

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบสำหรับควบคุมไฟจราจรที่อาศัยความหนาแน่นของรถยนต์

บริเวณแยกถนน

SYSTEM FOR CONTROLLING TRAFFIC LIGHTS BASED ON DENSITY  
OF CARS AT THE INTERSECTION



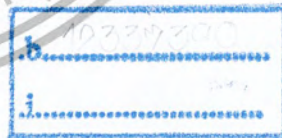
T117476



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

117476

5.5.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสำหรับควบคุมไฟจราจรที่อาศัยความหนาแน่นของรถยนต์

บริเวณแยกถนน

SYSTEM FOR CONTROLLING TRAFFIC LIGHTS BASED ON DENSITY  
OF CARS AT THE INTERSECTION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

ผ่านการตรวจไปแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปใช้ในประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการตรวจเรียบร้อยแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบสำหรับควบคุมไฟจราจรที่อาศัยข้อมูลความหนาแน่นของรถยนต์บริเวณแยกถนน

SYSTEM FOR CONTROLLING TRAFFIC LIGHTS BASED ON DENSITY OF CARS AT THE  
INTERSECTION

ผู้จัดทำ

- |                |              |          |
|----------------|--------------|----------|
| 1. นายวัชรพงศ์ | ใจสุดา       | 50011426 |
| 2. นายวิศิษฎ์  | ใจสัตย์      | 50011489 |
| 3. นายวุฒิพงศ์ | วัฒนาวิวัฒน์ | 50011517 |

	อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน)	
	อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. จีรสุดา โกยียากรณ์)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่องนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้หากไม่ได้รับการสนับสนุน และคำปรึกษาจากอาจารย์ปราโมทย์ วาดเขียน และอาจารย์จิรสุดา โกมัยากรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญาานิพนธ์ ที่คอยสละเวลาและช่วยให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างมาก รวมถึง คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม และพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาและ เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณบิดา-มารดาที่คอยเป็นกำลังใจ และคอย อบรมเลี้ยงดูให้ทุกสิ่งทุกอย่างแก่ผู้จัดทำ ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วยครับ



นายวัชรพงศ์ ใจสุดา  
นายวิศิษฎ์ ใจสัตย์  
นายวุฒิพงศ์ วัฒนาวีทวัส  
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 กล้องวิดีโอ	4
2.2 ระบบส่งสัญญาณภาพไร้สาย	5
2.3 สายอากาศ	18
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์	31
2.5 รูปร่างของภาพ	33
2.6 มาตรฐานของสี	35
2.7 ทฤษฎีการหาขอบภาพโดยวิธีแคนนี่ (Canny)	36
2.8 สัญญาณไฟจราจร	38
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญาานิพนธ์</b>	<b>42</b>
3.1 การออกแบบระบบส่งสัญญาณภาพ	42
3.2 การออกแบบสายอากาศ	49
3.3 วงจรภาครับสัญญาณภาพ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การประมวลผลภาพเพื่อควบคุมระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร	55
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	59
3.6 การจัดเก็บผลการทดลอง	59
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>61</b>
4.1 วงจรออสซิลเลเตอร์	61
4.2 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก	64
4.3 วงจรมอดูเลตแอมพลิฟายด์และวงจรขยายกำลังสัญญาณ	68
4.4 สายอากาศ	75
4.5 วงจรภาครับ	81
4.6 วงจรส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟายด์โดยใช้สายอากาศ	83
4.7 ระบบประมวลผลภาพ	85
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>88</b>
5.1 สรุปผล	88
5.2 ข้อเสนอแนะ	89
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>91</b>
<b>ภาคผนวก ภาพผลงาน</b>	<b>92</b>

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบส่งสัญญาณภาพ	2
1.2 ระบบรับสัญญาณภาพ ประมวลผลภาพดิจิทัล และคุมระบบไฟจราจร	3
2.1 วงจรป้อนกลับแบบบวก	7
2.2 รูปทั่วไปของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อสามจุด	9
2.3 วงจรเบื้องต้นของโคลพิตต์ออสซิลเลเตอร์	9
2.4 วงจรสมมูลของรูปที่ 2.3	9
2.5 วงจรเบื้องต้นของโคลพิตต์ทรานซิสเตอร์เมื่อรวมเข้ากับทรีเมอร์ C	12
2.6 วงจรการมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน	14
2.7 องค์ประกอบความถี่สัญญาณที่มอดูเลตแบบ ดีเอสบี เอสซี	15
2.8 รูปคลื่น $\phi_{AM}(t)$ ตามสมการที่ 2.36	17
2.9 การมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันสำหรับวิทยุกระจายเสียง	18
2.10 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์รูปแบบการแผ่กำลังงานของสายอากาศ	19
2.11 รูปแบบการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว	20
2.12 สายอากาศในโหมดส่ง	22
2.13 การก่อรูปคลื่นนิ่ง	23
2.14 การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน	24
2.15 สายอากาศไดโพล	25
2.16 ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไดโพล	27
2.17 รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของไดโพลอุดมคติ	27
2.18 รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของไดโพลอุดมคติ	28
2.19 การแจกแจงรูปของกระแสบนสายอากาศไดโพล $\lambda/2$	29
2.20 รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพล (เส้นทึบ) และไดโพลอุดมคติ (เส้นประ)	29
2.21 ลักษณะการโพลาริซชันของสายอากาศไดโพล	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.22	ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของแคนนี่	36
2.23	สัญญาณไฟจราจร 2 เฟส	40
3.1	ระบบส่งสัญญาณภาพ	42
3.2	วงจรรออสซิลเลเตอร์	44
3.3	วงจรรขยายสัญญาณขนาดเล็ก	44
3.4	วงจรมอดูเลตแอมป์ลิฟูด	46
3.5	วงจรรขยายกำลังสัญญาณ	48
3.6	วงจรรวมระบบส่งสัญญาณภาพ	49
3.7	สายอากาศปรินท์ไดโพล	50
3.8	ความหนาของแผ่น FR-4	50
3.9	สายอากาศที่จำลองโดยโปรแกรมจำลองสายอากาศ	51
3.10	ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.14423 เมตร	52
3.11	อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.14423 เมตร	52
3.12	ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.1145 เมตร	53
3.13	อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.1145 เมตร	53
4.1	วงจรรออสซิลเลเตอร์	61
4.2	สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 460 เมกะเฮิร์ตซ์	62
4.3	สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 487 เมกะเฮิร์ตซ์	63
4.4	สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์	63
4.5	สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์	64
4.6	วงจรรขยายสัญญาณขนาดเล็ก	64
4.7	สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์	66
4.8	สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 482 เมกะเฮิร์ตซ์	66
4.9	สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์	67
4.11 วงจรรวมระบบส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมป์ลิจูด	68
4.12 วงจรส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมป์ลิจูดที่สร้าง	69
4.13 การทดลองวงจรส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมป์ลิจูด	69
4.14 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 456 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณ ไซน์ ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์	70
4.15 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 482 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณ ไซน์ ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์	71
4.16 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณ ไซน์ ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์	71
4.17 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 595 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณ ไซน์ ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์	71
4.18 สเปกตรัมของสัญญาณภาพที่วัดจากกล้อง	72
4.19 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 456 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง	73
4.20 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 482 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง	73
4.21 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง	74
4.22 มอดูเลตแอมป์ลิจูดความถี่พาห้ 595 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง	74
4.23 สายอากาศที่สร้างเพื่อใช้กับความถี่ 456, 481, 520 และ 595 เมกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ	75
4.24 กราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศความถี่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์	76
4.25 กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์	76
4.26 กราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศความถี่ 481 เมกะเฮิร์ตซ์	77
4.27 กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 481 เมกะเฮิร์ตซ์	77
4.28 กราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ ความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์	78
4.29 กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.30	กราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ ความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์	79
4.31	กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์	79
4.32	ทดสอบส่งสัญญาณความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ ไปยังภาครับผ่านสายอากาศ	80
4.33	สัญญาณที่ภาครับรับได้ เมื่อภาคส่งสัญญาณที่กำลัง 0 dBm	80



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคลื่นไซน์	6
3.1 ความถี่สถานีโทรทัศน์ที่ออกอากาศในปัจจุบัน	43
4.1 ผลการทดลองวงจรออสซิลเลเตอร์	62
4.2 ผลการทดลองวงจรมอดูเลชันสัญญาณขนาดเล็ก	65
4.3 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศฝั่งส่ง	81
4.4 ผลของวงจรภาครับ รัศมีภาพที่ส่งผ่านสายอากาศด้วยความถี่ต่างๆ	81
4.5 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพไร้สายที่ระยะทางต่างๆ	83
4.6 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพไร้สายพร้อมกันทั้ง 4 ความถี่	84
4.7 ผลการทดลองระบบประมวลผลภาพ	85



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การมองเห็นของมนุษย์เป็นกลไกที่ซับซ้อนและมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ภาพบางภาพอาจสื่อความหมายได้มากมายเกินกว่าคำอธิบาย ซึ่งภาพแต่ละภาพจะให้ข้อมูลที่มีความจำเป็นในการใช้ชีวิตของแต่ละบุคคลแตกต่างกันไป เช่น บางคนใช้ภาพอย่างเรียบง่ายในชีวิตประจำวัน บางคนใช้ในงานที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เช่น การวางแผน การตัดสินใจ การค้นคว้าวิจัยทางด้านต่างๆ การพัฒนาทางด้านความคิด รวมถึงองค์กรต่างๆ เช่น หนังสือพิมพ์ โทรทัศน์ ภาพยนตร์ ที่ใช้ภาพเป็นสื่อในการนำเสนอข้อมูลข่าวสาร แม้กระทั่งการนำภาพมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในกระบวนการการตัดสินใจ สิ่งที่น่าสนใจของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นหรือข้อมูลภาพอีกอย่างหนึ่งก็คือกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยใช้คอมพิวเตอร์

การประมวลผลภาพ ได้เริ่มขึ้นในปี 1964 ณ ห้องแลป Jet Propulsion (Pasadena California) ซึ่งได้นำกระบวนการ การประมวลผลภาพมาใช้ในการพิจารณาภาพถ่ายดาวเทียมของดวงจันทร์ ต่อมาได้มีการตั้งสาขาทางวิทยาศาสตร์สาขาใหม่มีชื่อว่า กระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) หลังจากนั้นงานทางด้านกระบวนการประมวลผลภาพก็พัฒนาขึ้นเรื่อยๆ และใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับงานในหลายๆด้าน เช่น ทางด้านสื่อสาร โทรคมนาคม การสื่อสารทางโทรทัศน์ ทางด้านการพิมพ์ ทางด้านกราฟฟิก การแพทย์ และการค้นคว้าวิจัยต่างๆ โดยการประมวลผลภาพดิจิทัลจะเป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลเหล่านี้เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลที่ได้มาประยุกต์ใช้งานด้านๆ อีกต่อไป

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้นำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์หาจำนวนรถยนต์บนท้องถนน โดยการใช้กล้องวงจรปิด ถ่ายภาพรถยนต์ขณะที่จอดรอสัญญาณ

ไฟจราจร แล้วนำภาพที่ได้มาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาปริมาณรถยนต์ ซึ่งข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการส่งสัญญาณภาพไร้สายด้วยระบบมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude Modulation)
2. เพื่อศึกษาอัลกอริทึมของกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล
3. เพื่อศึกษาพื้นฐานการสร้างสายอากาศเพื่อรับส่งข้อมูล
4. เพื่อออกแบบระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรบริเวณสี่แยกไฟจราจร โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัล สำหรับจัดการไฟจราจร

## 1.3 ขอบเขตของปริิญญาณิพนธ์

### 1.3.1 ระบบส่งสัญญาณภาพ

เป็นการส่งสัญญาณภาพโดยใช้วิธีการมอดูเลตแอมพลิจูด โดยเริ่มต้นจากการต่อกล้องวงจรปิดผ่านสายนำสัญญาณไปยังวงจรมอดูเลตแอมพลิจูด แล้วจึงส่งสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลต ไปยังภาครับโดยผ่านทางสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 1.1

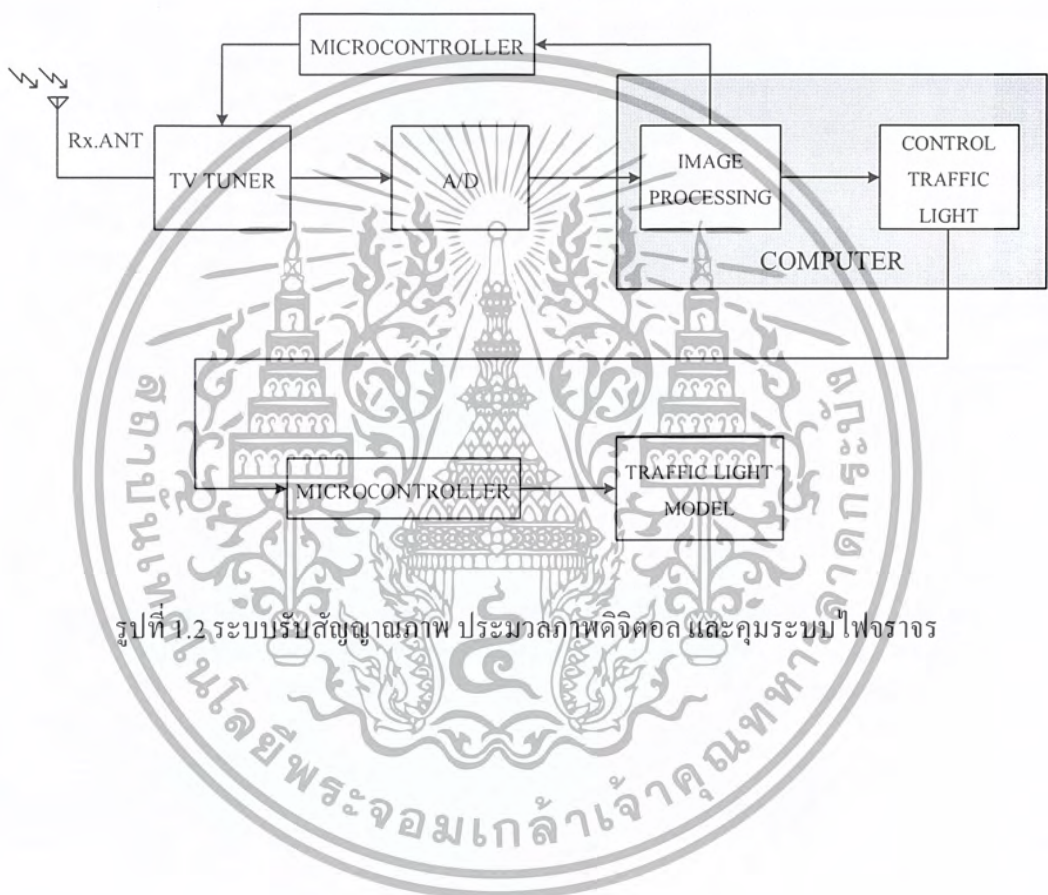


รูปที่ 1.1 ระบบส่งสัญญาณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.2 ระบบรับสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ระบบประมวลผลภาพดิจิทัล และระบบควบคุมไฟจราจร

เป็นระบบที่ใช้รับข้อมูลจากภาคส่ง โดยเริ่มจากสายอากาศรับสัญญาณ เข้าสู่วงจรดีมอดูเลต ทำการแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปทำการประมวลผลภาพและควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรต่อไป ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ระบบรับสัญญาณภาพ ประมวลผลภาพดิจิทัล และคุมระบบไฟจราจร

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล้องวิดีโอ

##### 2.1.1 หลักการทำงานของกล้องวิดีโอ

หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพคือ การที่แสงสะท้อนจากวัตถุเดินทางเป็นเส้นตรงผ่านช่องเล็กๆ สี่เหลี่ยมเข้ามาจนเกิดเป็นภาพของวัตถุบนฉากรองรับด้านตรงข้าม ซึ่งภาพที่ได้นั้นจะเป็นภาพแบบหัวกลับ อันเป็นหลักการทำงานที่เป็นจุดกำเนิดของการสร้างกล้องรูเข็มในสมัยโบราณ หลังจากนั้นกล้องถ่ายภาพได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ เช่น มีการนำเอาเลนส์นูนไปติดตั้งที่ช่องรับแสงที่มีขนาดเล็กเพื่อรวมแสงเข้าไปภายในตัวกล้องให้มากขึ้นทางด้านตรงกันข้ามของเลนส์เป็นตำแหน่งที่ตั้งของวัสดุไวแสงหรือฟิล์ม ซึ่งจะปรากฏภาพถ่ายของวัตถุนั้นขึ้นมา แต่ภาพถ่ายที่ได้ในยุคแรกมีคุณภาพที่ไม่ดีนัก ในยุคต่อมาจึงมีการปรับปรุงให้สามารถปรับที่ตัวเลนส์เพื่อให้เกิดภาพที่ชัดเจนบนฟิล์มมากขึ้น มีการคิดค้นไดอะแฟรมซึ่งเป็นกลีบโลหะมีลักษณะเป็นแผ่นๆ ถูกนำมาประกอบซ้อนกันจนเกิดเป็นลักษณะคล้ายรูวงกลมปรับขนาดให้กว้าง หรือแคบได้เรียกว่า “รูรับแสง” รวมทั้งมีส่วนที่เรียกว่า “ชัตเตอร์” ทำหน้าที่ควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดมารับแสงตามเวลาที่กำหนดเอาไว้ และยังมีอุปกรณ์ชองมองภาพขึ้นมาเพื่อช่วยในการจัดองค์ประกอบของภาพถ่าย ซึ่งหลักการทำงานต่างๆ ทั้งหมดที่ถูกคิดค้นขึ้นจนมาเป็นกล้องถ่ายภาพนั้นเปรียบได้กับหลักการทำงานของดวงตามนุษย์เรา

หลักการทั้งหมดถือเป็นจุดเริ่มต้นของการบันทึกภาพถ่าย ซึ่งปัจจุบันการบันทึกภาพด้วยฟิล์มกำลังถูกทดแทนด้วยการบันทึกภาพด้วยตัวรับภาพ CCD (Charge Couple Device) ซึ่งเป็นระบบของตัวรับภาพแบบดิจิทัล โดยตัวรับภาพบนกล้องแบบดิจิทัลมี 2 ชนิดคือ CCD และ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ซึ่งกล้องดิจิทัลในปัจจุบันจะใช้ CCD เป็นส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสง มีค่าความละเอียดของภาพหลายค่า เช่น 5 ล้านพิกเซล 4.1 ล้านพิกเซล หรือ 3.34 ล้านพิกเซล เป็นต้น จำนวนพิกเซลที่มากจะหมายถึงความคมชัดของภาพที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีความคมชัดมากขึ้นไปด้วย เนื่องจากสามารถบันทึกรายละเอียดของภาพได้มาก ซึ่งความละเอียดของภาพจะระบุในคู่มือการใช้งานกล้องดิจิทัล หรือตรวจสอบได้จากขนาดของภาพสูงสุดที่กล้องสามารถถ่ายได้ เช่น ภาพที่มีขนาด  $2,048 \times 1,536$  เมื่อคูณขนาดตามแนวตั้งและแนวนอนทั้ง 2 เข้าด้วยกันแล้ว จะให้ความละเอียดเท่ากับ  $3,145,728$  ซึ่งจะเป็นค่าพิกเซลโดยประมาณ คือมีความละเอียดประมาณ 3 ล้านพิกเซลความละเอียดของภาพจากกล้องดิจิทัล หมายถึง จำนวนพิกเซล (Pixel) ที่อยู่บนตัวรับภาพทั้งหมด ความละเอียดของภาพหรือพิกเซล เป็นการนำจุดที่เป็นสีหลายสีหลายๆ จุดมาต่อกันให้ได้เป็นภาพออกมา หากมองโดยทั่วไปจะไม่เห็นความแตกต่างว่าภาพเหล่านั้นมีจุดจำนวนมากต่อกันอยู่ในทางทฤษฎีเรียกภาพนี้ว่าภาพแบบ Raster หมายถึงภาพที่นำเอาเม็ดสีจำนวนนับหมื่นนับแสนมาเรียงต่อกันแล้วเกิดเป็นรูปและเมื่อขยายภาพเหล่านั้นออกมาจะพบว่าเม็ดสีจำนวนมากเรียงกันอยู่จนแยกไม่ออก

จากทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นหลักการบันทึกภาพนิ่ง โดยในส่วนของการทำงานที่ภาพเคลื่อนไหวนั้นก็จะมีหลักการคล้ายคลึงกับการบันทึกภาพนิ่ง แต่จะใช้ความเร็วชัตเตอร์ที่สูงและต่อเนื่องจนภาพที่ได้มีความต่อเนื่องกันเป็นภาพเคลื่อนไหว กล้องวิดีโอซึ่งเป็นการบันทึกภาพนิ่งที่ต่อเนื่องกัน และเราสามารถกำหนดประมาณแสงได้ด้วยความเร็วของเฟรมและขนาดของรูรับแสง เมื่อแสงเข้ามากกระทบกับฉากรับแสง CCD กล้องจะทำการบันทึกภาพตามทีผู้ถ่ายตั้ง และถ่ายสัญญาณภาพออกมาพร้อมกันในการถ่ายทอดสัญญาณสดเราจะนำสัญญาณ ที่ได้ออกมาจะกล้องวิดีโอมาผ่านกรรมวิธีต่างๆ เพื่อออกอากาศต่อไป

## 2.2 ระบบส่งสัญญาณภาพไร้สาย

ระบบส่งสัญญาณภาพไร้สายเป็นการนำหลักในการแพร่ภาพ คือการส่งสัญญาณภาพในรูปสัญญาณเอเอ็ม และส่งสัญญาณเสียงในรูปสัญญาณเอฟเอ็ม โดยที่เครื่องส่งจะทำการเปลี่ยนภาพที่อยู่ในรูปพลังงานแสงให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้า แล้วทำการขยายให้มีกำลังมากขึ้น จากนั้นจึงนำไปผสมสัญญาณกับสัญญาณวิทยุ เพื่อเพิ่มความถี่ของสัญญาณทำให้คลื่นสัญญาณเดินทางได้ไกลมากขึ้น แล้วจากนั้นจะทำการแพร่กระจายสัญญาณออกสู่อากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนที่เครื่องรับจะทำการแยกสัญญาณภาพที่ผสมมากับสัญญาณวิทยุออกมา ให้กลายเป็นภาพปรากฏที่หน้าจอเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 หลักการของวงจรออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ คือ วงจรขยายชนิดป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) ทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมา มีความถี่ค่าหนึ่ง โดยไม่ต้องป้อนสัญญาณอินพุต ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

- 1) วงจรขยาย (Amplifier)
- 2) วงจรป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback)
- 3) วงจรเรโซแนนซ์ (Resonance)

โดยที่วงจรขยายเป็นวงจรที่สามารถขยายสัญญาณตามความถี่ที่เราต้องการ วงจรป้อนกลับแบบบวกเป็นวงจรป้อนกลับสัญญาณเพื่อที่จะนำมาขยายให้เพิ่มขึ้น โดยต้องเป็นการป้อนกลับแบบบวก และวงจรเรโซแนนซ์เป็นวงจรที่ใช้เลือกความถี่ ซึ่งวงจรออสซิลเลเตอร์มีด้วยกัน 3 ชนิด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคลื่นไซน์

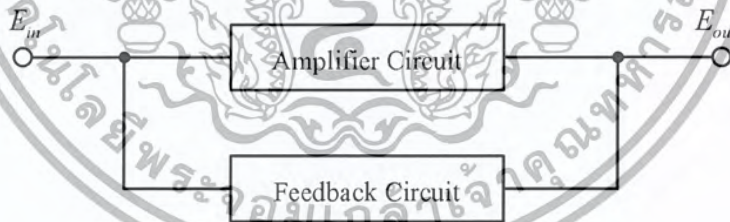
รูปแบบวงจรออสซิลเลเตอร์	ข้อดี - ข้อเสีย	ลักษณะการใช้งาน
LC ออสซิลเลเตอร์	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ความถี่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย</li> <li>2. เสถียรภาพทางความถี่ไม่ถ้อยดี</li> <li>3. นิยมนำไปใช้งานได้ทั่วไป</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้ในเครื่องรับวิทยุ, ทีวี, เอพเอ็ม ฯลฯ</li> <li>2. ใช้เป็นตัวออสซิลเลตในการวัดความถี่สูง</li> </ol>
RC ออสซิลเลเตอร์	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้ช่วงความถี่ต่ำ</li> <li>2. ความถี่สามารถเปลี่ยนแปลงได้</li> <li>3. เสถียรภาพทางความถี่ไม่ดี</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้เป็นตัวออสซิลเลตในการวัดความถี่ต่ำ</li> </ol>
คริสตอลออสซิลเลเตอร์	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. เสถียรภาพของความถี่ดีเป็นพิเศษ</li> <li>2. ใช้ในย่านความถี่สูง</li> <li>3. การทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงทำได้ยาก</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้ในเครื่องรับวิทยุ, นาฬิกา, เครื่องมือวัดชนิดต่างๆ ฯลฯ</li> <li>2. เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับวงจรเฟสล็อกกลุ่ม จะนำไปใช้งานได้กว้างขวาง</li> </ol>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของวงจรป้อนกลับแบบบวก สามารถหาค่าอัตราขยายแรงดันรวมของวงจรได้ดังนี้

$$A_v = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{A}{1 - A\beta} \quad (2.1)$$

จากสมการที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าถ้าเป็นการป้อนกลับแบบบวกในเทอมของ  $A\beta$  จะมีค่าเป็นบวกค่าเฟสเซอร์ของลูปเกน  $A\beta$  จะต้องอยู่ในควอดรนต์ที่ 1 หรือ 4 หรืออยู่ในแกนศูนย์องศา ซึ่งทำให้ค่าส่วนจริงของเฟสเซอร์เกน  $A\beta = 1$  อัตราขยายรวมของวงจรจะมีค่าเป็นอนันต์สามารถนำมาอธิบายการเกิดออสซิลเลชันของวงจรออสซิลเลเตอร์ได้ว่าถ้ามีสัญญาณขนาดเล็กๆ ป้อนเข้ามาทางอินพุตของวงจรขยาย สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะกลับเฟส 180 องศา แล้วผ่านเข้าวงจรป้อนกลับซึ่งจะกลับเฟสไปอีก 180 องศา ทำให้สัญญาณที่ป้อนกลับแบบบวกมาเสริมกับสัญญาณอินพุตซึ่งมีเฟสตรงกันจึงทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ค่าลูปเกน  $A\beta > 1$  จะเริ่มเกิดการออสซิลเลต โดยปกติการเพิ่มขึ้นของสัญญาณจะถูกจำกัดที่แรงดันค่าหนึ่งซึ่งอาจจะเป็นความสามารถของตัวระบบเอง เมื่อค่าลูปเกน  $A\beta = 1$  ดังนั้นเมื่อเกิดการป้อนกลับก็เสมือนว่าป้อนกลับด้วยแรงดันคงที่ ทำให้ได้เอาต์พุตที่มีระดับแรงดันเสมือนกับค่าคงที่ เป็นการออสซิลเลตอย่างต่อเนื่องนั่นเอง โดยพิจารณาจากสมการจะเห็นว่าค่า  $A$  จะถูกหารด้วยศูนย์ซึ่งสัญญาณเอาต์พุต  $E_{out}$  ที่ข้างของวงจรป้อนกลับถึงแม้ว่าสัญญาณอินพุต  $E_{in}$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.1 วงจรป้อนกลับแบบบวก

เงื่อนไขของเฟสสำหรับการออสซิลเลต จากที่วงจรไชน์ออสซิลเลเตอร์เป็นวงจรป้อนกลับคุณสมบัติของการป้อนกลับสามารถอธิบายได้โดยการเลือกค่า  $A$  และ  $\beta$  ให้เหมาะสมเนื่องจากค่าสัญญาณเอาต์พุต  $E_{out}$  เป็นค่าเฟสเซอร์ที่แทนสัญญาณไชน์จากสมการที่ 2.1 เป็นค่าอัตราส่วนของเฟสเซอร์ซึ่งมีทั้งแอมพลิจูด (Amplitude) และเฟส (Phase) ซึ่งถูกตรึงอยู่ในเชิงขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าการลดรูปให้อยู่ในรูปเชิงขั้วสามารถทำได้แต่บางครั้งเพื่อความสะดวกจะพิจารณาเฉพาะตัวส่วนของสมการที่ 2.1 จากที่กล่าวมาแล้วว่าการออสซิลเลตจะเกิดเมื่อสัญญาณอินพุต  $E_m$  มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งทำให้อัตราการขยายรวมของวงจรรวมมีค่าเป็นอนันต์ ซึ่งค่า  $A$  มีค่าแน่นอนดังนั้นตัวหารในสมการที่ 2.1 ต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าวงจรมีค่าสัญญาณเอาต์พุตที่แน่นอนในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามา ดังนั้นในส่วนของสมการที่ 2.1 มีค่าเท่ากับศูนย์ได้สมการ

$$1 - A\beta = 0 \quad (2.2)$$

แปลงสมการที่ 2.2 อยู่ในรูปเชิงขั้วจะได้ว่า

$$A\beta = +1 = 1 \angle 0^\circ \quad (2.3)$$

ถ้ามุมเชิงขั้วของเฟสเซอร์  $A$  และ  $\beta$  เขียนได้เป็น  $\theta_A$  และ  $\theta_B$  ผลคูณของเฟสเซอร์  $A$  และเฟสเซอร์  $\beta$  จะได้เป็นผลบวกของมุมเฟส เพราะว่ามีมุมเฟสในสมการที่ 2.3 มีค่าเท่ากับศูนย์ ความต้องการที่จำเป็นสำหรับการออสซิลเลตในวงจรป้อนกลับจะเป็น

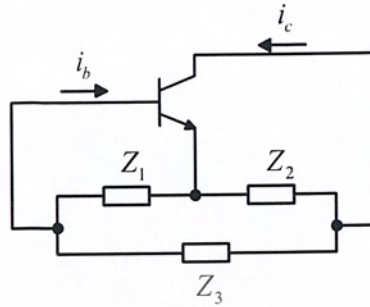
$$\theta_A + \theta_B = 0 \quad (2.4)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของเฟสเซอร์  $A$  และ  $\beta$  สามารถเรียกได้ว่าเป็น เงื่อนไขของเฟส สำหรับการออสซิลเลต (Phase Criterion for Oscillation) วงจรออสซิลเลเตอร์ในทางปฏิบัตินั้น เงื่อนไขของเฟสในสมการที่ 2.4 มักจะเป็นตัวแสดงถึงความถี่ในการทำงาน ค่าฟอร์เวิร์ดเกน  $A$  มักจะเป็นค่าคงที่ ที่มี การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในมุมเฟส  $\theta_A$  ถ้าเฟสเซอร์  $A$  ขึ้นอยู่กับความถี่ พฤติกรรมของวงจร โดยรวมจะต้องปรับตัวเองจนกระทั่งมุมเฟส  $\theta_B$  เป็นไปตามสมการที่ 2.4 โดยอาจสรุปเงื่อนไขการออสซิลเลตได้ดังนี้

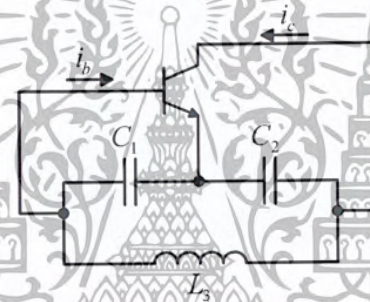
- 1) อัตราการขยายของลูบเกน ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1
- 2) ผลรวมของเฟสต้องเป็นจำนวนเต็มเท่าของ  $2\pi$  เรเดียน หรือ 0 องศา หรือ 360 องศา

### 2.2.1.1 โคลพิตต์ออสซิลเลเตอร์ (Colpitts Oscillator)

ในส่วนของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อกันสามจุดของทรานซิสเตอร์ ที่เป็นวงจรแบบป้อนกลับ ประกอบด้วยอุปกรณ์สามตัวดังรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปจะเรียกว่า วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อกันสามจุด ยกตัวอย่างเช่น วงจรแบบโคลพิตต์ (Copitts) ดังรูปที่ 2.3

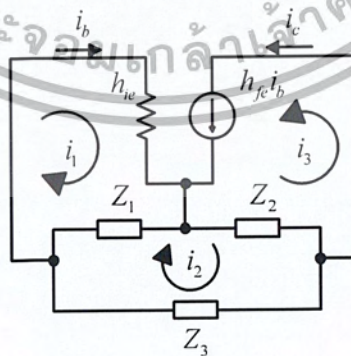


รูปที่ 2.2 รูปทั่วไปของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อสามจุด



รูปที่ 2.3 วงจรเบื้องต้นของโคลทิตต์ออสซิลเลเตอร์

จากรูปที่ 2.3 สามารถเขียนวงจรสมมูลได้



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลของรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์รูป  $i_1$  และ  $i_2$

$$(h_{fe} + Z_1)i_1 - Z_1i_2 = 0 \quad (2.5)$$

$$-Z_1i_1 + (Z_1 + Z_2 + Z_3)i_2 + Z_3i_3 = 0 \quad (2.6)$$

แต่  $i_1 = i_b$  และ  $i_3 = i_c = h_{fe}i_b$  ดังนั้นสมการที่ 2.5 และสมการที่ 2.6 จะได้เป็น

$$(h_{fe} + Z_1)i_b - Z_1i_2 = 0 \quad (2.7)$$

$$(h_{fe}Z_2 - Z_1)i_b + (Z_1 + Z_2 + Z_3)i_2 = 0 \quad (2.8)$$

สมการจะหาคำตอบได้เมื่อ  $i_b \neq 0$  และ  $i_2 \neq 0$  ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ดีเทอร์มิแนนต์ ( $\Delta = 0$ )

$$\Delta = (h_{fe} + Z_1)(Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_1(h_{fe}Z_2 - Z_1) \quad (2.9)$$

$$\Delta = h_{fe}(Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_1\{Z_2(1 + h_{fe}) + Z_1\} = 0$$

เมื่อ  $Z_1, Z_2, Z_3$  เป็นรีแอกแตนซ์แล้ว  $jX_1, jX_2, jX_3$  จะมีค่าเป็น

$$jh_{fe}(X_1 + X_2 + X_3) + X_1X_2(1 + h_{fe}) - X_1X_3 = 0 \quad (2.10)$$

และจากสมการที่ 2.10 ในส่วนของจำนวนจินตภาพจะได้ว่า

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \quad (2.11)$$

โดยจากส่วนของจำนวนจริง

$$X_2(1 + h_{fe}) + X_3 = 0 \quad (2.12)$$

$$X_2 = \frac{-X_3}{(1 + h_{fe})} \quad (2.13)$$

จากสมการนี้จะเห็นว่า  $X_2, X_3$  เป็นรีแอกแตนซ์ต่างชนิดกัน แทนสมการที่ 2.13 ลงในสมการที่ 2.10 ได้ว่า

$$X_1 = \frac{-h_{fe}X_3}{1 + h_{fe}} \quad (2.14)$$

ฉะนั้น  $X_1$  เป็นรีแอกแตนซ์ต่างชนิดกับ  $X_3$

จากสมการที่ 2.10 และ 2.11 ได้ว่า

$$h_{fe} = \frac{X_1}{X_2} \quad (2.15)$$

สรุป

1. ค่ารีแอกแตนซ์ของ  $X_1, X_2$  จะต้องเป็นคนละชนิดกับ  $X_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่ารีแอกแตนซ์ต่างๆ ควรจะเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้  $|X_2| < |X_3|$  ;  $|X_1| < |X_3|$

3.  $h_{fc}$  ควรจะมีค่าเป็น  $h_{fc} = \frac{X_1}{X_2}$

ค่า  $h_{fc}$  นี้จะเป็นค่าที่ออสซิลเลตเป็นแบบอิมตัวแล้วถ้าในกรณีของเพิ่มจะเริ่มออสซิลเลตค่า  $h_{fc}$  ควรจะเป็น  $h_{fc} > X_1/X_2$  จากข้อกำหนดจะได้วงจรพื้นฐานที่เรียกว่า วงจรออสซิลเลเตอร์แบบโคลพิตต์ ดังรูปที่ 2.2 พิจารณา  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$  เทียบกับวงจรดังรูปที่ 2.3 จะได้

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_3 = 0 \quad (2.17)$$

นำ  $j\omega$  คูณตลอดทั้งสมการจะได้

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \omega^2 L_3 = 0 \quad (2.18)$$

$$(2\pi f)^2 = \frac{C_1 + C_2}{L_3 C_1 C_2} \quad (2.19)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L_3 C_1 C_2}} \quad (2.20)$$

แต่เมื่อรวมทริเมอร์ C ที่ปรับค่าได้ จากรูปที่ 2.3 ที่มาพิจารณาแล้วได้ว่า

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + \left( j\omega L_3 // \frac{1}{j\omega C} \right) = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + \left( \frac{L_3}{C} // \frac{1}{j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C}} \right) = 0 \quad (2.22)$$

เอา  $j\omega$  คูณตลอด

$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{-\omega^2 L_3}{-\omega^2 L_3 C + 1} = 0 \quad (2.23)$$

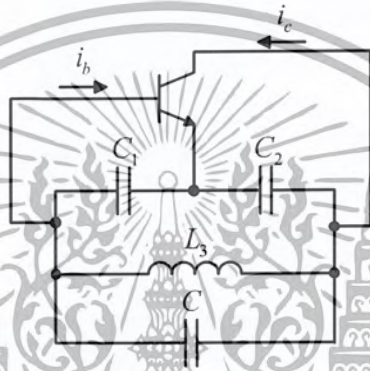
$$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{-\omega^2 L_3 C + 1}{\omega^2 L_3} \quad (2.24)$$

$$\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C = \frac{1}{\omega^2 L_3} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_3 \left( \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C \right)}} \quad (2.26)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_3 \left( \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C \right)}} \quad \text{Hz} \quad (2.27)$$



รูปที่ 2.5 วงจรเบื้องต้นของโคลพิคต์ทรานซิสเตอร์เมื่อรวมเข้ากับทริเมอร์ C

### 2.2.2 การมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude Modulation) [1]

การสื่อสารที่สัญญาณส่งไปยังเครื่องรับโดยไม่ผ่านการมอดูเลต คือไม่มีการย้ายความถี่ของข้อมูลไปจากเดิมเลย การสื่อสารในลักษณะเช่นนี้ มีชื่อว่าการสื่อสารในแบนด์มูลฐาน (Baseband Communication) แต่ถ้การส่งสัญญาณ โดยต้องผ่านกระบวนการมอดูเลตสัญญาณเพื่อย้ายความถี่แล้ว เราจะเรียกการสื่อสารชนิดนี้ว่าการสื่อสารโดยคลื่นพาห์ (Carrier Communication)

ตัวอย่างการสื่อสารในแบนด์มูลฐานที่พบกันอยู่ทั่วไปได้แก่ โทรศัพท์พื้นฐานที่ใช้ติดต่อกันในย่านความถี่เสียง ซึ่งปกติจะมีย่านความถี่ของการใช้งานอยู่ประมาณระหว่าง 0 ถึง 3.5 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณจากแหล่งกำเนิดโดยตรงหรือสัญญาณในแบนด์มูลฐาน (Baseband Signal) ขาดความเหมาะสมที่จะใช้ส่งผ่านช่องการสื่อสารไปยังเครื่องรับ ด้วยสาเหตุสำคัญนี้คือ สัญญาณมีสเปกตรัมของความถี่อยู่ในย่านที่แตกต่างไปจากย่านความถี่ของช่องสัญญาณที่ต้องการ

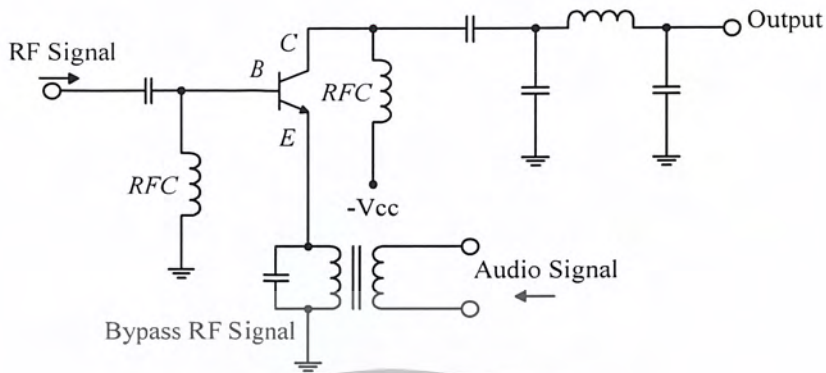
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการมอดูเลตจะทำการย้ายความถี่ของแบนด์มูลฐานให้อยู่ในช่วงความถี่ของช่องการสื่อสารเพื่อที่จะได้สามารถส่งสัญญาณนั้น ผ่านช่องการสื่อสารไปได้ ในกระบวนการนี้ต้องมีการอาศัยสัญญาณหนึ่งเรียกว่า คลื่นพาห์ (Carrier) ซึ่งปกติสร้างขึ้นโดยใช้วงจรรอสซิลเลเตอร์เป็นสื่อในการเคลื่อนย้ายสเปกตรัมของสัญญาณจากแบนด์มูลฐานนั้น ไปยังความถี่ที่ต้องการ กระบวนการที่ทำการเคลื่อนย้ายสเปกตรัมนี้กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเป็นการมอดูเลต คือการฝากสัญญาณในแบนด์มูลฐานไปกับคลื่นพาห์

การมอดูเลตเป็นหัวใจของการสื่อสารวิทยุ “การมอดูเลต”คือการฝากข้อมูลไปกับคลื่นพาห์ ซึ่งคลื่นพาห์จะเป็นตัวช่วยนำสัญญาณข้อมูลนั้น ผ่านสายอากาศแล้วส่งออกอากาศจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศของเครื่องรับได้ การมอดูเลตที่นิยมใช้กันอยู่ในระบบเครื่องส่งวิทยุและระบบโทรศัพท์ทั่วไปนั้นนิยมใช้อยู่ 2 แบบ ก็คือระบบการมอดูเลตแอมพลิจูด และระบบการมอดูเลตทางความถี่ แต่ความแตกต่างของกระบวนการมอดูเลตทั้งสองนั้นก็คือ กระบวนการมอดูเลตแอมพลิจูดนั้นจะเป็นการฝากข้อมูลไปกับแอมพลิจูดของคลื่นพาห์ เป็นการทำให้แอมพลิจูดของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความแรงของสัญญาณข้อมูล โดยคงรักษาความถี่ของคลื่นพาห์นั้นให้มีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา แต่ว่ากระบวนการมอดูเลตทางความถี่นั้น เป็นการฝากข้อมูลไปกับความถี่ของคลื่นพาห์ทำให้ความถี่ของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลข่าวสาร โดยมีแอมพลิจูดของคลื่นพาห์คงที่อยู่เสมอ เราทราบแล้วว่าสัญญาณเอเอ็ม คือคลื่นพาห์ที่เปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือมีแอมพลิจูดไม่คงที่ เมื่อแอมพลิจูดของความถี่ข้างเคียงรวมเข้ากับคลื่นพาห์ด้วยซ้ำเดียวกันแล้วส่งผลทำให้แอมพลิจูดของคลื่นพาห์สูงขึ้น แต่ถ้าความถี่ข้างเคียงที่เกิดขึ้นมีการหักล้างกับแอมพลิจูดของคลื่นพาห์จะลดลง

ตัวอย่างวงจรการมอดูเลตแอมพลิจูด เช่น วงจรอิมิตเตอร์มอดูเลชัน การมอดูเลตสัญญาณจะเกิดขึ้นที่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ดังวงจรรูปที่ 2.7 จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณความถี่วิทยุจะป้อนเข้ามาที่ขาเบส ดังนั้นกระแสอิมิตเตอร์จึงเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณความถี่วิทยุ แต่เมื่อเราทำการป้อนสัญญาณความถี่เสียงเข้าทางด้านอิมิตเตอร์ ส่วนของสัญญาณเสียงที่อิมิตเตอร์จะเป็นตัวจำกัดค่าสูงสุดของกระแสอิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรการมอดูเลตแอมพลิจูด

### 2.2.2.1 การมอดูเลตแอมพลิจูดแบบ ดีเอสบี เอสซี

ในกระบวนการมอดูเลตแอมพลิจูดนั้น แอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารจะถูกใช้ไปบังคับค่าแอมพลิจูด  $A_c$  ของคลื่นพาห์  $A_c = \cos(\omega_c t + \theta_c)$  ให้เปลี่ยนแปลงในขณะที่ความถี่  $\omega_c$  และเฟส  $\theta_c$  จะยังคงเดิม สมการของคลื่นที่มอดูเลตแล้ว  $\phi_{DSB-SC}(t)$  จะเป็นดังนี้

$$\phi_{DSB-SC}(t) = km(t)\cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (2.28)$$

โดยค่า  $k$  คือค่าคงที่ที่กระบวนการมอดูเลตจัดการควบคุมสัดส่วนของ  $A_c$  ให้แปรผันตามสัญญาณข่าวสาร  $m(t)$  เพื่อให้สะดวกการวิเคราะห์สัญญาณเราสามารถที่จะสมมติให้  $k=1$  และ  $\theta_c=0$  ได้โดยไม่เสียความหมายของการวิเคราะห์สัญญาณ แต่จะทำให้รูปสมการที่กระชับขึ้นคือ

$$\phi_{DSB-SC}(t) = m(t)\cos(\omega_c t) \quad (2.29)$$

เพื่อที่จะทำความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในโดเมนความถี่จะได้ฟังก์ชันสเปกตรัมของ  $m(t)$

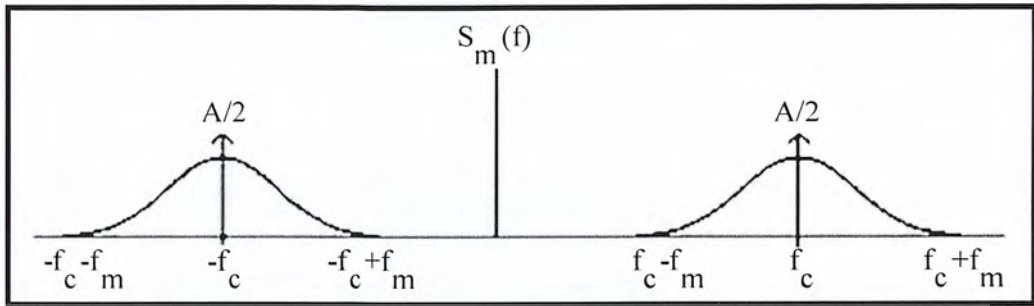
$$m(t) \leftrightarrow M(\omega) \quad (2.30)$$

โดยอาศัยคุณสมบัติการแปลงฟูเรียร์จะได้

$$m(t)\cos(\omega_c t) \leftrightarrow \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] \quad (2.31)$$

$$\phi_{DSB-SC} = \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] \quad (2.32)$$

ซึ่งองค์ประกอบความถี่สัญญาณที่มอดูเลตแบบ ดีเอสบี เอสซี แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบความถี่สัญญาณที่มอดูเลตแบบ ดีเอสบี เอสซี

ถ้าสัญญาณ  $m(t)$  นั้น ไม่มีส่วนประกอบเชิงความถี่ที่เป็นไฟตรง ไซด์แบนด์ทั้งสองที่เกิดจากการมอดูเลตก็จะอยู่ห่างจากกันอย่างชัดเจน และสเปกตรัมของสัญญาณมอดูเลตแบบแอมพลิจูดก็จะเกิดองค์ประกอบความถี่ที่  $\omega = \pm\omega_c$  ปรากฏขึ้น กล่าวคือส่วนประกอบสัญญาณที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของคลื่นพาห้จะถูกจัดออกไปในกรณีดังกล่าว ด้วยเหตุนี้เองทำให้กระบวนการมอดูเลตสัญญาณแบบนี้ได้ชื่อว่า การมอดูเลตแอมพลิจูดแบบไซด์แบนด์ซัดคลื่นพาห้ (AM Double Sideband Suppressed Carrier) หรือการมอดูเลตแบบแถบข้างคู่ซัดคลื่นพาห้ ซึ่งเรียกอย่อว่า ดีเอสบี เอสซี (DSB-SC)

#### 2.2.2.2 การมอดูเลตแอมพลิจูดของวิทยุกระจายเสียง [1]

การดีมอดูเลตสัญญาณ ดีเอสบี เอสซี และสัญญาณ เอสเอสบี (SSB) สามารถทำได้โดยวิธีการดีมอดูเลตแบบสัมพันธ์ ซึ่งเป็นวิธีการที่จะต้องใช้ในการผลิตคลื่นพาห้ทางด้านเครื่องรับให้มีค่าความถี่และเฟสให้เท่ากับคลื่นพาห้จากเครื่องส่ง และการที่จะควบคุมให้เครื่องรับสามารถสร้างคลื่นพาห้ที่ถูกต้องได้ จะต้องอาศัยวงจรที่มีความซับซ้อนพอสมควร ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่า ต้นทุนในการสร้างเครื่องรับนั้นก็ต้องมีราคาสูงตามไปด้วย เพื่อลดปัญหาในเรื่องนี้ จึงได้เกิดการคิดหาวิธีที่จะดีมอดูเลตสัญญาณ ดีเอสบี ชนิดที่ไม่จำเป็นต้องมีการสร้างคลื่นพาห้ทางด้านเครื่องรับขึ้น วิธีการนี้ทำได้โดยใช้คลื่นพาห้  $\cos\omega_c t$  ซึ่งมีขนาดที่เหมาะสมส่งรวมไปกับสัญญาณข้อมูลจากเครื่องส่ง การกระทำเช่นนี้จะทำให้คลื่นสัญญาณที่ส่งมีรูปฟังก์ชันเป็น

$$\phi_{AM}(t) = A_c \cos(\omega_c t) + m(t) \cos(\omega_c t) \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในที่นี้  $A_c$  คือแอมพลิจูดของคลื่นพาห้จักรูปใหม่จะได้

$$\phi_{AM}(t) = A_c \left( 1 + \frac{m(t)}{A_c} \right) \cos(\omega_c t) \quad (2.34)$$

ปกติค่าความถี่ของคลื่นพาห้  $\omega_c$  จะมีค่าสูงกว่าค่าความถี่ที่เป็นองค์ประกอบสูงสุดของสัญญาณ  $m(t)$  มาก ดังนั้นถ้าขนาดของคลื่นพาห้  $A_c$  มีค่ามากพอที่จะทำให้พจน์ในวงเล็บแรกมีค่าไม่เป็นลบตลอดทุกค่าเวลา  $t$  ใด ๆ แล้วสัญญาณ  $\phi_{AM}(t)$  ตามสมการที่ 2.34 ก็จะมียอดคลื่นที่ค่อย ๆ เปลี่ยนไปตามแนวเอนเวโลป (Envelope) หรือ กรอบที่มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณ  $m(t)$  ทุกประการ เพราะฉะนั้นถ้านำสัญญาณ  $\phi_{AM}(t)$  นี้ไปป้อนให้กับ วงจรตรวจจับกรอบสัญญาณ (Envelope Detector) แล้วก็จะทำให้เกิดการตรวจจับแยกสัญญาณ  $m(t)$  กลับออกมาได้อย่างไรก็ตามสมการของสัญญาณเอเอ็ม (Standard AM) โดยทั่วไปนั้นนิยมเขียนคิดแปลงไปจากสมการที่ 2.34 เล็กน้อยคือ

$$\phi_{AM}(t) = A_c (1 + k_a m(t)) \cos(\omega_c t) \quad (2.35)$$

โดย  $k_a$  นั้นเทียบได้กับ  $1/A_c$  และมีชื่อเรียกว่า ความไวของการมอดูเลตแอมพลิจูด (AM Modulation Sensitivity) แต่อย่างไรก็ดี  $k_a$  นี้ไม่จำเป็นจะต้องเท่ากับ  $1/A_c$  แต่จะต้องมีค่าที่ไม่ทำให้  $1 + k_a m(t)$  มีค่าเป็นลบและจากสมการที่ 2.34 ยังพิจารณาได้อีก โดยสมมติว่า มีสัญญาณข่าวสาร  $m(t) = \cos \omega_m t$  ดังนั้นจะได้สมการคือ

$$\phi_{AM} = A_c (1 + m \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_c t) \quad (2.36)$$

เมื่อ  $A_m$  คือแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสาร

$$\mu = \frac{A_m}{A_c} \quad (2.37)$$

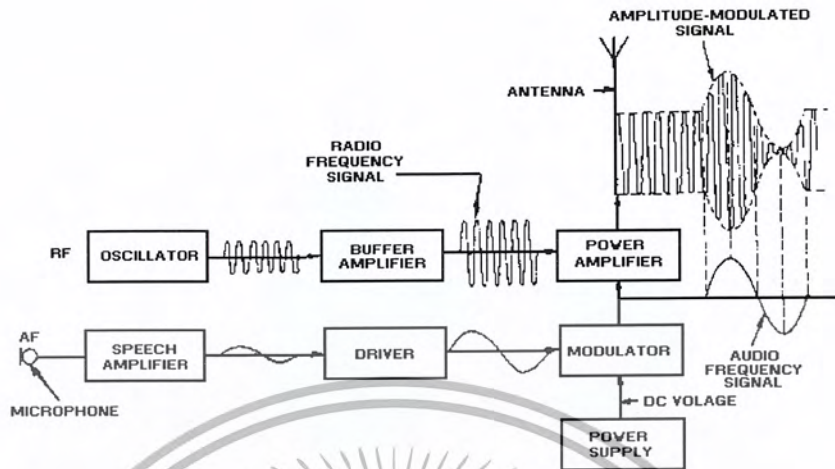
เพื่อไม่ให้ในวงเล็บของสมการที่ 2.36 มีค่าไม่เป็นลบ ค่าของ  $A_c$  จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ  $A_m$  หรือ  $\mu \leq 1$  ทั้งนี้เพราะ  $|\cos(\omega_m t)| \leq 1$  รูปคลื่นสัญญาณ  $\phi_{AM}(t)$  เมื่อคลื่นพาห้มีแอมพลิจูด  $A_c$  น้อยกว่า  $A_m$  หรือ  $\mu > 1$  แนวการเปลี่ยนแปลงของยอดคลื่นในทิศทางบวกของ  $\phi_{AM}(t)$  นั้นจะอยู่ตามกรอบ หรือแนวเอนเวโลปที่ไม่เหมือนกับสัญญาณ  $m(t)$  บ้างในบางส่วน แต่เมื่อ  $A_c$  มากกว่า  $A_m$  จะทำให้ค่า  $\mu < 1$  กรอบของคลื่นพาห้ที่มอดูเลตแล้วจะมีลักษณะดังในรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าแนวของยอดคลื่นนั้นมีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณ  $m(t)$  ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปได้ว่า เพื่อให้กรอบของ  $\phi_{AM}(t)$  มีลักษณะเหมือนสัญญาณข่าวสาร  $m(t)$  จะต้องทำเงื่อนไข  $A_c \geq A_m$  หรือ  $\mu \leq 1$  ให้ได้จะเห็นว่าค่า  $m$  นี้สามารถใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขที่บอกว่า เราจะใช้วงจรตรวจจับกรอบสัญญาณมาทำการตรวจจับสัญญาณข่าวสารจากสัญญาณเอเอ็มได้หรือไม่ และค่า  $m$  นี้ยังใช้เป็นตัวดัชนีที่บอกถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเฉลี่ยของคลื่นพาห์กับกำลังเฉลี่ยของสัญญาณเดอสม็อดูเลชันได้ด้วย ดังนั้นจึงมีการนิยามให้ค่า  $m$  นี้คือ ดัชนีการมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude Modulation Index) ควรสังเกตด้วยว่า ถ้า  $\mu > 1$  เราจะไม่สามารถทำการตรวจจับสัญญาณข่าวสารจากสัญญาณเอเอ็มได้ โดยใช้วิธีการตรวจจับกรอบสัญญาณ ซึ่งในกรณีที่  $\mu > 1$  เราจะเรียกว่าเกิดการมอดูเลตเกิน หรือโอเวอร์มอดูเลชัน (Over Modulation) ขึ้น ปกติค่าดัชนีการมอดูเลตนี้มักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยคิดเทียบ  $\mu = 1$  เป็นร้อยเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.8 รูปคลื่น  $\phi_{AM}(t)$  ตามสมการที่ 2.36



รูปที่ 2.9 การมอดูเลตแอมพลิจูดสำหรับวิทยุกระจายเสียง

## 2.3 สายอากาศ

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับรับ และส่งคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกัน ก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน

คำว่าสายอากาศ เป็นศัพท์เฉพาะด้าน ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ บัญญัติขึ้นจากคำศัพท์ในภาษาอังกฤษ "Antenna" หรือ "Aerial" ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อาจเขียนอักษรย่อ Ant. อย่างไรก็ตาม บุคคลทั่วไปนิยมเรียกว่า เสาอากาศ อาจจะเป็นเพราะเดิมใช้เสาสูงๆ สำหรับติดตั้งสายอากาศนั่นเอง โดยสายอากาศสามารถแบ่งตามรูปแบบการรับ-ส่งคลื่นได้ดังนี้

1. สายอากาศแบบรอบตัว (Isotropic) สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทางเฉลี่ยกันไปโดยรอบ
2. สายอากาศแบบกึ่งรอบตัว (Omni Directional) สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีเกือบรอบตัว มีอัตราขยายสูงกว่าแบบรอบตัว
3. สายอากาศแบบทิศทางเดียว (Directional) สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทิศทางที่กำหนด มีอัตราขยาย (Gain) สูงกว่าประเภทอื่น [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 พารามิเตอร์ของสายอากาศ

#### 2.3.1.1 รูปแบบการแผ่กำลังงาน (Radiation Pattern)

รูปแบบการแผ่กำลังงานหรือรูปแบบกระจายคลื่นของสายอากาศ ได้ถูกนิยามว่า “เป็นการนำเสนอคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานของสายอากาศในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นในรูปพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinate) ในการพิจารณารูปแบบการแผ่กำลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามระยะไกล (Far Field Region) เท่านั้น และจะนำเสนอในรูปของพิกัดทิศทาง (Directional Coordinate) เสมอ” คุณสมบัติของการแผ่กำลังงาน สามารถที่จะแสดงในรูปของการแผ่กำลังงานในแต่ละทิศทาง ซึ่งทิศทางที่เป็นสองมิติและสามมิติเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้สังเกตตลอดเส้นทางหรือผิวของทรงกลม ที่มีรัศมีคงที่ ดังแสดงในรูป 2.10



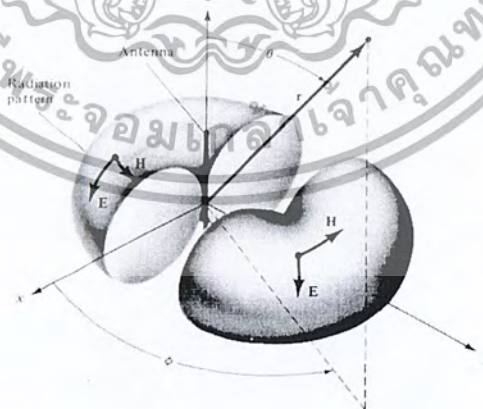
รูปที่ 2.10 ระบบพิกัดทรงกลมซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์รูปแบบการแผ่กำลังงานของสายอากาศ

เส้นการกวาดของกำลังงานที่รับได้ที่ตำแหน่งรัศมีคงที่จะถูกเรียกว่ารูปแบบกำลังงาน (Field Pattern) และอีกวิธีหนึ่ง ถ้าเป็นรูปแบบที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กตามฟังก์ชันของตำแหน่ง เราจะเรียกว่า รูปแบบแอมพลิจูดของสนาม (Amplitude Field Pattern) ในทางปฏิบัตินั้น รูปแบบการแผ่กำลังงานแบบสามมิติ จะถูกวัดและบันทึกในรูปของรูปแบบสองมิติโดยการพล็อตรูปแบบตามฟังก์ชันของมุม  $\theta$  และ  $\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สัมพันธ์และต่อเนื่อกันรูปแบบ แบบไอโซทรอปิก แบบมีทิศทาง และแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว

ตัวแผ่กำลังงานแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) คือ “สายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้นมาว่าไม่มีการสูญเสียภายในตัวเองและมีการแผ่กำลังออกมาทุกทิศทาง” ถึงแม้ว่าตัวแผ่กำลังงานแบบนี้จะไม่มีจริงในทางปฏิบัติ แต่ก็มีประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นตัวอ้างอิงเพื่อหาคุณสมบัติของสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศที่มีอยู่จริง สำหรับสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) คือ “สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่กำลังงานหรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ” ซึ่งคำนี้มักจะนำมาใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (Maximum Directivity) มากกว่าจะใช้กับสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่น (Half-wave Dipole) ซึ่งตัวอย่างของสายอากาศที่มีรูปแบบของการแผ่กำลังงานแบบมีทิศทาง ได้แสดงไว้ดังรูป 2.11 จะเห็นได้ชัดเจนว่าในระนาบมุมกวาด (Azimuth Plane) นั้นรูปแบบการแผ่กำลังงานจะไม่มีทิศทาง แต่ส่วนที่มีทิศทางจะอยู่ในระนาบมุมยก (Elevation Plane) ซึ่งเราเรียกรูปแบบการแผ่กำลังงานชนิดนี้ว่าเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (Omni Directional Pattern) โดยมีนิยามว่า “เป็นรูปแบบการแผ่กำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ ในที่นี้คือมุมกวาด และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะมีรูปแบบการแผ่กำลังงานเป็นแบบมีทิศทาง ในที่นี้คือ “มุมยก”



รูปที่ 2.11 รูปแบบการแผ่กำลังงานแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายกำลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับสัมพัทธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายกำลังงาน” กับรูปแบบที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงจะเป็นอันเดียวกันกับรูปแบบ “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วย ตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem) ถึงแม้ว่ารูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานออกไปตามฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติ ก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้

ในทางปฏิบัติรูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้นๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ เพื่อให้ได้รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานที่ถูกต้องควรจะต้องจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบๆ สายอากาศที่จะทำการวัดให้ปราศจากวัตถุใดๆ ที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่กำลังวัดอยู่

### 2.3.1.2 อัตราขยาย (Gain)

ค่าอัตราขยายของสายอากาศสามารถพิจารณาได้ 2 กรณีคือ

- 1) อัตราขยายจริง (Absolute Gain) ของสายอากาศ (ในทิศทางที่กำหนดให้) หมายถึงอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้รับเข้ามา
- 2) อัตราขยายสัมพัทธ์ (Relative Gain) หมายถึง อัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ก็คือ สายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก ที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic Source) และสายอากาศแบบไดโพล

### 2.3.1.3 อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)

ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศคือ ค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งเกิดขึ้นที่ขั้วด้านเข้าของสายอากาศ หรือเป็นอัตราส่วนของแรงดันกับกระแสที่ขั้วของสายอากาศ หรือเป็นอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหมาะสมของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่จุดหนึ่งๆ ซึ่งใน

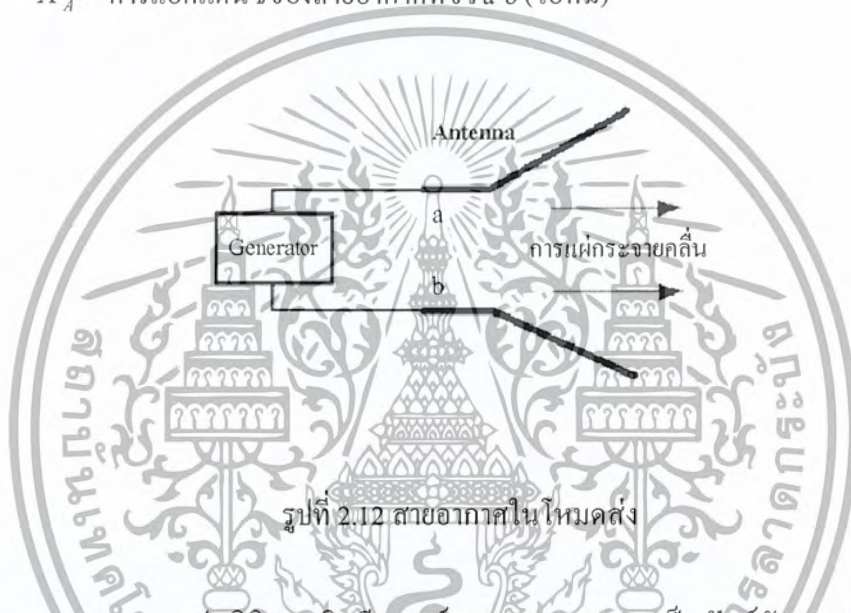
หน่วยนี้เราจะสนใจค่าอิมพีแดนซ์อินพุตที่ขั้วด้านเข้าของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ในที่นี้คือ a-b อัตราส่วนของแรงดันกับกระแสที่ขั้วนี้ขณะไม่มีโหลดใดๆ ต่ออยู่จะทำให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.38)$$

โดยที่  $Z_A$  = ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a-b (โอห์ม)

$R_A$  = ค่าความต้านทานของสายอากาศที่ขั้ว a-b (โอห์ม)

$X_A$  = ค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่ขั้ว a-b (โอห์ม)



รูปที่ 2.12 สายอากาศในโหมดส่ง

ปกติอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะแปรผันกับสายอากาศส่งเฉพาะในช่วงความถี่ช่วงหนึ่งๆ เท่านั้น นอกจากนี้อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับแฟลคเตอร์ต่างๆ อีก ได้แก่ รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึงมักจะพบว่า ส่วนใหญ่จะหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลอง ในการออกแบบสายอากาศนั้นต้องคำนึงถึงค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ด้วย เนื่องจากสายส่งและตัว SMA Connector ที่ใช้มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์มด้วย

### 2.3.1.4 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR)

ถ้าคลื่นที่มีแอมพลิจูดและความถี่เท่ากัน สองคลื่นเคลื่อนที่ในสายส่งในทิศทางตรงกันข้ามคลื่นทั้งสองจะรวมตัวและหักล้างซึ่งกันและกันสลับกันไป ผลที่ได้จะเป็นคลื่นนิ่ง รูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นว่าคลื่นทั้งสองรวมตัวกันเป็นคลื่นนิ่งได้อย่างไร สังเกตว่าจุดที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันสูงสุด และต่ำสุดอยู่ที่เดิมเทียบกับเวลา จุดที่คลื่นผ่านศูนย์ (Zero Crossing) เรียกว่าปม (Node) และตำแหน่งที่เกิดแอมพลิจูดสูงสุดเรียกว่า ขอดโอย่ง (Antinodes) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio เขียนย่อว่า  $VSWR$ ) ในสายส่งที่มีการสูญเสียพลังงานน้อย มีความจำกัดเป็นอัตราส่วนของแรงดันที่มีมากที่สุดต่อแรงดันที่น้อยที่สุด

$$VSWR = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} \quad (2.39)$$

เราสามารถให้คำจำกัดความ  $VSWR$  ให้เป็นค่าที่จุดๆ หนึ่งในสายโดยใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพสะท้อนดังนี้

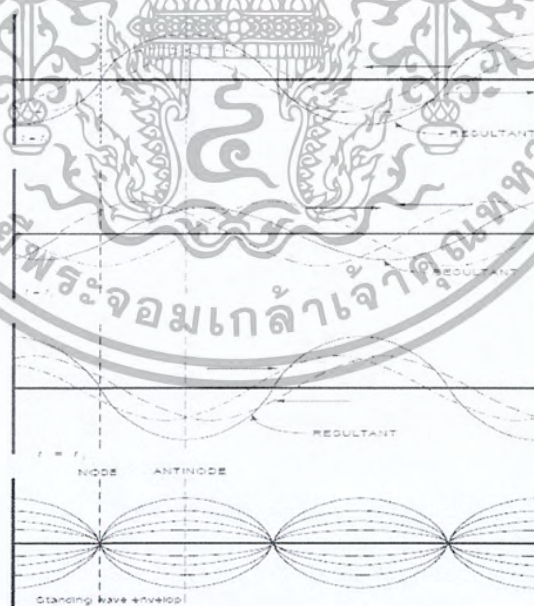
$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.40)$$

$$|\Gamma| = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.41)$$

โดยที่  $|\Gamma|$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น

$Z_0$  คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ

$Z_L$  คือ อิมพีแดนซ์ของโหลด



รูปที่ 2.13 การก่อรูปคลื่นนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.41 จะพบว่า ถ้า  $Z_L = Z_0$  จะทำให้  $\Gamma = 0$  นั่นคือจะไม่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งจะส่งผลให้ค่า  $VSWR = 1$  ซึ่งก็คือการแมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศนั่นเอง แต่ ถ้า  $Z_L \neq Z_0$  จะทำให้  $\Gamma \neq 0$  ก็จะส่งผลทำให้ค่า  $VSWR \neq 1$  นั่นคือจะเกิดการไม่แมตชิ่งกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ ซึ่งถ้าค่า  $VSWR$  มีค่ามากๆ ก็อาจส่งผลกระทบต่อเครื่องส่งทำให้เครื่องส่งเกิดความเสียหายได้ สำหรับค่า  $VSWR$  ที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัตินั้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.5

### 2.3.1.5 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสีย (Loss) นั้นจะเกิดขึ้นทุกครั้งเมื่อระบบการสื่อสารเริ่มทำงาน ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำลง โดยการสูญเสียในทางโทรคมนาคมที่จะกล่าวถึงคือ ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ซึ่งการสูญเสียประเภทนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลเข้าไปในระบบดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.14 การเกิดการย้อนกลับของกำลังงาน

จากรูป  $P_i$  คือ กำลังงานของสัญญาณอินพุต

$P_r$  คือ กำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

$P_o$  คือ กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Return Loss} = 10 \log (P_r / P_i) \quad (2.42)$$

จากสมการจะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับคืออัตราส่วนของ  $P_r$  กับ  $P_i$  ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการส่งผ่าน ซึ่งแสดงได้ว่า ถ้าค่าการสูญเสียย้อนกลับมีมากจะเป็นผลดีเนื่องจากจะมีประสิทธิภาพการส่งผ่านที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด มีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว  $l$  วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 2.15 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครื่องส่ง จะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศ กระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังหัวหนึ่งของไดโพล และไหลกลับมายังอีกหัวหนึ่งของไดโพลดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังหัวแรกของไดโพล

การแจกแจงรูปของกระแส (Current Distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (Magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ปลายทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆ บนตัวไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 2.15 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (Ideal Dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่นๆ สามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบเล็กๆ ของความยาวไดโพล (Infinitesimal Dipole) ที่มีการแจกแจงรูปของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาว คุณสมบัติทางทฤษฎีของไดโพลอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

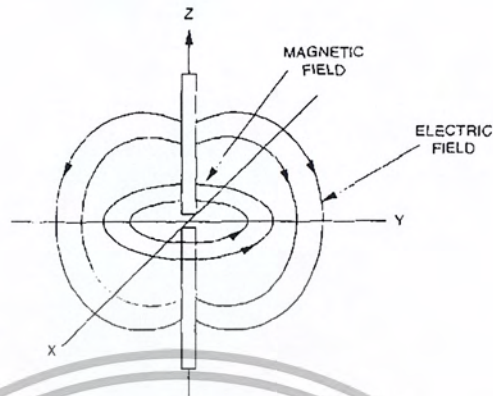
### 2.3.3 รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern)

รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงาน คือการแสดงรูปแบบของกำลังงานที่แผ่กระจายออกจากตัวสายอากาศเป็นรูปภาพ 3 มิติ ที่วัดได้ในบริเวณสนามระยะไกล คุณสมบัติการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง (Space Coordinates) บริเวณของสนามระยะไกลคือ บริเวณที่ไกลเพียงพอสำหรับการวัดรูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางที่อยู่ห่างจากสายอากาศรูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใดๆ สามารถที่จะทราบได้ด้วยการวัดทดลอง และถ้าเราทราบลักษณะการแจกแจงรูปของกระแสบนตัวสายอากาศ ก็จะสามารถหาได้จากการคำนวณ

รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายพลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศซึ่งแสดงถึงระดับสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายกำลังงาน” กับรูปแบบที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงจะเป็นรูปแบบอันเดียวกันกับรูปแบบ “การรับคลื่น” กรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วยตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem)

ถึงแม้ว่ารูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติแต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ การวัดในแต่ละมิติจะวัดในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกัน คือระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้าและระนาบที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก โดยเรียกว่า E-Plane และ H-Plane ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

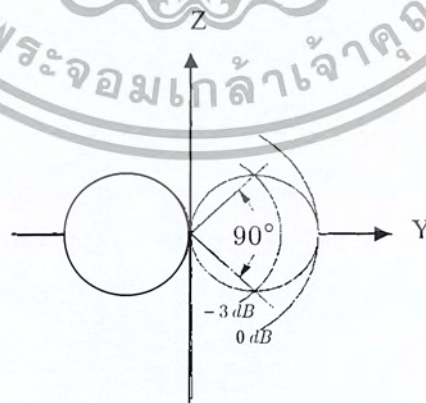
รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงาน ในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้นๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศเพื่อให้ได้รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานที่ถูกต้อง ควรจะจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสายอากาศที่จะทำการวัดให้ปราศจากวัตถุใดๆ ที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่



รูปที่ 2.16 ระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไดโพล

รูปที่ 2.17 ได้แสดงรูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ของไดโพลอุดมคติ รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานนี้แสดงให้เห็นว่าไดโพลอุดมคตินั้นมีทิศทางด้วย เพราะว่าการแผ่กระจายกำลังงานจะมีความแรงของสัญญาณสูง ในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางอื่นๆ

รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานในสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 ซึ่งในรูปแบบนี้การแผ่กระจายกำลังงานจะเท่ากันทุกทิศทาง



รูปที่ 2.17 รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของไดโพลอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beam Width: HPBW) ของสายอากาศคือ การพิจารณามุมในลำคลื่นหลักโดยคิดที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (-3dB) ของกำลังงานที่แผ่ออกใน ทิศทางของกำลังงานสูงสุด

$$HPBW = \left| \theta_{HPBW_{left}} - \theta_{HPBW_{right}} \right| \quad (2.43)$$

ค่า HPBW ของไดโพลอุดมคติในระนาบสนามไฟฟ้าจะเท่ากับ 90 องศาซึ่งดูได้จาก รูปที่ 2.17 สำหรับสายอากาศไดโพลในทางปฏิบัติซึ่งใช้กันทั่วไปจะมีความยาว  $l$  เท่ากับ  $\lambda / 2$ , 1 และ  $3 \lambda / 2$  ค่า  $\lambda$  เป็นค่าความยาวคลื่นของสัญญาณการแรงแจกรูปของกระแสที่เกิดขึ้นบนไดโพล  $\lambda / 2$  จะมีรูปร่างของสัญญาณเป็นรูปไซน์ครึ่งคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยกระแสนี้จะมี ค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางและมีค่าศูนย์ที่จุดปลายสุด

รูปที่ 2.18 ได้แสดงรูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานทั้งจากสายอากาศไดโพลแบบ  $\lambda / 2$  ในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และในไดโพลอุดมคติ โดยสายอากาศไดโพล  $\lambda / 2$  มี HPBW 78 องศาในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และให้ผลที่แคบและบางกว่าลักษณะของ สายอากาศไดโพลอุดมคติส่วนการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ของ สายอากาศไดโพล  $\lambda / 2$  จะมีลักษณะเป็นวงกลมดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของไดโพลอุดมคติ

### 2.3.4 การโพลาไรซ์ของสายอากาศ (Antenna Polarization)

การโพลาไรซ์ของสายอากาศ จะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทาง ซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกล การสายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (Cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และยังถูกแบ่งออกเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular) และรูปแบบวงรี (Elliptical)



รูปที่ 2.20 รูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศไดโพล (เส้นทึบ) และไดโพลอุดมคติ (เส้นประ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศเอง เช่น โนกรีนิของสายอากาศแบบเส้นลวด ซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน เราสามารถที่จะสมมติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศดังรูปที่ 2.21 แต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกันแต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการโพลาไรซ์ได้ เช่น สายอากาศปากแตร (Horn) แบบบ่วง (Loop) และแบบร่อง (Slit) เป็นต้น



รูปที่ 2.21 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

สายอากาศไดโพลขนาดความยาว  $\lambda/2$  และวิธีการวัดรูปแบบการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศไดโพลทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก จะต้องเข้าใจถึงหลักการของการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพลและวิธีคำนวณหาความกว้างลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่ง (HPBW) ของสายอากาศชนิดนี้

เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศ ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมา หากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่น สัญญาณที่รับ

ได้เป็นของการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง แต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เรียกว่า เกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (Cross-Polarization Isolation)

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ [2]

### 2.4.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งซึ่งรวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์ และขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจาก 2 คำรวมกันคือคำว่า “ไมโคร” (Micro) ซึ่งจะหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ซึ่งจะเป็นหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก ภายในจะประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หรือ ซีพียู (CPU : Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำและวงจรสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือ “คอนโทรลเลอร์” (Controller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

### 2.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้อ้างอิงเพื่อการเรียนรู้และใช้งานในโครงการนี้เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลของ MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแฟลช (Flash Memory) สำหรับคุณสมบัติทางเทคนิคที่โดดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์

MCS-51 อนุกรมมีดังต่อไปนี้

- 1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐานของอินเทล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้ถึงหมื่นครั้งจึงสามารถทำให้รูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดียวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอกส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ขนาดของหน่วยความจำสูงถึง 64 กิโลไบต์
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์
- 4) สามารถเขียนหรืออ่านโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการเขียนโปรแกรมใหม่ หรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจรถ หรือในระบบ(ISP : In-System Programming) โดยภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยความจำที่บรรจุโปรแกรมสำหรับเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมหรือเรียกว่า บูตโรม (BootROM) ทำหน้าที่ในส่วนนี้แรงดันที่ใช้ในการโปรแกรมแบบ ISP ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้แรงดันในการโปรแกรมได้ทั้ง +5 โวลต์ และ +12 โวลต์ โดยถ้าใช้แรงดัน +12 โวลต์ จะสามารถโปรแกรมได้ 1000 ครั้ง และถ้าใช้แรงดัน +5 โวลต์ สามารถโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง
- 5) ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 33 เมกะเฮิร์ตซ์ ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมทซ์อินไซเคิล และ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมทซ์อินไซเคิล ได้รับการกำหนดให้ ทำงานเบื้องต้นในโหมดสัญญาณนาฬิกา 6 ลูกต่อแมทซ์อินไซเคิลสามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 12 สัญญาณนาฬิกาต่อแมทซ์อินไซเคิลได้
- 6) ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่นไม่ว่าจะเป็น Intel Siemens หรือ Dallas Semiconductor
- 7) ขาพอร์ต 8 บิต จำนวน 4 พอร์ตเป็นแบบกึ่งสองทิศทาง (Quasi-Bidirectional) สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- 8) มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- 9) ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทม์เมอร์ 0, 1 และ 2)
- 10) สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์ได้ 7 ประเภท
- 11) กำหนดความสำคัญของการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- 13) มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์ (Watchdog Timer)
- 14) มีโมดูลวงจรรนับโปรแกรมได้ (PCA : Programmable Count Array) ซึ่งจะบรรจุด้วยตัวตรวจจับสัญญาณ (Capture) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) วงจรมอดูเลชันความกว้างของพัลส์ (PWM) 5 โมดูล และวอตช์ด็อกไทมเมอร์

## 2.5 รูปร่างของภาพ

วัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันไป ทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ในศาสตร์ของการประมวลผลภาพนั้น การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Image Model) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอาร์เรย์ (Array) โดยค่าในแต่ละช่องของอาร์เรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ พิกเซล และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ สมมติให้ Image เป็นตัวแปรแบบอาร์เรย์ขนาด  $M \times N$  ( $M$  แถว และ  $N$  คอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด  $M \times N$  จุด ( $M$  จุดในแนวนอน และ  $N$  จุดในแนวตั้ง) ค่าสี (หรือความสว่างในกรณีที่เป็นภาพ grey level) ของจุดภาพในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 4 จะตรงกับค่าของ Image (5, 4) จะเห็นว่าเราใช้ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอาร์เรย์

จากการใช้หน่วยความจำเพื่อการเก็บภาพในลักษณะที่กล่าวมา เนื้อที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก  $M \times N \times g$  เมื่อ  $g$  เป็นจำนวนเต็มที่แทนจำนวนบิต (Bit) ของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ตัวอย่างถ้า  $g$  มีค่าเท่ากับ 8 บิต เราจะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับ ค่า  $M$  และ  $N$  จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพ สำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640x480 , 800x600 และ 1,024x768 จุด

เป็นต้น การกำหนดความละเอียดจะขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ในงานบางอย่างใช้ความละเอียดแค่ 30x50 จุด ก็พอแล้วแต่ในงานบางชนิดใช้ความละเอียดถึง 1,000 x 1,000 จุดก็ยังไม่พอ

ปกติแล้วในการเก็บข้อมูลภาพโดยเครื่องมือต่างๆจะเก็บตามมาตรฐานของโทรทัศน์ ซึ่งมีอัตราส่วน x ต่อ y เท่ากับ 4:3 สำหรับเครื่องมือเก็บข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 4:3 เมื่อนำภาพนี้ไปแสดงในจอภาพมาตรฐานจะทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นที่เหลี่ยมจัตุรัสเช่นในบางระบบอาจจะใช้ความละเอียดในการแสดงเท่ากับ 640 x 512 ซึ่งจะทำให้ขนาดของจุดภาพที่ได้มีขนาดของด้านกว้างมีความยาวมากกว่าด้านสูง ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นหัวข้อที่ต้องสนใจสำหรับการเขียนโปรแกรมทางด้านกราฟิกและการจัดการข้อมูล

จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิต ที่ใช้เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิต ต่อจุดมากขึ้นจะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย ตัวอย่าง เช่น

$$\begin{aligned} 1 \text{ บิต} &= 2^1 = 2 \text{ สี} \\ 2 \text{ บิต} &= 2^2 = 4 \text{ สี} \\ 4 \text{ บิต} &= 2^4 = 16 \text{ สี} \\ 8 \text{ บิต} &= 2^8 = 256 \text{ สี} \\ 16 \text{ บิต} &= 2^{16} = 65,536 \text{ สี เป็นต้น} \end{aligned}$$

สำหรับการแสดงข้อมูลภาพที่มีขนาด 1 บิตและ 8 บิตนั้นจะมีการทำงานที่จะใกล้เคียงกันเนื่องจากหน่วยประมวลผลจะไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดี่ยวๆได้ ดังนั้นในการแสดงข้อมูลออกทางจอภาพตัวโปรเซสเซอร์จะทำการถือไปข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 ไบท์) ส่งให้กับจอภาพซึ่งในกรณีที่พิกเซลมีขนาด 1 บิต เมื่อโปรเซสเซอร์จะทำงานกับบิตแรกที่ต้องการแล้วก็จะทำการคัดลอกข้อมูลชุดใหม่ทันทีโดยที่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือ ส่วนในกรณีพิกเซล ที่มีขนาด 8 บิต โปรเซสเซอร์จะทำการคัดลอกข้อมูลชุดใหม่ก็ต่อเมื่อโปรเซสเซอร์ทำงานกับทุกบิตแล้ว

ตัวอย่างระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ 800x600 และมีขนาด 16 บิต ต่อพิกเซล จะสามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65,536 ระดับและต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บเท่ากับ 800x600x16 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในพื้นที่ ซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง แกนสีเขียว และแกนสีน้ำเงินในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (Hue) ความสว่าง (Lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ระบบ RGB HSV (Hue Saturation Value) และ HLS (Hue Lightness Saturation)

### 2.6.1 ระบบสีอาจีบี (RGB)

ระบบสีอาจีบี เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยมีการรวมกันแบบแอดดิทีฟ (Additive) ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (Cathode Ray Tube) ในการใช้งานระบบสีอาจีบียังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งาน ได้แก่ RGBCIE และ RGBNTSC

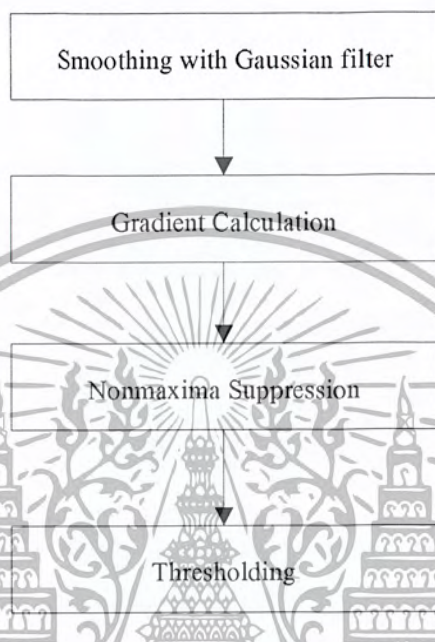
ระบบสีแบบ RGB ของ CIE เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International l'Éclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ 700 นาโนเมตร สีเขียวเท่ากับ 546.1 นาโนเมตร และสีน้ำเงิน 435.8 นาโนเมตร ระบบสีแบบอาจีบีของ NTSC เป็นระบบที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอภาพแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน

### 2.6.2 ระบบสีเกรย์สเกล (Grayscale)

กระบวนการนี้จะพบว่า พิกเซลภาพแต่ละพิกเซลจะให้ค่าความเข้มของแสงออกมาเป็นตัวเลขที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เท่านั้น ช่วงข้อมูลดังกล่าวสามารถแทนด้วยข้อมูลขนาด 1 ไบต์ หรือ 8 บิต ที่จะให้ความละเอียด  $2^8$  หรือ 256 ระดับ จึงทำให้ภาพที่ได้เปลี่ยนเป็นโทนสีขาว-ดำ โดยภาพชนิดนี้จะเรียกว่าภาพเกรย์สเกล (Gray Scale Image)

## 2.7 ทฤษฎีการหาขอบภาพโดยวิธีแคนนี่ (Canny)

ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของแคนนี่ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังภาพที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของแคนนี่

ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของแคนนี่นั้น เริ่มต้นจากกรปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนหลังจากนั้นจะคำนวณค่าขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Orientation) ของเกรเดียนต์ (Gradient) โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง แล้วจึงนำภาพที่ได้มาผ่านกระบวนการลบค่าของพิกเซลที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดในทิศทางของเกรเดียนต์ เพื่อทำให้ได้ขอบภาพที่บางลงและในขั้นตอนสุดท้ายจะใช้อัลกอริทึมการเพิ่มค่าเทรชโฮล (Double Thresholding Algorithm) เพื่อหาพิกเซลที่เป็นขอบและทำการเชื่อมต่อขอบ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.7.1 สมูทติง (Smoothing)

ในขั้นตอนแรกของการหาขอบโดยอัลกอริทึมนี้จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (Mask) ขนาดเล็ก ขนาดของ

กรอบเกาเซียน (Gaussian Mask) นี้หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มากแต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ตัวกรองเกาเซียนเป็นดังสมการ

$$S[i, j] = G[i, j] * I[i, j]$$

กำหนดให้

- $I[i, j]$  คือ ภาพที่ต้องการหาขอบ  
 $G[i, j, k]$  คือ ตัวกรองสมูทติงเกาเซียน (Gaussian Smoothing Filter)  
 $\sigma$  คือ Spread of the Gaussian (ควบคุมระดับของการสมูทติง)  
 $S[i, j]$  คือ Smoothing Image

### 2.7.2 การคำนวณเกรเดียนต์ (Gradient Calculation)

ในขั้นแรกนำ Smoothing Image  $S[i, j]$  มาสร้าง x, y Partial Derivatives  $P[i, j]$  และ  $Q[i, j]$  ตามลำดับดังสมการ

$$\sigma[i, j] = \arctan(Q[i, j], P[i, j])$$

$$Q[i, j] = (S[i, j] - S[i+1, j] + S[i, j+1] - S[i+1, j+1]) / 2$$

หลังจากนั้นนำค่า x, y Partial Derivatives มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานสำหรับการแปลงรูปแบบจากรูปแบบกัวลา (Rectangular) ไปเป็นเชิงขั้ว (Rectangular-to-Polar Conversion) เพื่อหาขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์ตามสมการ

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2}$$

$$\sigma[i, j] = \arctan(Q[i, j], P[i, j])$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่ามุม  $\theta$  ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน

$\arctan(x, y)$

### 2.7.3 การลบค่าที่ไม่ใช่ค่าสูงสุด (Nonmaxima Suppression)

สำหรับการหาขอบโดยวิธีการแคนนี่ จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับเกรเดียนต์ด้วย ซึ่งด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซลภาพที่ได้หลังการทำการลบค่าที่ไม่ใช่ค่าสูงสุดซึ่งจะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดตามแนวที่มีค่าสูงสุด (Local Maxima Points) ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.7.4 เทรสโสดิ่ง (Thresholding)

แม้ว่าภาพจะผ่านการสมูทติงในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่า เทรสโสดิ่งขึ้นมา 2 ค่าคือค่าเทสโสดิ่งสูง (High Threshold) (T1) และค่าเทสโสดิ่งต่ำ (Low Threshold) (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ ระหว่างค่าเทสโสดิ่งทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้างหากพบว่า พิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า >T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นหนึ่งในขอบภาพด้วยเช่นกัน

### 2.8 สัญญาณไฟจราจร

วัตถุประสงค์หลักในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกคือเพื่อจัดการกระแสจราจรที่ติดขัดกันบริเวณทางแยกให้สามารถเดินทางผ่านไปได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพไม่เกิดความล่าช้าในการเดินทางโดยแยกกระแสจราจรให้ใช้พื้นที่ร่วมกันบริเวณทางแยกคนละช่วงเวลา จากประวัติพบว่าสัญญาณไฟจราจรตัวแรกถูกติดตั้งที่หน้ารัฐสภาของประเทศไทยในปี 1868 หลังจากนั้นเป็นต้นมาเทคโนโลยีได้ถูกนำมาพัฒนาระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรอย่างต่อเนื่อง การควบคุมสัญญาณไฟสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของวิธีการกำหนดสัญญาณไฟในแต่ละจังหวัดดังนี้

การควบคุมแบบคงที่ (Fixed-Time) จังหวัดสัญญาณไฟจะถูกเลือกจากรูปแบบของจังหวัดสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลที่เก็บมาก่อนในอดีต ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร การควบคุมแบบคงที่จะไม่สามารถปรับให้เหมาะสมกับสภาพการจราจร

การควบคุมแบบตอบสนอง (Actuated Control) การควบคุมแบบนี้ใช้การเชื่อมโยงระหว่างเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร (Detectors) และจังหวัดสัญญาณไฟจราจร โดยปกติแล้วเฟสของจังหวัดไฟจะเริ่มต้นจากค่าไฟเขียวต่ำสุด (Minimum Green) และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรถยนต์เคลื่อนมาทับเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเฟสจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรว่ามีมากหรือน้อย

การควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Adaptive Control) การควบคุมแบบนี้จะคล้ายกับการควบคุมแบบตอบสนอง ตรงที่จังหวะสัญญาณไฟจราจรจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพการจราจรที่วัดจากเครื่องตรวจนับ ปริมาณการจราจร แต่สิ่งที่แตกต่างคือ การควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติจะมีการคาดการณ์ในอนาคตว่าปริมาณการจราจรเป็นอย่างไรต่อไป จากนั้นก็คำนวณหาจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมที่สุด

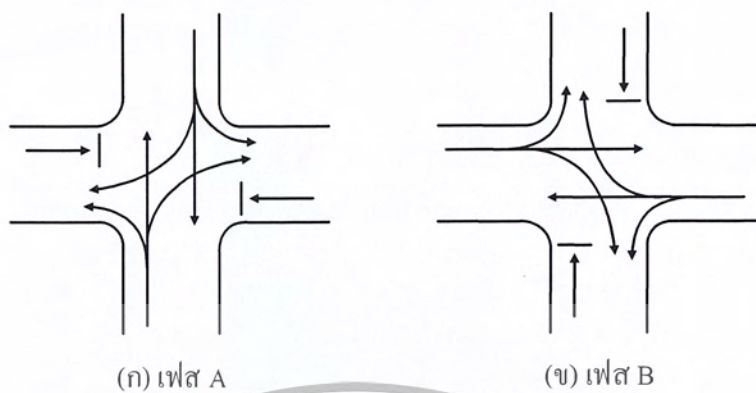
การควบคุมแบบเซมิแอคทีวเอท (Semi Actuate Control) การควบคุมแบบนี้จะให้รถทางเอกผ่านทางแยกได้เกือบตลอดเวลา เมื่อรถในทางโทมาถึงทางแยกเครื่องตรวจนับสัญญาณที่ติดตั้งไว้จะทำงาน ส่งสัญญาณเข้าเครื่องควบคุมเปลี่ยนสัญญาณไฟให้รถในทางโทผ่านทางแยกไปได้ ระบบนี้เหมาะกับทางแยกที่รถในทางโทมีปริมาณต่ำมาก และการใช้ป้ายหยุดทำให้มีอุบัติเหตุสูง ในทำนองเดียวกันสามารถนำมาใช้ในบริเวณทางคนข้ามถนน โดยวิธีกดปุ่มเพื่อให้สัญญาณไฟแดงแก่รถในถนนและไฟเขียวในทางคนข้ามถนน

#### เฟสของสัญญาณไฟจราจร

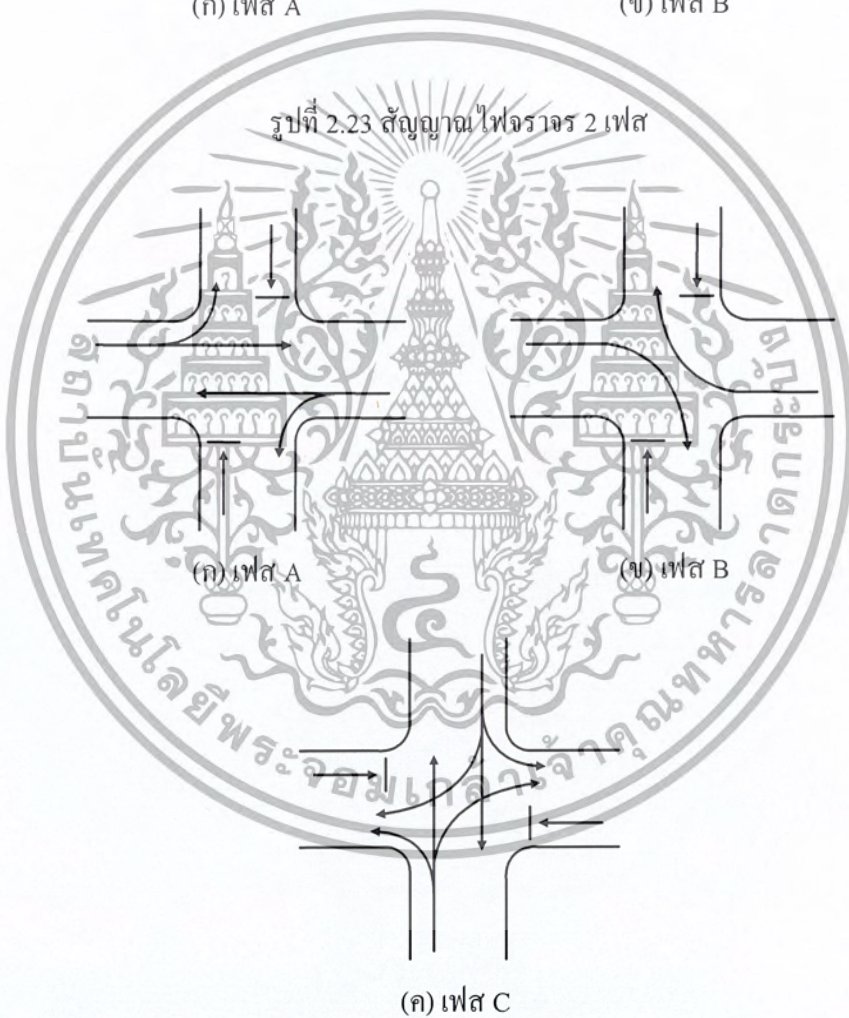
เป็นการจัดระบบไฟจราจร ให้สัญญาณไฟเขียวแก่รถยนต์ในแต่ละทิศทาง ซึ่งจะกำหนดให้เหมาะสมตามสภาพการจราจร มี 3 ลักษณะ ดังนี้

- 1) สัญญาณไฟจราจร 2 เฟส นิยมใช้ในบริเวณแยกที่มีทางโทตัดกับทางโท และมีปริมาณรถที่เลี้ยวขวาน้อย
- 2) สัญญาณไฟจราจร 3 เฟส นิยมใช้ในบริเวณแยกที่มีทางเอกตัดกับทางโท และในทางเอกมีรถเลี้ยวขวาปริมาณมาก
- 3) สัญญาณไฟจราจร 4 เฟส นิยมใช้ในบริเวณแยกที่มีทางเอกตัดกับทางเอก โดยในแต่ละทิศทางมีปริมาณรถมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

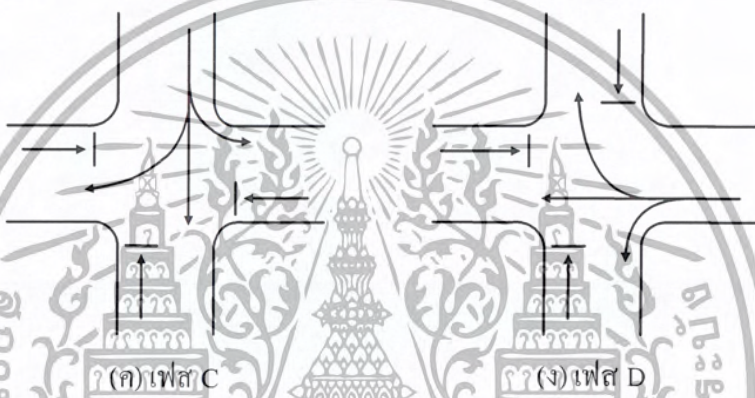
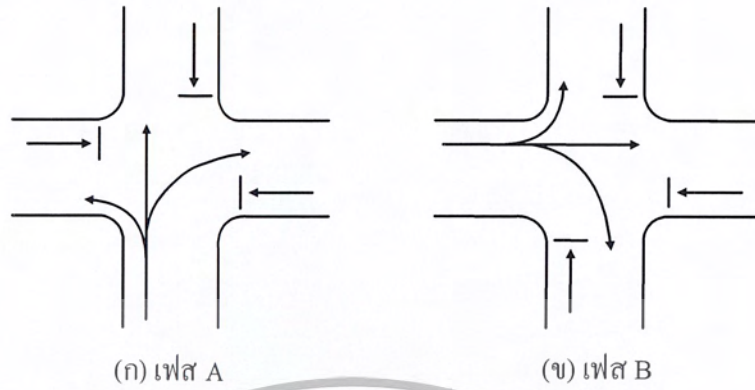


รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์ไฟจากรจร 2 เฟส



รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ไฟจากรจร 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



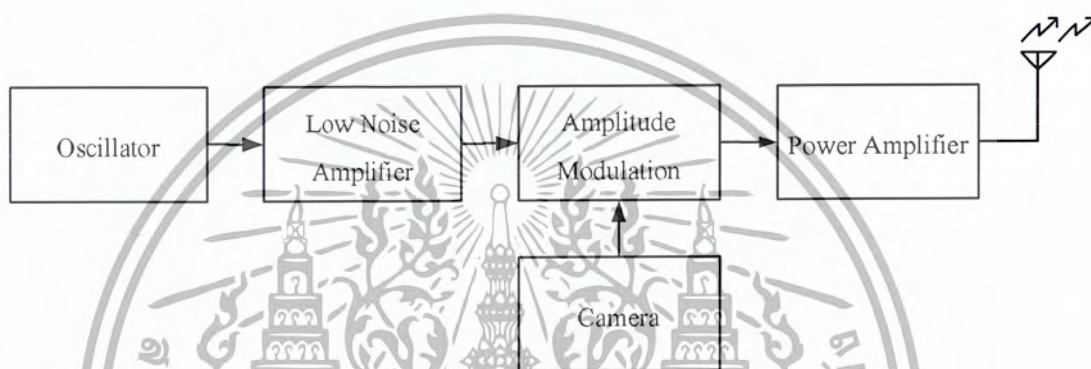
รูปที่ 2.25 สัญลักษณ์ไฟจรวด 4 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบและการจัดทำปริิณญาณิพนธ์

### 3.1 การออกแบบระบบส่งสัญญาณภาพ



รูปที่ 3.1 ระบบส่งสัญญาณภาพ

จากรูปที่ 3.1 เป็นการส่งสัญญาณภาพแบบไร้สาย โดยจะทำการนำสัญญาณภาพจากกล้องวงจรปิดมาทำการมอดูเลตแอมพลิฟายกับคลื่นพาห้ความถี่หนึ่งก่อน โดยใช้การมอดูเลตแอมพลิฟายเพื่อส่งออกอากาศด้วยสายอากาศ ซึ่งความถี่คลื่นพาห้ที่มอดูเลตในแต่ละตัวจะต้องมีความถี่ที่แตกต่างกันออกไปและมีช่วงห่างกันอย่างน้อย 10 เมกะเฮิร์ตซ์ และเพื่อไม่ให้มีสัญญาณอื่นๆ เข้ามารบกวน ความถี่คลื่นพาห้ที่ใช้จะต้องไม่ตรงกับคลื่นความถี่สัญญาณโทรทัศน์ที่ออกอากาศทั่วไปตามตารางที่ 3.1 ในส่วนของระบบส่งสัญญาณภาพนี้จะออกแบบมาเพื่อใช้งานจำนวน 4 ความถี่ คือจะใช้ความถี่ที่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์ 485 เมกะเฮิร์ตซ์ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 595 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งวงจรการมอดูเลตจะประกอบด้วยวงจรทั้งหมดสี่วงจร คือ วงจรวงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก วงจรมอดูเลตแอมพลิฟาย และวงจรขยายกำลัง

ตารางที่ 3.1 ความถี่สถานีโทรทัศน์ที่ออกอากาศในปัจจุบัน

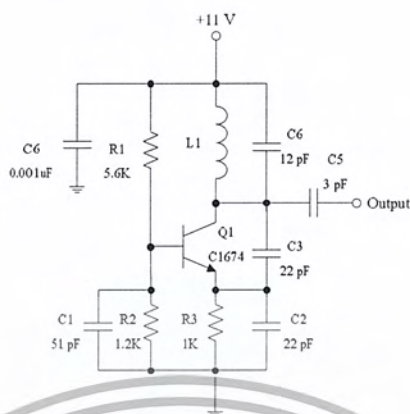
ช่องสัญญาณ โทรทัศน์	ความถี่ (MHz)
สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5	174 - 181
สถานีวิทยุโทรทัศน์สีกองทัพบกช่อง 7	188 - 195
สถานีวิทยุโทรทัศน์โมเดิร์นไนน์ ทีวี	202 - 209
สถานีวิทยุโทรทัศน์แห่งประเทศไทย ช่อง 11 กรมประชาสัมพันธ์	216 - 223
สถานีวิทยุโทรทัศน์ช่อง Thai PBS	534 - 542
สถานีวิทยุโทรทัศน์ช่อง 3	558 - 566

### 3.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

วงจรออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่ผลิตความถี่ที่ใช้เป็นความถี่คลื่นพาห์เพื่อนำไปทำการมอดูเลตแอมพลิจูดกับสัญญาณภาพถือว่าเป็นสัญญาณหลักของภาคส่งสัญญาณภาพการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์จะผลิตความถี่ในย่านยูเอชเอฟ (UHF) ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดออสซิลเลเตอร์แบบ LC ชนิดกราวด์-เบสโคลพิตต์ โดยมีขดลวด  $L_1$  กับทรินเมอร์  $C_1$  ประกอบกันเป็นวงจรปรับทางด้านเอาต์พุตเพื่อสร้างความถี่ของคลื่นพาห์โดยมี  $R_1, R_2, R_3$  เป็นวงจรไบอัสให้กับ  $Q_1$  และ  $C_1$  ทำหน้าที่บายพาสความถี่สูงที่ขาเบสและ  $C_2$  กับ  $C_3$  เป็นตัวแบ่งแรงดันกำหนดอัตราส่วนของสัญญาณที่จะทำการป้อนกลับจากคอลเลกเตอร์มายังอินพุต ดังนั้น  $C_2$  จึงไม่ใช่เป็นตัวเก็บประจุบายพาสเหมือนของวงจรทั่วไป ความถี่ออสซิลเลเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 \left( \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + C_1 \right)}} \text{ Hz} \quad (3.1)$$

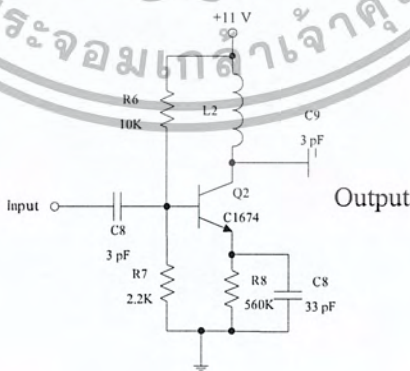
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์

3.1.2 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Low Noise Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณจะขยายสัญญาณที่มาจากวงจรกำเนิดความถี่ที่มีขนาดเล็กให้มีความแรงขึ้นมาเพียงพอที่จะนำไปออกเสตกับสัญญาณภาพได้ โดยการทำงานของวงจรเริ่มจากสัญญาณผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิง  $C_5$  ไปยัง  $Q_2$  โดยมี  $R_6, R_7$  ทำหน้าที่เป็นความต้านทานไบอัสที่ขบเส และมี  $C_8$  เป็นตัวเก็บประจุสกราวด์เพื่อป้องกันการเกิดการสูญเสียกำลังงานที่  $R_8$  ซึ่งต่อไว้เพื่อปรับเสถียรภาพของวงจร ส่วน  $L_2$  จะเป็น RF Choke ซึ่งเป็นตัวป้องกันสัญญาณจากเอาต์พุต ที่ขาคอลเลคเตอร์ไม่ให้เข้าไปปนกับไฟเลี้ยงของวงจร เมื่อทำการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ของวงจรและอัตราขยายของวงจรขยายจะได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{th} = R_1 // R_2 \quad (3.2)$$

$$R_{th} = 10k\Omega // 2.2k\Omega = 1.8k\Omega$$

$$E_{th} = \frac{R_2 V_{cc}}{R_1 + R_2} \quad (3.3)$$

$$E_{th} = \frac{2.2k\Omega \times 1V}{2.2k\Omega + 10k\Omega} = 1.983V$$

$$I_B = \frac{E_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} \quad (3.4)$$

$$I_B = \frac{1.98V - 0.7V}{1.8k\Omega + (70 + 1)560\Omega} = 30.87\mu A$$

$$I_C = \beta I_B \quad (3.6)$$

$$I_C = 70 \times 30.87\mu A = 1.79\mu A$$

$$I_E = I_C + I_B \quad (3.7)$$

$$I_E = 1.79\mu A + 25.61mA$$

$$I_B = 1.81mA$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_c}{r_e} = \frac{\omega L_2}{r_e} \quad (3.8)$$

$$r_e = \frac{25mV}{I_B} = 13.81\Omega \quad (3.9)$$

$$r_e = \frac{25mV}{1.81mA} = 13.81\Omega$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_c}{r_e} = \frac{-X_c}{r_e} \quad (3.10)$$

$$A_v = -\frac{\omega L_2}{r_e} \quad (3.11)$$

ดังนั้นอัตราขยายจะขึ้นอยู่กับค่า  $L_2$  และค่าความถี่ที่ใช้ภายในวงจรนั้นๆ

### 3.1.3 วงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน

การทำงานของวงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน โดยอาศัยระดับแรงดันที่เหมาะสมโดยพิจารณาแรงดันที่ขาอิมิตเตอร์และขาเบส อาศัยคลื่นพาห์ที่ความถี่ 450 – 600 เมกะเฮิรตซ์ เข้าทางขาเบสโดยสัญญาณภาพจะเข้าทางขาอิมิตเตอร์เมื่อระดับสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมิตเตอร์ทำให้คลื่นพาห์เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไปด้วย จึงทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณขึ้นที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์และทำการส่งสัญญาณที่ได้ไปยังภาคส่งออกอากาศต่อไป

เมื่อกำหนดให้สัญญาณวีดีโอที่เข้าที่ขาอิมิตเตอร์เป็น  $m(t)$  เมื่อ  $m(t)$  เกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้  $V_{BE}$  เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย จึงทำให้เกิดการมอดูเลตที่ขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ของวงจรในรูปที่ 3.4 ได้สมการเป็น



รูปที่ 3.4 วงจรมอดูเลตแอมป์ลิฟิเคชัน

$$I_c = I_s e^{-V_{BE} / V_T} \tag{3.12}$$

$$V_{BE} = V_B - V_E \tag{3.13}$$

$$V_{BE} = \cos(\omega_c t) - m(t) \tag{3.14}$$

$$I_c = I_s \left[ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left( \frac{V_{BE}}{V_T} \right)^n}{n!} \right] \tag{3.15}$$

$$I_c = I_s \left[ 1 + \frac{V_{BE}}{V_T} + \frac{\left( \frac{V_{BE}}{V_T} \right)^2}{2!} + \frac{\left( \frac{V_{BE}}{V_T} \right)^3}{3!} + \dots + \frac{\left( \frac{V_{BE}}{V_T} \right)^n}{n!} \right] \tag{3.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพิจารณาแค่ 3 เทอมจะได้สมการที่ 3.6 คือ

$$I_c = I_s \left[ 1 + \frac{V_{BE}}{V_T} + \left( \frac{V_{BE}}{V_T} \right)^2 \right] \quad (3.17)$$

$$I_c = I_s \left[ 1 + \frac{\cos(\omega_c t) - m(t)}{V_T} + \left( \frac{\cos(\omega_c t) - m(t)}{V_T / 4} \right)^2 \right] \quad (3.18)$$

จากสมการการมอดูเลตแบบเอเอ็ม(AM)

$$\phi_{AM} = A_C (1 + k_a m(t)) \cos(\omega_c t) \quad (3.19)$$

$$\phi_{AM} = A_C \cos(\omega_c t) + A_C k_a m(t) \cos(\omega_c t) \quad (3.20)$$

เมื่อ

$$I_c = I_s \left[ 1 + \frac{\cos(\omega_c t) - m(t)}{V_T} + \left( \frac{\cos(\omega_c t) - m(t)}{2V_T} \right)^2 \right] \quad (3.21)$$

$$I_c = I_s + \frac{I_s}{V_T} \cos(\omega_c t) - \frac{I_s}{V_T} m(t) + \frac{I_s}{2V_T^2} \cos^2(\omega_c t) - \frac{I_s}{V_T^2} m(t) \cos(\omega_c t) + \frac{I_s}{2V_T^2} m^2(t)$$

ดังนั้นสมการการมอดูเลตของวงจรในรูปที่ 3.4 คือ

$$I_c = A \cos(\omega_c t) + km(t) \cos(\omega_c t) \quad (3.22)$$

โดยให้  $A = \frac{I_s}{V_T}$  และ  $K = -\frac{I_s}{V_T^2}$

ในส่วนของ  $I_s$  และ  $V_T$  จะเป็นค่าคงที่และองค์ประกอบของความถี่อื่นๆ ดังสมการที่ (3.23) ถ้าทำการกรองโดยใช้ Band Pass Filter เพื่อกรองความถี่ตามที่ต้องการออกมา ดังนั้นจึงได้สมการมอดูเลตคือ

$$I_c = (A + km(t)) \cos(\omega_c t) \quad (3.23)$$

### 3.1.4 วงจรขยายกำลังสัญญาณ (Power Amplifier)

การคำนวณจะคล้ายกับวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก โดยวงจรขยายกำลังที่ใช้จะเป็นการไบอัสแบบแบ่งแรงดัน จะขยายสัญญาณที่ออกมาจากวงจรมอดูเลเตอร์ให้มีขนาดที่ใหญ่พอที่จะส่งไปในสายอากาศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{BB} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC} \quad (3.24)$$

$$V_{BB} = \left( \frac{150\Omega}{680\Omega + 150\Omega} \right) 11V = 1.98V$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.26)$$

$$R_B = \frac{(150\Omega)(680\Omega)}{150\Omega + 680\Omega} = 122.8\Omega$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta + 1}} \quad (3.27)$$

$$I_C \approx I_E = \frac{1.98 - 0.7}{15.6 + \frac{122.8}{133 + 1}} = 77.5mA \quad (3.28)$$

$$P = VI \quad (3.29)$$

$$P = (11V)(77.5 \times 10^{-3} A) = 0.8525$$

$$P(dBm) = 10 \log \left( \frac{P}{10^{-3}} \right) \quad (3.29)$$

$$P(dBm) = 10 \log \left( \frac{0.8525}{10^{-3}} \right) = 29.3dBm$$

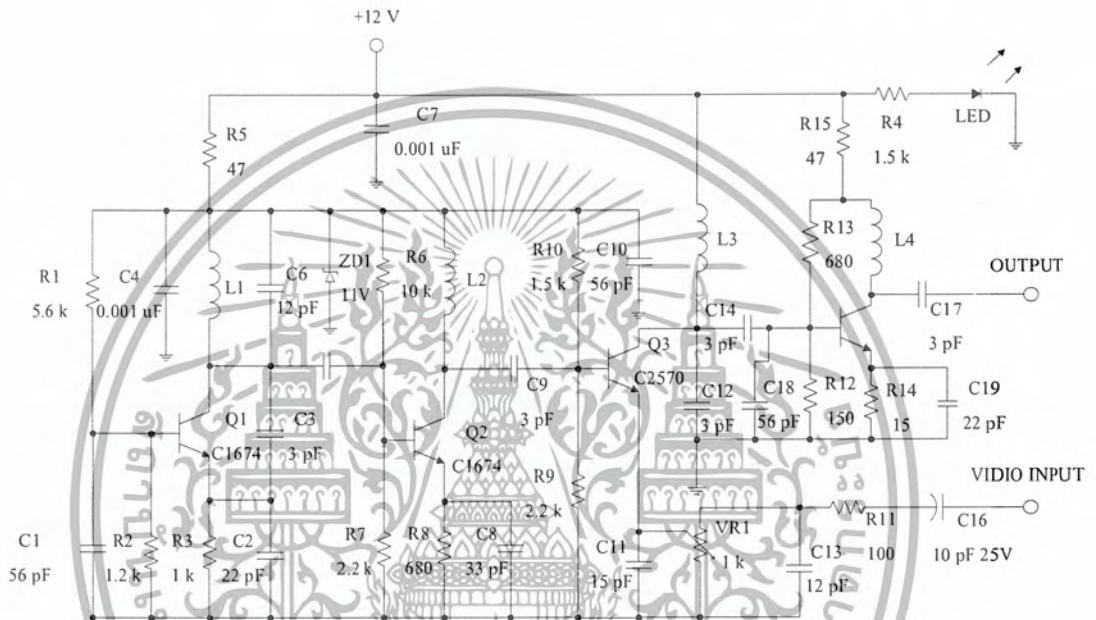


รูปที่ 3.5 วงจรขยายกำลังสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 วงจรรวมระบบส่งสัญญาณภาพ

จากรูปที่ 3.6 เป็นการนำวงจรจอร์จรอซซิลเลเตอร์ วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก วงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน และวงจรขยายกำลังสัญญาณ มารวมกันเป็นวงจรเดียวกัน เพื่อสร้างวงจรมอดูเลตสัญญาณภาพส่งออกอากาศ



รูปที่ 3.6 วงจรรวมระบบส่งสัญญาณภาพ

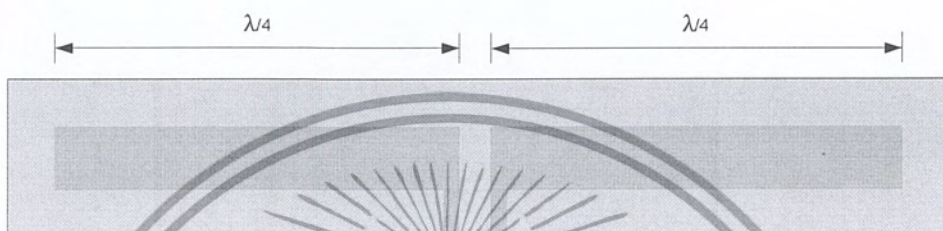
## 3.2 การออกแบบสายอากาศ

### 3.2.1 สายอากาศ

ในการส่งสัญญาณ ผู้จัดทำได้เลือกใช้สายอากาศไดโพล เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสมกับชนิดของงาน โดยในการออกแบบนั้น ผู้จัดทำได้นำแนวความคิดของสายอากาศไดโพลมาสร้างลงบนแผ่นพีซีบี โดยเรียกสายอากาศชนิดนี้ว่า “สายอากาศปรินท์ไดโพล”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าสายอากาศที่ออกแบบจะมีลักษณะเป็นเหมือนเสาอากาศไดโพล แต่จะถูกสร้างขึ้นบนแผ่นพีซีบี โดยชนิดของแผ่นพีซีบีที่นำมาใช้นั้น จะเป็นแผ่น FR-4 ซึ่งมีค่ารีเลทีฟไดอิเล็กตริก (Relative Dielectric) เท่ากับ 4.3 มีความหนาของชั้นไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร และความหนาแผ่นทองแดงเท่ากับ 1.37 มิล หรือ 0.0348 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 สายอากาศปรินต์ไดโพล



รูปที่ 3.8 ความหนาของแผ่น FR-4

โดยในการคำนวณหาความยาวสายอากาศไดโพลปกติ นั้น สามารถคำนวณได้จากหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น (Quarter Wavelength) ดังสมการ

$$\lambda = c / F \quad (3.30)$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4F} \quad (3.31)$$

ดังนั้นถ้าต้องการเสาอากาศสำหรับความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นเท่ากับ

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4F} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 520 \times 10^6}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 0.14423$$

เมื่อได้ทำการคำนวณหาค่าหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นเรียบร้อยแล้ว จึงทำการจำลองสร้างและทดสอบผลโดยการใช้โปรแกรมจำลองสร้างสายอากาศ

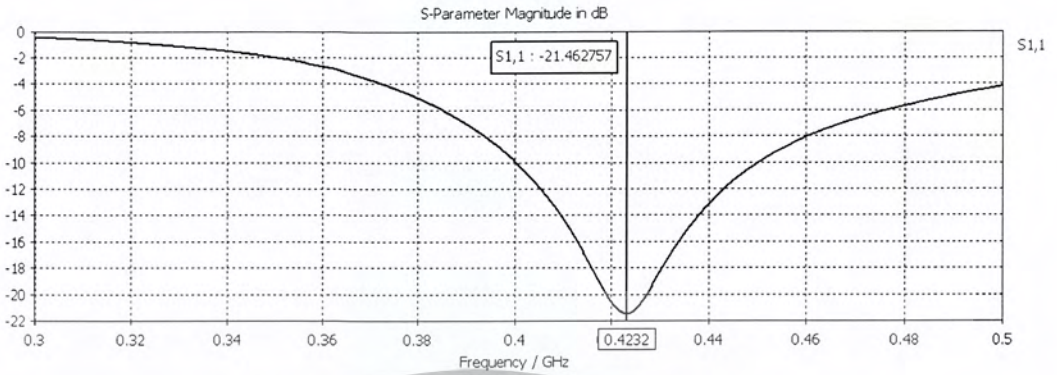
จากการออกแบบและสร้างสายอากาศเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณภาพที่ความถี่ต่างๆ พบว่าที่ความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ สามารถจำลองสายอากาศโดยการคำนวณหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น ได้ค่า 0.14423 เมตร เมื่อนำไปสร้างในโปรแกรมจำลอง เพื่อดูคุณลักษณะของสายอากาศ ได้ผลออกมาดังนี้



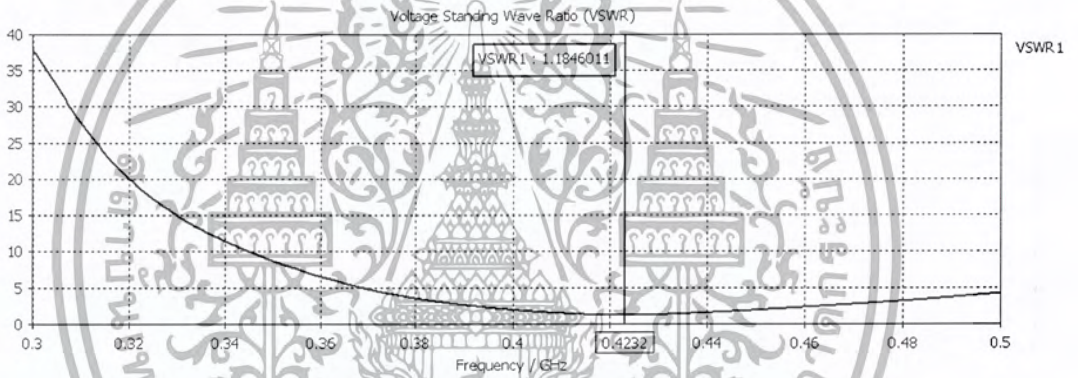
รูปที่ 3.9 สายอากาศที่จำลองโดยโปรแกรมจำลองสายอากาศ

เมื่อจำลองสายอากาศตามที่คำนวณมาพบว่า ค่าที่ได้จากการคำนวณกับการจำลองมีค่าที่แตกต่างกัน คือจากการคำนวณ คาดว่าจะได้สายอากาศที่มีความถี่กำหนดที่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ แต่จากการจำลองได้ความถี่กำหนดออกมาที่ 423.3 เมกะเฮิร์ตซ์ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -21.46 dB และมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 1:1.18 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

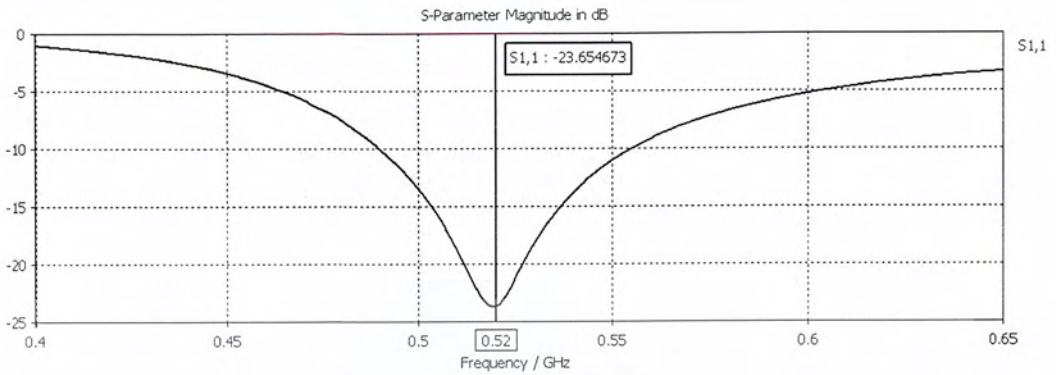


รูปที่ 3.10 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.14423 เมตร

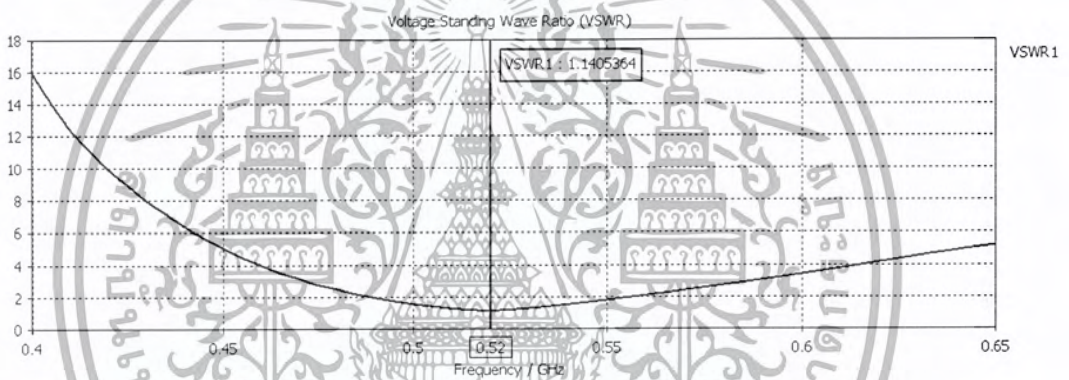


รูปที่ 3.11 อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.14423 เมตร

ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการจำลองเพื่อหาค่าค่าความถี่ที่ต้องการและทำการสร้างสายอากาศตามค่าที่ได้จากการจำลอง โดยจากการจำลองผลเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ ได้ค่าหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น เท่ากับ 0.1145 เมตร มีค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่ากับ -23.65 dB และมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 1:1.14 ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และ รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.1145 เมตร

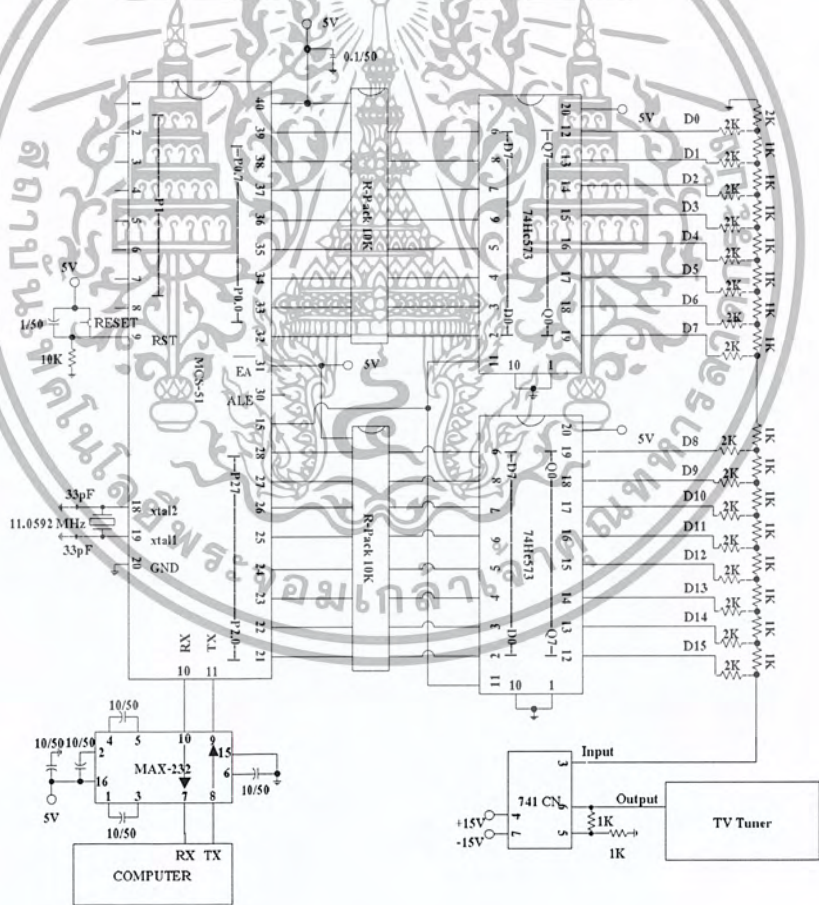


รูปที่ 3.13 อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น 0.1145 เมตร

เมื่อจำลองผลได้ตรงตามความถี่ที่ต้องการแล้ว ลำดับต่อมาคือ การสร้างจริง และทดสอบผล เพื่อนำไปใช้งานต่อไป โดยวัตถุประสงค์ของโครงการคือต้องการสร้างเสาอากาศส่งทั้งหมด 4 ความถี่ ดังนั้นในการออกแบบ จึงต้องทำการออกแบบสายอากาศโดยวิธีการดังกล่าวทั้งหมด 4 ครั้ง เพื่อใช้ในการส่งทั้งหมด 4 ความถี่

### 3.3 วงจรภาครับสัญญาณภาพ

การรับสัญญาณภาพจะใช้อุปกรณ์ที่วิจูนเนอร์เพื่อทำหน้าที่ติมอดูเลตสัญญาณภาพที่ส่งมาจากภาคส่ง ซึ่งเป็นการส่งแบบมอดูเลตแอมพลิจูด โดยที่วิจูนเนอร์ที่ใช้งานสามารถรับสัญญาณได้ในช่วงความถี่ 216 ถึง 800 เมกะเฮิร์ตซ์และสามารถเลือกความถี่กึ่งกลางที่ต้องการได้ โดยการใช้แรงดันไฟฟ้าในการควบคุม (Voltage Control Oscillator) การควบคุมที่วิจูนเนอร์ที่ภาครับนั้นทำโดย การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งสัญญาณดิจิตอลออกไปทาง พอร์ต P0 และ P2 ผ่านไปยังวงจร R-2R Ladder เพื่อให้ได้เป็นสัญญาณอะนาล็อก แล้วจึงผ่านวงจรขยายแรงดัน นำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปควบคุมที่วิจูนเนอร์ให้เลือกความถี่ที่เราต้องการ



รูปที่ 3.14 วงจรภาครับสัญญาณภาพ

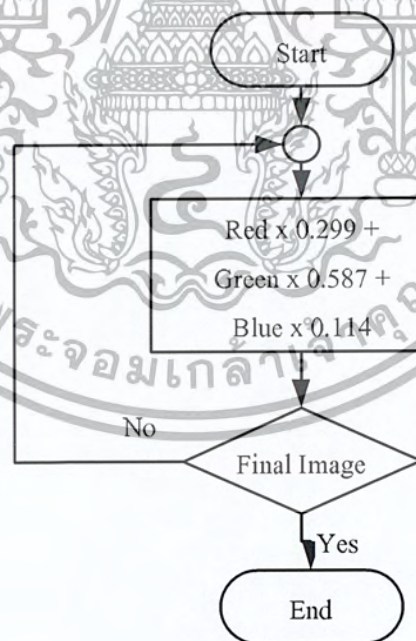
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การประมวลผลภาพเพื่อควบคุมระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร

#### 3.4.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัลทำได้โดยการนำเอาภาพสีมาแปลงให้เป็นภาพขาวดำ แล้วทำการหาขอบภาพโดยคำสั่งแคนนี่ ในโปรแกรมเมทแลป (MATLAB) จากนั้นทำการแบ่งถนนแต่ละช่องทางเป็นช่วง ความยาวช่วงละ 5 เมตร แล้วทำการตรวจสอบหาขอบภาพในแต่ละช่วง ถ้าช่วงใดมีรถยนต์จะมีขอบภาพเกิดขึ้นเนื่องจากมีระดับสีที่แตกต่างกันแต่ถ้าช่วงใดไม่มีรถยนต์จะไม่ปรากฏขอบภาพ ซึ่งจะใช้กระบวนการนี้ในการตรวจสอบว่ามีรถยนต์ในช่วงนั้นหรือไม่ โดยจะทำการตรวจสอบตามความยาวถนนเป็นระยะ 80 เมตร ในการประมวลผลมีขั้นตอนดังนี้

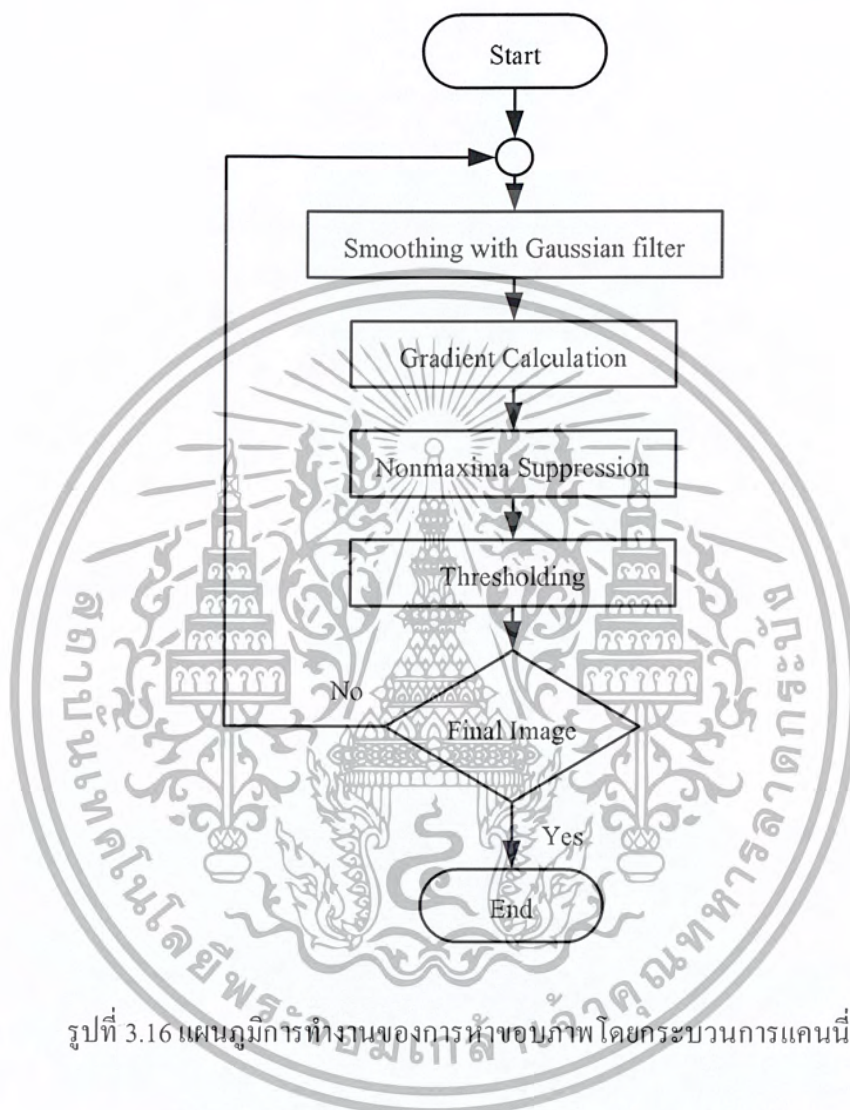
1) นำภาพสีที่ได้จากกล้องมาแปลงเป็นภาพขาว-ดำ โดยโปรแกรมเมทแลป



รูปที่ 3.15 แผนภูมิการทำงานของการแปลงภาพสีอิจิปี เป็นภาพขาว-ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) นำภาพเกรย์สเกลมาทำการหาขอบภาพโดยใช้กระบวนการแค่นี้



รูปที่ 3.16 แผนภูมิการทำงานของการหาขอบภาพโดยกระบวนการแค่นี้

3) นำภาพที่ผ่านกระบวนการหาขอบภาพด้วยกระบวนการแค่นี้ มาทำการคำนวณหาความหนาแน่นของรถยนต์ โดยการแบ่งภาพถนนตามความยาวออกเป็นช่วง ความยาวช่วงละ 5 เมตร จากนั้นสร้างสมการเส้นตรงพาดผ่านกลางถนน แล้วตรวจสอบขอบภาพตามแนวสมการเส้นตรงนั้นว่าในแต่ละช่วงมีขอบภาพหรือไม่ ถ้ามีขอบภาพก็แสดงว่าช่วงนั้นมีรถยนต์ เพราะถ้าภาพบริเวณใดมีรถยนต์จะเกิดความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระดับสี และเมื่อผ่านกระบวนการแล้ว จะเกิดเป็นขอบภาพ นอกจากนี้จะตรวจสอบด้วยว่าขอบภาพนั้นมีความต่อเนื่องหรือไม่ โดยพิจารณาความต่อเนื่องของขอบภาพข้างซ้าย 2 พิกเซล ข้างขวา 2 พิกเซล ถ้าขอบภาพที่ได้ไม่มีความต่อเนื่องก็จะถือว่าเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) จากการตรวจสอบข้างต้นก็จะสามารถแก้ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนขนาดเล็กๆ ได้ จากนั้นก็จะทำการนับจำนวนช่วงทั้งหมดที่มีรอยนต่ออยู่ จะได้ความหนาแน่นของปริมาณรอยนต่อในถนนเส้นนั้น

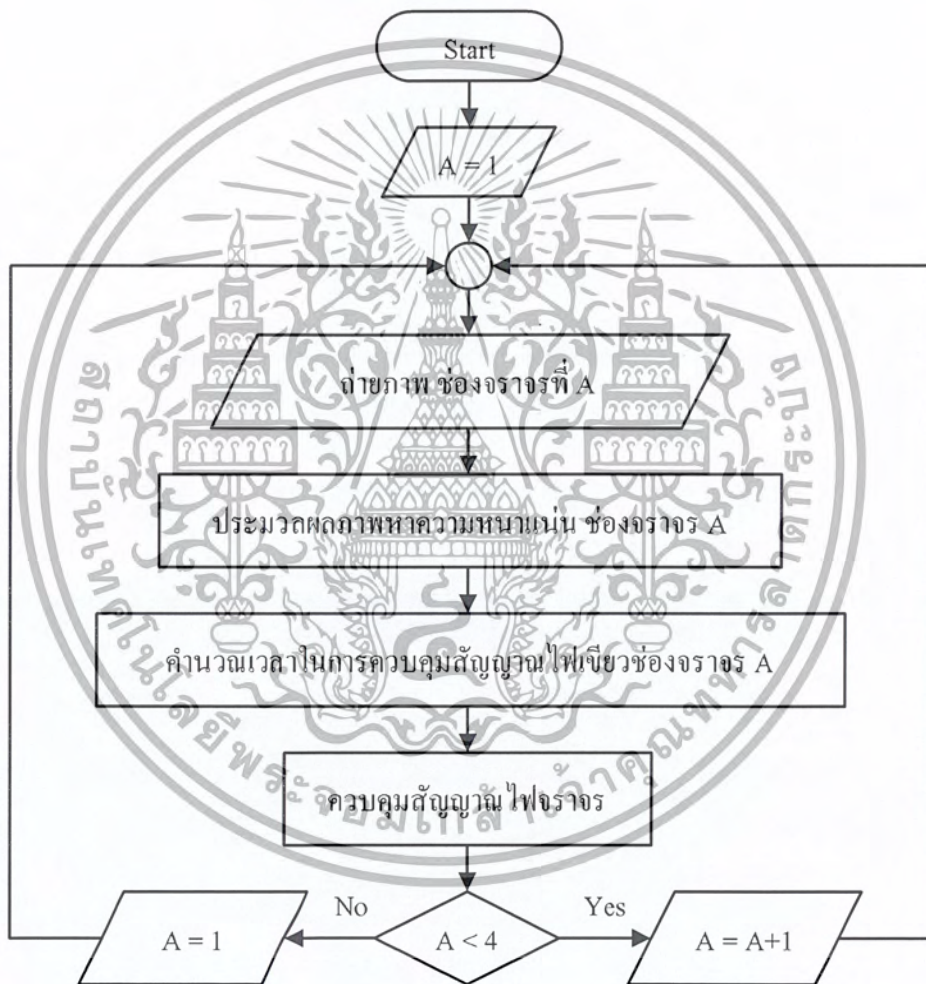


รูปที่ 3.17 แผนภูมิกระบวนการประมวลผลหาความหนาแน่นของรอยนต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและระบบประมวลผลหาความหนาแน่นของรถยนต์

ใช้รูปแบบการควบคุมไฟจราจรแบบ 4 เฟส โดยจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อนำมาคำนวณหาระยะเวลาในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ให้เหมาะสมมีประสิทธิภาพมากที่สุด



รูปที่ 3.18 แผนภูมิต่อระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและระบบประมวลผลหาความหนาแน่นของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1.) Spectrum Analyzer
- 2.) Power Supply
- 3.) Multimeter
- 4.) Oscilloscope
- 5.) Function Generator
- 6.) Television
- 7.) Network Analyzer

### 3.6 การจัดเก็บผลการทดลอง

1. การเก็บผลการทดลองวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรถ่ายสัญญาณ จะใช้เครื่องออสซิลเลเตอร์ ในการวัดขนาดของสัญญาณในโดเมนความถี่ (สเปกตรัม)

2. การเก็บผลการทดลองวงจรส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน จะใช้เครื่องสเปกตรัมแอนะไลเซอร์ (Spectrum Analyzer) ในการวัดขนาดของสัญญาณในโดเมนความถี่ และทำการมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันสัญญาณภาพแล้วใช้โทรทัศน์ในการรับสัญญาณภาพ และเก็บภาพที่ได้จากโทรทัศน์

3. การสร้างสายอากาศ จะเริ่มต้นออกแบบ และเก็บผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมจำลองสร้างสายอากาศ เมื่อได้สายอากาศที่เหมาะสมแล้วจึงดำเนินการสร้างจริง นำสายอากาศที่ได้มาทดสอบกับเครื่องเน็ตเวิร์คแอนะไลเซอร์ (Network Analyzer) เพื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศ สำหรับนำไปปรับแต่งสายอากาศและจัดเก็บผลการทดลอง เมื่อได้สายอากาศที่มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการ

4. ถ่ายภาพการจราจรบริเวณสี่แยกจราจรขนาดความละเอียด 640 x 480 พิกเซล เพื่อนำภาพที่ได้ไปใช้สำหรับการประมวลผลภาพสำหรับควบคุมสัญญาณไฟจราจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการเก็บผลการทดลองของวงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน และสายอากาศส่งทีละวงจร โดยเริ่มจากการส่งสัญญาณภาพด้วยวงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันออกอากาศผ่านทางสายอากาศ โดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวรับสัญญาณภาพ ซึ่งจะทำการรับสัญญาณภาพที่ระยะต่างๆ เริ่มที่ระยะห่างจากตัวส่ง ตั้งแต่ 5 -70 เมตร โดยจะทำการเพิ่มระยะทางครั้งละ 5 เมตร

6. ทำการเก็บผลการทดลองของวงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันและสายอากาศส่งพร้อมกัน ทั้ง 4 วงจร โดยเริ่มจากการส่งสัญญาณภาพด้วยวงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันออกอากาศผ่านทางสายอากาศ โดยจำลองการติดตั้งวงจรถูกส่งและภาครับให้มีระยะห่างใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง คือภาคส่งแต่ละวงจรจะห่างกัน 40 เมตร และใช้วงจรถูกรับเป็นตัวรับสัญญาณภาพเข้าสู่ทรานซิสเตอร์ผ่านทางช่องรับสัญญาณภาพ (AV Component)

7. นำสัญญาณภาพที่ได้จากทรานซิสเตอร์เข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านทางตัวแปลงสัญญาณ เพื่อนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพในคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ เพื่อคำนวณหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร และส่งข้อมูลไปยังระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพื่อควบคุมการสัญญาณไฟจราจร และทำการเลือกสัญญาณภาพต่อไป

## บทที่ 4

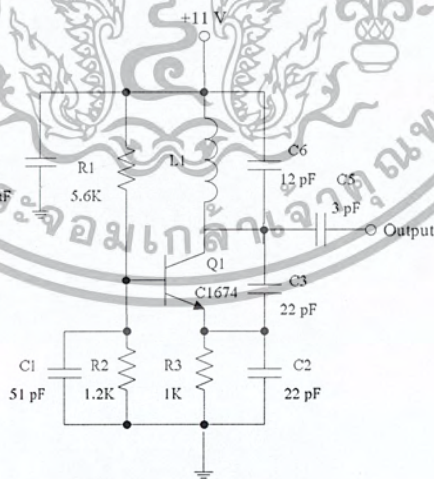
### ผลการทดลอง

#### 4.1 วงจรออสซิลเลเตอร์

ในการสร้างวงจรมอดูเลตแอมพลิจูดจะใช้วงจรออสซิลเลเตอร์เป็นตัวเปลี่ยนความถี่คลื่นพาห์ โดยสามารถคำนวณหาความถี่ได้จากสมการที่ 4.1

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 \left( \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + C_6 \right)}} \text{ Hz} \quad (4.1)$$

การสร้างวงจรมอดูเลตแอมพลิจูดจะทำการสร้างทั้งหมด 4 ความถี่คลื่นพาห์ ดังนั้นในการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์ก็ต้องทำการสร้างทั้งหมด 4 ความถี่ โดยในการเปลี่ยนแปลงความถี่ในแต่ละวงจรสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่า  $L_1$  ซึ่งจะได้รูปวงจรออสซิลเลเตอร์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรออสซิลเลเตอร์

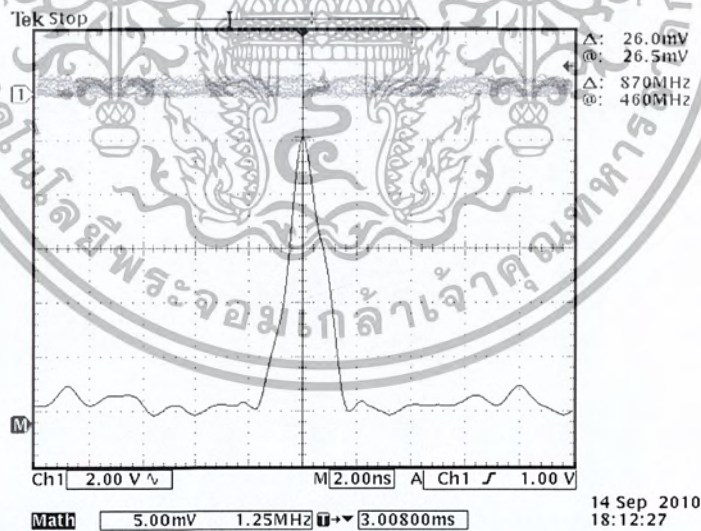
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองเปลี่ยนแปลงค่าความถี่โดยการเปลี่ยนแปลงค่า  $L_1$  ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรออสซิลเลเตอร์

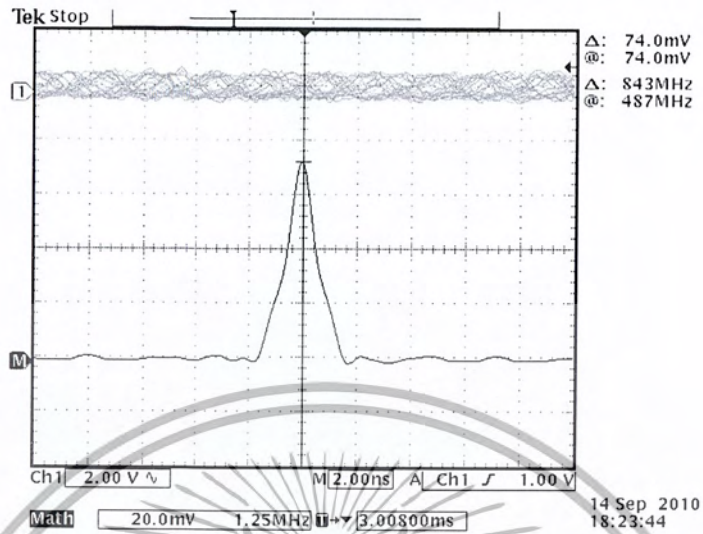
ค่า $L$ (nH)	ค่าความถี่ (MHz)
8.17	460
7.30	487
6.40	520
4.89	595

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรออสซิลเลเตอร์ สามารถวัดรูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นรูปของสัญญาณสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.5

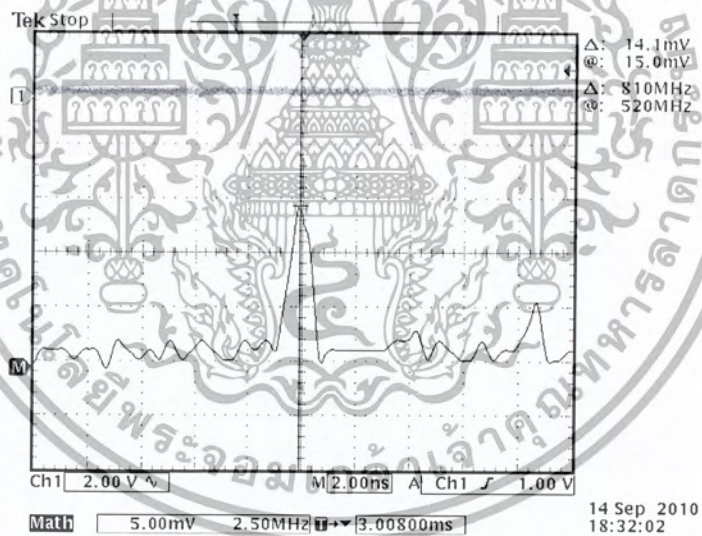


รูปที่ 4.2 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 460 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

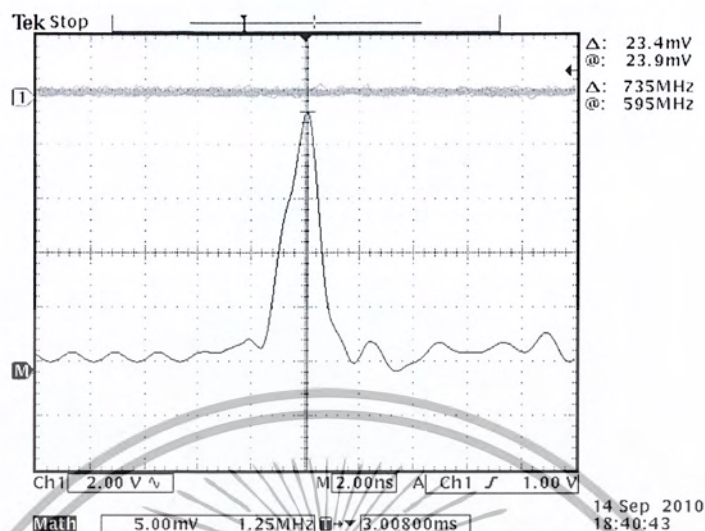


รูปที่ 4.3 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 487 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 4.4 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์

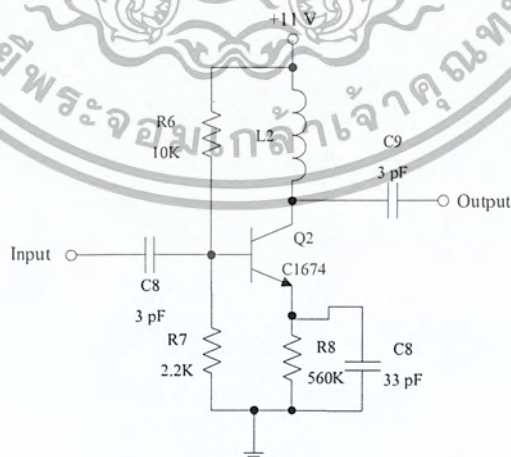
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัญญาณออสซิลเลเตอร์ความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์

#### 4.2 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

เมื่อทำการออสซิลเลตคลื่นพาห้ได้แล้วจะต้องนำคลื่นพาห้ที่ได้มาขยายผ่าน วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก เพื่อให้สัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้น จากนั้นจึงจะนำสัญญาณที่ได้ไปทำการมอดูเลตกับข้อมูลข่าวสาร ซึ่งสามารถออกวงจรถ่ายสัญญาณขนาดเล็กได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก สามารถคำนวณอัตราขยายได้ดังสมการที่

4.2

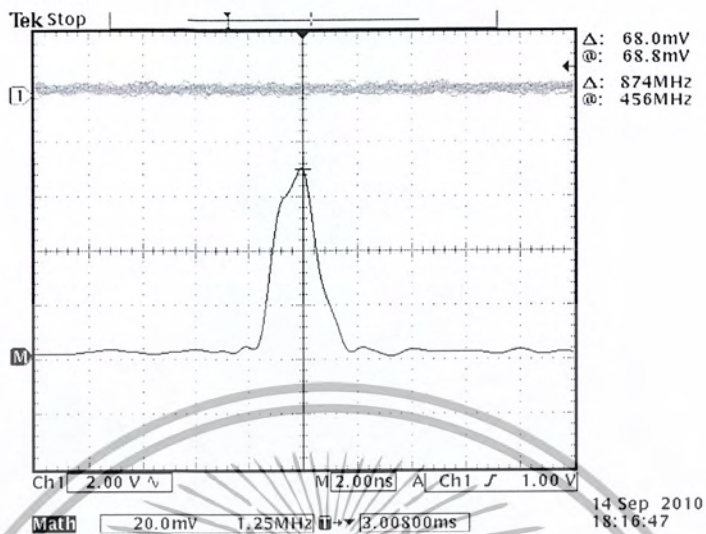
$$A_v = -\frac{2\pi fL_2}{r_e} \quad (4.2)$$

ซึ่งอัตราขยายในแต่ละวงจรจะมีค่าอัตราขยายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่า  $L_2$  และความถี่ที่ใช้ โดยแต่ละวงจรจะมีค่า  $L_2$  ค่าความถี่ และอัตราขยายที่คำนวณได้ ดังตารางที่ 4.2

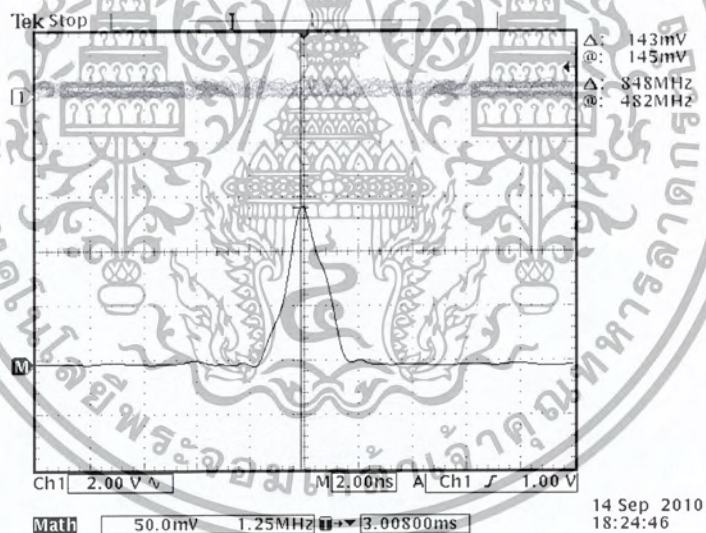
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก

ความถี่ (MHz)	ค่า $L_2$ (nH)	ขนาดสัญญาณอินพุต (mV)	ขนาดสัญญาณเอาต์พุต (mV)	อัตราขยายของวงจร	อัตราขยายที่คำนวณ
456	32.7	26.5	68.8	2.59	6.77
482	29.3	74.0	145.0	1.96	6.40
520	25.6	15.0	28.6	1.91	6.40
595	19.6	23.9	39.8	1.67	5.22

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก มีวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กที่ความถี่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์และ 482 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปแล้ว สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ความถี่จะเลื่อนจาก 460 เมกะเฮิร์ตซ์ มาอยู่ที่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์ และจาก 487 เมกะเฮิร์ตซ์ มาอยู่ที่ 482 เมกะเฮิร์ตซ์ แต่วงจรอื่น ความถี่ของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตไม่แตกต่างกัน สามารถวัดรูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ทุกวงจร ซึ่งเป็นรูปของสัญญาณสเปกตรัม ดังรูปที่ 4.7 ถึง รูปที่ 4.10

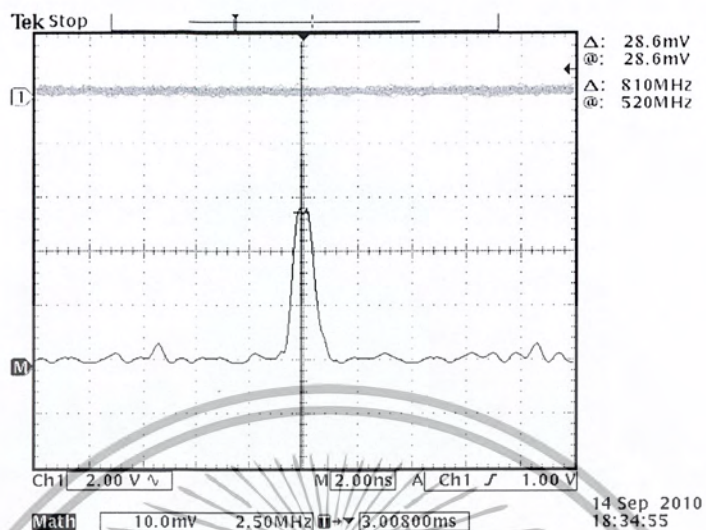


รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์

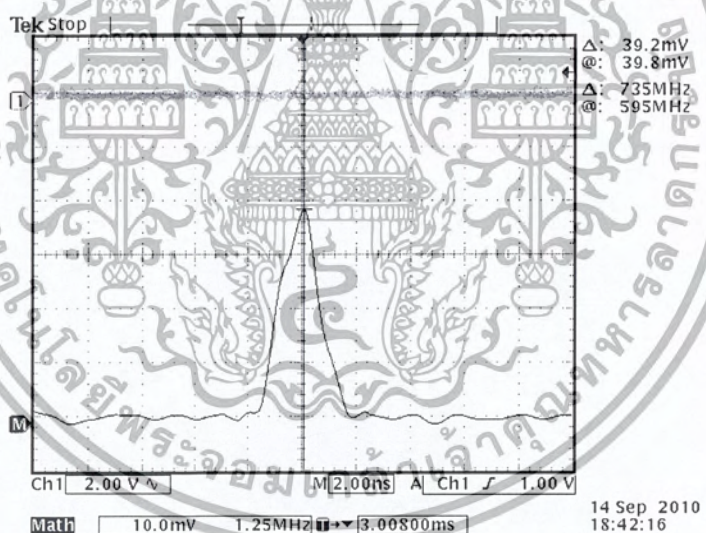


รูปที่ 4.8 สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 482 เมกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์

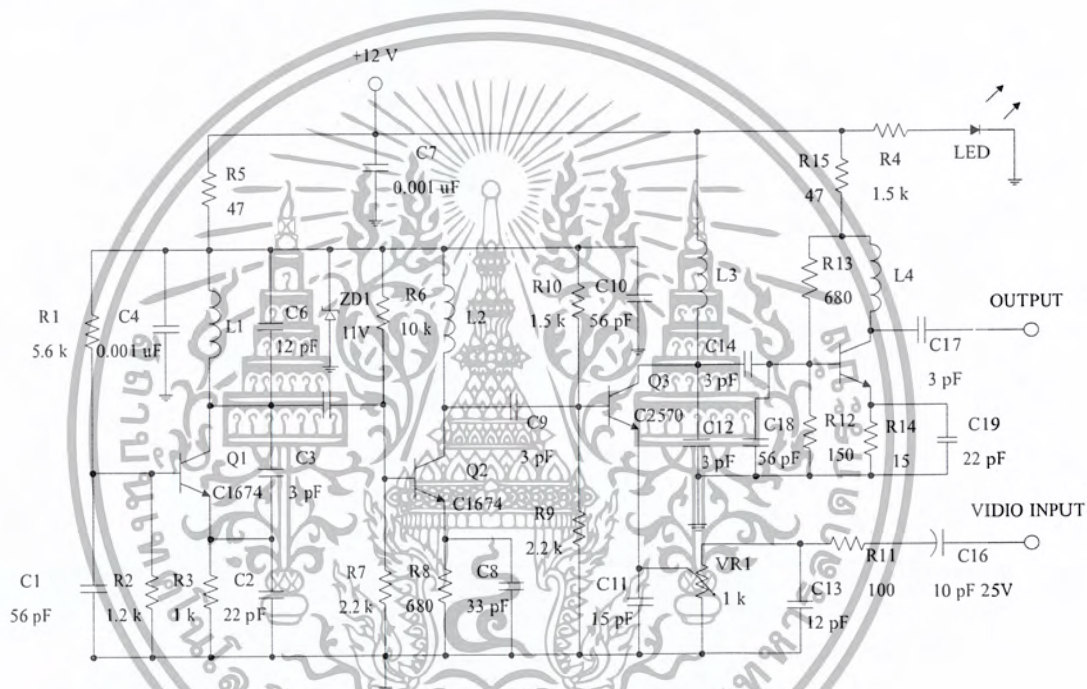


รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ผ่านการขยายความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

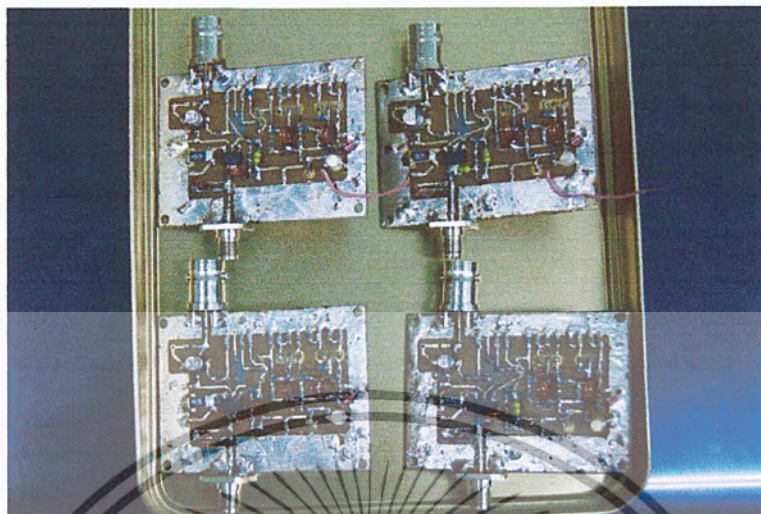
### 4.3 วงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันและวงจรถ่ายกำลังสัญญาณ

ทำการสร้างนำวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรถ่ายสัญญาณขนาดเล็กที่ใช้สร้างความถี่พหุร่วมกับวงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันและวงจรถ่ายกำลังสัญญาณ เพื่อที่จะสร้างวงจรถ่ายสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน ซึ่งสามารถออกแบบได้ดังรูปที่ 4.11 และสามารถทำการสร้างวงจรถ่ายสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันได้ดังรูปที่ 4.12



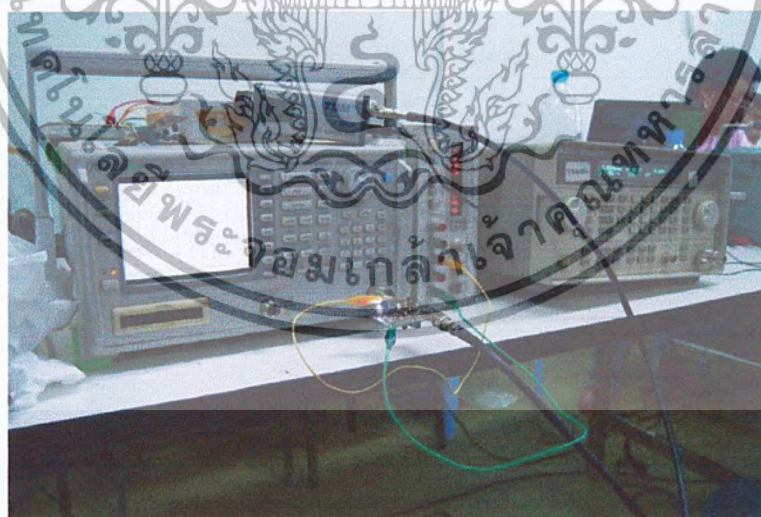
รูปที่ 4.11 วงจรรวมระบบส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 วงจรส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟายด์ที่สร้าง

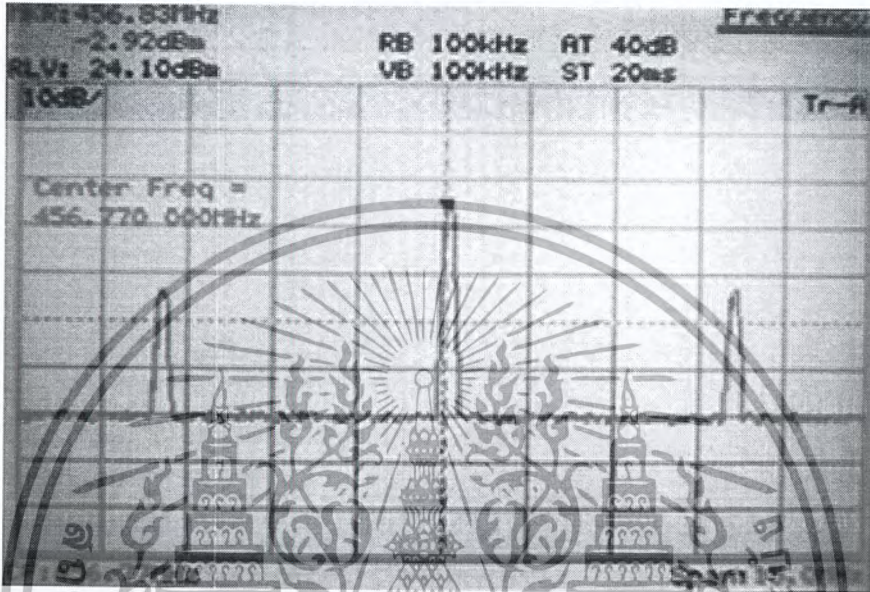
วงจรมีออกมาเพื่อการมอดูเลตแอมพลิฟายด์ระหว่างความถี่พหุกับสัญญาณภาพจากกล้อง และทำการขยายสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ด้วยวงจรมอดูเลตก่อนที่จะส่งออกอากาศ ซึ่งจะวัดผลการทำงานของวงจร ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกตรัมแอนะไลเซอร์ ดังรูปที่ 4.13



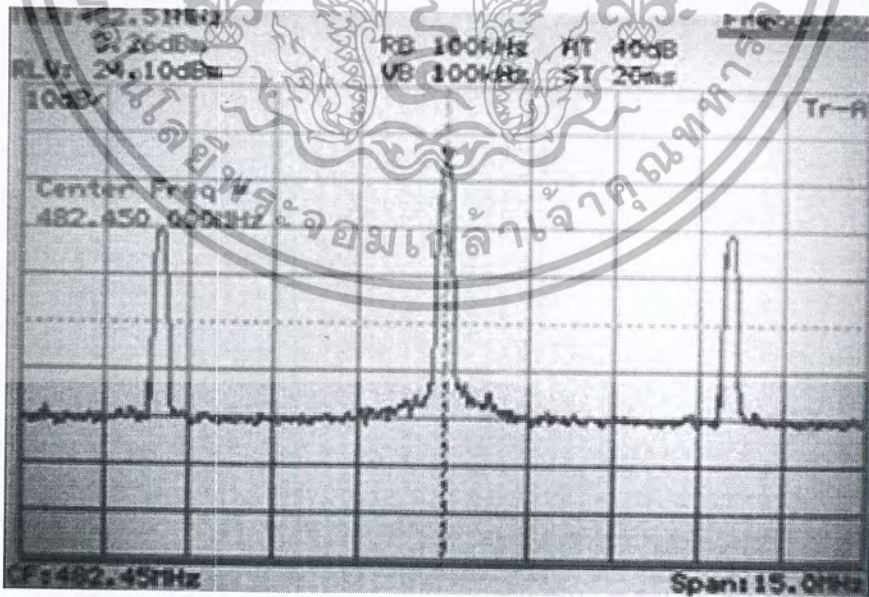
รูปที่ 4.13 การทดลองวงจรส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟายด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองวงจรมอดูเลตแอมพลิจูดที่ได้ทำการสร้างขึ้นทั้ง 4 ความถี่ โดยทำการมอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห์ของวงจรกับสัญญาณไซน์ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงที่สุดของสัญญาณภาพ แล้วทำการวัดสเปกตรัมของเอาต์พุตได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.17

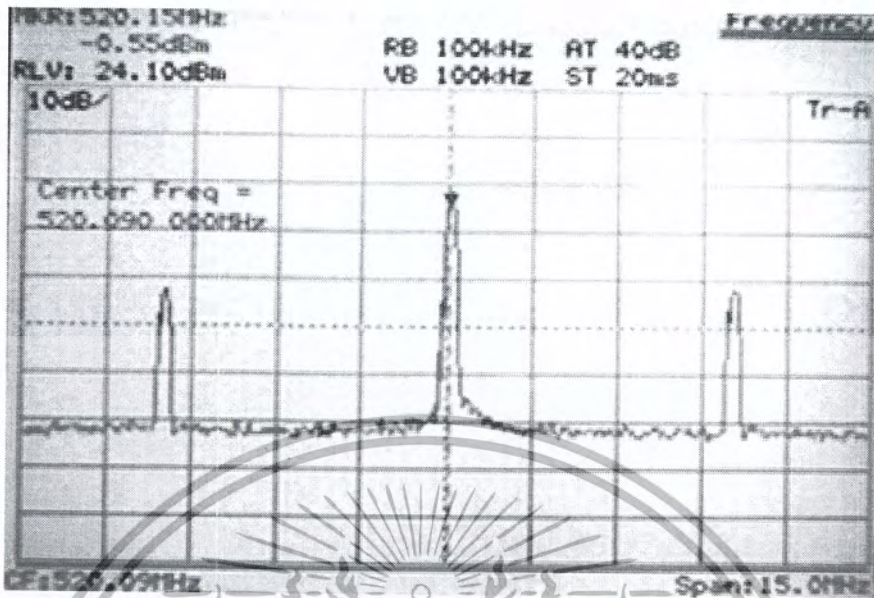


รูปที่ 4.14 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห์ 456 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณไซน์ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์

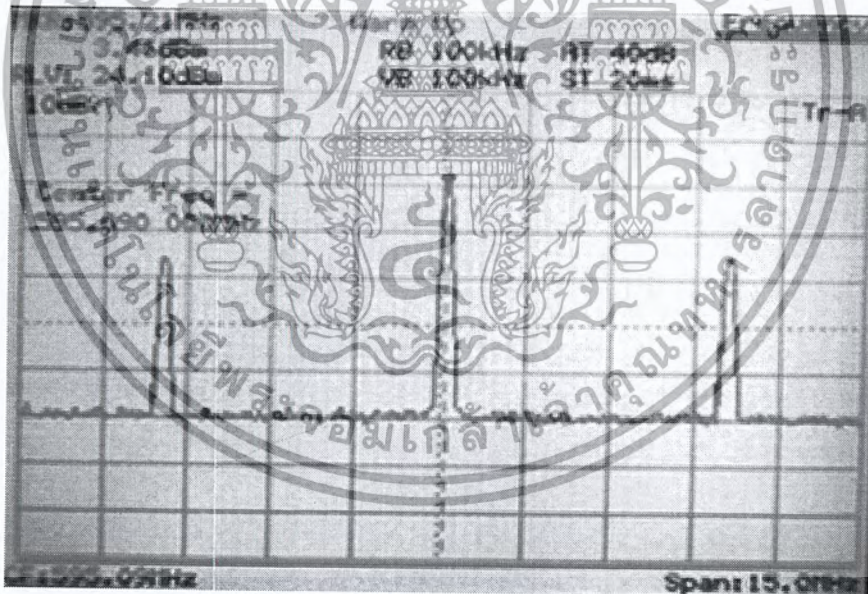


รูปที่ 4.15 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห์ 482 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณไซน์ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



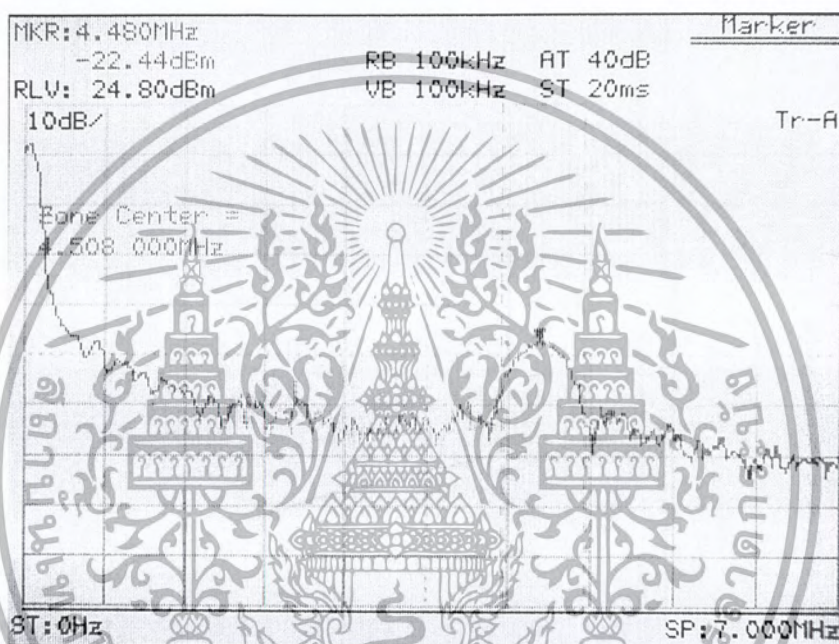
รูปที่ 4.16 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห้ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณไซน์ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 4.17 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห้ 595 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณไซน์ความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์

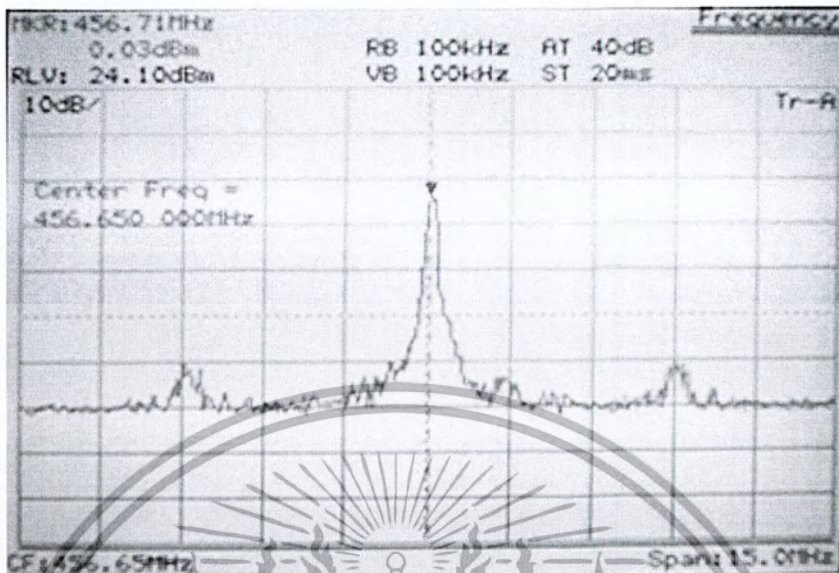
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.17 จะพบว่า มีสเปกตรัมอยู่สามแท่ง สเปกตรัมแท่งที่อยู่ตรงกลางจะเป็นสเปกตรัมของความถี่พาห์ และสเปกตรัมที่อยู่ด้านข้างทั้งสองแท่งจะเป็นสเปกตรัมของสัญญาณไซน์ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่นำมามอดูเลต แล้วจะพบว่าสเปกตรัมด้านข้างทั้งสองแท่งจะอยู่ห่างจากสเปกตรัมแท่งกลางแท่งละ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการมอดูเลตแอมพลิจูด



รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของสัญญาณภาพที่วัดจากกล้อง

จากนั้นทำการทดลองมอดูเลตแอมพลิจูดระหว่างสัญญาณคลื่นพาห์กับสัญญาณภาพจากกล้อง ซึ่งสัญญาณภาพจากกล้องจะมีความถี่สูงสุดไม่เกิน 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 แล้วทำการวัดสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ แสดงผลดังรูปที่ 4.19 ถึงรูปที่ 4.22

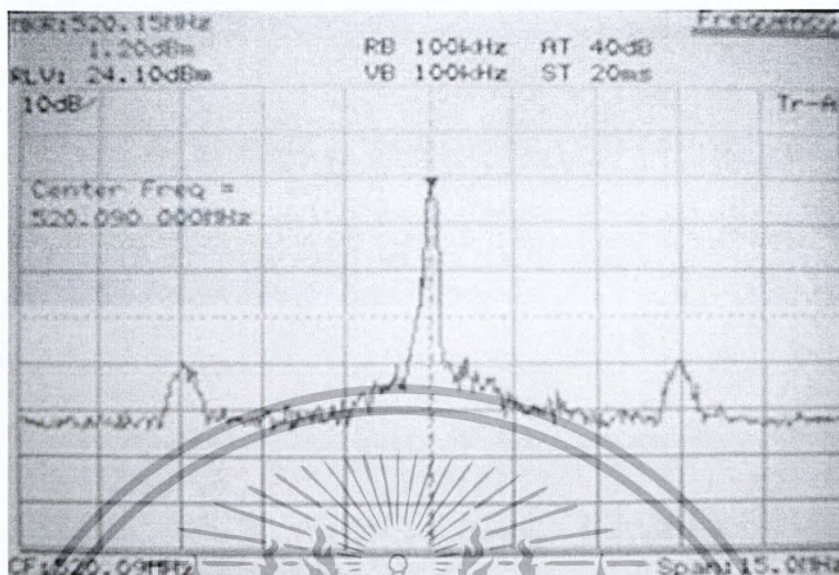


รูปที่ 4.19 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห์ 456 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง

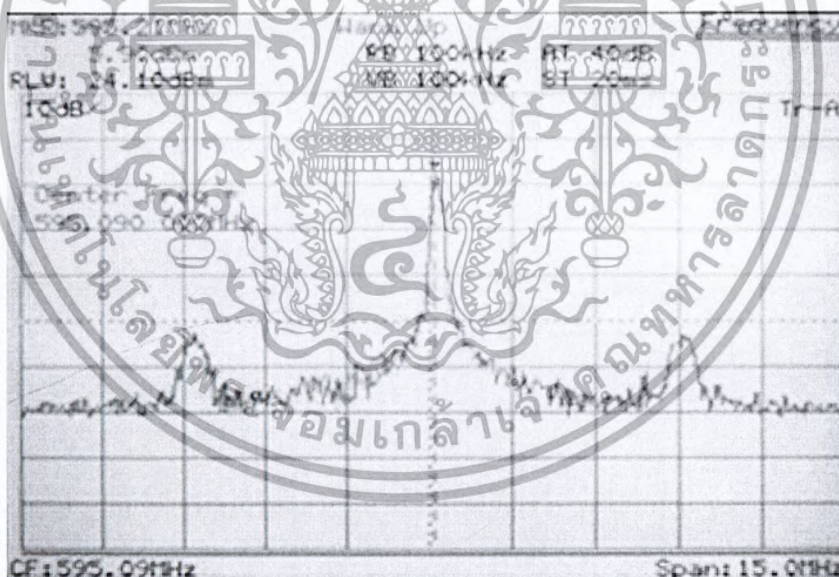


รูปที่ 4.20 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห์ 482 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห้ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง

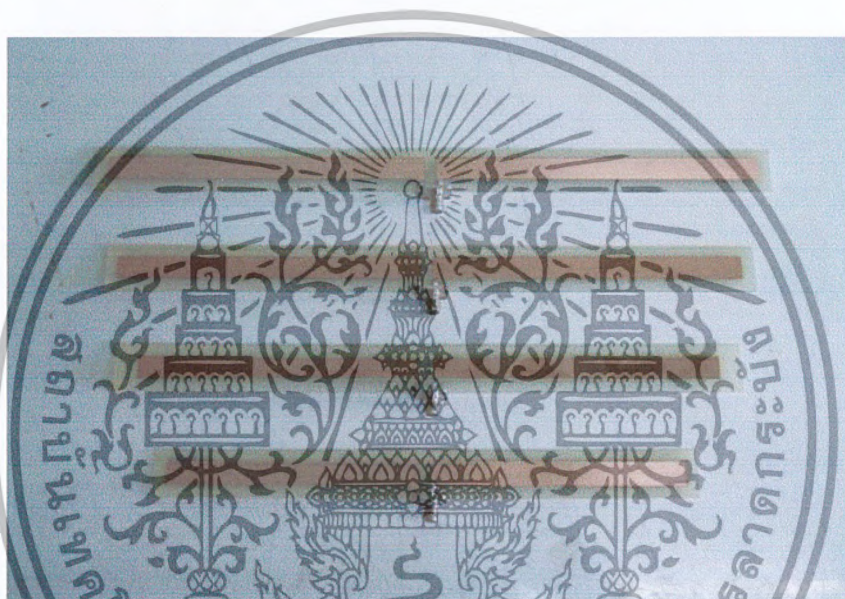


รูปที่ 4.22 มอดูเลตแอมพลิจูดความถี่พาห้ 595 เมกะเฮิร์ตซ์ กับสัญญาณภาพจากกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 สายอากาศ

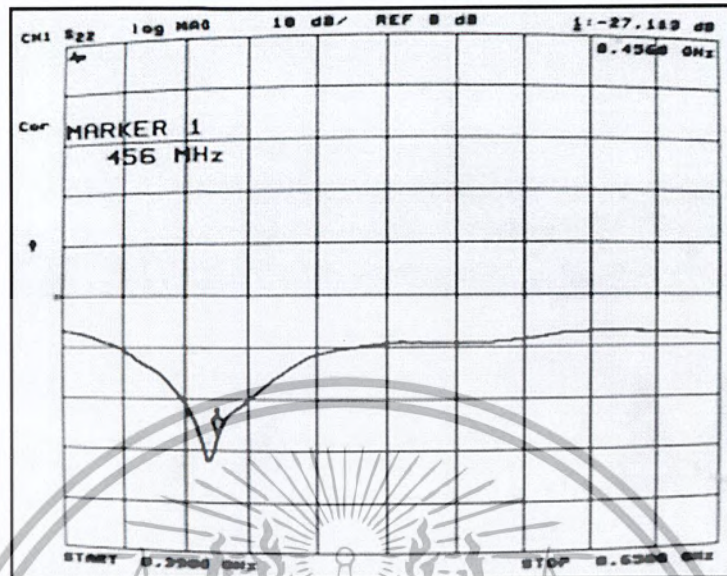
สายอากาศที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรมจำลองนั้น เมื่อนำไปสร้างจริงจะได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบโดยใช้โปรแกรมจำลองเล็กน้อย ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจต้องอาศัยการปรับแก้หลังการสร้าง เพื่อให้สายอากาศที่ออกแบบมีคุณสมบัติตามที่ต้องการมากที่สุด โดยสายอากาศที่สร้างทั้งหมด 4 อันแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



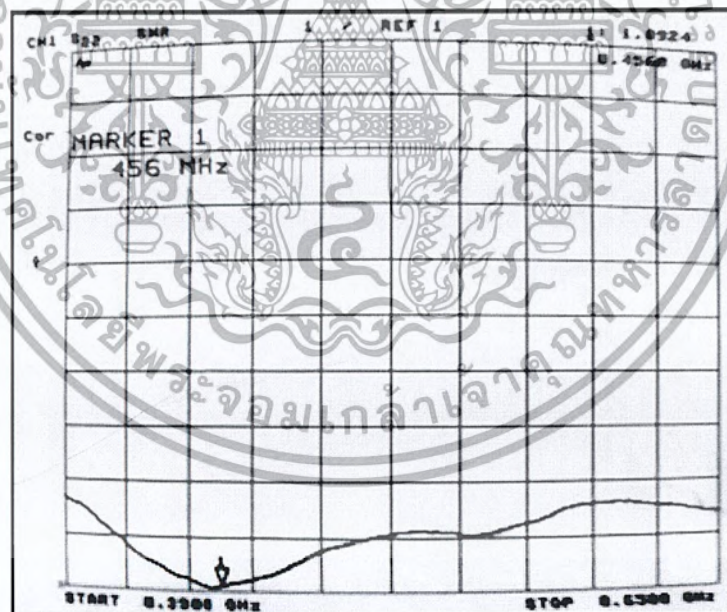
รูปที่ 4.23 สายอากาศที่สร้างเพื่อใช้กับความถี่ 456, 481, 520 และ 595 เมกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ

รูปที่ 4.24 ถึงรูปที่ 4.31 แสดงคุณลักษณะของสายอากาศที่สร้างได้ โดยจากรูปจะแสดงค่าการสูญเสียย้อนกลับ และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง ของสายอากาศทั้ง 4 อัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

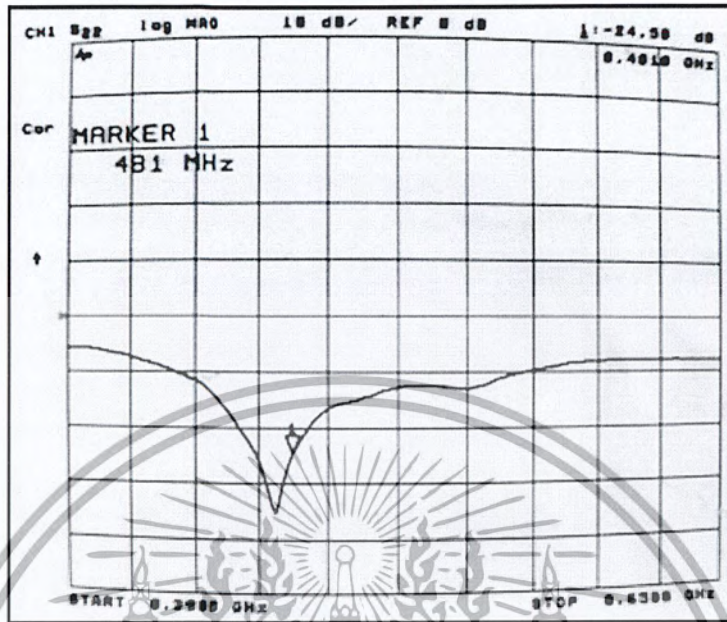


รูปที่ 4.24 กราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศความถี่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์

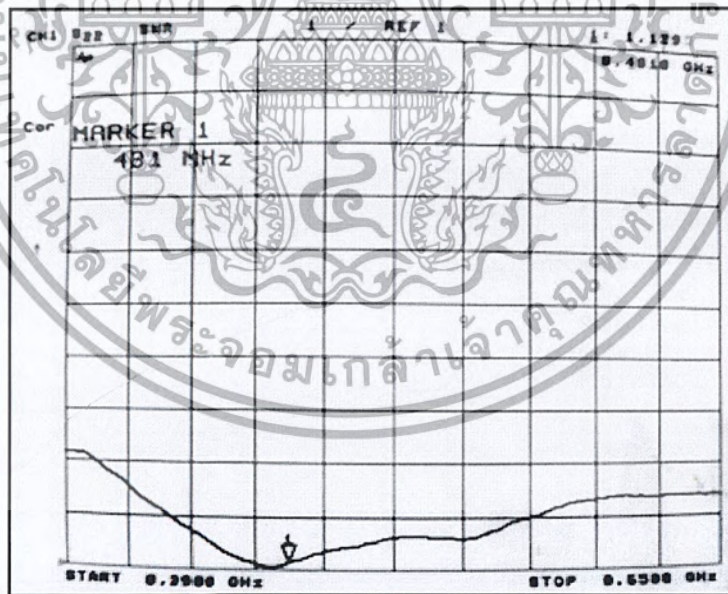


รูปที่ 4.25 กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 456 เมกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

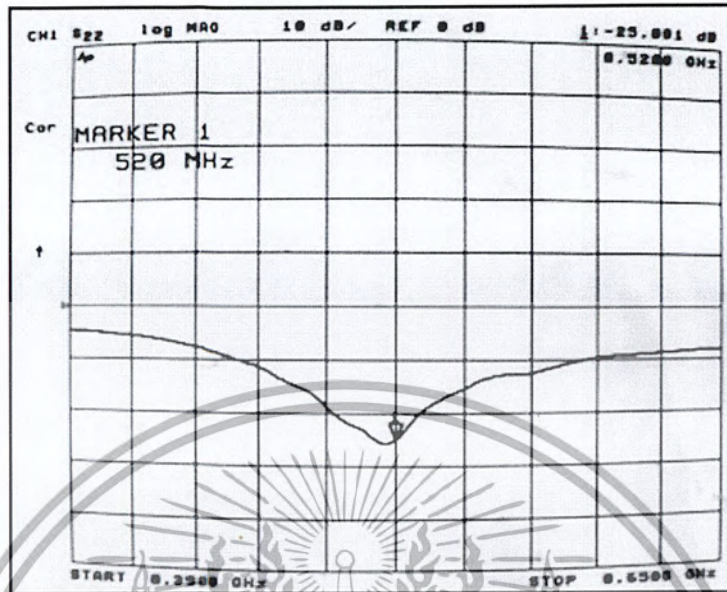


รูปที่ 4.26 กราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศความถี่ 481 เมกะเฮิร์ตซ์

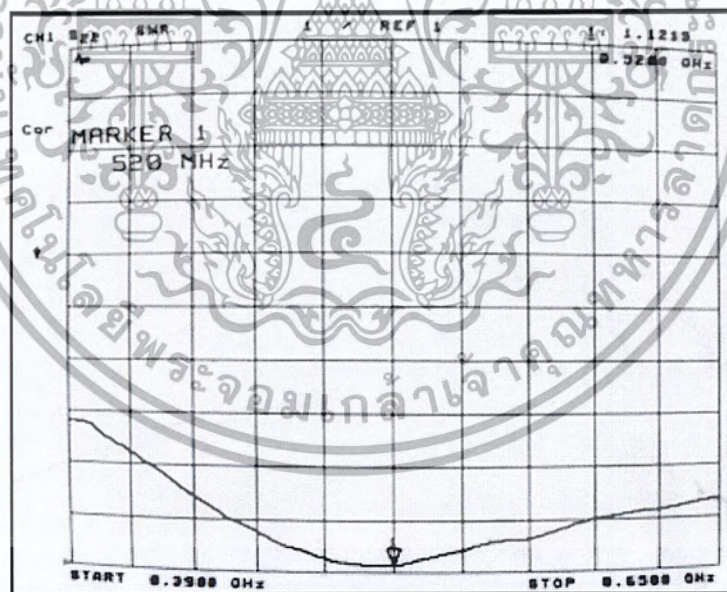


รูปที่ 4.27 กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 481 เมกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

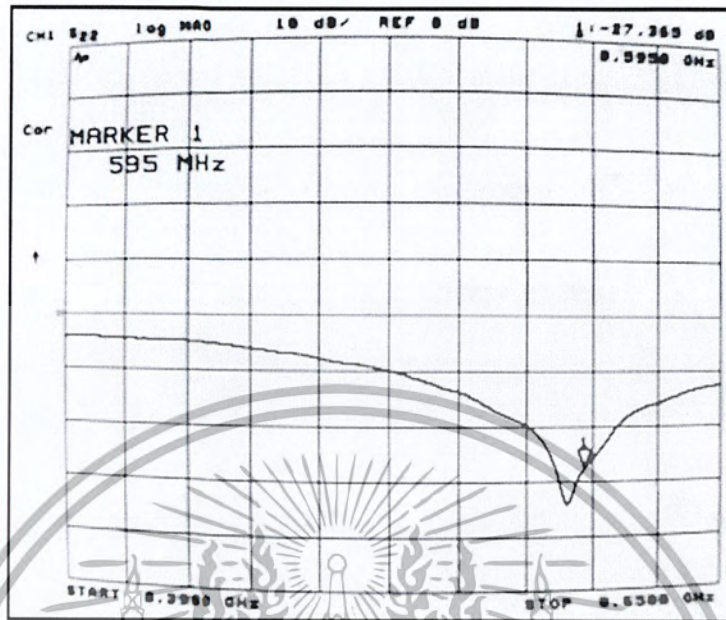


รูปที่ 4.28 กราฟค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์

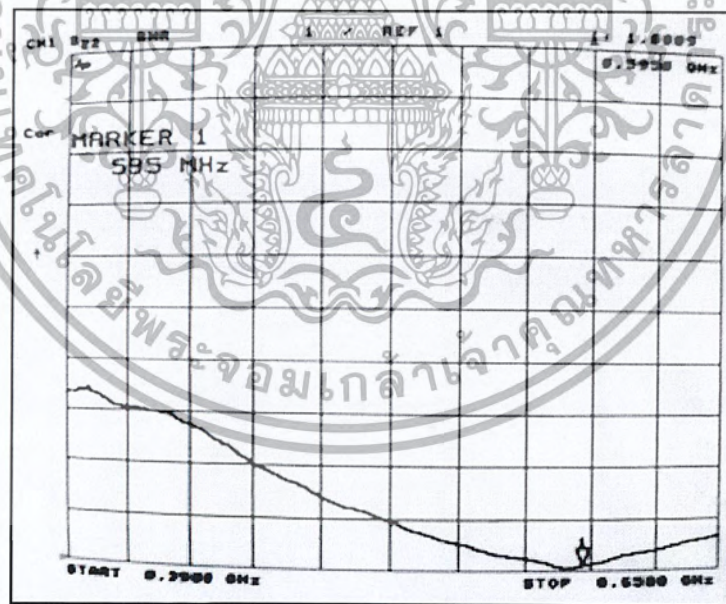


รูปที่ 4.29 กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟผลการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ ความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์



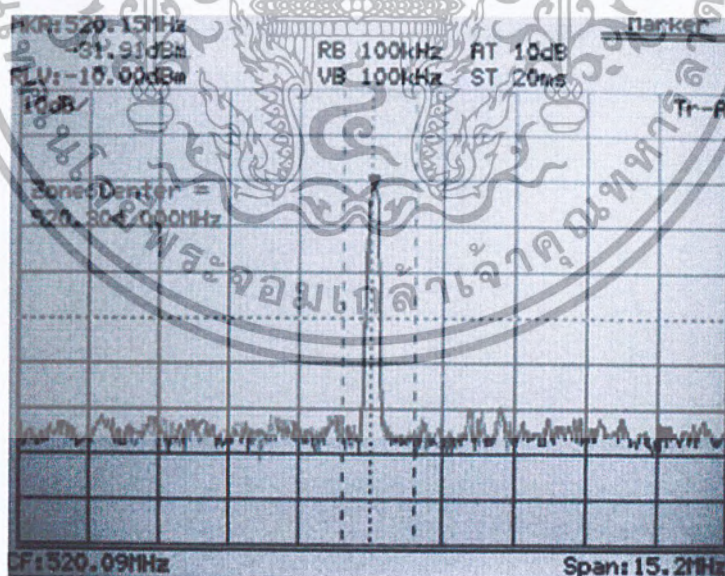
รูปที่ 4.31 กราฟอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศความถี่ 595 เมกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลำดับต่อมาจะเป็นส่วนการทดสอบส่งสัญญาณ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ ขนาด 0 dBm ผ่านทางสายอากาศที่ได้สร้างขึ้น ไปยังภากรับที่ระยะห่าง 1 เมตร พบว่า ที่ภากรับสามารถรับสัญญาณได้ที่  $-31.91$  dBm ดังแสดงในรูปที่ 4.32 และ 4.33



รูปที่ 4.32 ทดสอบส่งสัญญาณความถี่ 520 เมกะเฮิร์ตซ์ ไปยังภากรับผ่านสายอากาศ



รูปที่ 4.33 สัญญาณที่ภากรับรับได้ เมื่อภาคส่งสัญญาณที่กำลัง 0 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศฝั่งส่ง

ลำดับที่	ความถี่ (MHz)	ค่าการสูญเสียย้อนกลับ Return loss (dB)	ค่าอิมพีแดนซ์ Impedance ( $\Omega$ )	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง SWR
1	456	-27.113	49.771	1.0924
2	481	-24.58	46.077	1.129
3	520	-25.081	44.684	1.1215
4	595	-27.365	47.229	1.0889

#### 4.5 วงจรภาครับ



การเก็บผลภาครับสัญญาณ โดยใช้วงจรดังรูปที่ 3.14 ซึ่งเป็นวงจรที่วิจุนเนอร์ที่มีการทำงานโดยใช้แรงดันไฟฟ้าควบคุมการเลือกความถี่ที่ต้องการ ความถี่ที่ใช้ในการทดลองมี 4 ความถี่อยู่ในย่าน UHF

ตารางที่ 4.4 ผลของวงจรภาครับ รับภาพที่ส่งผ่านสายอากาศด้วยความถี่ต่างๆ

ความถี่ (MHz)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ภาพที่รับหลังผ่านวงจรภาครับ
456	0.8-1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของวงจรภาครับ รับภาพที่ส่งผ่านสายอากาศด้วยความถี่ต่างๆ (ต่อ)

ความถี่ (MHz)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ภาพที่รับหลังผ่านวงจรภาครับ
481	2.32-2.50	
520	4.18-4.22	
595	7.40-7.44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้













#### 4.6 วงจรส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิจูดโดยใช้สายอากาศ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพ ไร้สายที่ระยะทางต่างๆ





ระยะทาง (m)	ความถี่ (MHz)			
	456	481	520	595
5				
10				
15				
20				
25				
30				
40				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพไร้สายที่ระยะทางต่างๆ (ต่อ)





ระยะทาง (m)	ความถี่ (MHz)			
	456	481	520	595
50				
60				
70				

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพไร้สายพร้อมกันทั้ง 4 ความถี่

ความถี่ (MHz)	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่รับได้หลังเข้าสู่คอมพิวเตอร์
456		
481		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองส่งสัญญาณภาพไร้สายพร้อมกันทั้ง 4 ความถี่ (ต่อ)

ความถี่ (MHz)	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่รับได้หลังเข้าสู่คอมพิวเตอร์
520		
595		

#### 4.7 ระบบประมวลผลภาพ

จากการทดลองนำภาพด้วยการจราจรเข้าสู่คอมพิวเตอร์ และประมวลผลภาพดิจิทัลด้วยโปรแกรมแมทแล็บพบว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการประมวลผลหาจำนวนความหนาแน่นเมื่อใช้ภาพตัวอย่างจำนวน 50 ภาพอยู่ที่ 11.01 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบประมวลผลภาพ

ภาพที่	จำนวนความหนาแน่นของการจราจรที่ได้จากการทดลอง (ช่วง)	จำนวนความหนาแน่นของการจราจรจริงจากภาพ (ช่วง)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
1	25	27	7.407407
2	26	23	13.04348
3	31	29	6.896552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบประมวลผลภาพ (ต่อ)

ภาพที่	จำนวนความหนาแน่นของการจราจร ที่ได้จากการทดลอง (ช่วง)	จำนวนความหนาแน่นของ การจราจรจริงจากภาพ (ช่วง)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน
4	30	31	3.225806
5	27	28	3.571429
6	27	26	3.846154
7	31	29	6.896552
8	30	34	11.76471
9	26	20	30
10	21	23	8.695652
11	30	33	9.090909
12	26	24	8.333333
13	19	19	0
14	3	2	50
15	3	2	50
16	2	2	0
17	20	20	0
18	15	13	15.38462
19	15	14	7.142857
20	15	14	7.142857
21	33	33	0
22	22	21	4.761905
23	25	23	8.695652
24	8	6	33.33333
25	6	5	20
26	11	15	26.66667
27	18	15	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบประมวลผลภาพ (ต่อ)

ภาพที่	จำนวนความหนาแน่นของการจราจร ที่ได้จากการทดลอง (ช่วง)	จำนวนความหนาแน่นของ การจราจรจริงจากภาพ (ช่วง)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน
28	18	16	12.5
29	32	28	14.28571
30	28	25	12
31	30	27	11.11111
32	30	30	0
33	28	30	6.666667
34	10	8	25
35	13	13	0
36	22	20	10
37	26	24	8.333333
38	25	24	4.166667
39	30	30	0
40	29	30	3.333333
41	33	35	5.714286
42	29	31	6.451613
43	25	28	10.71429
44	30	31	3.225806
45	12	14	14.28571
46	22	24	8.333333
47	24	30	20
48	21	23	8.695652
49	27	30	10
50	21	21	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากทฤษฎีต่างๆ ที่ได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานและเก็บผลการทดลอง ทำให้ทางคณะผู้จัดทำได้ทราบว่า ในทางทฤษฎีกับทางปฏิบัตินั้นจะมีความแตกต่างกัน มีปัญหาและความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นหลายประการ ทำให้ต้องใช้ความอดทนและความอดสาหะในการแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้น

#### 5.1 สรุปผล

สรุปการทดลองระบบส่งสัญญาณภาพ ไร้สายด้วยวงจรมอดูเลตแอมพลิฟิเคชัน สามารถสร้างระบบส่งสัญญาณภาพแบบมอดูเลตแอมพลิฟิเคชันได้ทั้งหมด 4 ความถี่ ตามที่ได้วางแผนไว้ โดยตัวส่งแต่ละตัวสามารถส่งสัญญาณภาพได้ไม่ต่ำกว่า 70 เมตร แต่ภาพที่รับได้จากวงจรแต่ละวงจรจะมีความคมชัดและความเข้มแสงของภาพที่แตกต่างกันออกไป โดยวงจรส่งสัญญาณภาพจะมีปัญหา คือ ความถี่ที่ออกแบบและความถี่ที่สร้างได้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่ใช้ และเมื่อเก็บวงจรไว้เป็นเวลานานแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ความถี่ของวงจรจะเกิดการคลาดเคลื่อน ต้องทำการปรับความถี่ใหม่ก่อนใช้งาน

สรุปผลการทดลองในส่วนของสายอากาศ การออกแบบสายอากาศโดยใช้โปรแกรมจำลองจะได้ผลที่คลาดเคลื่อนจากการสร้างจริง คือความถี่ค่าทอนของสายอากาศจะไม่ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยสายอากาศความถี่ 456 MHz, 481 MHz, 520 MHz และ 595 MHz จะมีความคลาดเคลื่อนของความถี่ค่าทอนอยู่ที่ 0.96 เปอร์เซ็นต์, 1.42 เปอร์เซ็นต์, 0.79 เปอร์เซ็นต์ และ 1.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวัดค่าคุณลักษณะของสายอากาศพบว่า คุณลักษณะอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้ และเมื่อนำไปใช้งานจริง พบว่าสายอากาศทั้งหมดสามารถใช้งานส่งสัญญาณภาพได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้คาดหวังเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองในส่วนวงจรภาครับสัญญาณภาพ โดยใช้อุปกรณ์ที่วิจุนเนอร์สามารถรับสัญญาณภาพจากภาคส่งทั้ง 4 ความถี่ได้ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าควบคุมที่วิจุนเนอร์ในการเลือกทั้ง 4 ความถี่

สรุปผลการทดลองในส่วนประมวลผลภาพและควบคุมสัญญาณไฟจราจร สามารถควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบ 4 เฟส ได้โดยอาศัยข้อมูลความหนาแน่นของปริมาณรถยนต์จากการประมวลผลภาพ ซึ่งมีความผิดพลาดจากการประมวลผล 11.01 เปอร์เซ็นต์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของสายอากาศ ในการสร้างสายอากาศใช้งานจริงจะแตกต่างจากการทฤษฎีมาก ดังนั้นถ้ามีโอกาสจึงควรใช้โปรแกรมจำลองสายอากาศเพื่อเป็นแนวทางช่วยในการช่วยสร้างสายอากาศ แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรมั่นใจในผลที่ได้จากการทดลองจากโปรแกรม แต่ควรจะใช้ผลที่ได้ดูแนวโน้มในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้สายอากาศที่ออกแบบมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้จริงในที่สุด

ในส่วนวงจรภาครับ จะมีปัญหาในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้กับที่วิจุนเนอร์ เนื่องจาก ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจรภาครับในแต่ละครั้งนั้น แรงดันไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงวงจรนั้นมีค่าไม่เท่าเดิม อาจเกิดการแกว่งของระดับแรงดันเล็กน้อย ทำให้ค่าความถี่ที่เกิดการขยับและรับภาพได้ไม่ชัดเจน ต้องทำการปรับค่าแรงดันใหม่

ในส่วนประมวลผลภาพจะเห็นว่าผลที่ได้ จะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบหลายประการ

ประการแรกที่มีส่วนสำคัญคือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณความหนาแน่นของรถยนต์ ที่ทางคณะผู้จัดทำคิดขึ้นนั้น เมื่อนำไปทดลองเก็บผลจริง พบว่าปริมาณรถที่ได้จากการทดลองกับปริมาณรถที่มีอยู่จริงจะมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง สามารถหาเปอร์เซ็นต์

ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้อยู่ที่ 11.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจต้องมีการทดลองและพัฒนาอัลกอริทึมต่อไปให้มีความแม่นยำมากกว่านี้

ประการที่สอง คือปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อภาพถ่าย เนื่องจากการคำนวณหาปริมาตร จะอาศัยการคำนวณจากการภาพถ่าย ดังนั้นปริมาตรที่คำนวณได้ จะผิดพลาดไปถ้าภาพถ่ายไม่สมบูรณ์ โดยปัญหาที่พบได้ชัดเจนจากภาพถ่าย คือ ปัญหาจากแสงเงา ปัญหาจากวัตถุที่ซับซ้อน ช่องทางการจราจร และปัญหาจากสีของรถยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] ศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์, “วิศวกรรมการสื่อสาร”, พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์, 2546.
- [2] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช ฉบับ AT89C5X ของ ATMEL”, กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด, มปป.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

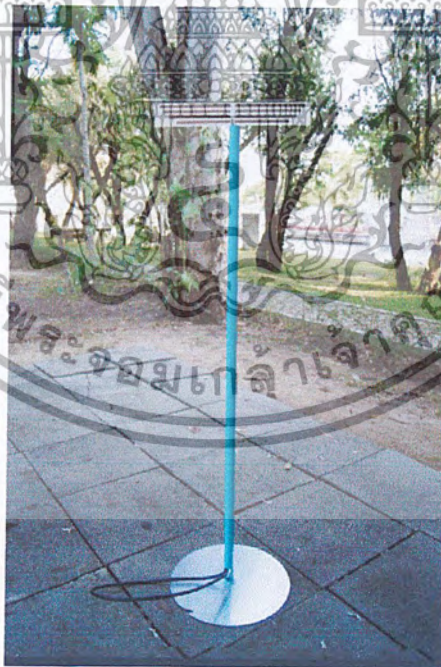


ภาพสายอากาศฝ่งส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพวงจรส่งสัญญาณภาพประกอบกับสายอากาศ



ภาพสายอากาศฝั่งรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพโมเดลสัญญาณไฟจราจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้