



สมาคมสื่อขอสะอาด

การอบรมวิชาชีพสื่อสารมวลชนด้านทุจริต

**การดูแล เฝ้าระวัง และปรับปรุงสถานีวิทยุกระจายเสียงเพื่อลดสภาพปัญหา
การรบกวน โดยใช้อุปกรณ์กรองความถี่ รวมสัญญาณ และสายอากาศ**

วิทยากร

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อนุกรรมการด้านเทคโนโลยีวิศวกรรมและแก้ไขปัญหการรบกวนวิทยุการบิน

คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช)

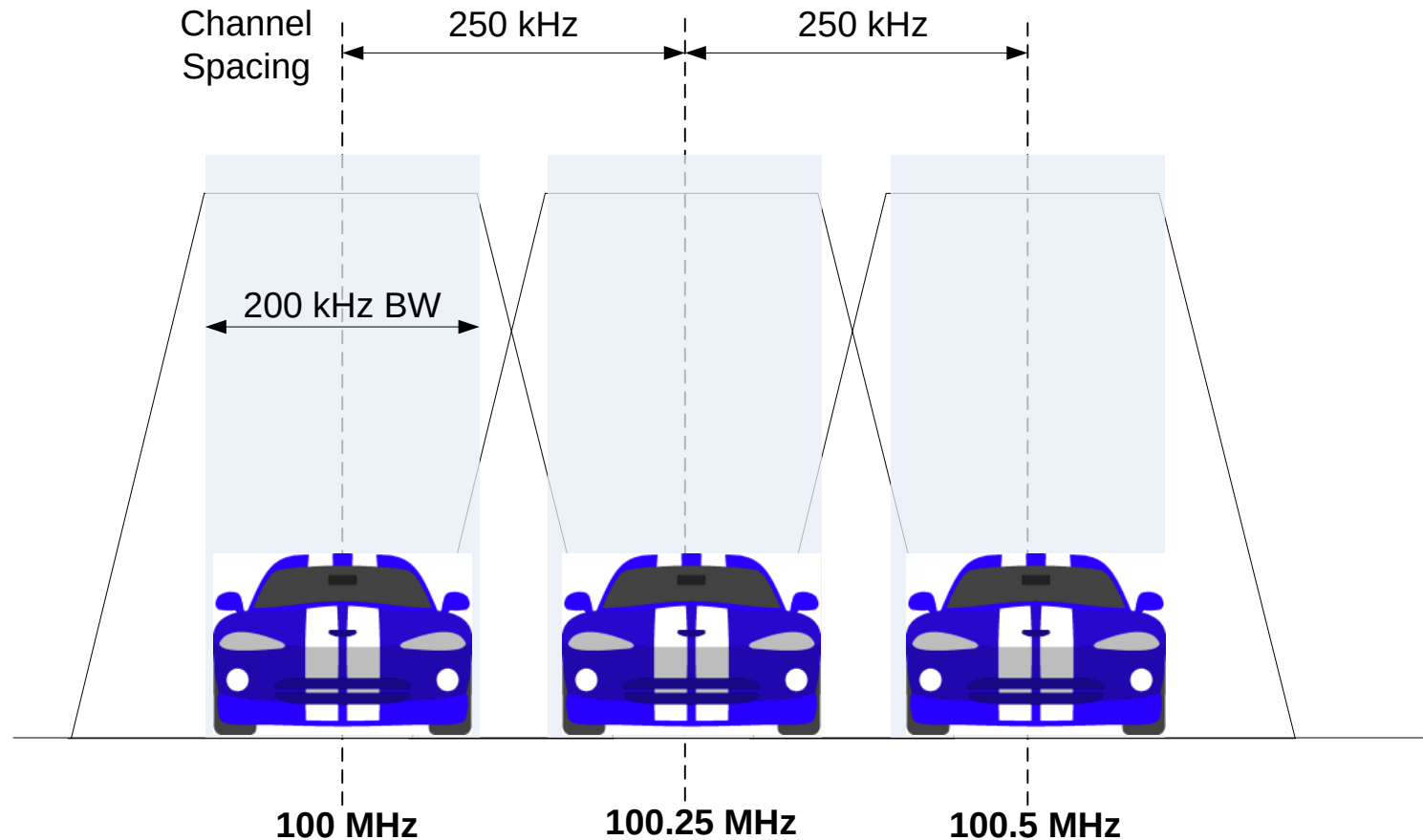
หลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่ สำหรับการทดลองประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง พ.ศ. ๒๕๕๕

- ขอบข่าย
- ความถี่วิทยุ
- ลักษณะทางเทคนิคของสถานีวิทยุกระจายเสียง
- เงื่อนไขการใช้คลื่นความถี่
- ข้อเสนอแนะทางเทคนิค

ความถี่วิทยุ

- ๒.๑ กำหนดให้ใช้ความถี่วิทยุ ๘๗.๕ เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) ถึง ๑๐๗.๗๕ เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
- ๒.๒ การมอดูเลต แบบเอฟเอ็ม (Frequency Modulation: FM)
- ๒.๓ ช่องห่างระหว่างคลื่นพาห์ (Channel Spacing) มีค่า ๒๕๐ กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) โดยมีรายละเอียดของความถี่วิทยุตาม ภาคผนวก จ
- ๒.๔ ความกว้างแถบคลื่น ไม่เกิน ๒๐๐ กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz)
- ๒.๕ ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (Frequency Deviation) ไม่เกิน ± ๗๕ กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz)
- ๒.๖ กำหนดช่องความถี่ข้างเคียง (Adjacent Channel) ในพื้นที่การกระจายเสียงที่ทับซ้อน ต้องมีความถี่คลื่นพาห์อยู่ห่างจากกันไม่น้อยกว่า ๒๕๐ กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) หรือหนึ่งช่องห่างระหว่างคลื่นพาห์ตามข้อ ๓ (1 Channel Spacing)

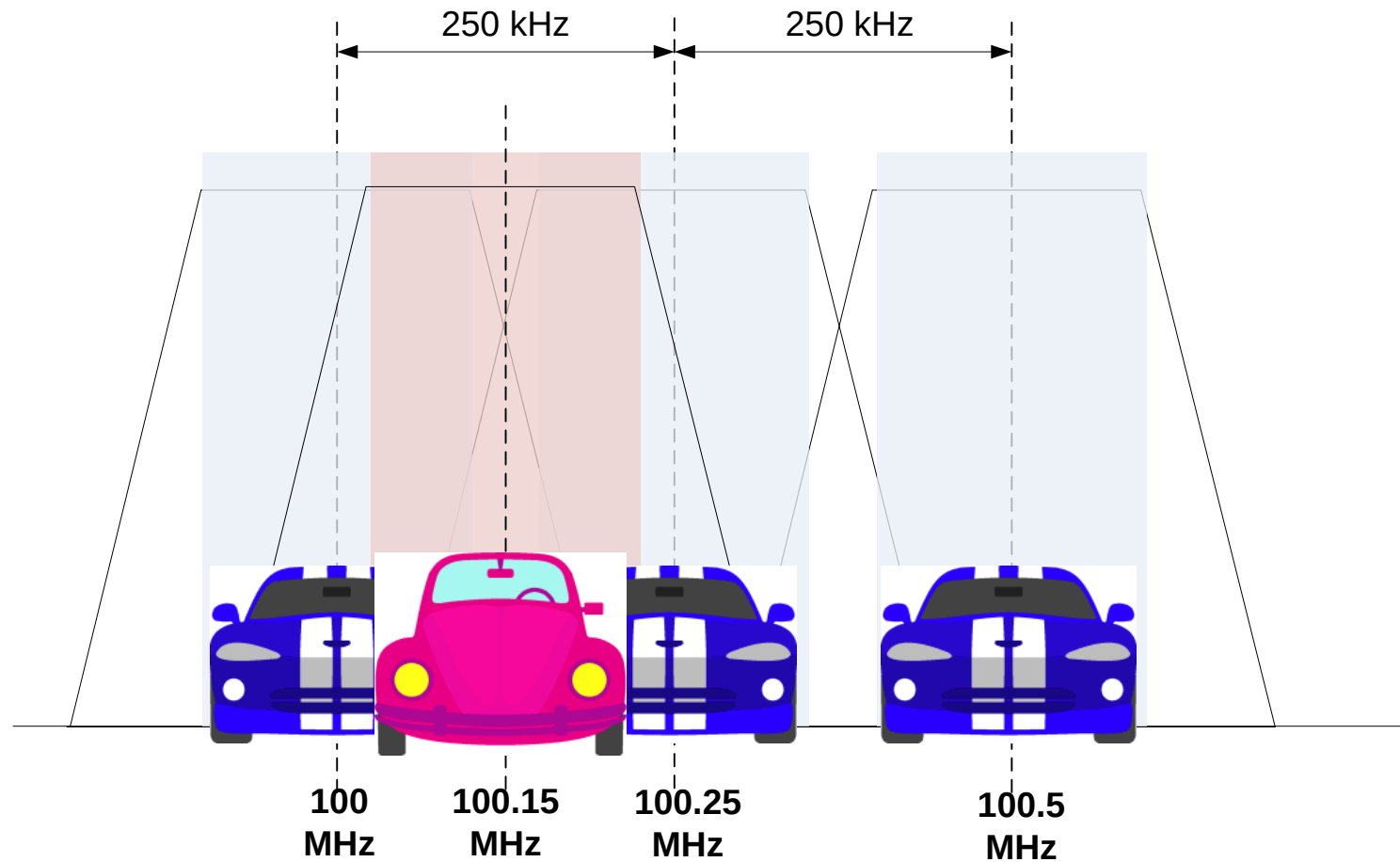
Channel Spacing 250 kHz



Channel Spacing 250 kHz เนื่องจากแต่ละช่องความถี่อยู่ชิดกันมาก ดังนั้นมาตรฐานเครื่องส่ง จึงต้องเข้มงวด เช่น มาตรฐานการแพร่นอกแถบ (Out-of-Band Emission) เพื่อที่จะลดปัญหา การรบกวนกัน

(ขอบคุณภาพจาก ดร.กิตติ วงศ์ถาวรวาวัฒน์)

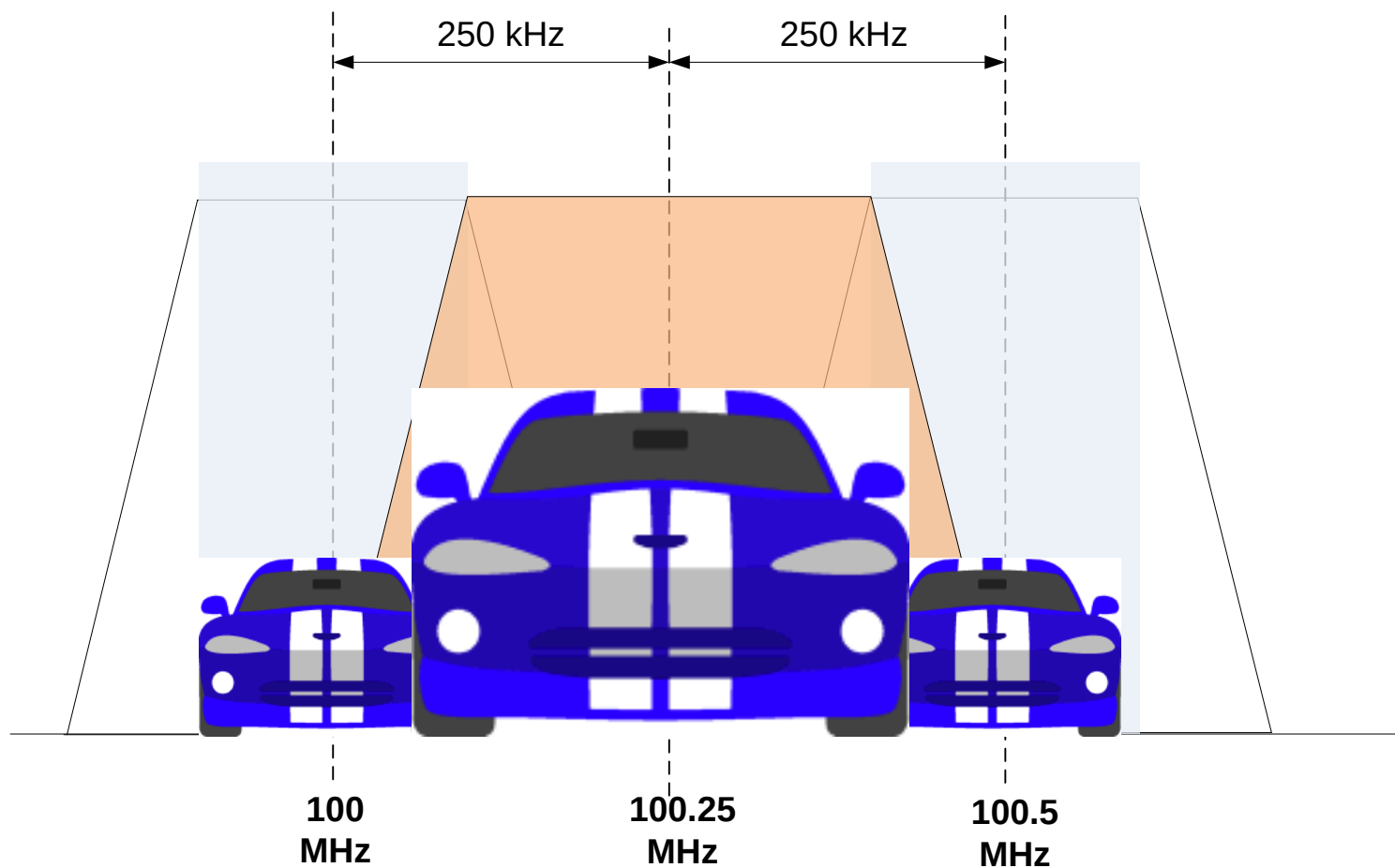
การใช้ช่องความถี่ไม่ตรงตามข้อกำหนด



ควรใช้ช่องความถี่ไม่ตรงตามข้อกำหนด (0.25 MHz หรือ 250 kHz)

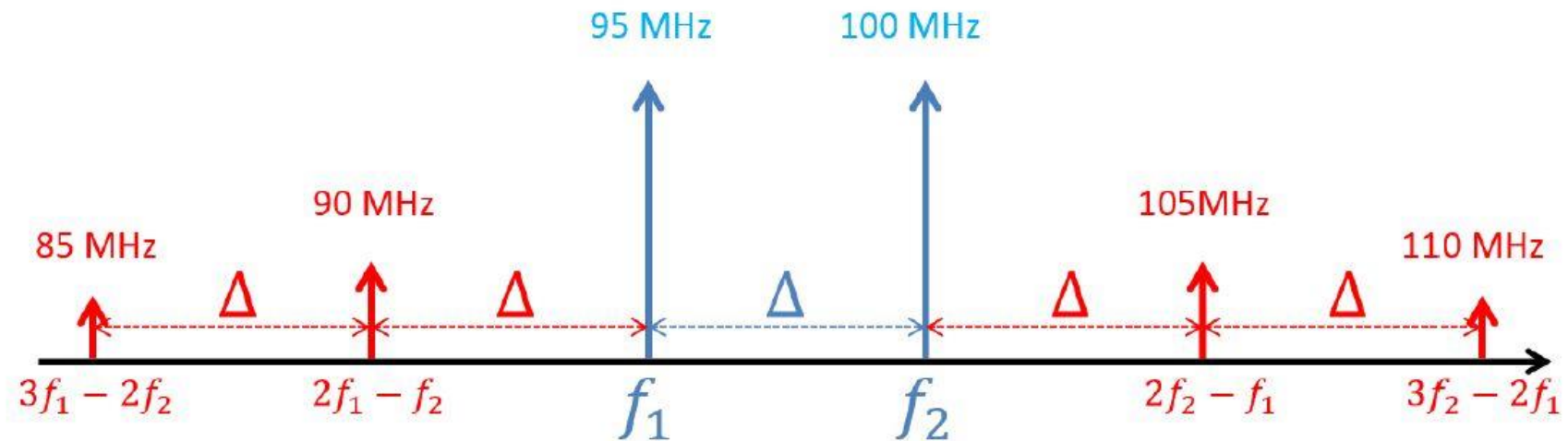
(ขอบคุณภาพจาก ดร.กิตติ วงศ์ถาวรวัดน์)

ปัญหาการใช้คลื่นที่เกิดการแพร่รบกวน



(ขอบคุณภาพจาก ดร.กิตติ วงศ์ถาวราวัฒน์)

ปัญหาจากการเกิด Reverse Intermodulation (RIM)



In-band Reverse Intermodulation

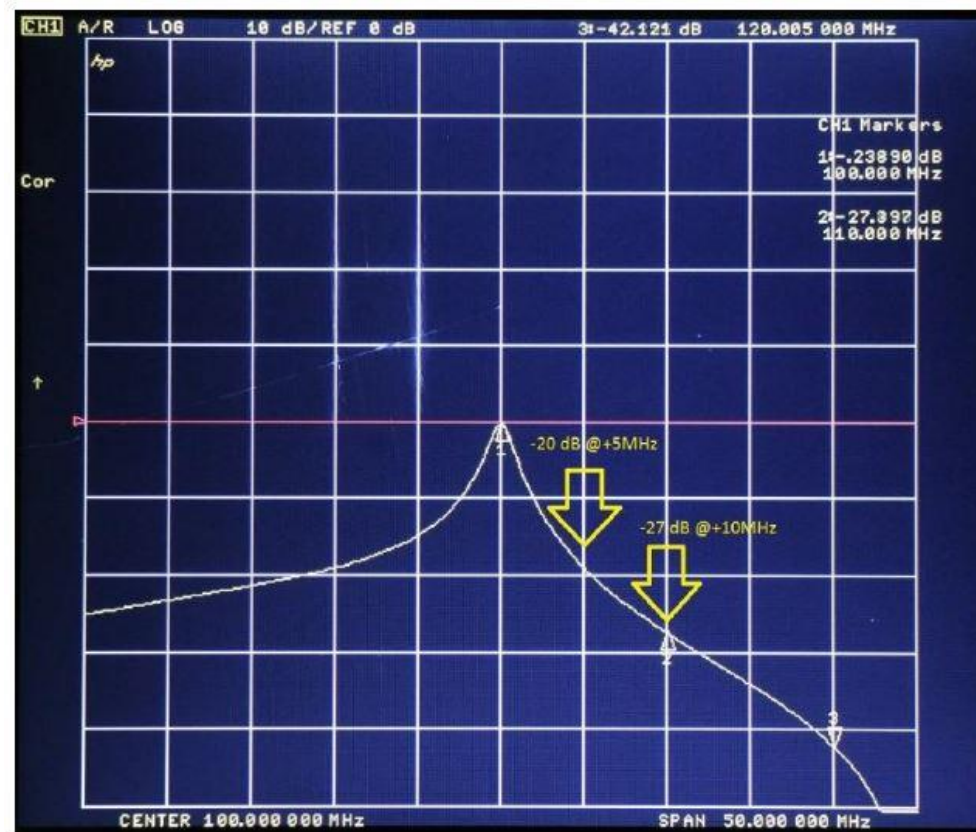
(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

การลดปัญหาจากการเกิด Reverse Intermodulation (RIM)

เนื่องจาก RIM นั้นเกิดมาจากการที่มีสัญญาณตั้งแต่สองความถี่ขึ้นไป ทำการส่งที่บริเวณใกล้เคียง กัน ทำให้เครื่องใดเครื่องหนึ่งหรือทั้งสองเครื่อง รับเอาสัญญาณของแต่ละฝ่ายเข้าไปในเครื่องส่งของตนเอง ดังนั้นการแก้ปัญหาที่ง่ายที่สุดก็คือ อย่าทำการส่งสัญญาณในบริเวณใกล้เคียง กัน แต่หากวิธีนี้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ยังมีวิธีการทางเทคนิคเข้ามาช่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งวิธีการออกเป็นสองลักษณะ คือ

- 1) ป้องกันสัญญาณจากสถานีอื่นๆ ไม่ให้ย้อนกลับเข้าไปในเครื่องส่งได้
- 2) กรณีที่เกิดมี RIM เกิดขึ้นแล้ว หาทางป้องกันไม่ให้สัญญาณ RIM จากเครื่องส่งออกไปที่สายอากาศได้

การลดปัญหาจากการเกิด RIM ด้วย Band-Pass Filter (BPF)



Frequency Response of BPF

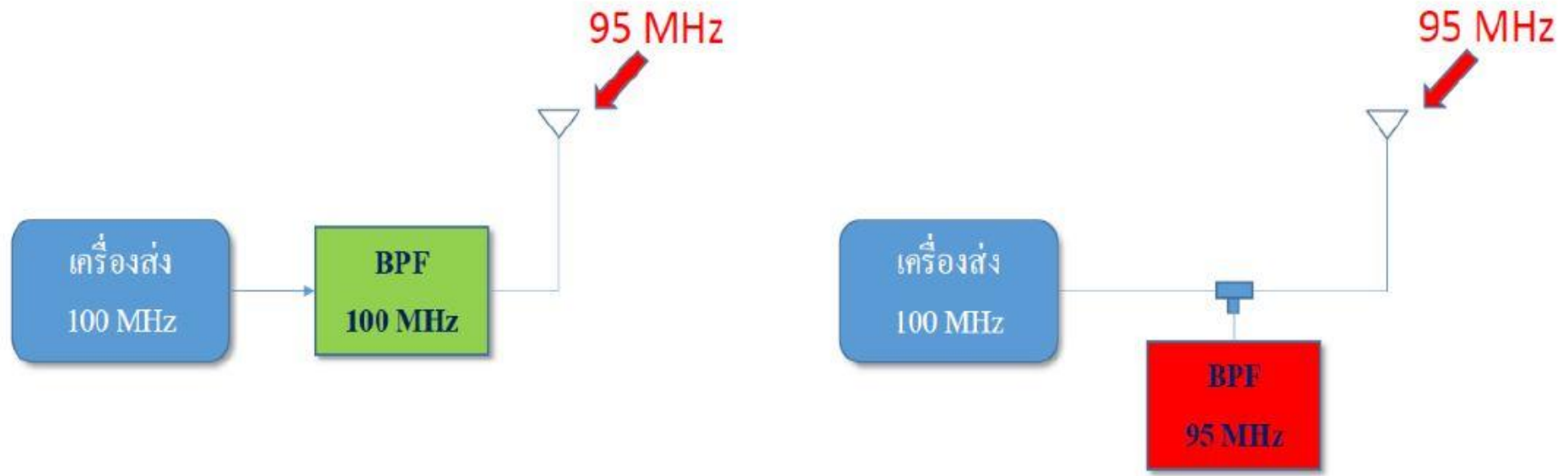
(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

การลดปัญหาจากการเกิด RIM ด้วย Band-Pass Filter (BPF)



ผลงานวิจัย Cavity BPF ราคาถูกของ กสทช.

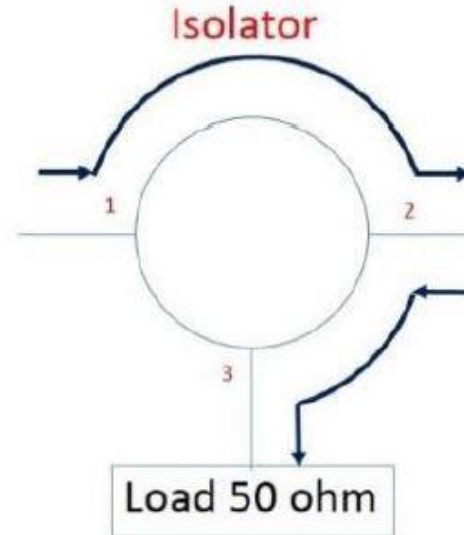
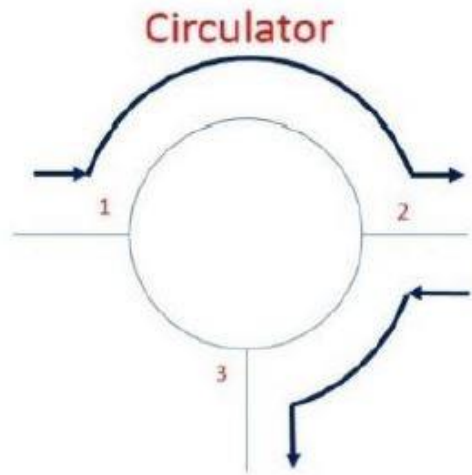
การลดปัญหาจากการเกิด RIM ด้วย Notch Filter



Filtering 95 MHz with (left) BPF and (right) BPF as Notch Filter

(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

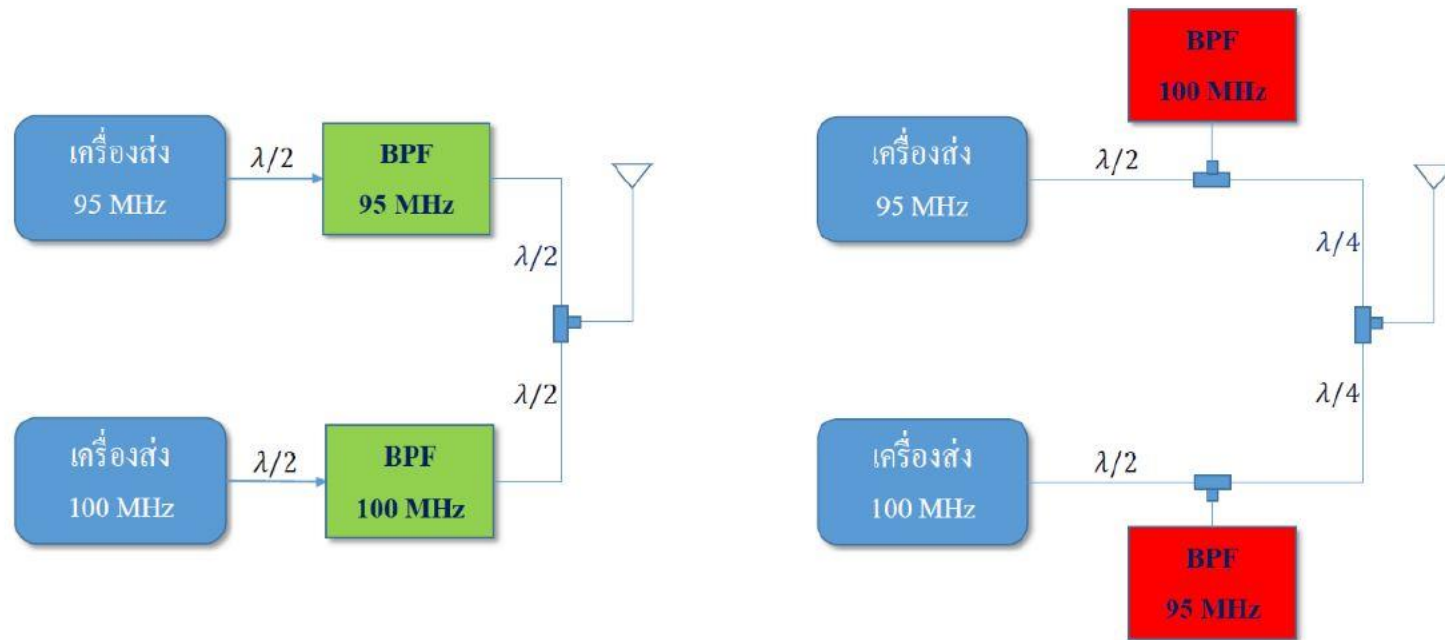
การลดปัญหาจากการเกิด RIM ด้วย Circulator



Conducting unwanted wave out to dummy load

(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

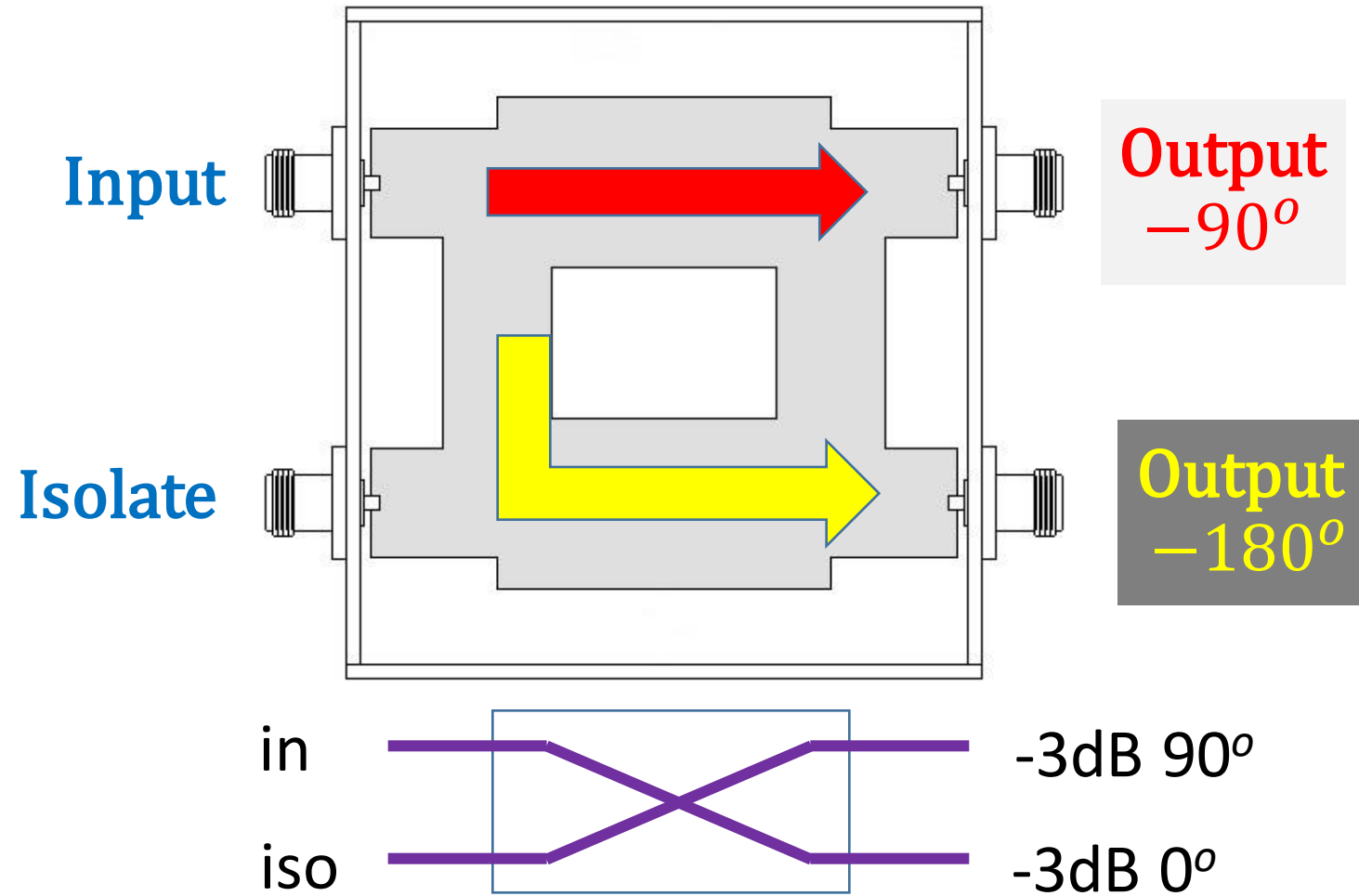
การลดปัญหาจากการเกิด RIM ด้วย Combiner (กรณีออกอากาศสองความถี่โดยใช้สายอากาศชุดเดียว)



Basic Combiners with BPF and Tx Line Technique

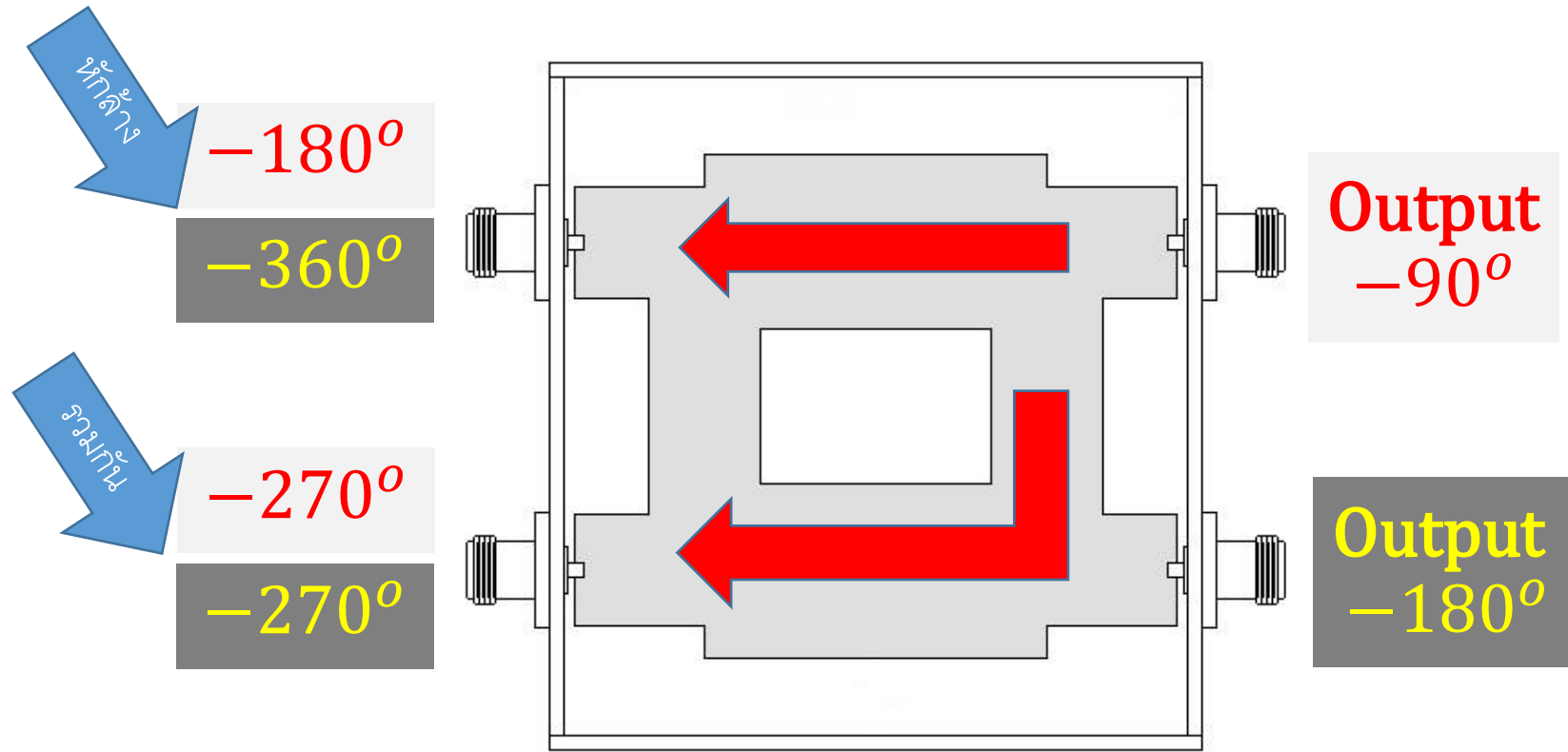
(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

Hybrid Power Combiner/Divider



(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

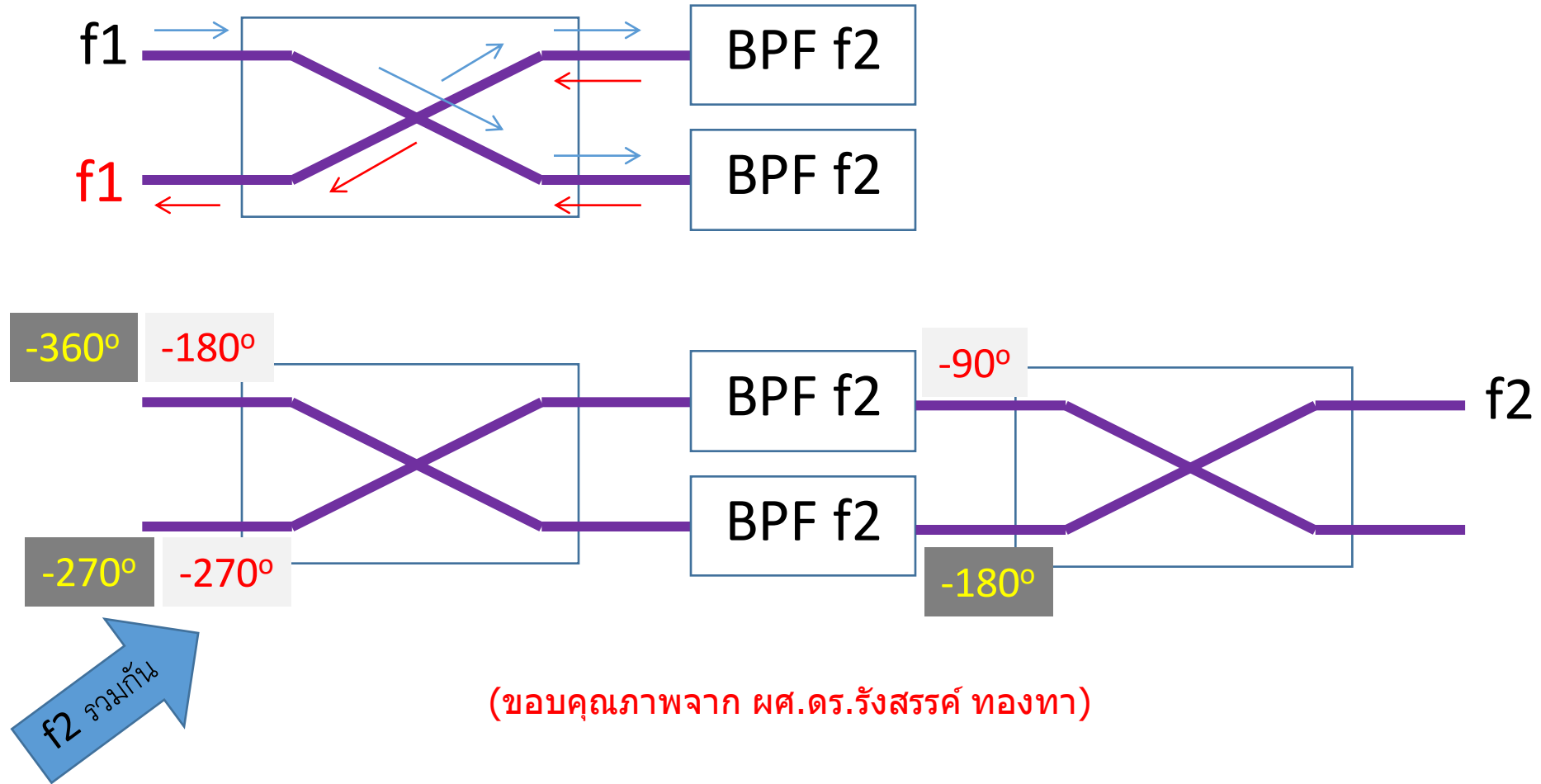
คลื่นที่สะท้อนมาจาก Output

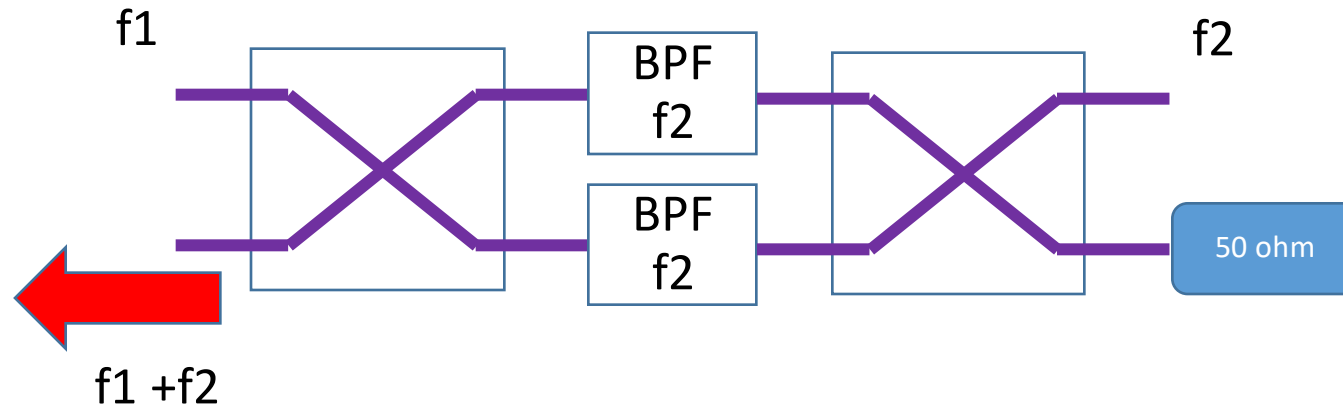


ดังนั้นถ้ามีคลื่นสะท้อนกลับมาจาก **output** ทั้งสอง
คลื่นจะย้อนกลับออกไปออกที่ **Isolate** แทนที่จะกลับไป Input

(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

Constant Impedance Combiner

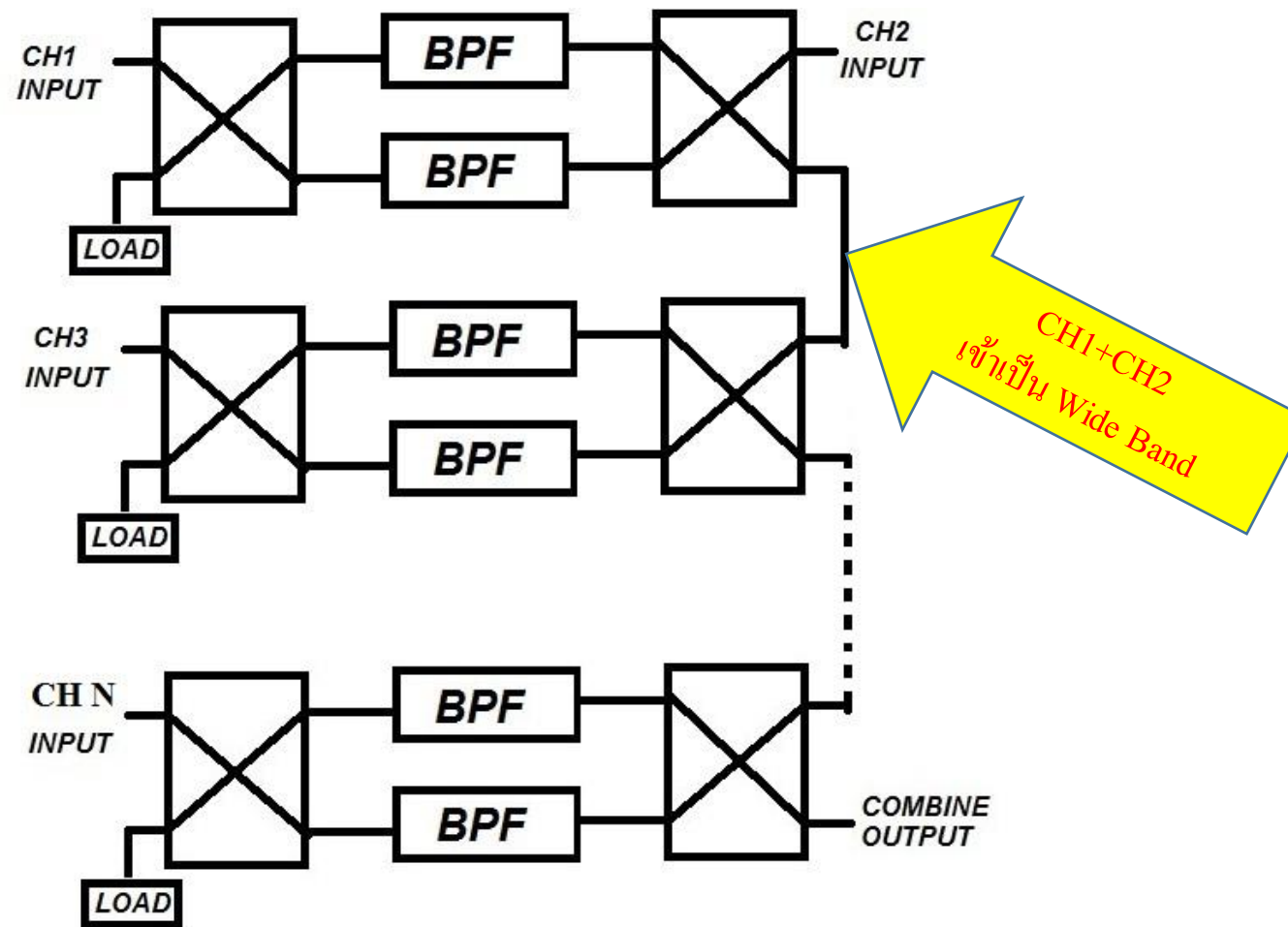




(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

- ถึงแม้ตามทฤษฎีแล้วจะไม่มีสัญญาณไปออกที่ port ข้าง f2 แต่เรายังนิยมใส่ load ไว้รองรับสัญญาณที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากความผิดปกติ
- สัญญาณ f2 มักจะเรียกว่า Narrow Band เนื่องจากต้องผ่าน filter
- ส่วนสัญญาณ f1 มักเรียกว่า Wide Band เพราะไม่จำเป็นต้องผ่าน filter
- อุปกรณ์ combiner ไม่ได้ช่วยลดหรือป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก VSWR ที่สะท้อนมาจากสายอากาศ

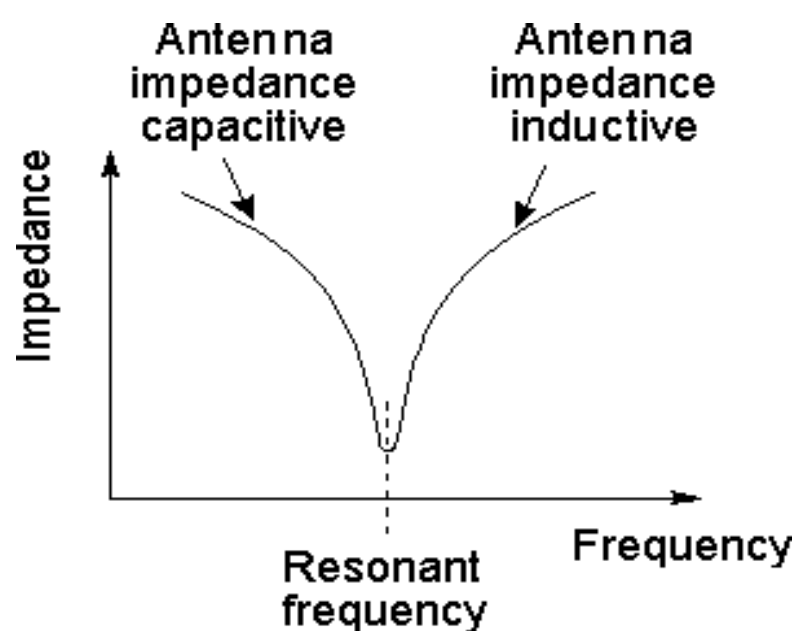
การรวมสัญญาณมากกว่า 2 สัญญาณ



(ขอบคุณภาพจาก ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา)

การลดปัญหาจากการเกิด RIM ด้วย Narrowband Antenna

สายอากาศจะมีโครงสร้างเป็นวงจรสมมูลย์เรโซแนนซ์ LC ที่ประกอบด้วยค่าเหนี่ยวนำ (Inductance) และค่าประจุ (Capacitance) ส่งผลให้เกิดค่าความถี่เรโซแนนซ์ค่าหนึ่งปรากฏขึ้น



Impedance of an RF antenna with frequency

ณ ที่ความถี่เรโซแนนซ์นี้ ค่ารีแอคแตนซ์เหนี่ยวนำและประจุ (Inductive and Capacitive Reactance) จะหักล้างซึ่งกันและกันทำให้เหลือเพียงเฉพาะส่วนที่เป็นค่าความต้านทาน (Resistance) ซึ่งรวมกันระหว่างค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการสูญเสียและความต้านทานที่ทำให้เกิดการแผ่กำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป

ความกว้างแถบของสายอากาศ (Antenna Bandwidth)

สายอากาศทุกชนิดจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงความกว้างแถบที่ถูกจำกัด หรือที่ความถี่รอบจุดเรโซแนนซ์ที่ได้ถูกออกแบบไว้ หากนำไปใช้งานนอกแถบที่กำหนดจะทำให้ค่ารีแอกแตนซ์มีค่าสูงเกินไปและทำให้คุณสมบัติอื่นๆ ของสายอากาศ เช่น แบบรูปการแผ่กำลัง อัตราขยาย อิมพีแดนซ์อินพุต ฯลฯ สูญเสียไปจากปกติที่เกิดขึ้น ณ ความถี่กลางที่ถูกออกแบบไว้

กรณีที่ใช้งานเป็นสายอากาศส่ง หากป้อนความถี่วิทยุที่ไม่อยู่ในความกว้างแถบของสายอากาศและเครื่องส่งวิทยุดังกล่าวไม่มีระบบป้องกันที่ดีพอ จะส่งผลให้เครื่องส่งเกิดความเสียหายได้ และทำให้ระดับของคลื่นความถี่วิทยุที่ส่งออกอากาศมีกำลังต่ำกว่าปกติ

วิธีพิจารณาความกว้างแถบ

- กรณี สายอากาศแถบกว้าง (Broadband Antenna) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศสามารถทำงานได้

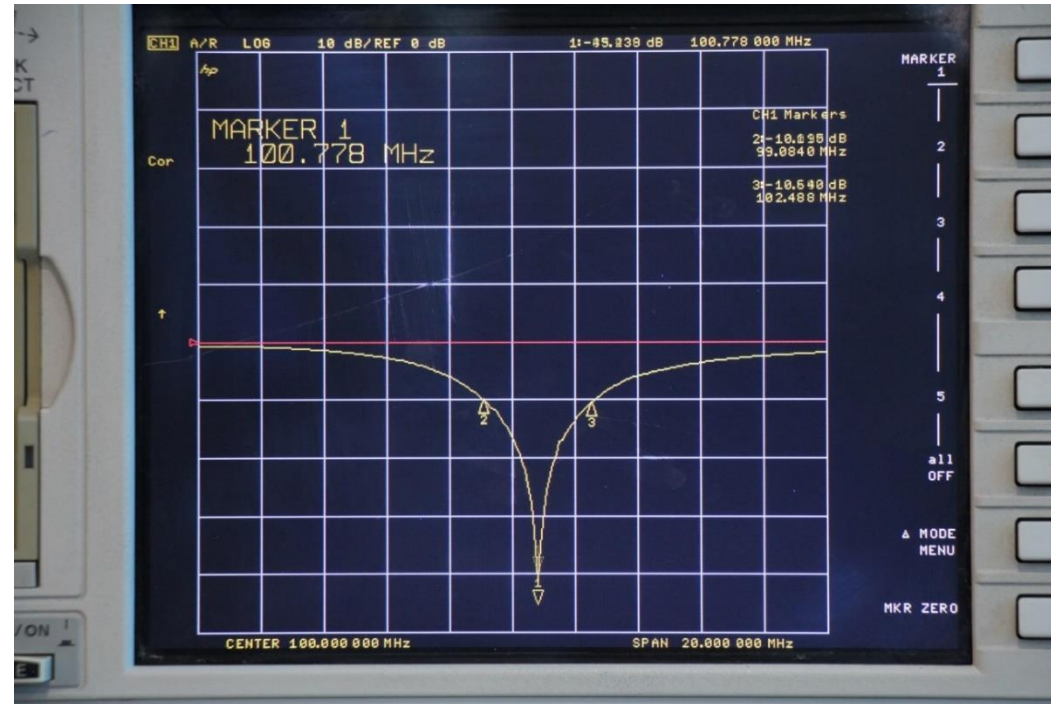
ตัวอย่าง ความกว้างแถบ 10 :1 แสดงว่าความถี่สูงสุดมีค่ามากกว่าความถี่ต่ำสุดอยู่ 10 เท่า

- กรณี สายอากาศแถบแคบ (Narrowband Antenna) ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของ เปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ (ความถี่สูงสุดลบต่ำสุด) เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความกว้างแถบ

ตัวอย่าง ความกว้างแถบ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ที่สายอากาศสามารถทำงานได้ มีค่าเป็น 5% ของความถี่กลางของความกว้างแถบ

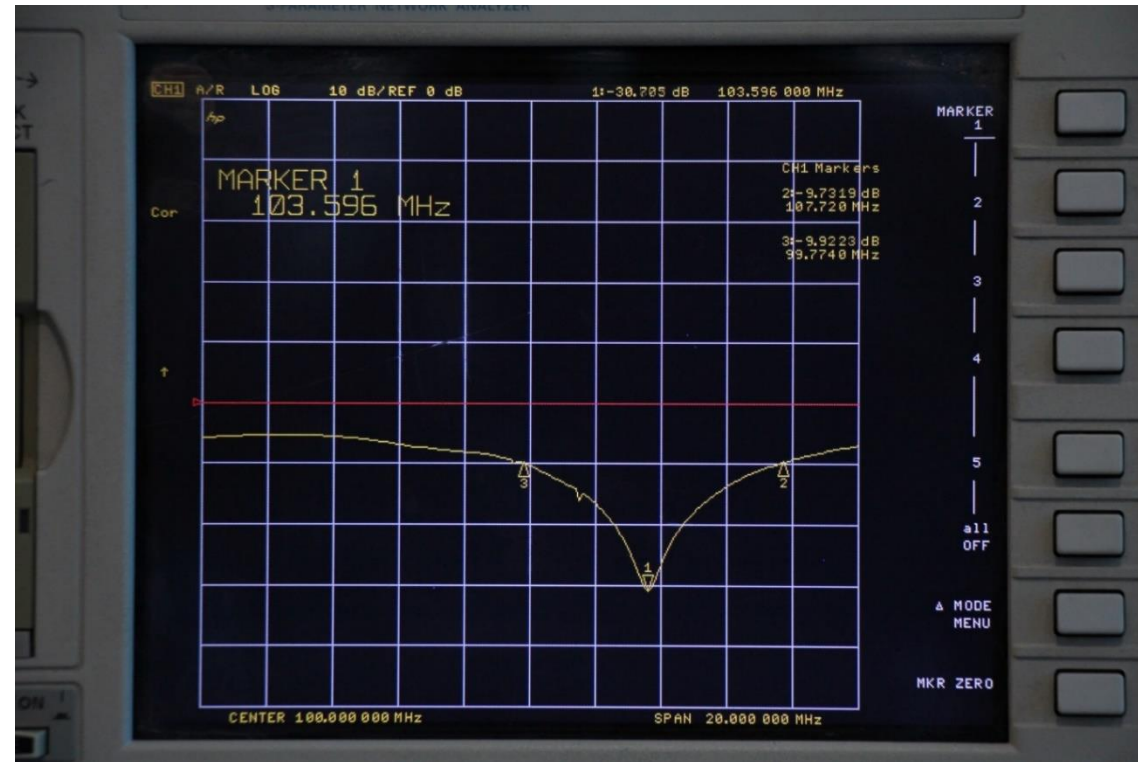
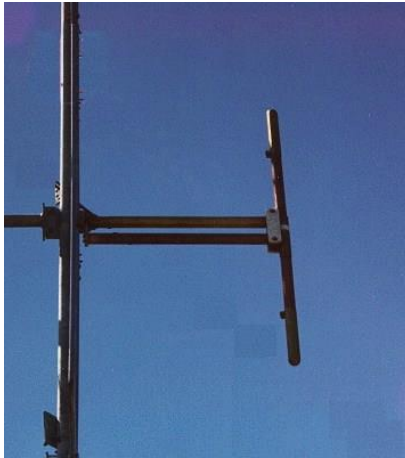
สายอากาศแถบกว้างโดยทั่วไปจะมีความกว้างแถบตั้งแต่ 20% ขึ้นไป และถ้ามีค่ามากกว่า 50% จะถูกเรียกว่าสายอากาศแถบกว้างพิเศษ (Ultra-Wideband Antennas)

Impedance Bandwidth



ตัวอย่าง ความกว้างแถบประมาณ 3.4% ของ
สายอากาศที่มีโพลาริซแบบวงกลมที่มีขายอยู่
ในเมืองไทย (ออกแบบที่ความถี่ 100 MHz)

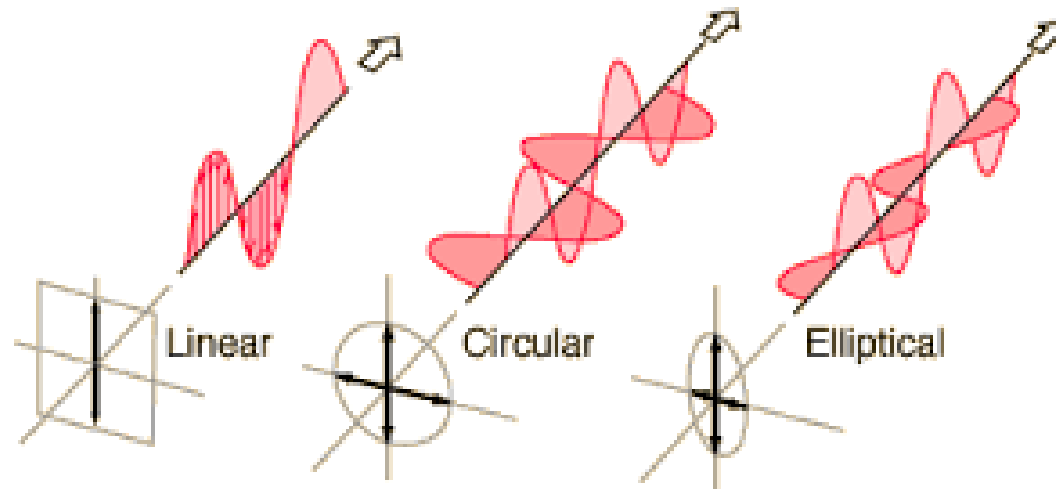
Impedance Bandwidth



ตัวอย่าง ความกว้างแถบประมาณ 7.67% ของ
สายอากาศที่มีโพลาริซแบบเส้นตรงในแนวตั้งที่
มีขายอยู่ในเมืองไทย (ออกแบบที่ความถี่ 103.5
MHz)

การลดปัญหาจากการเกิด RIM ด้วย Wave Polarization

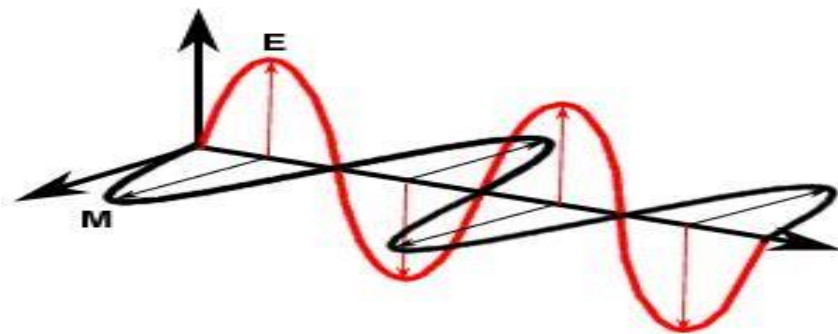
1. Linear Polarization → Vertical/Horizontal Pol.
2. Circular Polarization → RHCP/LHCP Pol.
3. Elliptical Polarization → RHCP/LHCP Pol.



Vertically Linear Polarization Antenna



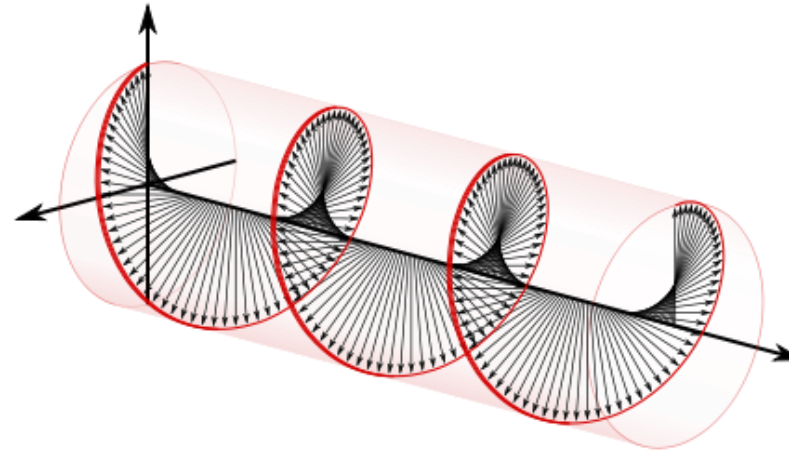
กลุ่มของสายอากาศที่มีโพลาไรซ์แบบเส้นตรงในแนวตั้ง
ที่มักใช้กับสถานีวิทยุ FM



Right-hand Side Circular Polarization Antenna

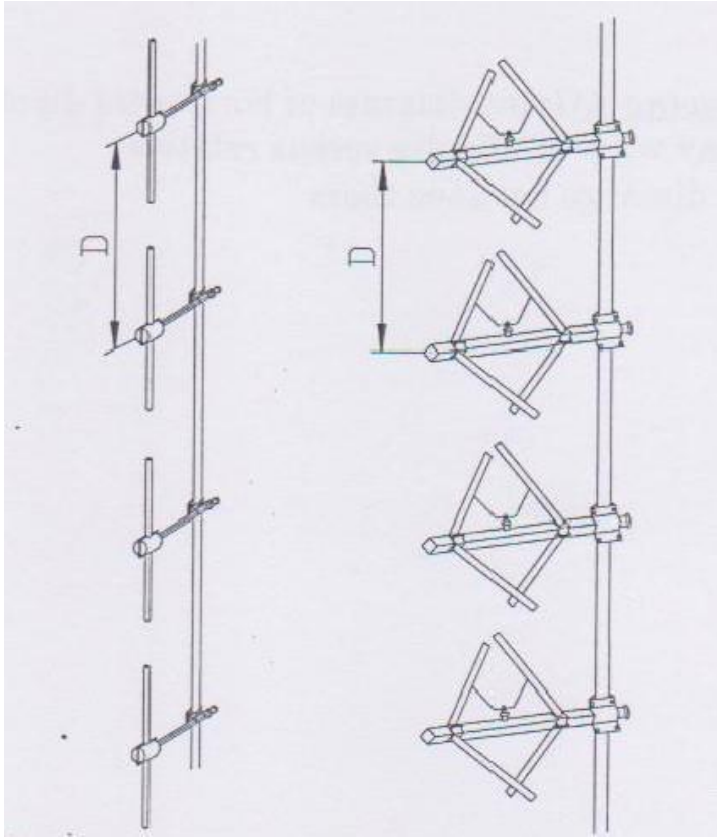


กลุ่มของสายอากาศที่มีโพลาไรซ์
แบบวงกลมหมุนขวาที่มักใช้กับสถานีวิทยุ FM



Radiation Pattern จาก Collinear Array Antenna

ช่วยสนับสนุนการรบกวนระบบวิทยุการบิน



Vertical & Circular Polarizations

ระยะห่างระหว่างบูม (Boom) ของแต่ละอีลีเมนต์มีผลต่อแบบรูปการแผ่กำลัง (Radiation Pattern) ของสายอากาศ โดยไปเพิ่มโหลบด้านข้างที่มีแอมพลิจูดค่อนข้างสูง (Grating Lobe) ในทิศทางดังสมการ

$$\theta_{\max \text{ lobe}} = \pm \sin^{-1} \left(\frac{3}{2} \times \frac{1}{N} \times \frac{\lambda}{D} \right)$$

โดยที่ $\theta_{\max \text{ lobe}}$ คือ มุมที่เกิด Grating Lobe

N คือ จำนวนอีลีเมนต์ของอาร์เรย์

Radiation Pattern จาก Collinear Array Antenna

ช่วยสนับสนุนการรบกวนระบบวิทยุการบิน

จากสูตรการคำนวณหามุมของโหลบด้านข้างที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการปรับระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ของ Collinear Array Antenna

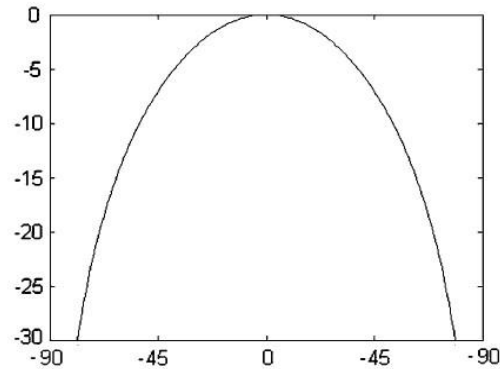
$$\theta_{\max \text{ lobe}} = \pm \sin^{-1} \left(\frac{3}{2} \times \frac{1}{N} \times \frac{\lambda}{D} \right)$$

ตัวอย่าง เช่น ถ้าปรับระยะ $D = 1\lambda$ จะเกิดโหลบด้านข้างเกิดขึ้นที่มุม

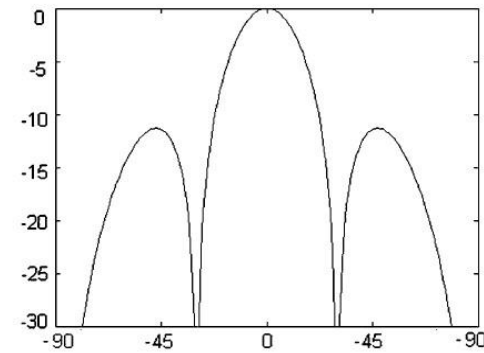
$$\theta_{\max \text{ lobe}} = \pm \sin^{-1} \left(\frac{3}{2} \times \frac{1}{4} \times \frac{\lambda}{1\lambda} \right) = \pm 22.024^\circ$$

Radiation Pattern จาก Collinear Array Antenna

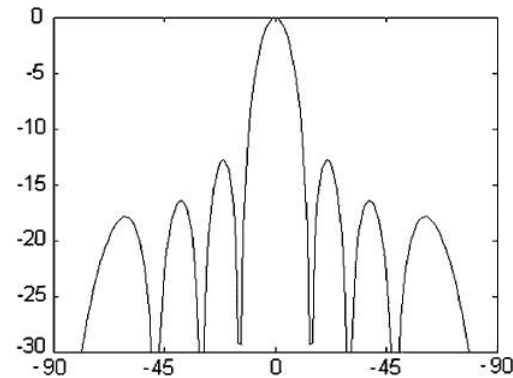
ช่วยสนับสนุนการรบกวนระบบวิทยุการบิน



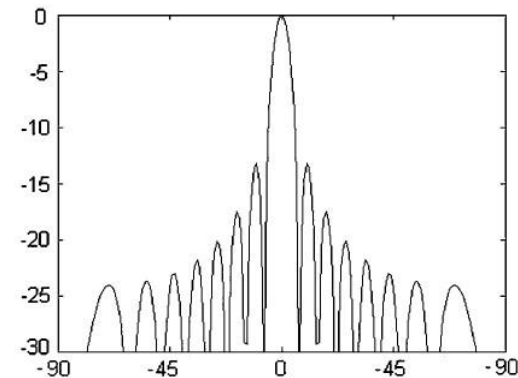
(a)



(b)



(c)



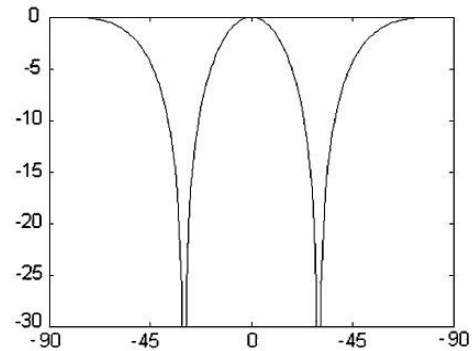
(e)

Linear array factor of $D=\lambda/2$:

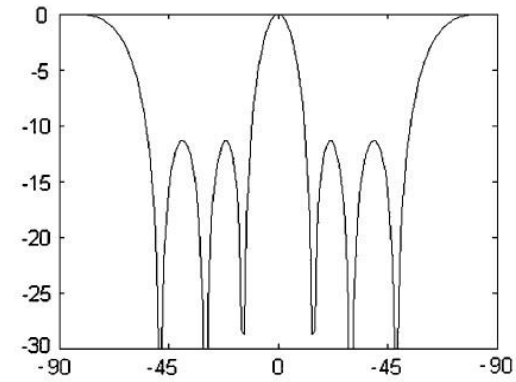
(a) 2 elements array (b) 4 elements array (c) 8 elements array and (d) 16 elements array

Radiation Pattern จาก Collinear Array Antenna

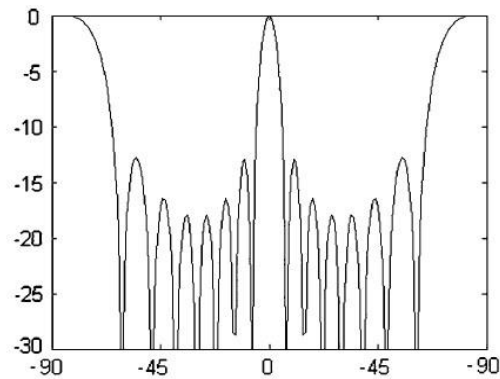
ช่วยสนับสนุนการรบกวนระบบวิทยุการบิน



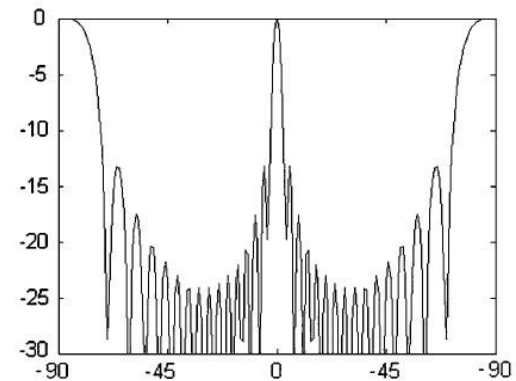
(a)



(b)



(c)

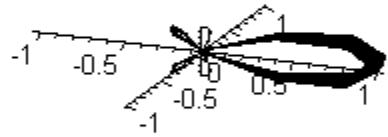


(e)

Linear array factor of $D=\lambda$:

(a) 2 elements array (b) 4 elements array (c) 8 elements array and (d) 16 elements array

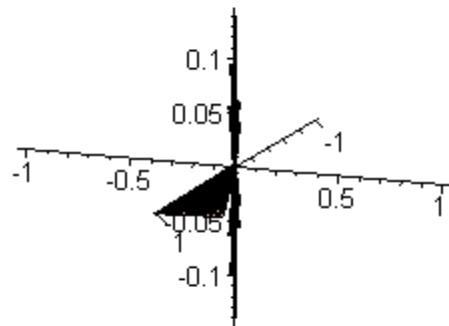
ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มีผลต่อ Radiation Pattern ของ Collinear Array



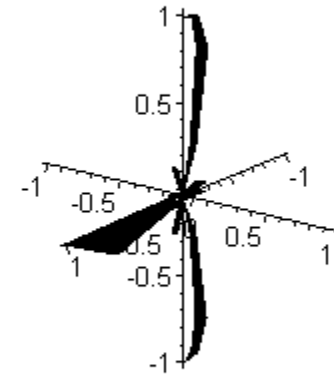
(a) $D = 0.25\lambda$



(b) $D = 0.5\lambda$



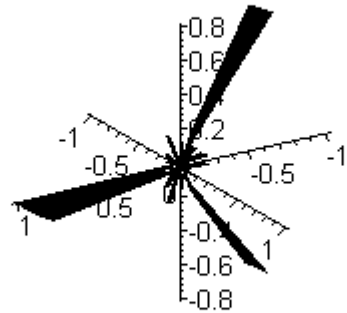
(c) $D = 0.75\lambda$



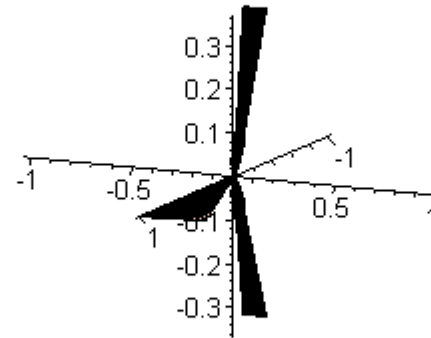
(d) $D = 1.0\lambda$

ผลกระทบจากการปรับระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ D ของอาร์เรย์
(จำลองผลขณะสายอากาศลอยตัวในอากาศ)

ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มีผลต่อ Radiation Pattern ของ Collinear Array



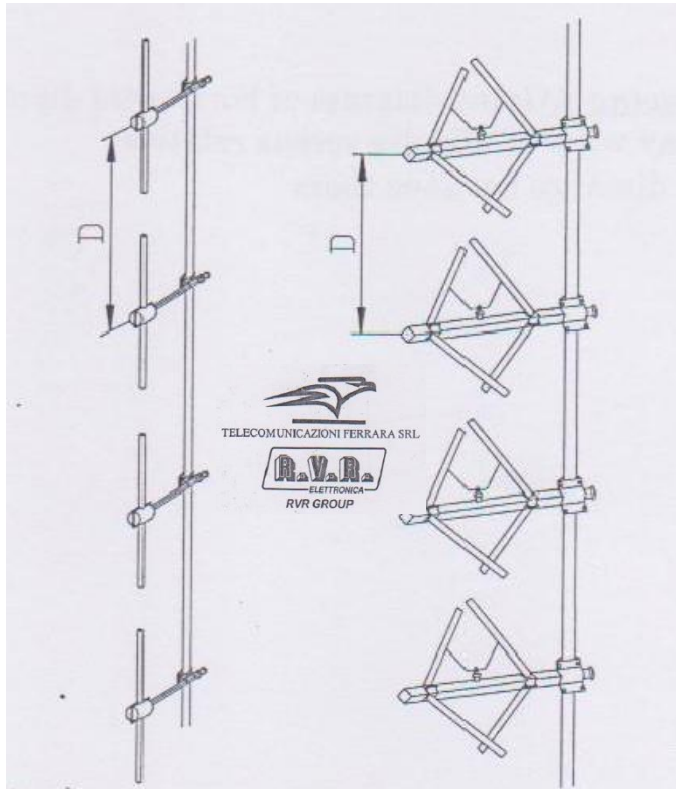
(e) $D = 1.25\lambda$



(f) $D = 1.5\lambda$

ผลกระทบจากการปรับระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ D ของอาร์เรย์
(จำลองผลขณะสายลอยตัวในอากาศ)

ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มีผลต่อ Radiation Pattern ของ Collinear Array



Vertical & Circular Polarizations

ข้อแนะนำ ระยะห่างระหว่างบูม (Boom) ของแต่ละอีลีเมนต์อยู่ที่ประมาณ 0.75λ - 0.85λ คำนวณได้จากสูตร

$$D = \frac{300}{F} \times (0.75 \text{ to } 0.85)$$

โดยที่ F คือ ความถี่ที่ใช้งาน (MHz)

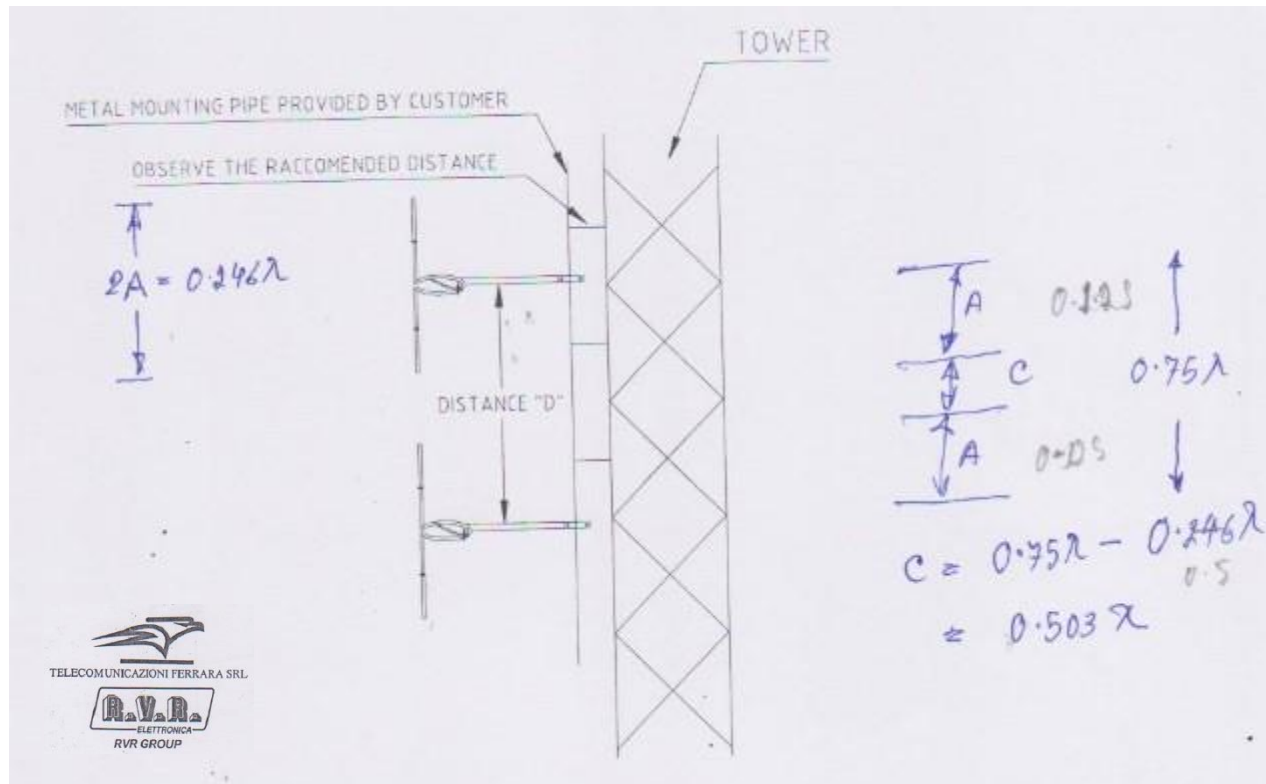
D คือ ระยะห่างระหว่างบูม (m)

ตัวอย่าง ถ้า $F = 100$ MHz และ $D = 0.85 \lambda$

$$D = \frac{300}{100} \times 0.85 = 2.55 \text{ m}$$

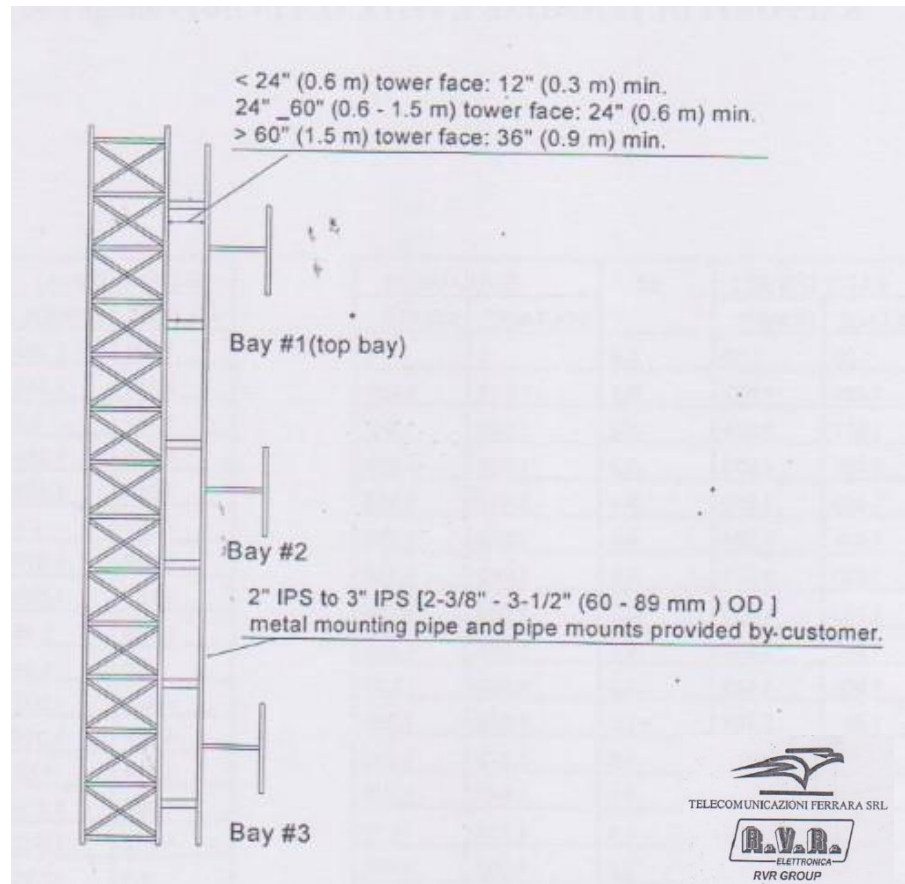
“สายอากาศทั้งสองประเภทนี้หากติดตั้งเข้ากับเสากลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 ซม. และติดตั้งบนยอดเสาเวอร์ จะให้แบบรูปการแผ่กำลังใกล้เคียง Omnidirection แต่ความกลมของแบบรูปในระนาบสนามแม่เหล็กอาจจะมีค่า $\pm 2-3$ dB แต่หากติดตั้งด้านข้างของเสาเวอร์จะมีผลกระทบจากโครงสร้างทำให้แบบรูปการแผ่กำลังและค่า VSWR แตกต่างจากกรณีแรกเล็กน้อย”

ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มีผลต่อ Radiation Pattern ของ Collinear Array



กรณีสายอากาศตระกูลไดโพลอีกรูปแบบหนึ่ง ที่ให้การโพลาไรซ์เป็นแบบวงกลม แนะนำให้ใช้ระยะห่างระหว่างบูม ของแต่ละอีลีเมนต์อยู่ที่ 0.75λ จะทำให้ระยะห่างระหว่างปลายอีลีเมนต์ห่างกันประมาณ 0.5λ

ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มีผลต่อ Radiation Pattern ของ Collinear Array



หน้ากว้าง ของเสาเวอร์	ระยะห่างที่ เหมาะสม
<24"	12"
24"- 60"	24"
>60"	36"

ขนาดของท่อโลหะที่ใช้ติดตั้ง
อีลีเมนต์ของสายอากาศ มีขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 3 นิ้ว

ระยะห่างระหว่างเสาเวอร์-สายอากาศ และขนาดของท่อโลหะที่ใช้ติดตั้งสายอากาศ ที่ไม่ส่งผล
กระทบต่อแบบรูปการแผ่กำลังและค่า VSWR ของสายอากาศมากนัก

อุปกรณ์เฝ้าระวังการเกิด Reverse Intermodulation เพื่อป้องกันการรบกวนระบบวิทยุการบิน

โครงการ:

อุปกรณ์ตรวจวัดการแพร่กระจายคลื่นรบกวนสำหรับสถานีส่งวิทยุกระจายเสียง
ราคาถูก

The low price spurious frequency monitoring device for FM broadcast.

โดย บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด



วัตถุประสงค์

1. เป็นเครื่องมือทางเลือกที่ใช้ตรวจสอบสถานีเบื้องต้น
2. เป็นอุปกรณ์แจ้งเตือนการแพร่กระจายอัตโนมัติให้ผู้ดูแลสถานีทราบถึงการแพร่กระจายคลื่นแปลกปลอม

ผู้ร่วมโครงการ กองวิศวกรรมระบบสื่อสารการเดินอากาศ (วส.บว.)



นายสายชล ส่งเจิม

- วิศวกรจราจรทางอากาศ



นายสมเกียรติ แก้วไชยะ

- ผู้จัดการงานวิศวกรรมจราจรทางอากาศ



นายธีรศักดิ์ แสงแย้ม

- วิศวกรจราจรทางอากาศ



นายพิบูลย์ พิทยครรชิต

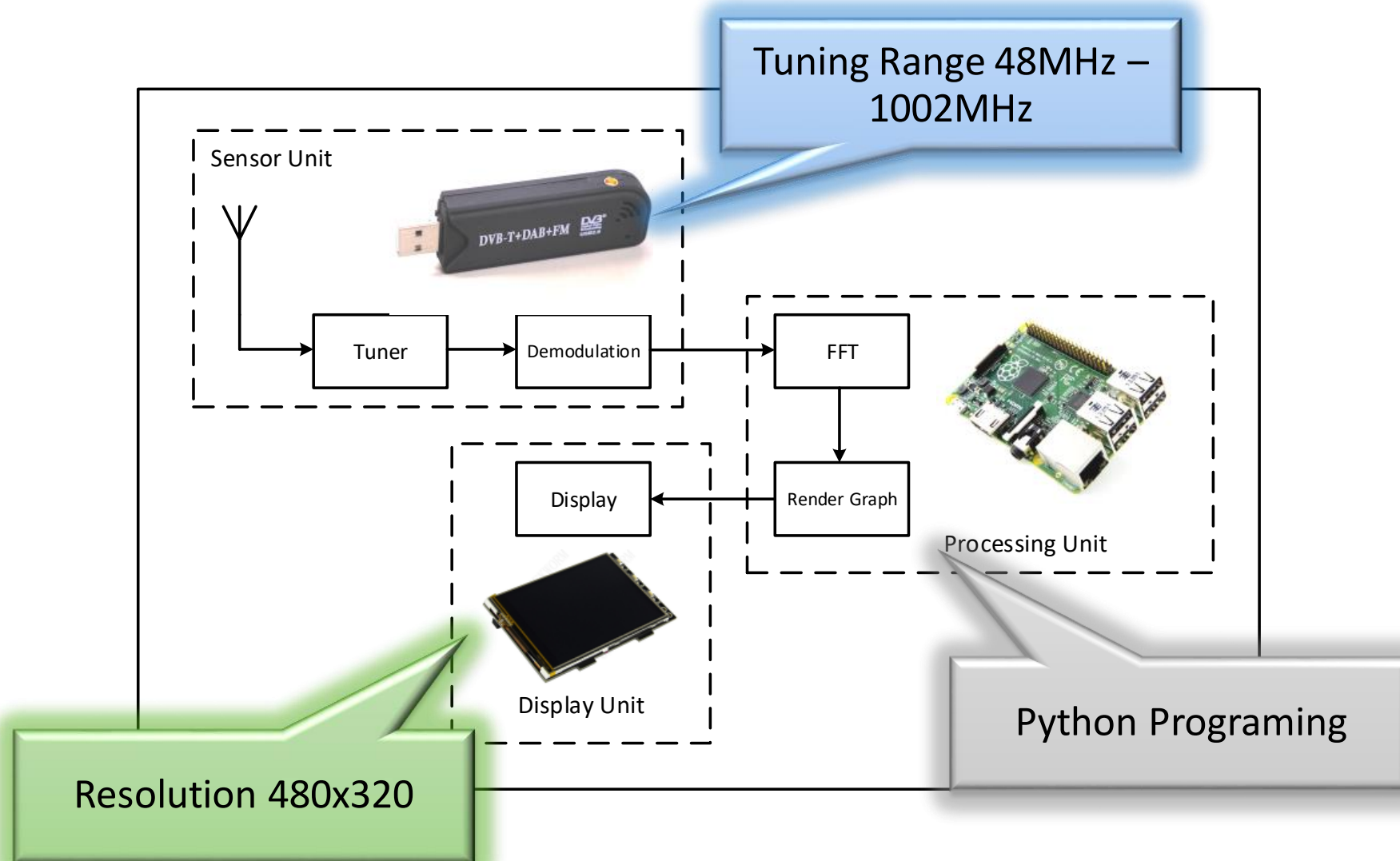
- วิศวกรจราจรทางอากาศ



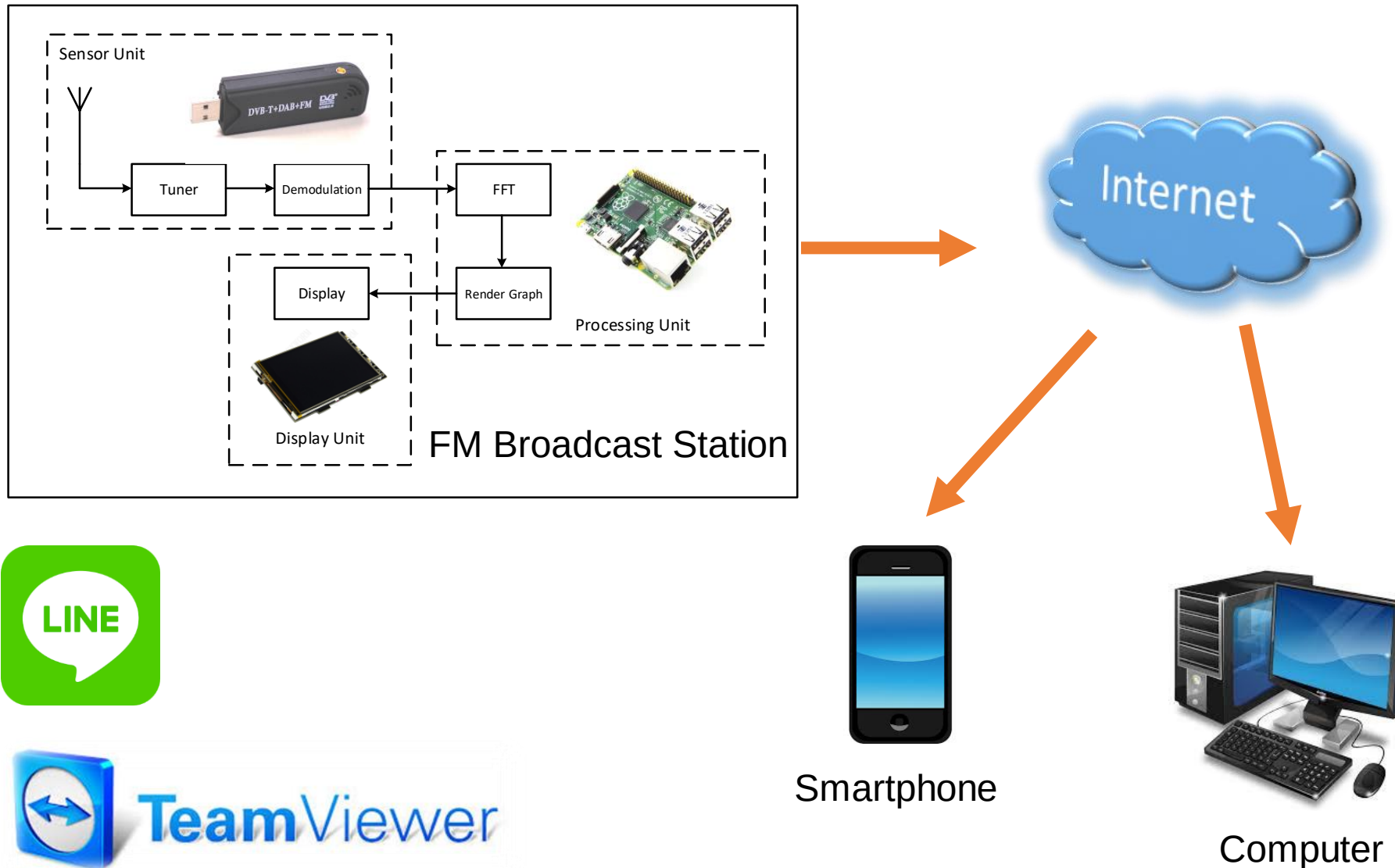
นางสาวอรัชพร ชลอคุณวัฒน์

- วิศวกรจราจรทางอากาศ

Hardware Components

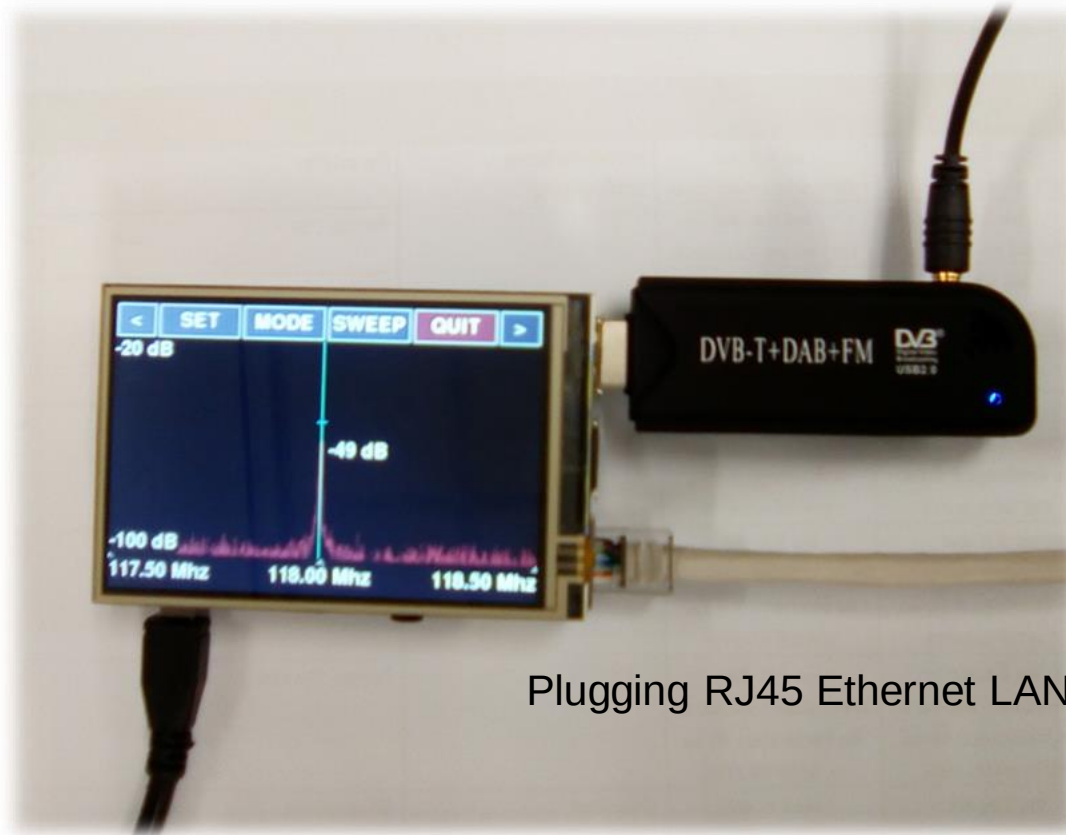


System Architecture



การติดตั้งใช้งาน

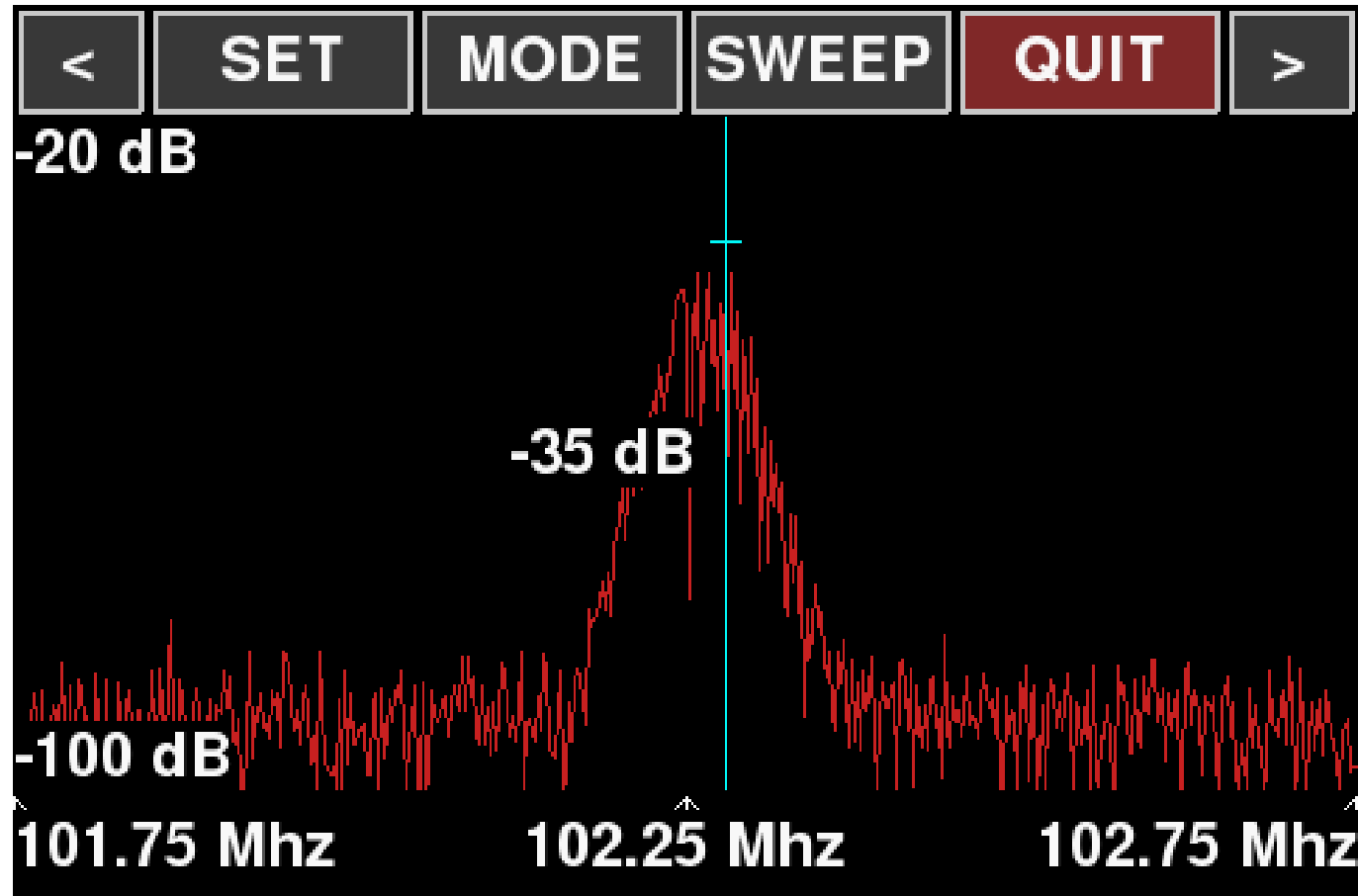
1. จ่ายไฟให้โดยเสียบไฟบ้านปกติ
2. เชื่อมต่อสัญญาณ Internet ให้อุปกรณ์
 - LAN
 - Wi-Fi



Plugging RJ45 Ethernet LAN

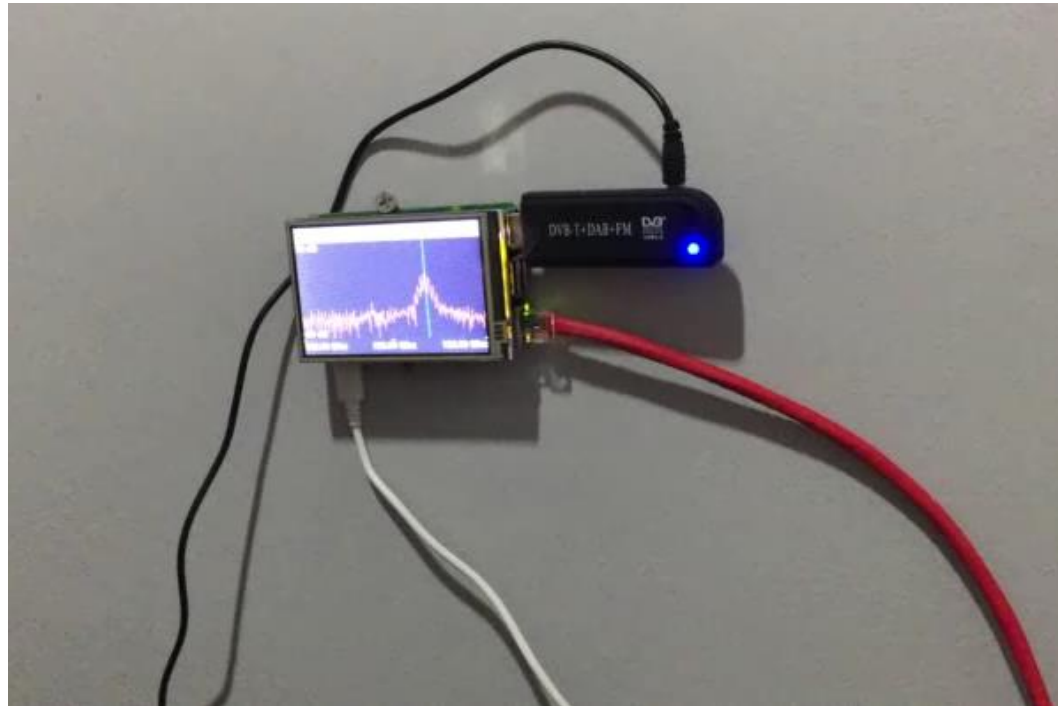
Plugging 220VAC 50Hz

หน้าจอแสดงผล



ลักษณะการแสดงผลสัญญาณ Spectrum

การนำไปใช้งานจริง





หน้าจอแสดงผล

CENTER FREQ: 102.25 MHz	
SPAN: 1.00 MHz	
GAIN: 8.7 dB	
MIN: -100 dB	MAX: -20 dB
BACK	Page2

ปรับค่าพารามิเตอร์ และการแสดงผล
สำหรับ Spectrum Analyzer

START: 108 MHz	STOP: 138 MHz
STEP: 0.1 MHz	
THRESHOLD: -45	TRACK: DISABLE
BACK	Page1

ปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับ
Spurious Detector Function



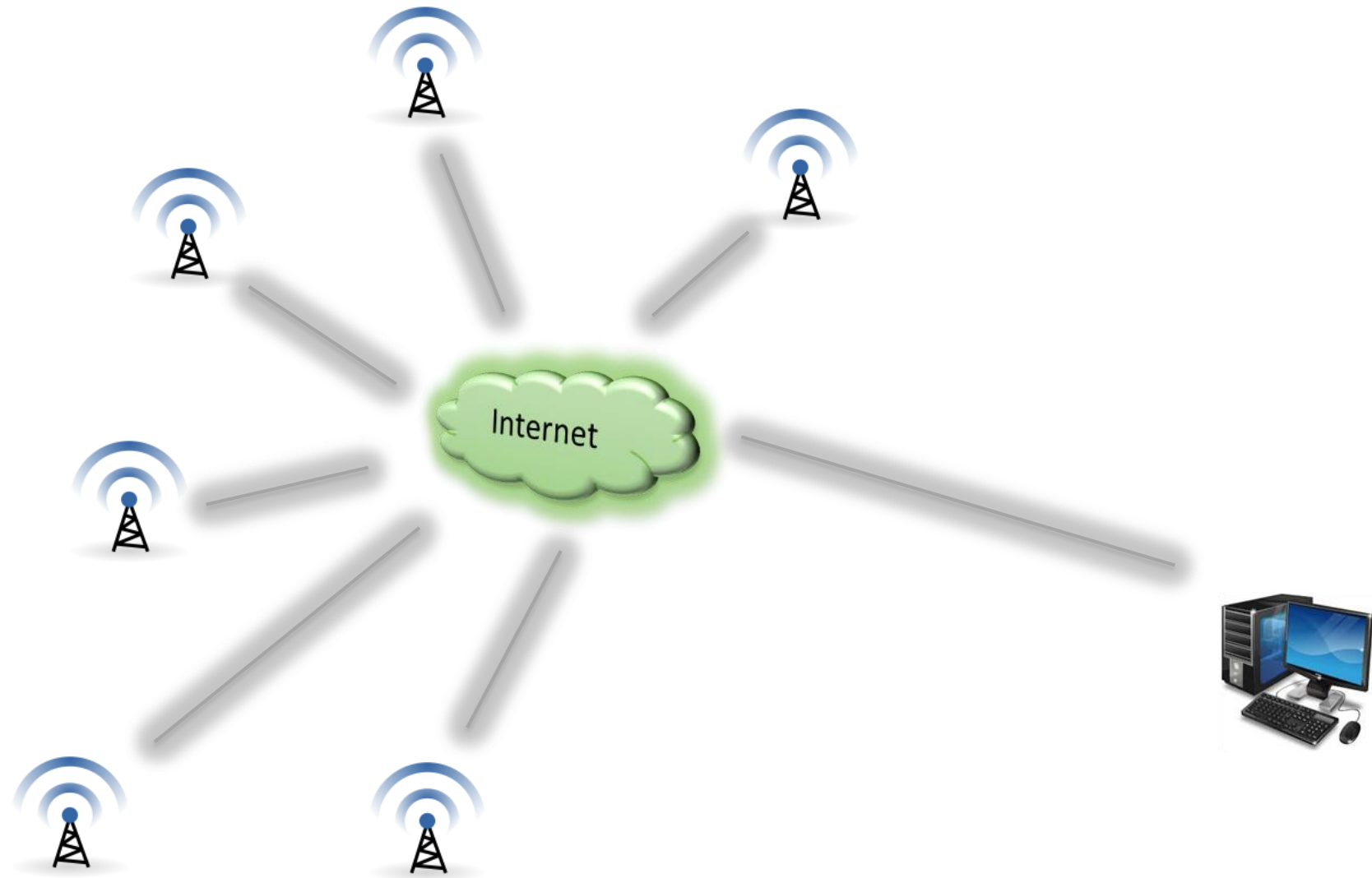
การใช้งาน: รูปแบบการแจ้งเตือน



1.เมื่อมีการตรวจพบสัญญาณแปรแปลกปลอมที่มีค่ามากกว่าค่า Threshold ที่ตั้งไว้ อุปกรณ์จะส่งข้อมูล Frequency และ Amplitude ของสัญญาณดังกล่าว ไปให้ทางผู้ดูแลสถานิทราบในรูปแบบของ LINE Message

2.หากทางผู้ดูแลสถานิต้องการทราบข้อมูล หรือลักษณะของการแพร่กระจายเบื้องต้นก็สามารถใช้งาน Remote Monitoring ผ่านทาง TeamViewer ได้

การนำไปใช้งานจริง





ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

1. บอร์ด Raspberry Pi2 ราคา 1,350บาท	
2. จอ TFT Touch Screen ราคา 550 บาท	
3. Micro SD Card ราคา 150 บาท	
4. Adapter 5V 2A ราคา 250 บาท	
5. SDR Dongle ราคา 350 บาท	
6. กล่องใส่อุปกรณ์ ราคา 150 บาท	
7. Exagear software 1,000บาท	
รวมอุปกรณ์ทั้งหมดราคา 3,800 บาท	

**ขอบคุณสำหรับความตั้งใจจริงในการช่วยกันแก้ไขปัญหา
และทำให้สังคมอยู่ร่วมกันอย่างมีความสุข**



“ทำงานเพื่อตอบแทนคุณแผ่นดินและพระคุณครูบาอาจารย์”

E-mail: rangsan@sut.ac.th

ID-Line: rwongsan64

FB Group: Antenna KM (Knowledge Management)