มีเสถียรภาพดี และอัตราขยายสูงได้ง่ายกว่า (เช่น เมื่อความถี่สูงขึ้นปัญหาเกี่ยวกับการแพร่คลื่น การสูญเสียไดอิเล็คตริก ความต้านทานผิว (Skin) ความจุเสตรย์จะเกิดขึ้นทั้งหมด มักมีผลให้วงจรขาดเสถียรภาพ)

เหตุผลอีกประการในการเลือกความถี่ ไอเอฟ ก็คือต้องให้แบนด์วิดท์มีค่าพอเหมาะ เช่น สมมติว่าเครื่องรับระบบ AM ใช้ความถี่ ไอเอฟ เป็น 60 KHz และ Q ของวงจรมีค่าเท่ากับ 60 แบนด์วิดท์จะได้ 1 KHz ซึ่งแคบเกินกว่าจะใช้ประโยชน์ได้ เพราะแบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM มีค่าอย่างน้อย 10 KHz ดังนั้นเราจะต้องคำนึงถึงแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่จะรับด้วย

ข้อพิจารณาอีกข้อหนึ่งก็คือ การกำจัดสัญญาณความถี่เงา (Image Frequency) ความถี่เงาเป็นสัญญาณ RF ที่เราไม่ต้องการ เพราะเมื่อสัญญาณความถี่เงาเข้ามาผสมกับสัญญาณออสซิลเลเตอร์จะได้ความถี่เท่ากับสัญญาณ ไอเอฟ พอดี สมมติเราเลือกความถี่ ไอเอฟ เป็น 200 และความถี่ใช้งานเท่ากับ 4.2 MHz ถ้าใช้ความถี่ของโลคอลออสซิลเลเตอร์สูงกว่าความถี่ใช้งาน จะได้ความถี่ออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 4.2 MHz + 0.2 MHz = 4.4 MHz ดังนั้นเมื่อสัญญาณออสซิลเลเตอร์ และสัญญาณ RF ผสม กับความถี่ผลต่างที่เกิดขึ้นจึงเท่ากับ 200 KHz พอดี อย่างไรก็ตามสัญญาณอีกหนึ่งตัวซึ่งเมื่อผสมกับความถี่ 4.4 MHz (ของโลคอลออสซิลเลเตอร์) แล้วจะได้ความถี่เท่ากับ 200 KHz พอดี สัญญาณนั้นจะถูกเรียกว่า สัญญาณความถี่เงา (Image Frequency) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.6 MHz สัญญาณความถี่เงานี้จะผ่านมิกเซอร์ไปยังวงจรขยาย ไอเอฟ เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลองพิจารณาอีกอย่างหนึ่ง สมมติว่าให้ เท่ากับ 455 KHz สัญญาณที่ต้องการเป็น 1,110 KHz ใช้ความถี่โลคอลออสซิลเลเตอร์สูงกว่า เราสามารถคำนวณหาค่าความถี่เงาได้ดังนี้

- คำนวณหาค่าความถี่โลคอลออสซิลเลเตอร์ = 1,110 KHz + 455 KHz = 1,556 KHz
- คำนวณหาค่าความถี่เงา = 1,565 KHz + 455 KHz = 2,020 KHz

จะเห็นว่าความถี่เงาอยู่ห่างจากความถี่ใช้งานเท่ากับ 2 เท่าของความถี่ไอเอฟการกำจัดสัญญาณความถี่เงาสามารถทำได้โดยการบีบให้ซีเลกติซีตี้หรือแบนด์วิดท์ของวงจรขยายอาร์เอฟ และมิกเซอร์แคบลง สังเกตว่าถ้าความถี่ไอเอฟยิ่งสูงความถี่เงายิ่งห่างจากความถี่ใช้งานออกไปมากขึ้น นั่นคือ ถ้าเราต้องการกำจัดสัญญาณความถี่เงาให้ได้ผลดี ควรจะเลือกค่า ของความถี่ ไอเอฟสูงๆ ซึ่งผลสรุปนี้จะค้านกับผลสรุปข้อแรก ดังนั้นการเลือกความถี่ ไอเอฟจึงไม่ควรที่จะเลือกที่ความถี่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปควรใช้ค่าที่อยู่กลางๆ

สำหรับเครื่องรับระบบเอฟเอ็ม (ย่าน 87.5 MHz ถึง 108 MHz) ส่วนใหญ่นิยมใช้ความถี่ ไอเอฟเท่ากับ 10.7 MHz เราจะใช้ความถี่ค่านี้เนื่องจากให้แบนด์วิดท์กว้างพอ (ประมาณ 200 KHz) สำหรับสัญญาณเอฟเอ็ม นอกจากนี้ความถี่เงายังอยู่ห่างเลยจากความถี่ใช้งานไปถึง 21.4 MHz (2 เท่า ของ 10.7 MHz)

2.1.2 ระบบสังเคราะห์ความถี่

เครื่องรับส่งวิทยุในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีสังเคราะห์ความถี่แทบทั้งสิ้น วงจรที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ความถี่ จะเรียกว่า ซินธิไซเซอร์ ซึ่งแปลว่า สังเคราะห์ (ความถี่) วิธีสังเคราะห์ความถี่นี้ทำให้เครื่องรับส่งวิทยุเปลี่ยนโฉมหน้าไปอย่างมาก โดยเฉพาะรูปร่างตัวเครื่องจะมีปุ่มควบคุมต่างๆมากขึ้น เนื่องจากมีขีดความสามารถเพิ่มขึ้น สามารถโปรแกรมเลือกความถี่ใช้งานได้มาก จึงทำให้เกิดความคล่องตัวในการวางข่ายการสื่อสาร ความจริงแล้วหลักการสังเคราะห์ความถี่ได้คิดค้นกันมาตั้งแต่ปี พ. ศ. 2475 และได้พัฒนามาโดยลำดับ แต่เริ่มแพร่หลายกันจริงๆก็เมื่อประมาณ พ.ศ.2513 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตไอซีช่วยให้การออกแบบใช้งานมีความสะดวกสบายมากกว่าแต่ก่อน

วงการแรกที่นำระบบสังเคราะห์ความถี่มาใช้คือ วงการทหาร และกิจการเดินอากาศ แล้วจึงค่อยๆ นำมาใช้ในวาการเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารทั่วไปตามลำดับ

วิธีสังเคราะห์ความถี่แต่ละแบบมีความซับซ้อนแตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ (Frequency) ช่วงห่างระหว่างขั้น (Step size หรือ Resolution)

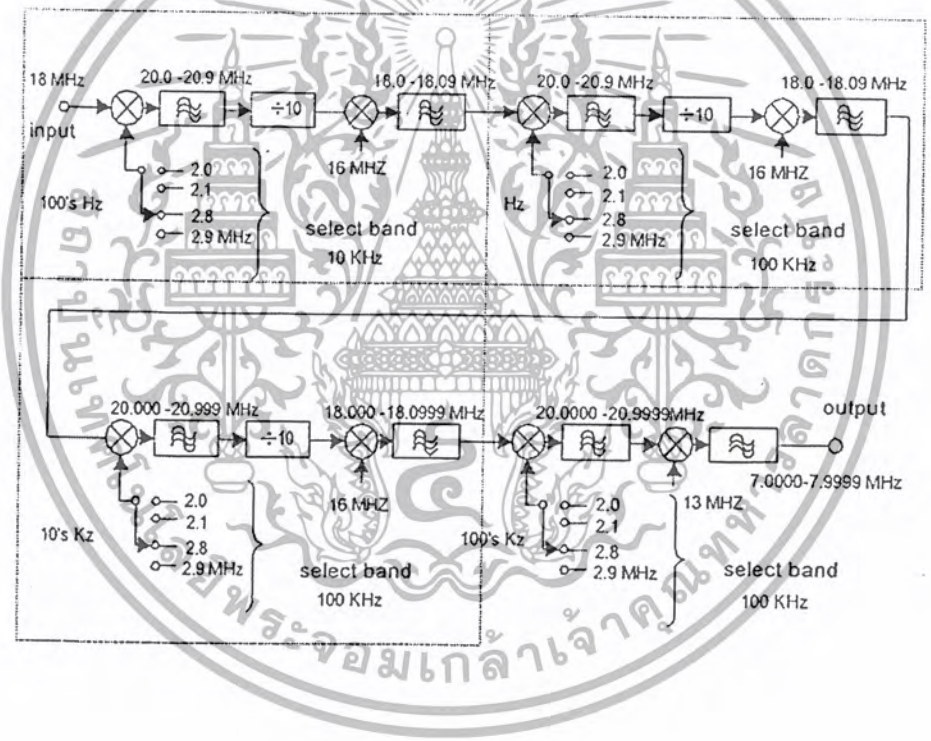
2.1.3 วิธีสังเคราะห์ความถี่

ความจริงวงจรสังเคราะห์ความถี่ก็คือ วงจรที่ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่ขนาดพอเหมาะ และให้มีความถี่ตามที่เราต้องการ การโปรแกรมสามารถทำโดยการตั้งสวิตช์หรือกดปุ่ม แต่ในปัจจุบันนิยมสั่งงานด้วยคอมพิวเตอร์ ช่วยความถี่ที่ใช้งานของวิธีสังเคราะห์ความถี่จะจำกัดอยู่ในช่วยความถี่ที่แน่นอน แล้วแต่การใช้งาน และความละเอียดของความถี่ที่เปลี่ยนได้ทีละขั้น เรียกว่า เรโซลูชั่น (Resolution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีสังเคราะห์ความถี่สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี วิธีแรกคือวิธีสังเคราะห์โดยตรง ซึ่งต้องใช้ความถี่หลายค่ามาผสมกันเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ โดยปรกติจะใช้แร่บังคับความถี่หลายชุด อีกวิธี คือ วิธีสังเคราะห์โดยทางอ้อม วิธีนี้อาศัยเฟสล็อกลูป

จากรูปที่ 2.2 แสดงวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรง ในที่นี้เราต้องการให้เอาท์พุทมีความถี่อยู่ระหว่าง 7 ถึง 8 MHz และมีค่าของเรโซลูชั่น 100 MHz นั่นคือเราต้องสามารถตั้งความถี่ได้ดังนี้คือ 7.000,7.001,7.002, 7.003, ... ขึ้นไปจนถึง 7.999 MHz สังเกตว่าเราใช้ความถี่ 10 ความถี่คือ 2.0,2.1,...ถึง 2.9 MHz เป็นตัวกำหนดความถี่ ความถี่หลักดังกล่าวนี้ผลิตมาจากการผสมสัญญาณ 100 MHz และพาหะ 2 MHz จะเห็นว่าสวิตช์เลือกความถี่นี้ ก็คือสวิตช์ตั้งโปรแกรมเลือกความถี่ที่ต้องการ จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่ามี 4 ตัว ตัวหนึ่งเลือกความถี่ขั้นละ 100 Hz ตัวถัดไปเลือกขั้นละ 1 Hz ต่อไป 10 KHz และ 100 KHz ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 แสดงวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรง

นอกจากความถี่หลัก 10 ความถี่ดังกล่าวแล้วเราจะต้องอาศัยการผสมความถี่อื่นอีกตัว จากรูปที่ 2.2 เราใช้ความถี่ 18 MHz ผสมกับความถี่ใดความถี่หนึ่งในความถี่หลักทั้ง 10 ความถี่ ผลรวมของการผสมจะผ่านฟิลเตอร์กรองเอาเฉพาะความถี่ย่าน 20 ถึง 20.9 MHz แล้วผ่านการหารด้วย 10 ที่วงจรเคาน์เตอร์เพื่อผสมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 16 MHz แล้วกรองเอาเฉพาะที่เป็นความถี่ในย่าน 18 MHzตามเดิม สังเกตว่าเอาท์พุทจากชุดนี้เราสามารถสังเคราะห์ความถี่ได้ระหว่าง 18.00,18.01,...ถึง 18.09 MHz

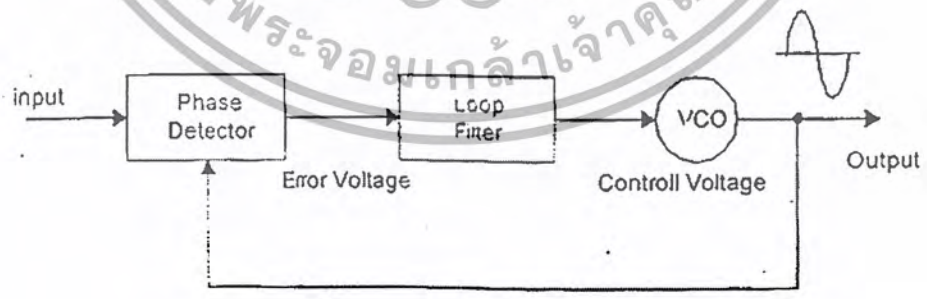
เอาท์พุทจากชุดแรกนี้เมื่อผ่านเข้าชุดต่อไปก็จะเอาสัญญาณความถี่ระหว่าง 18.00 ถึง 18.09 MHz ไปผสมกับความถี่หลัก 2.0 ถึง 2.9 MHz อีก ซึ่งเราทำการเลือกหรือโปรแกรมได้โดนการปิดสวิตช์ จากนั้นก็ผ่านการกรองแล้วหาร 10 และผสมกับสัญญาณ 16 MHz เอาท์พุทของชุดที่ 2 (จุด A ก็จะตั้งความถี่ได้ระหว่าง 18.000,18.001,....18.099 MHz) เมื่อเราทำการผสมคลื่นเช่นนี้อีกครั้ง เราก็จะสังเคราะห์ความถี่ได้ระหว่าง 18.000,18.001,...ถึง 18.099 MHz ในชุดสุดท้ายเราจะทำแตกต่างจากเดิมโดยเมื่อผสมกับสัญญาณ 2.0 ถึง 2.9 MHz แล้วก็นำไปผ่านการกรองแต่เฉพาะสัญญาณระหว่าง 20 ถึง 20.999 MHz และผสมกับสัญญาณ 13 MHz ก็จะได้เอาท์พุทเป็น 7.000 ถึง 7.999 MHz ตามที่ต้องการ

สังเกตว่าชุดผสม และหารความถี่ส่วนใหญ่ (ที่เขียน DECADE) จะซ้ำๆกัน อย่างไรก็ดีวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรงไม่ค่อยจะเป็นที่นิยมนัก เพราะสิ้นเปลืองคริสตอล และยังต้องใช้การผสมคลื่นหลายๆครั้ง

วิธีสังเคราะห์ความถี่โดยอ้อม หรือวิธีเฟสล็อกลูปนั้น เราจะอาศัยการกำเนิดสัญญาณจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งควบคุมความถี่ได้โดยปรับแรงดันที่เรียกว่า VCO สัญญาณจาก VCO จะถูกป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิงแล้วนำผลลัพธ์ความถี่คลาดเคลื่อนมาแปลงเป็นแรงดันไปควบคุมการออสซิลเลทของ VCO อีกครั้งหนึ่ง

2.1.4 เฟสล็อกลูป

เฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop) เป็นระบบป้อนกลับที่บังคับให้วงจรออสซิลเลเตอร์มีความถี่หรือเฟสที่เปลี่ยนไปตามความถี่หรือเฟสของสัญญาณอ้างอิงภายนอก เฟสล็อกลูปประกอบด้วยภาคสำคัญ 3 ภาค คือ ภาคเทียบเฟสหรือเฟสดีเทคเตอร์ (Phase detecter) ภาคลูป-ฟิลเตอร์ (Loop filter) และภาค VCO ดังแสดงในรูป ในที่นี้สมมุติว่าเราต่อเอาท์พุทจากวงจร VCO



รูปที่ 2.3 แสดงแผนผังของเฟสล็อกลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เฟสล็อกลูปในการสังเคราะห์ความถี่

ไม่ว่าระบบสังเคราะห์ความถี่จะมีความซับซ้อนเพียงใดเมื่อทำการพิจารณาลึกลงไปแล้วเราจะพบว่ามีเฟสล็อกลูกเป็นหัวใจในการสังเคราะห์อยู่เสมอ จากรูปที่ 2.4 เป็นตัวอย่างของระบบสังเคราะห์ความถี่อย่างง่าย ประกอบด้วย 5 ภาค คือภาค VCO เป็นออสซิลเลเตอร์กำเนิดสัญญาณที่เอาท์พุทของระบบสังเคราะห์ความถี่ ภาคหาร N ทำหน้าที่หารความถี่แบบตั้งโปรแกรมให้หารด้วยค่าตัวเลขตามที่ต้องการได้ (Programmable divider) ภาคกำเนิดความถี่อ้างอิง คริสตอลออสซิลเลเตอร์ หรือ สัญญาณอื่นๆ (Reference generator) ภาคเทียบเฟส และภาคลูปฟิลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำไปใช้

จากแผนผังในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่า สัญญาณอินพุทของภาคเทียบเฟสมาจาก 2 แหล่งคือ จาก VCO มีความถี่เท่ากับ F_O/N และจากสัญญาณอ้างอิงมีความถี่เท่ากับ F_R ซึ่งจะกรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำเท่านั้น เพื่อบังคับการออสซิลเลตของวงจร VCO ให้ทำการปรับแก้ความถี่ให้ตรง จนกว่าความถี่ของสัญญาณทั้งสองจะเท่ากัน

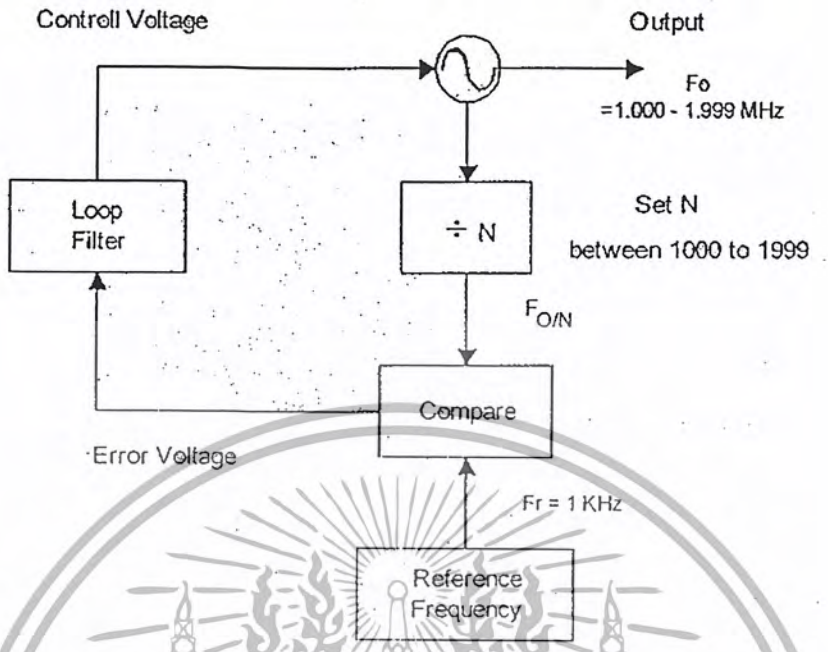
ในสภาวะล็อก (Lock) ความถี่ของ VCO เมื่อผ่านวงจรหาร N จะเท่ากับความถี่อ้างอิง นั่นคือ

$F_O = N F_R$

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เอาท์พุทจะมีความถี่เป็น N เท่าของความถี่อ้างอิง สมมุติว่าค่าของความถี่ F_R และค่าของ N เป็นดังนี้ F_R = 1 KHz , N = 1000 จะได้ F_O = 1 MHz ถ้าเพิ่ม N ขึ้นทีละ 1 เป็น 1001, 1002,1003,... ค่า F_O จะเพิ่มขึ้นทีละ 1 KHz ไปเรื่อยๆเป็น 1.001,1.002,1.003,...MHz ตามลำดับ

ขอให้สังเกตว่าเฟสล็อกลูปดังกล่าว สามารถผลิตความถี่ได้เฉพาะในช่วงความถี่ที่วงจร VCO และวงจรหาร N สามารถทำงานได้เท่านั้น และค่าตัวเลขในการหาร ย่อมเป็นตัวเลขจำนวนเต็มเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 แสดงแผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่

2.1.5 ระบบสังเคราะห์ความถี่ในเครื่องรับส่งวิทยุ

ข้อดีที่เห็นได้ชัดของระบบสังเคราะห์ความถี่ก็คือ ทำให้จำนวนช่องใช้งานเพิ่มมากขึ้นอย่างมหาศาล ซึ่งเครื่องรับส่งในสมัยก่อนมีจำนวนช่องใช้งานเพียงไม่กี่ช่อง แต่เครื่องรับส่งรุ่นใหม่มีจำนวนช่องใช้งานได้นับร้อยช่อง ทำให้สามารถเลือกใช้ความถี่ได้หลายความถี่ และเปลี่ยนความถี่ใช้งานได้สะดวก

สำหรับเครื่องรับส่งวิทยุที่ใช้แร่บังคับความถี่นั้น หากทำการเพิ่มจำนวนช่องใช้งานจะต้องใช้แร่เพิ่มเติมอีกหลายก้อน และนอกจากนี้เมื่อเปลี่ยนความถี่ก็จะต้องเปลี่ยนแร่ใหม่ทำให้ไม่คล่องตัวในการใช้งาน

นอกจากนี้ ระบบสังเคราะห์ความถี่ เป็นระบบที่ผสมเอาวงจรดิจิตอลมาใช้งานด้วยจึงทำให้การใช้งานเครื่องรับส่งวิทยุยิ่งสะดวกขึ้นไปอีก เพราะเมื่อเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาต่อร่วมกับวงจรสังเคราะห์ความถี่เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรสังเคราะห์ความถี่แล้ว ยิ่งทำให้เครื่องรับส่งวิทยุมีความสามารถต่างๆเพิ่มขึ้นอีกมากมาย เช่นมีหน่วยความจำ (memory) สามารถ สแกน (scan) ความถี่ได้ ฯลฯ เครื่องรับส่งวิทยุประเภทนี้อาจจะมีแผงกดปุ่ม (keypad) เพื่อโปรแกรมสั่งงานได้จากภายนอกเครื่อง และมีหน่วย ดีสเพลย์ (display) แสดงความถี่ซึ่งอาจจะใช้ LCD หรือ LED การเปลี่ยนความถี่ของเครื่องบางรุ่นนิยมใช้แกนหมุนเป็นแผ่นบังแสง (optical encoder) ร่วมกับสวิตซ์ เพื่อให้เกิดความรู้สึกของการปรับจูนความถี่ แต่บางรุ่นก็นิยมใช้สวิตซ์ ธัมวีล (thumbwheel) ธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งความถี่ภายในเครื่องได้แก่ การตั้งโปรแกรมโดยใช้ ไดโอดหรือ จั๊มเปอร์ หรือ ใช้หน่วยความจำเช่น Rom, eprom, ram หรืออุปกรณ์อื่นๆแทน

2.1.6 คุณสมบัติของวงจรสังเคราะห์ความถี่

นอกจากวงจรสังเคราะห์ความถี่จะต้องมีคุณสมบัติที่เกี่ยวกับช่วงความถี่ที่ต้องผลิต และเรโซลูชั่นระหว่างขั้นแล้ว คุณสมบัติอื่นๆของวงจรสังเคราะห์ความถี่ได้หลายค่า (ในช่วงความถี่ที่ใช้งาน) และมีความละเอียดของความถี่ขึ้นอยู่กับ เรโซลูชั่น ในกรณีที่เราเปลี่ยนความถี่จากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่งวงจรสังเคราะห์ความถี่จะเปลี่ยนได้เร็วตามทันที หรือจะกล่าวได้อีกนัยหนึ่งก็คือ ล็อกค่าของความถี่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว นั่นคือ ช่วงเวลาล็อก (Lock-up time) สั้น

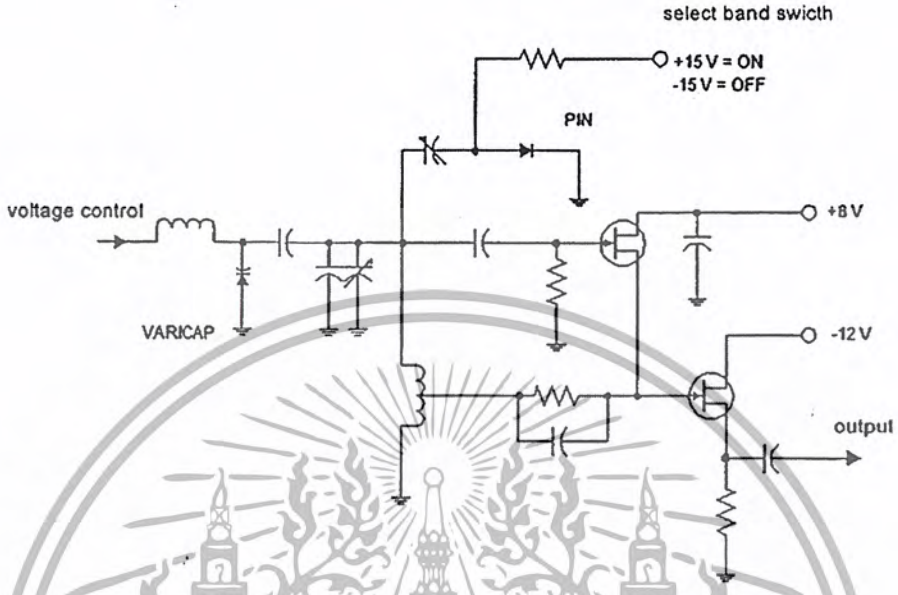
คุณสมบัติการล็อกความถี่ใหม่ได้รวดเร็วนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเครื่องรับส่งวิทยุ โดยเฉพาะในระหว่างเปลี่ยนจากสภาวะส่ง (รับ) มาเป็นสภาวะรับ (ส่ง) หรือในกรณีสแกนความถี่วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ดี จะต้องผลิตสัญญาณความถี่เดียว โดยปราศจากความถี่แปลกปลอมต่างๆคุณสมบัตินี้เรียกว่า ความบริสุทธิ์ของสเปกตรัม นั่นคือความถี่ฮาร์โมนิคส์ และสปิงเรียสต่างๆจะต้องถูกกำจัดให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้นอยส์จากวงจรออสซิลเลเตอร์จะทำให้วงจรสังเคราะห์ความถี่มีความถี่ไม่บริสุทธิ์ ไม่ใช่เพียงความถี่เดียว ในช่วยใกล้เคียงกับความถี่ที่ต้องการ นอยส์ดังกล่าวนี้จะเรียกว่า เฟสนอยส์ (Phase noise) ความเที่ยงตรง และเสถียรภาพทางความถี่ของวงจรสังเคราะห์ความถี่จะขึ้นอยู่กับสัญญาณอ้างอิง โดยทั่วไปสัญญาณอ้างอิงมักจะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดที่ใช้แร่บังคับความถี่ ฉะนั้นวงจรสังเคราะห์ความถี่จะมีเสถียรภาพ และความถี่ตรงเทียบเท่ากับคริสตรัลออสซิลเลเตอร์

วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้กับเครื่องรับส่งวิทยุในย่านความถี่ HF (3 ถึง 30 MHz) ค่อนข้างที่จะมีความซับซ้อน เพราะการใช้งานในย่านความถี่นี้ เราต้องการเรโซลูชั่นที่ละเอียดถึง 100 Hz เป็นอย่างน้อย บางเครื่องสามารถทำได้ถึง 10 Hz นอกจากนี้ช่วงความถี่ 3 ถึง 30 MHz ค่อนข้างที่จะกว้างมากๆ วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กว้างๆ และมีเรโซลูชั่นที่ละเอียดเช่นนี้ จะต้องถูกออกแบบเป็นกรณีพิเศษเพื่อให้มีคุณสมบัตินอยส์ที่ดี และช่วยเวลาล็อกที่สั้นรวดเร็ว โดยทั่งไปอัตราส่วนของความถี่สูงสุด และต่ำสุดระหว่างช่วยความถี่ที่ใช้งานจะมีค่าความถี่ไม่เกิน 2 เท่าในกรณีที่มีอัตราส่วนเกิน 2 เท่า เราต้องใช้วงจร VCO หลายชุดแล้วมีสวิตซ์เลือกเพื่อป้องกันการล็อกความถี่ฮาร์โมนิค และเพื่อให้ได้คุณสมบัตินอยส์ที่ดีสำหรับช่วยเวลาล็อกที่รวดเร็วนั้น เราทำได้โดยการใช้ลูปซ้อนกันหลายๆลูป

2.1.7 วงจรต่างๆในเฟสล็อกลูป

วงจรสำคัญที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณที่เอาท์พุทก็คือ วงจร VCO โดยทั่วไปจะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วาแลกเตอร์กรือวาริแคปเป็นส่นหนึ่งในวงจรจูน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 คุณสมบัติที่สำคัญของวงจร VCO ที่จะต้องคำนึงถึงก็คือเฟสนอยส์ ซึ่งเกิดจากนอยส์ภายในตัววาแรคเตอร์ ค่า Q เลื่อนไหลของวงจรจูน และคุณสมบัติในตัวอุปกรณ์แอคทีฟไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

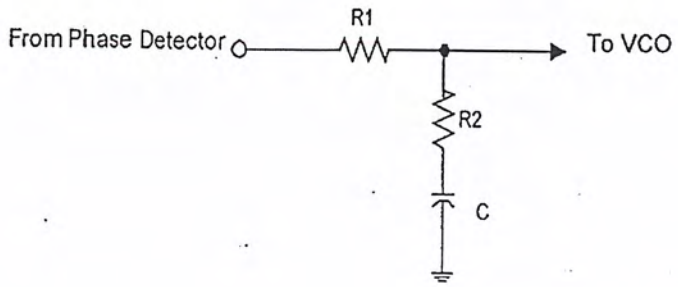


รูปที่ 2.5 แสดงวงจร VCO แบบใช้ FET

วงจร VCO นิยมใช้ FET เนื่องจากมีนอยส์ต่ำ และอินพุทอิมพิแดนซ์มีค่าสูง แต่บางครั้งอาจจะใช้ไอซี เช่น IC MC 1648 ซึ่งเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ ECL โดยจะให้เอาพุทประมาณ 900 mV (p-p) ซึ่งเพียงพอสำหรับเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ FET ไม่ได้ สังเกตว่าความถี่ของวงจร VCO จะถูกควบคุมด้วยแรงดันควบคุมที่ป้อนมาไบอัสแก่วาริแคปในวงจรจูน ถ้าแรงดันที่ไบอัสแก่วาริแคปเพิ่มขึ้นส่วนใหญ่ VCO จะมีความถี่สูงขึ้น แต่ก็มีบางวงจรที่ทำให้ความถี่ VCO ลดลง แต่เป็นส่วนน้อย (เช่นในกรณีที่ใช้วงจรขยายอินเวอร์เตอร์มาขยายแรงดันควบคุมก่อน)

ลูปฟิลเตอร์เป็นวงจรชนิดโลพาสธรรมดา ซึ่งธรรมหน้าที่กรองเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำมาควบคุมความถี่ของ VCO โดยทั่วไปมักใช้ลูปฟิลเตอร์ชนิดพาสซีฟ (มีแต่ R กับ C หรืออาจใช้ฟิลเตอร์ชนิดแอคทีฟก็ได้) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ลูปฟิลเตอร์นี้เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความถี่ก่อนเข้าสู่สภาวะล็อกที่เรียกว่าคุณสมบัติชั่วครู่ (Transient) ถ้าเลือกอัตราขยายลูป (Loop gain) และค่าคงตัวเวลาของลูป (Loop Time Constant) ไม่เหมาะสม ความถี่ของเฟสล็อกลูปจะไม่ล็อก และจะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



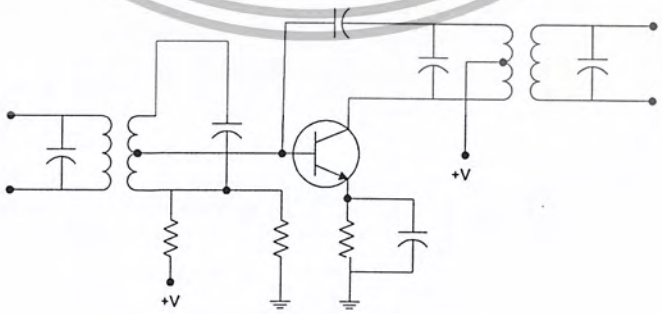
รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างลูปฟิลเตอร์

ยังมีอีกภาคหนึ่งที่มีผลต่อช่วงเวลาที่ใช้ในกรณีล็อกความถี่นั่นก็คือ ภาคหาร N (หรือ Programmable Divider) เวลาที่ใช้ในการล็อกความถี่เมื่อ N มีค่าน้อยสุดจะไม่เท่ากับ N มีค่ามากสุด วงจรหาร N เกิดจากวงจรนับฐาน 10 (Decade counter) หลายๆชุดมาต่อรวมกับเกทต่างๆเพื่อให้สามารถเลือกสั่งให้วงจรนับทำหน้าที่หารความถี่ได้ตามตัวเลขที่ตั้งไว้

2.1.8 วงจรขยายไอเอฟ

วงจรขยาย ไอเอฟ ก็คือวงจรขยาย RF นั่นเอง แต่วงจร ไอเอฟ ทำงานที่ความถี่คงที่ (ไม่ต้องปรับความถี่อีก) ดูตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.7 ความแตกต่างของวงจร ไอเอฟ กับ RF ในที่นี้อยู่ตรงใช้หม้อแปลงดับเบิ้ลจูน (Double tune) มีวงจรโซแนนท์ 2 ด้านคือ ด้านไพรมารี่ และทางด้านเซกันดารี่ ซึ่งมีผลช่วยให้ซิเลกติวิตี้มีเสถียรภาพที่ดี ตัวเก็บประจุ C_1 ในวงจรทำหน้าที่เป็นตัวป้อนกลับเพื่อ สะเทินวงจรหรือหักล้าง (Neutralize) มิให้เกิดการออสซิลเลทขึ้น

เราสามารถออกแบบวงจรขยาย ไอเอฟ โดยใช้ฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาส (BPF) เพื่อให้ค่าซิเลกติวิตี้แทนที่จะต้องใช้หม้อแปลงดับเบิ้ลจูน เทคนิคแบบนี้นิยมใช้ในเครื่องรับวิทยุสื่อสารเพราะสัญญาณที่รับมีแบนวิดท์แคบ



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรขยายไอเอฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 ลิมิตเตอร์

สัญญาณเอฟเอ็ม (มีความถี่เท่ากับ ไอเอฟ) อาจมีสัญญาณนอยส์ปนมาด้วย วงจรลิมิตเตอร์จะทำหน้าที่ขลิบสัญญาณทั้งด้านบวก และด้านลบ รวมทั้งนอยส์ก็จะถูกกำจัดทิ้งไปด้วย สังเกตว่าความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ก่อน และหลังลิมิตเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง หลักการของวงจรลิมิเตอร์นี้ก็คือ ป้อนสัญญาณที่มีแอมปลิจูดเกินช่วงทำงานของวงจร (Overdrive) จนกระทั่งวงจรขยายอิ่มตัวหรือคัตออฟ ถ้าสัญญาณ ไอเอฟ ที่ป้อนเข้ามามีแอมปลิจูดน้อย เอาท์พุทจากลิมิตเตอร์จะมีนอยส์ปนออกมาทางออดิโอเอาท์พุท ถ้าป้อนแอมปลิจูดมาแรงๆ นอยส์จะเงียบไป ปรากฏการณ์นี้จะมีความสำคัญกับค่า "Quiting" ของภาคออดิโอเอาท์พุท (ความดังเสียง และค่าความไวของเครื่องรับเอฟเอ็ม ด้วยเช่น สเปคระบุว่าสัญญาณที่ไม่ได้มอดูเลท มีแต่พาหะอย่างเดียว) ป้อนเอาท์พุทของเครื่องรับ ทำให้นอยส์จากวงจรขยายเสียงลดลงไป 20 dB การที่จะลดนอยส์ให้ได้ก็คือการขยายสัญญาณที่อินพุท (ไอเอฟ) ให้มากๆ พอที่จะขับให้วงจรลิมิตเตอร์ขลิบสัญญาณเพื่อกำจัดนอยส์ที่ขี่มาบนสัญญาณเอฟเอ็ม ตามหลักการ ของวงจรลิมิตเตอร์

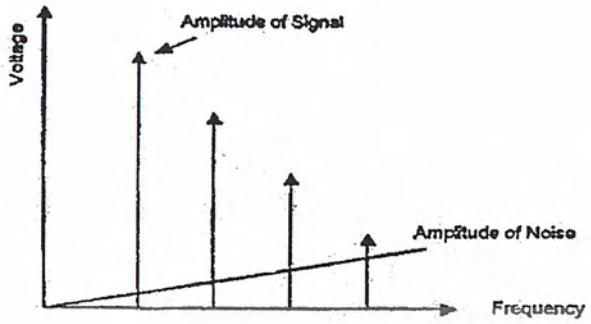
2.1.10 การจับสัญญาณที่แรงกว่า

ระบบเอฟเอ็ม มีคุณสมบัติประจำตัวคือ สามารถกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องหรือนอยส์ที่ขี่มาบนสัญญาณเอฟเอ็ม ในพื้นที่ซึ่งมีสถานีส่งออกอากาศพร้อมๆกันที่ความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน เช่นในกรณีที่เครื่องรับวิทยุติดรถยนต์รับสัญญาณเอฟเอ็ม ของสถานีหนึ่ง เมื่อขับรถมาอีกพื้นที่หนึ่ง มีสถานีส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกัน (หรือใกล้เคียงกัน) สัญญาณที่รับได้จะกลายเป็นสัญญาณเอฟเอ็ม ของสถานีใหม่ และบางทีสัญญาณเอฟเอ็ม ที่รับได้จะสลับไปสลับมาระหว่าง 2 สถานี ในกรณีเช่นนี้เครื่องรับระบบเอฟเอ็ม จะรับสัญญาณที่แรงกว่าปรากฏการณ์เช่นนี้จะเรียกว่า (Capture effect) ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่อ่อนกว่าจะถูกกำจัดออกไปทำนองเดียวกับการกำจัดนอยส์ในระบบเอฟเอ็ม ในบางกรณีที่สัญญาณทั้งคู่มีขนาดใกล้เคียงกัน เครื่องรับอาจจะรับสัญญาณจากทั้ง 2 สถานีสลับไปสลับมา

2.1.11 พรีเอ็มฟาสิส และดีเอ็มฟาสิส

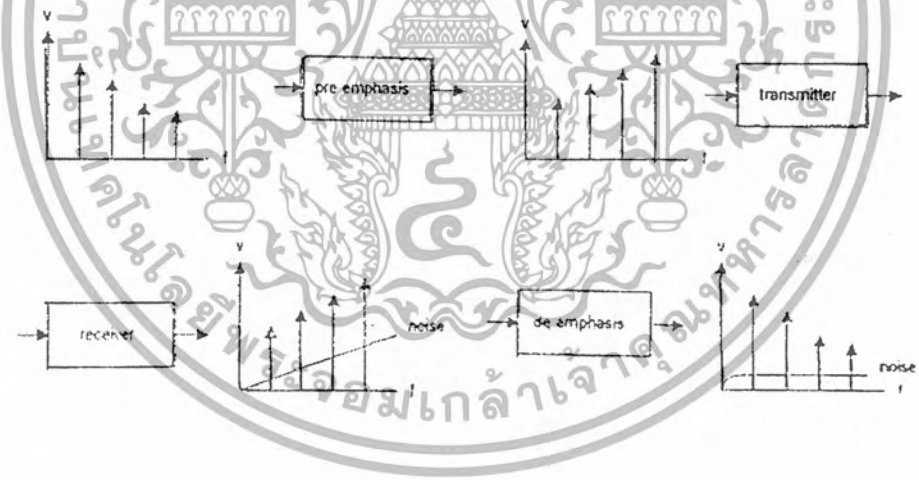
รูปคลื่นส่วนใหญ่จะประกอบด้วยองค์ประกอบฮาโมนิคมากมาย และทางด้านความถี่สูงมักจะมีแอมปลิจูดต่ำๆตัวอย่าง เช่น เสียงพูดซึ่งอยู่ในย่านความถี่ประมาณ 20 ถึง 20,000 Hz แต่เสียงพูดทั่วไปมักจะอยู่ในช่วง 500 Hz สำหรับผู้ชาย และ 800 Hz สำหรับผู้หญิง เป็นต้น แต่นอยส์ในระบบเอฟเอ็ม จะเป็นตรงกันข้าม คือ นอยส์ในระบบเอฟเอ็ม จะมีแอมปลิจูดสูงขึ้นเป็นสัดส่วนกับความถี่ ดังนั้นถ้าเราเขียนรูปเทียบกันดังแสดงในรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าที่ความถี่ด้านสูงจะมีนอยส์รบกวนมากกว่าด้านต่ำ วิธีแก้ไขให้คุณภาพสัญญาณทางด้านความถี่สูงดีขึ้นทำได้โดยการใช้วิธียกระดับหรือเน้นเอ็มฟาสิส (Emphasis) สัญญาณให้มีแอมปลิจูดสูงขึ้นในย่านความถี่ด้านสูง กรรมวิธีนี้เรียกว่า พรีเอ็มฟาสิส (Pre-emphasis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบแอมปลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลทกับนอยส์

จากรูปที่ 2.9 สัญญาณมอดูเลทจะผ่านขบวนการพรีเอ็มฟาสิสที่เครื่องส่งเพื่อให้สัญญาณความถี่สูงนั้นแรงขึ้น แล้วจึงมอดูเลทเครื่องส่งออกอากาศต่อไป ทำให้สัญญาณความถี่สูงมีความแรงขึ้นจนนอยส์รบกวนได้ยาก เมื่อคลื่นมาถึงเครื่องรับ และหลังจากการทำดีมอดแล้ว เราจะต้องคืนสัญญาณที่เน้นความถี่สูงให้เหมือนเดิม ดังนั้นเราจึงต้องมีวงจรกดความถี่สูงซึ่งจะลดทอนความแรงทางด้านความถี่สูงลง กรรมวิธีนี้เรียกว่าดีเอ็มฟาสิส (De-emphasis)



รูปที่ 2.9 แสดงขบวนการพรีเอ็มฟาสิสที่เครื่องส่ง และดีเอ็มฟาสิสที่เครื่องรับ

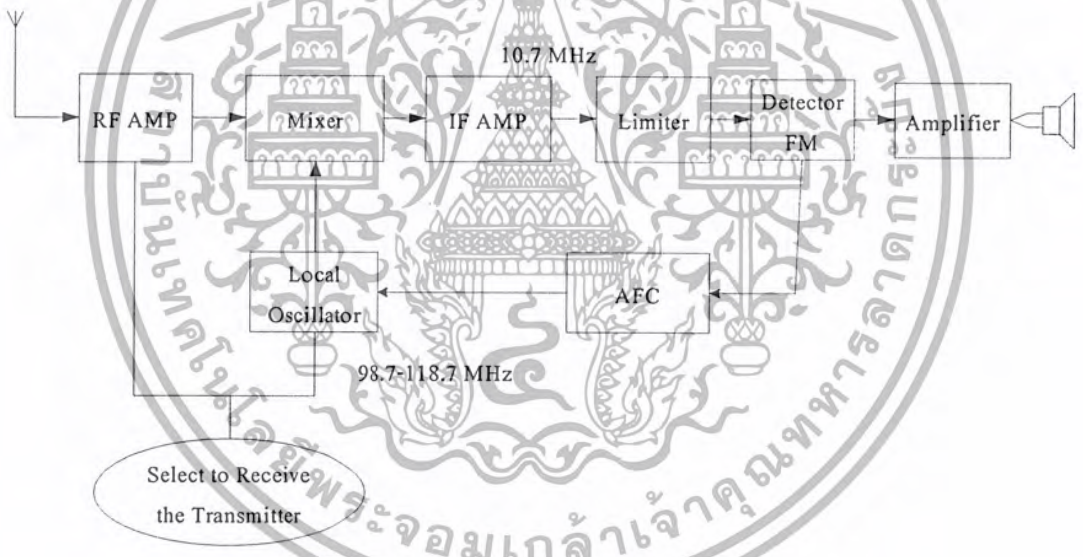
วงจรที่ใช้ในกรรมวิธีพรีเอ็มฟาสิส และ ดีเอ็มฟาสิสก็คือวงจรฟิลเตอร์นั่นเอง คุณสมบัติของฟิลเตอร์ในตอนพรีเอ็มฟาสิส และดีเอ็มฟาสิสจะต้องเป็นในลักษณะตรงกันข้าม ในระบบการกระจายเสียงเอฟเอ็มโดยมากเรากำหนดคุณสมบัติของวงจรฟิลเตอร์ (ทั้งพรีเอ็มฟาสิส และดีเอ็มฟาสิส) เป็นค่าคงตัวเวลา (Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

constant) เท่ากับ 75 μS ซึ่งแอมปลิจูดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น (พรีเอ็มฟาสิส) หรือลดลง (ดีเอ็มฟาสิส) ตั้งแต่ความถี่ 2,122 Hz เป็นต้นไป

2.1.12 การควบคุมความถี่อัตโนมัติ

เมื่อเครื่องรับเอฟเอ็ม ทำงานในย่านความถี่ วีเอชเอฟ (เช่น 88- 108 MHz) ความถี่ของวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์จะต้องมีเสถียรภาพสูงมิฉะนั้นจะเกิดความเพี้ยนในตอนดีมอด เช่น สมมติว่าเครื่องรับทำงานที่ 100 MHz ความถี่เกิดเปลี่ยนไป (Drif) 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ความถี่ ไอเอฟ เปลี่ยนไป 100 KHz สัญญาณเอฟเอ็ม จะตกเลยนอกแบนด์วิดท์ไปเลย วิธีการรักษาเสถียรภาพความถี่ก็คือใช้บังคับความถี่ อย่างไรก็ตามการใช้แร่บังคับความถี่ไม่ค่อยสะดวกนักในเครื่องรับวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม เพราะเราจำเป็นต้องปรับจูน (เลือกสถานี) ความถี่อยู่บ่อยๆ โดยไม่ต้องเปลี่ยนแร่บังคับความถี่ใหม่ แต่สำหรับเครื่องรับส่งวิทยุ (สื่อสาร) เราใช้แร่ได้เพราะช่องความถี่ใช้งานไม่มาก สำหรับการควบคุมให้ความถี่ของโลคอลออสซิลเลเตอร์ของเครื่องรับกระจายเสียงเอฟเอ็ม ให้มีเสถียรภาพเราต้องใช้วิธีพิเศษเพื่อให้ออสซิลเลเตอร์ล็อกกับความถี่ของสัญญาณอินพุท วิธีนี้เรียกว่า การควบคุมความถี่อัตโนมัติ (Automatic Frequency Control หรือ AFC)



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการควบคุมความถี่ AFC ของเครื่องรับเอฟเอ็ม

หลักการของ AFC ก็คือใช้วาแรกเตอร์เป็นส่วนในวงจรแทงค์ของโลคอลออสซิลเลเตอร์ค่าความจุของวาแรกเตอร์จะควบคุมโดยการให้ไบอัสจากแรงดันคลาดเคลื่อน เนื่องจากการที่ออสซิลเลเตอร์มีความถี่เลื่อนไป แรงดันคลาดเคลื่อนนำมาจากเอาท์พุทของวงจรดีสคริมิเนเตอร์ (หรือวงจรเรโชดีเทคเตอร์) เมื่อออสซิลเลเตอร์มีความถี่ที่ต้องการ เอาท์พุทจากดีสคริมิเนเตอร์จะเป็นศูนย์ เมื่อความถี่ของออสซิลเลเตอร์เลื่อน

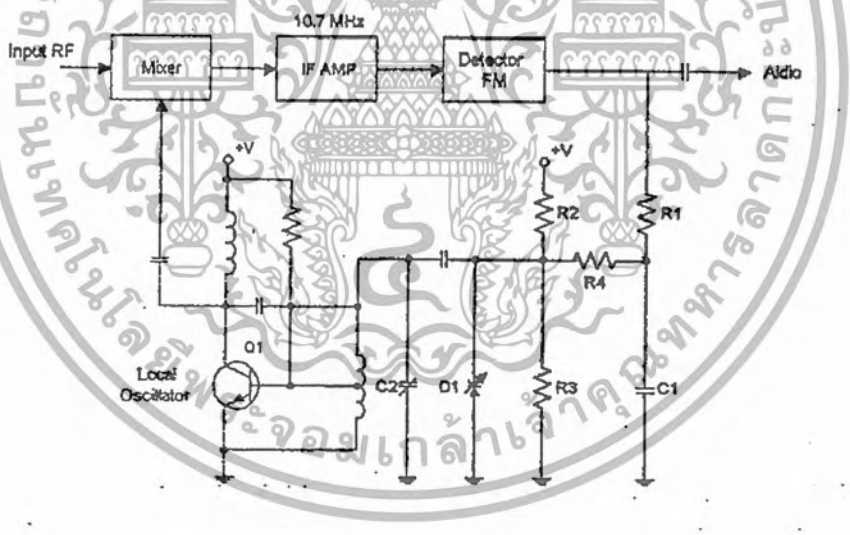
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้นหรือต่ำลง แรงดันคลาดเคลื่อนจะมีค่าเป็นบวกหรือลบ การเป็นบวกหรือลบนี้จะแสดงความคลาดเคลื่อนทางความถี่ของออสซิลเลเตอร์ว่าจะมีค่ามากหรือน้อย

อย่างไรก็ตามเอาท์พุทจากวงจรดีสคริมิเนเตอร์จะมีสัญญาณเสียงปนอยู่ด้วย ดังนั้นก่อนที่จะป้อนมาให้ออสซิลเลเตอร์ เราจะต้องเอาส่วนที่เป็นสัญญาณเสียงออกไปเสียก่อน สัญญาณเสียงนี้เรากรองทิ้งไปโดยใช้ฟิลเตอร์ชนิดโลพาส เพื่อให้ได้เฉพาะแรงดัน DC และความถี่ต่ำๆใกล้กับ DC มาป้อนให้กับวาแรกเตอร์

จากตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.11 Q_1 เป็นโลคอลออสซิลเลเตอร์ C_2 เป็นวงจรจูนซึ่งมี D_1 เป็นวาแรกเตอร์ต่อขนานเป็นส่วนหนึ่งของวงจรจูนด้วย เอาท์พุทจากวงจรดีมอด ป้อนสัญญาณไปให้วงจรเสียง และป้อนให้วงจร AFC ด้วยสัญญาณเสียงจะถูกกรองด้วยฟิลเตอร์ R_1C_1เหลือแต่เฉพาะแรงดันคลาดเคลื่อนที่มีความถี่ต่ำมากๆมาเสริมหรือลดกับแรงดันไบอัสให้แก่วาแรกเตอร์ วงจรที่ไบอัสให้แก่วาแรกเตอร์ประกอบด้วย R_2R_3 สำหรับ R_4 ทำหน้าที่กั้นระหว่างฟิลเตอร์กับออสซิลเลเตอร์เมื่อวาแรกเตอร์มีความถี่เปลี่ยน จะมีผลทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย

สังเกตว่าการทำงานของวงจรในรูปที่ 2.11 นี้ก็เหมือนกับวงจรเฟสล็อกลูปนั่นเอง แต่ในกรณีนี้วงจรดีมอดเอฟเอ็ม ทำหน้าที่เป็นเฟสดีเทกเตอร์ R_1C_1 ทำหน้าที่เป็นลูปฟิลเตอร์ ส่วน Q_1 กับ D_1 เป็น VCO และวงจรมิกเซอร์ทำหน้าที่แปลง และลดทอนความถี่ RF กับออสซิลเลเตอร์ให้มีความถี่ต่ำลงเป็น 10.7 MHz



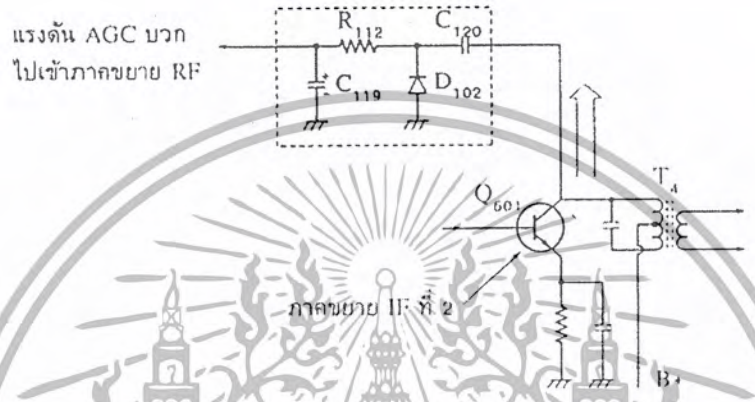
รูปที่ 2.11 แสดงวงจร AFC อย่างง่าย

2.1.13 วงจรอาร์เอฟ-เอจีซี

การขยายเครื่องอาร์เอฟของเอฟเอ็มอาจจะใช้ทรานซิสเตอร์ธรรมดาขยายแบบคอมมอลอีมิตเตอร์หรือคอมมอลเบส หรือใช้ทรานซิสเตอร์แบบเฟต ปัญหาที่เกิดขึ้กับภาคขยายอาร์เอฟก็คือมีอัตราขยายคงที่เมื่อมีสัญญาณเอฟเอ็มจากสถานีที่มีกำลังส่งแรงจะได้เอาท์พุทแรง และเมื่อรับคลื่นจากสถานีกำลังส่งต่ำ เอาท์พุทที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ก็จะต่ำ นั่นก็คือ ความไวในการรับคลื่นวิทยุจะน้อยนั่นเอง เพื่อให้การรับคลื่นวิทยุเอฟเอ็มมีความไวเท่ากันทุกๆสถานี จำเป็นจะต้องควบคุมอัตราการขยายของวงจรขยายอาร์เอฟให้เป็นไปโดยอัตโนมัติด้วยวงจรเอจีซี ความต้องการของเราก็คือ เมื่อรับคลื่นสถานีที่มีความแรงมาก การขยายของภาคอาร์เอฟจะลดลง และเมื่อรับคลื่นสถานีที่มีกำลังอ่อน การขยายของภาคอาร์เอฟจะเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยกัน และให้ได้เอาท์พุทที่มีความแรงพอๆกัน สัญญาณควบคุมเอจีซีจะนำมาจากภาคขยายไอเอฟ หรือนำมาจากภาคเอฟเอ็มดีเทคเตอร์ก็ได้



รูปที่ 2.12 วงจรเอจีซีดีเทคเตอร์

2.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter :ADC)

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลนั้น เป็นสิ่งจำเป็นมาก เพราะจะทำให้เครื่องมือทางดิจิตอลหรือเครื่องคอมพิวเตอร์รับรู้ และทำการตอบสนองกับสัญญาณอนาล็อกที่เข้ามาได้ ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนสัญญาณ
อนาล็อกเสียก่อน วิธีที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณซิเลกติวิตี้อนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่สำคัญมีดังนี้คือ

2.2.1 แบบแฟลชคอนเวอเตอร์ (Flash Converter)

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ด้วยวิธีแฟลชคอนเวอเตอร์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 เป็นวงจร ADC ขนาด 3 บิต มีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

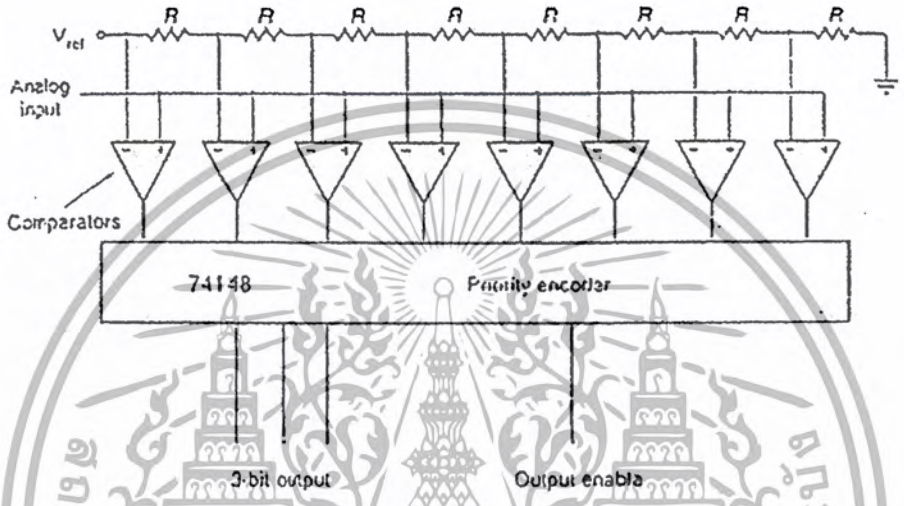
- รีซีสเตอร์เน็ตเวอร์ก (Resistors Network)
- วงจรเปรียบเทียบแรงดัน
- วงจรเข้ารหัส

หลักการทำงานตัวต้านทาน 8 บิตต่อกันเป็นวงจรแบ่งแรงดัน โดยแบ่งค่าแปรงดันของแรงดันอ้างอิงออกเป็น 8 ส่วน ถ้า V_{ref} มีค่าเท่ากับ +10 V แรงดันแบ่งออกเป็นค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ 10.00, 8.75, 7.50, 6.25, 5.00, 3.75, 2.50 และ 1.25 ค่าแรงดันที่แบ่งแล้วถูกต่อเข้ากับขา (-) ของออปแอมป์ ส่วนขา (+) ของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ต่อถึงกันทุกตัว และยังใช้ขานี้เป็นขาอินพุทโวลต์เตจของวงจรอีกด้วย ออปแอมป์ที่เห็นในวงจรทุกตัวทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันทั้งหมด โดยจะเปรียบเทียบระหว่างแรงดันอินพุทกับแรงดันที่ได้จากการแบ่งของรีซิสเตอร์เน็ทเวอร์ก สมมติว่าขณะนี้มีแรงดัน V_{in} มีค่าเท่ากับ 0 V เห็นได้ว่าขณะนี้แรงดันที่ (+) ของออปแอมป์ทุกตัวจึงมีค่าเป็น"0" เอาท์พุทของออปแอมป์มีค่าเป็น"1" ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ขา (+) มีมากกว่าแรงดันที่ขา (-) ตารางที่ แสดงว่าเอาท์พุทของออปแอมป์เมื่อ V_{in} มีค่าต่างๆ



รูปที่ 2.13 วงจร ADC แบบแฟลชคอนเวอร์เตอร์

จากนั้นเอาท์พุทที่ได้จากออปแอมป์ก็จะถูกส่งไปให้กับวงจรเข้ารหัสให้เป็นเลขฐาน 16 ต่อไป ADC แบบแฟลช หรือขนาน เป็นADC ที่มีความเร็วสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ ADC ชนิดอื่น และยังมีค่าความเป็นเชิงเส้นดีกว่า ADC ชนิดอื่นอีกมาก ยกตัวอย่างถ้าเอาท์พุทมี 8 บิต จะต้องใช้ออปแอมป์ถึง 225 ตัวหรือ 2^n-1 นั่นเองเมื่อ n คือจำนวนบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
54946

	V_{01}	V_{02}	V_{03}	V_{04}	V_{05}	V_{06}	V_{07}	V_{08}
$V_{in}<V_1$	0	0	0	0	0	0	0	0
$V_2<V_{in}<V_1$	1	0	0	0	0	0	0	0
$V_3<V_{in}<V_2$	1	1	0	0	0	0	0	0
$V_4<V_{in}<V_3$	1	1	1	0	0	0	0	0
$V_5<V_{in}<V_4$	1	1	1	1	0	0	0	0
$V_6<V_{in}<V_5$	1	1	1	1	1	0	0	0
$V_7<V_{in}<V_6$	1	1	1	1	1	1	0	0
$V_8<V_{in}<V_7$	1	1	1	1	1	1	1	0
$V_{in}>V_8$	1	1	1	1	1	1	1	1

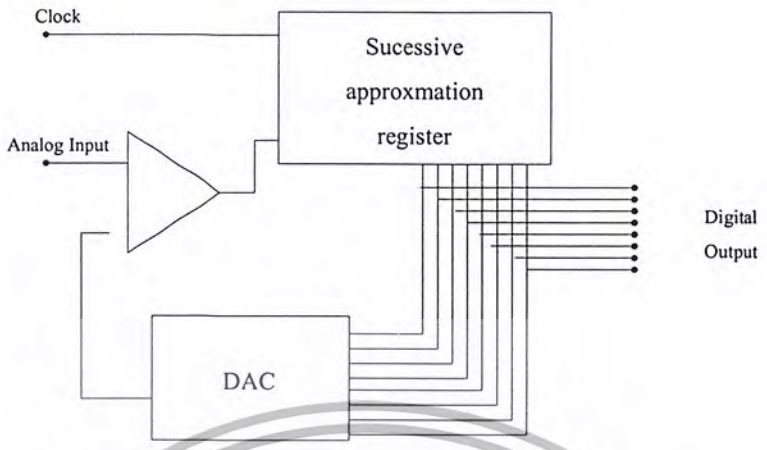
ตารางที่ 2.1เอาท์พุทของออปแอมป์ที่ V_{in} ค่าต่างๆ

2.2.2 แบบซักเซสซีฟแอพพร็อกซิเมชั่นคอนเวอร์เตอร์ (Successive Approximation Converters)

วงจรซักเซสซีฟแอพพร็อกซิเมชั่นแสดงดังรูปที่ 2.14 หัวใจของวงจรคือ ADC และยังมีส่วนควบคุมลอจิก ซึ่งเรียกว่าซักเซสซีฟแอพพร็อกซิเมชั่นรีจิสเตอร์ (Successive Approximation Register :SAR) จะทำให้บิตที่มีนัยสำคัญมากที่สุดเป็นลอจิก "1" เมื่อได้รับพัลส์ลูกแรก ส่วนบิตที่เหลือทั้งหมดจะเป็นลอจิก"0" เลขไบนารีจะถูกส่งจาก SAR ไปยัง ADC ทำหน้าที่เปลี่ยนไบนารีเป็นโวลต์เตจ สัญญาณเอาท์พุทของ ADC จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับซิเล็กติวิตี้อนาล็อกอินพุท ถ้าแรงดัน ADC สูงกว่าแรงดันอนาล็อกอินพุท คอมแพเรเตอร์เอาท์พุทจะเป็นลอจิก "0" ไป รีเซ็ทบิตให้เป็น 0 ถ้าแรงดันเอาท์พุทของ ADC น้อยกว่าแรงดันอินพุท บิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะคงสภาวะ "1"

เมื่อมีคล็อกลูกใหม่เข้ามา บิตที่มีนัยสำคัญมากที่สุดถัดมาจะถูกเซ็ทเป็น 1 การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเหมือนเดิม จนกระทั่งบิตสุดท้าย ที่จุดนี้ SAR จะให้เอาท์พุทที่เรียกว่า เอนด์ออฟคอนเวอร์เตอร์ (end-of-converters : eoc) จำนวนไบนารีถูกส่งออกที่เอาท์พุทรีจิสเตอร์ของ SAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ADC แบบ Successive Approximation

2.3 การสื่อสารแบบอนุกรม และ RS-232

มีทางเลือกอยู่สองทางในการที่จะเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆหรือคอมพิวเตอร์ด้วยกัน นั่นคือการรับส่งข้อมูลแบบขนาน และการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การรับส่งข้อมูลแบบขนานจะเป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิตในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การรับ และส่งข้อมูลทำได้ที่ความเร็วสูง ซึ่งก็หมายความว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการส่งจะต้องมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่จะส่งด้วย นอกจากนี้ยังจะต้องรวมถึงสายที่ใช้สำหรับการควบคุม และการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้มากเป็นสองเท่าของจำนวนบิตของข้อมูลที่จะส่งได้ ซึ่งเป็นปัญหาในเรื่องราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนาน

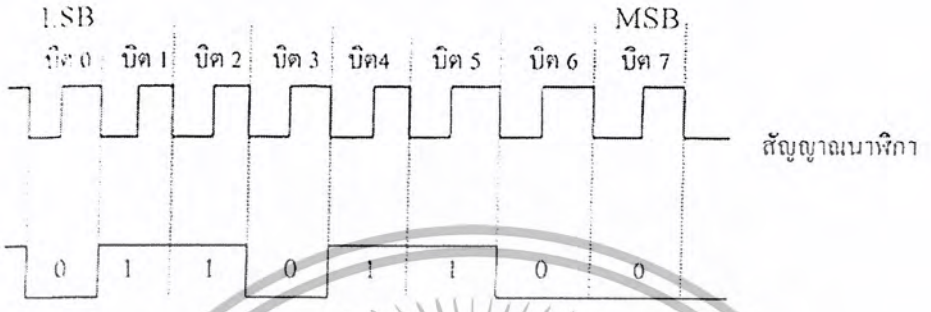
ในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้คราวละหลายๆบิตได้ หากแต่จะต้องมีการตกลงกันระหว่างตัวส่ง และตัวรับว่าจะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ซึ่งตัวรับจะรอตรวจสอบข้อมูลมาให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงค่อยนำไปประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน ในด้านจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม จะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่ามาก ซึ่งใช้อย่างน้อยที่สุด 2-3 เส้นเท่านั้น ซึ่งทำให้อัตราในการรับส่งต่ำกว่าแบบขนาน อย่างไรก็ตาม การรับส่งแบบอนุกรมสามารถใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้ระยะทางในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมทำได้ดีกว่า

2.3.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส และการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัส จะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับ และส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลของคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อย 3 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกา,ข้อมูล และกราวด์



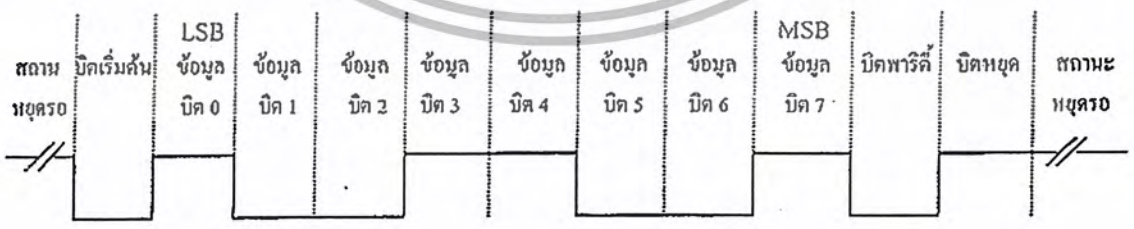
รูปที่ 2.15 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของชุดข้อมูลอนุกรม

2.3.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย เหมือนกับการรับส่งแบบซิงโครนัส แต่ใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับ และส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดให้ภาครับ และภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอร์ดเรต (Baud Rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit per seconds : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส จะประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม ซึ่งมีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) จะมีขนาด 1 หรือไม่มี
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1,1.5 หรือ 2 บิต



รูปที่ 2.16 รูปแบบอย่างที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบของชุดข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ซึ่งเมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่ง Data จะมีสถานะลอจิกเป็น "1" ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าหยุดรอ (Waiting State) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา Data มีลอจิก "0" ด้วยช่วงเวลา 1 บิต ซึ่งจะเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีค่านัยต่ำสุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะส่งอาจจะมีจำนวน 5,6,7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี้ ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้าย (Stop Bit) ซึ่งจะทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก "1" อีกครั้ง ด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อุปกรณ์พิเศษที่ได้รับการออกแบบมา สำหรับการรับ และส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เรียกว่า Universal Asynchronous Receiver/Transmitter หรือ UART อัตราความเร็วในการรับ และส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูล แบบอะซิงโครนัส มีค่ามาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110,150,300,600,1200,2400,4800,9600,19200 บิตต่อวินาที และมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ ซึ่งการรับส่งแบบอนุกรมโดยไม่ผ่านโมเด็มอาจจะสามารถกำหนดค่าบอร์ดเรตได้สูงถึง 115,200 บิตต่อวินาที เพื่อจากบอร์ดเรตคือจำนวนบิตของข้อมูลที่สามารถถ่ายทอดได้ภายใน 1 วินาที ตัวอย่างเช่น ข้อมูลอนุกรมถูกส่งในลักษณะ 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และปิดท้าย 1 บิต ความยาวข้อมูลที่รับส่งนี้จะเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอร์ดเรตในการส่งเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที และถ้ามีการใช้พาริตี้ 1 บิต ความเร็วในการรับส่งข้อมูลก็จะลดลงเหลือเป็น 872 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (Odd) แบบคู่ (Even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ การตรวจสอบพาริตี้เป็นการตรวจสอบจำนวนรวมของบิตที่เป็นลอจิก "1" ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ว่ามีจำนวนรวมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ โดยต้องรวมบิตพาริตี้เข้าไปด้วย ตัวอย่างเช่น หากต้องการส่งข้อมูลที่มีขนาด 8 บิต และมีค่าเท่ากับ 99 ฐานสิบหก หรือ 10011001 ฐานสอง จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก "1" จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้น หากกำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าในพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น "0" แต่ถ้าพาริตี้เป็นคี่ ค่าบิตพาริตี้จะต้องเป็น "1" เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งพาริตี้มีจำนวนบิตที่เป็นลอจิก "1" มีจำนวนรวมเป็นเลขคี่ ในตารางที่ แสดงตัวอย่างของพาริตี้ในการรับส่งข้อมูลอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล	บิตพาริตี้คู่	บิตพาริตี้คี่
00000000	0	1
00000001	1	0
00000010	1	0
00000011	0	1
00000100	1	0
11111110	0	1
11111111	1	0

ตารางที่ 2.2 บิตพาริตี้ของข้อมูล

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART ซึ่งทางด้านรับจะต้องทำการกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ว่าเป็นคี่หรือคู่จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นจำนวนคู่หรือคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมด รวมทั้งตัวบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านตัวเลขในการนับได้เป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ นับเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการถ่ายทอดข้อมูลได้ง่ายที่สุด แต่จะเชื่อถือได้เมื่อบิตที่ทำการส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น none นั้น ทั้งภาครับ และภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดจะใช้ UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วนรุ่น XT จะใช้ UART เบอร์ 8250 โดยชิปเหล่านี้มีแรงดันลอจิก "0" ที่ +3V ถึง +12V ในขณะที่ลอจิก "1" มีระดับแรงดัน -3V ถึง -12V

มาตรฐานพอร์ตอนุกรม RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรม และแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดที่อยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industric Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็คเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ –3V ถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3V ถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

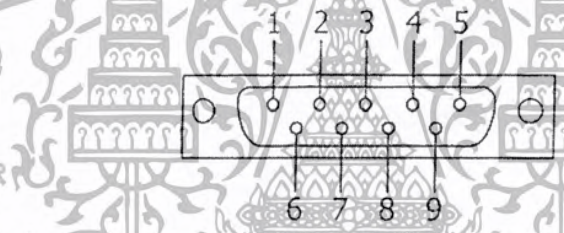
มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และ อุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็คเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ส่วนคอนเน็คเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมียซึ่งพอร์ตของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็คเตอร์ที่อยู่ในอุปกรณ์เชื่อมต่อจะเป็น DCE

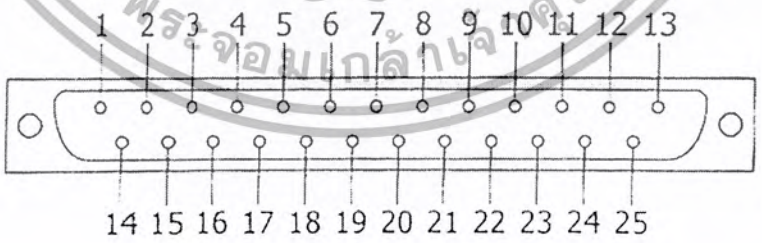
สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็ม หรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

คอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็คเตอร์แบบ DB-25 หรือ DB-9 ตัวผู้ หรือใช้คอนเน็คเตอร์แบบ DB-25 ที่ต่อใช้เพียง 9 เส้น เช่นเดียวกับคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นที่เคยใช้งานในอดีตในปัจจุบันไม่มีการใช้งานมากนัก โดยแสดงรูปร่าง และตำแหน่งดังรูป (ก) และ (ข)



(ก) คอนเน็คเตอร์อนุกรม 9 ขา (DB-9)



(ข) คอนเน็คเตอร์อนุกรม 25 ขา (DB-25)

รูปที่ 2.17 คอนเน็คเตอร์อนุกรม เมื่อมองจากด้านหลังของคอมพิวเตอร์

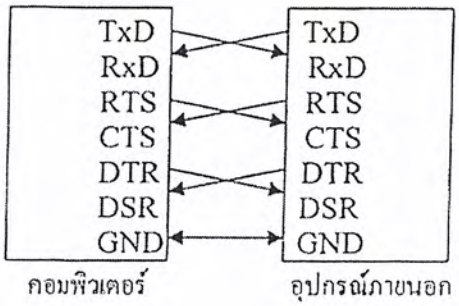
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเน็คเตอร์ DB-9	คอนเน็คเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect : DCD	Input
2	3	Received Data : RxD	Input
3	2	Transmitted Data : TxD	Output
4	20	Data Terminal Ready :DTR	Output
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	Input
7	4	Request To Send : RTS	Output
8	5	Clear To Send : CTS	Input
9	22	Ring Indicator : RI	Input

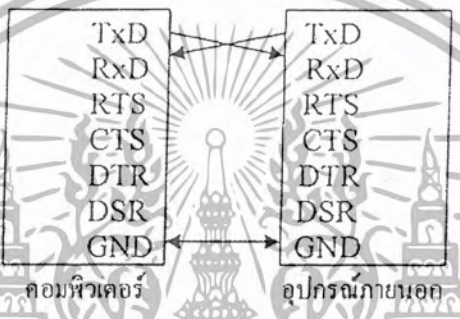
ตารางที่ 2.3 การจัดขาของคอนเน็คเตอร์ตามมาตรฐาน RS-232

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกในรูปที่ 2.18 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูลในรูปที่ 2.18 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็คเต็มรูปแบบ ส่วนรูปที่ 2.18 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ในลักษณะใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล และอีกเส้นสำหรับรับข้อมูลละเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null Modem



(ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS232 โดยใช้สายเพียง 3 เส้น

รูปที่ 2.18 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ

Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็มสำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ใช้งานมากนัก

Received Data : RxD หรือ RD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

Transmitted Data : TxD หรือ TD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

Data Terminal Ready :DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกให้คอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้นจะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้ากันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาหะ

Signal Ground : GND ขากราวด์ของระบบ

Data Set Ready : DSR ขานี้ใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DSR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมาทางคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS คือ CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับ และส่งข้อมูลเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้น จากนี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ปกติในการสื่อสาร โดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน แต่จะใช้ก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อโมเด็มกับโปรแกรมที่มีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

2.3.3 UART

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานบนคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรม แบบอะซิงโครนัสแล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายังคอมพิวเตอร์มให้เป็นแบบขนานก่อนจึงส่งเข้าคอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ เช่นอัตราการรับส่งข้อมูล (บอร์ดเรต), รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี้, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น

ภายใน UART จะมีส่วนของวงจรสร้างบอร์ตเรตแบบโปรแกรมได้ โดยการกำหนดตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้มีขนาด 16 บิต ดังนั้นจึงสามารถกำหนดตัวหารให้อยู่ในช่วง 1-65535 อีกทั้ง UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบฮาล์ฟดูเพล็ก (Half Duplex) และฟูลดูเพล็ก (Full Duplex) โดยการส่งแบบ Half Duplex เป็นการส่งแบบสองทิศทางแต่ต้องผลัดกันส่งรับ และส่งส่วนการส่งแบบ ฟูลดูเพล็ก (Full Duplex) จะเป็นการส่งแบบสองทิศทางโดยสามารถทำการรับ และส่งได้พร้อมกัน

ชนิดของ UART

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART สองเบอร์คือ 8250 ซึ่งเป็นแบบที่ใช้กันมานาน UART เบอร์นี้จะมีบัฟเฟอร์สำหรับรับ และส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับ และส่งข้อมูลถูกจำกัดข้อมูลอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาทีเท่านั้น แต่ UART เบอร์นี้ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART โดยคอมพิวเตอร์ทุกๆรุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์คือ 16450 มีความสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 115200 บิตต่อวินาที และเพิ่มส่วนของชิฟรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลแบบ FIFO ขนาด 16 ไบต์ เข้าไปทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 256 กิโลบิตต่อวินาทีได้โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่า เช่น เบอร์ TL164C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด16 ไบต์ ทำงานได้ที่ที่ระดับแรงดัน +5 V และ +3 V ที่โหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประหยัดพลังงานสามารถรองรับการรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 1 เมกกะบิตต่อวินาที เมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิร์ต

อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากมายของ UART เบอร์ใหม่ๆก็ไม่ได้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในการแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 เมกะเฮิร์ตเท่านั้น

2.4 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่หมุนทีละสเต็ป โดยแต่ละสเต็ป มอเตอร์จะหมุนด้วยมุมคงที่ ค่าหนึ่ง ซึ่งในการควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์นั้นจะอาศัยวงจรควบคุมทางดิจิตอล โดยที่วงจรทางดิจิตอลนี้จะทำหน้าที่ในการจัดลำดับการกระตุ้นในแต่ละเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดทิศทางการหมุน,ความเร็วในการหมุน และตำแหน่งที่ต้องการจะเลื่อนไปของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

เนื่องจากวงจรทางดิจิตอลที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์สามารถกำหนดความเร็วในการหมุน และตำแหน่งที่ต้องการจะเลื่อนไปของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการป้อนกลับ (Feedback Control) เพื่อควบคุมความเร็ว และตำแหน่งในการหมุน

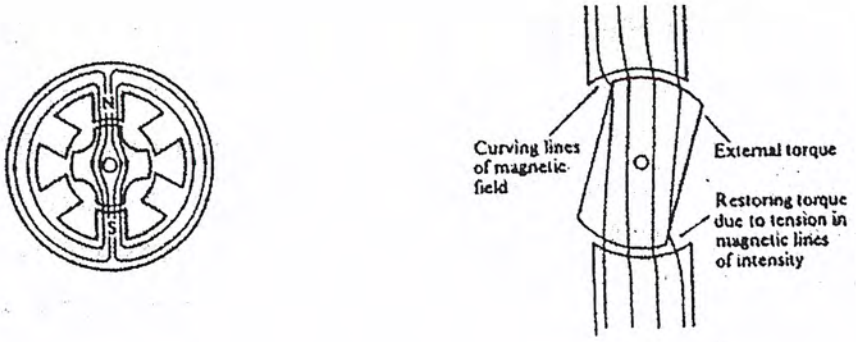
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

2.4.1 โครงสร้าง และหลักการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

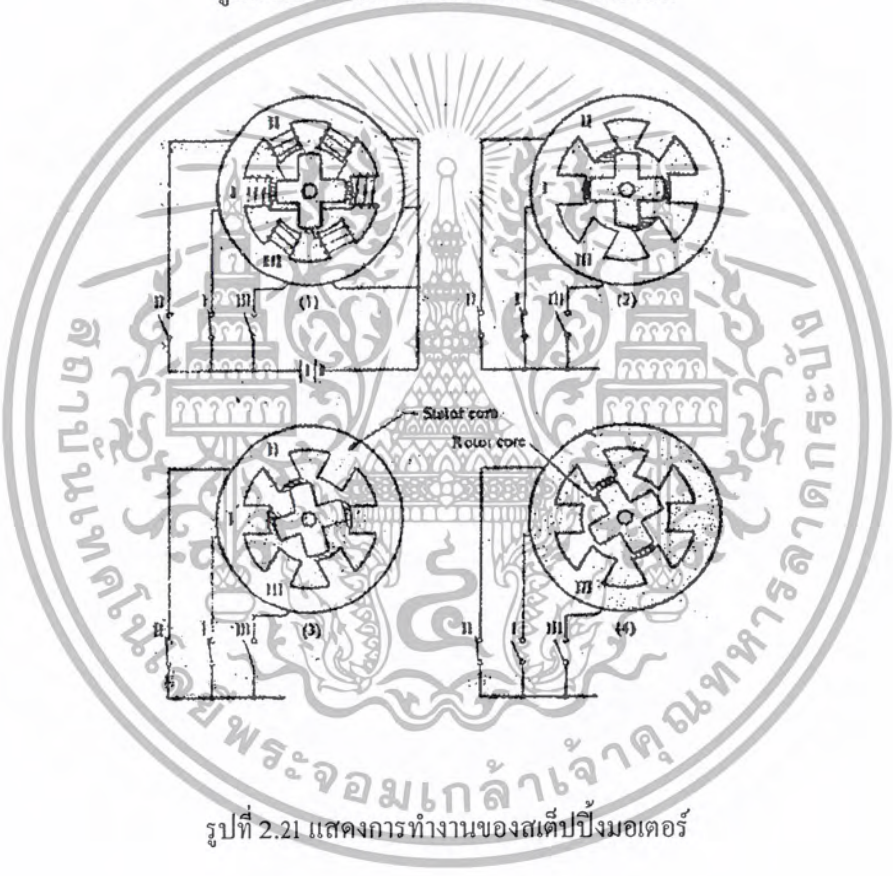
ภายในสเต็ปปิ้งมอเตอร์ประกอบด้วย สเตเตอร์ (stator) , โรเตอร์ (rotor) และขดลวด (coil)ประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 2.19

เนื่องจากโรเตอร์เป็นเหล็กอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติพยายามปรับตัวเองให้อยู่ในแนวเส้นแรงแม่เหล็กผ่านมากที่สุด ดังรูปที่ 2.20 เมื่อเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ตัวสเตเตอร์ผ่านโรเตอร์ ตัวโรเตอร์ก็จะพยายามปรับตัวเองให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านมากที่สุดโดยหมุนตัวเองทำให้เคลื่อนที่เกิดมุมของการหมุน และจะหยุดหมุนเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่านตัวมันถึงจุดมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 เส้นแรงแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงบิด



รูปที่ 2.21 แสดงการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การทำให้สเต็ปปิ้งมอเตอร์หมุนนั้นสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการนี้แต่ต้องให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยรับช่วงต่อกันไปเรื่อยๆดังรูปที่ 2.21 เป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) มีซี่ฟัน (Teeth) 6 ซี่ขณะที่โรเตอร์มีฟัน 4 ซี่ ทั้งโรเตอร์ (Rotor) และสเตเตอร์เป็นเหล็กอ่อน ขดลวด (Core) 3 ชุดถูกต่ออยู่ดังรูปที่ 2.21 แต่ละชุดขดลวดมี 2 ขดลวดต่ออนุกรมกัน เรียกแต่ละชุดว่าเฟส (Phase) และผลจากการต่อแบบนี้เรียกว่า มอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Motor) กระแสถูกจ่ายไปยังขดลวดแต่ละขดลวดผ่านสวิตช์ I, II และ IIIในสภาวะ (1) ชุดลวดของเฟส 1 ได้รับกระแสไฟโดยผ่านสวิตช์ I หรือเฟส I ถูกกระตุ้น เส้นแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องอากาศ (Air Gap) เกิดขึ้นเนื่องจากการกระตุ้น ซึ่งแสดงด้วยลูกศร ในสภาวะที่สเตเตอร์ 2 ขั้วของเฟส 1 จะอยู่ในแนวเดียวกับ 2 ซี่ที่อยู่ตรงข้ามกันของโรเตอร์ นี่เป็นสภาวะสมดุลย์ ซึ่งอยู่ในเทอมของไดนามิค (Dynamics) เมื่อสวิตช์ II เมื่อสวิตช์ II ปิดเพื่อกระตุ้นเฟส 2 กับเฟส 1 เส้นแรงแม่เหล็กจะถูกสร้างขึ้นที่ขั้วของสเตเตอร์ของเฟส 2 ในลักษณะซึ่งแสดงในสภาวะ (2) ทอร์ค (Torgue) ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะถูกสร้างมาจากความเครียด (Tension) ในฟลักซ์แม่เหล็กเอียงไปยังแกนมอเตอร์ที่อยู่ใกล้ หลังจากนั้นมอเตอร์จะมาอยู่ในสภาวะ (3)

ดังนั้นโรเตอร์จะหมุนไปด้วยมุมการเปลี่ยนแปลงคงที่ ซึ่งเรียกว่ามุมสเต็ป (Step angle) ในที่นี้คือ 15 องศาขณะที่สวิตช์มีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งหนึ่งคือ สวิตช์ I จะถูกปิดเพื่อลดพลังงานในเฟส โดยโรเตอร์จะหมุนไป 15 องศาอยู่ในสภาวะที่ (4) ตำแหน่งมุมของโรเตอร์จะถูกควบคุมโดยการเปิด-ปิดสวิตช์ ถ้าสวิตช์ถูกเปิด-ปิดเป็นลำดับ โรเตอร์จะหมุนในลักษณะที่เป็นสเต็ป ความเร็วเฉลี่ยจะสามารถควบคุมได้ด้วยการเปิด-ปิดสวิตช์ดังรูปที่ 2.21

จากที่กล่าวมาพอที่จะกล่าวถึงคุณสมบัติสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้ว่า

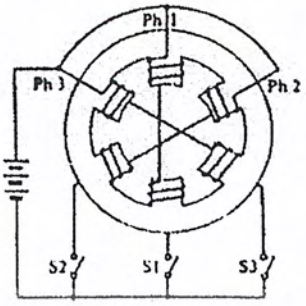
1. การหมุนของมอเตอร์จะเป็นสเต็ป (เป็นขั้นๆ) สเต็ปละกี่องศาขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์
2. ความเร็วในการหมุนขึ้นกับสัญญาณพัลส์ที่ให้เข้ามาทางอินพุทของมอเตอร์ (ความถี่)
3. ความผิดพลาดในการหมุน 1 สเต็ปมีค่าน้อยมาก แต่ต้องจำกัดอยู่ในความเร็วที่พอดีด้วย
4. คุณสมบัติการตอบสนองสัญญาณที่มอเตอร์เริ่มทำงาน และหยุดทำงานดีมาก
5. เนื่องจากไม่มีแปรงถ่าน (Commutator) เหมือนมอเตอร์ในระบบดีซี ดังนั้นจึงมีความแน่นอนในการทำงานสูง
6. แหล่งจ่ายแรงดันไฟที่ใช้ในการขับมอเตอร์มีค่าไม่มาก
7. ไม่ทำให้เกิดเสียงรบกวน และการสั่นได้ง่าย
8. ทำงานแบบโอเพ่นลูป (Open Loop)

2.4.2 ชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

2.4.2.1 วาริเบิ้ลรีลัคแทนซ์สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Variable Reluctance Stepping Motor)

มอเตอร์ตัวนี้ทำด้วยเหล็กอ่อน ซึ่งค่าซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) สูง และสามารถให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านได้มาก โดยโรเตอร์จะติดอยู่กับแกนมอเตอร์ และสเตเตอร์ติดอยู่กับโครงของมอเตอร์ จากรูปเป็นภาพตัดขวางของสเตปปิ้งมอเตอร์แบบนี้ ซึ่งเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งมีซี่ฟัน 6 ซี่ ฟันของสเตเตอร์จะอยู่ตรงข้ามจะต่อกันเป็นอนุกรม หรือขนานก็ได้ (ในที่นี้ต่อแบบอนุกรม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 โครงสร้างวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์มอเตอร์

เราจะเห็นได้ว่าฟันของสเตเตอร์ 2 ชิ้ ที่มีเฟสเดียวกัน จะมีขั้วแม่เหล็กตรงข้ามกัน และกันดังแสดงดังรูป สมมุติว่าฟัน 1,2 และ 3 มีขั้วเป็นขั้วเหนือ ฟัน 1,2 และ 3 จะเป็นขั้วใต้เมื่อถูกกระตุ้น

กระแสแต่ละเฟสจะถูกกระตุ้น ฟลักซ์แม่เหล็กก็จะเกิดดังรูป

รูปที่ 2.23 ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้น

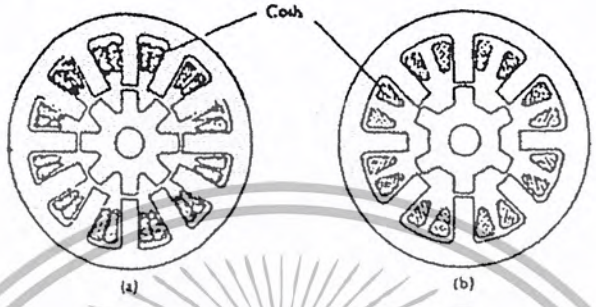
ฟันของโรเตอร์ก็จะมีตำแหน่งในแนวเดียวกันกับฟันของสเตอร์ ซึ่งจะมีผลให้แมกเนติกรีลักแทนซ์ (Megnetic Reluctance) น้อยที่สุดสภาวะนี้คือตำแหน่งสมดุลย์

โครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์แบบนี้ จะมีลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องว่างอากาศควรจะเล็กที่สุด เท่าที่จะเป็นไปได้ช่องว่างอากาศระหว่างฟัน ของโรเตอร์กับฟันของสเตเตอร์ควรมีค่าห่างกันน้อยมาก เพื่อที่จะได้ทอร์คสูง และตำแหน่งที่แน่นอนขึ้น

สำหรับมุมสเต็ปเล็กๆจากรูป แสดง 3 เฟสมอเตอร์ ที่สเตเตอร์มีฟัน 12 ซี่ และโรเตอร์มีฟัน 8 ซี่ รูป เป็นรูป 4 เฟส มอเตอร์ที่สเตเตอร์มีฟัน 8 ซี่ และโรเตอร์มีฟัน 6 ซี่ ซึ่งทั้ง 2 รูปนี้ มีมุมสเต็ปเท่ากับ 15 องศา



รูปที่ 2.24 โรเตอร์ และสเตเตอร์

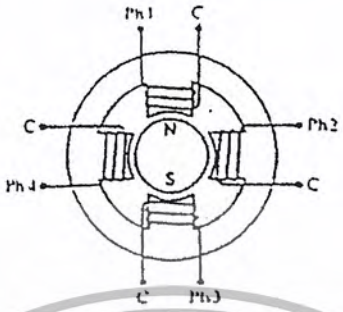
รูปที่ 2.25 หน้าตัดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟสที่มีฟันโรเตอร์ 50 ซี่ มุมสเต็ป 1.8 องศา

2.4.2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permament Magnetic Stepping Motor)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบนี้ใช้แม่เหล็กแบบถาวร รูปที่ 2.26 เป็นตัวอย่างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบถาวรแบบ 4 เฟส โรเตอร์เป็นทรงกระบอก สเตเตอร์มีฟัน 4 ซี่ โดยที่แต่ละซี่มีขดลวดพันรอบ ถ้าจำนวนซี่บนสเตเตอร์ และขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า มุมแต่ละสเต็ปลดลงจากเดิมครึ่งหนึ่ง ดังนั้นเพื่อที่จะลดมุมสเต็ปลงไปอีก ในสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรจะต้องเพิ่มจำนวนแม่เหล็ก และซี่ฟัน อย่างไรก็ตามขั้วแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นได้นั้นมีจำนวนจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทั่วไปของมอเตอร์แบบนี้ก็คือ โรเตอร์จะยึดอยู่กับที่ แม้ว่าไม่มีการกระตุ้นเฟส ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ดีเทนแมคคานิซึ่ม (Detent mechanism)

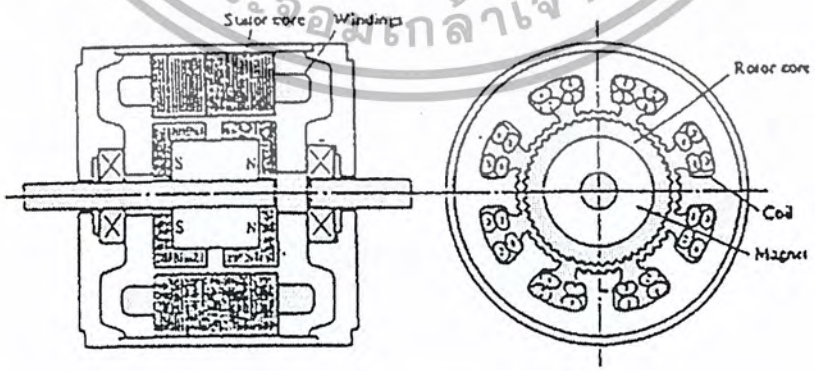


รูปที่ 2.26 โครงสร้างมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

2.4.2.3 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid Stepping Motor)

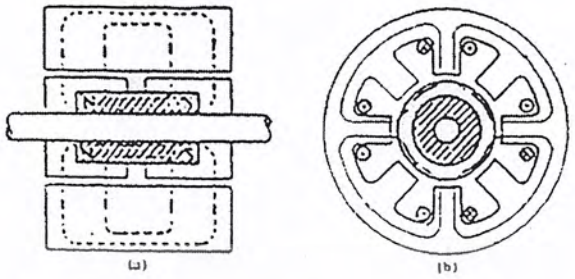
เป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบหนึ่งที่มีโรเตอร์เป็นแบบถาวร การใช้ชื่อไฮบริดได้มาจากการรวมหลักสำคัญของมอเตอร์แบบ แม่เหล็กถาวร และแบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ โครงสร้างแกนของสเตเตอร์จะคล้ายกับแบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ แต่การพัน และการต่อขดลวดจะต่างจากแบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์มอเตอร์ ซึ่งจะมีเพียง 1 ขดจาก 2 ขดที่ถูกพันเป็นขั้วเดียวกันในขณะที่ 4 เฟส ไฮบริดมอเตอร์ ชุดขดลวด 2 เฟสที่แตกต่างกันจะถูกพันบนขั้วเดียวกัน ดังรูป เพราะฉะนั้นขั้วหนึ่งจะไม่มีเพียงเฟสเดียว ขดลวด 2 ขดจะถูกพันเป็นขั้วเดียวกันแบบ ไบฟีลา (Bifilar Winding) ซึ่งจะทำให้แม่เหล็กต่างกันขณะมีการกระตุ้น

ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของไฮบริดมอเตอร์คือ โรเตอร์นั้นจะเป็นแม่เหล็กรูปร่างทรงกระบอกอยู่ในแกนเหล็กของโรเตอร์ มันถูกทำให้เป็นแม่เหล็กตามยาวเพื่อสร้างสนามขั้วเดียวดังรูป แต่ละขั้วของแม่เหล็กจะถูกล้อมรอบด้วยฟันเหล็กอ่อน ซึ่งฟันของโรเตอร์กับสเตเตอร์อยู่เหลื่อมกันอยู่ครึ่งช่วงฟัน



รูปที่ 2.27 โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไฮบริด

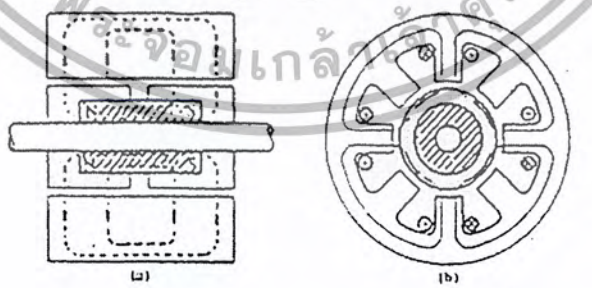
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 การวางแม่เหล็กตามยาวเพื่อสร้างสนามขั้วเดียวกัน

2.4.3 การทำงานพื้นฐาน

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ถูกใช้งานโดยสัญญาณอินพุทที่เป็นพัลส์ ทุกๆสัญญาณพัลส์ที่ให้เข้ามาจะให้การเปลี่ยนแปลงสถานะ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น และให้การหมุนของมอเตอร์เป็นมุมที่คงที่ซึ่งจะแตกต่างกับการหมุนของมอเตอร์แบบธรรมดาในระบบควบคุมที่ใช้สัญญาณดิจิตอลนี้ เช่น ในการส่งข้อมูลการควบคุมข้อมูลโดยที่เป็นปริมาณค่าสัญญาณดิจิตอลทั้งหมด จึงทำให้การควบคุมการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์โดยตรงได้เป็นอย่างดี การทำงานพื้นฐานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.29 ซึ่งแสดงบล็อกของวงจรมอเตอร์ ทำให้กระแสไฟดีซีเรียงลำดับเข้าไปที่มอเตอร์ได้ ทำได้ด้วยการใช้งานของสวิตซ์ และเพื่อให้มอเตอร์หมุนจำเป็นต้องมีวงจรขับสเต็ปปิ้งที่จะควบคุมการไหลของกระแสไฟ คือ สวิตซ์ 1 และ 2 ถ้าให้การทำงานของสวิตซ์ตามตารางการทำงานที่แสดงไว้ ถ้าให้การทำงานโดยใช้รีเลย์ (Relay) หรือมือโยกให้การเปลี่ยนของสวิตช์ช้า ซึ่งจะทำได้เร็วเท่ากับความถี่สูงสุดของสัญญาณพัลส์ที่มอเตอร์ทำงานสามารถทำงานได้ (เป็นจำนวนพัลส์ต่อวินาที)



รูปที่ 2.29 การทำงานพื้นฐานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของวงจรมอเตอร์ที่นิยมใช้มี 3 ระบบ คือ

1. ระบบการกระตุ้นแม่เหล็กเฟสเดียว (Single Phase Exiteation)

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

ตารางที่ 2.4 แสดงการกระตุ้นแม่เหล็กเฟสเดียว

2. ระบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก 2 เฟส (2-Phase Exitation)

สเต็ปที่ 1	เฟสที่1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.5 แสดงการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กครึ่งเฟส (Hafe-step Exitation)

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.6 แสดงการกระตุ้นสนามแม่เหล็กครึ่งเฟส

2.4.4 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การใช้งานทรานซิสเตอร์มีคุณสมบัติเป็นสวิตช์ เราให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในสภาวะคัทออฟ (Cut off)และอิ่มตัว (Saturate) โดยจะใช้วงจรทรานซิสเตอร์ชนิดอิมิเตอร์ร่วมที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์โดยทรานซิสเตอร์เป็นเสมือนสวิตช์ให้กับโหลด RL ที่ต่อระหว่าง Vcc กับคอนเน็คเตอร์ของตัวทรานซิสเตอร์ส่วนขาอิมิเตอร์ต่อลงกราวด์ ทรานซิสเตอร์จะทำตัวคล้ายสวิตช์ซึ่งปิด-เปิดระหว่างขาคอลเล็คเตอร์กับอิมิเตอร์ส่วนแรงดันอินพุทที่ป้อนข้างขาเบสเป็นส่วนควบคุมการทำงานของสวิตช์ซึ่ง Vce สามารถหาได้จาก

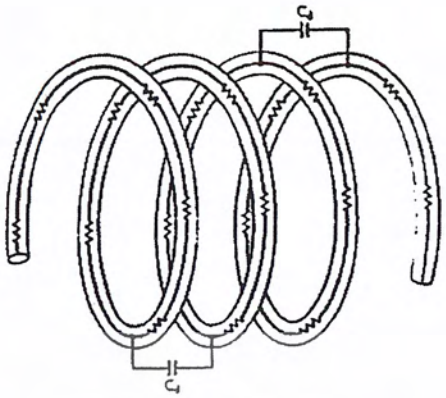
$Vce = Vcc - IcRl$

เมื่อแรงดันที่เบส-อิมิเตอร์มีค่าเป็นศูนย์หรือไบอัสกลับที่ขั้วเบส-อิมิเตอร์ ส่วนของกระแส Ib จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย ซึ่งกระแสคอลเล็คเตอร์ประมาณเท่ากับศูนย์ ในสภาวะเช่นนี้ ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะคัทออฟนั่นคือ แรงดันที่ต่อคร่อมโหลดมีค่าเป็นศูนย์

2.5 ขดลวดเหนี่ยวนำ

ขดลวดเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากในวงจรไฟฟ้าทางโทรคมนาคม โดยรูปที่ 2.31 เป็นการแสดงถึงขดลวดเหนี่ยวนำในทางปฏิบัติ จะเห็นว่าขดลวดเหนี่ยวนำประกอบด้วยค่าความต้านทาน ตลอดความยาวของลวด และยังประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นระหว่างรอบองขดลวด ที่เราเรียกว่า ดีสทริบิวท์คาปาซิแทนซ์ (Cd) (Distributed Capacitance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

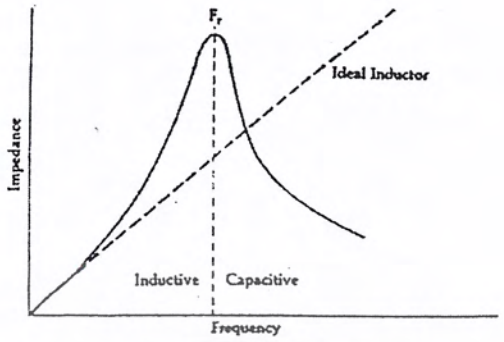


รูปที่ 2.30 แสดงถึงขดลวดเหนี่ยวนำในทางปฏิบัติ

รูปที่ 2.31 แสดงถึงวงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำ

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.31 จะเห็นว่า ที่ความถี่ต่ำ Cd จะไม่มีผลต่อค่ารีแอคแทนซ์ (Reactance) ของขดลวด เพราะว่า Cd มีค่ารีแอคแทนซ์ที่สูง (High Reactance) แต่เมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้น Cd จะเริ่มมีผลต่อค่ารีแอคแทนซ์ของขดลวดทำให้ค่ารีแอคแทนซ์ ของขดลวดมีค่าสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance) และที่ความถี่มากกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ค่ารีแอคแทนซ์ ของขดลวดจะมีค่าลดลง ซึ่งเสมือนว่าขดลวดเหนี่ยวนำประพฤติตัวเหมือนเป็นตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

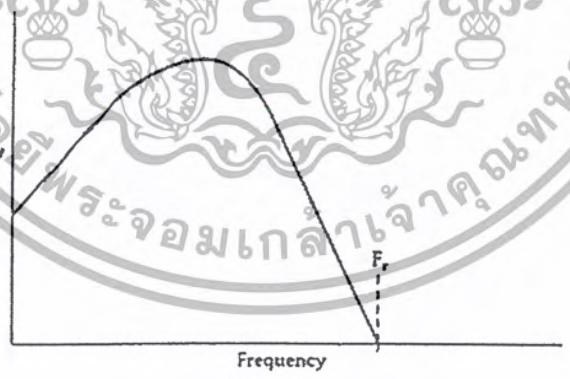


รูปที่ 2.32 แสดงถึง Impedance Characteristic ของขดลวดเหนี่ยวนำในทางปฏิบัติ

ค่าอัตราส่วนระหว่างค่ารีแอคแทนซ์ของขดลวดกับค่าความต้านทานอนุกรม (Series Resistance) ในขดลวดเหนี่ยวนำจะแสดงถึงค่าคุณภาพของขดลวดเหนี่ยวนำ (Quality of Inductance)

$$Q = \frac{X}{R_s}$$

โดยที่ ขดลวดเหนี่ยวนำในอุดมคติ จะมีค่า Q เป็นอนันต์ เมื่อพิจารณาที่ความถี่ต่ำค่า Q ของขดลวดเหนี่ยวนำจะมีค่าๆหนึ่ง เพราะว่า มีแต่ค่าความต้านทานอนุกรม (Series Resistance) ในขดลวด แต่เมื่อความถี่สูงขึ้น ตัวเก็บประจุในขดลวดจะมีผลทำให้ค่ารีแอคแทนซ์ลดลง และค่า Q เป็นศูนย์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ แสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงผลของความถี่ ต่อค่า Q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มค่า Q ของขดลวด ทำได้ดังนี้

1. ใช้ขดลวดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากๆ เพื่อลดค่าความต้านทานอนุกรม (Series Resistance) ในขดลวด
2. แยกแต่ละรอบของขดลวดออกห่างกันเพื่อลดดีสทริบิวท์ คาปาซิแทนซ์ (Distributed Capacitance)
3. เพิ่มค่าเพอร์เมียบิลิตี้ (Permeability) ของฟลักซ์แม่เหล็กโดยใช้ขดลวดที่เป็นแกนเหล็ก หรือแกนเฟอร์ไรท์

2.5.1 ขนาดขดลวดในระบบ AWG (American Wire Gauge)

ในการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ จำเป็น ต้องรู้จักขนาดของลวดทองแดง ในระบบ AWG ดังนี้

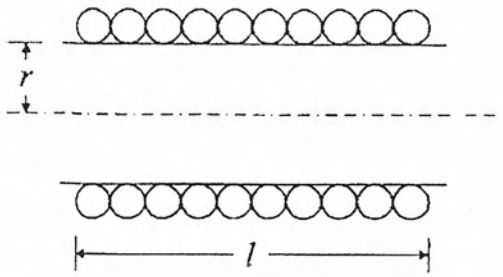
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wire Size (AWG)	Dia in Mils (Bare)	Dia in Mils (Coated)	Ohms/1000 ft	Area Circular Mils
1	289.3		0.124	83690
2	257.6		0.156	66360
3	229.4		0.197	52620
4	204.3		0.249	41740
5	181.9		0.313	33090
6	162.0		0.395	26240
7	144.3		0.498	20820
8	128.5	131.6	0.628	16510
9	114.4	116.3	0.793	13090
10	101.9	104.2	0.999	10380
11	90.7	93.5	1.26	8230
12	80.8	83.3	1.59	6530
13	72.0	74.1	2.00	5180
14	64.1	66.7	2.52	4110
15	57.1	59.5	3.18	3260
16	50.8	52.9	4.02	2580
17	45.3	47.2	5.05	2050
18	40.3	42.4	6.39	1620
19	35.9	37.9	8.05	1290
20	32.0	34.0	10.1	1020
21	28.5	30.2	12.8	812
22	25.3	27.0	16.2	640
23	22.6	24.2	20.3	511
24	20.1	21.6	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320
26	15.9	17.2	41.0	253
27	14.2	15.4	51.4	202
28	12.6	13.8	65.3	159
29	11.3	12.3	81.2	123
30	10.0	11.0	104.0	100
31	8.9	9.9	131.0	79.2
32	8.0	8.8	162.0	64.0
33	7.1	7.9	206.0	50.4
34	6.3	7.0	261.0	39.7
35	5.6	6.3	331.0	31.4
36	5.0	5.7	415.0	25.0
37	4.5	5.1	512.0	20.2
38	4.0	4.5	648.0	16.0
39	3.5	4.0	847.0	12.2
40	3.1	3.5	1080.0	9.61
41	2.8	3.1	1320.0	7.84
42	2.5	2.8	1660.0	6.25
43	2.2	2.5	2140.0	4.84
44	2.0	2.3	2590.0	4.00
45	1.76	1.9	3350.0	3.10
46	1.57	1.7	4210.0	2.46
47	1.40	1.6	5290.0	1.96
48	1.24	1.4	6750.0	1.54
49	1.11	1.3	8420.0	1.23
50	0.99	1.1	10600.0	0.98

- 1 Mils = 2.54 X 10^{-3} cm

สูตรการพันขดลวดเหนี่ยวนำ Single Layer Air Core

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$L = \frac{0.394 r^2 N^2}{9r + 10l}$$

เมื่อ

L คือ เหนี่ยวนำ หน่วยเป็น (ไมโครเฮนรี่)

r คือ รัศมีของขดลวดเหนี่ยวนำในหน่วย (เซนติเมตร)

l คือ จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ

โดยที่ ค่า l ควรจะมีค่ามากกว่า 0.67 r จะทำให้สูตรการคำนวณมีความถูกต้องมากขึ้น และเพื่อให้ได้ค่า Q ที่ดีที่สุด ค่า l ควรมีค่าเท่ากับ 2r ซึ่งในทางปฏิบัติจริง เวลาพันขดลวดเหนี่ยวนำจะเกิดดีสทริบิวท์ คาปาซิแทนซ์ ZDistributed Capacitance) จึงควรใช้ลวดเบอร์ที่เล็กกว่าเบอร์ลวดที่ได้จากการคำนวณ เพื่อให้เกิดช่องอากาศ (air gap) ระหว่างขดลวดเพื่อลด Cd แต่วิธีนี้จะทำให้ค่า Q ลดลง เพราะเบอร์ลวดที่มีขนาดเล็กลง จะทำให้ความต้านทานอนุกรม (Series Resistance) ในขดลวดเพิ่มมากขึ้น หรือใช้ลวดเบอร์เดิมที่ได้จากการคำนวณ แต่เพิ่มความยาวให้มากขึ้น เพื่อให้เกิดช่องอากาศ (air gap) เพื่อลด Cd แต่วิธีนี้มีผลให้ค่าความเหนี่ยวนำเปลี่ยนไป

ดังนั้น การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ ผู้ออกแบบจึงต้องอาศัยความชำนาญ และประสบการณ์ ในการพันของขดลวดเหนี่ยวนำเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

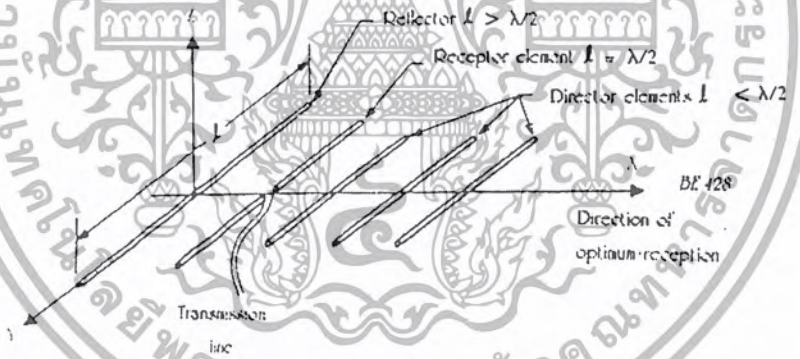
2.6 แผงรับสัญญาณแบบยากิไดโพล

แผงรับสัญญาณแบบยากิไดโพล (yagi dipole) เป็นไดโพลครึ่งความยาวคลื่นที่พัฒนาขึ้นมาให้มีอัตราการขยายสูง และมีทิศทางการรับคลื่นรวมทั้งตัดสัญญาณรบกวนด้านหลัง การติดตั้งสายอากาศแบบนี้จะต้องหมุนหาทิศทางให้ถูกต้องจึงจะรับได้ดีที่สุด ซึ่งสายอากาศแบบนี้มีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

1. **ตัวรับสัญญาณ (Receptor Element)** หรือไดโพล เป็นตัวที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแล้วถ่ายทอดสัญญาณนั้นไปยังเครื่องรับ โดยผ่านทางสายส่งหรือสายนำสัญญาณ นับเป็นองค์ประกอบแรกของระบบสายอากาศแบบนี้ โดยความยาวของไดโพลในอุดมคติเท่ากับ $\lambda/2$

2 .**ตัวชี้นำ (Director Element)** เป็นองค์ประกอบที่ สองของระบบนี้ ตัวชี้นำต้องหันไปยังทิศทางที่สัญญาณส่งมา ตัวชี้นำอาจจะมีมากกว่าหนึ่งชิ้นก็ได้ ยิ่งมากชิ้นความแรงของสัญญาณก็จะยิ่งมากขึ้นในเวลาเดียวกัน ตัวชี้นำจะมีความยาวน้อยกว่าความยาวของไดโพล

3 .**ตัวสะท้อนกลับ (Reflector Element)** เป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้ประสิทธิภาพในการรับมากที่สุด เพราะในส่วนของอำนาจสนามไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการบังคับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นหลุดหายไประหว่างองค์ประกอบอื่น และมีผลให้ไดโพลรับคลื่นได้ด้านเดียว คลื่นที่เดินทางมาจากข้างหน้าจะเข้าไดโพล และบางส่วนจะสะท้อนจากรีเฟล็กเตอร์มาเสริม ทำให้รับคลื่นด้านหน้าได้แรง และตัดการรบกวนจากด้านหลัง



รูปที่ 2.34 แผงสายอากาศยากิ

อัตราขยายที่แผงรับสัญญาณที่ความถี่หนึ่งจะขึ้นอยู่กับประกอบต่อไปนี้

1. ความยาวของตัวไดโพลหรือไดรเวนอิลิเมนต์ (driven element)
2. ความยาวของการสะท้อนคลื่น
3. ความยาวของตัวชี้นำ และจำนวนของตัวชี้นำ
4. ระยะห่าง (spacing) ระหว่างการวางส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 สายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณ (feeder line) ใช้สำหรับนำสัญญาณจากไดโพลเพื่อป้อนเข้ากับภาคขยายอาร์เอฟในจูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน์ สายนำสัญญาณที่ใช้กันอยู่จะมี 2 แบบคือ สายแบบทวินลีด (twin lead) หรือริบบอน (ribbon) อิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม กับสายกลมโคแอกเชียล (coaxial) อิมพิแดนซ์ 75 โอห์ม ดังรูปที่ 2.35

รูปที่ 2.35 สายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณชนิดริบบอน มีโครงสร้างเป็นตัวนำขนานหุ้มด้วยฉนวนมีน้ำหนักเบาราคาถูกในภาวะปกติจะใช้ได้ดี มีการสูญเสียของสัญญาณต่ำแต่มีข้อเสียคือพวกสัญญาณรบกวนต่างๆ เข้าไปรบกวนได้ง่าย และในขณะฝนตกหรืออากาศเปียกชื้นจะเปลี่ยนคุณสมบัติอย่างมากซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณสูง สายแบบริบบอนจึงเหมาะที่จะติดตั้งในบริเวณสถานที่ที่ไม่ค่อยมีสัญญาณรบกวน ฝนไม่ตกชุก และห่างไกลทะเล เพราะถ้าติดตั้งบริเวณมีไอน้ำเค็มจะเกิดความชื้นเกาะสายสัญญาณจะทำให้สูญเสียภายในสายมากที่สุด ซึ่งค่าอิมพิแดนซ์ของสายอากาศนี้สามารถหาได้จากสูตร

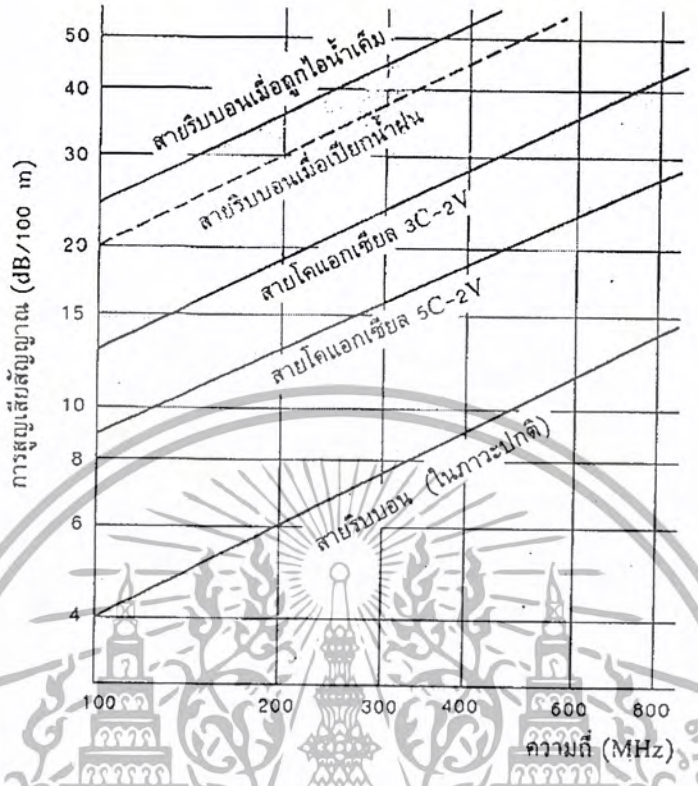
$$Z = 276 \log 2s/d$$

เมื่อ Z คือค่าอิมพิแดนซ์

s คือระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของสายนำเส้นหนึ่ง

d คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 แสดงกราฟการสูญเสียสัญญาณที่ความถี่ต่างๆของสายนำสัญญาณ

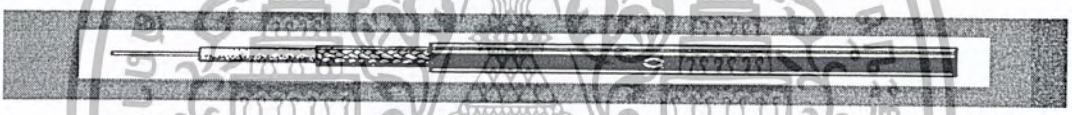
สายนำสัญญาณชนิดกลมโคแอกเชียล มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายชีลด์มีทองแดงตัวนำสัญญาณภายในดั่นด้วยฉนวน มีทองแดงถักเป็นตาข่ายหุ้มเป็นชีลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนต่างๆ แล้วหุ้มด้วยฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ในภาวะปกติจะมีการสูญเสียในสายมากกว่าสายริบบอน สายแบบนี้ราคาแพงกว่าสายริบบอน และขึ้นอยู่กับขนาดเพราะท้องตลาดผลิตออกมาหลายขนาด แบบเส้นโตจะมีราคาแพง และนำสัญญาณได้ดีกว่ารวมทั้งเกิดการสูญเสียน้อย

สายโคแอกเชียลมีข้อดีคือ ป้องกันการรบกวนจากภายนอกได้ดี พวกน้ำฝน ความชื้น และไอน้ำเค็มมีผลต่อการนำสัญญาณของสายโคแอกเชียล ดังนั้นบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนมาก บริเวณที่มีฝนตกชุก และบริเวณใกล้ทะเล ควรพิจารณานำสายโคแอกเชียลมาใช้ อย่างไรก็ตามข้อมูลเฉพาะของสายโคแอกเชียลแต่ละชนิดเป็นสิ่งสำคัญที่เราต้องพิจารณา เพราะสายแต่ละขนาดมีผลต่อการลดทอนที่ความถี่ต่างๆไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายเคเบิลโคแอกเซียลสำหรับใช้งานย่านความถี่สูง

แบบของสาย	เส้นผ่าศูนย์กลางของสาย (mm)				อิมพิแดนซ์ (โอห์ม)	ความต้านทานต่อ 1 km ที่ 20°C	การลดทอน (dB/km)			น้ำหนักประมาณ (kg/km)
	ตัวนำแกนใน	ฉนวน	ตัวนำด้านนอก	ความโตรวมเปลือกนอก			100 MHz	200 MHz	770 MHz	
5D-FB	1/1.8	5.0	5.7	7.5	50	7.05	65	96	190	72
8D-FD	1/2.8	7.8	8.8	11.1	50	2.80	43	70	106	166
10D-FB	1/3.5	10.0	11.0	13.0	50	1.79	33	49	100	237



แบบของสาย	เส้นผ่าศูนย์กลางของสาย (mm)				อิมพิแดนซ์ (โอห์ม)	ความต้านทานต่อ 1 km ที่ 20°C	การลดทอน(dB/km)			น้ำหนักประมาณ (kg/km)
	ตัวนำแกนใน	ฉนวน	ตัวนำด้านนอก	ความโตรวมเปลือกนอก			100 MHz	200 MHz	770 MHz	
3C-FV	1/0.65	3.1	3.7	5.4	75	54.0	99	160	320	35
5C-FV	1/1.05	5.0	5.7	7.5	75	21.1	70	112	220	79
7C-FV	1/1.50	7.3	8.2	10.4	75	10.2	49	79	160	140

รูปที่ 2.37 คุณสมบัติเฉพาะของสายโคแอคเชียลแบบต่างๆ (Nippon Antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้าง
เครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ และแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดความเข้มสัญญาณวิทยุ

จากรูปเป็นบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับความเข้มของวิทยุ โดยสายอากาศจะถูกหมุนด้วยสเต็ปปิ้งมอเตอร์สายอากาศจะทำหน้าที่รับสัญญาณวิทยุความถี่ 87.5-107.5 MHz ผ่านเครื่องรับวิทยุ จากนั้นจึงนำระดับสัญญาณเอจีซี ที่ได้จากเครื่องรับไปเปลี่ยนเป็นรหัส ไบนารี่ เพื่อส่งข้อมูลไปยังวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการแปลงข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน UART แล้วทำการส่งผ่านเข้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้แล้วส่งออกมาแสดงผลทางจอมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบสายอากาศแบบยากิ

1. การหาขนาดความยาวของแผงรับสัญญาณ

ความยาวของไดโพล = ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

= $\lambda/2$, เมื่อ λ (เมตร)

= 300/f

โดยที่ f คือ ความถี่ของช่องที่รับ มีหน่วยเป็น MHz

เช่น ต้องการหาความยาวคลื่น ที่ความถี่ 55.25 MHz

จากสูตร $\lambda = v/f$

แทนค่า $\lambda = 300/52.25$

ได้ความยาวคลื่น = 5.43 เมตร

เนื่องจากความยาวไดโพล = $\lambda/2$

ดังนั้นไดโพลยาว = 2.7 เมตร

ความฝืดของวัสดุอีกกรณีหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เพราะการที่เราคิดค่าความยาวคลื่น และหาค่าความยาวไดโพลได้ออกมาแล้ว นั่นเราคิดการเคลื่อนที่ของความถี่วิทยุในชั้นบรรยากาศโลก ซึ่งความเร็วของการเคลื่อนที่เท่ากับ 300 ล้าน เมตรต่อวินาที (เท่ากับความเร็วแสง) แต่เมื่อเราสร้างไดโพลมาจากอลูมิเนียม สัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความฝืดของตัวนำ จากกรณีดังกล่าวเราให้ความฝืดของอลูมิเนียมลดทอนความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ นั่นหมายความว่าหากเราสร้างสายอากาศให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เราต้องตัดสายอากาศให้สั้นกว่าที่คำนวณ 5 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น จากตัวอย่างจึงต้องสร้างสายอากาศที่ความถี่ 55.25 MHz เท่ากับ 2.7 คูณ 0.95 ได้ความยาวจริงเท่ากับ 2.57 เมตร

2. ความยาวของตัวสะท้อนคลื่นหรือรีเฟลกเตอร์ (Reflector Element) องค์ประกอบนี้ต้องสร้างยาวกว่าไดโพลเล็กน้อยคือต้องสร้างให้ยาวกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์

3. ความยาวของตัวชี้นำ (Director Element) ตัวชี้นำต้องสร้างให้สั้นกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์

อีลีเมนต์ไดโพลนับเป็นองค์ประกอบอันดับแรกของระบบสายอากาศ คำว่าองค์ประกอบเราใช้ทับศัพท์ว่า "อีลีเมนต์" เพื่อความเข้าใจในเรื่องอีลีเมนต์จึงขอสรุปดังนี้

สายอากาศที่มีไดโพลอย่างเดียว เรียกว่าสายอากาศ 1 อี

สายอากาศที่มีตัวสะท้อน และไดโพล เรียกว่าสายอากาศ 2 อี

สายอากาศที่มีไดโพล, ตัวสะท้อน และตัวชี้นำ เรียกว่าสายอากาศ 3 อี

สายอากาศที่มีไดโพล, ตัวสะท้อน, ตัวชี้นำ 2 ตัว เราเรียกว่าสายอากาศ 4 อี

นั่นหมายความว่า หากมีองค์ประกอบเท่าไรเราจะเรียกเท่านั้นอี แต่ในความเป็นจริงอีลีเมนต์ที่เพิ่มเติมเข้าไปได้เรื่อยๆคือจำนวนของตัวชี้นำนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติของสายอากาศยากิทำให้เราทราบว่าเมื่ออีลีเมนต์เพิ่มมากขึ้นอัตราขยายจะเพิ่มตามด้วย

4. ระยะห่างระหว่างส่วนประกอบ

E1-E2 = 0.2 λ

E2-E3 = 0.15λ

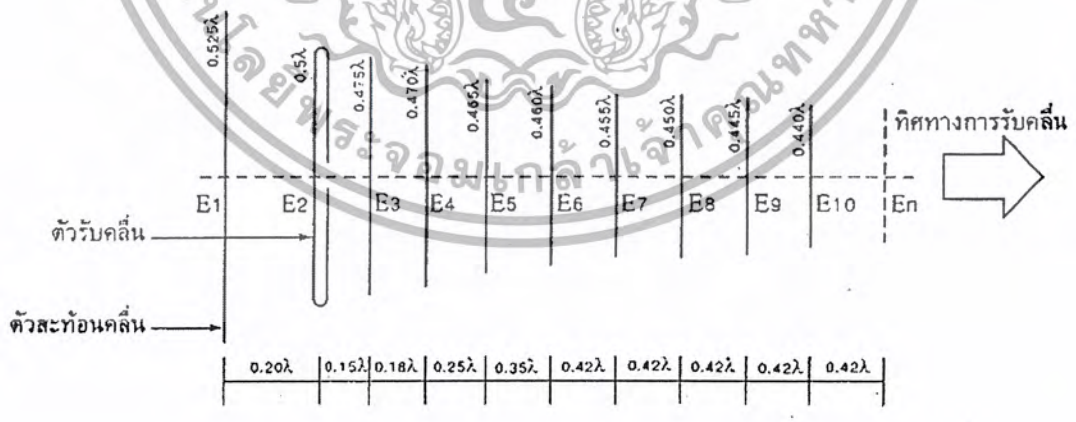
E3-E4 = 0.18λ

E4-E5 = 0.25λ

E5-E6 = 0.35-0.42λ

E ต่อๆไป = 0.42λ

ถ้าสังเกตความยาว และระยะของแผงรับสัญญาณโทรทัศน์ที่ผลิตจากหลายบริษัทจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกันแต่ไม่เท่ากันเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และความถี่ที่ใช้คำนวณ บางบริษัทจะคิดว่าความต้านทานของโลหะที่จะทำให้คลื่นเดินทางช้าเข้าไปด้วยปกติความถี่ที่ใช้คำนวณของแต่ละช่องใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างพาหะภาพกับพาหะเสียงเป็นแผงรับเฉพาะช่องหรือบางแบบจะใช้ค่าเฉลี่ยของแบนด์มาคำนวณเป็นเสาแบบรวมช่อง เช่นใช้ได้ตั้งแต่ช่อง 5 ถึงช่อง 12 เป็นต้นจากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่าพื้นที่ที่ยากต่อการรับสัญญาณโทรทัศน์นั้นจะมีปัญหาสัญญาณภาพอ่อนส่วนสัญญาณเสียงมักไม่มีปัญหาเราจึงแก้ปัญหาด้วยการนำเอาความถี่พาหะภาพของที่มีปัญหามาคำนวณออกแบบเฉพาะช่องโดยใช้ตัวชี้นำมีความยาวเป็น 0.95 ของไดโพลเท่ากันทุกอันมีโครงสร้างรวมประมาณ 8 อิลิเมนต์ก็จะทำให้รับสัญญาณภาพทางไกลได้ดีกว่าแผงแบบรวมช่องที่ซื้อมาจากท้องตลาดโดยเฉพาะช่อง 12 และช่อง 3



รูปที่ 3.2แผงรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตราขยายสูง

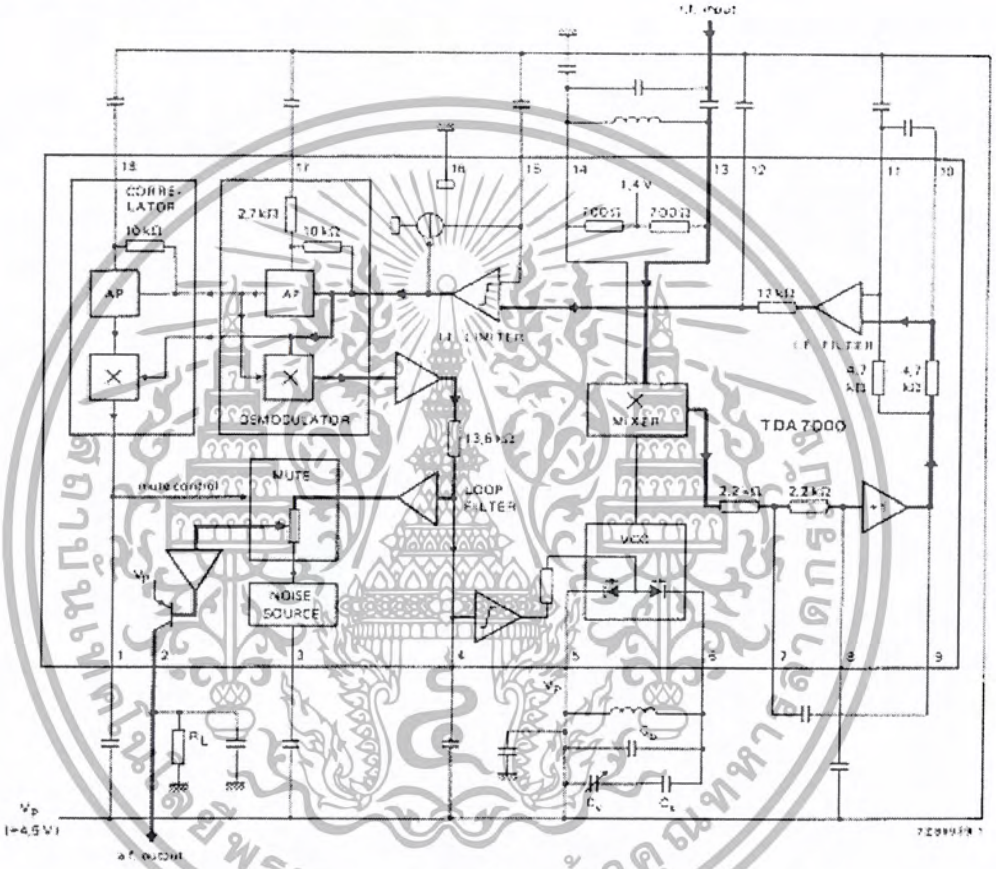
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม

วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม ที่ใช้ในการทำงานครั้งนี้ เป็นการใช้ไอซี สำเร็จโดยเป็นวงจรรวมวงจรออสซิลเลเตอร์แอมปลิไฟเออร์ (Oscillator Amplifier) และดีเทคเตอร์ (Detector) ภายในไอซีตัวเดียว เนื่องจากเราต้องการใช้ เอจีซี ในการวัด FIELD STENGTH ในส่วนต่อไป

ดังนั้น ต้องออกแบบวงจรเอจีซีเพิ่มเติม

ไอซีเบอร์ TDA7000 มีขาการทำงาน ดังนี้



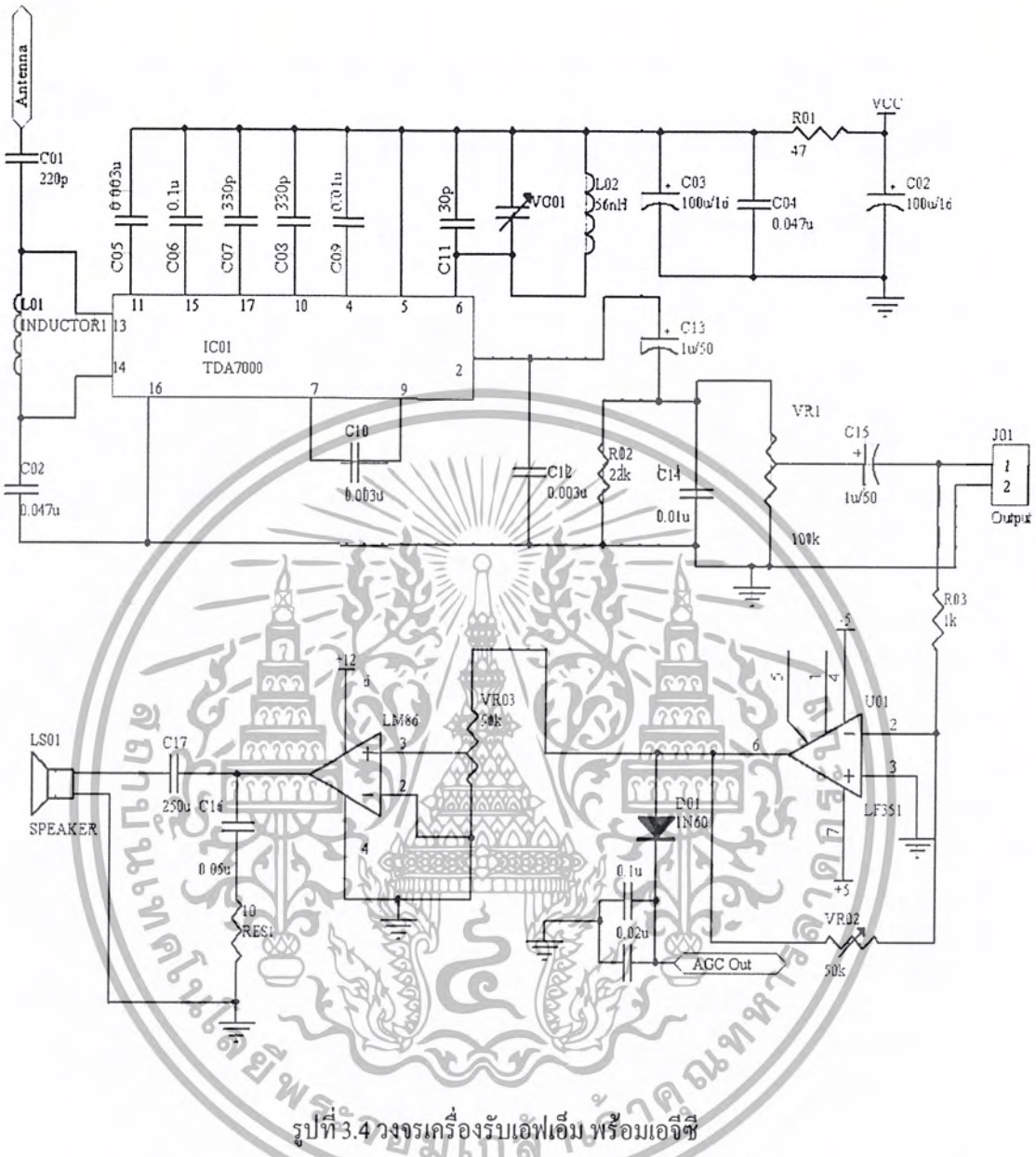
รูปที่ 3.3 วงจรภายในของไอซี TDA7000

ขาที่ 2 เอาท์พุทของวงจร (AUDIO)

ขาที่ 7 เอาท์พุทของวงจรมิกเซอร์ ตัวแรก

ขาที่ 13 อินพุทของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



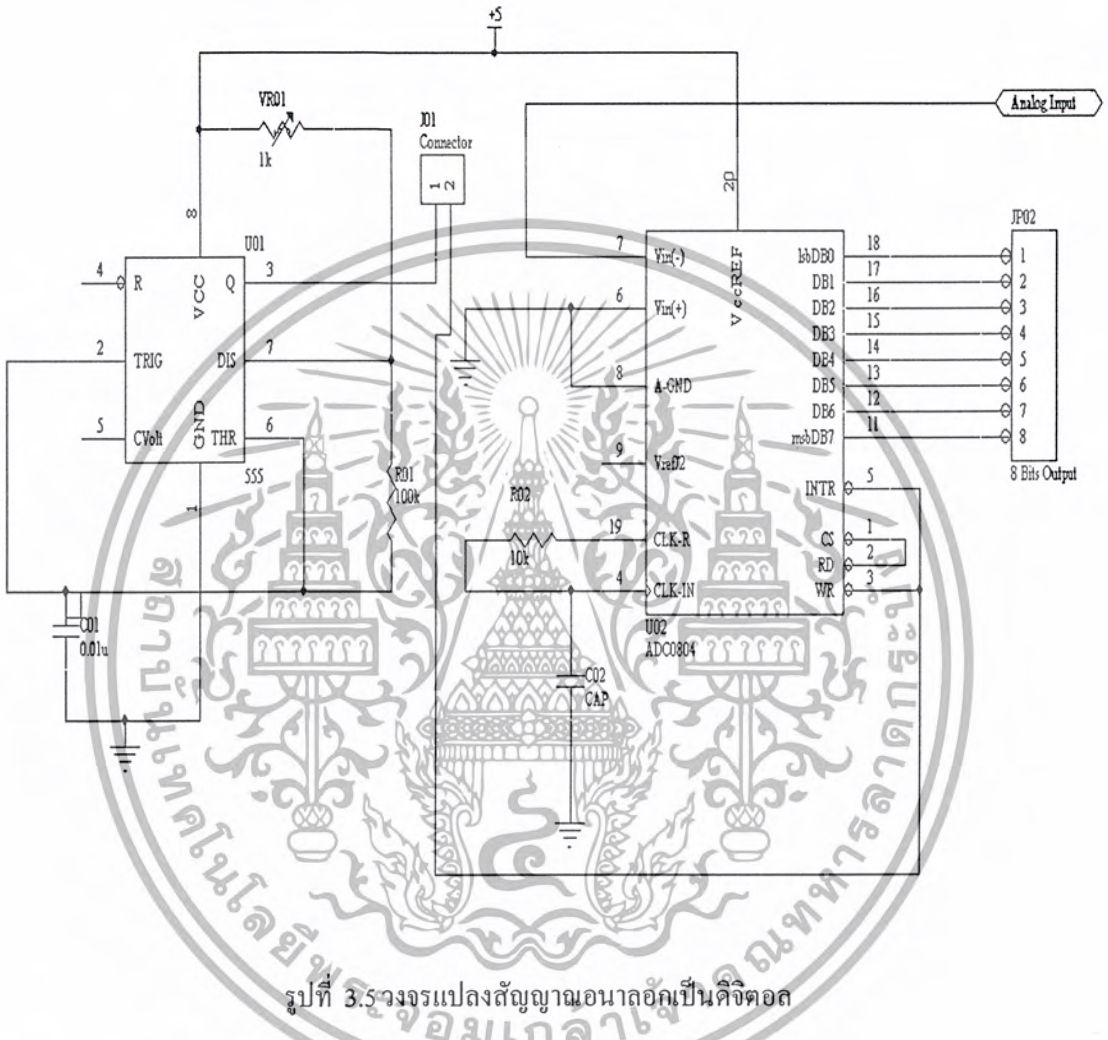
รูปที่ 3.4 วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม พร้อมเอจีซี

เนื่องจากสัญญาณข่าวสารที่ได้เป็น สัญญาณกระแสสลับวงจร เอจีซี ที่ใช้งานนี้ทำจากไดโอด 1 ตัว เพื่อให้ได้ไฟในช่วงบวก และต่อกับตัวเก็บประจุ เพื่อทำให้สัญญาณที่ออกมาเป็นไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to digital)

ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ ADC0804 ในการทำงานโดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการไหลเข้าออกของข้อมูลโดยจะได้วงจรดังนี้



รูปที่ 3.5 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลมีขาการทำงาน ดังนี้

ขาที่ 1 และ 2 ต่อเชื่อมด้วยกัน

ขาที่ 3 และ 5 ต่อเชื่อมกับสัญญาณอินเตอร์รัพท์

ขาที่ 11 ถึง 18 เป็นเอาท์พุทของวงจร โดยส่งค่าออกเป็นสัญญาณ TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่ใช้งานเป็นแบบไฮบริดจ์ ซึ่งขับสเต็ป (step) ละ 7.5 องศา วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ใช้การควบคุมสัญญาณจาก MCS51 ในการควบคุมการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์โดยใช้ ไอซีเบอร์ ULN2003 ในการทำงานเป็นบัฟเฟอร์ และเพิ่มแรงดันให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์โดยมีขาการทำงาน ดังนี้

ขาที่ 1 ถึง 8 เป็นอินพุท

ขาที่ 9 เป็นกราวด์ของไอซี

ขาที่ 10 ถึง 17 เป็นเอาท์พุทของวงจร

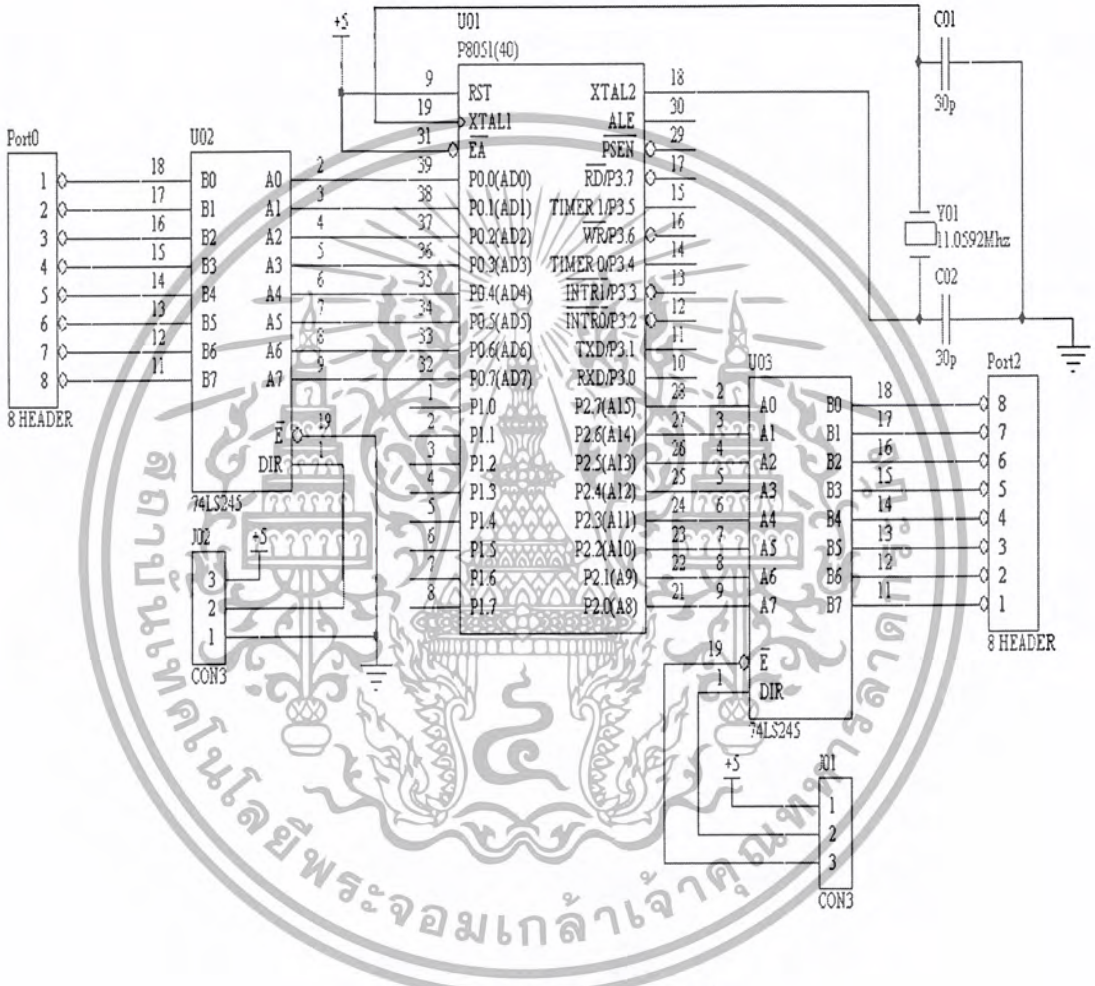
ขาที่ 18 เป็นที่ป้อนไฟเลี้ยง

รูปที่ 3.6 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบมาใช้ทำงานเป็นอุปกรณ์อเนกประสงค์โดยเป็นตัวควบคุมการทำงานของมอร์เตอร์,รับ เอจีซี จากวงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม ส่ง และรับข้อมูลจาก คอมพิวเตอร์โดยมีรูปวงจรดังนี้



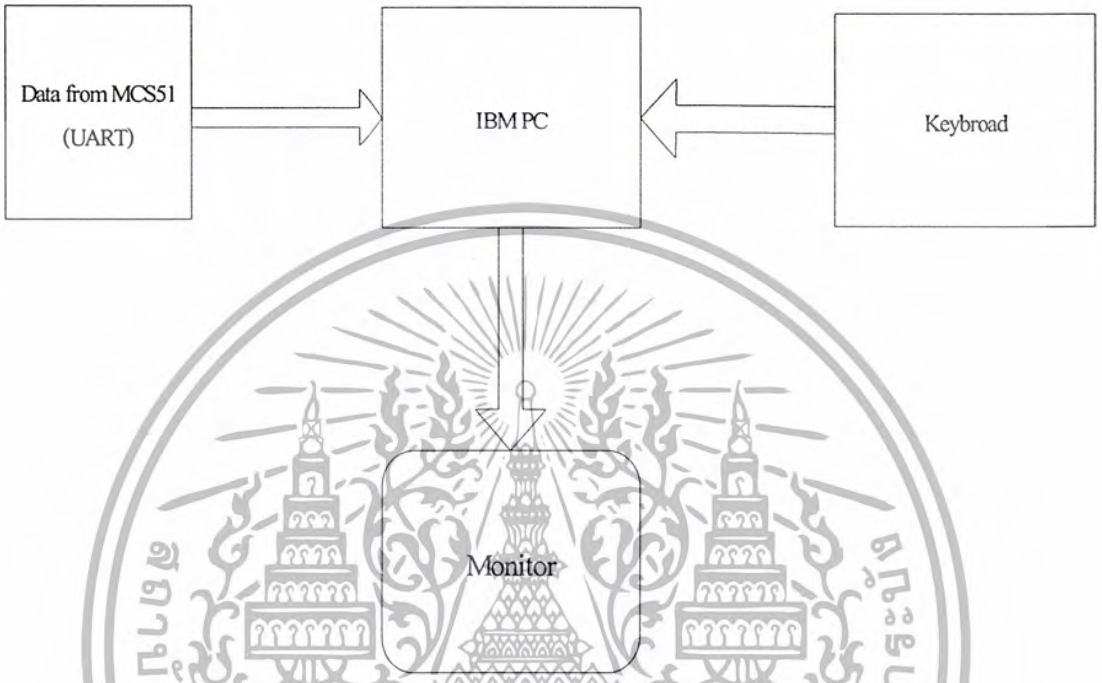
รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรเลอร์

โดยกำหนดให้ P0 ทำงานเป็นส่วนของการเชื่อมต่อกับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ และ P2 เป็นส่วนของการควบคุมการทำงาน โดยที่จะใช้ขาของ P3.0 และ P3.1 ใช้งานต่อกับไอซี MAX232 เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 โปรแกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์

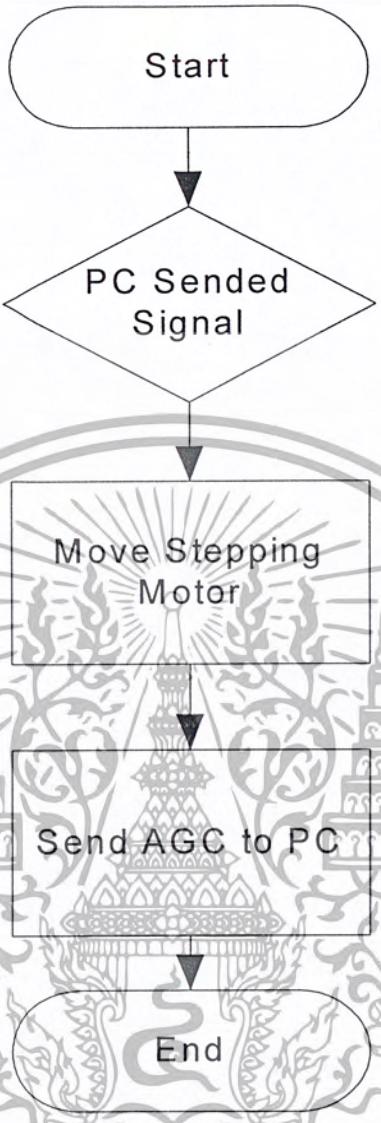
เป็นการควบคุมการเริ่มต้นของระบบ และรับข้อมูลที่ได้จาก MCS51 ผ่านทางซีเรียลพอร์ท (Serial Port) และแสดงผลออกทางจอมอนิเตอร์โดยมีบล็อกไดอะแกรม ดังนี้



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรเลอร์

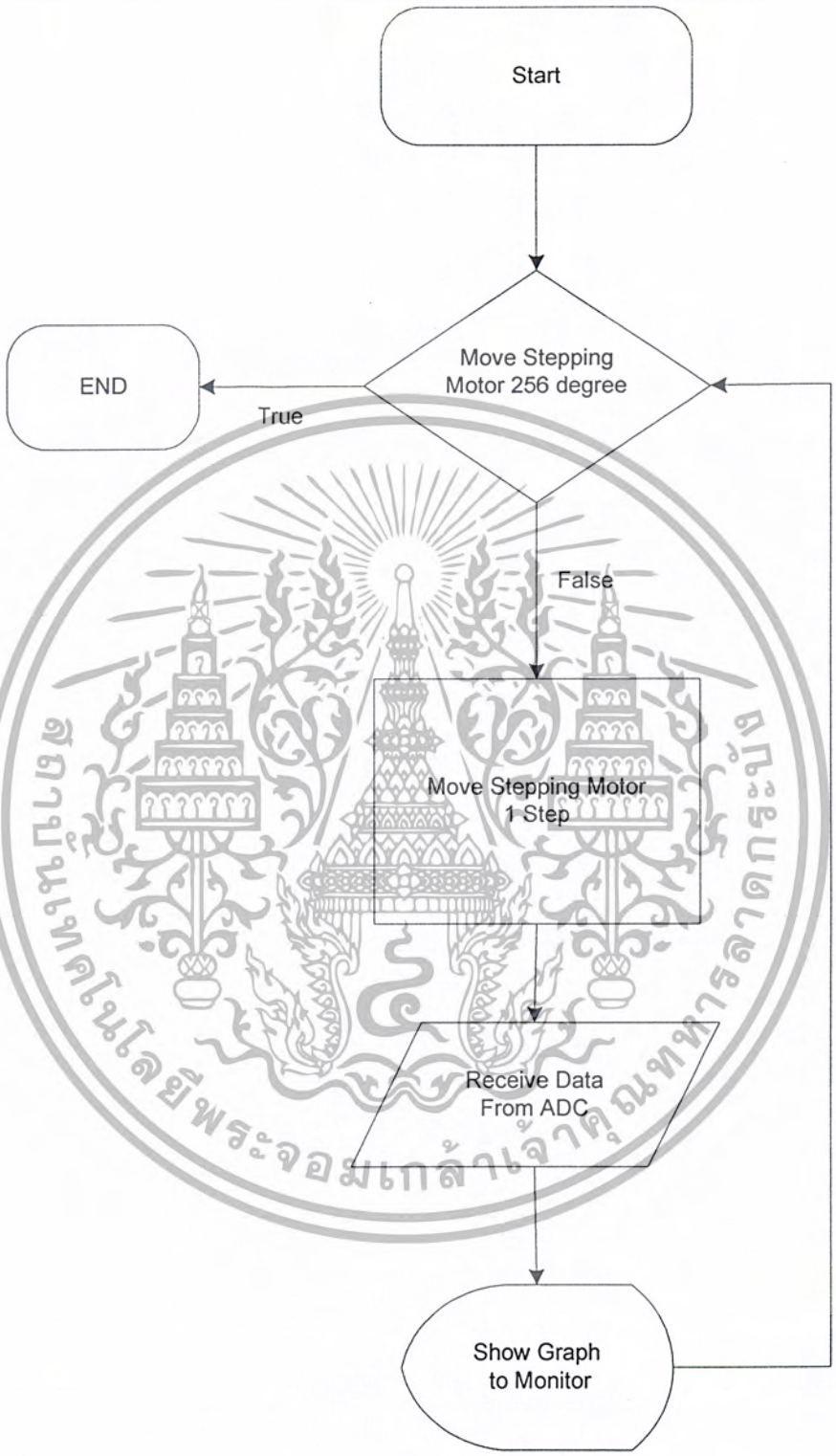
จากบล็อกไดอะแกรมส่วนของไมโครคอนโทรเลอร์นั้น จะทำงานเป็นตัวควบคุมมอเตอร์ และการรับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ซึ่งจะใช้ภาษาแอสเซ็มบี้ (Assembly) เป็นการโปรแกรมโดยรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านซีเรียลพอร์ท (Series Port) แบบ UART ซึ่งในส่วนของคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นการประมวลผลลางที่รับข้อมูลองศา และความเข้มของสนามไฟฟ้าขนาด 256 ระดับ และรับการสั่งการ การทำงานโดยผ่านคีย์บอร์ด และ เมาส์เมื่อรับข้อมูลมาแล้วจะทำการแสดงผลออกทางมอนิเตอร์ โดยแสดงเป็นแพทเทอร์นของสายอากาศที่บอกขนาดความแรงของสัญญาณ โปรแกรมที่ใช้งานบนเพอร์ซะนอลคอมพิวเตอร์ (persnal computer) หรือ (PC) นี้จะใช้โปรแกรมวิสชวลเบสิก (Visual Basic) ในการเขียนโปรแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Flow Chart การทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมบน PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 การทดลองสเต็ปปิ้งมอเตอร์

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ในการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

อุปกรณ์

1. สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (ยังไม่ได้ทำการเชื่อมกับระบบเฟือง และสายอากาศ)
2. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
3. โปรแกรมสั่งงาน
4. แหล่งจ่ายไฟ

วิธีการทดลอง

1. ต่อสเต็ปปิ้งมอเตอร์เข้ากับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ต่อแหล่งจ่ายไฟเข้ากับวงจร
3. สังเกตผลการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

ผลการทดลอง

หลังจากการทดสอบการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แล้วโดยที่โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบจะทำการหมุนสเต็ปปิ้งมอเตอร์สักพักแล้วจะทำการหมุนย้อนกลับพบว่าตัวสเต็ปปิ้งมอเตอร์สามารถทำงานได้โดยทำงานได้ทั้งหมุนทวนเข็ม,ตามเข็ม และหมุนได้ครบรอบ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แล้วสรุปได้ว่า วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถทำการควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้

4.2 การทดลองวงจร เครื่องรับเอฟเอ็ม

4.2.1 การทดลองวงจรภาค front end

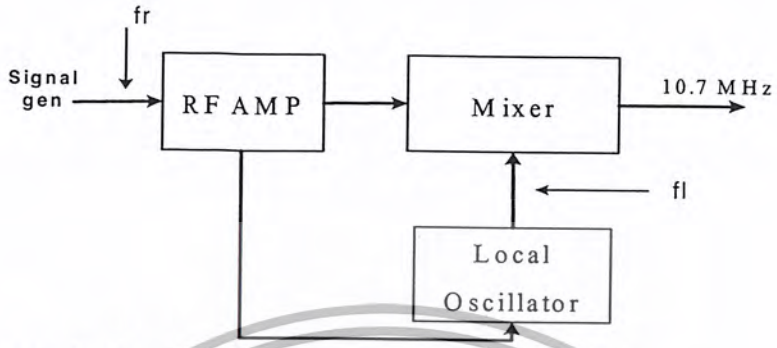
จุดประสงค์ เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องรับเอฟเอ็มส่วน front end ว่าทำงานถูกต้องหรือไม่

อุปกรณ์

1. วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม
2. Spectrum analyzer
3. Power supply
4. Signal generator

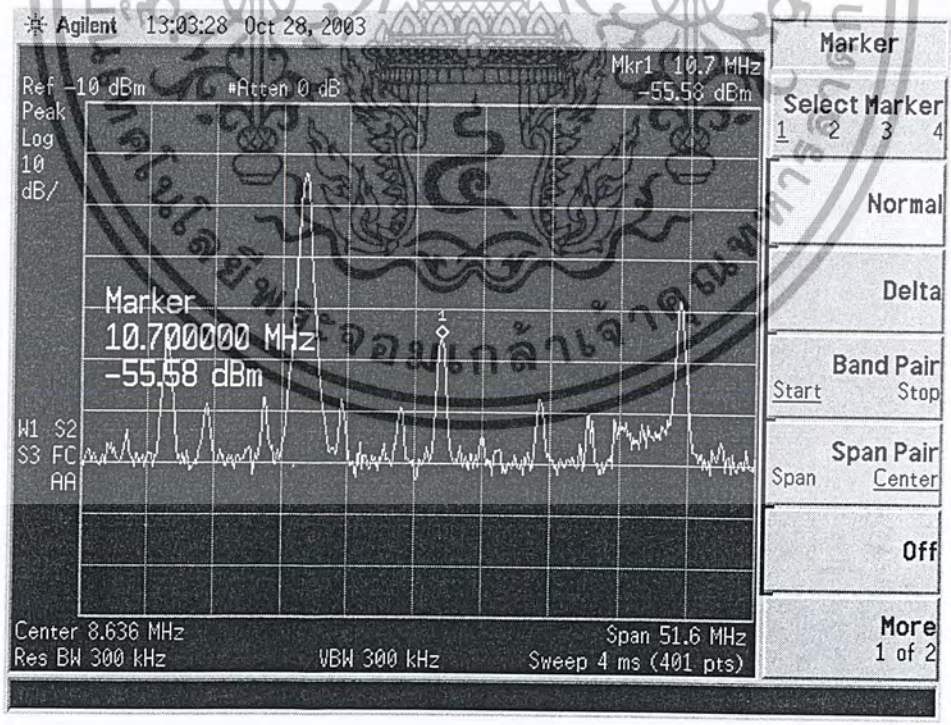
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง



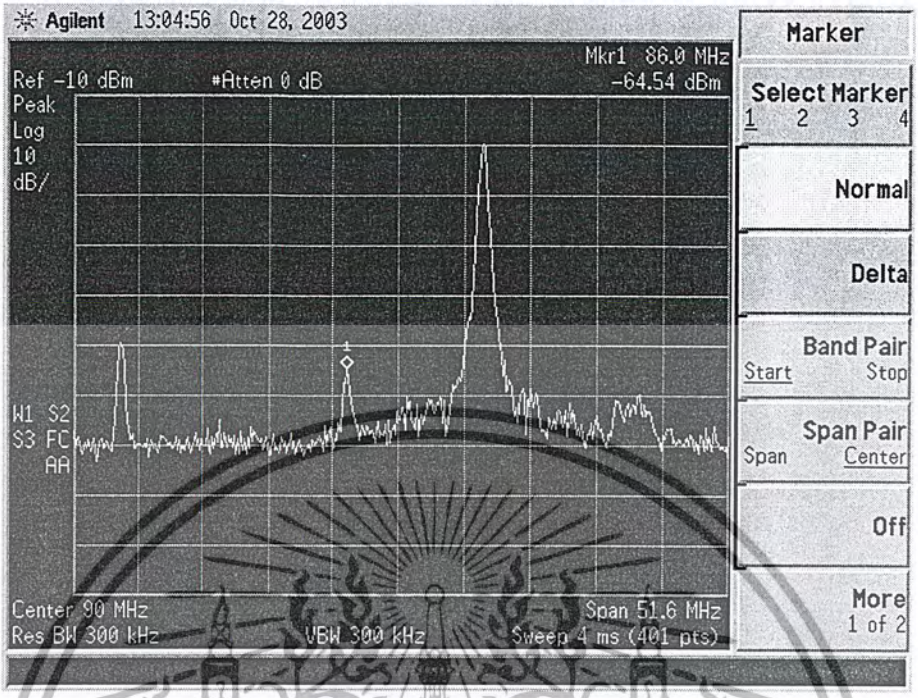
1. ต่อวงจร ดังรูป
2. ทำการป้อนค่าความถี่ 96.5 MHz ขนาด 2 Vpp จาก Signal generator
3. วัดค่าความถี่ fr , fl และ o/p ของมิกเซอร์ (Mixer) ดังรูป ที่ขา 7 โดยใช้ Spectrum analyzer บันทึกผล
4. นำมาคำนวณให้ได้ค่าดังสมการ |fl - fr| =10.7 MHz (โดยวัดที่หลังมิกเซอร์แล้วต้องได้ 10.7 เสมอ ไม่ว่าจะป้อนความถี่ใดๆก็ตาม)

บันทึกผลการทดลอง รูปจากจอ Spectrum analyzer ของ ความถี่ fr , fl และ o/p ของมิกเซอร์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิกเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดง Spectrum ของความถี่ fI และ fr

จาก $|fI - fr|$ จะได้

$fr = 96.5$ และ $fI = 86$ MHz

$|fI - fr| = 10.5$ MHz

สรุปผลการทดลอง

ภาค front end ของวงจรที่ทำการออกแบบสามารถนำความถี่ 10.7 MHz ออกมาจากความถี่ 96.5 MHz ดังนั้น ที่ความถี่ 96.5 MHz ภาค front end สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

4.2.2 การทดลองหาช่วงของการรับสัญญาณ

จุดประสงค์ หาช่วงในการรับสัญญาณว่า สามารถรับสัญญาณในช่วงความถี่ 88.5 – 107 MHz

อุปกรณ์

1. วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม
2. Spectrum analyzer
3. Power supply
4. Signal generator

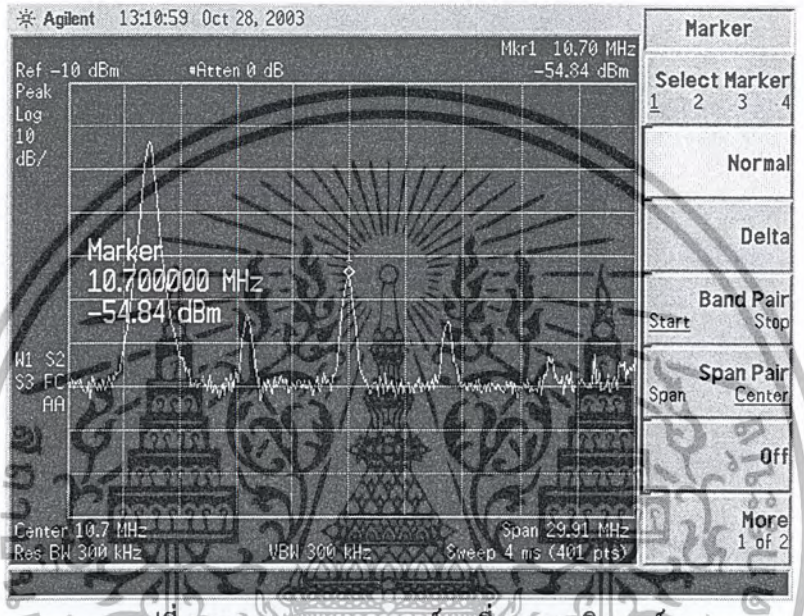
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

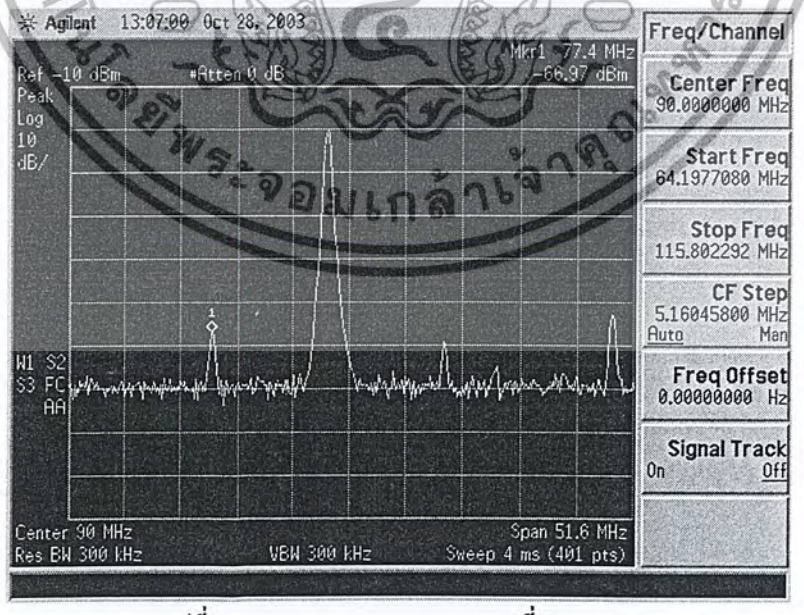
1. ต่อวงจร ดังรูปการทดลองที่ 2.1
2. ป้อนสัญญาณจาก Signal generator ขนาด 1 Vpp ความถี่ 88 MHz 107MHz
3. วัดค่าความถี่ fr , fl และ o/p ของ Mixer บันทึกผลลงตาราง

ผลการทดลอง

ความถี่ 88 MHz



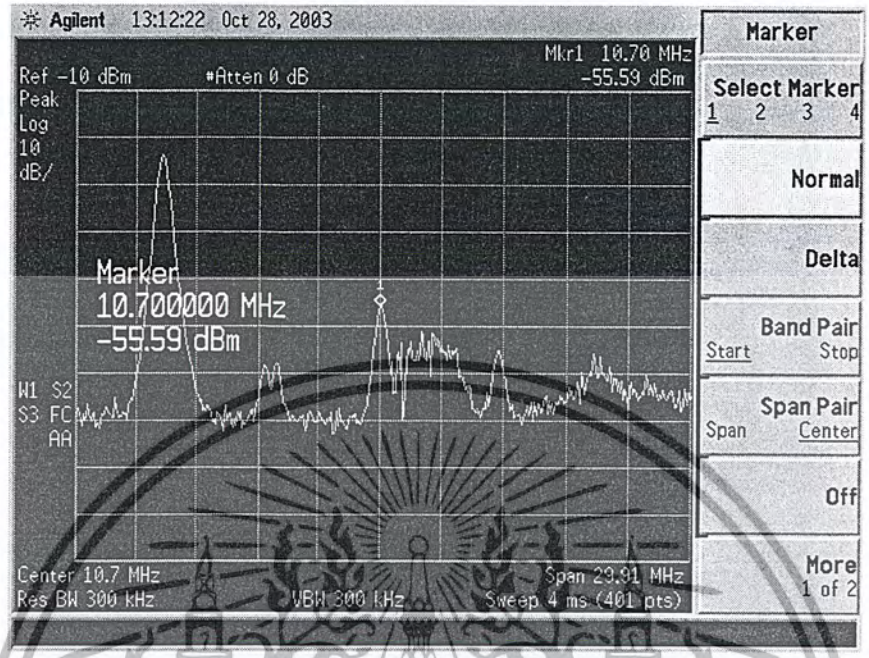
รูปที่ 4.3 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิกเซอร์



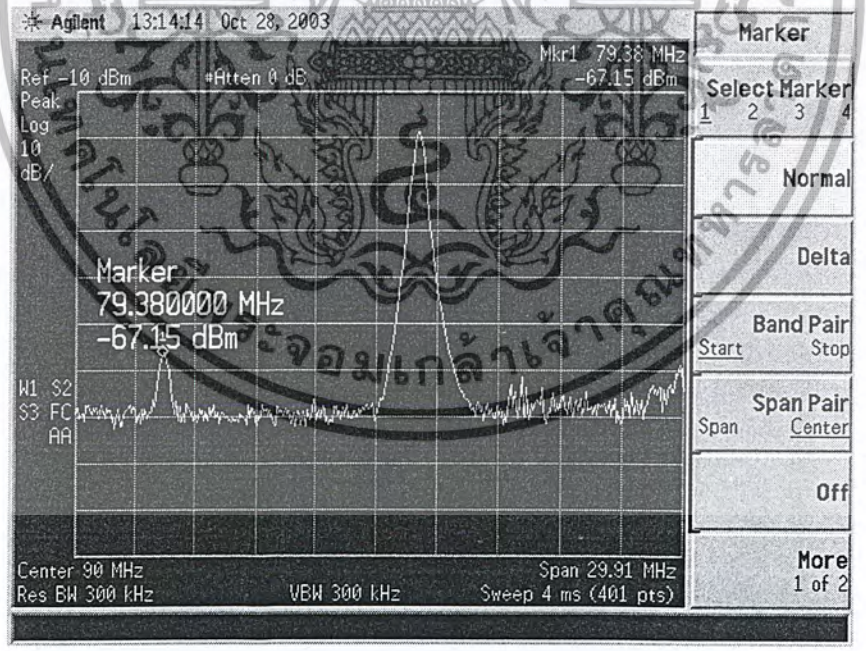
รูปที่ 4.4 แสดง Spectrum ของความถี่ fl และ fr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 90 MHz



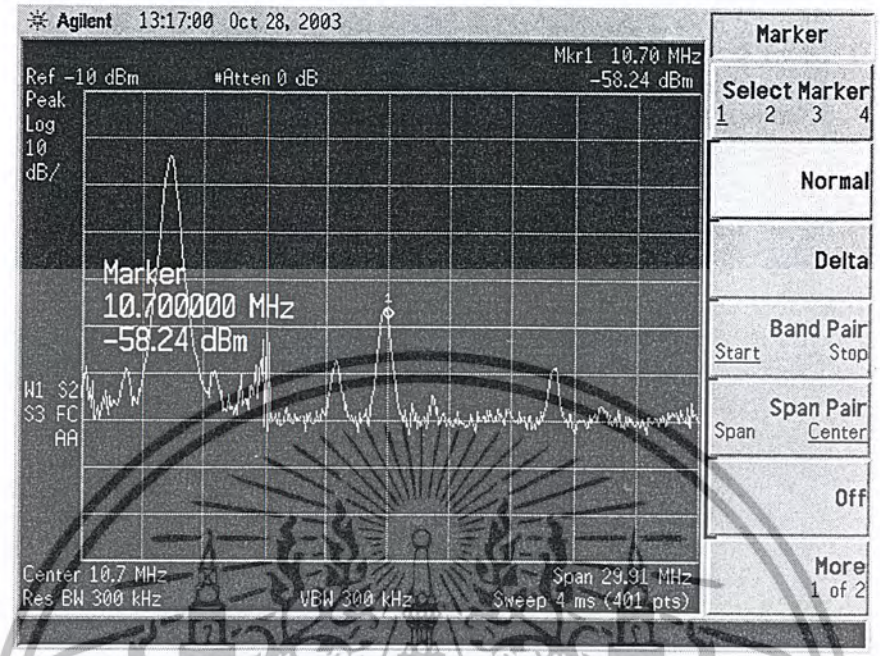
รูปที่ 4.5 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิกเซอร์



รูปที่ 4.6 แสดง Spectrum ของความถี่ fl และ fr

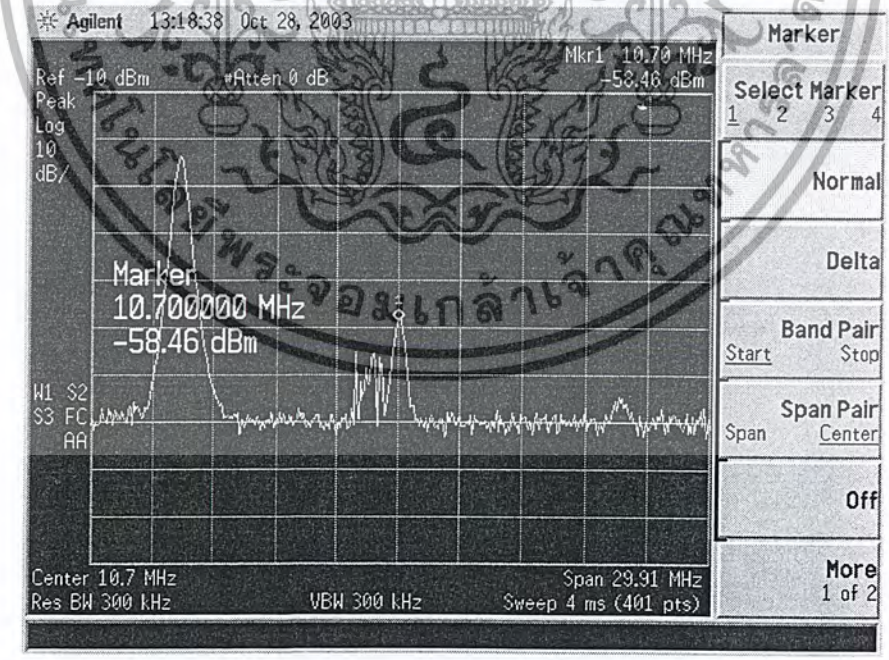
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 92 MHz



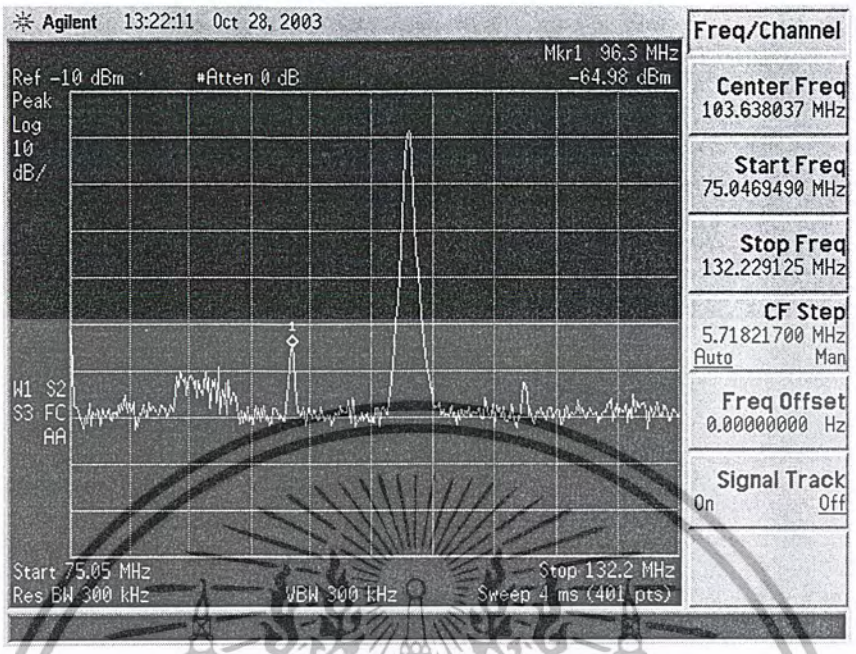
รูปที่ 4.7 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิกเซอร์

ความถี่ 107 MHz



รูปที่ 4.8 แสดง Spectrum เอาท์พุทที่ออกจากมิกเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดง Spectrum ของความถี่ fl และ fr

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Frequency of Signal generator	Frequency : fr	Frequency : fl	o/p of Mixer
88	88	77.4	10.6
90	90	79.38	10.62
92	92	81.31	10.69
107	107	96.3	10.7

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า วงจรสามารถรับสัญญาณในช่วงความถี่ 87.5 – 107.5 MHz ได้

4.2.3 การทดลองวงจร เครื่องรับเอฟเอ็ม

จุดประสงค์ วัดสัญญาณ เอจีซี เทียบกับสัญญาณอินพุท (จาก Signal generator)

อุปกรณ์

1. วงจรเครื่องรับเอฟเอ็ม
2. Oscilloscope
3. Power supply
4. Signal generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจร ดังรูปการทดลองที่ 2.1
2. ป้อนสัญญาณจาก Signal generator ความถี่ 107 MHz ขนาด
3. วัดค่าระดับสัญญาณ เอจีซี เทียบกับ ระดับสัญญาณของ Signal generator

ผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง หรือ บันทึกจาก scope

ระดับแรงดันที่เจนเนอร์เรเตอร์	ระดับแรงดันที่วงจร AGC
1mV	180mV
200mV	190mV
800mV	490mV
1000mV	520mV
2000mV	600mV

4.3 การทดลองวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

จุดประสงค์ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

อุปกรณ์

1. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล
2. แหล่งจ่ายไฟ 0-5 โวลต์

วิธีการทดลอง

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟเข้ากับวงจรทดลอง
2. ปรับแรงดันอินพุท เป็น 0 โวลต์
3. บันทึกผลการทดลองโดยบันทึกสัญญาณ ไบนารี่ ทั้ง 8 บิต
4. ปรับแรงดันเพิ่มขึ้นทีละ 0.2 โวลต์ แล้วบันทึกผล จนระดับแรงดันถึง 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง 4.3

วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ระดับโวลต์เตจที่ป้อน (โวลต์)	รหัสไบนารีที่ได้จากการแปลงสัญญาณ	ระดับเลขฐานสิบที่ได้จาก ADC
0.00	00000000	0
0.20	00001100	12
0.40	00010110	22
0.60	00100000	32
0.80	00101010	42
1.00	00110110	54
1.20	01000000	64
1.40	01001011	75
1.60	01010110	86
1.80	01011110	94
2.00	01101001	105
2.20	01110010	114
2.40	01111110	126
2.60	10001010	138
2.80	10010011	147
3.00	10011101	157
3.20	10101000	168
3.40	10110010	178
3.60	10111100	188
3.80	11000101	197
4.00	11010000	208
4.20	11011100	220
4.40	11100101	229
4.60	11101111	239
4.80	11111011	251
5.00	11111111	255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

วงจรสามารถทำงานได้โดยทำการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ DCไปเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต ได้โดยสามารถทำการแปลงจากระดับ 0 โวลต์จนถึง 5 โวลต์โดยสัญญาณ ไบนารี่ โดยที่ช่วงระดับการเปลี่ยนแปลง 256 ระดับ โดยมีการเพิ่มจาก 0 ถึง 255

4.4 การทดลองสายอากาศ

4.4.1 การวัดแพทเทอร์นสายอากาศในแนวตั้ง (vertical)

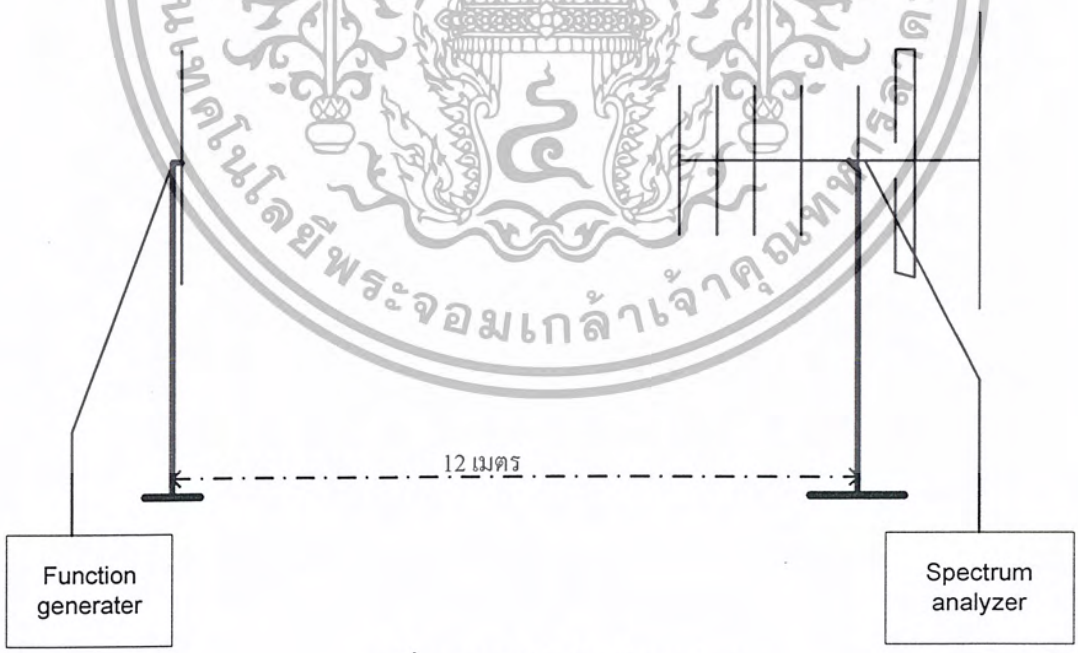
จุดประสงค์ วัดแพทเทอร์นของสายอากาศ

อุปกรณ์

1. function generator เบอร์ 8648C Agilent
2. spectrum analyzer รุ่น E4403B Agilent
3. สายอากาศยากิ (ที่ทำการสร้างขึ้น)
4. สายอากาศไดโพล

วิธีทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ดังรูปโดยตั้งสายอากาศให้มีระยะห่าง 12 เมตร



รูปที่ 4.10 การจัดอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต่ออุปกรณ์โดยต่อ spectrum เข้าที่สายอากาศยากิที่สร้างขึ้นแล้วต่อ function generator เข้ากับสายอากาศไดโพล

3. ปรับ function generator ไปที่ความถี่ 87.5 MHz กำลังส่ง 22dBm

4. อ่านค่า power (dBm) ที่ได้จาก spectrum แล้วทำการบันทึกค่า

5. หมุนสายอากาศที่สร้างไปทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศาแล้วบันทึกค่า dBm จาก spectrum analyzer

6. ปรับ function generator ไปที่ความถี่ 98 MHz และ108.5 MHz กำลังส่ง 22 dBm แล้วทำการทดลองเหมือนกับข้อ 4 และข้อ 5

7. นำค่าที่ได้ไปวาดกราฟ

ผลการทดลองที่ 4.4.1

การวัดแพทเทอร์นสายอากาศในแนวตั้ง

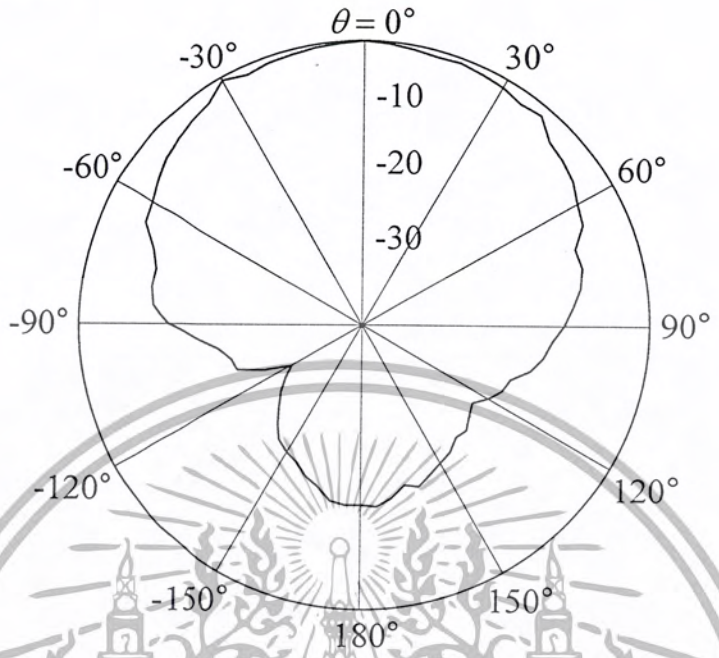
มุม (องศา)	ความถี่ 87.5 MHz	ความถี่98MHz	ความถี่108.5MHz
0	-18.9	-26.0	-35.60
5	-19.0	-26.3	-35.90
10	-19.5	-26.4	-36.50
15	-19.7	-26.5	-36.80
20	-19.5	-26.9	-37.50
25	-20.0	-27.4	-38.20
30	-20.3	-27.8	-39.40
35	-20.8	-28.5	-40.80
40	-20.3	-29.0	-41.60
45	-22.1	-29.5	-42.60
50	-22.6	-29.8	-43.90
55	-23.2	-30.5	-44.70
60	-24.4	-32.8	-45.80
65	-25.0	-34.5	-47.80
70	-27.4	-35.2	-48.50
75	-27.3	-36.4	-50.70
80	-28.1	-38.4	-51.60
85	-29.3	-39.0	-52.40
90	-30.8	-40.5	-53.00
95	-32.4	-41.9	-53.50
100	-33.2	-42.8	-54.10
105	-34.7	-43.5	-53.90
110	-36.7	-44.8	-53.80
115	-37.2	-45.2	-53.20
120	-38.4	-43.1	-52.90
125	-39.9	-45.0	-52.60
130	-39.2	-42.8	-52.10
135	-38.0	-42.5	-51.50
140	-38.2	-42.1	-50.80
145	-37.3	-41.8	-50.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

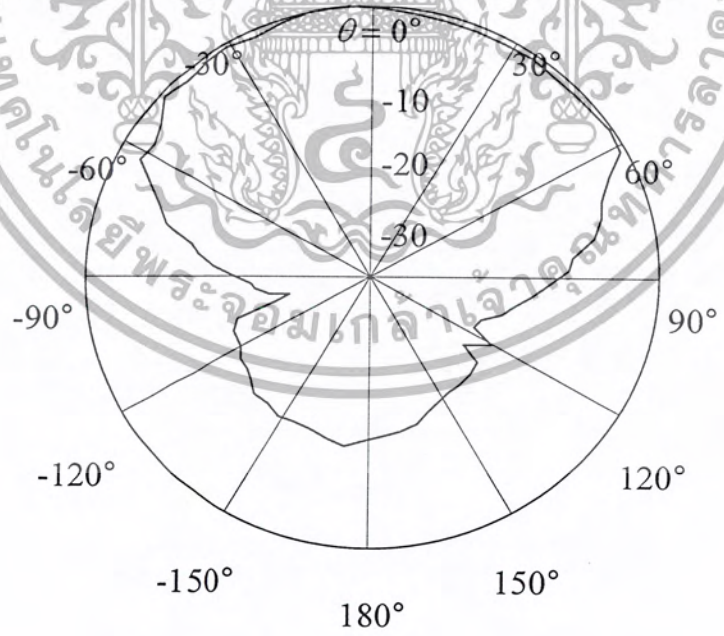
มุม (องศา)	ความถี่ 87.5 MHz	ความถี่98MHz	ความถี่108.5MHz
150	-36.6	-41.6	-49.90
155	-35.8	-41.1	-49.50
160	-34.8	-40.0	-49.20
165	-35.6	-39.7	-48.70
170	-34.3	-39.4	-48.50
175	-33.4	-39.1	-47.80
180	-33.5	-38.7	-47.20
185	-33.6	-39.4	-46.50
190	-33.7	-40.2	-46.02
195	-35.4	-40.8	-45.50
200	-36.3	-41.1	-44.90
205	-37.4	-41.8	-44.23
210	-38.2	-42.5	-45.80
215	-39.2	-43.5	-45.90
220	-40.8	-44.2	-46.00
225	-42.7	-44.8	-45.70
230	-44.3	-45.7	-45.10
235	-46.1	-45.9	-47.20
240	-47.4	-46.2	-47.80
245	-44.1	-46.9	-48.00
250	-40.5	-50.4	-49.10
255	-40.1	-51.4	-50.20
260	-38.5	-50.1	-51.20
265	-35.8	-49.2	-49.50
270	-31.5	-48.8	-48.10
275	-29.4	-47.6	-47.20
280	-28.9	-45.6	-46.20
285	-28.9	-44.1	-45.80
290	-27.6	-43.2	-45.20
295	-25.2	-40.8	-44.10
300	-24.8	-39.5	-43.70
305	-23.8	-37.5	-42.80
310	-22.7	-35.1	-41.80
315	-21.9	-34.9	-41.20
320	-21.6	-33.5	-40.50
325	-21.2	-31.5	-40.20
330	-19.3	-30.8	-39.50
335	-20.2	-29.7	-38.50
340	-19.8	-29.1	-38.20
345	-19.6	-28.4	-37.80
350	-19.4	-27.5	-37.10
355	-19.2	-26.7	-36.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลอง

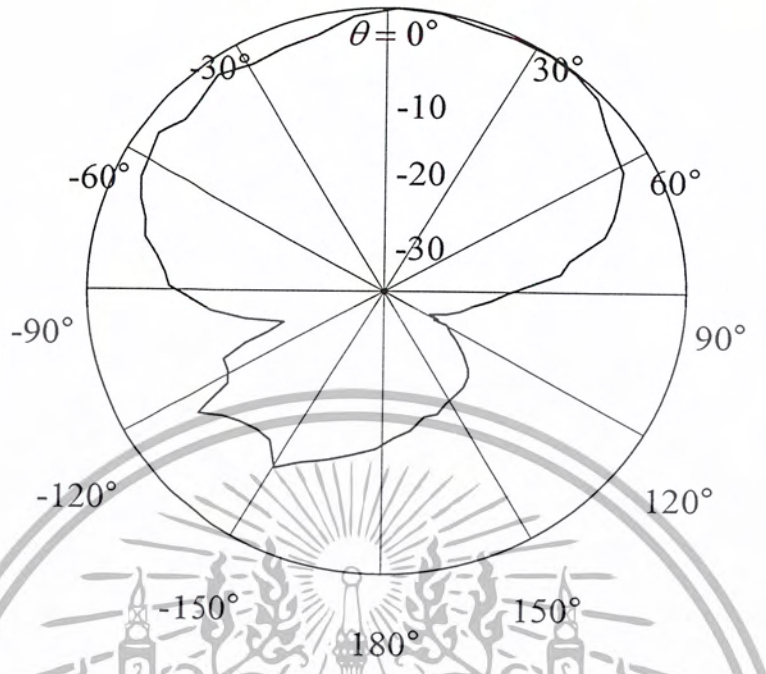


รูปที่ 4.11 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศ ความถี่ 87.5 MHz



รูปที่ 4.12. กราฟแพทเทอร์นสายอากาศ ความถี่ 98 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศ ความถี่ 108.5 MHz

4.4.2 วัดแพทเทอร์นสายอากาศในแนวนอน (Horizontal)

จุดประสงค์ วัดแพทเทอร์นของสายอากาศ

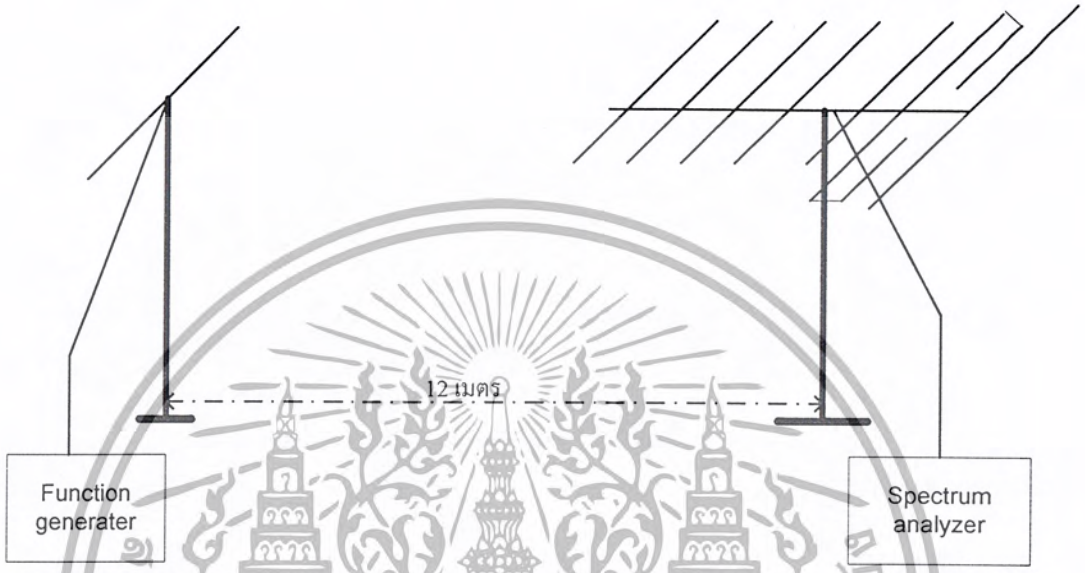
อุปกรณ์

1. function generator เบอร์ 8648C Agilent
2. spectrum analyzer รุ่น E4403B Agilent
3. สายอากาศยากิ (ที่ทำการสร้างขึ้น)
4. สายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ดังรูป โดยมีระยะห่างของสายอากาศทั้งสองเท่ากับ 12 เมตร



รูปที่ 4.14 การจัดอุปกรณ์การทดลอง

2. ต่ออุปกรณ์โดยต่อ spectrum เข้าสายอากาศที่สร้าง แล้วต่อ function generator เข้ากับสายอากาศไดโพล
3. ปรับ function generator ไปที่ความถี่ 87.5 MHz กำลังส่ง 22 dBm
4. อ่านค่า dBm ที่ได้จาก spectrum แล้วทำการบันทึกค่า
5. หมุนสายอากาศยากิที่สร้างไปทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศาแล้วทำการบันทึกค่า
6. ปรับ function generator ไปที่ความถี่ 98 MHz และ 108.5 MHz กำลังส่ง 22 dBm แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 4 และข้อ 5
7. นำค่าที่ได้ไปวาดกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 4.4.2

การวัดแพทเทอร์นสายอากาศในแนวนอน

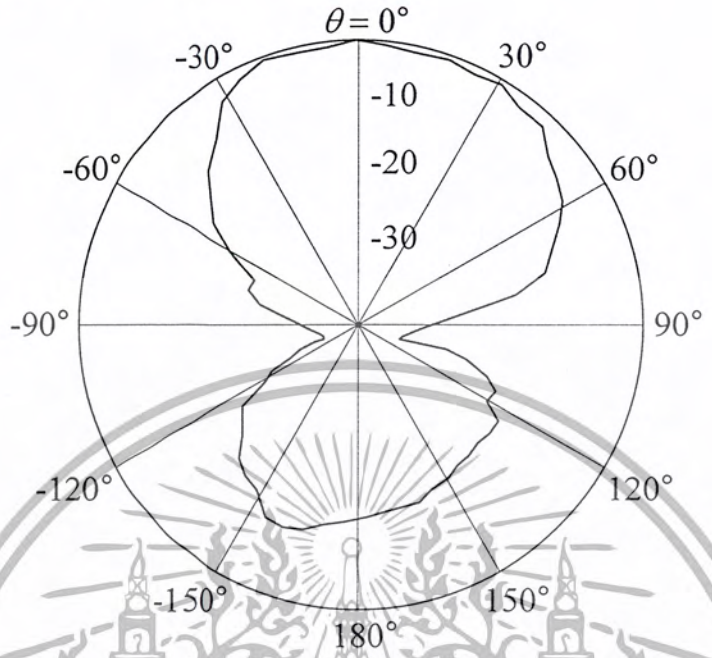
มุม (องศา)	ความถี่ 87.5 MHz	ความถี่ 98 MHZ	ความถี่ 108.5 MHZ
0	-27.5	-34.5	-32.98
5	-27.9	-35.0	-33.09
10	-28.2	-36.5	-33.80
15	-28.5	-36.8	-33.86
20	-29.0	-37.5	-34.58
25	-29.3	-37.9	-35.58
30	-30.5	-38.2	-36.45
35	-31.0	-38.7	-37.98
40	-33.0	-39.0	-39.80
45	-33.9	-40.5	-42.19
50	-35.0	-41.2	-44.80
55	-36.4	-41.9	-48.03
60	-38.8	-42.8	-50.13
65	-40.0	-42.9	-54.30
70	-43.0	-43.2	-56.90
75	-50.0	-43.9	-57.12
80	-52.0	-44.1	-56.90
85	-53.5	-45.2	-57.16
90	-53.7	-45.9	-57.80
95	-49.8	-46.3	-58.23
100	-47.8	-47.2	-58.17
105	-45.6	-47.8	-55.03
110	-44.3	-48.2	-56.90
115	-44.4	-49.1	-57.36
120	-42.5	-47.2	-57.07
125	-42.6	-45.1	-55.70
130	-42.4	-43.5	-55.60
135	-42.1	-42.8	-54.37
140	-41.8	-40.8	-54.11
145	-41.2	-39.9	-53.29
150	-40.7	-39.2	-53.05
155	-40.1	-38.5	-53.09
160	-39.8	-37.0	-53.12
165	-39.5	-36.5	-53.90
170	-39.2	-35.9	-54.10
175	-38.7	-35.4	-54.37
180	-38.2	-34.8	-54.90
185	-37.6	-35.5	-55.47
190	-37.3	-36.5	-57.03
195	-37.8	-36.9	-61.05
200	-39.8	-37.2	-63.40
205	-40.5	-38.2	-63.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

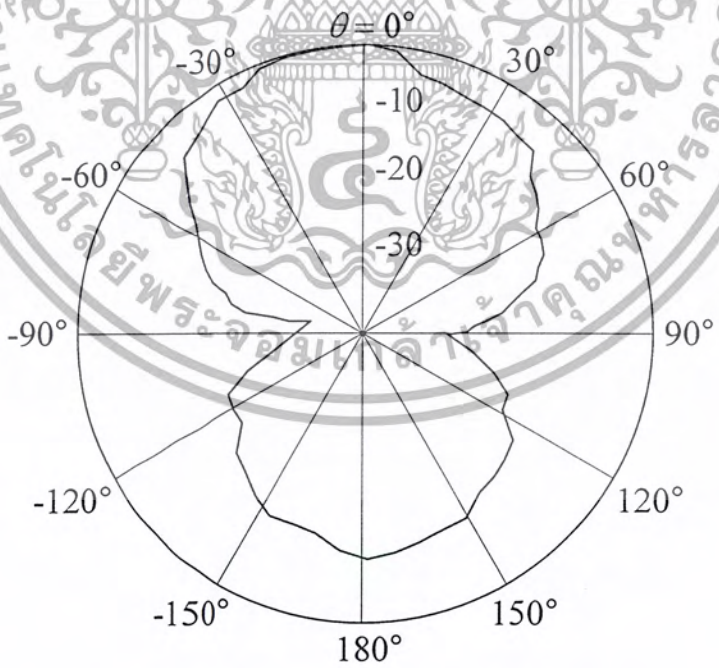
มุม (องศา)	ความถี่ 87.5 MHz	ความถี่ 98 MHZ	ความถี่ 108.5 MHZ
210	-41.8	-39.7	-62.35
215	-43.4	-40.5	-60.23
220	-44.8	-42.5	-60.00
225	-45.5	-42.8	-59.70
230	-48.5	-43.5	-59.58
235	-49.5	-45.5	-59.70
240	-51.2	-48.5	-59.12
245	-52.5	-49.8	-58.76
250	-53.9	-50.8	-58.50
255	-54.7	-49.5	-58.03
260	-54.8	-48.5	-57.76
265	-54.6	-47.0	-57.07
270	-53.4	-46.2	-56.95
275	-51.9	-45.9	-56.85
280	-48.5	-44.9	-56.78
285	-47.2	-44.2	-56.73
290	-46.9	-43.5	-56.13
295	-46.2	-42.8	-52.47
300	-45.8	-42.1	-48.77
305	-44.0	-41.1	-46.26
310	-42.5	-40.0	-43.76
315	-41.8	-38.5	-41.98
320	-39.0	-37.9	-39.81
325	-38.5	-37.2	-38.26
330	-34.5	-36.4	-36.86
335	-32.5	-36.1	-35.74
340	-30.8	-35.2	-34.67
345	-29.5	-34.9	-34.59
350	-28.8	-34.7	-33.72
355	-27.0	-34.6	-33.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลอง

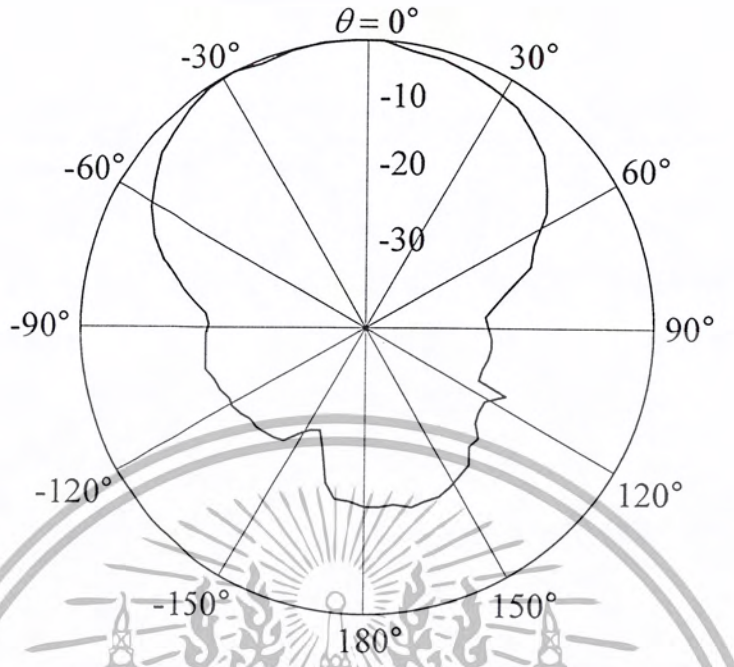


รูปที่ 4.15 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศ ความถี่ 87.5 MHz



รูปที่ 4.16 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศ ความถี่ 98 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแพทเทอร์นสายอากาศ ความถี่ 108.5 MHz

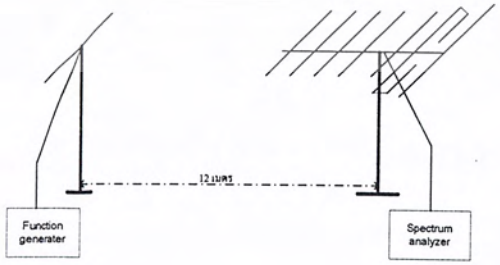
4.4.3 หาค่าอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ

จุดประสงค์ วัดอัตราขยายของสายอากาศ

อุปกรณ์

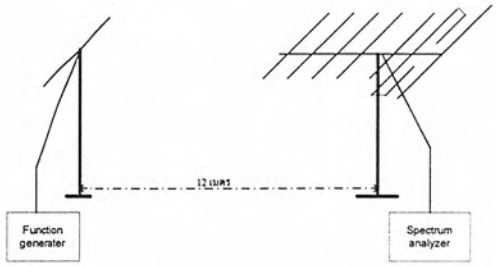
1. function generator เบอร์ 8648C Agilent
2. spectrum analyzer รุ่น E4403B Agilent
3. สายอากาศที่ทำการสร้าง
4. สายอากาศไดโพลตัวที่1
5. สายอากาศไดโพลตัวที่ 2

วิธีการทดลอง

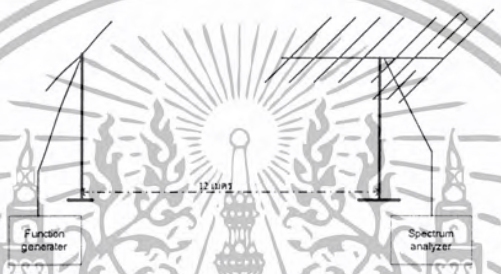


รูปที่ 4.18 (1) สายอากาศยากิที่สร้าง กับ สายอากาศไดโพลตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 (2) สายอากาศยากิที่สร้าง กับ สายอากาศไดโพลตัวที่ 2



รูปที่ 4.20 (3) สายอากาศไดโพลตัวที่ 1 กับ สายอากาศไดโพลตัวที่ 2

1. วางสายอากาศที่สร้างกับสายอากาศไดโพลตัวที่1 ห่างกันเป็นระยะ 12 เมตร
2. ต่อ spectrum analyzer เข้ากับสายอากาศที่ทำการสร้างพร้อมทั้งต่อ function generator เข้ากับสายอากาศไดโพล
3. ปรับ function generator ที่ความถี่ 87.5 MHz กำลังส่ง 22 dBm
4. อ่านค่ากำลังของเครื่องรับ (Pr) แล้วบันทึกค่า
5. ปรับ function generator ที่ความถี่ 98 และ 108.5 MHz กำลังส่ง 22 dBm แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ4
6. วางสายอากาศที่สร้างกับสายอากาศไดโพลตัวที่ 2 ห่างกันเป็นระยะ12 เมตร จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับ 2 ,3, 4 และ5
7. วางสายอากาศไดโพลตัวที่1กับสายอากาศไดโพลตัวที่ 2 ห่างกันเป็นระยะ12 เมตร จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับ 2, 3, 4 และ5
8. นำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ ตามสูตร

$Ga + Gb = 20\log (4\pi r/\lambda) + 10 \log (Pr/Pt)$ + ค่าการสูญเสียของสายส่งสัญญาณ ..... (1)

$Ga + Gc = 20\log (4\pi r/\lambda) + 10 \log (Pr/Pt)$ + ค่าการสูญเสียของสายส่งสัญญาณ ..... (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Gb + Gc = 20\log (4\P r/\lambda) + 10 \log (Pr/Pt)$ + ค่าการสูญเสียของสายส่งสัญญาณ ..... (3)

Ga คืออัตราขยายของสายอากาศที่สร้าง (dBi)

Gb คืออัตราขยายของสายอากาศไดโพลตัวที่1 (dBi)

Gc คืออัตราขยายของสายอากาศไดโพลตัวที่2 (dBi)

r คือระยะห่างระหว่างสายอากาศ (เมตร)

λ คือความยาวคลื่น (เมตร)

P_t คือกำลังของสายอากาศด้านส่ง (วัตต์)

P_r คือกำลังของสายอากาศด้านรับ (วัตต์)

เนื่องจากสายส่งจากสายอากาศมายังเครื่องวัด และจากเครื่องส่งจะมีการสูญเสียเกิดขึ้นที่สาย จึงต้องทำการวัดการสูญเสียของสายด้วย โดยใช้ network analyzer แล้วแทนในสูตร โดยการลบออกจากค่าอัตราขยายของสายอากาศ

การสูญเสียของสายส่งที่ต่อกับสายอากาศยากิ = 2 dB

การสูญเสียของสายส่งที่ต่อกับสายอากาศไดโพลตัวที่ 1 และ2 = 2 dB

ผลการทดลอง

การวัดอัตราขยายของสายอากาศ

กำลัง	สายอากาศ a กับ สายอากาศ b			สายอากาศ a กับ สายอากาศ c			สายอากาศ b กับ สายอากาศ c		
	ความถี่ (MHz)			ความถี่ (MHz)			ความถี่ (MHz)		
	87.5	98	108.5	87.5	98	108.5	87.5	98	108.5
ด้านรับสัญญาณ	-8.2	-5	-8.09	-30	-30	-29	-30.5	-34.4	-30.7
ด้านส่งสัญญาณ	22	22	22	22	22	22	22	22	22

สรุปผลการทดลอง

จากการคำนวณ

ได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 87.5 MHz = 6.1 dBi

ได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 98.0 MHz = 8.625 dBi

ได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 108.5 MHz = 7.98 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การวัดค่า Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) และค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

จุดประสงค์ วัดค่า Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) และค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

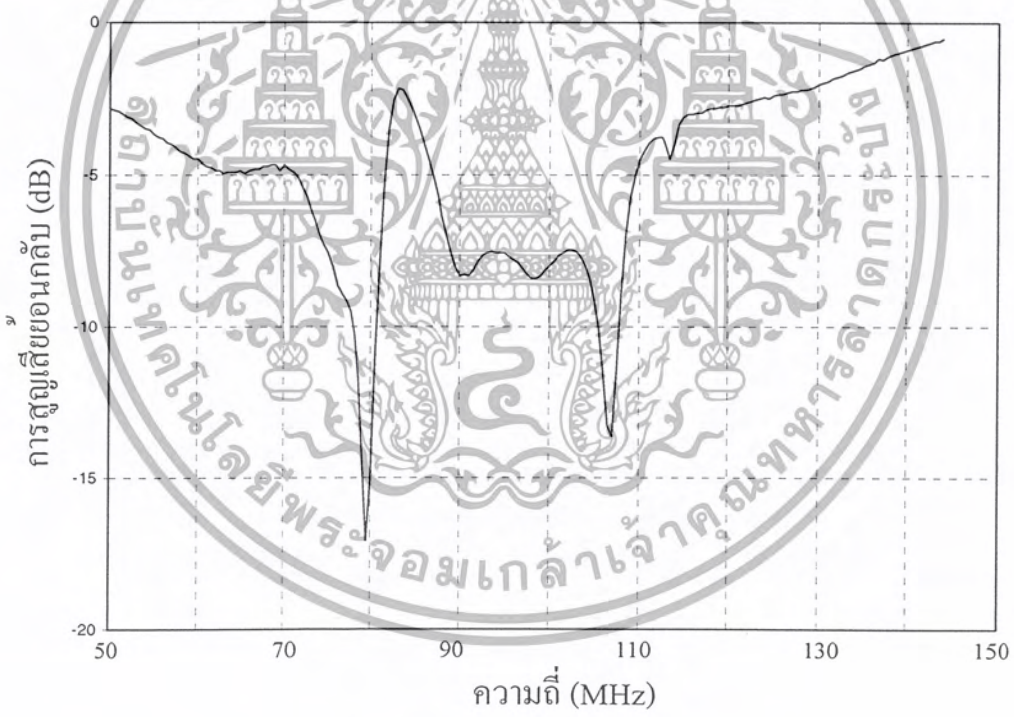
อุปกรณ์

1. network analyzer
2. สายอากาศยากิที่สร้าง

วิธีทดลอง

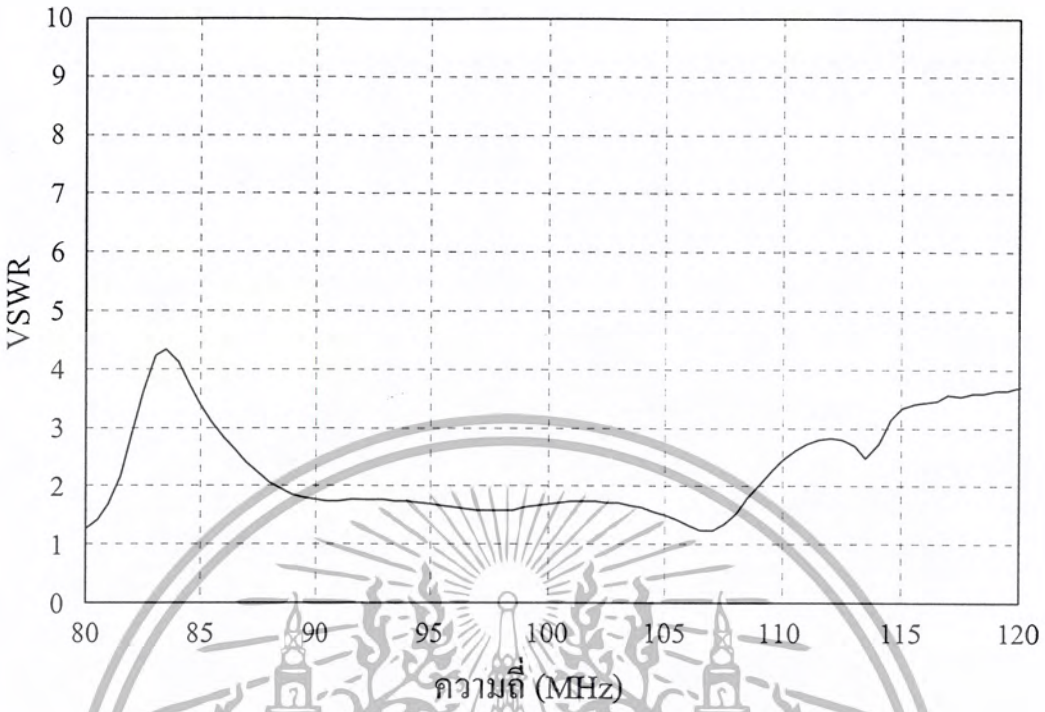
1. ต่อสายอากาศเข้ากับเครื่อง network analyzer แล้วทำการวัดค่า Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) และค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

4.5 การตั้งค่าเริ่มต้นของเครื่อง

จุดประสงค์ ตั้งค่าเครื่องให้ตรงตามมาตรฐาน

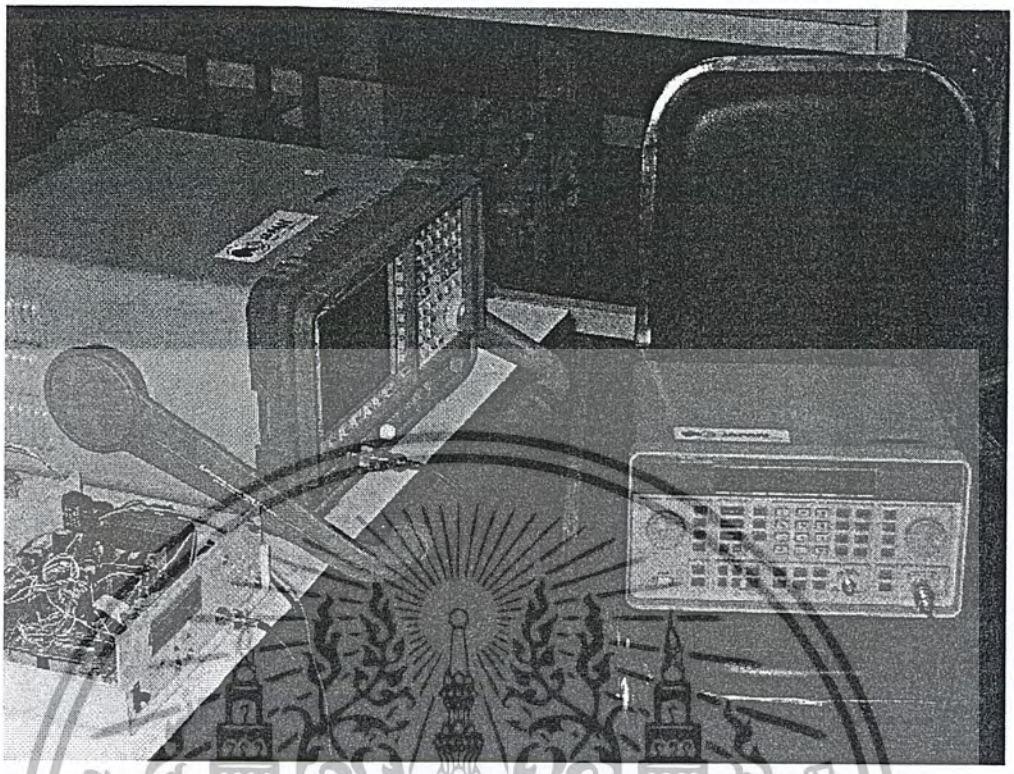
อุปกรณ์

1. function generator เบอร์ 8648C Agilent
2. spectrum analyzerรุ่น E4403B Agilent
3. เครื่องที่ทำการสร้าง

วิธีทดลอง

1. จ่ายสัญญาณจาก function generator ให้เป็นเอฟเอ็ม ความถี่ 87.5 MHz
2. วัดสัญญาณจาก spectrum analyzer ให้ได้สัญญาณที่เครื่องรับเอฟเอ็ม รับได้
3. บันทึกรหัส ADC เทียบกับความถี่กลางของสัญญาณเอฟเอ็ม
4. เริ่มวิธีที่ 1. ใหม่โดยเปลี่ยนความถี่เพิ่มทีละ 0.5 MHz จนถึง 108.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 การจัดอุปกรณ์ในการทดลอง

5. ปรับ function generator ให้power 0 dBm,เอฟเอ็ม mod 1k,400 Hz Δ10kHz โดยการเปลี่ยนค่าความถี่จาก 87.5-108.5 MHz
6. ใช้ spectrum จับที่ไอซี TD 2001 ที่ขา 7 (หลังมิกเซอร์)
7. ทำการเปลี่ยนค่าความถี่จาก 87.5-108.5 MHz ทีละ 0.5 MHz ทำการปรับค่าของเครื่องสร้างโดยจูนหาสัญญาณที่ส่งมาแล้วทำการบันทึกค่าดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 4.5

ผลการตั้งค่าเครื่อง

ความถี่	ลอจิก
87.5	01101000
88	11101001
88.5	10111001
89	11100111
89.5	101000111
90	11010110
90.5	11100100
91	11101111
91.5	11111001
92	11111110
92.5	01111110
93	11011110
93.5	11101010
94	1111100
94.5	01011111
95	10000111
95.5	100001001
96	10001010
96.5	10010001
97	10010101
97.5	10011010
98	10011111
98.5	10011101
99	10100111
99.5	10101100
100	10110010
100.5	10111100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

101	11000011
101.5	11001011
102	11010011
102.5	11100011
103.5	11110111
104	11111100
104.5	01100101
105	01110010
105.5	01110111
106	01111101
106.5	10000010
107	01111000
107.5	01111011
108	01111111
108.5	10000010

4.6 ตั้งค่าตามเครื่องมาตรฐาน

จุดประสงค์ ตั้งค่าระดับความแรงของ field strength ให้ตรงตามเครื่องมาตรฐาน

อุปกรณ์

1. Signal Generator
2. field strength meter Promax MC843D
3. field strength ที่สร้าง

วิธีการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณจาก Signal Generator ที่ความถี่ 100 MHz 0dBm
2. ใช้ field strength meter Promax MC843D วัดแล้วเปรียบเทียบกับรหัสที่ออกมาจาก เครื่องที่สร้าง
3. บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 4.6

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระดับลอจิก	ความแรงของสัญญาณ (dBμv)
011001	26
110010	45
110011	48
111111	60
111111	68
111111	70
010110	17
000000	0
110000	43

สรุปผลการทดลอง

เครื่องที่สร้างสามารถวัดได้

4.7 การทดลองทั้งระบบ

จุดประสงค์ ทำการทดลองวาดกราฟสัญญาณโดยผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์

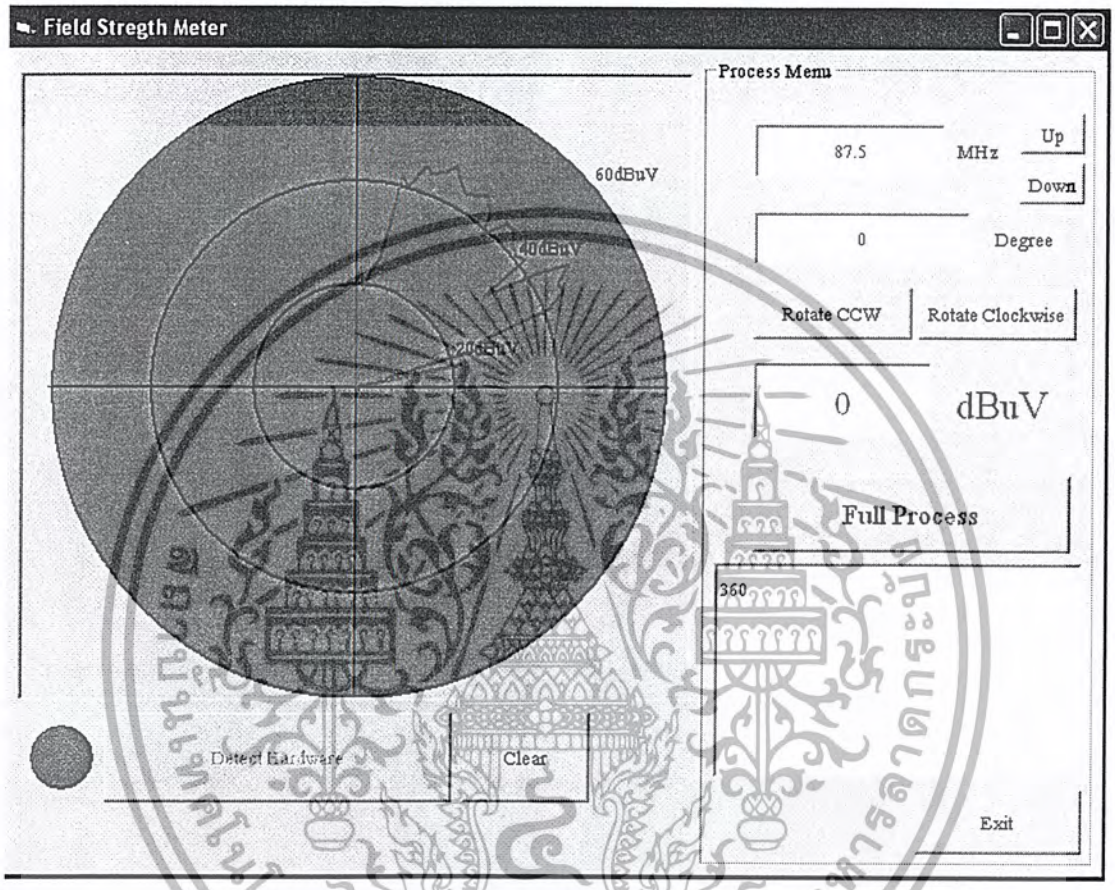
1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. field strength ที่สร้าง

วิธีการทดลอง

1. ทำการติดตั้งเครื่องรับกับเครื่องคอมพิวเตอร์
2. รับโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์
3. บันทึกผลการทดลอง

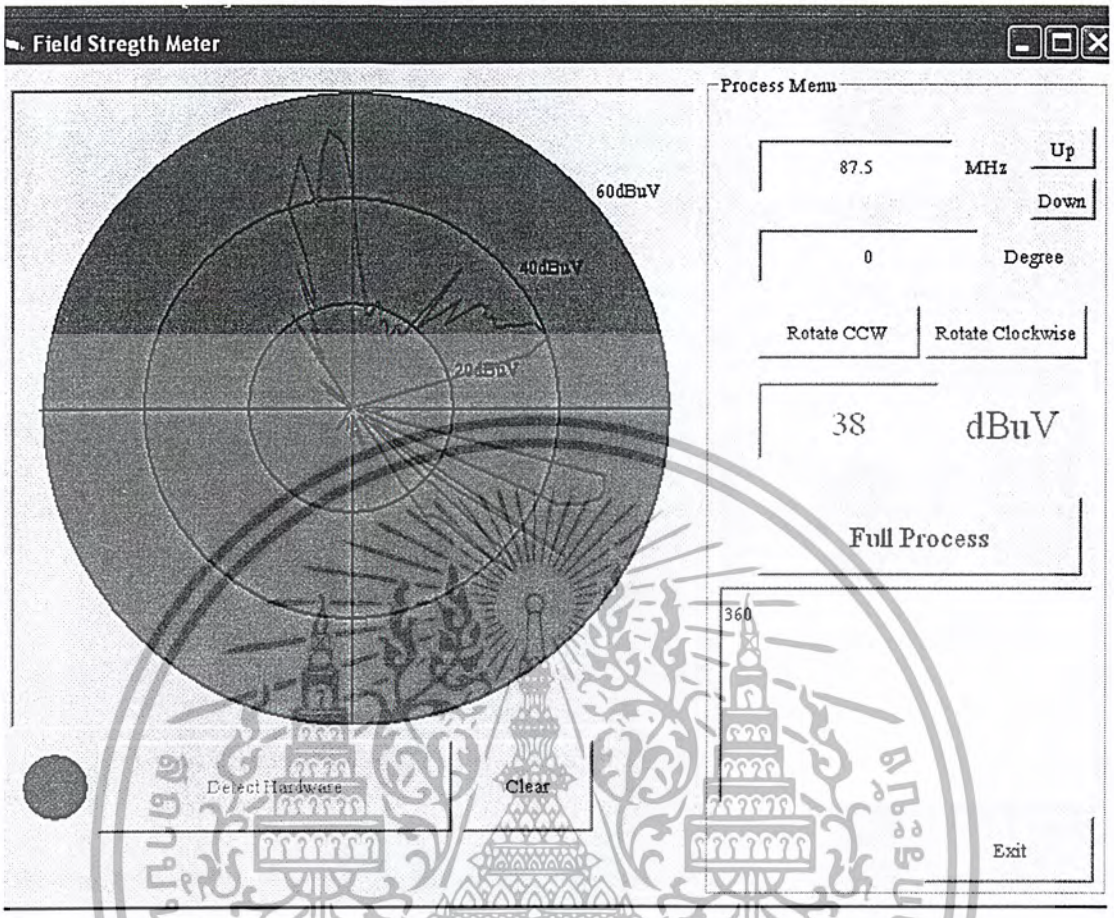
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง 4.7



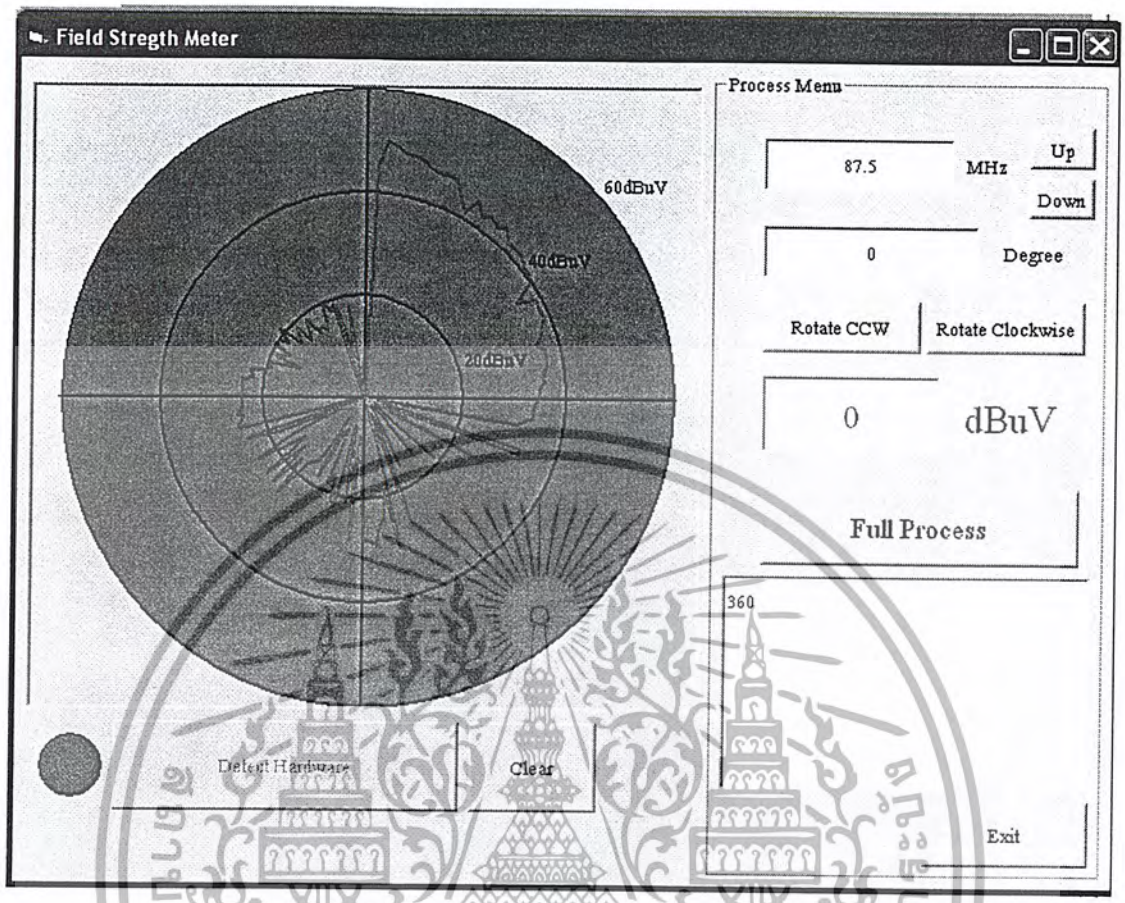
รูปที่ 4.24 ระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ความถี่ 87.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ความถี่ 87.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ความถี่ 87.5 MHz

สรุปผลการทดลอง

เครื่องทำการวาดกราฟของ field strength ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป และวิจารณ์

จากการสร้าง และทดสอบวงจร วงจรสามารถใช้การได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ยังมีจุดด้อยที่การตั้งค่าความถี่อัตโนมัติเมื่อเปิดเครื่องไว้เวลานานๆ ค่าความถี่จะเลื่อน และเมื่อมีการเคลื่อนของขดลวดในวงจรเครื่องรับ จะทำให้ค่าความถี่อัตโนมัติคลาดเคลื่อน อีกทั้งเครื่องที่สร้างสามารถวัดระดับสัญญาณได้สูงสุดเพียง 60 dBμv เท่านั้น ซึ่งหากระดับสัญญาณที่เข้ามาสูงกว่านั้น จะไม่สามารถวัดได้อย่างถูกต้อง และวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่ใช้งาน เมื่อใช้งานไปในเวลานานๆวงจรจะโอเวอร์โหลด และไม่สามารถใช้งานได้

ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องวัดความเข้มสัญญาณนี้ จะต้องปรับปรุงวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ และทำให้การล็อกสัญญาณความถี่ของเครื่องรับมีระดับคงที่ยิ่งขึ้น อีกทั้งสายอากาศที่สร้างยังมีส่วนด้อยอีกมาก ดั้งนั้นเครื่องวัดนี้จึงเป็นแนวทางในการศึกษาให้ผู้ที่สนใจต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. บุญชัด เนติศักดิ์, "ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องรับวิทยุ AM/FM", ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพ, 2540.
2. ธานินทร์ ถาวรสนวงศ์, ทินกรดุ๊ก "การอินเตอร์เฟส IBM/PC" ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กรุงเทพ, 2536.
3. Constantine A Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", John Wiley and Sons, INC, New York, 1997.
4. เครื่องรับ-ส่ง วิทยุ ย่าน UHF [UHF Transceiver] T37039 ปริญญานิพนธ์ ปี2539
5. หลักการทำงาน เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร, สุชาติ กังวารจิตต์, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพ, 2541.
6. รศ.บุญชัด เนติศักดิ์,ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องรับโทรทัศน์ ,ซีเอ็ดยูเคชั่น,2541,หน้า 64-68.
7. เจน สงสมพันธุ์ นิคม อนันต์ทิพย์,สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพฯ,พิมพ์ครั้งที่ 4 พฤษภาคม 2536 , บริษัทเอดิสันโปรดักส์,หน้า89-96.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Visual Basic

```
Dim PTemp As Variant
    Dim Tmp As Integer
    Dim TmpX As Double
    Dim TmpY As Double
    Dim TempD As Integer
Private Sub Auto_Click()
If Timer1.Enabled = True Then
    Timer1.Enabled = False
    Else: Timer1.Enabled = True
End If
End Sub

Private Sub CLR_Click()
    Picture1.Refresh
End Sub

Private Sub CW_Click()
    CW.Enabled = False
    Timer1.Enabled = False
    Text1.Text = "Rotate
Clockwise"
    If MPos.Text < 359 Then
       MPos.Text = MPos.Text + 1
    Else
    If MPos.Text = 359 Then
       MPos.Text = 0
    End If
    End If
    MSComm1.Output = Chr$(50)
    Timer1.Enabled = True
    CW.Enabled = True
End Sub

Private Sub DetectHW_Click()
    If MSComm1.PortOpen = False
Then
    MSComm1.Settings =
"9600,n,8,1"
    MSComm1.CommPort = 1
    MSComm1.RThreshold = 1
    MSComm1.PortOpen = True
    Shape1.FillColor = &HFF00&
    MSComm1.InputLen = 1
    Text1.Text = "Connect
Sucessfull"
    UPF.Enabled = True
    DWF.Enabled = True
    CCW.Enabled = True
    CW.Enabled = True
    FullP.Enabled = True
    Timer1.Enabled = True
    Frequency.Text = 87.5
    MSComm1.Output = Chr$(53)
    MPos.Text = 0
    FieldShow.Text = 0
    DetectHW.Enabled = False
    Else
    MSComm1.PortOpen = False
    Text1.Text = "Cannot Open
Comport Or Port Open already"
    Shape1.FillColor = &HFF&
    End If
End Sub

Private Sub DWF_Click()
    DWF.Enabled = False
    Timer1.Enabled = False
    If Frequency.Text > 87.5 Then
       Frequency.Text =
Frequency.Text - 0.5
    End If
    MSComm1.Output = Chr$(52)
    Timer1.Enabled = True
    DWF.Enabled = True
End Sub

Private Sub ExitCommand_Click()
    MSComm1.PortOpen = False
    Form1.Hide
    Unload Form1
End Sub

Private Sub CCW_Click()
    CCW.Enabled = False
    Timer1.Enabled = False
    Text1.Text = "Rotate Counter
Clockwise"
    If MPos.Text > 0 Then
       MPos.Text = MPos.Text - 1
    Else
    If MPos.Text = 0 Then
       MPos.Text = 359
    End If
    End If
    MSComm1.Output = Chr$(49)
    Timer1.Enabled = True
    CCW.Enabled = True
End Sub

Private Sub FullP_Click()
    FullP.Enabled = False
    Timer1.Enabled = False
    UPF.Enabled = False
    DWF.Enabled = False
    CCW.Enabled = False
    CW.Enabled = False
    CLR.Enabled = False
    ExitCommand.Enabled = False
    Text1.Text = "Process Field
Stregth Measure"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Timer2.Enabled = True
    TempD = 0
End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
    Select Case MSComm1.CommEvent
      Case comEvReceive
      Dim Buffer As String
      Dim Acc   As Integer
        Buffer = MSComm1.Input
        Acc = Asc(Buffer)
        Acc = Acc / 4.25
        FieldShow.Text = Acc
        Tmp = Acc
        TmpX = Acc
        TmpY = Acc
    End Select
End Sub

Private Sub Picture1_DblClick()
    On Error GoTo errorhandler
        CommonDialog1.ShowSave
        SavePicture
Picture1.Image,
CommonDialog1.FileName
errorhandler:
    Exit Sub
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    MSComm1.Output = Chr$(48)
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
    If TempD = 0 Then
    TmpX = 3220
    TmpY = 3000 - ((Tmp / 60) *
3000)
    Picture1.Line (3220, 3000)-
(TmpX, TmpY), vbRed
    End If
    If TempD = 3 Then
    TmpX = 3220 + (0.052) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.998) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 5 Then
    TmpX = 3220 + (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.996) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 8 Then
    TmpX = 3220 + (0.139) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.99) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 10 Then
    TmpX = 3220 + (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.984) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 13 Then
    TmpX = 3220 + (0.22) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.974) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 15 Then
    TmpX = 3220 + (0.26) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.97) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 18 Then
    TmpX = 3220 + (0.309) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.95) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 20 Then
    TmpX = 3220 + (0.34) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.94) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    If TempD = 23 Then
    TmpX = 3220 + (0.39) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.92) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 25 Then
    TmpX = 3220 + (0.42) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.91) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 28 Then
    TmpX = 3220 + (0.469) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.8829) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 30 Then
    TmpX = 3220 + (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.87) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 33 Then
    TmpX = 3220 + (0.545) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.839) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 35 Then
    TmpX = 3220 + (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.82) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 38 Then
    TmpX = 3220 + (0.615) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.788) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 40 Then
    TmpX = 3220 + (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 43 Then
    TmpX = 3220 + (0.681) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.731) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 45 Then
    TmpX = 3220 + (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 48 Then
    TmpX = 3220 + (0.743) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.669) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 50 Then
    TmpX = 3220 + (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 53 Then
    TmpX = 3220 + (0.798) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TmpY = 3000 - (0.6018) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 55 Then
    TmpX = 3220 + (0.81) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)

Picture1.Line(Picture1.CurrentX,P
icture1.CurrentY)-
(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 58 Then
    TmpX = 3220 + (0.848) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.53) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 60 Then
    TmpX = 3220 + (0.87) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 63 Then
    TmpX = 3220 + (0.891) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.454) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 65 Then
    TmpX = 3220 + (0.91) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.42) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 68 Then
    TmpX = 3220 + (0.927) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.375) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 70 Then
    TmpX = 3220 + (0.93) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.34) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 73 Then
    TmpX = 3220 + (0.956) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.292) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 75 Then
    TmpX = 3220 + (0.97) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.26) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 78 Then
    TmpX = 3220 + (0.978) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.208) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 80 Then
    TmpX = 3220 + (0.98) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 83 Then
    TmpX = 3220 + (0.992) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.122) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    If TempD = 85 Then
    TmpX = 3220 + (0.996) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 88 Then
    TmpX = 3220 + (0.998) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.052) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 90 Then
    TmpX = 3220 + (1) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 93 Then
    TmpX = 3220 + (0.998) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.0523) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 95 Then
    TmpX = 3220 + (0.996) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 98 Then
    TmpX = 3220 + (0.992) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.122) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 100 Then
    TmpX = 3220 + (0.984) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 103 Then
    TmpX = 3220 + (0.974) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.225) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 105 Then
    TmpX = 3220 + (0.97) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.26) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 108 Then
    TmpX = 3220 + (0.951) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.309) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 110 Then
    TmpX = 3220 + (0.94) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.34) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 113 Then
    TmpX = 3220 + (0.92) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.39) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 115 Then
    TmpX = 3220 + (0.906) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TmpY = 3000 + (0.422) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 118 Then
    TmpX = 3220 + (0.8829) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.469) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 120 Then
    TmpX = 3220 + (0.87) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 123 Then
    TmpX = 3220 + (0.838) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.544) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 125 Then
    TmpX = 3220 + (0.82) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 128 Then
    TmpX = 3220 + (0.788) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.6156) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 130 Then
    TmpX = 3220 + (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 133 Then
    TmpX = 3220 + (0.7313) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.682) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 135 Then
    TmpX = 3220 + (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 138 Then
    TmpX = 3220 + (0.669) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.743) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 140 Then
    TmpX = 3220 + (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 143 Then
    TmpX = 3220 + (0.602) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.7986) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 145 Then
    TmpX = 3220 + (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.82) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    If TempD = 148 Then
    TmpX = 3220 + (0.5299) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.848) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 150 Then
    TmpX = 3220 + (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.87) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 153 Then
    TmpX = 3220 + (0.454) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.891) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 155 Then
    TmpX = 3220 + (0.42) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.91) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 158 Then
    TmpX = 3220 + (0.3746) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.927) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 160 Then
    TmpX = 3220 + (0.34) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.94) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 163 Then
    TmpX = 3220 + (0.293) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.956) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 165 Then
    TmpX = 3220 + (0.26) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.97) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 168 Then
    TmpX = 3220 + (0.208) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.978) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 170 Then
    TmpX = 3220 + (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.988) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 173 Then
    TmpX = 3220 + (0.1218) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.9925) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 175 Then
    TmpX = 3220 + (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.99) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 178 Then
    TmpX = 3220 + (0.0349) *
((Tmp / 60) * 3000)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TmpY = 3000 + (0.999) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 180 Then
    TmpX = 3220 + (0) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (1) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 183 Then
    TmpX = 3220 - (0.052) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.998) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 185 Then
    TmpX = 3220 - (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.99) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 188 Then
    TmpX = 3220 - (0.139) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.99) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 190 Then
    TmpX = 3220 - (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.984) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 193 Then
    TmpX = 3220 - (0.225) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.974) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 195 Then
    TmpX = 3220 - (0.26) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.97) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 198 Then
    TmpX = 3220 - (0.309) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.951) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 200 Then
    TmpX = 3220 - (0.34) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.94) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 203 Then
    TmpX = 3220 - (0.391) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.92) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 205 Then
    TmpX = 3220 - (0.42) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.91) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 208 Then
    TmpX = 3220 - (0.469) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.8829) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    If TempD = 210 Then
    TmpX = 3220 - (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.86) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 213 Then
    TmpX = 3220 - (0.544) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.8367) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 215 Then
    TmpX = 3220 - (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.82) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 218 Then
    TmpX = 3220 - (0.615) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.788) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 220 Then
    TmpX = 3220 - (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 223 Then
    TmpX = 3220 - (0.669) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.743) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 225 Then
    TmpX = 3220 - (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 228 Then
    TmpX = 3220 - (0.7313) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.682) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 230 Then
    TmpX = 3220 - (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 233 Then
    TmpX = 3220 - (0.788) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.616) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 235 Then
    TmpX = 3220 - (0.82) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 238 Then
    TmpX = 3220 - (0.8387) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.5446) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 240 Then
    TmpX = 3220 - (0.86) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TmpY = 3000 + (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 242 Then
    TmpX = 3220 - (0.883) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.469) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 245 Then
    TmpX = 3220 - (0.91) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.42) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 248 Then
    TmpX = 3220 - (0.9205) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.391) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 250 Then
    TmpX = 3220 - (0.94) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.34) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 253 Then
    TmpX = 3220 - (0.951) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.309) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 255 Then
    TmpX = 3220 - (0.97) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.26) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 258 Then
    TmpX = 3220 - (0.9744) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.225) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 260 Then
    TmpX = 3220 - (0.988) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 263 Then
    TmpX = 3220 - (0.99) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.14) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 265 Then
    TmpX = 3220 - (0.99) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 268 Then
    TmpX = 3220 - (0.999) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0.034) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 270 Then
    TmpX = 3220 - (1) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 + (0) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    If TempD = 273 Then
    TmpX = 3220 - (0.997) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.0523) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 275 Then
    TmpX = 3220 - (0.996) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 278 Then
    TmpX = 3220 - (0.99) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.139) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 280 Then
    TmpX = 3220 - (0.988) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 283 Then
    TmpX = 3220 - (0.974) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.225) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 285 Then
    TmpX = 3220 - (0.97) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.26) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 288 Then
    TmpX = 3220 - (0.951) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.31) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 290 Then
    TmpX = 3220 - (0.94) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.34) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 293 Then
    TmpX = 3220 - (0.92) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.391) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 295 Then
    TmpX = 3220 - (0.91) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.42) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 298 Then
    TmpX = 3220 - (0.883) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.469) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 300 Then
    TmpX = 3220 - (0.86) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 303 Then
    TmpX = 3220 - (0.838) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TmpY = 3000 - (0.545) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 305 Then
    TmpX = 3220 - (0.82) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 308 Then
    TmpX = 3220 - (0.788) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.616) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 310 Then
    TmpX = 3220 - (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 313 Then
    TmpX = 3220 - (0.743) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.67) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 315 Then
    TmpX = 3220 - (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.707) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 318 Then
    TmpX = 3220 - (0.682) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.73) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 320 Then
    TmpX = 3220 - (0.64) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.77) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 323 Then
    TmpX = 3220 - (0.616) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.788) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 325 Then
    TmpX = 3220 - (0.57) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.82) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 328 Then
    TmpX = 3220 - (0.544) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.838) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 330 Then
    TmpX = 3220 - (0.5) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.86) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 333 Then '57
    TmpX = 3220 - (0.454) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.891) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    If TempD = 335 Then
    TmpX = 3220 - (0.4226) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.906) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 338 Then
    TmpX = 3220 - (0.3746) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.927) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 340 Then
    TmpX = 3220 - (0.342) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.94) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 343 Then
    TmpX = 3220 - (0.292) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.956) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 345 Then
    TmpX = 3220 - (0.309) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.951) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 348 Then
    TmpX = 3220 - (0.208) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.978) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 350 Then
    TmpX = 3220 - (0.17) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.984) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 353 Then
    TmpX = 3220 - (0.122) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.9925) *
((Tmp / 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 355 Then
    TmpX = 3220 - (0.087) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.996) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 358 Then
    TmpX = 3220 - (0.0348) *
((Tmp / 60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (0.999) * ((Tmp
/ 60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If
    If TempD = 360 Then
    TmpX = 3220 - (0) * ((Tmp /
60) * 3000)
    TmpY = 3000 - (1) * ((Tmp /
60) * 3000)
    Picture1.Line
(Picture1.CurrentX,Picture1.Curre
ntY)-(TmpX,TmpY),vbRed
    End If

    Text1.Text = TempD
    MSComm1.Output = Chr$(48)
    MSComm1.Output = Chr$(50)
    TempD = TempD + 1
    If TempD = 361 Then
        Timer2.Enabled = False
        FullP.Enabled = True
        Timer1.Enabled = True
        UPF.Enabled = True
        DWF.Enabled = True
        CCW.Enabled = True
        CW.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CLR.Enabled = True
        ExitCommand.Enabled =
True
    End If

End Sub

Private Sub UPF_Click()
    UPF.Enabled = False
    Timer1.Enabled = False
    If Frequency.Text <> 108 Then
       Frequency.Text =
Frequency.Text + 0.5
    End If
        MSComm1.Output = Chr$(51)
    Timer1.Enabled = True
    UPF.Enabled = True
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้