หลักการเรดาร์ (RADAR Principles)

เวลาสอน 9 ชั่วโมง

วัตถุประสงค์

- เพื่อให้ นักเรียนได้รู้ถึง หลักการเบื้องต้นของเรดาร์
- เพื่อให้ นักเรียนได้รู้ถึง ส่วนประกอบของเรดาร์ และหน้าที่ โดยสังเขป
- เพื่อให้ นักเรียนได้รู้ถึง ขีดจำกัดภายใน และภายนอกระบบ ของเรดาร์
- เพื่อให้ นักเรียนได้รู้ถึง การแบ่งประเภทของเรดาร์
- เพื่อให้ นักเรียนได้รู้ถึง หลักการทำงานเบื้องต้น ของเรดาร์ชนิดต่างๆ
- เพื่อให้ นักเรียนได้รู้ถึง การประยุกต์ใช้งานเรดาร์

กล่าวนำ

1. RADAR มาจากคำว่า “Radio Direction and Ranging ” ซึ่งเป็นข้อความที่อธิบายถึงหน้าที่หลักของเรดาร์ ในตอนเริ่มแรกของการคิดค้นมีจุดประสงค์ที่จะพัฒนาอุปกรณ์ที่มีขีดความสามารถในการค้นหาเป้าอากาศยานที่จะเข้ามาคุกคามในระยะไกล ๆ เพื่อจะให้มีเวลาที่จะป้องกันตัวเอง หรือต่อต้านภัยคุกคามเหล่านั้น ส่วนขีดความสามารถที่ได้รับการพัฒนาในระยะต่อมาคือความสามารถในการหาระยะทาง และทิศทางของเป้าหมายซึ่งเป็นประโยชน์ ในการขยายแนวป้องกันให้มากขึ้น เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นมีผลทำให้เรดาร์ เป็นที่ยอมรับทั้งงานด้านพลเรือน และทหาร โดยพลเรือน มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การพยากรณ์อากาศ การใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการเดินเรือฯลฯ ส่วนในทางทหาร เรดาร์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ในการแจ้งเตือนภัยทั้ง ทางบก ทางเรือ และทางอากาศ

จุดเด่นประการหนึ่งของเรดาร์ คือ เป็นอุปกรณ์ที่มีขีดความสามารถ ในการตรวจจับเป้าขนาดเล็กที่มีความเร็วสูงในระยะไกล ไม่ว่าจะเป็นเวลากลางวัน หรือกลางคืน รวมทั้งในขณะที่ทัศน-วิสัยเลว หรือแม้แต่ในสนามรบที่เต็มไปด้วยกลุ่มควัน กระสุน และระเบิด อย่างไรก็ตาม เรดาร์เป็นอุปกรณ์ที่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ทำให้อาจถูกจับการแพร่คลื่นจากฝ่ายตรงข้าม ส่วนพนักงานผู้ใช้เครื่องจะต้องมีความชำนาญในการแปลความหมายจากจอภาพ ซึ่งเป็นจุดอ่อนของเรดาร์เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ตรวจการณ์ประเภทอื่น ถึงกระนั้นเรดาร์ก็ยังเป็นที่ยอมรับในการปฏิบัติภารกิจด้านการทหาร เนื่องจากสนองตอบความต้องการทางด้านยุทธวิธี และยุทธศาสตร์ ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้มีคุณลักษณะพิเศษโดยเน้นหน้าที่การทำงานเฉพาะอย่าง นอกจากนั้นมีการพัฒนาให้เรดาร์มีขีดความสามารถในการให้ข้อมูลรายละเอียดของเป้าอีกมากมาย เช่น การคำนวณตำบลที่ของเป้าล่วงหน้า สร้างเป้าจำลอง สร้างแผนที่จำลองบันทึกเส้นทางเคลื่อนที่ของเป้าที่ผ่านมาแล้วการพิสูจน์ฝ่ายเป้าโดยการแปลความหมายบนจอเรดาร์เป็นความคาดหวังสูงสุดในการออกแบบคุณลักษณะเรดาร์ซึ่งเป็นงานที่ท้าทายวิศวกรที่ออกแบบเรดาร์ในปัจจุบัน

- **ลักษณะที่สำคัญของระบบเรดาร์ในปัจจุบัน**

- สามารถค้นหาเป้า จากสัญญาณเรดาร์เพียงเล็กน้อย ที่สะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศหลังจากกระทบวัตถุบนพื้นโลก

- วิเคราะห์และประเมินผลระยะทางจากการคำนวณเวลาที่สัญญาณเรดาร์ที่เดินทางไปกระทบวัตถุบนพื้นโลกแล้วเดินทางกลับมาเข้าสายอากาศและผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในเครื่องรับ

- วิเคราะห์ทิศทางของเป้า จากการออกแบบสายอากาศให้บังคับลำคลื่นสัญญาณเรดาร์ให้เป็นลำแคบๆ (Pencil-Shaped) ส่วนทิศทางของเป้าจะถูกประเมินผลเมื่อสายอากาศหมุนผ่านวัตถุนั้น

- พิสูจน์ทราบเป้าที่เคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่ โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความถี่เมื่อส่งออกไป และความถี่ที่สะท้อนกลับเข้ามาโดยใช้หลักการ “Doppler effect”

2. คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- เรดาร์สามารถหา ระยะและ ทิศทางได้ เนื่องมาจาก คุณสมบัติในการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะ ดังนี้

- เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเล็กน้อย เนื่องจากสภาพอากาศ

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เดินทางในอากาศด้วยความเร็ว เท่ากับความเร็วแสง

- 300,000 กิโลเมตร ต่อ 1 วินาที หรือ

- 186,000 ไมล์ ต่อ 1 วินาที (Statue Mile) หรือ

- 162,000 ไมล์ ต่อ 1 วินาที (Nautical Mile) หรือ 328 หลา/1 μsec

- 1 Nautical Mile ต่อ 12.2 μsec

3. ลักษณะการสะท้อน ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Reflection of Electromagnetic Waves)

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะสะท้อนกลับมายังจุดกำเนิดของสัญญาณ เมื่อเดินทางไปกระทบกับวัตถุต่างๆบนพื้นโลกที่อยู่ในแนวทาง ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น

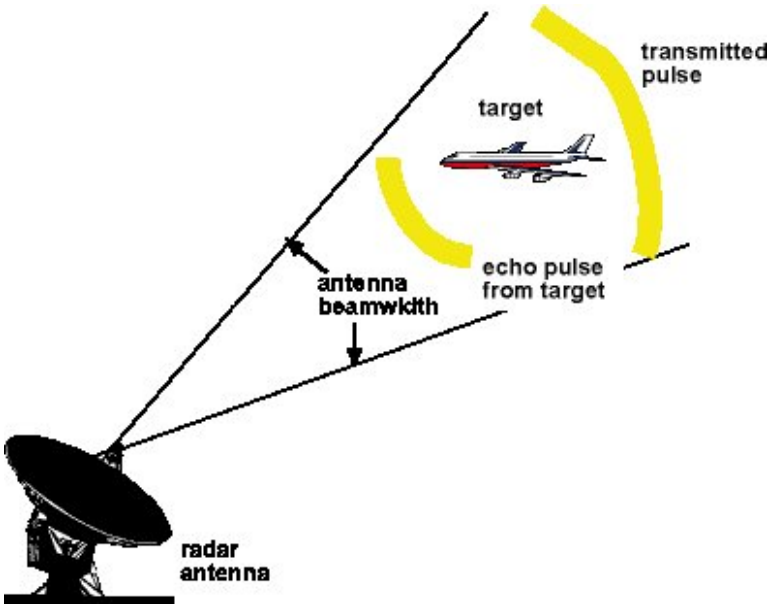
4. หลักการทำงาน ของเรดาร์

- เรดาร์ส่งคลื่นวิทยุออกไปเป็นห้วงคลื่น(Pulse) หรือ คลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave- CW) จากเครื่องส่งกำลังสูง

- สายอากาศเรดาร์ จะบังคับทิศให้ห้วงคลื่นเหล่านั้นเดินทางออกไป ในทิศทางที่ต้องการ โดยปกติ สายอากาศจะหมุนรอบตัว หรือ เป็น Sector

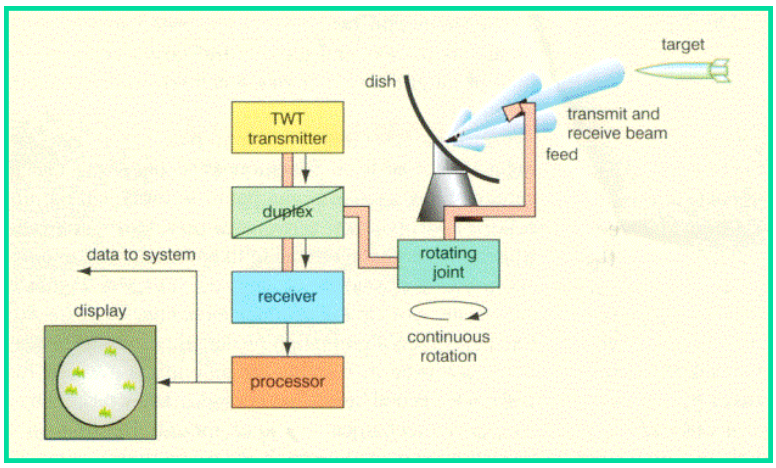
- ห้วงคลื่นที่เดินทางในอากาศ เมื่อกระทบกับวัตถุใดๆที่อยู่ในแนวทาง กำลังงานของคลื่นบางส่วน จะสะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศ

● กำลังงานที่สายอากาศดักรับได้ จะถูกส่งไปประมวลผลใน ภาครับของเรดาร์ หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่ประมวลผลแล้ว ไปแสดงภาพ (Echo) ในจอภาพ (Displays) แบบต่างๆตามประเภท และภารกิจของเรดาร์



5. ส่วนประกอบของเรดาร์

- Modulator/Synchronizer
- เครื่องส่ง(Transmitter)
- เครื่องรับ และ/ส่วนประเมินผล (Receiver and Processor)
- ระบบสายอากาศ(Antenna Systems)
- สวิทซ์ควบคุมการทำงานสายอากาศ(Duplexer)
- จอภาพ(Display)



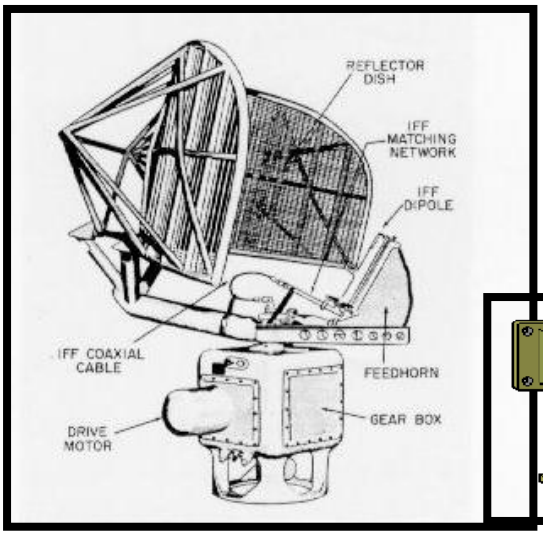
5.1 Modulator/Synchronizer กำหนดช่วงเวลาในการส่ง Pulse และช่วงเวลาในการรับสัญญาณ และการแสดงภาพ รวมทั้งเชื่อมต่อการทำงานของระบบเรดาร์

5.2 เครื่องส่ง (Transmitter) ผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในรูปแบบ Pulse ที่มีกำลังส่งสูง ในย่านความถี่ (1-100 GHz) แพร่คลื่นออกทางสายอากาศ กำลังส่งของเครื่องส่งจะสูงเท่าใดขึ้นอยู่กับชนิดของเรดาร์และระยะในการค้นหาเป้า หากระยะในการค้นหาไกลกำลังส่งจะต้องสูง กำลังส่งของเรดาร์อาจมาจากเครื่องส่งเครื่องเดียว หรือจากเครื่องรับ - ส่ง หลาย ๆ ชุด แต่ละชุดจะใช้ความถี่ต่างกัน โดยเครื่องรับ - ส่ง แต่ละชุดจะส่งสัญญาณไปยังสายอากาศในชุดของมัน บางกรณีเครื่องรับ - ส่ง ทุกชุดอาจต่อทางออก (Output) ร่วมกัน เป็น NETWORK ซึ่งจะมีผลให้กำลังงานที่แพร่ออกทางสายอากาศสูงขึ้นการใช้เครื่องรับ - ส่ง และสายอากาศในลักษณะนี้เรียกว่า "Phased Array Antenna" ซึ่งเป็นสายอากาศเรดาร์ที่ติดประจำที่ ไม่มีการหมุนแต่อย่างใด การกวาดของลำคลื่นเป็นการกวาดทางอิเล็กทรอนิกส์

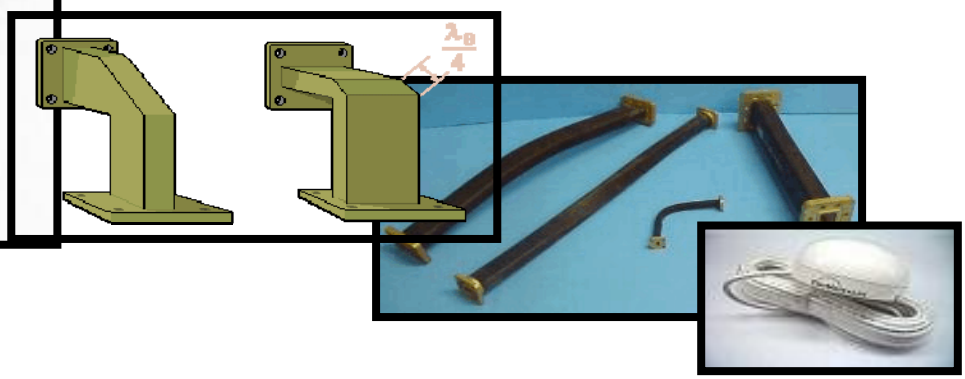
5.3 เครื่องรับ และส่วนประเมินผล(Receiver and Processor) หน้าที่หลักของเครื่องรับเรดาร์คือ แยกสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ออกจากสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามาหลังจากกระทบวัตถุต่าง ๆ ในรัศมีการตรวจการณ์ และขยายสัญญาณที่มี กำลังงานน้อยให้มีกำลังมากพอที่จะประเมินผล พร้อมทั้งให้รายละเอียดของเป้า และข้อมูล เพิ่มเติมที่ต้องการให้ปรากฏเป็น Echo และข้อมูลบนจอเรดาร์ PPI (Plan position Indicator)

5.4 สายอากาศ (Antenna)

<u>ส่วนประกอบสายอากาศ</u>



<u>ท่อนำคลื่น (Wave Guide)</u>



- **ท่อนำคลื่น (Wave Guide)**

  - Pulse ที่ผลิตในเครื่องส่ง หรือ Pulse ที่รับกลับเข้ามา หลังจากกระทบวัตถุบนพื้นโลกแล้วจะผ่านท่อนำสัญญาณ (Wave Guide) ไปสู่สายอากาศเพื่อส่งออกอากาศหรือเครื่องรับเพื่อประเมินผล

  - ขนาดของ Wave guide จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเรดาร์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นนั่นเอง ตามปกติจะเท่ากับ $\lambda/2$

  - เรดาร์ที่ใช้ความถี่สูง ความยาวคลื่นจะต่ำ Wave-guide จะมีขนาดเล็ก เรดาร์ที่ใช้ความถี่ต่ำ ความยาวคลื่นจะมาก Wave-guide จะมีขนาดใหญ่

  - ขนาดของความยาวคลื่นมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับ ขนาดของ Wave Guide ดังนั้น หากเรดาร์ใช้ความถี่สูงมาก ๆ Wave-guide จะมีขนาดเล็กทำให้การผลิตทำได้ยากและราคาสูง

  - ปัจจุบันมีการพัฒนาให้มีการใช้เคเบิล (Cable) ในกรณีที่เรดาร์ใช้ความถี่สูงแต่อย่างไรก็ตาม Wave-guide ยังคงมีใช้อยู่ในกรณีที่ป้องกันการสูญเสียกำลังงานในสาย

- **หน้าที่ของสายอากาศ**

  - ขณะส่ง Duplexer อยู่ในตำแหน่ง TX ในขณะที่Pulse จากเครื่องส่งจะเดินทางผ่านทาง Wave Guide หรือ Cable ไปยัง Feed Horn เพื่อส่งสัญญาณไปที่ Reflectorเพื่อรวมสัญญาณให้เป็นรูป Pencil Shape และส่งออกอากาศ

  - ขณะรับ Duplexer อยู่ในตำแหน่ง RX สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้าจำนวนน้อยๆ จะไปกระทบ Reflector เพื่อรวมสัญญาณ และส่งสัญญาณนั้นเข้าทาง Feed Horn เพื่อส่งสัญญาณผ่านทาง Wave Guide ไปประมวลผล และแสดงภาพ บนจอภาพต่อไป

5.5 Duplexer เป็น Switch ควบคุมจังหวะการเปิด และ ปิด ของสายอากาศ ให้ตรงกับจังหวะที่เครื่องส่ง และ เครื่องรับทำงาน ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักที่ทำให้ เรดาร์สามารถใช้สายอากาศเดียวกันทั้ง รับ และ ส่ง

5.6 ส่วนแสดงภาพ(Display)

- สัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศ และผ่านกระบวนการต่างๆ ในภาครับแล้ว ข้อมูลของเป้าจะถูกส่งมาที่ส่วนแสดงภาพ

- โดยทั่วไป จอภาพจะมีลักษณะจอกลมจุดศูนย์กลางจะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นกวาด (Sweep) เส้นกวาดนี้จะหมุนกวาดรอบจอเรดาร์และสัมพันธ์กับ สายอากาศจอภาพจะเคลือบด้วยสาร Phosphor เพื่อให้เกิดเรืองแสง เมื่อเส้น Sweep หมุนผ่านเป้าต่าง ๆ บนจอภาพ เราเรียกจอภาพชนิดนี้ว่า PPI (Plan Position Indicator)

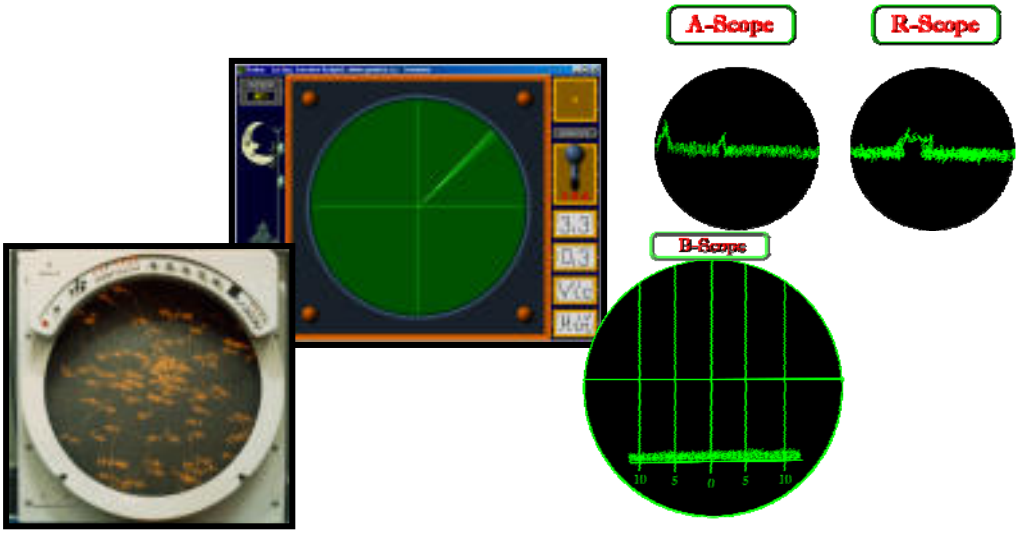
- ข้อมูลทางระยะของเป้า คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของจอภาพไปยังเป้าที่ต้องการวัดระยะทางที่ได้จะขึ้นอยู่กับ มาตราส่วนระยะ(Range Scale) ที่เลือกใช้ในขณะนั้น

- ข้อมูลทางแบริ่ง ได้จากการออกแบบสายอากาศให้บังคับลำคลื่นเรดาร์ ให้เป็นลำคลื่นแคบ ๆ(Pencil - Shaped) ทิศทางของเป้าจะได้จากการประเมินผลเมื่อสายอากาศหมุนผ่านวัตถุนั้น โดยสามารถหาแบริ่งได้ 000 – 359 รอบจากจอเรดาร์ เป็นแบริ่งจริงเมื่อ ต่อวงแบริ่งของเรดาร์เข้ากับ เข็มทิศไยโร และจะเป็นแบริ่งสัมพันธ์เมื่อ วงแบริ่งของเรดาร์ใช้ 000 องศา เป็นทิศอ้างอิงกับหัวเรือ

- ข้อมูลทางระยะ และแบริ่งจะใช้จุดศูนย์กลางของจอภาพเป็นจุดอ้างอิง ซึ่งจุดศูนย์กลางของเรดาร์จะแสดงที่ตั้งของสถานีเรดาร์ปัจจุบันระบบ Digital ได้รับการพัฒนา ทำให้ส่วนแสดงภาพ ของเรดาร์สามารถ สร้างภาพจาก Software Computer ซึ่งเรียกจอภาพแบบนี้ว่า Synthetic Display จอภาพแบบนี้อาจมี ลักษณะเป็นจอสี่เหลี่ยมก็ได้ ข้อมูลที่แสดงบนจอภาพแบบนี้จะแสดงได้ทั้ง ข้อมูลที่เป็นตัวเลข หรือตัวอักษร รวมถึงสามารถสร้างแผนที่ หรือที่เรียกว่าระบบ ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) หรือการประเมินผลอื่นๆอีกมากมาย

- ส่วนแสดงภาพของเรดาร์ได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันเรดาร์บางชนิดใช้จอภาพแบบLCD (Liquid Crystal Display) ซึ่งทำให้เรดาร์มีขนาดเล็ก และประหยัดพลังงาน

<u>จอภาพ (Display)</u>



6. คุณลักษณะเฉพาะของเรดาร์(Radar Parameters)

- ความถี่คลื่นพาห์ (Carrier Frequency)
- อัตราการทวนซ้ำสัญญาณ(Pulse Repetition Frequency – PRF / Pulse Repetition Rate - PRR)

- Pulse Repetition Time - PRT
- Rest Time
- Pulse Width
- Beam Width
- คุณลักษณะเฉพาะของสายอากาศเรดาร์

6.1 ย่านความถี่ของเรดาร์(Carrier Frequency) มีผลต่อการทำงานขอเรดาร์ ดังนี้

- **ขนาดของสายอากาศ**
  - ความถี่ต่ำ ขนาดสายอากาศจะใหญ่ขึ้น
  - ความถี่สูง ขนาดสายอากาศจะเล็กลง
  - ระยะในการตรวจจับเป้า
  - ความถี่ต่ำ ระยะการตรวจจับจะไกลขึ้น
  - ความถี่สูง ระยะการตรวจจับจะลดลง เนื่องจากการ Attenuation

<u>แถบความถี่เรดาร์</u>

แถบความถี่เรดาร์(Radar Frequency Band)

New Band	Old Band	Frequency (Mhz)	Wave Length(cm)
A		0 – 250	
B	VHF	250 – 500	120–60
C	UHF	500 – 1000	60–30
D	L	1000 – 2000	30–15
E	S	2000 – 3000	15–10
F	S	3000 – 4000	10–7.5
G	C	4000 – 6000	7.5–5
H	C	6000 – 8000	5–3.75
I	X	8000 – 10000	3.75–3
J	X	10000 – 20000	3–1.5
K	KU	20000 – 40000	1.5–.75(7.5mm)
L	KA	40000 – 60000	.75–.5
M		60000 – 100000	.5–.3

- **การใช้งานทางยุทธวิธี**

- **Frequency Agility** เรดาร์ที่มีระบบเปลี่ยนความถี่ เมื่อถูกก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือ การแก้ปัญหาอัตราผิดทางระยะ(Unambiguous Range) เมื่อเรดาร์ใช้ PRF สูง ทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมาถูกหักล้างโดย Pulse ที่ส่งออกไปใหม่ (ไม่สามารถรับได้ Pulse ต่อ Pulse หรือรับได้บางไม่ได้บ้าง) และ Blind Speed (เรดาร์ แบบ MTI เมื่อความเร็วของเป้า เท่ากับความถี่ Doppler ที่เปลี่ยนไป และ PRF จะดูเหมือนเป้าไม่เคลื่อนที่ ต้องออกแบบ PRF ให้สูงจนไม่มีอากาศยานใดจะทำความเร็วได้

- PRF Staggerการเปลี่ยนค่าPRF ที่แน่นอน ใช้แก้ปัญหาBlind Speed
- PRF Jitter การเปลี่ยนค่า PRF แบบสุ่ม เป็นมาตรการ ECCM และแก้ปัญหา Blind Speed รวมทั้ง อัตราผิดของเรดาร์ด้วย

- **Frequency Diversity คือการกำหนดให้เรือแต่ละลำในกองกำลัง** ใช้ความถี่ต่างๆกันโดยพยายาม ให้กระจายตลอดแถบความถี่เรดาร์(RF Spectrum) เพื่อให้ข้าศึก มีความยากลำบากในการใช้มาตรการ ECM เนื่องจาก ต้องใช้อุปกรณ์ และเวลาในการดำเนินการมาก และประสิทธิภาพในการ รบกวนก็จะไม่ดี (Swept Jamming) นอกจากนั้นยังมี ผลดีต่อฝ่ายเราคือ

- กำหนดภารกิจของเรือให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในเรือ
- กำหนดสถานีให้เหมาะสมกับอุปกรณ์
- มีประสิทธิในการป้องกัน หน่วยหลัก (Main Body)

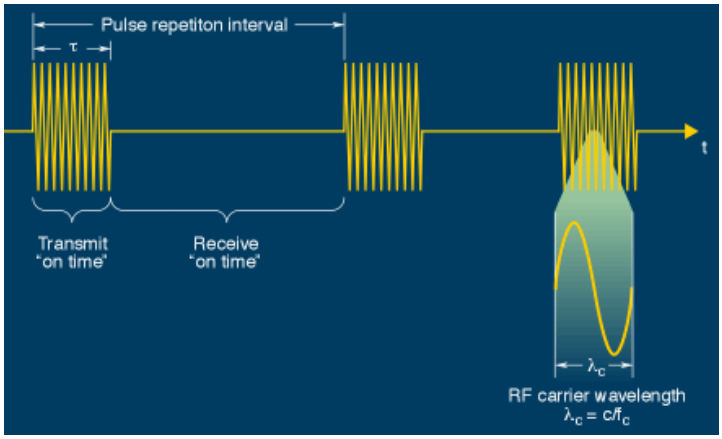
<u>ความถี่ของเรดาร์ประเภทต่างๆ</u>

Frequency		
Long Range	250 - 3000 Mhz	Low Frequency
Medium Range	3000 - 5500 Mhz	Medium Frequency
Short Range	Over 5000 Mhz	High Frequency

6.2 อัตราการทวนซ้ำสัญญาณ (Pulse Repetition Frequency/Pulse Repetition Rate) จำนวน Pulse ของเรดาร์ที่ส่งออกอากาศใน 1 วินาที (How Often the Transmitter is turn on each second)

- ในขณะใดขณะหนึ่งเรดาร์มิได้ส่ง Pulse เพียง Pulse เดียวเพื่อค้นหาเป้าแต่เรดาร์จะส่งPulse จำนวนมากมายภายใน 1 วินาที เพื่อเป็นการยืนยันการตรวจจับเป้าในครั้งแรก ๆ อัตราการส่งซ้ำนี้เรียกว่า Pulse Repetition Frequency (PRF) หรือ Pulse Repetition Rate (PRR)

- เป้าที่อยู่ใกล้เรดาร์สัญญาณเรดาร์จะใช้เวลาสั้นในการสะท้อนกลับมา หลังจากที่ Pulse ถูกส่งไปแล้วส่วนเป้าที่อยู่ไกล ๆ สัญญาณเรดาร์จะใช้เวลาในการเดินทางกลับมานานขึ้นตามลำดับ
- เป้าที่อยู่ในระยะไกลจะมีขนาดของ Echo เล็กกว่าเป้าที่อยู่ใกล้เนื่องจากเมื่อสัญญาณเรดาร์เดินทางไป ไกล ๆ กำลังงานของสัญญาณก็จะลดลงรวมทั้งถูกดูดกลืน โดยให้กำลังงานที่สะท้อนกลับเข้ามาเหลือน้อย ทำให้ Echo มีขนาดเล็กตามไปด้วย
- ระยะห่างของเวลาในการส่งสัญญาณเรดาร์แต่ละครั้งจะต้องสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเปิด – ปิด Duplexer SW โดยพิจารณาจากระยะเวลาของ Pulse ที่ถูกส่งออกไปรวมกับ ระยะเวลาของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับเข้ามาที่ระยะไกลสุดของเรดาร์นั้น
- เรดาร์ที่มีระยะตรวจการณ์ไกลจะมี PRF ต่ำ เพื่อให้สัญญาณเรดาร์มีเวลาเดินทางไปและกลับมาเข้าเครื่องรับสัมพันธ์ กับการทำงานของ Duplexer SW เรดาร์ที่มีระยะตรวจการณ์ไกลอาจจำเป็นต้องใช้ PRF สูงก็ได้ เพื่อใช้ในการตรวจจับเป้าที่มีความเร็วสูง แต่ Duplexer ต้องออกแบบเพื่อป้องกันการหักล้างสัญญาณเรดาร์ที่ส่งออกไป และสะท้อนกลับเข้ามา (Duplexer Effect)

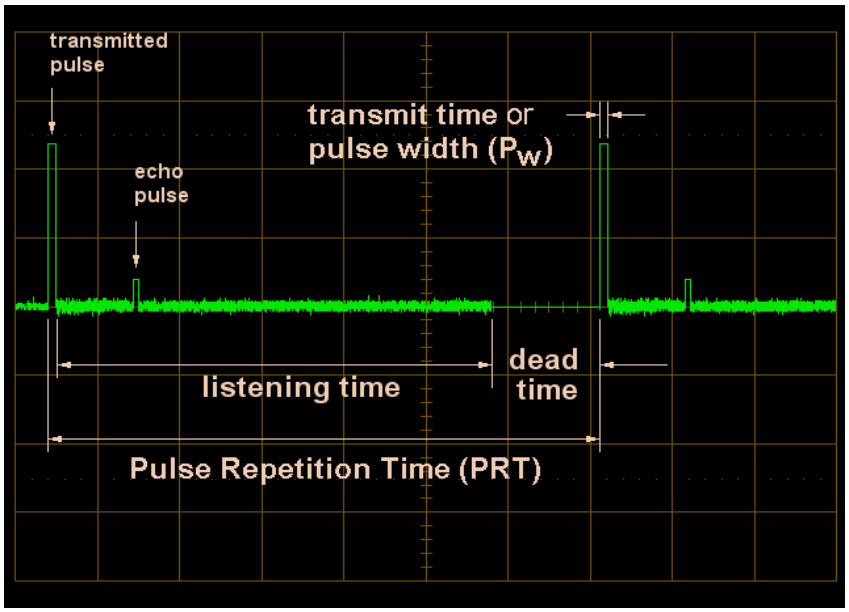


- อัตราการทวนซ้ำสูงขึ้น (Higher PRF)
  - ความน่าเชื่อถือในการค้นหาเป้าสูงขึ้น เนื่องจากจำนวนครั้งของการสะท้อนกลับของสัญญาณมากขึ้น
  - ระยะทางในการค้นหาเป้าลดลง อัตราผิดทางระยะสูงขึ้น
- Multi-PRF
  - สนับสนุน มาตรการ ECCM
  - แก้ปัญหาอัตราผิดทางระยะ
  - แก้ปัญหา Blind Speed

อัตราการทวนซ้ำของสัญญาณเรดาร์(PRF/PRR)

Pulse Repetition Frequency		
Long Range	Under 350 PPS	Extremely Slow
Medium Range	350 - 1000 PPS	Very Slow
Short Range	Over 1000 PPS	Slow

องค์ประกอบของสัญญาณเรดาร์



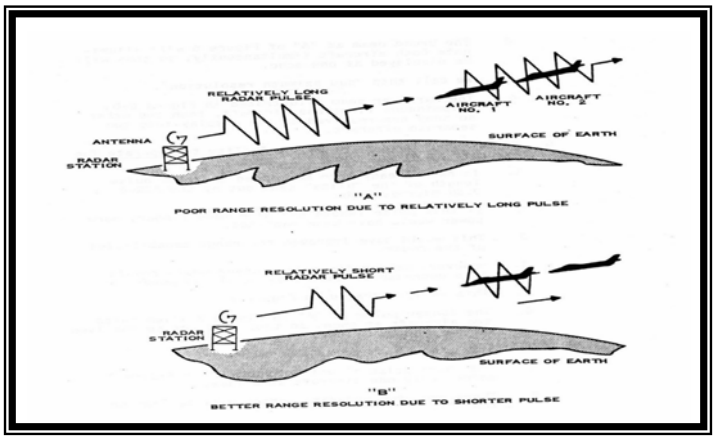
6.3 Pulse Repetition Time (PRT) ช่วงเวลา ระหว่างจุดเริ่มต้นของ Pulse หนึ่ง จนถึงจุดเริ่มต้นPulse ต่อไป หรือ เท่ากับ PRT = 1/PRF (μsec) หรือ PRT = PW + Rest Time

6.4 Rest Time (RT) คือช่วงเวลา ระหว่าง Pulse ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ เครื่องรับของเรดาร์ รับสัญญาณที่สะท้อนมาจากเป้า (Echo)

6.5 Pulse Width/Pulse Length

- ช่วงเวลาที่เครื่องส่งเรดาร์ แพร่คลื่นออกอากาศ มีหน่วยเป็น Microseconds
- การออกแบบให้ช่วงเวลาการส่ง Pulse ของเรดาร์นาน กำลังงานการแพร่คลื่นเรดาร์ ก็จะสูงขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ขยายระยะทางในการค้นหาเป้า

- การออกแบบให้ช่วงเวลาการส่งนานเกินกว่าความจำเป็น ก็จะมีผลเสียในการแยกเป้าทางระยะ คือ เมื่ออากาศยานหลายลำอยู่ในระยะใกล้กัน เป้าเหล่านั้นก็จะปรากฏเป็น Echo เดียวกัน นั่นคือทำให้ประสิทธิ์ภาพในการแยกเป้าทางระยะลดลง รวมทั้งทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับเป้าระยะใกล้สุดเสียไปด้วย เนื่องจาก ถ้ามีเป้าในระยะใกล้กับเรดาร์มากๆ สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้า จะมาเข้าสายอากาศเรดาร์ในขณะที่เครื่องส่งกำลังทำงานอยู่ (เนื่องจากเรดาร์มีช่วงเวลาส่งนาน) จะมีผลทำให้ไม่มี Echo ปรากฏบนจอ PPI

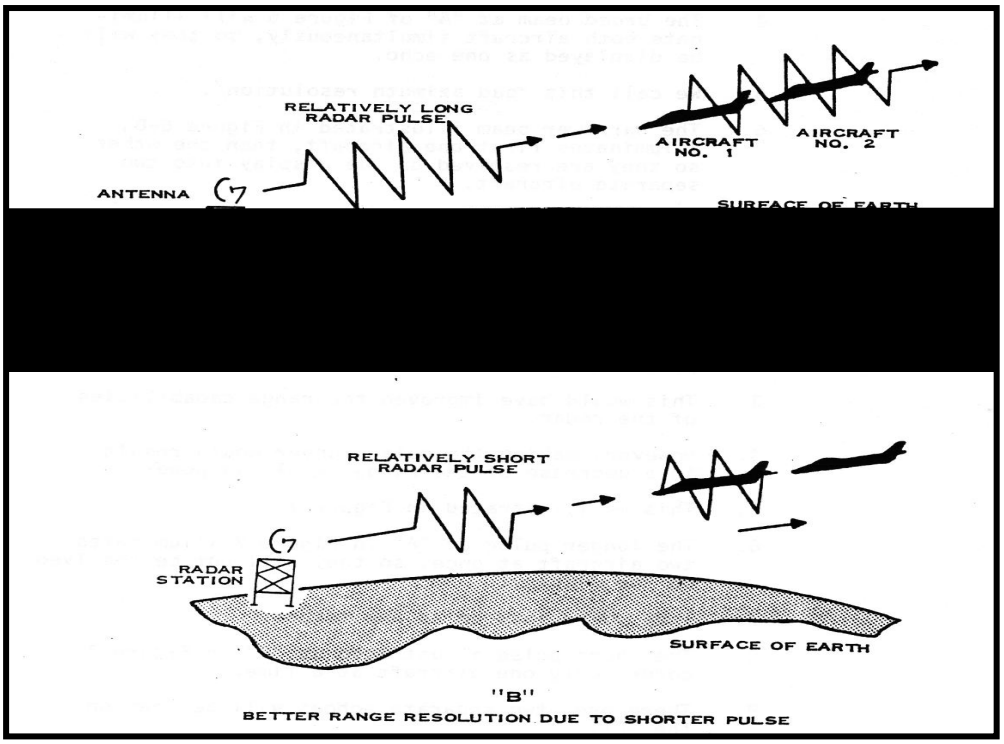


- Pulse Length หรือ Pulse Width มีผลต่อการแยกเป้าทางระยะ และ ขีดความสามารถในตรวจจับเป้าระยะใกล้สุด
  - Short Pulse
    - ระยะการตรวจการณ์ลดลง (พลังงานในการแพร่คลื่นต่ำ)
    - การแยกเป้าทางระยะ ดีขึ้น
    - ระยะใกล้สุดในการตรวจจับ น้อย
  - Long Pulse
    - ระยะการตรวจการณ์ มากขึ้น(พลังงานในการแพร่คลื่นสูง)
    - การแยกเป้าทางระยะ ไม่ดี
    - ระยะใกล้สุดในการตรวจจับ มาก

Pulse Width/Pulse Length

Pulse Width/Pulse Lenth		
Long Range	Over 4μsec	Long Pulse Width
Medium Range	1 - 4μsec	Meduim Pulse Width
Short Range	0 - 1μsec	Short Pulse Width

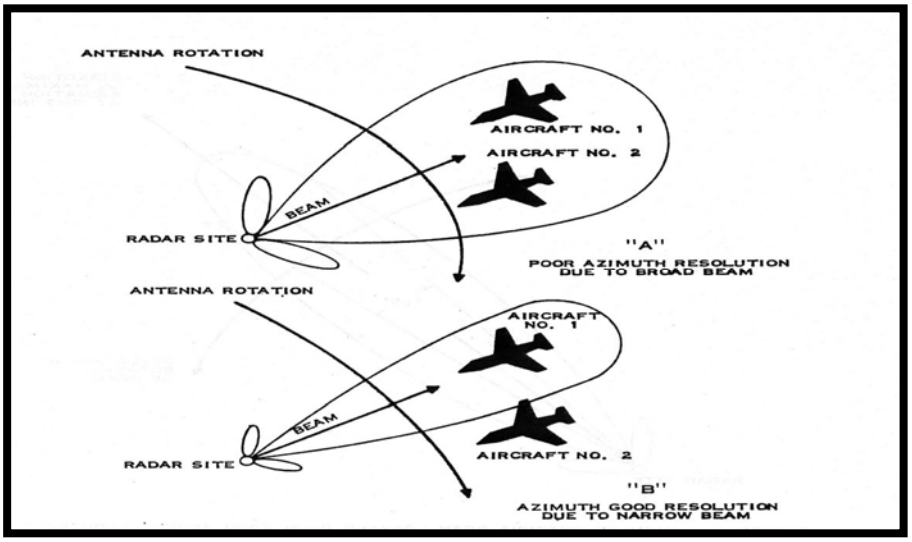
Pulse width กับการแยกเป้าทางระยะ



6.6 Beam Width

- เป็นผลมาจากการออกแบบสายอากาศ มีทั้งHorizontal Beam Width และ Vertical Beam Width เพื่อให้เหมาะสมกับ วัตถุประสงค์ในการใช้งาน
- เป็นองค์ประกอบหลักในการกำหนดความกว้างของลำคลื่นเรดาร์ ซึ่งมีผลต่อค่าความถูกต้อง ในการแยกเป้าทางแบริ่งของเรดาร์
- Beam Width แคบ แยกเป้าทางแบริ่งได้ดี
- Beam Width กว้าง ง่ายต่อการใช้ มาตรการต่อต้าน อิเล็กทรอนิกส์ (ECM) ของข้าศึก
- กำหนดกำลังงานของลำคลื่นเรดาร์
  - Beam Width แคบทำให้ Antenna Gain และกำลังส่งสูง
  - Beam Width แคบ ความถี่ต้องสูงทำให้ ระยะการตรวจจับลดลง เนื่องจาก Attenuation
- ขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้า จะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางของสายอากาศสัมพันธ์กับตำบลที่ของเป้า ตำแหน่งของตำบลที่เป้าตั้งฉากกับแกนกลางของลำคลื่นเรดาร์(Axis) เป็นจุดที่ สัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามามีกำลังสูงสุด

<u>การแยกเป้าทางแบริ่ง</u>



6.7 สายอากาศเรดาร์ (Antenna)

- Antenna Scan Rate (Antenna Rotation Rate)
- แบบของการกวาด(Scan Type)
  - แบบหมุนรอบตัว (Circular)
  - แบบเป็นภาค (Sector)
  - Lope Switching (Sequential Lobbing)
  - Conical
  - Spiral
  - Phase Array

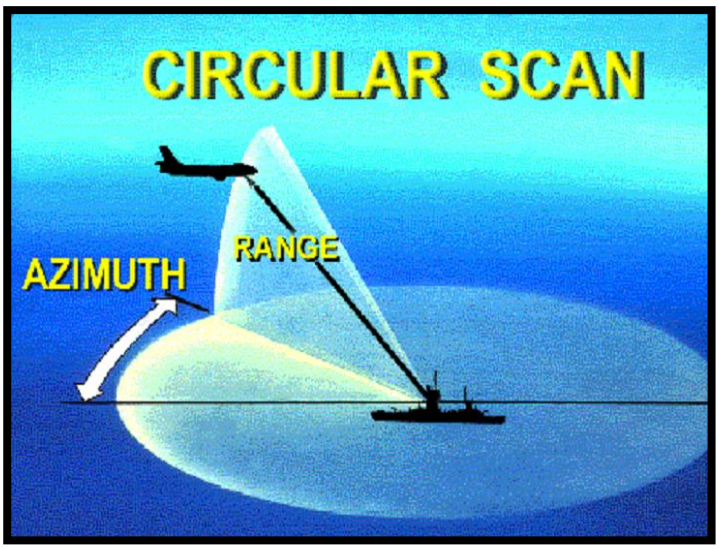
6.7.1 อัตราการหมุนของสายอากาศ (Antenna Scan Rate) เรดาร์ทั่วไป สายอากาศจะหมุน 360° รอบตัว หรือหมุนเป็น Sector ทางแนวตั้ง หรือ แนวนอน Vertical / Horizontal) อัตราหมุนของสายอากาศจะต้องสัมพันธ์กับ **PRF** และ **Beam Width** เพื่อให้จำนวนรอบการหมุนของสายอากาศ กับ จำนวนครั้งที่สัญญาณเรดาร์ไปกระทบเป้าเหมาะสมกับประเภทของเรดาร์นั้น

Antenna Scan Rate

Antenna Scan Rate		
Long Range	20 & Above SPR	Extremely Slow
Medium to Long	10 - 20 SPR	Very Slow
Medium Range	4 - 10 SPR	Slow
Short Range	1 - 4 SPR	Fast

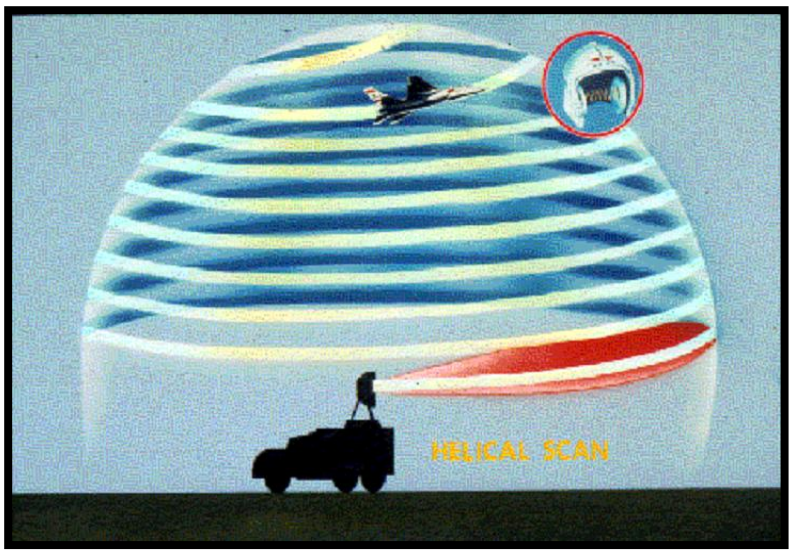
6.7.2 แบบการหมุนสายอากาศ

Circular Scan



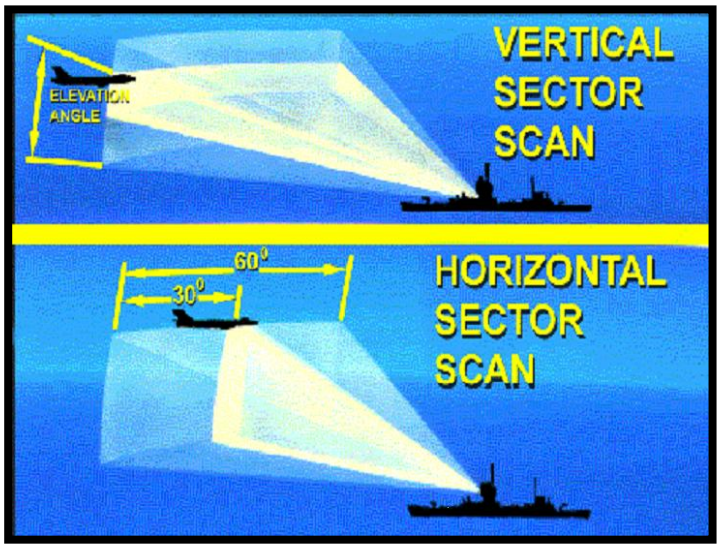
- กวาดรอบทิศ (Circular) เพื่อค้นหาและวัดแบริ่งระยะรอบตัวใช้กับ เรดาร์ตรวจการณ์ทางอากาศ และเรดาร์ตรวจการณ์พื้นน้ำ

Helical Scan



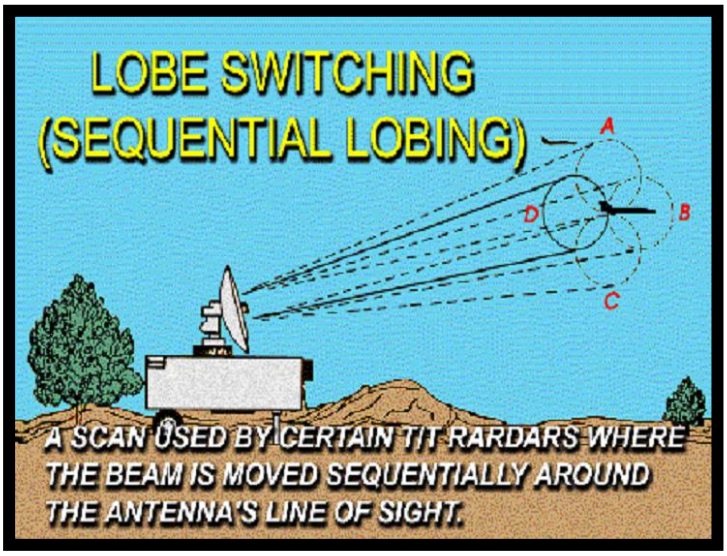
- การค้นหาเป้าในแนวระดับ(Vertical Axis) โดยหมุนทั้ง Reflector และ Feed Horn อย่างต่อเนื่อง และเพิ่มระดับความสูงอย่างช้า ๆ ลักษณะคล้ายก้นหอย ใช้ในการค้นหาและติดตามเป้าอากาศยาน เมื่อค้นหาเป้าที่ต้องการได้ จะเปลี่ยนการค้นหาในแนวระดับ เป็นการติดตามเป้าแบบ Conical Scan

Vertical /Horizontal Sector Scan



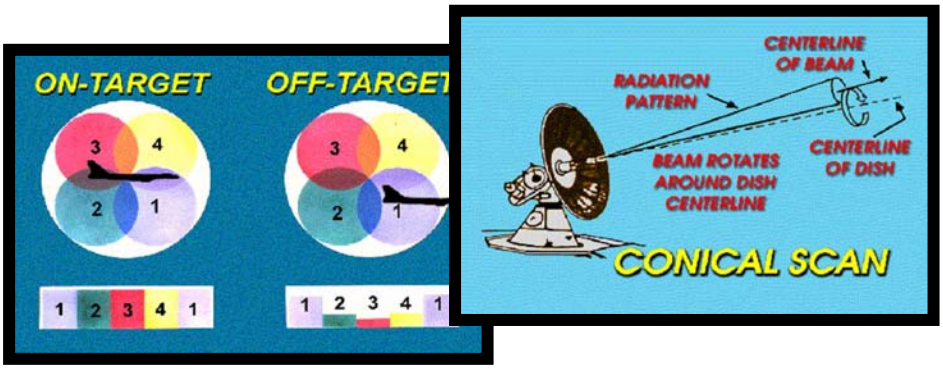
- กวาดในแนวดิ่ง (Vertical Sector) สำหรับค้นหาวัดมุมกระดก และระยะเป้าในพื้นที่จำกัด
- กวาดเซ็กเตอร์ในแนวนอน (Horizontal Sector) สำหรับค้นหา วัดแบริ่ง และระยะเป้าในพื้นที่จำกัด

Lobe Switching (Sequential Lobing)



- Lobe Switching จะเปลี่ยนBeam จากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยไม่มีการแพร่คลื่น โดยระหว่างที่เปลี่ยนตำแหน่งของ Lobe จะให้เหลื่อมกันเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างในการหาข้อมูลเป้า ส่วนการนำสายอากาศเข้าหาเป้าคงเหมือนกับ Conical Scan คือหมุนสายอากาศในลักษณะที่จะได้ Echo จากเป้าที่แรงเท่ากันทุกครั้ง

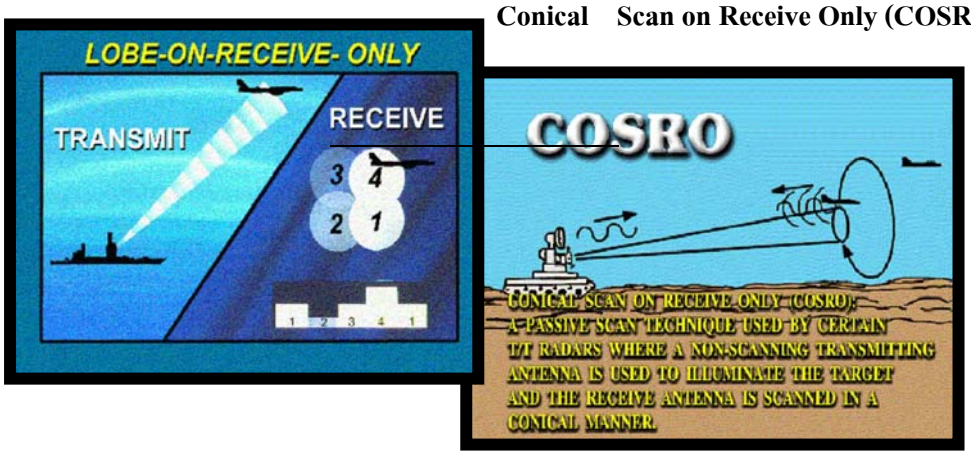
Conical Scan



- การกวาดแบบนี้เรดาร์จะชี้สายอากาศไปที่เป้า แล้วหมุน Beam เป็นวงกลมรอบๆเป้ารัศมีประมาณ 3 องศา ถ้าสายอากาศชี้ตรงเป้าพอดี เป้านั้นจะอยู่กึ่งกลางวงกลมที่ Beam หมุนไป และเมื่อเรดาร์ส่งข้อมูลไปให้คอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะรู้ว่าสายอากาศชี้ตรงเป้าแล้ว และจะพยายามรักษาตำแหน่งนี้เอาไว้ และจะถือว่าเรดาร์ได้ “Lock On” เป้าได้แล้ว แต่ถ้าเป้าเคลื่อนที่ออกจากกึ่งกลางวงกลมที่ Beam หมุนอยู่ ระหว่างที่ Beam ชี้ตรงเป้า Echo ก็จะเข้ม แต่ในขณะที่ Beam ชี้ไม่ตรงเป้า Echo ก็จะมีความเข้มที่แตกต่างกันไปตาม ความใกล้หรือไกลจากศูนย์กลางของ Beam จากเป้า

Lobe on Receive Only (LORO)

Conical Scan on Receive Only (COSRO)

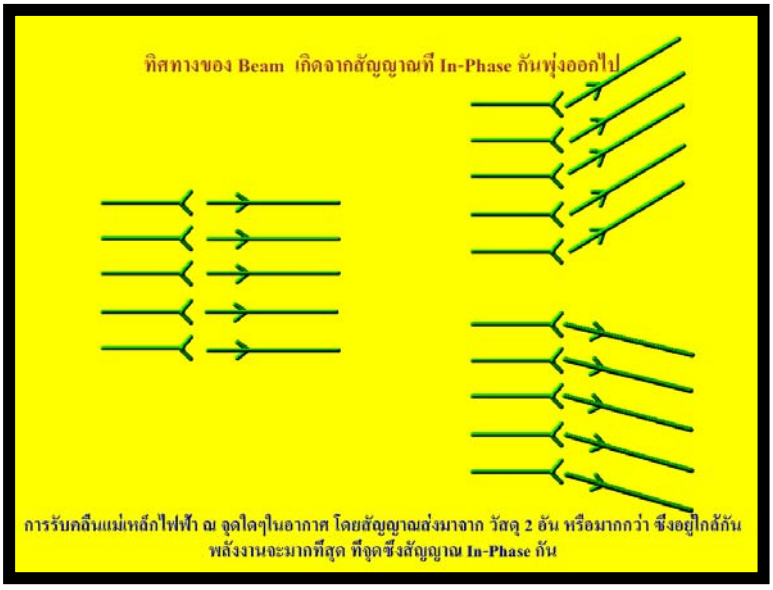


- การทำงานแบบLobe Switching และConical scan อาจถูกการใช้มาตรการก่อกวนได้ ถ้าข้าศึกรู้ลักษณะการหมุนของBeam และช่วงเวลาในการหมุนใน 1 รอบ วิธีการก่อกวนคือเมื่อข้าศึกได้รับ Pulse จากเรดาร์แล้ว ฝ่ายข้าศึกจะบันทึกFinger Printไว้ แล้วรอเวลาชั่วขณะหนึ่งแล้วส่งสัญญาณที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณเรดาร์ของเรามากที่สุด กลับไปอีก เนื่องจากสัญญาณที่ส่งออกไปใหม่มีความเข้มมากกว่าสัญญาณที่สะท้อนกลับจากการกระทบเป้า ทำให้เครื่องรับของเรดาร์เราได้รับข้อมูลไม่ถูกต้อง เนื่องจากเป้าจริงได้เคลื่อนที่ไปแล้ว จึงมีการพัฒนาโดยการใช้**Lobe Switching** และ **Conical Scan เฉพาะภาครับ** หรือ เรียกว่า Lobe on Receive Only **(LORO)** และ Conical Scan on Receive Only **(COSRO)** โดยภาคส่งใช้สายอากาศแยกอีกชุดหนึ่ง (BI-Static Radar) และจี้ตามเป้าตามข้อมูลที่ได้รับจาก สายอากาศภาครับซึ่งหมุนแบบ Lobe Switching และ Conical Scan

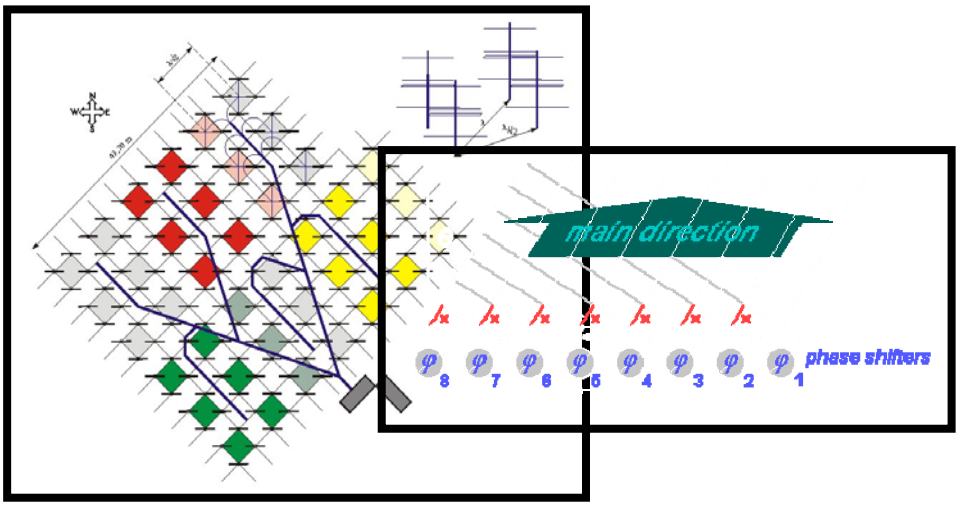
6.7.3 Phase Array Antenna สายอากาศแบบ Phased Array Antenna คือระบบสายอากาศเรดาร์ที่มีสายอากาศ Dipole ขนาดเล็กจำนวนหลายพัน Elements ติดตั้งบนแผงสายอากาศเดียวกัน สายอากาศแบบ Phase Array Antenna ไม่มี Reflector แต่จะใช้ สายอากาศ Dipole ขนาดเล็กเหล่านั้นแพร่คลื่น และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามา Phase Array Antenna จะมีประสิทธิภาพในการบังคับทิศ และประสิทธิภาพในการแพร่คลื่นในเวลาเดียวกัน โดยที่ตัวสายอากาศจะไม่มีอัตราผิดทาง แมคคานิกส์และแรงต้านจากลมหรือสภาพอากาศ Radar Bore sight ของ Beam หลักของ Phase Array Antenna จะเกิดขึ้นเมื่อBeam ของสัญญาณของทุก Elements ของ สายอากาศ In-Phase กันและพุ่งออกอากาศในการกำหนดทิศทางของ Radar Bore sight จะต้องกำหนดให้ ส่วนประกอบของสายอากาศมี Phase แตกต่างกันตามทิศทางลำคลื่นที่ต้องการการค้นหาเป้าใน Sector ที่ต้องการจะเกิดขึ้น เมื่อมีการควบคุมให้ จำนวนและ ตำบลที่ของ Elements ในส่วนที่ต้องการให้ Radar ค้นหาเป้า นอกจากนั้นยังสามารถควบคุมให้เรดาร์ ทำงานพร้อมกันหลาย

หน้าที่ได้ด้วย เช่น ให้ Track เป้า และค้นหาเป้าในทิศทางต่างๆ กัน โดยอาศัยหลักการข้างต้น (Multi Function Phase Array Radar)

<u>การกำหนดทิศทางของ Radar Bore sight</u>



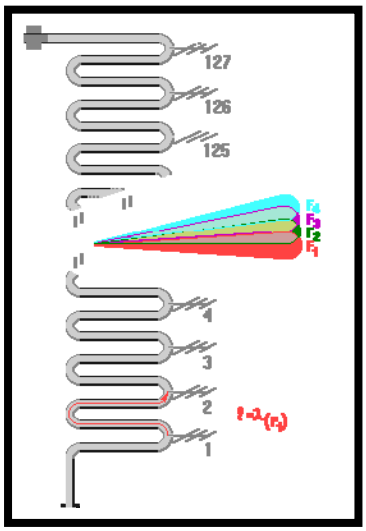
<u>Multi Mode Phase Array Antenna</u>



- **หลักการเปลี่ยน Phase**
  - Phase Time Delay Scanning มีความสลับซับซ้อน น้ำหนักมากและมีค่าใช้จ่ายสูงใช้วงจร Variable Time Delay นำมาใส่ ด้านหน้าของ Element (Dipole) สายอากาศทุก Element เพื่อหน่วงเวลาการส่งคลื่นที่ส่งออกไป

o Frequency scanning เป็นหลักการที่ง่ายที่สุดมีค่าใช้จ่ายน้อย นำ feed Element วางเรียงตามWave Guide ที่คดเคี้ยว ซึ่งมีการกำหนดความถี่กลางไว้ ความถี่อาจสูงกว่าหรือ ต่ำกว่าความถี่กลางที่กำหนดคลื่นที่ส่งออกไปจะเปลี่ยน Phase ทำให้เกิด Beam ที่ทำมุมต่างๆ กับ Bore Sight ของเรดาร์เหมาะสำหรับเรดาร์ 3 มิติ โดยการกวาดทางแบริ่งจะใช้ทางแมคคานิกส์ ส่วนในทางระดับ ใช้ Frequency Scanning

Frequency Scanning

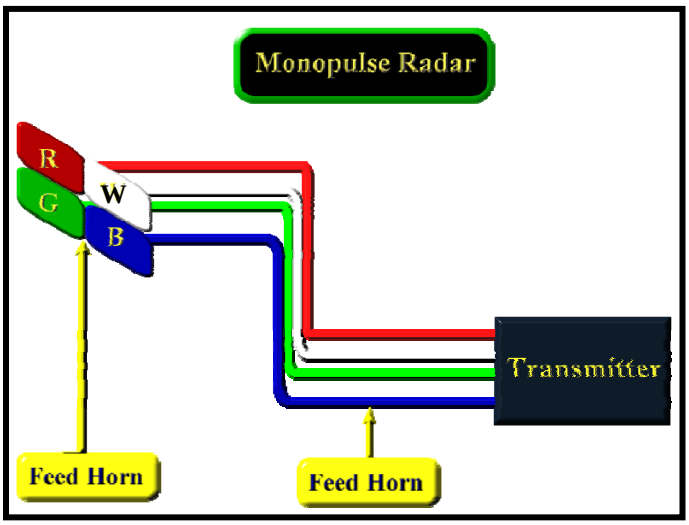


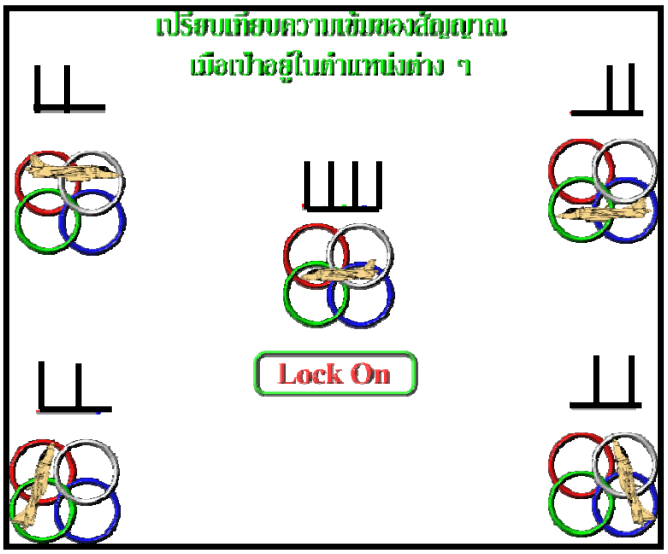
o **Phase Scanning**

- สัญญาณจาก เครื่องส่งเรดาร์ จะผ่านวงจร Phase Shift ก่อนที่จะเดินทางไปถึง Element ของสายอากาศ การเปลี่ยน Phase ในแต่ละ Element ทำได้โดยการเปลี่ยน Phase ของพลังงานที่ส่งเข้าไปใน แต่ละ Element แต่มีราคาสูงเนื่องจากจะต้องมีวงจร Phase Shift ในทุกๆ Element แต่สามารถที่จะทำงานได้หลายหน้าที่พร้อมกัน เช่น Track เป้า ค้นหาเป้าใน Sector และทิศทางต่างๆ กัน หรือเรียกว่า Multi-Function Phase Array Antenna

6.7.4 Monopulse Radar คือ การค้นหาเป้า โดยการกวาดที่ให้ข้อมูลทาง ระยะ แบริ่ง และ ความสูง(มุมกระดก)ของเป้าจาก Pulse เพียง Pulse เดียว ในเรดาร์แบบ Monopulse นั้น Pulse ที่ส่งออกไปจะถูกแบ่งเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน และทุกส่วนจะ In phase กัน ในแต่ละSector จะใช้ Feed Horn แยกกัน Wave Guide จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนโดยป้อนสัญญาณเพื่อส่งออก และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามาแยกกัน เรดาร์จะเปรียบเทียบความเข้มของสัญญาณ ในแต่ละ Feed Horn กับแกนของสายอากาศ ที่สัมพันธ์กับตำบลที่เป้าและปรับทิศทางให้อยู่ในตำแหน่ง Lock On เรดาร์แบบ Monopulse ข้อมูลเป้าจะได้จากการส่ง Pulse ออกไป Pulse ต่อ Pulse ซึ่งแตกต่างจากข้อมูล ที่ได้จากเรดาร์ที่ใช้ การScan ในการค้นหาเป้าจะได้เป้าเมื่อ สายอากาศหมุนผ่านเป้าแล้วเท่านั้น

MonoPulse Radar





ค่าทางระยะ	**R+W+G+B**
ค่าทางแบริ่ง	**(R+G) – (W+B) = 0 (ไม่มีอัตราผิด)**
ค่าทางความสูง	**(R+W) – (G+B) = 0 (ไม่มีอัตราผิด)**

7. การวัดระยะทาง ของเรดาร์ Pulse ของเรดาร์ เดินทางในอากาศ ด้วยความเร็วคงที่ เท่ากับความเร็วแสง162,000 Nm/Sec หรือ 328 y/µsec ระยะทางของเรดาร์ ได้จากการประมวลผล เวลาที่ Pulse เดินทางไปกระทบเป้า และสะท้อนกลับมาที่เรดาร์**Radar Timing System จะต้องปรับค่าเป็นศูนย์ทุกครั้งที่ เรดาร์เริ่มส่ง Pulse** เพื่อให้ผลในการประเมินค่าของระยะทางมีค่าที่ถูกต้อง

8. การหาระยะไกลสุดของเรดาร์

- ระยะไกลสุดที่เรดาร์สามารถตรวจจับได้ขึ้นอยู่กับ PRF
- PRF ของเรดาร์ต้องยอมให้ สัญญาณเรดาร์ที่แพร่คลื่นออกไปเดินทางไปจนถึงระยะไกลสุด และสัญญาณที่สะท้อนกลับเดินทางมาถึงเครื่องรับเรดาร์สัมพันธ์กับการทำงานของ Duplexer ซึ่งจะต้องอยู่ในตำแหน่ง RX
- ถ้า PRF เพิ่มขึ้น PRT จะต้องลดลง ทำให้ระยะการตรวจจับ ของเรดาร์ลดลงด้วย ดังนั้นจึงมี สูตรที่ใช้ในการหาระยะไกลสุดของเรดาร์ 2 สูตร

$$\text{ระยะไกลสุดของเรดาร์} = \frac{\text{PRT (µsec)}}{12.2}$$

หรือ

$$\text{ระยะไกลสุดของเรดาร์} = \frac{82000}{\text{PRF}}$$

ตัวอย่างการหาระยะไกลสุดของเรดาร์

****เรดาร์ มี PRF 500 PPS และ PRT 2000 µs หาระยะไกลสุด****

สูตรแรก ระยะไกลสุดของเรดาร์ = $\frac{\text{PRT (µsec)}}{12.2} = \frac{2000 \text{ (µsec)}}{12.2}$

= **164 Nm**

สูตรสอง ระยะไกลสุดของเรดาร์ = $\frac{82000}{\text{PRF}} = \frac{82000}{500}$

= **164 Nm**

หมายเหตุ

***12.2 µs** มาจาก คลื่นวิทยุใช้เวลาเดินทางได้ 1 nm (Round Trip) หรือ 328 หลา/µsec X 6.1ต่อเที่ยว

****82000 nm/sec** มาจาก แสงเดินทางได้ 162,000 nm/sec โดยที่ 82,000 nm คือระยะทางจริงที่สัญญาณเรดาร์ เดินทางเที่ยวเดียว ใน 1 วินาที

การคำนวณระยะทาง เรดาร์จะคิดจากระยะทางเที่ยวเดียว หรือ 162000/2 = 82000 หลา

การคำนวณเวลา เรดาร์จะคิดเวลาที่สัญญาณเรดาร์เดินทาง ไป- กลับ (Round Trip)

9. ระยะใกล้สุด ที่สามารถตรวจจับเป้าได้

- ถ้าหากเป้าอยู่ ใกล้กับเรดาร์มากเกินไปจนทำให้ สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้าเดินทางมาถึงเรดาร์ ก่อนที่เครื่องส่งจะหยุดทำงาน สัญญาณที่สะท้อนกลับมานั้น จะไม่สามารถปรากฏบนจอภาพได้
- Pulse Width จะต้องออกแบบให้มีความเหมาะสม ดังนี้
- ช่วงเวลาการส่งจะต้องนานพอ ที่จะทำให้ Pulse มีพลังงานมากพอที่จะเดินทางไปถึง และมีพลังงานเหลือพอที่จะสะท้อนกลับจาก เป้าที่ ระยะไกลสุดที่เรดาร์สามารถตรวจจับได้
- ช่วงเวลาการส่งจะต้องสั้นพอ ที่จะสามารถรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้าที่อยู่ใกล้กับเรดาร์ ได้อย่างเหมาะสม

การคำนวณหาระยะใกล้ที่สุดของเรดาร์

- ระยะใกล้สุด ที่เรดาร์สามารถตรวจจับ ได้ขึ้นอยู่กับ Pulse width หาได้โดยใช้ สูตร

ระยะใกล้สุด = PW (μs) X 164

*** ถ้าเรดารม PW 5 μs ระยะ เกลสุดของเรดาร์ คือ

PW x 164 = 5 x 164 = 820 หลา

เป้าที่อยู่ระยะใกล้กว่า 820 หลาจะตรวจจับไม่ได้

หมายเหตุ คลื่นวิทยุเดินทางได้ 164 หลา/μsec (328 หลา ไป- กลับ)

10. การวัดแบริ่ง ของเรดาร์

- สายอากาศเรดาร์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบบังคับทิศ ทำให้กำลังสูงสุดถูกส่งออกไปในทิศทางนั้น นอกจากนั้นยังมีหน้าที่รับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุต่างๆในทิศทางที่วัตถุนั้นอยู่
- กำลังสะท้อนสูงสุด จะเกิดขึ้นเมื่อสายอากาศชี้ตรงวัตถุที่จะทำการวัดแบริ่ง (บีมสายอากาศเรดาร์ ตั้งฉากกับวัตถุที่ทำการวัด)
- การวัดแบริ่งเป้า ได้จากการหมุนสายอากาศรอบตัว หรือเป็นSector เพื่อให้สายอากาศเรดาร์แพร่คลื่นออกไปในมุมต่างๆ และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาที่เรดาร์

หมายเหตุ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสะท้อนกลับมายังต้นกำเนิดเสมอ

11. ผลกระทบภายนอก ที่มีผลต่อการทำงานของเรดาร์

- สัญญาณที่สะท้อนจากผิวน้ำ (Sea Return)
- Line of sight
- การวางตัว และขนาดของเป้า
- ระยะทางจากเป้า
- สภาพชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Condition)
- Refraction
- Diffraction
- Attenuation
- Trapping
- ลักษณะอุตุนิยม (Weather)

11.1 Sea Return (Sea Clutter) คลื่นเรดาร์บางส่วนที่แพร่คลื่นออกอากาศ จะไปกระทบพื้นน้ำรอบๆเรือ ดังนั้นจะมีกำลังงานบางส่วน สะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศเรดาร์ และทำให้เกิดเป้าคล้ายกับเป้าจริง รอบจุดศูนย์กลางของจอภาพ ทำให้เกิดการสับสนระหว่างเป้าจริง และเป้าที่เกิดจาก SEA Return

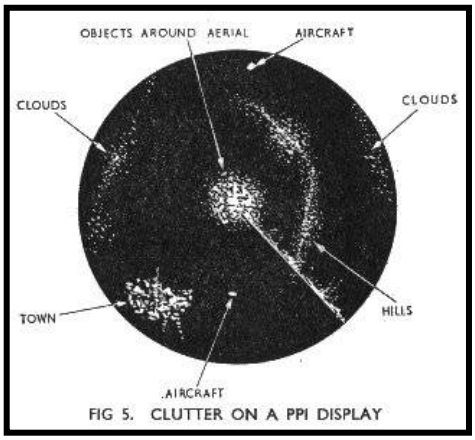
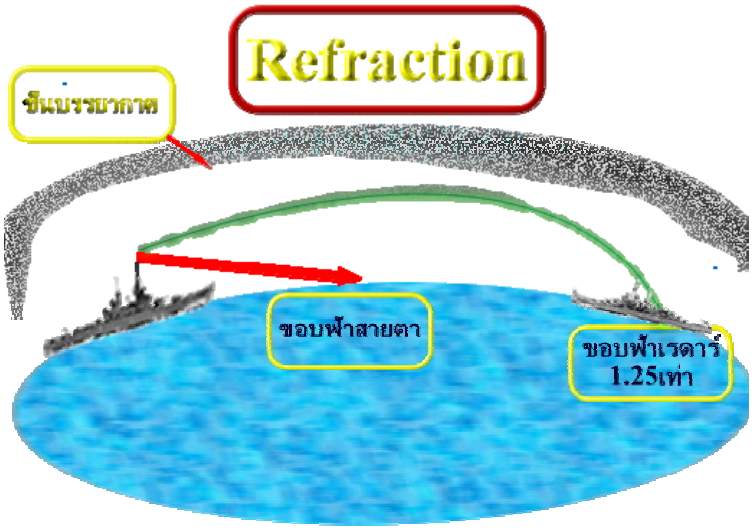


FIG 5. CLUTTER ON A PPI DISPLAY

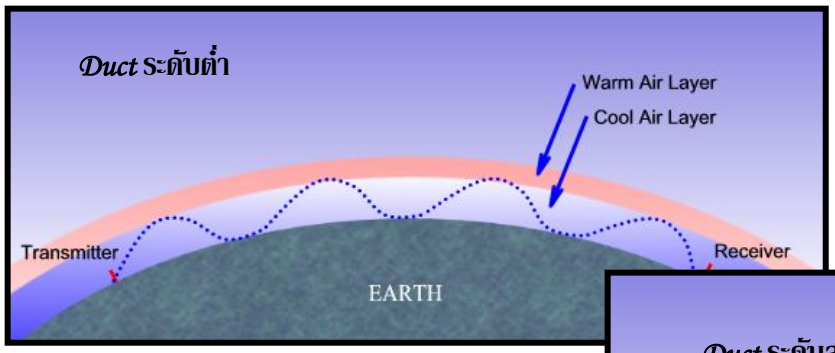
11.2 Refraction การโค้งงอของคลื่นเรดาร์ เนื่องจากความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศ จึงทำให้ขอบฟ้าเรดาร์ไกลกว่าขอบฟ้า(มองด้วยสายตา)ประมาณ1.25เท่า ความถี่สูงมีผลกระทบจาก Refraction น้อยกว่าความถี่ต่ำ

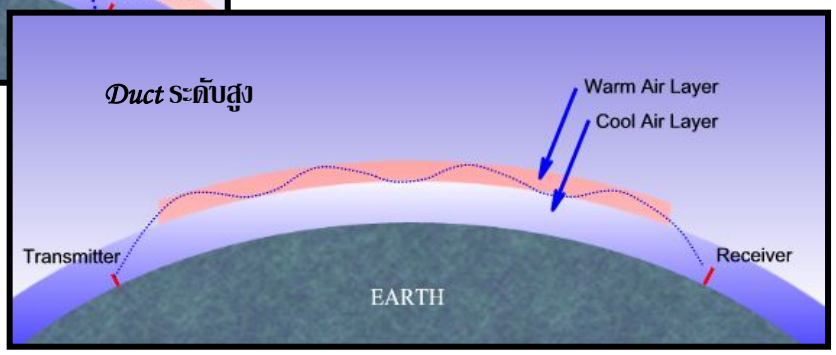


11.3 Diffraction การที่คลื่นเรดาร์โค้งงอ อ้อมส่วนหลังของเป้าและเข้าไปในบริเวณ Radar Shadow ความถี่ต่ำเกิด Diffraction ได้ง่ายกว่าความถี่สูง Diffraction อาจทำให้เรดาร์ ตรวจจับเป้าเรือ ที่อยู่ด้านหลังเกาะ หรือ อากาศยานที่บินอยู่ด้านหลังยอดเขาได้

11.4 Attenuation การที่กำลังงานของคลื่นเรดาร์ ลดลงเนื่องจากการกระจายตัวของคลื่น (Scattering) ขณะเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้ามีกำลังอ่อนลง ก๊าซและไอน้ำในชั้นบรรยากาศ มีส่วนดูดกลืน (Absorb) พลังงานคลื่นเรดาร์ด้วย คลื่นเรดาร์ที่มีความถี่สูง จะถูก Attenuation มากกว่า คลื่นเรดาร์ที่มีความถี่ต่ำ

11.5 Trapping (Duct) เป็นการกระจายตัวของคลื่นเรดาร์ในลักษณะผิดปกติ อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศมีอิทธิพลอย่างสูง ตามปกติอุณหภูมิ และ ความชื้นจะลดลงตามความสูง แต่ในบางโอกาส อุณหภูมิจะลดลงตามความสูงในระยะแรก และกลับเพิ่มขึ้นภายหลังเรียกว่า “Temperature Inverse” ส่วนความชื้นจะลดลงอย่างทันทีทันใด เรียกว่า“Moisture Lapse” เหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นกับ อุณหภูมิ และ ความชื้นเช่นนี้ ทำให้ คลื่นเรดาร์หักเหไปไกล หรือ ใกล้ กว่าปกติ ช่วงที่เกิดเช่นนี้ เรียกว่า Duct



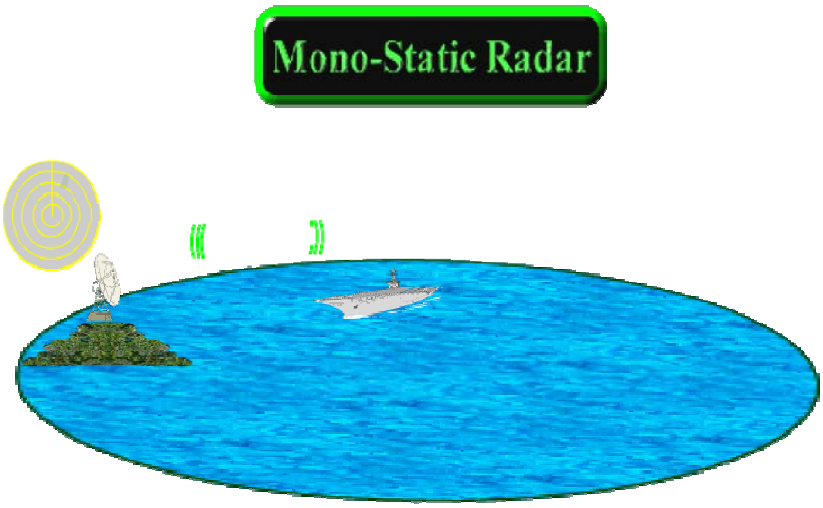


11.6 ลักษณะอุตุนิยม (Weather) สภาพอากาศเช่น เมฆ หมอก ฝน ลูกเห็บ จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานเรดาร์ลดลง เนื่องจากสัญญาณเรดาร์ที่ไปกระทบกับ เมฆ หรือ หมอกจะทำให้เกิดภาพบนจอภาพ คล้ายเกาะ หรือฝั่ง ทำให้พนักงานเกิดการสับสนระหว่างเป้าที่เป็นพื้นดิน หรือเป้าที่เป็นเมฆ หมอก เป้ารบกวนเหล่านี้จะทราบได้โดยการสังเกตทิศทางการเคลื่อนที่โดยปกติจะเคลื่อนที่ไปตามลง

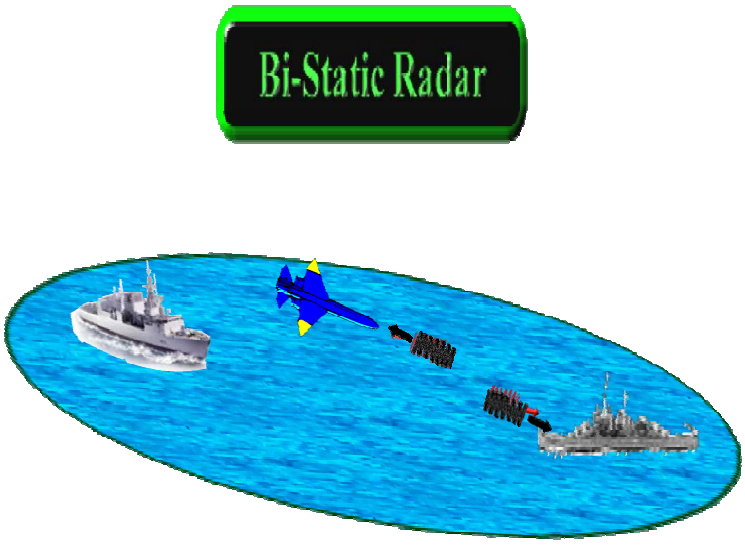
12. การแบ่งประเภทเรดาร์ แบ่งตามลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์

- Mono-Static Radar
- Bi-Static Radar
- Multi-Static Radar

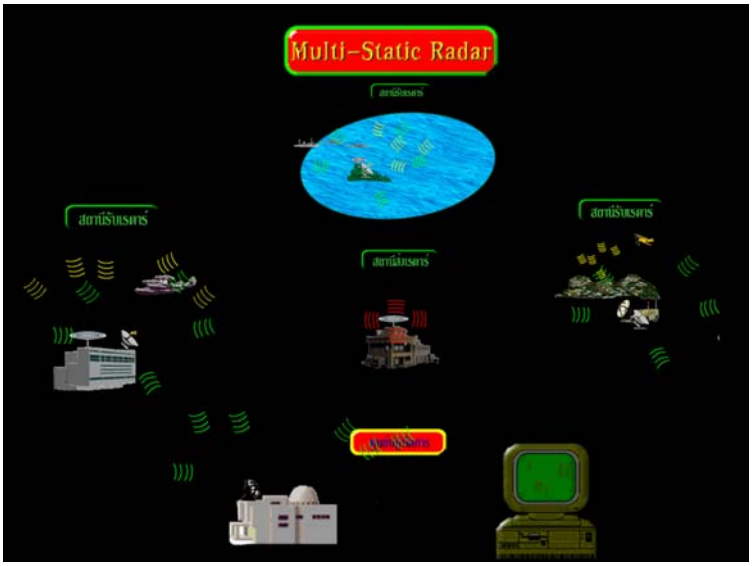
12.1 Mono-static Radar เครื่องส่งและเครื่องรับ จะประกอบเป็นชุดรวมกันอยู่ในบริเวณเดียวกัน ช่วงจังหวะในการส่งและการรับ (Timing method) จะเป็นไปตามลักษณะการทำงานของเรดาร์พื้นฐาน



12.2 Bi-Static Radar เครื่องส่งและเครื่องรับจะแยกออกจากกันโดยเด็ดขาด ระบบเรดาร์แบบนี้ จะป้องกันการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ECM) และการก่อกวนทางแมกคานิกส์ เช่น (chaff) รวมทั้งป้องกันจรวดอากาศสู่พื้นที่นำวิถีด้วยสัญญาณเรดาร์ {ARM (Anti-radiation missile) } Bi-Static Radar จะใช้ติดตั้งที่หัวจรวดนำวิถีแบบ SEMI - Active โดยเครื่องส่งจะอยู่ที่ฐานบนพื้นดิน ส่วนเครื่องรับจะอยู่บริเวณหัวจรวด



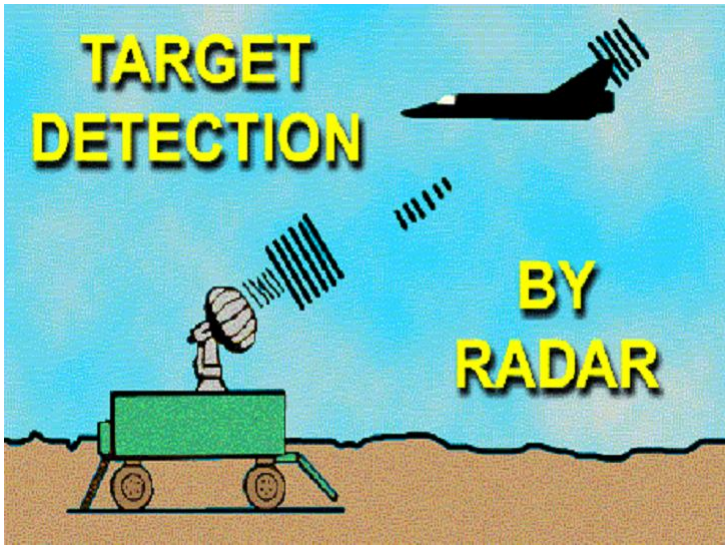
12.3 Multi-static Radar เป็นการพัฒนา Bi-static Radar โดยให้มีเครื่องรับและเครื่องส่งเรดาร์ในระบบเดียวกันจำนวนมาก โดยปกติจะประกอบด้วยสถานีส่ง 1 แห่ง สถานีรับ 3 – 4 แห่ง การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างสถานีรับ และศูนย์ควบคุม ซึ่งภาพทั้งหมดที่ตรวจจับเป้าได้ โดยสถานีรับจะมาปรากฏบนหน้าจอ Computer จะใช้ระบบ Data Link หรือ Fiber Optic Cable เพื่อเป็นการเสริมสร้างระบบตรวจการณ์ให้มีประสิทธิภาพและการป้องกันการก่อกวนทาง อิเล็กทรอนิกส์ และแมกคานิกส์ รวมทั้งการจู่โจมลักษณะต่างๆ ของฝ่ายตรงข้าม



13.แบ่งตามลักษณะการทำงานของระบบ

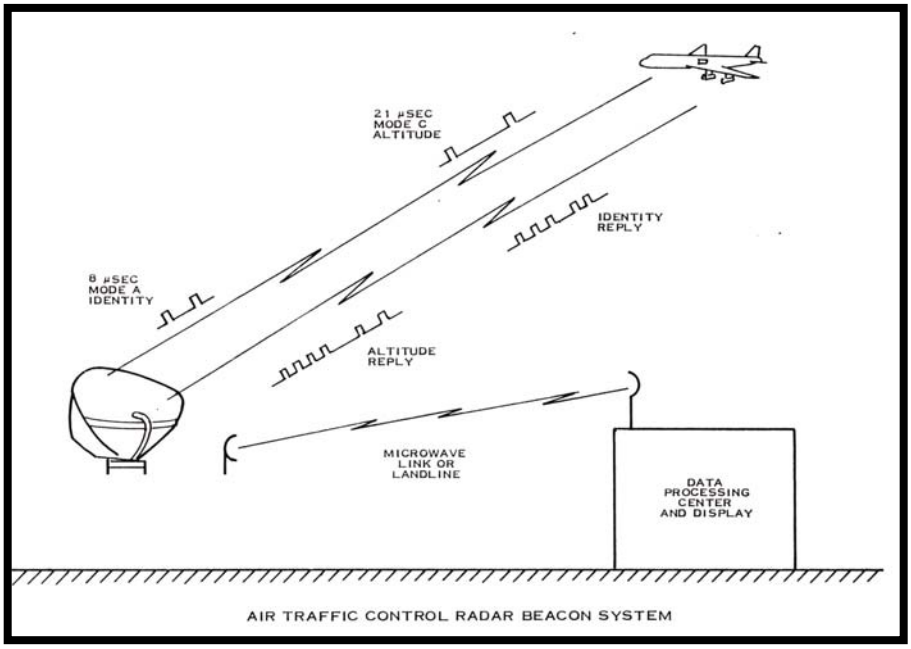
- Primary Radar
- Secondary Radar

13.1 Primary Radar เครื่องส่งจะส่งสัญญาณเรดาร์ ไปกระทบกับวัตถุบนพื้นโลก แล้วสะท้อนกลับมาเข้าเครื่องรับ และนำไปประเมินผลเพื่อให้เกิดเป็น Echo ไปปรากฏบนจอ PPI โดยทิศทางของเป้าจะได้จากมุมที่สะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศและข้อมูลรายละเอียดอื่นๆ ของเป้าจะได้จากการประเมินผลจากสัญญาณ ที่สะท้อนกลับมาเข้าเครื่องรับ



13.2 SecondarySurveillance Radar หรือ IFF เครื่องส่ง ของ Interrogator จะส่งสัญญาณถามไปเข้าเครื่องรับของTransponder ซึ่งจะมีผลทำให้สัญญาณนี้ไปกระตุ้นการทำงานของเครื่องส่งของ **Transponder** ให้ส่งสัญญาณตอบ ตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว ให้ไปเข้าเครื่องรับของ Interrogator สัญญาณตอบนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสูง หมายเลขของเป้า และความเร็ว รวมถึงภารกิจของพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์นี้

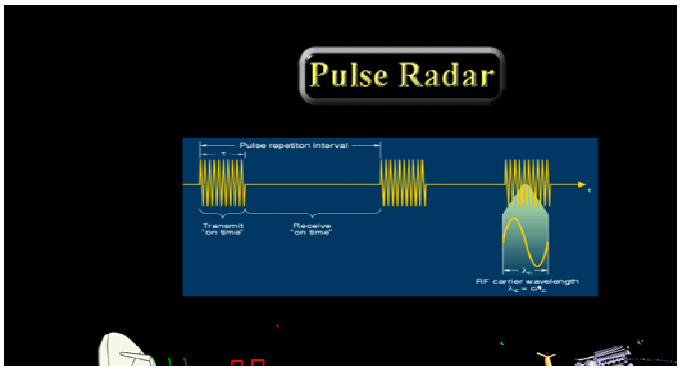
Secondary surveillance Radar/IFF



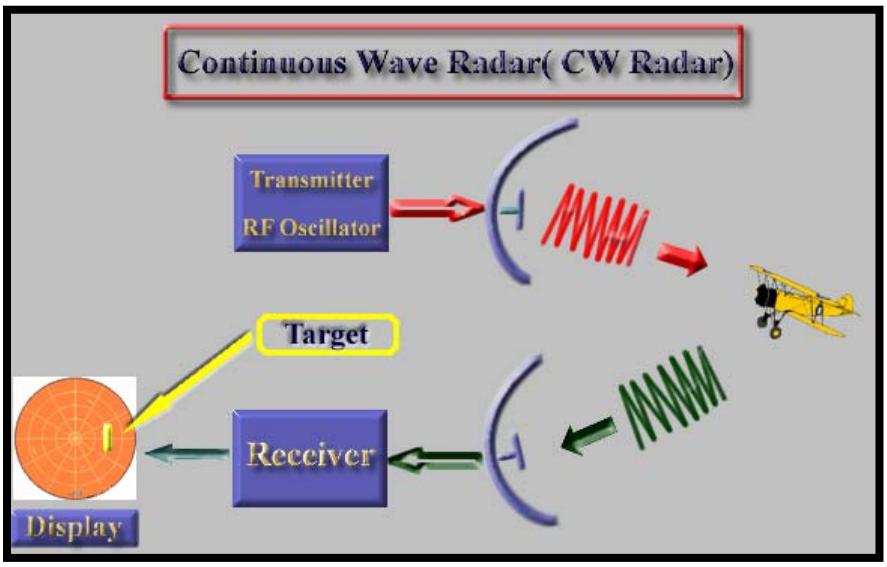
14. แบ่งตามลักษณะการแพร่คลื่น

- Pulse Radar
- Continuous Wave Radar (CW)

14.1 Pulse Radar Pulse Radar จะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในรูปแบบห้วงคลื่นสั้นๆ(Short Pulse) แยกแต่ละ Pulse ด้วย Rest Time (Listen) การประมวลผล สัญญาณที่สะท้อนกลับหลังจากสะท้อนเป้า จะเกิดขึ้นในช่วงนี้ ส่วนระยะทางของเป้าขึ้นอยู่กับ เวลารวมของ Pulse ที่สะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศเรดาร์



14.2 CW Radar เครื่องส่งจะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดเวลา มีผลทำให้เครื่องรับต้องทำงานตลอดเวลาเช่นกันเครื่องส่ง – เครื่องรับ และสายอากาศ ต้องแยกจากกัน (Bi-Static Radar) เพื่อลดปัญหา **การรบกวนระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกไปกับ สัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามา(Blind)** ให้ข้อมูลเฉพาะทิศทางการเคลื่อนที่เท่านั้น (ไม่มีStart-Stop Pulse) สามารถแยกเป้าที่มีการเคลื่อนที่ได้ (Doppler) โดยอาศัยหลักการ เป้าที่มีการเคลื่อนที่ ความถี่ที่สะท้อนกลับมา จะเปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ส่ง ซึ่งคุณลักษณะนี้ สามารถนำไปใช้ในการแยกเป้าเคลื่อน(Motion Target Indicator – MTI)CW Radar ที่มีการผสมคลื่นแบบ FM(FMCW) สามารถ หาระยะทางได้เช่นเดียวกับ Pulse Radar เนื่องจากมี Time Delay ที่ใช้ในการตรวจสอบเวลาที่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางไป และสะท้อนกลับมา



15.แบ่งตามภารกิจของเรดาร์

- Surveillance Radar
- Fire Control Radar

15.1 Search Radar/Surveillance Radar วัตถุประสงค์เบื้องต้น คือค้นหา และตรวจการณ์เป้าอากาศยาน และ เรือ

- มีคุณลักษณะ ดังนี้
  - พื้นที่ตรวจการณ์ 360 องศา
  - แสดงภาพบนจอแสดงภาพ แบบใดแบบหนึ่ง
  - ให้ข้อมูลในรูปแบบ เรดาร์ 2 มิติ ซึ่งให้ข้อมูล เกี่ยวกับ ระยะ และ แบริ่ง ในขณะที่ เรดาร์ 3 มิติ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ ระยะ แบริ่ง และ ความสูง และถ่ายทอดข้อมูลเป้าเบื้องต้น ให้ระบบเรดาร์ควบคุมการยิงติดตาม และส่งค่ารายละเอียดให้ระบบ **การอาวุธ เพื่อยิงทำลายเป้า**

15.2 Fire Control Radar วัตถุประสงค์เบื้องต้น คือติดตามเป้าเพื่อให้ได้ตำบลที่ ที่ถูกต้อง เพื่อส่งต่อให้ระบบอาวุธประเภทต่างๆ ที่ต่อเชื่อมกับเรดาร์ควบคุมการยิงนั้น ให้เล็งตรงไปยังเป้าที่กำหนด เรดาร์ควบคุมการยิง ต้องรับข้อมูลพื้นฐานของเป้า จากเรดาร์ตรวจการณ์ 2 มิติ หรือ 3 มิติ ตามปกติการถ่ายทอดข้อมูล จาก เรดาร์ตรวจการณ์ 2 มิติจะใช้เวลานานกว่า เรดาร์ 3 มิติ เรดาร์ควบคุมการยิงมีวิธีการติดตามเป้า 2 แบบ คือ

- **Constant Error Tracking System** ติดตามเป้าได้ครั้งละ 1 เป้า เช่น Conical Scan, Lobe Switching และ Monopulse Radar, **LORO** และ **COSRO** ติดตามเป้าในลักษณะไล่ตามเป้า เนื่องจากระบบประมวลผล จะเปรียบเทียบอัตราผิดระหว่างตำบลที่ของเป้ากับแกนสายอากาศเรดาร์ (Radar Bore sight) แล้วจึง ปรับแต่งแกนสายอากาศเพื่อติดตามเป้า
- **Error Free Tracking System** ติดตามเป้าได้ครั้งละหลายเป้า เช่น Track While Scan Radar ติดตามเป้า โดยใช้คอมพิวเตอร์ทำนายตำบลที่ของเป้าครั้งต่อไป โดยไม่จำเป็นต้องหันสายอากาศตรงไปยังเป้า หรือเรียกว่า Track While Scan Radar หลักการของ Track While Scan คล้ายการทำโจทย์ กระดานหน คือ หากทราบตำบลที่ของ M 1 และ M 2 เราก็สามารถหา M 3 ได้ ดังนั้นจึงสามารถติดตามเป้าได้หลายเป้าพร้อมกัน

16. ปุ่มควบคุม ที่มีผลต่อการตัดสัญญาณรบกวน

- ATC (Automatic Tune Control) ปรับแต่งความถี่ที่ เปลี่ยนแปลงไปจากที่เครื่องส่ง ส่งออกไปให้ถูกต้องโดยอัตโนมัติ
- On ตลอด ยกเว้นเวลา Tune เครื่อง
- STC (Sensitivity Tune Control) ลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก คลื่น(Sea Return) โดยทั่วไปประสิทธิภาพสูงสุดไม่เกิน 5,000 หลา
- IAGC (Instantaneous Automatic Gain Control) ลดความเข้มของสัญญาณที่เกิดจากเป้าที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถ ค้นหาเป้าที่มีขนาดเล็กที่อยู่ในบริเวณนั้นได้ หลังจากสถานการณ์ผ่านไปจะกลับไปอยู่ในสภาพเดิมโดยอัตโนมัติเช่น เมฆหนาใหญ่ แนวชายฝั่ง
- FTC (Fast Time Constance) ลดช่วงเวลาในการแสดงผล เป้าที่มีขนาดใหญ่ เพื่อเปิดโอกาสให้เป้าที่มีขนาดเล็กมีการแสดงผลนานขึ้น

หมายเหตุ ความแตกต่างของ IAGC กับ FTC คือ

- IAGC มีผลต่อขนาดความเข้มของสัญญาณ(Amplitude)
- FTC มีผลต่อช่วงเวลาในการแสดงภาพบน PPI (Video)
- **IAGC และ FTC** เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Anti-Jam Circuit มีประสิทธิภาพในการ ลดสัญญาณที่เกิดจากการถูก ก่อกวน (Jamming)

θ **ปุ่มควบคุมเมื่อ สัญญาณรบกวนมีความเข้มมาก**

- CFAR (Constant False Alarm Rate) ลดความไวของเครื่องรับ และรักษาระดับความแรงของสัญญาณ ที่รับเข้ามาให้คงที่เพื่อส่งต่อให้ส่วนแสดงภาพ พร้อมทั้งเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจจับเป้าใน Sector ที่มี Noise Jammer

- ANL (Automatic Noise Level) ใช้ป้องกัน Noise Jammer เป้าขนาดเล็กอาจจางหาย เมื่อใช้ปุ่มควบคุมนี้

- MG (Manual Gain) ปุ่มควบคุมนี้มีความอ่อนตัว ในการใช้งานเนื่องจากพนักงานเป็นผู้ควบคุมเอง

- AGC (Automatic Gain Control) รักษาระดับความแรงของสัญญาณที่รับเข้ามาให้คงที่เพื่อส่งต่อให้ส่วนแสดงภาพ ใช้ป้องกันการก่อกวนด้วยChaff และการก่อกวนที่มีลักษณะเป็นฉากกำบัง (Active Masking)

- LOG (Logarithmic Receive) เหมือน AGC แต่มีวงจรกรอง ให้สัญญาณรบกวนลดลง ใช้ปุ่มควบคุมนี้เพื่อแก้ไข สัญญาณรบกวนที่เกิด ที่ Side Lobe

- **ในขณะที่มีเมฆ หมอก พายุฝน หรือสภาพอากาศในหน้าร้อน จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเรดาร์ลดลง**แต่อย่างไรก็ตาม เรายังมีวิธีการแก้ไขเพื่อให้เรดาร์ยังคงใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ การใช้ **Mode Circular Polarization** ซึ่งมีผลทำให้เรดาร์สามารถแยกเป้าที่เกิดจากเมฆฝนหรือสภาวะอากาศอื่นๆ ออกจากเป้าที่สะท้อนกลับจากการกระทบวัตถุบนพื้นโลก แต่จะทำให้ความเข้มของ Echo ของเป้าลดลง 3 – 5 db ซึ่งบางครั้งหากเมฆมีความหนามากๆ อาจใช้ Mode นี้ไม่ได้ผล

- **Mode Log FTC** (Logarithmic Receiver Response with Fast Time Constant) จะมีผลให้สามารถแยกเป้าที่เกิดจาก เมฆฝน ได้ดีและไม่ทำให้ความเข้มของ สัญญาณลดลงด้วย นอกจากนั้นยังสามารถใช้แทน Circular Polarization ได้ทุกกรณี โดยเฉพาะเมื่อเกิดอากาศปั่นป่วน (Air Turbulence) แต่อาจทำให้เป้าที่ต้องการหายไปพร้อมกับเป้าที่ไม่ต้องการ โดยเฉพาะเมื่อเกิดพายุฝนหนัก ๆ

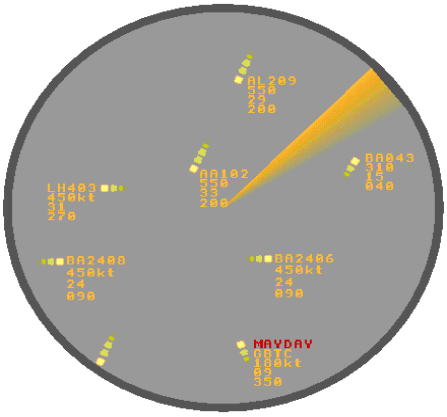
- ปุ่มควบคุม Weather Background Video สามารถแยกเป้าที่ต้องการ ออกจากสภาวะอากาศที่เลวร้ายได้ โดยขณะที่ใช้ Mode นี้ Echo ของเมฆ จะปรากฏเฉพาะที่บริเวณขอบด้านนอกเท่านั้น ส่วนบริเวณด้านในของเมฆจะไม่ปรากฏให้เห็นเป็น Echo บนจอเรดาร์

17. การประยุกต์ใช้งาน RADAR

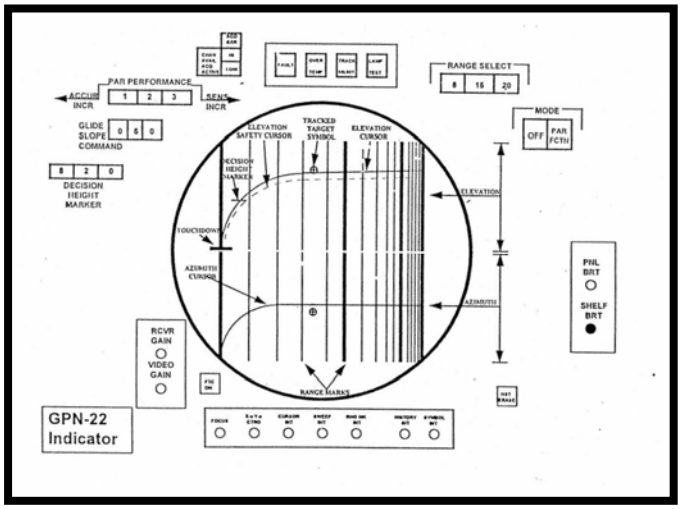
17.1 Air Traffic Control RADAR Systems

● **Air Surveillance RADAR (ASR)** เป็นเรดาร์ ตรวจการณ์ระยะปานกลาง ระยะประมาณ 60ไมล์ จากสนามบิน เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ ใช้ติดตามอากาศยาน และแนะนำเข็ม และความสูงที่ปลอดภัย ในการเข้าสู่สนามบิน

Air Surveillance Radar



● **Precision Approach RADAR** เป็นเรดาร์ที่เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศจะควบคุม และนำอากาศยานลงสู่สนามบิน ส่วนใหญ่จะสร้างภาพจำลองของสนามบิน และตำบลที่เครื่องช่วยในการเดินอากาศ และจุดอ้างอิงที่สำคัญไว้ในจอภาพเรดาร์ เพื่อความสะดวกในการควบคุมอากาศยาน



Precision Approach Radar

17.2 Battle Field Surveillance RADAR (BSR) การวางกำลังและการเคลื่อนที่ของกองกำลังข้าศึก เป็นข้อมูลสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินยุทธวิธี และสั่งการในสนามรบของฝ่ายเรา เรดาร์จึงมีส่วนสำคัญในการค้นหาตำแหน่งการวางกำลัง และการติดตามการเคลื่อนไหวของ กองกำลังข้าศึกตลอดเวลา และทุกสภาวะอากาศ BSR แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

● **Short range BSR** มีระยะในการค้นหาเป้าประมาณ 30 – 40 กม. ซึ่งเรดาร์ชนิดนี้อาจจะเป็น แบบ Portable หรือติดตั้งบนพาหนะก็ได้ เรดาร์แบบนี้สามารถใช้ในการค้นหาเป้าเคลื่อนที่ พิสูจน์ทราบเป้า เป็นบุคคลเป็นกลุ่มหรือคนเดียว เป้าพาหนะและเฮลิคอปเตอร์รวมทั้งใช้ในการตรวจกระสุนตกด้วย ใช้ความถี่ระหว่าง 10 – 20 GHZ (J Band) ใช้กำลังส่งน้อย พลังงานได้มาจากแบตเตอรี่ ใช้ PRF สูง

●**Long range** BSR หรือ Air borne BSR ใช้ในการค้นหาเป้าในระยะมากกว่า 100 กม.ส่วนมากจะติดตั้งบนอากาศยานหรือบนดาวเทียม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจการณ์ คุณภาพของเป้าที่แสดงบนจอภาพสามารถทำได้โดยใช้ Synthetic Aperture Radar (SAR) เรดาร์แบบนี้สามารถค้นหาเป้าเคลื่อนที่และให้ข้อมูลเป็นภาพถ่ายสถานการณ์บนจอเรดาร์ (Radar photographs)

●**Short range และLong range** BSR เป็นการค้นหาเป้าบนพื้นดิน ดังนั้นอุปสรรคที่ทำให้ ประสิทธิภาพในการค้นหาเป้าลดลงคือ สภาพภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ซึ่งสะท้อนเป้าได้ดีกว่าวัตถุที่กำลังค้นหาอยู่

● **อุปสรรคข้างต้นสามารถแก้ไขโดยใช้**

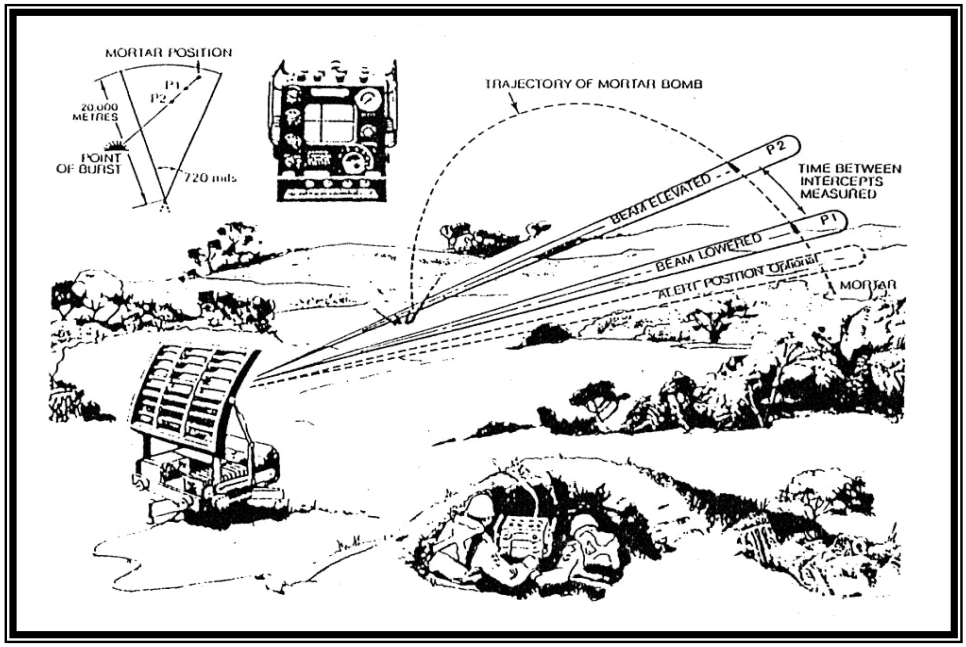
1) Doppler Processing ซึ่งจะทำให้เรดาร์สามารถแยกเป้าที่เคลื่อนที่ออกจากวัตถุที่ไม่เคลื่อนที่

2) Synthetic Aperture radar (Digital Radar) เป็นเรดาร์ที่มี Beamขนาดเล็กสัญญาณที่ได้จากBeamเหล่านั้น สามารถแก้ปัญหาเป้าที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ และอื่นๆที่ปกคลุม ซึ่งทำให้การตรวจจับทำได้ยาก โดยแนวความคิดที่นำมาใช้คือ Bean ขนาดเล็กเหล่านั้น จะตรวจจับเป้าแต่ละเป้าเป็นส่วนๆตามขนาดของ Beam แล้วนำสัญญาณที่สะท้อนจากเป้าทีละส่วนนั้น มารวมกันเป็นภาพใหม่อีกทีหนึ่ง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Synthetic Display ซึ่งทำให้การแยกเป้าที่เคลื่อนที่ออกจากเป้าที่ไม่เคลื่อนที่ดียิ่งขึ้น สิ่งนี้ทำได้โดยการขยายสัญญาณ ที่สะท้อนกลับเข้ามา โดยใช้ Software computer มีผลทำให้ เป้าที่แสดงผลบนจอภาพ รวมทั้งข้อมูลต่างๆ จะแสดงเป็นตัวเลข หรือตัวอักษร นอกจากนั้นเมื่อมีภัยคุกคามต่างๆ เกิดขึ้นจะมีสัญญาณเตือนภัย มีผลทำให้ลดภาระของพนักงานเรดาร์ลงมาก

Battle Field Surveillance RADAR (BSR)

17.3 Weapon Location RADAR (WLR) ใช้ในการหาข้อมูลการโคจรของกระสุนปืนใหญ่หรือจรวดนำวิถี เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาฐานยิงของอาวุธเหล่านั้น โดยใช้การคำนวณแนวทางโคจรของกระสุนปืนใหญ่ย้อนกลับไปยังฐานยิง**(Back Extrapolation)**

Weapon Location RADAR (WLR)



17.4 Air Defense RADAR มีวัตถุประสงค์หลักในการค้นหา และทำลายอากาศยาน หรือจรวดนำวิถีระยะปานกลาง และระยะไกลของข้าศึก ก่อนที่จะมาทำลายพื้นที่สำคัญทางยุทธศาสตร์ของฝ่ายเรา โดยภารกิจทั้งสองนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

- **การค้นหา (Detection)** จะต้องทำการค้นหาอากาศยานหรือภัยคุกคามให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเปิดโอกาสให้ฝ่ายเรามีเวลาพอที่จะประสานการปฏิบัติ ในการทำลายภัยคุกคามเหล่านั้น เนื่องจากภัยคุกคามทางอากาศมีแนวโน้มที่จะใช้ความเร็วสูงในการจู่โจม ดังนั้นระบบเรดาร์ที่ใช้ในการค้นหาเป้าจะต้องมีระยะในการค้นหาเป้าไกลที่สุดเท่าที่จะทำได้
- **การทำลาย (Destruction)** กระบวนการในการทำลายภัยคุกคามทางอากาศยานของข้าศึกจะต้องเกิดขึ้นทันที ที่มีการตรวจจับเป้าเหล่านั้นได้ การทำลายอากาศยานข้าศึกในระยะไกล อาจจะใช้ บ.สกัดกั้น ของฝ่ายพันธมิตร หรือ บ.สกัดกั้นของเราเองแล้วแต่กรณี
- **การทำลายข้าศึกในระยะใกล้** จะต้องแน่ใจว่า ไม่มี บ.สกัดกั้นของฝ่ายเราอยู่ในพื้นที่สำคัญ (Vital Area) **SAM** (Surface to Air missiles) หรือ ปืนต่อสู้อากาศยาน AAA (Anti-Aircraft Artillery) จะต้องถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีที่ใช้อากาศยานเข้าสกัดกั้น จะต้องมีการติดตามเป้าหมายอย่างต่อเนื่องและแม่นยำ รวมทั้งต้องนำอากาศยานเข้าทำลายเป้าหมายในตำบลที่ ที่ได้เปรียบใน การต่อตี สำหรับระบบ AAA ข้อมูลตำบลที่ของเป้าจะได้จากการ Tracking ของเรดาร์ควบคุมการยิง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบ ป้องกันภัยทางอากาศ (Air Defense Systems)

- **Air Defense radar (AD Radar)** สามารถแบ่งตามระยะการค้นหาเป้าได้ดังนี้
  - **เรดาร์ตรวจการณ์ทางยุทธศาสตร์** (Strategic Radar) มีรัศมีในการตรวจจับเป้าระยะทางเป็นพันๆกิโลเมตรเพื่อตรวจจับภัยคุกคามที่เป็นจรวดนำวิถีข้ามทวีป {Intercontinental Ballistic Missile ICBM)} หรือจรวดที่ยิงมาจากฐานยิงที่ติดตั้งในเรือดำน้ำ {Submarine Launched Ballistic Missile (SLBM)} โดยทั่วไปเป็นการค้นหาเป้าจากระบบตรวจการณ์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม หรือ HF Radar- OTHR (Over the Horizontal Radar)
  - เรดาร์ตรวจการณ์ระยะไกล (Long Range Radar) มีระยะในการค้นหาเป้าประมาณ 200 ไมล์ทะเล (370 กม.) ขึ้นไป การค้นหาโดยใช้เรดาร์แบบนี้จะเป็นการค้นหาอากาศยานข้าศึก หรือ จรวดนำวิถีระยะไกล
  - เรดาร์ตรวจการณ์ระยะปานกลาง (Medium Range Radar) มีระยะในการค้นหาเป้า ประมาณ 100 ไมล์ทะเล (185 กม.) การค้นหาเป้าของเรดาร์แบบนี้ จะเป็นการค้นหาเป้าอากาศยาน หรือ จรวดเรดาร์ตรวจการณ์ระยะใกล้ (Short Range Radar) มีระยะการค้นหาเป้าประมาณ 30 ไมล์ทะเล (55 กม.) ลงมา

17.5 เรดาร์เตือนภัยล่วงหน้า (Airborne Early Warning - AEW) ตามปกติ ระบบป้องกันภัยทางอากาศ หมายรวมถึง ระบบตรวจการณ์ภัยคุกคามทางอากาศ ระยะไกล และจรวดนำวิถีที่บินต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจจับของเรดาร์ตรวจการณ์ทางอากาศที่ติดตั้งบนพื้นดิน ซึ่งเรดาร์ประเภทนี้จะมีขีดจำกัดทางแนวนอน (Horizon - limited) เนื่องจากส่วนโค้งของโลก และสภาพทางภูมิประเทศ ปัญหาในการตรวจจับเป้าอากาศยานและจรวดนำวิถีที่บินต่ำนี้ สามารถแก้ไขได้โดยใช้ ระบบ AEW ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับเป้า ในแนวขนานกับพื้นโลกได้ 300 – 400 กม. เนื่องจากเป็นการค้นหาเป้าจากระดับสูง (Bird – Eye view) ดังนั้นระบบ AEW จึงสามารถตรวจจับเป้าอากาศยานและจรวดนำวิถีที่บินต่ำและแจ้งเตือนภัยให้มีการสกัดกั้นได้ในระยะไกล ๆ

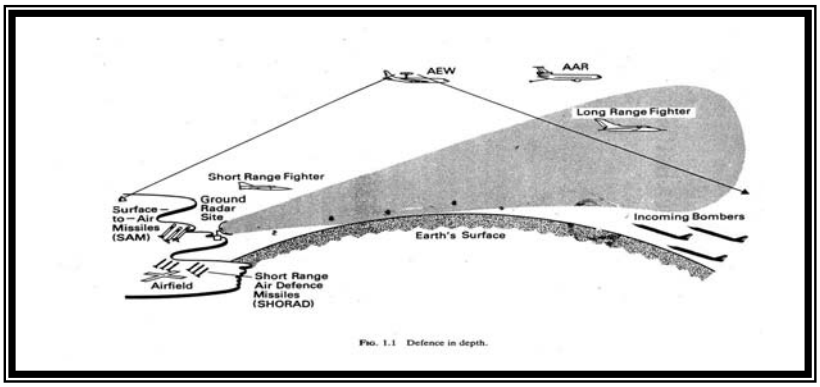


Fig. 1.1 Defence in depth.

ในช่วงแรกระบบ AEW มีราคาค่อนข้างสูง เพราะต้องใช้อากาศยานที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ที่มีราคาสูงด้วย แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบ AEW โดยใช้ Phased – Array Radar จะมีราคาถูกกว่ามาก รวมทั้งการติดตั้งสายอากาศก็สะดวกเพราะไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวและมีน้ำหนักเบาอีกด้วย นอกจากนั้นระบบ AEW สมัยใหม่ยังทำหน้าที่เป็น AEW & C (AEW Command and Control) ได้อีกด้วย

18. แนวความคิดในการพัฒนาเรดาร์ในอนาคต

- เรดาร์ระบบเดียว สามารถเปลี่ยนภารกิจโดยการปรับแต่ง Parameter ของเครื่องส่งและ เครื่องรับโดยอัตโนมัติไปยังภารกิจตามต้องการ เช่น เปลี่ยนParameter จากเรดาร์ตรวจการณ์ทางอากาศระยะไกล มาเป็นระยะปานกลาง และระยะใกล้ตามลำดับ นอกจากนั้นยังสามารถเป็นเรดาร์ควบคุมการยิงได้อีกด้วย

- ในปัจจุบัน มีเรดาร์ที่มีลักษณะการทำงานอเนกประสงค์ซึ่งสามารถเปลี่ยน Parameter จากเรดาร์ตรวจการณ์ระยะไกล มาเป็นเรดาร์ควบคุมการยิงเช่น RADAR ของระบบ Patriot และ Radar AN/Spy-1ของ ระบบ AGIS เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

RADAR	**BRASSEY VOL 9**
AIR DEFFENCE	**BRASSEY**
ATP (ASR – 8)	**TAXAS INSTRUTMENT**
OPERATION SPECIALIST	**1 , 2 , 3**

น.ต. จิรภัส ศิลปกุล

หัวหน้าหมวดสื่อสาร กองฝึกศูนย์ยุทธการ

กองการฝึกกองเรือยุทธการ

มีนาคม 2550

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (EW-ELECTRONIC WARFARE)

วัตถุประสงค์ 1. เพื่อให้นักเรียนได้รู้ถึงหลักการสงครามอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น
2. เพื่อให้นักเรียนรู้จักนำหลักการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ไปประยุกต์ใช้งานด้านยุทธการ
3. เพื่อให้นักเรียนใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

เนื้อเรื่อง

กล่าวนำ

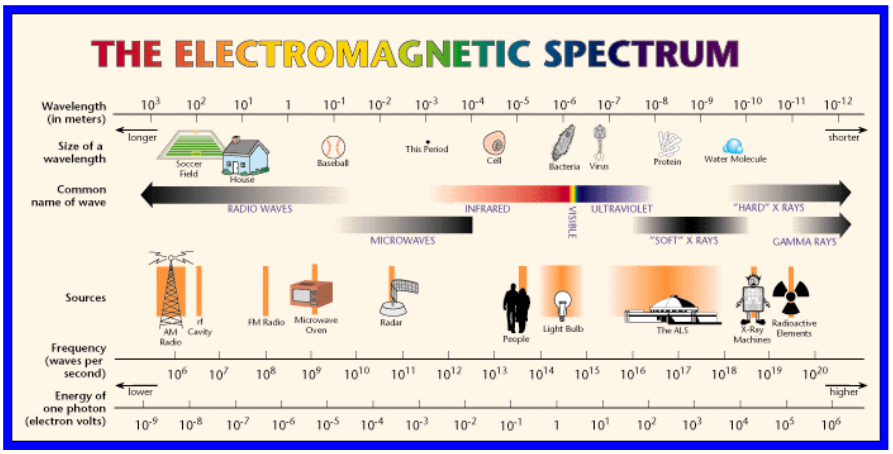
การสงครามอิเล็กทรอนิกส์คือ การนำมาตรการต่างๆมาใช้ต่อต้าน การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายข้าศึก และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายเดียวกัน เพราะเหตุว่าในปัจจุบัน การควบคุมบังคับบัญชาและสั่งการของผู้บังคับบัญชาระดับต่าง ๆ รวมถึงการติดตามการเคลื่อนไหวของกำลังฝ่ายเดียวกัน และฝ่ายข้าศึกจำเป็นต้องอาศัยการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสิ้น เช่นการใช้เครื่องรับ-ส่งวิทยุในการสั่งการเรือที่ปฏิบัติภารกิจในทะเล และการใช้เรดาร์ตรวจการณ์ทางอากาศหรือเรดาร์ตรวจการณ์พื้นน้ำ สอดส่องการล้วงล้ำน่านน้ำหรือน่านฟ้าแล้วแต่กรณี

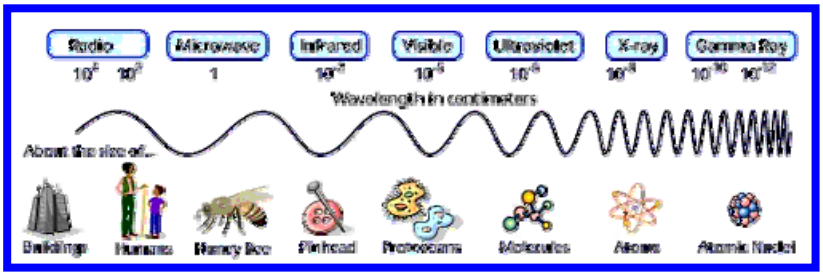
สงครามอิเล็กทรอนิกส์เกิดจากการนำเอาคุณลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาวิจัยและพัฒนาเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างๆ เช่น วิทยุ เรดาร์ และอีกฝ่ายหนึ่งพยายามคิดแก้หรือพยายามหาหนทางในการไม่ให้อีกฝ่ายหนึ่งใช้ประโยชน์จากการแพร่คลื่นจากอุปกรณ์นั้นๆ อย่างเต็มประสิทธิภาพ สงครามอิเล็กทรอนิกส์เริ่มมีการพัฒนาอย่างจริงจังตั้งแต่มีการพัฒนาเรดาร์ในสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา ปัจจุบันการสงครามอิเล็กทรอนิกส์กลายเป็นกิจกรรมที่สำคัญในการปฏิบัติการทางทหารทุกสาขาการพัฒนาทางการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ทั้งด้านเทคโนโลยีและการนำมาประยุกต์ใช้ทางยุทธการจึงดำเนินไปอย่างไม่หยุดยั้งจนทำให้ประเทศเล็กๆไม่อาจติดตามความเจริญก้าวหน้าได้ทันประเทศที่เจริญทางด้านเทคโนโลยีตลอดจนนำมาประยุกต์ใช้ทางยุทธการอย่างจริงจัง

1.Electromagnetic Spectrum

1.1 Electromagnetic Spectrumประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีประโยชน์มากในการสื่อสารและโทรคมนาคม รวมทั้งทางการแพทย์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ มีความถี่ที่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้างเราเรียกช่วงความถี่เหล่านี้ว่า **"สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า"** และมีชื่อเรียกช่วงต่าง ๆ ของความถี่ต่างกันตามแหล่งกำเนิดและวิธีการตรวจวัดคลื่น คลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ในสเปกตรัมมีสมบัติที่สำคัญเหมือนกันคือ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับแสงและมีพลังงานส่งผ่านไปพร้อมกับคลื่น สงครามอิเล็กทรอนิกส์มีความเกี่ยวข้องกับ การนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ ดังนั้นก่อนที่จะศึกษาเรื่อง สงครามอิเล็กทรอนิกส์ เราควรเรียนรู้เรื่อง Electromagnetic Spectrum ก่อน เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่ละประเภทได้มีการกำหนดย่านความถี่ให้อย่างชัดเจน การพิสูจน์ทราบความถี่ของอุปกรณ์ที่ตรวจจับได้ จะเป็นแนวทางเบื้องต้นในการวิเคราะห์ว่าอุปกรณ์เหล่านั้นคืออะไร ใช้ในทางทหาร หรือ พลเรือน มีขีดความสามารถและประสิทธิภาพของระบบเป็นอย่างไร



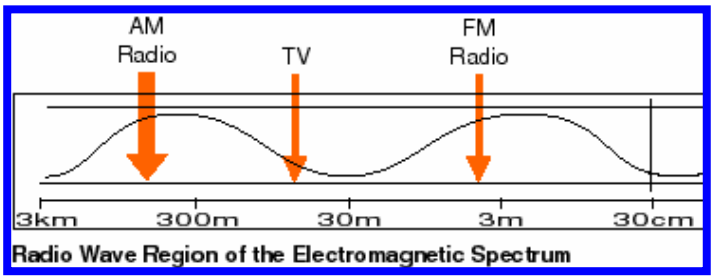


1.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีชื่อเรียกดังนี้

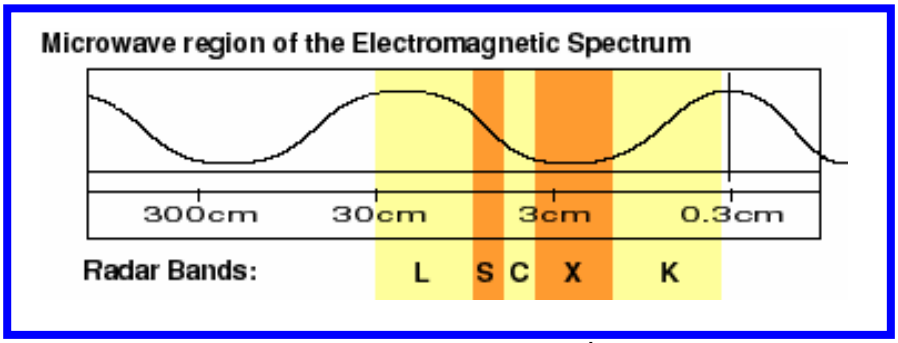
1) คลื่นวิทยุมีความถี่ช่วง 10^4 - 10^9 Hzใช้ในการสื่อสาร คลื่นวิทยุมีกาส่งสัญญาณ 2 ระบบคือ

(1) ระบบAM(Amplitude Modulation)มีช่วงความถี่550–1600 kHz สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้าไปกับคลื่นวิทยุเรียกว่า "คลื่นพาหะ" โดย Amplitude ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง ในการส่งคลื่นระบบ A.M. สามารถส่งคลื่นได้ทั้งคลื่นดินเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงขนานกับผิวโลก และคลื่นฟ้าโดยคลื่นจะไปสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แล้วสะท้อนกลับลงมา จึงไม่ต้องใช้สายอากาศตั้งสูงรับ

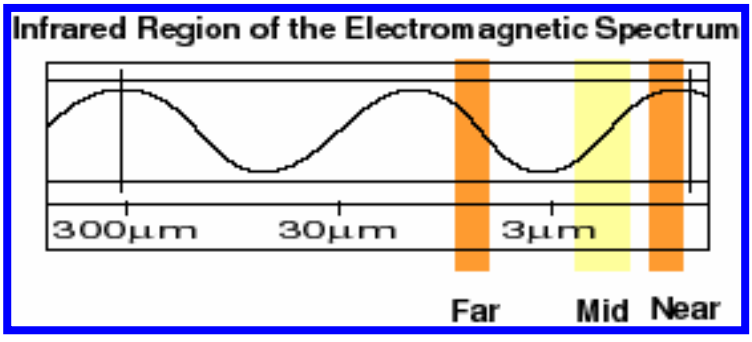
(2) ระบบ FM (Frequency Modulation) มีช่วงความถี่ 88 - 108 MHz สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้ากับคลื่นพาหะ โดยความถี่ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง ในการส่งคลื่นระบบ F.M. ส่งคลื่นได้เฉพาะคลื่นดินอย่างเดียว ถ้าต้องการส่งให้คลุมพื้นที่ต้องมีสถานีถ่ายทอดและเครื่องรับต้องตั้งเสาอากาศสูงๆ



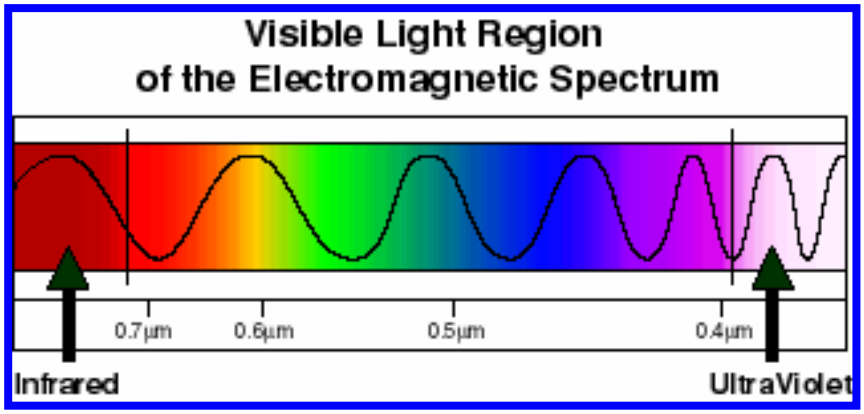
2) คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟมีความถี่ช่วง $10^{8} - 10^{12}$ Hz มีประโยชน์ในการสื่อสาร แต่จะไม่สะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์จะต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะ ๆ เพราะสัญญาณเดินทางเป็นเส้นตรง และผิวโลกมีความโค้ง ดังนั้นสัญญาณจึงไปได้ไกลสุดเพียงประมาณ 80 กิโลเมตรบนผิวโลก อาจใช้ไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียม แล้วให้ดาวเทียมนำสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกล ๆ เนื่องจากไมโครเวฟจะสะท้อนกับผิวโลหะได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจหาตำแหน่งของอากาศยาน เรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า เรดาร์ โดยส่งสัญญาณไมโครเวฟออกไปกระทบอากาศยาน และรับคลื่นที่สะท้อนกลับจากอากาศยาน ทำให้ทราบระยะห่างระหว่างอากาศยานกับแหล่งส่งสัญญาณไมโครเวฟ



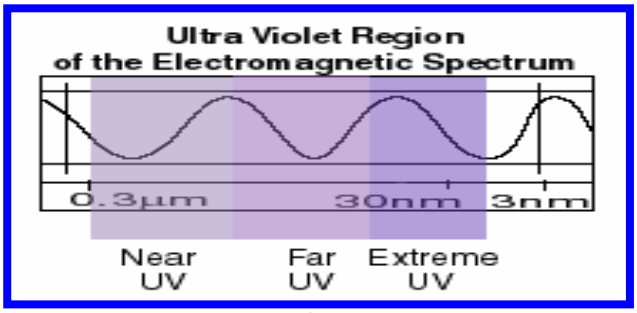
3) รังสีอินฟาเรด (Infrared rays)มีช่วงความถี่ $10^{11} - 10^{14}$ Hz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ $10^{-3} - 10^{-6}$ เมตร ซึ่งมีช่วงความถี่คาบเกี่ยวกับไมโครเวฟ รังสีอินฟาเรดสามารถใช้กับฟิล์มถ่ายรูปบางชนิดได้ และใช้เป็นการควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรลกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้



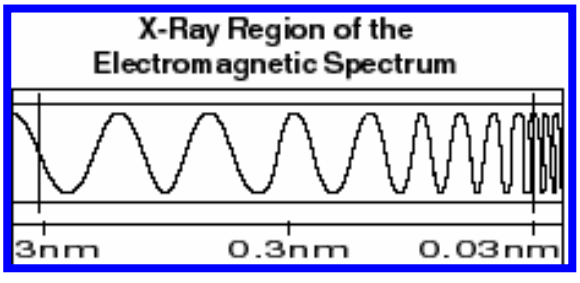
4) แสง (Light) มีช่วงความถี่ 10^{14}Hz หรือความยาวคลื่น **$4x10^{-7}$-$7x10^{-7}$** เมตร เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดเดียวที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็น รุ้งกินน้ำเป็นตัวอย่างของสเปคตรัมของแสงที่สายตามนุษย์มองเห็นได้ ซึ่งสีแดงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด



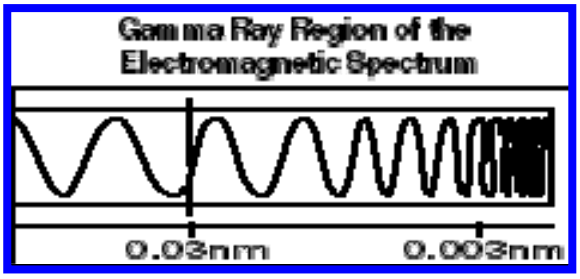
5) รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet rays) หรือ รังสีเหนือม่วง มีความถี่ช่วง 10^{15} - 10^{18} Hz เป็นรังสีตามธรรมชาติส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดประจุอิสระและไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ รังสีอัลตราไวโอเลต สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ แต่มีอันตรายต่อผิวหนังและตาคน



6)รังสีเอกซ์ (X-rays) มีความถี่ช่วง 10^{16} - 10^{22} Hz มีความยาวคลื่นระหว่าง 10^{-8} – 10^{-13} เมตร ซึ่งสามารถทะลุสิ่งกีดขวางหนา ๆ ได้ หลักการสร้างรังสีเอกซ์คือ การเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกาย โดยใช้คุณสมบัติในการ ดูดซับพลังงานคลื่นX-Ray ของกระดูกและฟันที่มีมากกว่าผิวหนังและเหงือ โดยที่พลังงานX-Ray สามารถทะลุผ่านผิวหนังและเหงือกได้แต่กระดูกและฟันจะดูดซับพลังงานเอาไว้ ในวงการอุตสาหกรรมใช้ในการตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ ใช้ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทางและศึกษาการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึก



7) รังสีแกมมา(-rays) มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า มีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์และสามารถกระตุ้นปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง

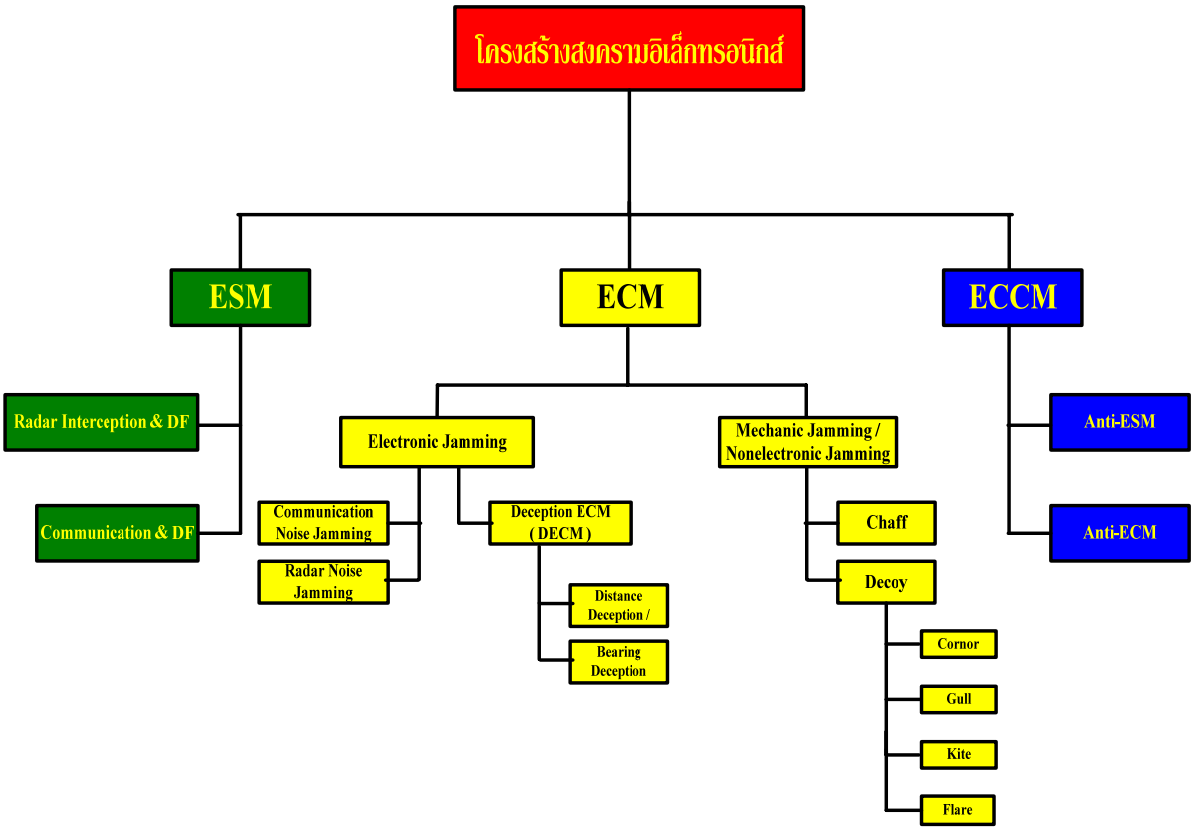


2. การสงครามอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกเป็น ๓ มาตรการ คือ

2.1 มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ESM–Electronic Support Measure)

2.2 มาตรการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ECM – Electronic Countermeasures)

2.3 มาตรการตอบโต้การก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ECCM - Electronic Counter Countermeasures)



3. มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ESM) เป็นมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการเพื่อค้นหา ดักรับ กำหนดตำบลที่ และวิเคราะห์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายข้าศึก เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการสนับสนุน มาตรการ ECM และ ECCM เนื่องจากเครื่องมือตรวจจับการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เปรียบทางระยะมากถึง **ประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเรดาร์** เพราะว่าเรดาร์ ทุกประเภทจะมีข้อจำกัดทางเทคนิคเช่น การทำงานโดยใช้คลื่นทางตรง หรือที่เรียกว่า Line Of Sight รวมทั้งมีการใช้เครื่องส่งที่มีกำลังสูง จึงทำให้เครื่องมือตรวจจับการแพร่คลื่นสามารถตรวจจับการแพร่คลื่นได้ ก่อนที่ข้าศึกจะใช้เรดาร์ตรวจพบเรา ซึ่งเราเรียกว่า **การได้เปรียบทางระยะ (Range Advantage)** ทั้งนี้การได้เปรียบทางระยะจะขึ้นอยู่กับ Radar Cross Section , ความสูงของสายอากาศ , ความไวของเครื่องดักรับ , ความถี่ , กำลังส่ง ,ความไวของเครื่องเรดาร์ , สภาพอากาศรวมทั้ง ความชำนาญของพนักงาน

3.1 วัตถุประสงค์ในการใช้มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์

1) ทำให้รู้ข้อมูลทางยุทธการ ที่เกี่ยวข้องกับการวางกำลังและการวางระบบอาวุธของข้าศึก

2) ทำให้รู้ข้อมูลทางยุทธการที่เกี่ยวข้องกับ การประกอบกำลังและการเคลื่อนย้ายกองกำลังของข้าศึก

3) ทำให้สามารถกำหนดแนวทาง ที่จะใช้ในการต่อต้าน และทำให้ระบบควบคุมอาวุธของฝ่ายข้าศึกล้มเหลว

4) ทำให้รู้ข้อมูลทางยุทธการที่เกี่ยวกับ ยุทธวิธีในการปฏิบัติ และกำลังรบของข้าศึก

5) ทำให้รู้ข้อมูลทางยุทธการของข้าศึก ที่เกี่ยวข้องกับขีดความสามารถด้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึก และสามารถจัดทำเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้สนับสนุนมาตรการ ECM และ ECCM

3.2 การดำเนินการในมาตรการสนับสนุน ทางอิเล็กทรอนิกส์

1) ค้นหา/ดักรับ การแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึก

2) กำหนดตำบลที่ และการติดตามความเคลื่อนไหวของข้าศึกอย่างต่อเนื่อง

3) วิเคราะห์สัญญาณจาก พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อระบุลักษณะของภัยคุกคามที่อาจจะเกิดขึ้น การวิเคราะห์นี้ต้องใช้ร่วมกับทำเนียบกำลังรบทางอิเล็กทรอนิกส์ (EOB - Electronic Order of Battle)

4) บันทึกข้อมูลทั้งภาพ และเสียงจากอุปกรณ์ตรวจจับการแพร่คลื่น เพื่อรวบรวมเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และศึกษาหาข้อมูลรายละเอียดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึกเพิ่มเติม ในอนาคต

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในมาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์

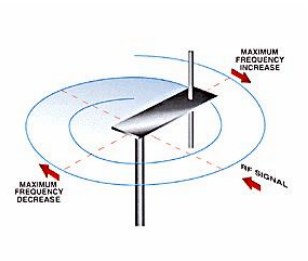
1) **วิทยุหาทิศ** และ อุปกรณ์หาทิศการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึก (Radio Direction and Finder – RDF / Direction Finder – DF)

(1) ดักรับการติดต่อสื่อสารและหาทิศ สถานีที่แพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึกในย่านความถี่ HF/VHF/UHF ทำให้ทราบตำบลที่การวางกำลัง ให้ข้อมูลทั้งทิศทาง และ ตำบลที่สถานีสื่อสารที่ทำการแพร่คลื่นอยู่

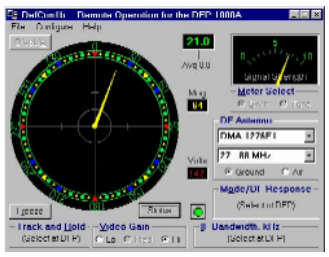
(2) ทำงานโดยอิสระ(Stand Alone) กรณีที่ทำการดักรับ และหาทิศสถานี ที่ทำการแพร่คลื่นทำงานเป็นเครือข่าย (Network) กรณีที่ทำการหาตำบลที่ ของ สถานีที่ทำการแพร่คลื่น

(3) วิเคราะห์โครงสร้างการสื่อสารของข้าศึก ทำให้ทราบการประกอบกำลัง และการเคลื่อนกำลังของข้าศึก

(4) ประกอบด้วย เครื่องรับ ระบบประมวลผล (Processor) และระบบสายอากาศ (Antenna Subsystems) สายอากาศแบบ Omni directional ใช้ตรวจจับสัญญาณและ Parameter ส่วนสายอากาศแบบ Monopulse ใช้ในการหาทิศทาง



RDF และ DF



2) **Electronic Support Measures Systems**

(1) ใช้ในการค้นหา ระบุทิศทาง วิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของสัญญาณ (Parameter) พิสูจน์ทราบภัยคุกคาม และประเภทของอุปกรณ์ที่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทั่วไปอยู่ในย่านความถี่ ระหว่าง 2 MHz – 18 Ghz

(2) เป็นฐานข้อมูลและจัดเก็บ Parameter ของอุปกรณ์ที่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Freq , PRF , PW, Power Output etc.) ของยานรบแต่ละลำ (Finger Print) และนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลด้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์ใน มาตรการ ECM และ ECCM

(3) มีการแสดงผลบนจอภาพ และ มีเสียงสัญญาณเตือนที่แตกต่างกันตามประเภทของภัยคุกคาม และอุปกรณ์ที่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละประเภท

(4) ทำงานร่วมกับ ระบบ ECM แบบActive ECM (Repeater Jamming) และ แบบ Passive (Chaff, Flare) โดยการส่ง Finger Print ของอุปกรณ์ที่มีการแพร่คลื่นฯ ของยานรบแต่ละลำ หรือ อาวุธนำวิถี แต่ละประเภท ให้ระบบป้องกันตนเองระยะประชิด (CIW) หรือ ระบบ ECMดำเนินการต่อไป

3) เครื่องมือตรวจจับการแพร่คลื่นเรดาร์ (RWR– Radar Warning Receiver)

(1) ค้นหาคลื่นเรดาร์ในย่านความถี่ระหว่าง 2 – 18 GHz (E Band – J Band) เปรียบเทียบสัญญาณที่ตรวจจับได้ กับสัญญาณที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลของระบบ พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณ ระบุประเภทของภัยคุกคาม,ทิศทางสัมพันธ์ และแยกประเภท ว่าเป็นเรดาร์แบบใดเช่น Continuous Wave Radar หรือ Pulse Radar ฯลฯ

(2) ทราบโครงสร้างการวางกำลังของข้าศึก และภัยคุกคามที่กำลังจะเกิดขึ้น สัญญาณเตือนมีลักษณะแตกต่างกันอย่างชัดเจน เพื่อเตือนภัยให้ผู้ควบคุมยานรบทราบว่าเป็นภัยคุกคามประเภทใด เช่น สัญญาณเรดาร์จากหัวจรวดนำวิถีแบบ Active จะมีเสียงสูงเป็นดังช่วงๆ และดังถี่ขึ้นตามลำดับเมื่อระยะทางใกล้กับยานเชื่อมต่อเข้ากับระบบป้องกันภัยระยะประชิด (Close in Weapons – CIW) และ Decoy เพื่อป้องกันยานรบในระยะอันตราย

Radar Warning Receiver

4) Laser Warning Receiver-LWR

(1) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับ พลังงาน และทิศทางของสัญญาณ Laser {ย่านVisible Light (10^{15} Hz - 1,000,000 GHz)}ที่สะท้อน จากอุปกรณ์ชี้เป้าด้วย Laser , อาวุธนำวิถีด้วย Laser ฯลฯ

(2) วิเคราะห์ประเภทของภัยคุกคาม และส่งต่อไปยังระบบป้องกันตัวระยะประชิด (CIW)ของยานรบ เพื่อปล่อยเป้าลวง , Smoke Screen หรือ ยิงทำลายภัยคุกคามนั้น พร้อมทั้งแจ้งเตือนไปยังฝ่ายเดียวกันเพื่อให้ดำเนินการ มาตรการ ECM ต่อไป

(3)แสดงผลบนจอภาพ(Display) และมีระดับ เสียงสัญญาณเตือนที่แตกต่างกัน เพื่อให้ผู้ควบคุมยานทราบว่าเป็นภัยคุกคามประเภทใด

Laser Warning Receiver

SPECIFICATIONS

- Operation wavelength 1.06μm
- Angle coverage 360° × (-10° ~ 60°)
- Azimuth angle resolution 22.5°
- Detection range > 15 km

	Volume (LxWxH)(mm)	Weight (kg)	Quantity
Warning Antenna	Φ290x210	3	
Processor	400x200	10	1

APPLICABLE PLATFORMS

- ships
- land based targets (bridges, buildings, etc.)

5) ระบบตรวจจับรังสีความร้อนของอาวุธนำวิถี (ระบบนำวิถีแบบ Passive) และ ยานรบของข้าศึก ระบบนี้จะตรวจจับพลังงานความร้อน ที่แผ่รังสีมาจากวัตถุเหล่านั้น เช่นความร้อนจากเครื่องจักรของเรือ, ท่อไอเสียของอากาศยาน หรือ อาวุธนำวิถี ฯลฯ

Infrared Surveillance Radar

3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะต่างๆของเรดาร์ ที่ตรวจจับได้(Radar Characteristic / Finger Prints) เรดาร์แต่ละเครื่องจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในภารกิจต่างกันไป โดยมีคุณสมบัติในเรื่องของความถี่ , กำลังส่ง , Pulse Length, Beam width อัตราความเร็วในการหมุนของสายอากาศ และแบบของการหมุนของสายอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะทำให้เราทราบว่าเป็นเรดาร์ประเภทใด ติดตั้งบนยานพาหนะประเภทใด มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด รวมทั้งทราบจุดอ่อนของเรดาร์เหล่านั้นด้วย เราสามารถนำมาใช้ร่วมกับ EOB (Electronic Order of Battle) ซึ่ง**เป็นเอกสารที่รวบรวม จากการใช้มาตรการข่าวกรองสัญญาณ (Signal Intelligence – SIGINT)และ มาตรการ ESM ของหน่วย ที่เกี่ยวข้อง ทั้งเรือ บก และอากาศยาน รวมทั้งหน่วยข่าวกรอง** มีการบันทึก ข้อมูลลักษณะเฉพาะฯ ของเรือต่าง ๆทั้งของฝ่ายเดียวกัน และฝ่ายตรงข้าม พร้อมทั้งมีการระบุชื่อเรือ และประเภทของเรือว่าเป็นเรือประเภทใด ข้อมูลลักษณะเฉพาะของเรดาร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของ เรือแต่ละลำนี้ เรา **เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Finger Prints** ซึ่งข้อมูลจากฐานข้อมูลนี้จะทำให้เราทราบทันทีว่า ภัยคุกคามเป็นภัยคุกคามจากเรือชื่อ อะไร ของประเทศใด มีขีดความสามารถทางด้านยุทธการมากน้อย เพียงใดคุณสมบัติต่างๆของเรดาร์ควรทราบมีดังนี้

1)) ความถี่ (Carrier Frequency)

(1) ความถี่ต่ำใช้กับเรดาร์ตรวจการณ์ระยะไกล เนื่องจากสูญเสียพลังงานในการแพร่คลื่นน้อย รวมทั้งหักเหได้ง่ายกว่าความถี่สูง

(2) ความถี่สูง ใช้กับเรดาร์ตรวจการณ์ระยะใกล้ และเรดาร์ควบคุมการยิง เนื่องจากบังคับทิศได้ง่ายกว่า และหักเห เมื่อกระทบชั้นบรรยากาศยากกว่าความถี่ต่ำ รายละเอียดความถี่ดูได้จากตาราง

Frequency		
Long Range	250 - 3000 Mhz	Low Frequency
Medium Range	3000 - 5500 Mhz	Medium Frequency
Short Range	Over 5000 Mhz	High Frequency

2) อัตราการหมุนของสายอากาศ (Antenna Scan Rate) อัตราการหมุนของสายอากาศเรดาร์สามารถนำมาใช้ในการพิสูจน์ทราบ โดยพิจารณาจากอัตราการหมุนและลักษณะการหมุน เช่นเรดาร์ที่ใช้ในการค้นหาเป้าระยะไกล สายอากาศเรดาร์จะหมุนช้า เนื่องจากสัญญาณเรดาร์จะต้องใช้เวลาในการเดินทางไปกระทบเป้า และเวลาที่สัญญาณสะท้อนกลับมาเข้าเครื่องรับนาน ในทางตรงข้าม เรดาร์ที่ค้นหาหรือติดตามเป้าระยะใกล้สายอากาศจะหมุนค่อนข้างเร็ว เช่นเรดาร์ควบคุมการยิง เพราะจะต้องติดตามเป้าอย่างต่อเนื่องเพื่อจะได้มีข้อมูลมากพอที่จะส่งไปให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลและส่งค่า ไปให้อาวุธระบบต่างๆรายละเอียดตามรูป

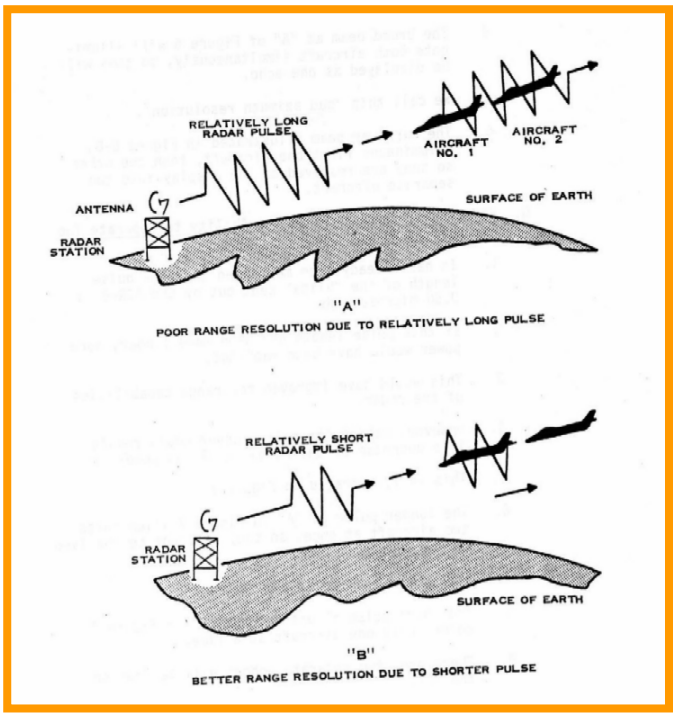
Antenna Scan Rate		
Long Range	20 & Above SPR	Extremely Slow
Medium to Long	10 - 20 SPR	Very Slow
Medium Range	4 - 10 SPR	Slow
Short Range	1 - 4 SPR	Fast

3) อัตราการทวนซ้ำของสัญญาณ (PRF – Pulse Repetition Frequency)

ขณะใดขณะหนึ่งเรดาร์มิได้ส่ง Pulse เพียง Pulse เดียวเพื่อค้นหาเป้า แต่เรดาร์จะส่ง Pulse จำนวนเป็นพัน ๆครั้งใน 1 วินาที เพื่อเป็นการยืนยันการตรวจจับเป้าในครั้งแรก ๆ เราเรียกจำนวนครั้งของการส่งซ้ำสัญญาณเรดาร์ใน 1 วินาที ว่า “Pulse Repetition Frequency - (PRF)” หรือ “Pulse Repetition Rate – PRR)” ระยะห่างของเวลาในการส่งสัญญาณเรดาร์แต่ละครั้งจะต้องสัมพันธ์กับระยะเวลาในการ เปิด – ปิด Duplexer SW โดยพิจารณาจากระยะเวลาของ Pulse ที่ถูกส่งออกไปรวมกับ ระยะเวลาของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับเข้ามาที่ระยะไกลสุดของเรดาร์นั้น อัตราการทวนซ้ำของเรดาร์ควบคุมการยิงจะเร็วมาก รายละเอียดดูจากตาราง

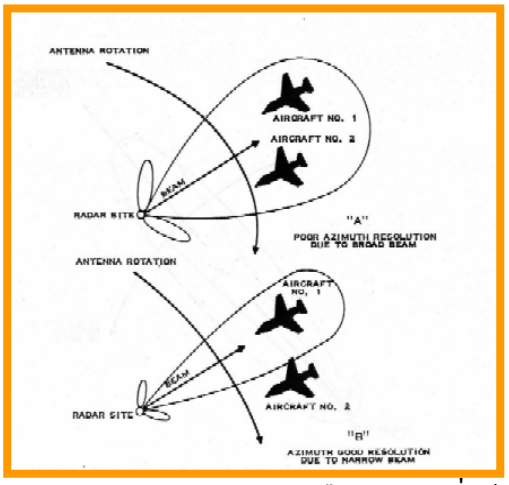
Pulse Repetition Frequency		
Long Range	Under 350 PPS	Extremely Slow
Medium Range	350 - 1000 PPS	Very Slow
Short Range	Over 1000 PPS	Slow

4) ความกว้างของห้วงคลื่น (PW-Pulse Width หรือ Pulse Length) คือ ช่วงเวลาที่ เครื่องส่งทำงาน มีหน่วยเป็น μsec (Microseconds) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการแยกเป้าทางระยะและกำหนดระยะไกลสุดของเรดาร์ หรือความสามารถของเรดาร์ในการแยกเป้าที่อยู่ใกล้กันน้อยที่สุดใน แบริ่งเดียวกัน ออกจากกัน การออกแบบให้ความกว้างของพัลส์มากเกินความจำเป็น จะมีผลเสียในการแยกเป้าทางระยะ คือ เมื่ออากาศยานหลายลำอยู่ในระยะใกล้กัน เป้าเหล่านั้นก็จะปรากฏเป็น Echo เดียวกัน นั่นคือทำให้ประสิทธิ์ภาพในการแยกเป้าทางระยะลดลง รวมทั้งทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับเป้าระยะใกล้สุดเสียไปด้วย เนื่องจากถ้ามีเป้าในระยะใกล้กับเรดาร์มากๆ สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้า จะมาเข้าสายอากาศเรดาร์ในขณะที่เครื่องส่งกำลังทำงานอยู่ (เนื่องจากเรดาร์มีช่วงเวลาส่งนาน) จะมีผลทำให้ไม่มี Echo ปรากฏบนจอ PPI เรดาร์ควบคุมการยิงจะมี Pulse Width แคบ



5) ความกว้างของลำคลื่น (Beam Width) มีผลต่อการแยกเป้าทางแบริ่ง เรดาร์จะแพร่คลื่นออกทางสายอากาศเป็นลำคลื่นแคบ ๆ (Pencil – Shaped) ดังนั้นการออกแบบสายอากาศที่ดี จะทำให้ได้ลำคลื่นแคบ ๆ และ Beamwidth ที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เรดาร์มีประสิทธิ์ภาพในการแยกเป้าทางข้าง (Bearing) เมื่อเป้าจำนวนมากอยู่ในตำบลที่ใกล้เคียงกัน เรดาร์ที่ต้องการความละเอียดในการแยกเป้าสูง จะมี Beam Width แคบ

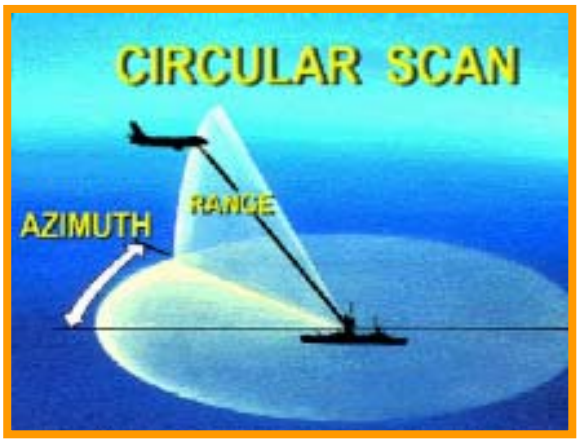
- ความกว้างของลำคลื่น ขึ้นอยู่กับขนาดของสายอากาศและความถี่
- ความกว้างของลำคลื่นทางตั้งเป็นตัวกำหนดการแยกเป้าทางความสูง
- ความกว้างของลำคลื่นทางแนวนอนเป็นตัวกำหนดการแยกเป้าทางแบริ่ง



6) กำลังส่ง (Power Output) คือพลังงานที่ใช้ในการส่งห้วงคลื่น ถ้า Peak Power สูง ระยะในการตรวจจับก็จะไกลขึ้น

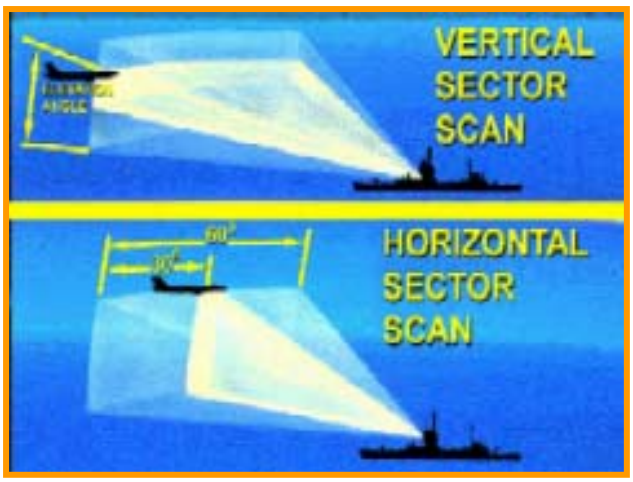
7) ลักษณะการกวาดของสายอากาศเรดาร์ มีหลายแบบด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะที่ใช้กันโดยทั่วไปในเรดาร์ประเภทต่างๆในปัจจุบันเท่านั้น ในเบื้องต้นการวิเคราะห์ลักษณะการกวาดของสายอากาศเรดาร์ ทำให้ทราบประเภทของเรดาร์ได้

ก. กวาดรอบทิศ (Circular) เพื่อค้นหาและวัดแบริ่งระยะรอบตัวใช้กับเรดาร์ตรวจการณ์ทางอากาศ และเรดาร์ตรวจการณ์พื้นน้ำ



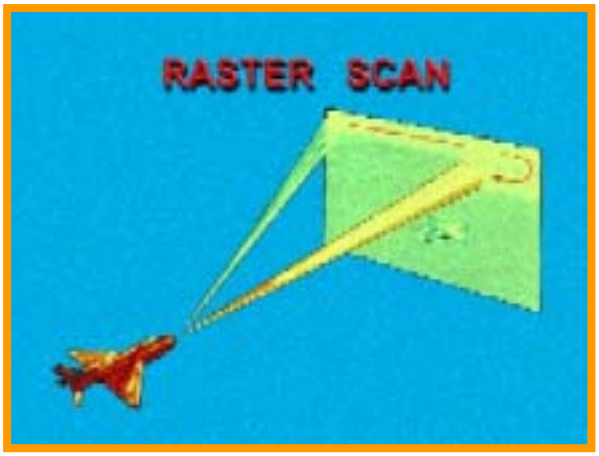
ข. กวาดในแนวนอน (Horizontal Sector) สำหรับค้นหาและวัดแบริ่ง-ระยะเป้าในพื้นที่จำกัด

ข. กวาดในแนวดิ่ง (Vertical Sector) สำหรับค้นหาและวัดมุมกระดก-ระยะเป้าในพื้นที่จำกัด

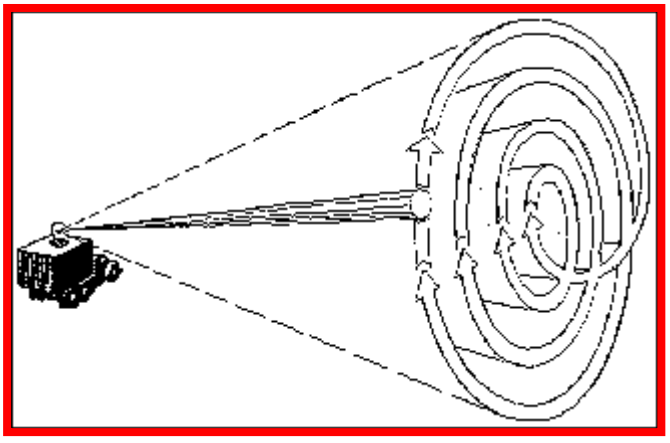


ง. การกวาดของสายอากาศแบบ คงที่ (Steady) เป็นการกวาดของสายอากาศในลักษณะจ่อไปยังเป้า มักใช้กับเรดาร์ควบคุมการยิง และเรดาร์ที่ หัวจรวดนำวิถีตัวสายอากาศจะไม่เคลื่อนที่แต่จะ หมุนที่ตัว Feeder แทน

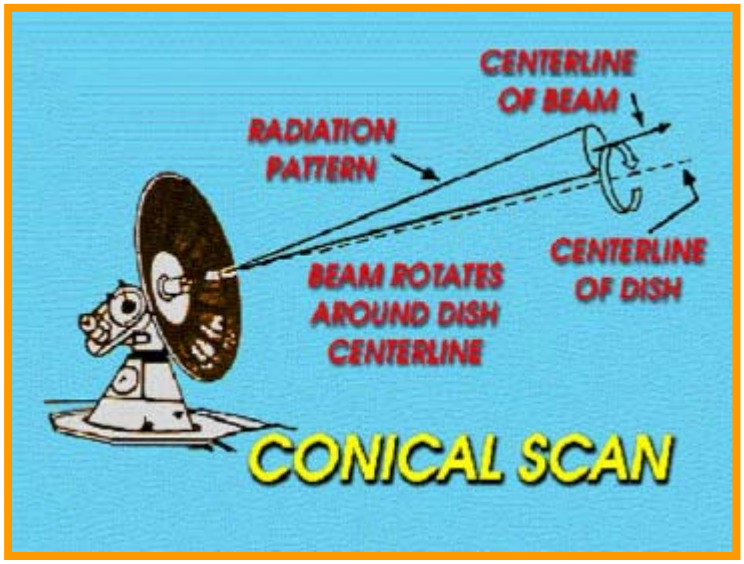
จ. การกวาดแบบราสเตอร์ (Raster) เป็นการกวาดบีมสายอากาศในลักษณะคล้ายการกวาดหน้าจอโทรทัศน์ โดยบีมจะกวาดในทางระดับ และกวาดยกขึ้นในมุมต่างๆ กันทีละน้อยลักษณะจอจะเป็นสี่เหลี่ยม ใช้กับเรดาร์ค้นหาเป้าอากาศยาน



ฉ. การกวาดแบบก้นหอย (Spiral) เป็นการกวาดลักษณะม้วนเป็นวงกลมคล้ายก้นหอย มักใช้กับเรดาร์ที่ติดตั้งบนอากาศยาน



ช. Conical Scan การกวาดแบบนี้เรดาร์จะจี้สายอากาศไปที่เป้าและหมุน Beam เป็นวงกลมรอบๆ เป้า**รัศมีไม่เกิน 3 องศา** ถ้าสายอากาศชี้ตรงเป้าพอดี เป้านั้นจะอยู่กึ่งกลางวงกลมของBeam และ เมื่อเรดาร์ส่งข้อมูลไปให้คอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะรู้ว่าสายอากาศชี้ตรงเป้าแล้ว และจะพยายามรักษาตำแหน่งนี้เอาไว้ และจะถือว่าเรดาร์ได้ “Lock On” เป้าได้แล้ว ใช้กับเรดาร์ควบคุมการยิง



4. เรดาร์ประเภทต่างๆ

4.1 เรดาร์ ๒ มิติ (2-D - Two Dimension Radar)

1) เรดาร์พื้นน้ำ (Surface Radar) ระยะตรวจจับเป้าขึ้นอยู่กับระยะขอบฟ้า จะใช้ความถี่สูง เพื่อให้มีขีดความสามารถในการตรวจจับเป้าเล็ก ๆได้ ใช้ Pulse Width สั้น Beam Width กว้าง PRF สูง

2) เรดาร์ตรวจการณ์ทางอากาศ (Air Search Radar) ใช้ความถี่ต่ำเพื่อให้ตรวจจับได้ระยะไกล Pulse Width ยาว Beam Width แคบ และ PRF ต่ำ อาจใช้การกวาดสายอากาศแบบ Vertical Sector

3) เรดาร์วัดความสูง (Height Finding Radar) ออกแบบเพื่อหาความสูงของเป้าอากาศยาน ใช้ความถี่สูงกว่าเรดาร์อากาศเพราะไม่จำเป็นต้องตรวจจับในระยะไกล Pulse Width และ กำลังส่งน้อยกว่าเรดาร์อากาศ เรดาร์ประเภทนี้ Horizontal Beam Width แคบมาก เพราะต้องการความละเอียดในการหาความสูง ให้ข้อมูลทางความสูงให้ บ.ขับไล่ และ ป้อนมุมกระดกให้ เรดาร์ควบคุมการยิง

4) ข้อสังเกตคุณลักษณะของเรดาร์ค้นหา ชนิด ๒มิติทั้ง ๓ ประเภทสรุปได้ดังนี้

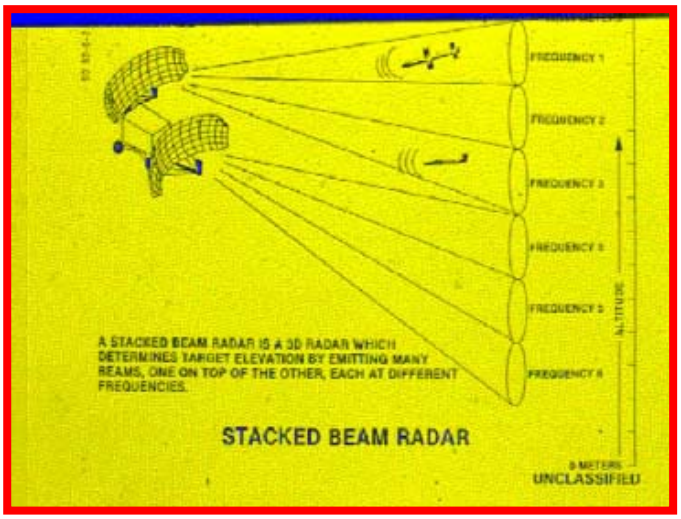
(1) Horizontal Beam Width ไม่ควรกว้างมากเพราะจะทำให้การแยกเป้าทางข้าง(แบริ่ง)ไม่ดี และจะทำให้เป้าที่ปรากฏบนจอภาพใหญ่กว่าความเป็นจริง

(2) Vertical Beam Width ของเรดาร์อากาศยิ่งกว้างจะยิ่งทำให้การตรวจจับเป้าอากาศยานที่บินสูงได้ดี

4.2 เรดาร์ ๓ มิติ (Three Dimension Radar - 3 – D) คือ เรดาร์ที่มีขีดความสามารถในการค้นหาเป้าได้ทั้ง แบริ่ง ระยะ และ ความสูง ซึ่งมีความจำเป็นสำหรับเรดาร์ตรวจการณ์ทางอากาศในปัจจุบัน ในอดีตต้องใช้เรดาร์ตัวหนึ่งหาข้อมูลทางแบริ่งและระยะ ส่วนอีกตัวหนึ่งสำหรับหาความสูง ซึ่งในทางปฏิบัติจะไม่ทันเหตุการณ์ เนื่องจากอากาศยานที่เข้ามาโจมตีจะต้องเปลี่ยนเข็ม ความเร็ว และความสูงตลอดเวลา และทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนเข็ม ความเร็ว และความสูงเรดาร์ทั้ง ๒ ตัวจะต้องหาข้อมูลใหม่ทุกครั้งซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างเรดาร์ทั้ง ๒ ตัว เหตุผลดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาเรดาร์ ๓ มิติขึ้นมา เพื่อใช้เรดาร์เพียงตัวเดียวในการหาข้อมูลทั้ง ทางแบริ่ง ระยะ และความสูง เรดาร์ ๓ มิติแบ่งออกอย่างกว้างๆ ได้ ๒ แบบคือ

1) □

2) เรดาร์ ๓มิติแบบ Stacked Beam เรดาร์แบบนี้จะส่งห้วงคลื่นด้วยความถี่ต่างๆกันหลายความถี่ในแนวดิ่ง จนกลายเป็น Vertical Beam จากมุมต่ำไปจนถึงมุมสูงขึ้นตามลำดับ สายอากาศหมุนแบบรอบทิศ หรือ Sector เมื่อเป้าอากาศยานบินผ่าน ห้วงสัญญาณเรดาร์ความถี่ใด เรดาร์ก็จะคำนวณได้ว่าอากาศยานนั้นบินสูงเท่าใด เรดาร์ ๓ มิติแบบ Stacked Beam เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปเนื่องจากสามารถ นำ บ.ขับไล่เข้าสกัดกั้น เป้าอากาศยานที่เป็นภัยคุกคามได้อย่างแม่นยำมาก

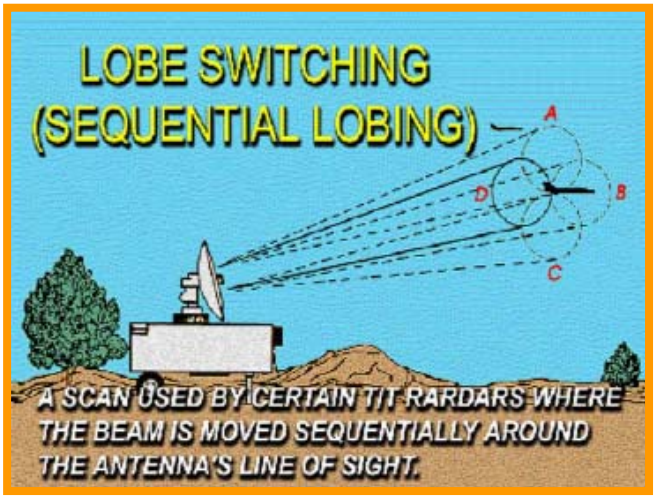


3) เรดาร์ ๓ มิติแบบ Frequency Scanning หรือ Frescan เรดาร์แบบนี้มีลักษณะการกวาดของสายอากาศ ๒ ลักษณะในสายอากาศเดียวกัน โดยสายอากาศจะหมุนรอบทิศโดยใช้มอเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลทางระยะ และแบริ่ง ในขณะที่ Vertical Beam จะกวาดจากล่างสุดขึ้นไปบนสุด แล้วสลับขึ้น-ลงอย่างต่อเนื่องโดยใช้ความถี่ต่างๆกันการ กวาดของ Vertical Beam จะใช้การกวาดโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อรวมการกวาดของสายอากาศทั้งสองลักษณะเข้าด้วยกัน เราจะได้ข้อมูลทางระยะ และแบริ่ง จาก สายอากาศแบบหมุนรอบทิศ ส่วน ความสูง จะได้ข้อมูลจากการกวาดแบบ Vertical Sector โดยBeamมีรูปร่างกลมเล็ก เมื่อเป้าถูกตรวจจับด้วยความถี่ใด เรดาร์ก็จะประเมินผลและให้ข้อมูลของเป้านั้น เป็นแบริ่ง ระยะ และความสูง

4.3 เรดาร์ติดตามเป้า และ เรดาร์ควบคุมการยิง (Tracking Radar – Fire Control Radar) คือเรดาร์ที่สามารถติดตามความเคลื่อนไหวของเป้าได้ตลอดเวลา และจะต้องสามารถคำนวณ เข็ม และความเร็วของเป้าจากข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงได้ด้วย จึงจะสามารถส่งข้อมูลของเป้าทั้งแบริ่ง ระยะ และความสูงให้กับระบบอาวุธต่างๆ หรือ ให้รายละเอียดเกี่ยวกับเป้าให้กับผู้บังคับบัญชาเพื่อเตรียมการในการสั่งการเข้าสกัดกั้นเป้านั้น การติดตามเป้าดังกล่าวมีวิธีการอยู่ ๒ แบบคือ

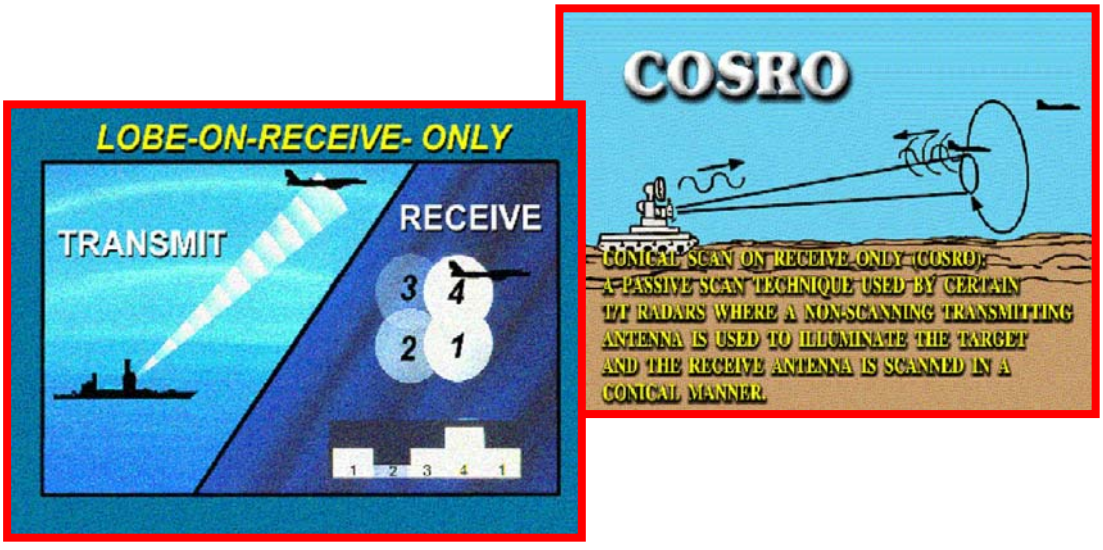
1) Continuous Tracking (Constant Error Tracking System) ใช้สำหรับติดตามเป้าเพียงเป้าเดียว ในการติดตามเป้าด้วยเรดาร์ประเภทนี้ Beamเรดาร์ต้องอยู่ที่เป้าเพียงเป้าเดียว โดยจะใช้วิธีทำให้ Beam ของสายอากาศ หมุนรอบ ๆเป้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เป้าอยู่ที่ศูนย์กลางของ Beam ตลอดเวลา ทุกครั้งที่เป้าเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของ Beam พื้นที่หน้าตัดของเป้าจะน้อยลง Echo เป้าก็จะจางลง ข้อมูลที่ได้ก็จะเริ่มผิดพลาด ระบบประเมินผลก็จะปรับให้สายอากาศกวาดไปดักหน้า เพื่อให้เป้าอยู่กลาง Beam ต่อไป ขณะที่เป้าอยู่กลาง Beam จะถือว่า เรดาร์ “Lock On” เป้านั้น ระบบการกวาดของสายอากาศเรดาร์แบบ Continuous Tracking มีการกวาดหลายแบบ แต่ละแบบจะกวาดเพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของเป้าอย่างต่อเนื่องเพื่อ ให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัย ตลอดเวลา

(1) Lobe Switching Beamของเรดาร์จะหมุน เป็นวงกลมตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง โดยที่Lobe Switching จะเปลี่ยนBeamจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งโดยไม่มีการแพร่คลื่น ระหว่างที่เปลี่ยนตำแหน่ง Lobe จะเหลื่อมกันเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างในการหาข้อมูลเป้า การนำสายอากาศเข้าหาเป้าทำได้โดยระบบคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลที่ได้รับจากการสะท้อนกลับมาครั้งก่อนหน้า มาแก้อัตราผิดและส่งค่าให้สายอากาศหมุนในลักษณะที่จะทำให้ได้ Echo จากเป้าที่แรงเท่ากันทุกครั้ง

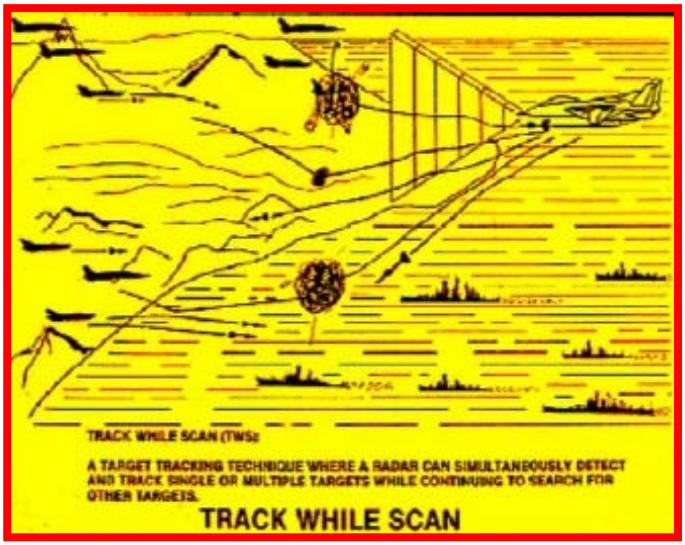


(2) Conical Scan การกวาดแบบนี้เรดาร์จะชี้สายอากาศไปที่เป้าแล้วหมุน Beam เป็นวงกลมรอบๆ เป้ารัศมีประมาณ 3 องศา ถ้าสายอากาศชี้ตรงเป้าพอดี เป้านั้นจะอยู่กึ่งกลางวงกลมที่ Beam หมุนไป และเมื่อเรดาร์ส่งข้อมูลไปให้คอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะรู้ว่าสายอากาศชี้ตรงเป้าแล้ว และจะพยายามรักษาตำแหน่งนี้เอาไว้ และจะถือว่าเรดาร์ได้ **"Lock On"** เป้าได้แล้ว แต่ถ้าเป้าเคลื่อนที่ออกจากกึ่งกลางวงกลมที่ Beam หมุนอยู่ จะถือว่าเรดาร์ถูก **"Break Lock On"** แล้ว ระหว่างที่ Beam ชี้ตรงเป้า Echo ก็จะเข้ม แต่ในขณะที่ Beam ชี้ไม่ตรงเป้า Echo ก็จะมีความเข้มที่แตกต่างกันไปตามความ ใกล้หรือไกลจากศูนย์กลางของ Beam จากเป้า

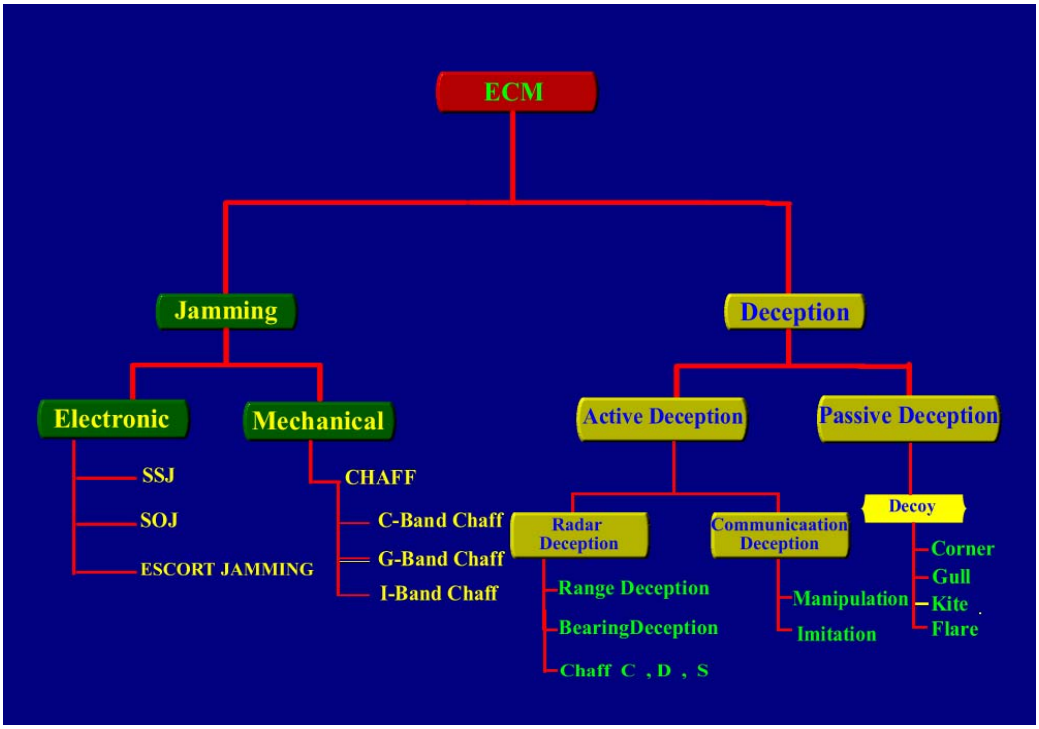
(3) Conical Scan on Receive Only (COSRO)และ **Lobe Switching On Receiver Only (LORO)** การทำงานแบบ Lobe Switching และ Conical scan อาจถูกก่อกวนได้ ถ้าข้าศึกรู้ลักษณะการหมุนของ Beam และช่วงเวลาในการหมุนใน 1 รอบ วิธีการก่อกวนคือเมื่อข้าศึกได้รับ Pulse จากเรดาร์แล้ว ฝ่ายข้าศึกจะ**รอเวลาชั่วขณะหนึ่ง**แล้วส่งสัญญาณที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณเรดาร์ของเรากลับไปอีก ทำให้เครื่องรับของเรดาร์เราได้รับข้อมูลไม่ถูกต้อง เนื่องจากเป้าจริงได้เคลื่อนที่ไปแล้ว จึงมีการพัฒนาโดยการใช้ Lobe Switching และ CONSCAN เฉพาะภาครับ โดยภาคส่งใช้สายอากาศแยกอีกชุดหนึ่ง (BI-Static Radar) เรียกเรดาร์แบบนี้ว่า Lobe Switching On Receiver Only LORO) และConical scan on receive only(COSRO) **แล้วแต่แบบของการกวาด** (Scan) ซึ่งถือว่าเป็น Passive Scan



(4) Track While Scan –TWS (Error Free Tracking System)สามารถติดตามเป้าได้ครั้งละหลายๆ เป้าพร้อมกันโดยมีหลักการทำงานคล้ายกระดานหนนั่นคือถ้ารู้ **M1** และ **M**2 ก็สามารถจะหา **M……**ได้ เรดาร์แบบ TWS จะใช้ข้อมูลของเป้า ๒ - ๓ ครั้งเป็นอย่างน้อยในการคำนวณหาเข็มและความเร็วเป้าโดยส่งข้อมูลตำบลของเป้าที่ได้แต่ละครั้งไปให้คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณ นอกจากนั้นยังสามารถคำนวณหาตำบลที่ ของเป้าล่วงหน้าได้อีกด้วย



5. มาตรการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ECM) เป็นมาตรการป้องกันหรือลดขีดความสามารถในการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายข้าศึก ด้วยการรบกวน (Jamming) และ การลวง (Deception) วัตถุประสงค์ที่สำคัญของระบบ ECM คือ การทำลายการหาข้อมูลของฝ่ายตรงข้ามหรือการ ทำให้ฝ่ายตรงข้ามได้ข้อมูลที่ผิดพลาดไปใช้งาน



5.1 วัตถุประสงค์ของมาตรการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ECM)

1) เพื่อป้องกัน หรือลดประสิทธิภาพในการติดตามเป้าฝ่ายเดียวกันจากฝ่ายข้าศึก

2) ลดประสิทธิภาพในการประมวลผลของระบบควบคุมการยิงอาวุธของข้าศึก

3) ลดประสิทธิภาพในการควบคุม บังคับบัญชา

4) สร้างเป้าลวง เพื่อลวงเลียนระบบควบคุมการยิงอาวุธของข้าศึก

5) ลดประสิทธิภาพ ระบบเดินเรือของข้าศึก

6) เป็นภัยคุกคามระบบพิสูจน์ฝ่ายของข้าศึก ด้วยการก่อกวนระบบIFF

7) ลดประสิทธิภาพ ระบบศูนย์รวบ(Electro-Optical)

5.2 ยุทธวิธีที่ใช้ในการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์

1) Self-Screen Jammer

(1) เป็นการก่อกวนโดยใช้อุปกรณ์ที่เรือ หรืออากาศยานติดตั้งไว้ ทำการ Jamming เพื่อป้องกันตัวเองจากอาวุธนำวิถี

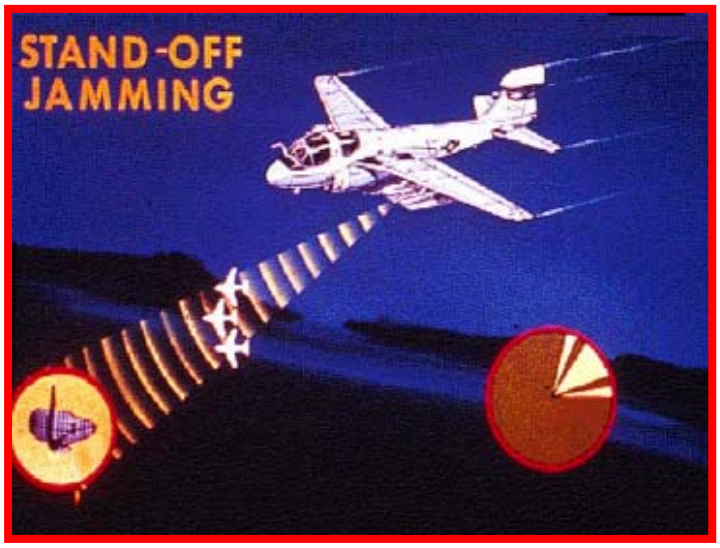
(2) ผลของการJamming จะมีผลกระทบถึงระบบSensor ของทั้งฝ่ายเดียวกันและฝ่ายข้าศึก เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ใช้พารามิเตอร์ใกล้เคียงกัน

2) Stand-Off Jammer

(1) ใช้นอกระยะตรวจจับของระบบควบคุมอาวุธของข้าศึก

(2) ใช้เพื่อเป็นฉากป้องกันกองกำลังโจมตี จากระบบควบคุมอาวุธของข้าศึก

(3) ปลอดภัยจากอาวุธนำวิถีชนิด Home-on Jam(HOJ)



3) Stand-Forward Jammer

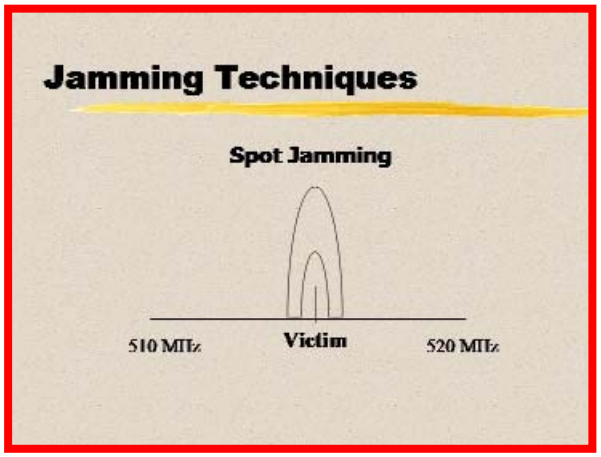
(1) เป็นการJamming ที่อยู่ระหว่างระบบควบคุมอาวุธของข้าศึกและกองกำลังโจมตี

(2) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเข้าใกล้ระบบควบคุมอาวุธของข้าศึก และไม่จำเป็นต้องใช้กำลังในการ Jamming มากนัก

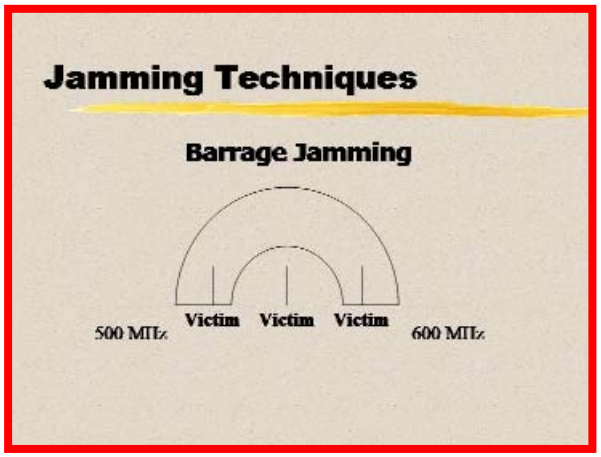
(3) ผลเสียคือ จะเป็นอันตรายกับหน่วยที่เข้าไปดำเนินการ Jamming จาก อาวุธนำวิถี ชนิด HOJ (Home-on Jam) และ ARM(Anti-Radiation Missile)

5.3 กรรมวิธีในการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์(Jamming Techniques) แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

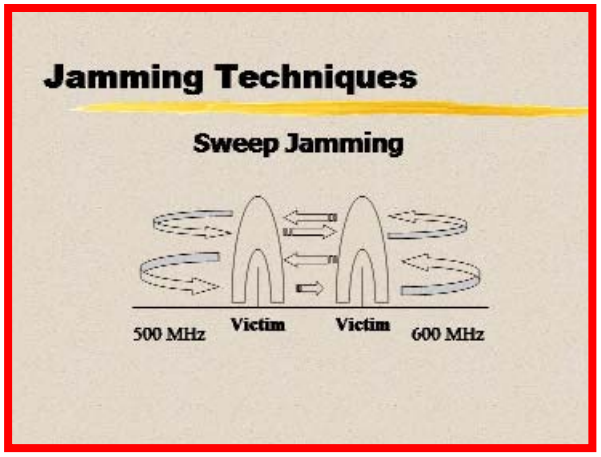
1) Spot Jamming หมายถึงการก่อกวนเฉพาะความถี่ที่ฝ่ายข้าศึกใช้งาน ต้องทราบพารามิเตอร์และ ความถี่ ที่แน่นอน เพื่อประสิทธิภาพในการก่อกวน



2) Barrage Jamming หมายถึงการก่อกวนย่านความถี่ ที่กว้างในเวลาเดียวกัน



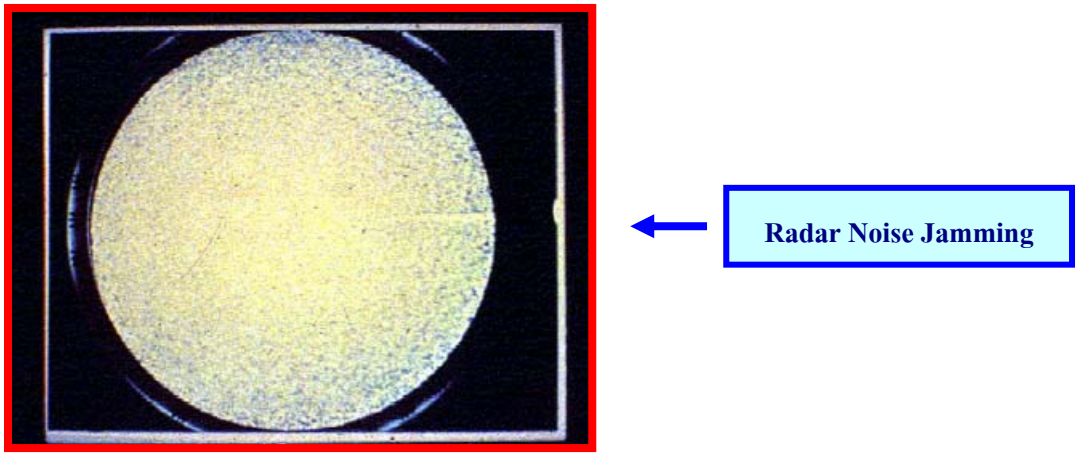
3) Swept Jamming หมายถึง การใช้ย่านความที่ ที่แคบ แต่กวาดไปมา ให้ครอบคลุมย่านความถี่ที่กว้างโดยการปรับความถี่โดยอัตโนมัติ



5.4 แบบของการก่อกวน (Types of Jamming) การก่อกวน (Jamming) หมายถึง**การส่งคลื่นความถี่สูง หรือการกระทำอื่นใดที่ไม่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** เพื่อวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ การทำงานของ เรดาร์หรือ อุปกรณ์ที่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึก เกิดการสับสน หรือประสิทธิภาพในการทำงานลดลง แบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ

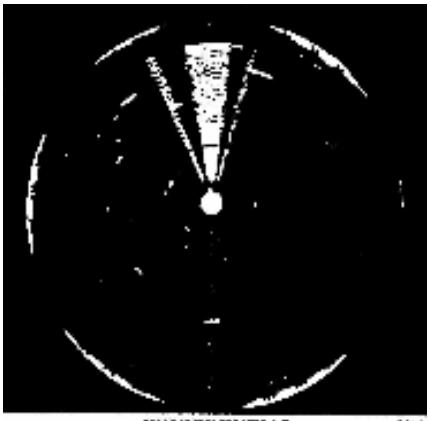
1) การก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์(Electronic Jamming) “Active ECM” หมายถึงการสร้างสัญญาณรบกวนที่ทำให้เกิดความสับสน ในการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายข้าศึก ซึ่งวิธีที่ใช้กันอย่างได้ผลคือ การก่อกวนแบบ Noise Jamming ซึ่งแบ่งออกเป็น Radar Noise Jamming และ Communication Jamming

(1) Radar Noise Jamming คือการแพร่คลื่นที่มีการผสมสัญญาณรบกวนเข้าไปในเครื่องส่งเรดาร์ของข้าศึก ซึ่งจะมีผลทำให้สัญญาณรบกวนบัง Echo เป้าขนาดเล็กอย่างสมบูรณ์ และจะลดความเข้มของ Echo เป้าที่มีขนาดใหญ่ลงไปบางส่วน หากมีการใช้การรบกวนที่แรงๆ จะทำให้สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นทั้ง Main Lobe และ Side Lobe ซึ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนกระจายทั่วทั้ง จอ PPI Radar Noise Jamming จะทำให้ข้าศึกสับสน และลดประสิทธิภาพในการใช้งาน แต่ในทางกลับกันอาจมีผลทำให้ฝ่ายข้าศึกรู้ถึงการเข้ามาของฝ่ายเรานอกระยะการค้นหาของเรดาร์ เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เรากระทำขึ้น นอกจากนั้นผลเสียที่อาจเกิดขึ้นอีกประการหนึ่งคือ จอ PPI ของเรือหรืออากาศยานฝ่ายเราอาจถูกรบกวนเช่นเดียวกับเรือของฝ่ายข้าศึก เนื่องจากสัญญาณรบกวนจะแพร่คลื่นเข้าไปใน Side Lobe ของเรดาร์ฝ่ายเราด้วย วิธีแก้การก่อกวนแบบ Noise Jamming ทำได้ง่ายคือ การลดเกณฑ์(Gain)ของเครื่องรับลง ซึ่งในปัจจุบันเรดาร์อาจจะทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อได้รับสัญญาณรบกวน และเมื่อ เรือหรืออากาศยานที่ถูกรบกวนลดเกณฑ์ของเครื่องรับลงระดับหนึ่ง จอ PPI ของเรือที่ถูกรบกวนจะปรากฏเป็นแถบหนาๆ ในทิศทางที่ถูกรบกวนซึ่งหมายถึงการเปิดเผยตำบลที่ของเรือหรืออากาศยานที่ส่งสัญญาณก่อกวน หากเป็นก่อกวนสัญญาณเรดาร์ของอาวุธนำวิถีที่สามารถเปลี่ยนการนำวิถีเป็นแบบ Home – On – Jamได้ ก็จะเกิดอันตรายอย่างใหญ่หลวงต่อเรือ หรือ อากาศยานที่ใช้การก่อกวนชนิดนี้



แถบแสงสว่างในรูปแสดงตำบลที่เรือ หรืออากาศยานที่ส่งสัญญาณรบกวน เมื่อฝ่ายถูกรบกวน ลด Gain ของเครื่องรับ

ตัวอย่างการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์



CONFIDENTIAL 074.

Figure 2-23.—(C) Synchronous pulse jamming.

CONFIDENTIAL 074.22

Figure 2-24.—(C) Asynchronous pulse jamming.

CONFIDENTIAL

074.2

Figure 2-25.—(C) AM-CW jamming.

CONFIDENTIAL.

074

Figure 2-26.—(C) FM-CW jamming.

(2) Communication Jamming คือการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผสม ด้วยสัญญาณรบกวนเข้า ไปในวงจรสื่อสารของข้าศึก วัตถุประสงค์เพื่อรบกวนและทำให้เกิดสับสนในวงจร แต่ประสิทธิภาพจะมากเมื่อรบกวนในระยะใกล้

(3) ลักษณะการก่อกวนการติดต่อสื่อสาร

- Noise การสุ่ม (Random) แพร่คลื่นวิทยุแบบ AM และ FM เพื่อก่อให้เกิด สัญญาณ รบกวน
- Saw การแพร่คลื่นวิทยุแบบ FM เพื่อก่อให้เกิดเสียงรัวๆ (Audio Warble)
- Random saw เหมือน Saw แต่มี การสุ่ม เปลี่ยนความถี่อย่างไม่มีระบบ
- Random Keying การรบกวนโดยใช้สัญญาณ CW
- Bagpipes สัญญาณรบกวนแบบ AM เพื่อก่อให้เกิดเสียง หลายๆ เสียง การรบกวนแบบนี้ มีประสิทธิภาพมาก สำหรับ การรบกวน การติดต่อทางวิทยุโทรศัพท์

5.5 มาตรการลดการสะท้อนคลื่นเรดาร์ (Radar Cross Section Reduction) เป็น Passive ECM (Anti-Radar Measures) มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดพื้นที่สะท้อนคลื่นเรดาร์ โดยออกแบบยานรบ ให้มี พื้นที่ในการสะท้อนคลื่นเรดาร์ให้น้อยที่สุด(Stealth Techniques) มีวิธีการดำเนินการดังนี้

- การลดการสะท้อนคลื่นเรดาร์โดยการจัดรูปร่าง ให้มีส่วนโค้งมนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และจะต้องมีพื้นที่น้อยที่สุดที่จะสะท้อนคลื่นเรดาร์
- การใช้วัสดุที่ดูดซับคลื่นเรดาร์เช่นวัสดุประเภทไดอิเลคตริค หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น เฟอร์ไรท์มาห่อหุ้มภายนอกของเรือ หรืออากาศยาน ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะเปลี่ยนพลังงานวิทยุให้เป็นพลังงานความร้อน

6. การลวง (Deception)

6.1 ประเภทการลวง

1) การลวงที่ใช้อุปกรณ์ ที่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Active Deception)

(1) การลวงการติดต่อสื่อสาร (Communication Deception) ส่งข่าวลวงเข้าไปในวงจรสื่อสารของข้าศึกโดยตรง เพื่อให้เข้าใจผิดว่าเป็นข่าวจริง หรือ ส่งข่าวลวงเข้าไปในวงจรสื่อสารของฝ่ายเรา เพื่อหวังผลให้ข้าศึกดักรับ และคิดว่าเป็นข่าวจริง ประสิทธิภาพในการลวงจะสูงขึ้นเมื่อ**ใช้การลวงหลายระบบพร้อมกัน**

(2) การส่งซ้ำสัญญาณการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายข้าศึก (Repeater Jammer) คือการส่งซ้ำ ความถี่ IR , Laser หรือ Active Radar ของ ระบบนำวิถีจรวดนำวิถี ให้เร็ว หรือช้ากว่า ตำบลที่จริงของยานรบโดยการลวงทางระยะ และ การลวงทางมุม

- การลวงทางระยะ(Range Deception) หรือ Range Gate Pull Off

- RGPO / Range Gate Stealing คือการส่งสัญญาณลวงด้วยการซ้ำสัญญาณเรดาร์ของข้าศึก สัญญาณลวงจะมีความแรงมากกว่าเนื่องจากเป็นสัญญาณที่ส่งจากเครื่องส่งโดยตรง (สัญญาณที่ส่งซ้ำนี้จะต้อง มีลักษณะเหมือนPulseของRadar มากที่สุด) พร้อมทั้งหน่วงเวลาให้ช้าหรือเร็ว กว่าเป้าจริงเล็กน้อย หลังจากนั้นก็ส่งสัญญาณนั้นออกไปใหม่ เนื่องจากสัญญาณที่เราส่งออกไปมีความแรงมากกว่าสัญญาณจริงและหน่วงเวลาให้ช้าลง หรือเร็วกว่าเป้าจริงเล็กน้อย จึงทำให้เรดาร์ของข้าศึก เปลี่ยนไป Lock onเป้าลวงที่มีขนาดใหญ่กว่าแต่เกิดขึ้นช้าหรือเร็วกว่าเป้าจริง มีผลทำให้เรดาร์ข้าศึกไม่สามารถติดตามและ Lock On เป้าจริงได้ทัน

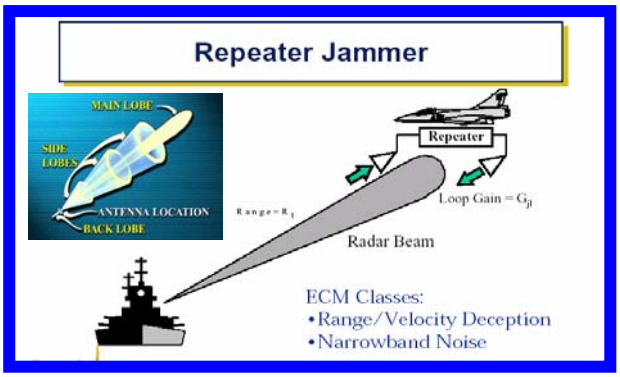
*** **หมายเหตุ** **<u>การติดตามเป้าทางระยะ</u>**อาศัยหลักการ Range Gate ที่เรดาร์ควบคุมการยิง(TWS) ผลิต Pulse ในเครื่องรับ เพื่อให้เรดาร์ติดตามเฉพาะเป้าที่กำหนดเท่านั้น โดยคอมพิวเตอร์จะคำนวณช่วงเวลาที่ต้องการที่ให้เครื่องรับของเรดาร์เปิดในแต่ละรอบสายอากาศ (ช่วงเวลาขึ้นอยู่กับระยะทางของเป้าที่จะติดตาม) เพื่อให้เป้าที่ติดตามถูกครอบโดย Range Gateตลอดเวลา ส่วนเป้าที่อยู่นอกRange Gate เรดาร์จะไม่สามารถรับได้ (เครื่องรับปิด) เพื่อป้องกันการรบกวนการติดตามเป้าที่กำหนด มีลักษณะการทำงาน 2 แบบ คือ

- การควบคุมด้วยพนักงาน (Manual) พนักงานจะนำRange Gate (กรอบสี่เหลี่ยม) ไปครอบเป้าเพื่อส่งข้อมูลเป้าให้ระบบอาวุธ และต้องเลื่อนRange Gate ตามเป้าตลอดเวลาที่ track เป้า
- การควบคุมโดยอัตโนมัติ (Automatic Tracking) จะมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วนคือ Early Gate และ Late Gate คอมพิวเตอร์จะปรับ Early Gate และ Late Gate ให้ได้รับความเข้มของสัญญาณเท่ากัน เพื่อให้ Range Gate ครอบกลางเป้าและส่งข้อมูลเป้าให้ระบบอาวุธถูกต้อง หากเป้าเริ่มจะเคลื่อนที่ออกนอก Range Gate ไปด้านใดด้านหนึ่ง คอมพิวเตอร์จะประเมินผล และปรับแต่ง Early Gate หรือ Late Gate ไปทางนั้น

- **การลวงทางมุม (Bearing Deception) หรือ Angle Gate Pull Off– AGPO** มีลักษณะคล้ายกับ การลวงทางระยะ แต่จะแตกต่างกันที่ เราจะส่งซ้ำสัญญาณเรดาร์ข้าศึกเข้าทาง Side Lobe (สัญญาณที่ส่งซ้ำ จะต้องมีลักษณะเหมือนPulse ของRadarมากที่สุด) ซึ่งจะทำให้สายอากาศเรดาร์ของข้าศึกหันผิดทิศไป มีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางแบริ่งและมุมกระดก โดยทั่วไปเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลวง จะใช้การลวงทั้งทางระยะ และทางแบริ่งควบคู่กันไป

*** **หมายเหตุ <u>การติดตามเป้าเชิงมุม</u>** อาศัยหลักการที่มีลักษณะการติดตามเป้า 2 แบบ คือ

1. ใช้การเคลื่อนที่ของ Beam เรดาร์ ในรัศมีแคบๆ รอบๆเป้า เพื่อแก้ อัตราผิดของตำบลที่เป้า กับแกนของสายอากาศครั้งก่อนหน้า ทุกรอบสายอากาศ ทำให้เรดาร์สามารถ Lock On เป้าตลอดเวลา เช่นหลักการของ Lobe Switching และ Conical Scan
2. ใช้หลักการ Monopulse Radar ที่การค้นหาเป้า โดยการกวาดที่ให้ข้อมูลทาง ระยะ แบริ่ง และ ความสูง(มุมกระดก)ของเป้าจาก Pulse เพียง Pulse เดียวในเรดาร์แบบ Monopulse นั้น Pulse ที่ส่งออกไปจะถูกแบ่งเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน และทุกส่วนจะ In phase กันในแต่ละSector จะใช้ Feed Horn แยกกัน Wave Guide จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนโดยป้อนสัญญาณเพื่อส่งออก และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามาแยกกัน



- การลวงทางมุมต่อเรดาร์ Lobe Switching และ Conical Scan การทวนซ้ำ และเพิ่มความเข้มของสัญญาณลวง พร้อมทั้งหน่วงเวลา และส่งสัญญาณลวงนั้นเข้าไปในLobe ของเรดาร์ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง(ตามรูปแบบการScan ของเรดาร์แต่ละชนิด) เมื่อเครื่องรับรับสัญญาณลวงได้ ก็จะปรับมุมสายอากาศผิดไปจากทิศทางที่เป้าอยู่จริง การค้นหาเป้าครั้งต่อไป เรดาร์จะต้องเริ่มกระบวนการค้นหาเป้าใหม่

2) การลวงที่ใช้อุปกรณ์ ที่ไม่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Passive Deception) เป็นการก่อกวนโดยไม่มีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ

- **Chaff**
- **Decoy**
  - **Corner**
  - **Gull**
  - **Kite**
  - **Flare**

(1) Chaff

- เป็นแถบโลหะซึ่งมีความกว้างเท่ากับ $\lambda/2$ ของความยาวคลื่น เรดาร์ข้าศึกที่จะใช้มาตรการลวง ใช้บรรจุในกระสุนปืนใหญ่ หรือ ในจรวด(Rocket) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ได้ทั้งก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ และ สร้างเป้าลวงเพื่อให้เรดาร์สับสน ดังนั้นก่อนจะปล่อยChaff ต้องวางแผนและกำหนดวัตถุประสงค์ให้แน่นอนว่า ต้องการจะให้ Chaff ก่อตัวเพื่อวัตถุประสงค์ใด ปริมาณ และความหนาแน่นในการใช้ Chaff แต่ละครั้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความถี่ของเรดาร์ ขนาดของกองกำลัง และ ตำแหน่งของเรือใน Screen

- การยิง Chaffบางครั้งจะให้เกิดเป็น Echo บนจอเรดาร์ คล้ายเป้า ๆ เดียว โดยต้องเว้นช่วงจังหวะให้พอเหมาะเพื่อให้พนักงานเรดาร์ สามารถแยก Echo เป้าในกลุ่มChaff ที่ยิงออกไปเพื่อให้เสมือนเป็นเป้าจริง บางกรณี ต้องการให้เป็นแถบยาวบนจอเรดาร์ ก็จำเป็น ต้องยิงให้มีระยะห่างอย่างต่อเนื่อง ตามแนวทางที่ต้องการให้ปรากฏ

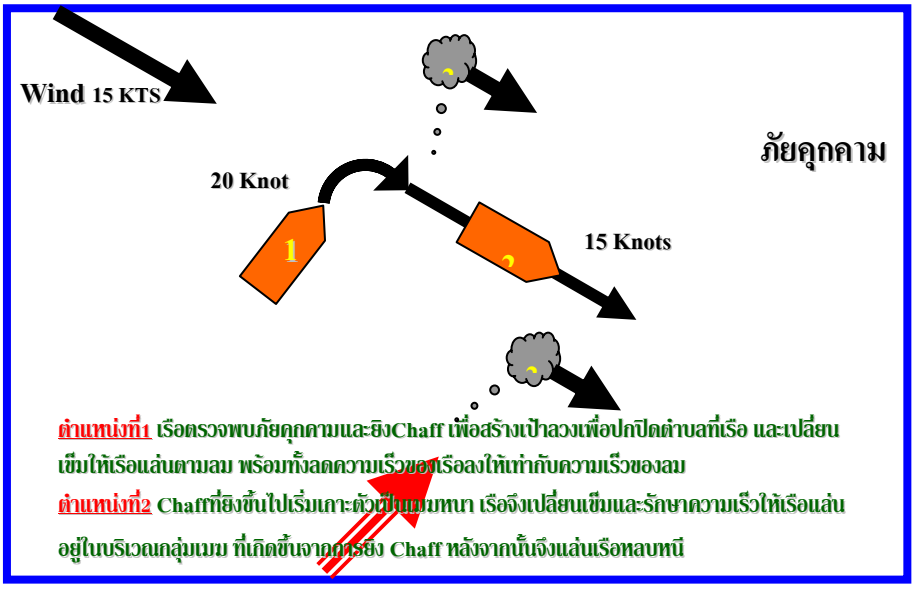
-Chaff มีประสิทธิภาพ ในการใช้สร้างเป้าลวงอากาศยาน และ เรดาร์ควบคุมการยิง หรือระบบนำวิถีของอาวุธปล่อย เมื่อใช้Chaff ในวัตถุประสงค์นี้ เราต้องปล่อยChaffแบบสุ่ม และในช่วงจังหวะที่เหมาะสม(Chaff C , Chaff D และ Chaff S) เพื่อให้Break Lock On หรือก่อให้เกิดเป้าลวงเพื่อให้เกิดสับสน

-Chaff ที่ใช้ในการลวงเป้าอากาศยาน และ เรดาร์ระบบนำวิถีของอาวุธปล่อยหากการก่อตัวมีความหนาแน่นมากพอ อาจมีผลทำให้ลูกปืนแบบเฉียดระเบิด(Proximity Fuze) หรืออาวุธนำวิถีระเบิดก่อนถึงเป้าจริง

- **การใช้ Chaff ทางยุทธวิธี**

- **Confusion (Chaff –C)** เพื่อให้พนักงานเรดาร์ควบคุมการยิง ของข้าศึก สับสนเป้าลวงที่เกิดขึ้น ทำให้เสียเวลาในการค้นหาและ Lock On เป้า จะปล่อยเมื่อเรดาร์ควบคุมการยิงของข้าศึกเริ่มเดิน ก่อนที่ข้าศึกจะยิงอาวุธปล่อยนำวิถี ระยะยิงห่างเรือประมาณ 2000– 4000 เมตร

การนำเรือหลบหลีกหลังการยิง Chaff - C



- **Distraction (Chaff –D)** เพื่อให้ระบบนำวิถีของอาวุธปล่อยข้าศึกสับสน โดยเป้าลวงที่เกิดจาก Chaff –D นี้ ไม่จำเป็นต้องมี RCS ใหญ่เท่าเป้าจริง แต่ต้องปล่อยที่ระยะ และทิศทางที่เหมาะสม (ประมาณ 1000 เมตรจากเรือยิง) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะยิงในช่วงที่ ระบบนำวิถีของอาวุธปล่อยกำลังค้นหาเป้า

- **Seduction (Chaff –S)** เพื่อให้ระบบนำวิถีของอาวุธปล่อย ซึ่ง Lock On เป้าแล้ว เปลี่ยนไป Lock On เป้าลวงแทน เป้าลวงต้อง RCS และความเข้มมากกว่าเป้าจริง ระยะยิงที่เหมาะสมจะต้อง ใกล้เคียงหรือน้อยกว่า Pulse Width ของ เรดาร์ระบบนำวิถีของอาวุธปล่อยถึงเรือเป้า (very close -- less than a missile radar pulse width -- to the target ship.) โดยยิงChaff ในทิศลมจริงและให้ Chaff ลอยผ่านเรือ ระบบนำวิถีของอาวุธปล่อยจะ Lock On เป้าที่ใหญ่กว่า

การหลบหลีกอาวุธนำวิถีโดยใช้ Chaff - S

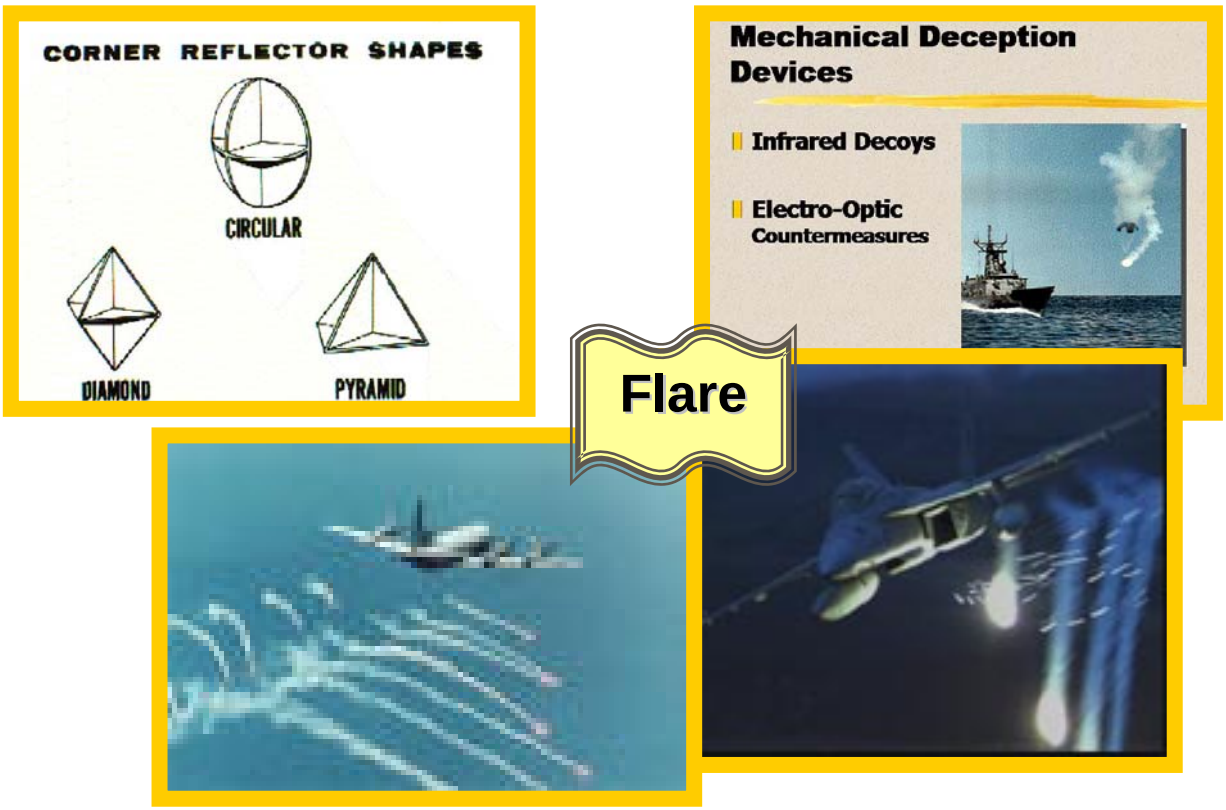
(2) Decoy เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเป้าลวงเพื่อให้เรดาร์ข้าศึกสับสน และประเมินค่าว่าเป็น ยานรบประเภทต่างๆตามลักษณะการลวง

- Corner Reflector เป็นแถบสะท้อนคลื่นเรดาร์ ใช้ติดตามมุมต่างๆ ของเรือ หรือทุ่นลอยน้ำ เมื่อเรดาร์ข้าศึกตรวจพบสัญญาณที่สะท้อนกลับไปเข้าเครื่องรับ จะปรากฏเป็นเป้าที่มีขนาดใหญ่กว่าความเป็นจริง

- **Gull** เป็นวัสดุสะท้อนคลื่นเรดาร์ติดไว้กับทุ่นลอยน้ำ เพื่อสร้างเป้าลวงให้ข้าศึกคิดว่าเป็นเรือ

-Kite เป็นวัสดุสะท้อนคลื่นเรดาร์ ติดไว้กับลูกบอลลูน เพื่อสร้างเป้าลวงให้ข้าศึกคิดว่าเป็น เครื่องบิน

Passive Deception



(3) Flare เป็นวัสดุความร้อนที่อยู่ในย่านความถี่ Infra-red (10^{12} - 10^{14} Hz หรือ 3 Micron) ที่เกิดจากแมกนิเซี่ยม ที่ถูกปล่อยในทิศทางที่ทำให้ยานรบปลอดภัยจากการทำลายของจรวดนำวิถีด้วยความร้อนเนื่องจากระบบนำวิถีของจรวดจะโคจรเข้าหาเป้าลวงที่มีความเข้มของสัญญาณมากกว่า

7.มาตรการตอบโต้การก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ECCM) เป็นมาตรการที่จะรักษาขีดความสามารถในการใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเรา อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าจะถูกฝ่ายตรงข้ามก่อกวน โดยทั่วไประบบ ECCM จะถูกออกแบบมาพร้อมกับเครื่องเรดาร์แล้วเพื่อเป็นการป้องกันการรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

7.1 การป้องกันการตรวจจับการแพร่คลื่น (ANTI-ESM)

1) การใช้มาตรการควบคุมการแพร่คลื่น (Emission Control-EMCON) เช่นการงดใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบางประเภท เช่น เรดาร์ หรือ การส่งวิทยุ ตามห้วงเวลาที่กำหนด หรือ งดการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดตามคำสั่ง หรือในพื้นที่ ที่กำหนด แต่การงดการแพร่คลื่นเป็นเวลานานๆ อาจเป็นผลเสียในการปฏิบัติภารกิจ หรือ ความปลอดภัย ในการเดินเรือ หรือเดินอากาศ

2) การหลบหลีกทางยุทธวิธี เช่น การบินต่ำเพื่อหลบการตรวจจับของเรดาร์หรือใช้การเดินเรือ หรือ เดินอากาศใกล้ฝั่ง หรือ เกาะเพื่อให้เป้ากลมกลืนกับแนวขอบฝั่ง

7.2การใช้มาตรการลดประสิทธิภาพการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึก (ANTI-ECM)

1) การใช้เรดาร์ ที่มีระบบเปลี่ยนความถี่เมื่อถูกรบกวน หรือตามช่วงเวลาที่เหมาะสม(Frequency Agility) การใช้ระบบเรดาร์ที่แยกเครื่องรับ และ เครื่องส่งออกจากกันเพื่อป้องกันการก่อกวน (Bi-Station Radar) รวมทั้งการใช้ Automatic Gain Control (AGC) เมื่อทราบว่าถูกรบกวน

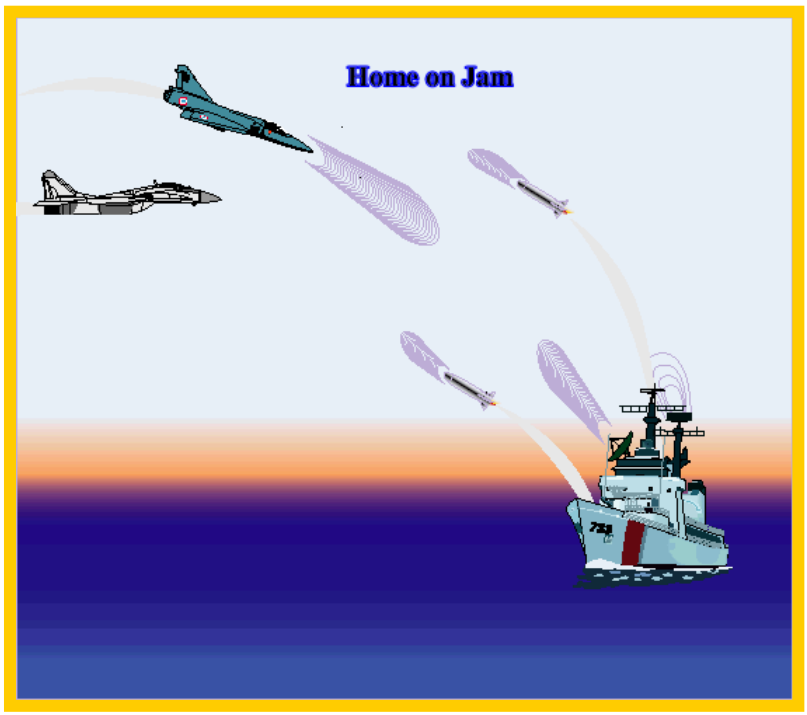
2) การใช้เครื่องรับ-ส่งวิทยุแบบ Frequency Hopping หรือการใช้ระบบการรหัสที่เหมาะสมในวงจรสื่อสาร

3) การฝึกพนักงานให้มีความชำนาญและรู้จักรูปแบบการรบกวนชนิดต่างๆ รวมทั้งฝึกแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าให้เกิดความชำนาญ

4) การตอบโต้การใช้ Chaff โดยการสังเกตทิศทางและความเร็วลม ว่ามาทางทิศใดและความเร็วเท่าใด หากเป้าเคลื่อนที่ไปในทิศทางและความเร็วใกล้เคียงกับลม ก็สามารถพิจารณาเบื้องต้นว่า เป็นเป้าลวง

5) อันตรายที่เป็นภัยคุกคามต่อระบบเรดาร์ที่ร้ายแรงคือ Anti-radiation Missile (ARM) เพราะฉะนั้นหากเราใช้เรดาร์ที่สามารถตรวจจับ ARMได้(Infrared Seveillance Radar หรือ Laser Warning receiver) เราสามารถตอบโต้โดยใช้เป้าลวงทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่นการสร้างเครื่องส่งเรดาร์ขนาดเล็กเพื่อทำการแพร่คลื่นขณะถูกต่อต้าทางอิเล็กทรอนิกส์ และเลิกเครื่องส่งเรดาร์จริง เพื่อสร้างความสับสนให้ระบบSensor ของ ARMที่มีต่อเรดาร์จริง

6) การใช้อาวุธนำวิถีแบบ Home-on Jam (HOJ) เพื่อทำลายเรือ หรือเครื่องบิน ที่ทำการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ต่อฝ่ายเรา



8.วงจรต่างๆของของเรดาร์ที่ใช้ในมาตรการ ECCM

1) ATC (Automatic Tune Control) ปรับแต่งความถี่ที่ เปลี่ยนแปลงไปจากที่เครื่องส่ง ส่งออกไปให้ถูกต้องโดยอัตโนมัติON ตลอด ยกเว้นเวลา Tune เครื่อง

2) STC (Sensitivity Tune Control) ลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก คลื่น(Sea Return) ในระยะไม่เกิน 5,000 หลา

3) IAGC (Instantaneous Automatic Gain Control) ลดความเข้มของสัญญาณที่เกิดจากเป้าที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถ ค้นหาเป้าที่มีขนาดเล็กที่อยู่ในบริเวณนั้นได้ หลังจากสถานการณ์ผ่านไปจะกลับไปอยู่ในสภาพเดิมโดยอัตโนมัติเช่น เมฆหนาใหญ่ แนวชายฝั่ง

4) FTC (Fast Time Constance) ลดช่วงเวลาในการแสดงผล เป้าที่มีขนาดใหญ่ เพื่อเปิดโอกาสให้เป้าที่มีขนาดเล็กมีการแสดงผลนานขึ้น

***** ความแตกต่างของ IAGC กับ FTC คือ**

-IAGC มีผลต่อขนาดความเข้มของสัญญาณ(Amplitude)

-FTC มีผลต่อช่วงเวลาในการแสดงภาพบน PPI (Video)

5) IAGC และ FTC เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Anti-Jam Circuit มีประสิทธิภาพในการ ลดสัญญาณที่เกิดจากการถูก ก่อกวน (Jamming)

6) CFAR (Constant False Alarm Rate) ลดความไวของเครื่องรับ และรักษาระดับความแรงของสัญญาณให้คงที่ พร้อมทั้งเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจจับเป้าใน Sector ที่มี Noise Jammer

7) ANL (Automatic Noise Level) ใช้ป้องกัน Noise Jammer เป้าขนาดเล็กอาจจางหาย เมื่อใช้ปุ่มควบคุมนี้

8) MG (Manual Gain) ปุ่มควบคุมนี้มีความอ่อนตัว ในการใช้งานเนื่องจากพนักงานเป็นผู้ควบคุมเอง

9) AGC (Automatic Gain Control) รักษาระดับความแรงของสัญญาณที่รับเข้ามา ให้คงที่ ใช้ป้องกันการก่อกวนด้วย Chaff และการก่อกวนที่มีลักษณะเป็นฉากกำบัง(Active Masking)

10) LOG (Logarithmic Receive) เหมือน AGC แต่มีวงจรกรอง ให้สัญญาณรบกวนลดลง ใช้ปุ่มควบคุมนี้เพื่อแก้ไข สัญญาณรบกวนที่เกิด ที่ Side Lobe

……

บรรณานุกรม

1. อทร. ๕๘๐๑ ทฤษฎีสงครามอิเล็กทรอนิกส์

2. Electronic Warfare ของ Brassey's

3. Naval Command and Control ของ Brassey's

น.ต. จิรภัส ศิลปกุล หน.หมวดสื่อสาร แผนกสื่อสาร

กองฝึกศูนย์ยุทธการ กองการฝึกกองเรือยุทธการ

มิ.ย. 2550

<u>เครื่องมือพิสูจน์ฝ่าย</u>

ความมุ่งหมาย

ก. เพื่อให้นักเรียนรู้จักเครื่องมือพิสูจน์ฝ่าย ในอดีตและปัจจุบัน

ข. เพื่อให้นักเรียนรู้จักระบบ IFF เบื้องต้น

ค. เพื่อให้นักเรียนรู้จักขั้นตอนและวิธีปฏิบัติในการพิสูจน์ฝ่าย

เนื้อเรื่อง

1. เครื่องมือพิสูจน์ฝ่ายแบ่งออกกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ ตามรูปแบบของการรบ คือ

1.1 การรบแบบประจัญบาน หรือการรบที่อยู่ในระยะสายตา

1) เครื่องแบบ การทาสีตามตัว เช่น อินเดียนแดง หรือ คนป่าในแอฟริกา

2) รูปแบบของอาวุธหรือสีของอาวุธ เช่น รูปแบบของดาบ กระบี่ หรือปืน

3) การใช้สัญญาณผ่าน (สัญญาณฝ่าย) เช่นการถาม อย่างหนึ่ง แต่ต้องตอบอีกอย่างหนึ่งตาม ตกลงกันไว้

4) ธงสี หรือ ธงเครื่องหมายต่างๆ เช่น ธงชาติธงราชนาวี หรือธงพาณิชย์นาวี

5) พลุสีต่าง ๆ เพื่อแสดงตำบลที่ของฝ่ายเดียวกัน

1.2 การรบสมัยใหม่ เครื่องบิน และพาหนะอื่นๆ ทำให้การรบเกิดขึ้นในระยะไกลๆ ไม่สามารถมองเห็น ด้วยตาเปล่า จึงทำให้การพัฒนา วิธีการในการพิสูจน์ฝ่ายให้ทันสมัยขึ้น

1) การสอบถามแผนบินทางข่ายการสื่อสาร เช่น การสอบถามแผนบินทางข่ายวิทยุ

2) การดักรับการติดต่อสื่อสารของข้าศึก ด้วย มาตรการดักรับการแพร่คลื่นอิเล็กทรอนิกส์ ESM (Electronic Support Measure) เพื่อให้ได้ตำบลที่ของข้าศึก แล้วทำการพิสูจน์ทราบหรือดำเนินการตามขั้นตอนที่ เหมาะสม

3) การกำหนดพื้นที่ห้ามบินในตำบลที่สำคัญทางยุทธศาสตร์ และ ยุทธวิธี โดยกำหนดเพดานบิน และ ทิศทางบิน รวมถึงเวลาห้ามบินผ่านให้เครื่องฝ่ายเดียวกันทราบ

4) การติดวัสดุสะท้อนคลื่นเรดาร์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของอากาศยาน หรือพาหนะอื่น ๆ เช่น ที่ปลายปีก แพนหาง หรือ ที่อื่น ๆ ที่เหมาะสม

5) กำหนดท่าทางบิน เช่น บินเป็นวงกลมวนทางซ้าย หรือ ขวา การโครงปีก รวมทั้งลักษณะอื่นๆ ตามที่ได้มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า

6) กำหนดเครื่องหมายพิเศษให้เห็นเด่นชัด เช่น รูปธงชาติบนหลังคาสะพานเดินเรือของเรือรบ และ เครื่องหมายตามปีก และ แพนหางของอากาศยาน

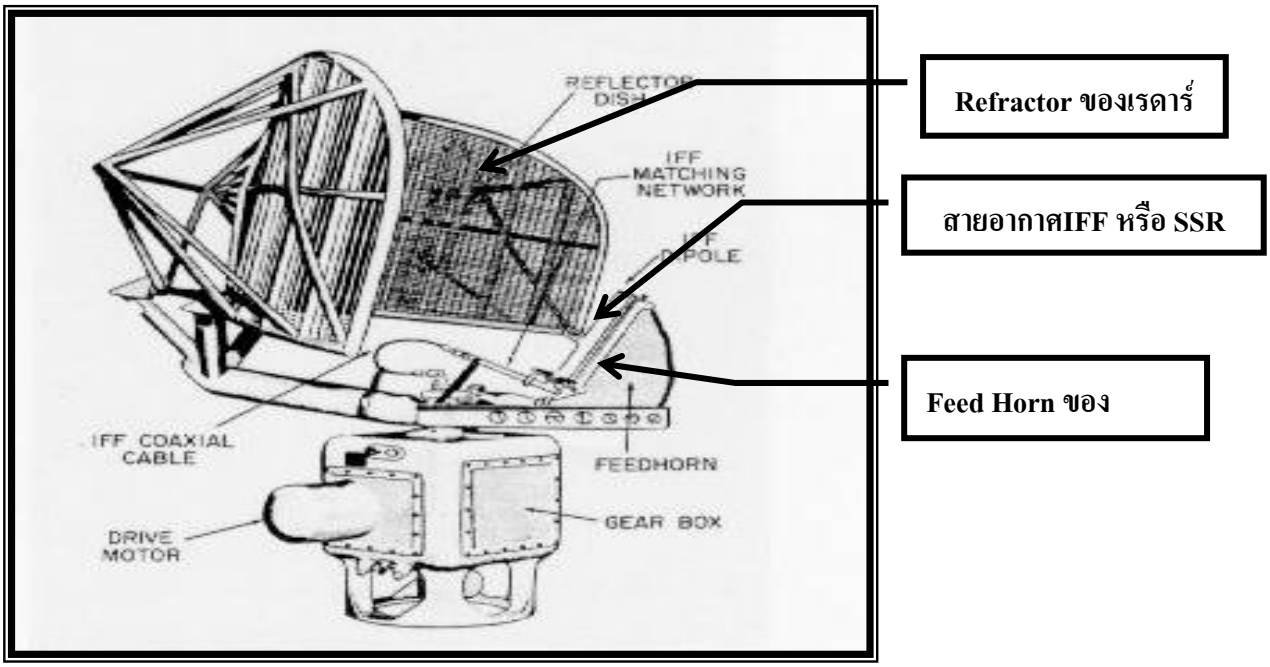
7) ใช้เครื่องบินหรือ เรือรบ ทำการพิสูจน์ฝ่าย

8) ใช้ระบบพิสูจน์ฝ่าย (IFF-Identification Friend or Foe)

<u>หมายเหตุ</u> ในการพิสูจน์ฝ่ายว่า เป็นอากาศยาน หรือ เรือของข้าศึก หรือฝ่ายเดียวกันนั้นจะต้องผ่านขั้นตอนการพิสูจน์ทราบหลายขั้นตอน เช่น เริ่มจากเครื่องมือพิสูจน์ฝ่าย ที่มีขีดความสามารถในการพิสูจน์ทราบไกลที่สุด หากไม่ได้รับคำตอบ หรือ การพิสูจน์ทราบยังไม่แน่ชัด ให้ใช้อุปกรณ์พิสูจน์ฝ่ายชนิดอื่น ตามลำดับจนพิสูจน์ทราบแน่นอนแล้วจึงเข้าดำเนินการสกัดกั้น หรือ ยกเลิกการสกัดกั้น เช่น ใช้เรดาร์ตรวจการณ์ระยะไกล ร่วมกับระบบ IFF หากไม่ได้สัญญาณตอบที่ถูกต้อง หรือไม่ได้รับการตอบเลย ให้ใช้อุปกรณ์หรือวิธีการอื่น เช่น การตรวจสอบแผนบิน เพราะเหตุผลของการไม่ตอบอาจเป็นเพราะอุปกรณ์ขัดข้อง

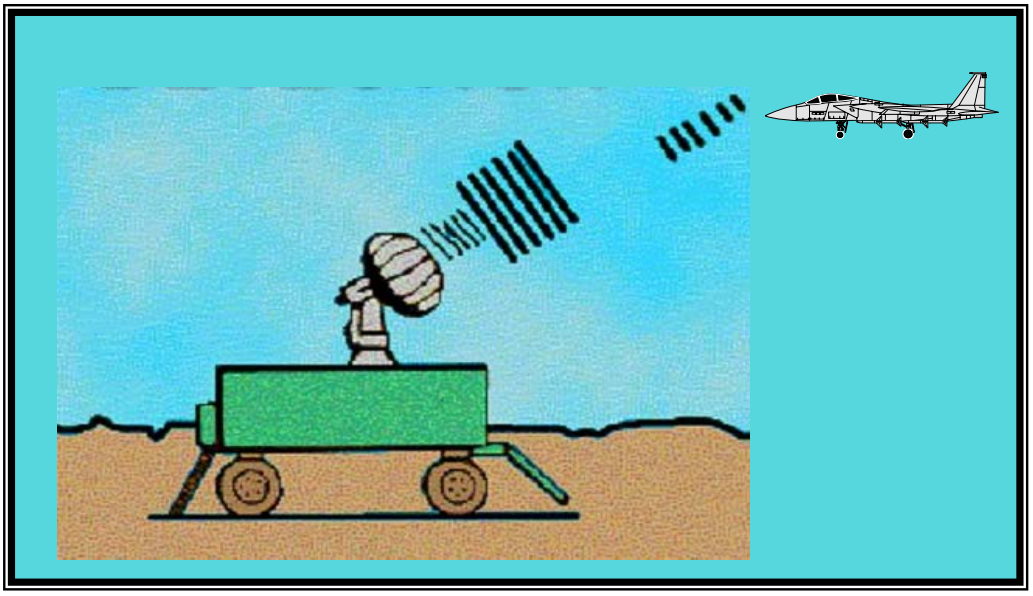
2. ระบบพิสูจน์ฝ่าย IFF (Identification Friend or Foe)

2.1 เป็นเครื่องมือทางทหารและพลเรือน ทางทหารเรียกอุปกรณ์นี้ว่า “IFF-Identification Friend or Foe” หรือทางพลเรือนเรียกอุปกรณ์นี้ว่า Secondary Surveillance Radar (SSR) ซึ่งโดยปกติจะทำงานร่วมกับระบบ RADAR หรือ Primary Radar โดยติดสายอากาศร่วมกัน

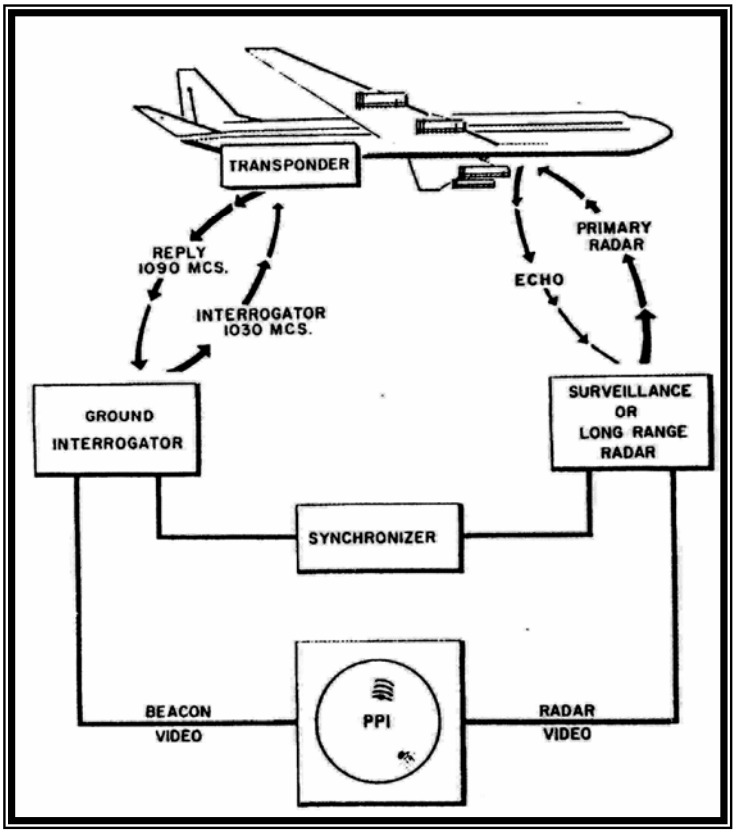


2.2 เรดาร์แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 ประเภท คือ

1) Radar หรือ Primary Radar คือเครื่องส่งจะส่งห้วงคลื่นวิทยุ (Pulse) ออกไปในอากาศด้วยย่านความถี่ของเรดาร์ (ประมาณ 1 – 100 GHz) เมื่อห้วงคลื่นวิทยุที่ส่งออกไปไปกระทบวัตถุบนพื้นโลก ก็จะสะท้อนกลับมาเข้าเครื่องรับ เครื่องรับก็จะประเมินผล และส่งไปที่ภาคแสดงผล (Display Unit) เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพ หรือ Echoไปปรากฏบนจอภาพ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า จอ PPI (Plan Position Indicator)



2) SSR หรือ IFF มีหลักการทำงานคือ เครื่องส่งของ Interrogator จะส่งสัญญาณถามไปเข้าเครื่องรับของ Transponder ซึ่งจะทำให้สัญญาณนี้ ไปกระตุ้น การทำงานของเครื่องส่งของ Transponder ให้ส่งสัญญาณตอบ ตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว ให้ไปเข้าเครื่องรับของ Interrogator สัญญาณตอบนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสูง หมายเลขของเป้า และความเร็ว รวมทั้งข้อมูล อื่นๆที่จำเป็น รวมถึงภารกิจของพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์นี้



3. วัตถุประสงค์ในการพัฒนา IFF/SSR

3.1 พิสูจน์ทราบเป้าที่ตรวจจับได้ด้วย Radar ว่าเป็นฝ่ายเดียวกันหรือฝ่ายข้าศึก

3.2 ติดตามและควบคุมอากาศยานฝ่ายเดียวกัน

4. พัฒนาการของระบบ IFF

4.1 IFF Mark X เป็น IFF ที่ได้รับการพัฒนาในช่วงแรก สัญญาณตอบจาก Transponder ยังไม่มี Information Pulse (Pulse Train/Pulse Group) ดังนั้นสัญญาณตอบจาก Transponder จะตอบแต่ Mode เท่านั้น เมื่อสัญญาณตอบตรงกับ Mode ที่ Interrogator ถามก็แสดงว่าเป็นฝ่ายเดียวกันจึงไม่สามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ในการพิสูจน์ฝ่ายได้อย่างแท้จริง สัญญาณตอบจาก Transponderในรุ่นนี้ Mode 1 และ Mode 3 จะมี Pulse เดียว ส่วนใน Mode 2 สัญญาณตอบจะ มี 2 Pulse ห่างกัน 16 μsec

4.2 IFF Mark X (SIF) (Selective Identification Feature) ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพิสูจน์ฝ่ายโดยการเพิ่ม Information Pulse (Pulse Train/Pulse Group ในสัญญาณตอบจาก Transponder เพื่อใช้แสดงฝ่าย แสดงภารกิจ แจ้งข้อมูลต่างๆที่สำคัญ เช่น เข็มความเร็ว และ ความสูง เพื่อควบคุมอากาศยานฝ่ายเดียวกัน IFF Mark X(SIF) มี Code ใน Mode ต่างๆ ดังนี้

Mode 1	32 Code
Mode 2	4096 Code
Mode 3	64 Code

4.3 IFF Mark X (A) คุณลักษณะเฉพาะทั่วไป เหมือน IFF Mark X (SIF) ยกเว้น Mode 3 มี 4096 Code ในส่วนของ SSR(Secondary Surveillance Radar)Mode C มีการแจ้งความสูงของอากาศยานโดยใช้ Barometer วัดความกดอากาศและแสดงความสูงของอากาศยานโดยอัตโนมัติ

4.4 IFF Mark XII (AIMS – Air Traffic Control Radar Beacon IFF MK XII Systems) มีคุณลักษณะเฉพาะทั่วไปเหมือน IFF Mark X (A) แต่มีการเพิ่ม Mode 4 ซึ่งเป็น Mode ที่ใช้ในยุทธวิธีทางทหารของประเทศสหรัฐ และ กลุ่มพันธมิตร NATO โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

4.4.1ใช้ในการควบคุมการจราจรทางอากาศ (ATC) ทั้งอากาศยานของทหารและพลเรือน ควบคู่ไปกับการพิสูจน์ฝ่าย อากาศยาน และเรือ

4.4.2 เข้ารหัส Information Pulse ถ้าTransponder ไม่สามารถถอดรหัสหรือ ตอบสัญญาณถามจาก Interrogatorได้ แสดงว่าเป็นฝ่ายข้าศึก (Active Interrogation) เนื่องจาก Mode นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ฝ่ายว่าเป็นฝ่ายเดียวกันหรือไม่เท่านั้น

5. Mode ที่ใช้ใน IFF และ SSR Mode ต่างๆที่ Interrogator ใช้ในการถาม (Pulse - Code) ทั้งของทางทหารและพลเรือน ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อให้ได้รับสัญญาณตอบ (Information Pulse) จาก Transponder ตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ดังนี้

5.1 Mode ของ IFF ใช้ทางทหาร

- **Mode 1** แสดงภารกิจของยานที่ติดตั้ง
- **Mode 2** แสดงลักษณะเฉพาะของยาน (PI – Personal Identification) เช่น แสดงหน่วยต้นสังกัด ในระดับต่างๆของเรือ และเครื่องบิน ตามตำแหน่งของ Code ที่กำหนดไว้
- **Mode 3** ใช้ในการควบคุมการจราจรทางอากาศ (ATC) ทั้งทางทหาร และพลเรือน
- **Mode 4** เป็น Secure Mode ใช้ในการ ยืนยันการเป็นฝ่ายเดียวกัน (Active Interrogation) โดยการเข้า รหัส Information Pulse (Encode)
- **Mode 5** (IFF Mk XII (A) เป็น Secure Mode เพิ่มขีดความสามารถของ Mode 4 ในการรักษาความปลอดภัย การพิสูจน์ทราบ การเป็นฝ่ายเดียวกัน (Active Interrogation)

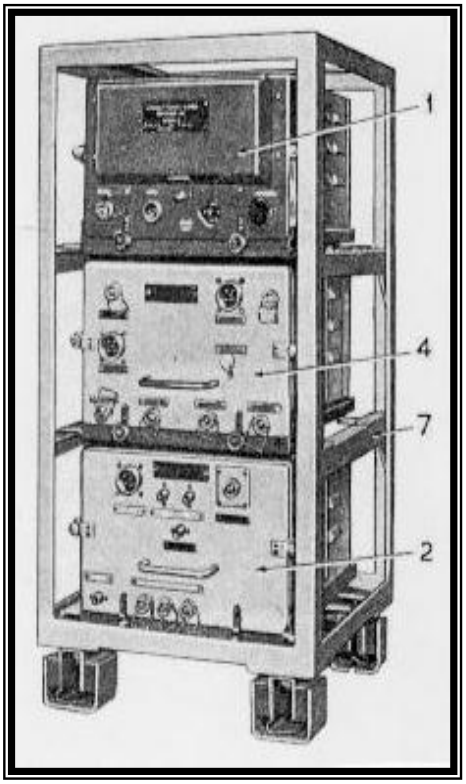
5.2 Mode ของ SSR ใช้ทางพลเรือน

- **Mode A** เป็น Modeพื้นฐานที่ใช้งานใน SSR และมีลักษณะการใช้งาน เหมือน IFF Mode 3ดังนั้นจึงเรียก Mode การทำงานนี้ว่า **"Mode 3/A"**
- **Mode B** มีการใช้งานน้อย และ ไม่สามารถจะใช้งานร่วมกัน IFF ของ ทางทหารได้
- **Mode C** เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องวัดความสูง (Barometric Altimeter Digitizer) ของอากาศยาน ใช้ในการแจ้งความสูงของอากาศยาน ทั้งทหาร และพลเรือน(ทางทหาร ใช้พิสูจน์ โดยให้ บ. หรือ ฮ.ระดับความสูงที่กำหนด)
- **Mode D** กำหนดความหมายขึ้น ตามวัตถุประสงค์ของแต่ละประเทศ ไม่ใช้ในทางสากล
- **Mode S (Selection)** Mode นี้ พัฒนาขึ้นมาเนื่องจาก Mode A ไม่ สามารถ กำหนดลักษณะเฉพาะ (Name) ให้กับอากาศยานจำนวนมากที่บิน เข้ามาในพื้นที่บริการ ของสนามบินได้เพียงพอ อาจก่อให้เกิดปัญหาการกำหนดลักษณะเฉพาะซ้ำ เพราะ Mode A สามารถกำหนด Codeได้เพียง 4096 Code เท่านั้น Mode S จะกำหนดลักษณะเฉพาะของ อากาศยานแต่ละลำ ที่มีเส้นทางบินสากลได้ครบทุกลำ (24-bit addresses are allocated to every airframe by their registering authority) โดยแต่ละประเทศจะได้รับจำนวน Code ไม่เท่ากัน นอกจากนั้น Mode S ยังใช้ในการ Down Link และ Up Link ข้อมูลที่สำคัญจากอากาศยาน เช่น ประเภทของ

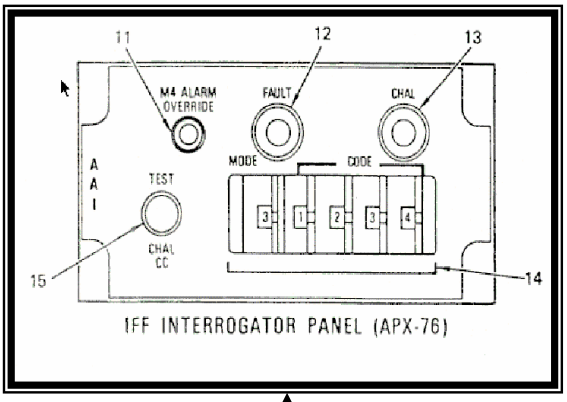
อากาศยาน ตำบลที่ ความเร็ว การขอรับการสนับสนุนเรื่องต่างๆ เมื่ออากาศยานลงจอดแล้ว ฯลฯ ใกล้เวลาจริง (Real Time) กับ หอควบคุมการบิน

6.ส่วนประกอบหลักของระบบ IFF ที่ควรทราบมีอยู่ 4 ส่วน คือ

6.1 Interrogator หรือ เครื่องส่งสัญญาณถาม เป็นเครื่องรับ-ส่งห้วงคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF ซึ่งปกติจะติดตั้งในเรือ หรือ หน่วยบกทำหน้าที่ส่งสัญญาณถาม แบ่งออกเป็น 5 Mode คือ Mode 1 , Mode 2 , Mode 3/A, Mode 4 และ Mode C

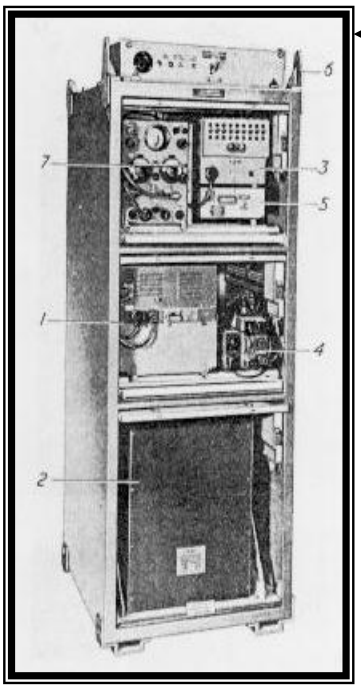


Interrogator



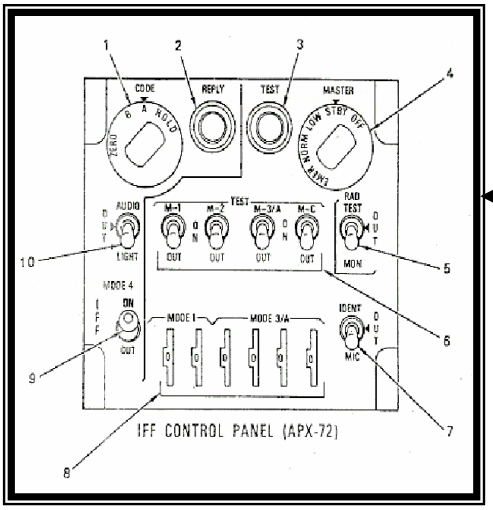
Interrogator Control

6.2 Transponder หรือเครื่องส่งสัญญาณตอบ เป็นเครื่องรับ-ส่งห้วงคลื่นวิทยุเช่นเดียวกัน แต่จะติดตั้งบนอากาศยาน หรือเรือรบทำหน้าที่ ส่งสัญญาณตอบการถามของ Interrogator โดยที่การตอบจะตอบเป็น Pulse Group หรือ Information Pulse

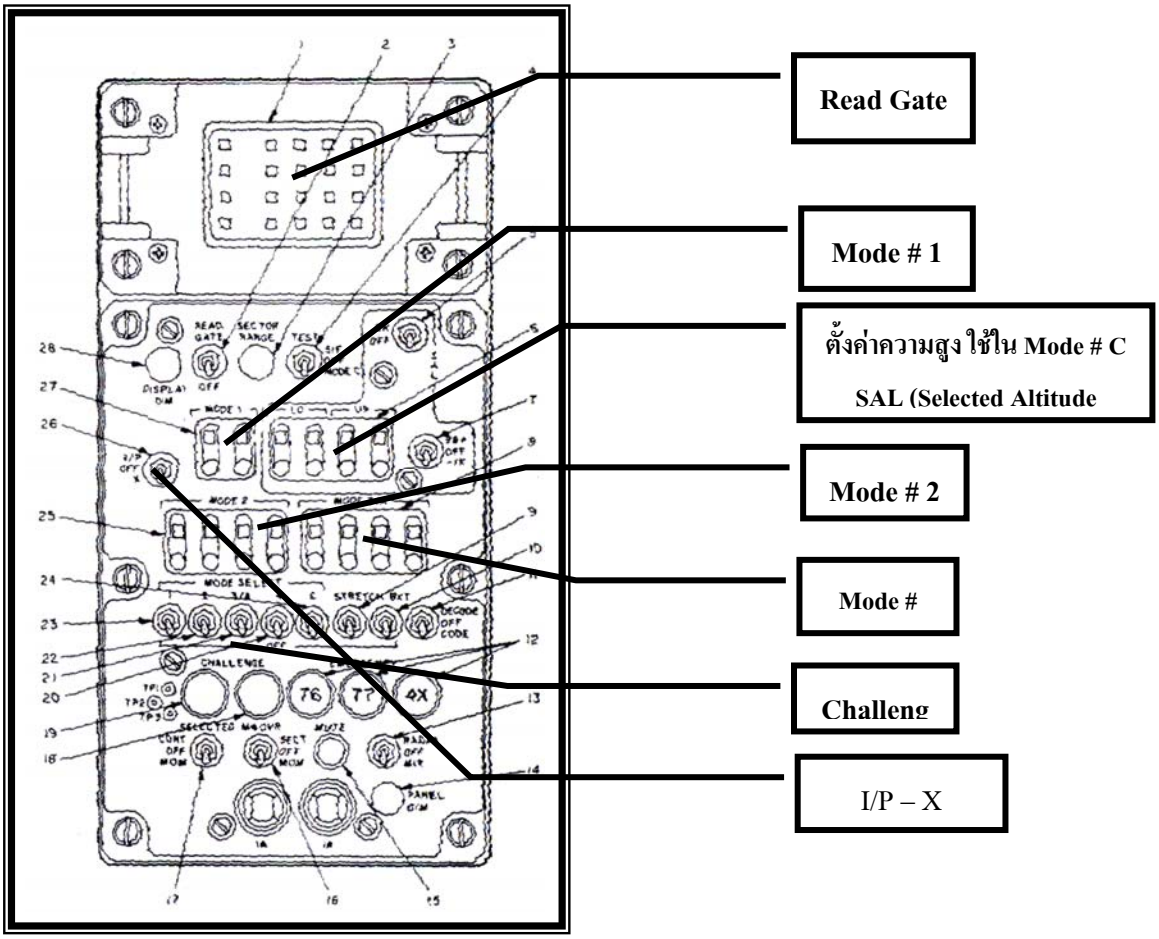


Transponder Set

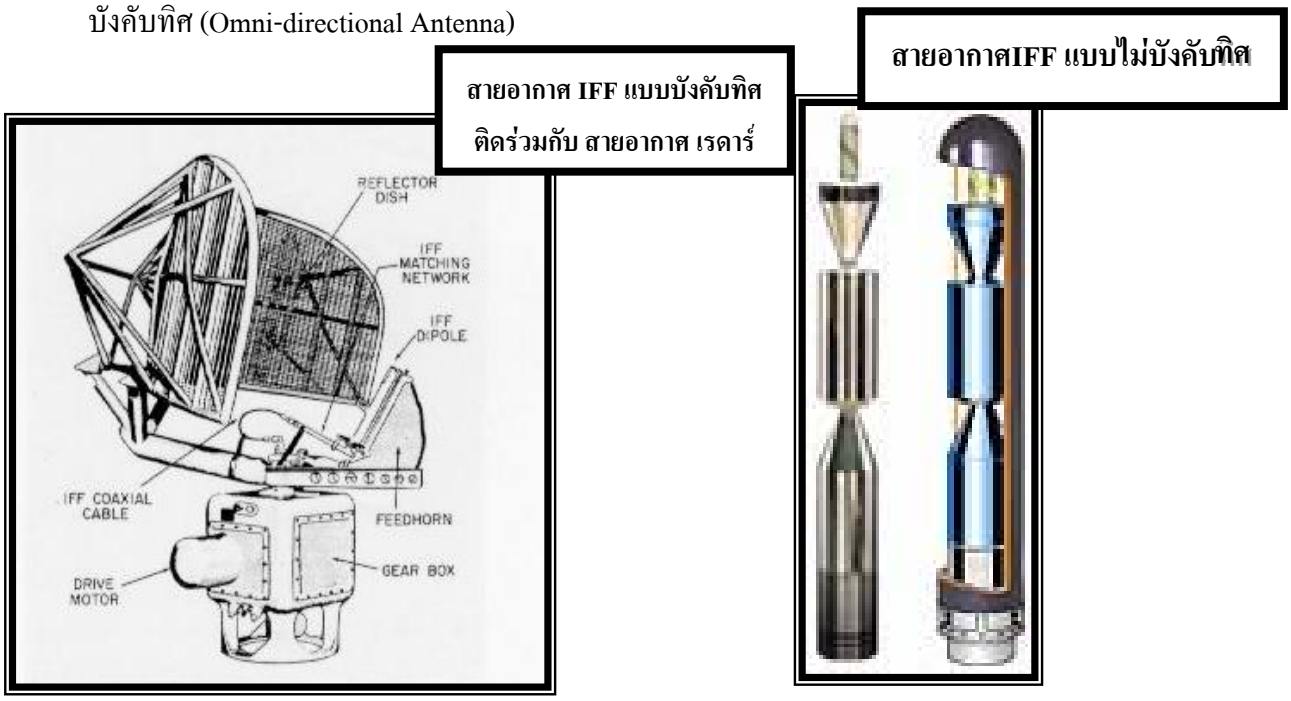
Transponder Control



6.3Video Decoder เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกับ Interrogator มีหน้าที่ เปรียบเทียบสัญญาณห้วงคลื่นวิทยุที่สัญญาณตอบมาจาก Transponder



6.4 สายอากาศแบบบังคับทิศ (Directional Antenna) และสายอากาศแบบไม่บังคับทิศ (Omni-directional Antenna)



7. ระบบ IFF จะมีการถามเป็น Mode คือ Mode 1 , Mode 2 , Mode 3/A , Mode 4 และ Mode C ความแตกต่างของแต่ละ Mode จะขึ้นอยู่กับ Fix Pulse 2 Fix Pulse (รายละเอียดจะกล่าวภายหลัง) โดยมีรายละเอียดการใช้งานในแต่ละ Mode ทั้งทางทหารและพลเรือน ดังนี้

7.1 Mode 1ใช้ในยุทธวิธีทางทหารเท่านั้น โดยทั่วไปจะแสดงภารกิจของหน่วยที่ติดตั้ง (นักบินสามารถปรับแต่ง Code ใน Mode นี้ได้)

7.2 Mode 2 ใช้ในยุทธวิธีทางทหารเท่านั้น(นักบินไม่สามารถปรับแต่ง Code ใน Mode นี้ได้) ปกติจะแสดงหมายเลขของอากาศยาน หรือ เรือ

7.3 Mode 3/A ใช้ทั้งทางทหารและพลเรือน

7.4 Mode 4 ใช้ทางยุทธวิธีทางทหารของสหรัฐอเมริกา โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการถอดรหัส IFF (โดยใช้ Read-Gate หรือ Manual) จากฝ่ายข้าศึก การถามและการตอบจะต้องเข้ารหัส Information PulseในMode นี้ จะมีระยะห่างระหว่าง Fix Pulse มากกว่าMode อื่น เพื่อบรรจุข้อมูลรหัสลับและสัญญาณ Synchronizationเพื่อแสดงให้ Transponderทราบว่า สัญญาณถามนี้ เป็นการเข้ารหัสลับ Transponder ก็จะประเมินผลโดยใช้ส่วนที่มีหน้าที่ในการถอดรหัสลับและส่งสัญญาณตอบโดยเข้ารหัสลับเช่นกัน(กรรมวิธีที่กล่าวข้างต้นเป็นการดำเนินการโดยอัตโนมัติภายในเครื่อง) **ถ้าTransponder ไม่สามารถถอดรหัสหรือ ตอบสัญญาณถามจาก Interrogator ได้ แสดงว่าเป็นฝ่ายข้าศึก (Active Interrogation)** เนื่องจาก Mode มีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ฝ่ายว่าเป็นฝ่ายเดียวกันหรือไม่เท่านั้น

7.5 Mode 5(IFF Mk XII (A) เป็น Secure Mode เพิ่มขีดความสามารถของ Mode 4 ในการรักษาความปลอดภัย การพิสูจน์ทราบ การเป็นฝ่ายเดียวกัน (Active Interrogation) โดยการใช้รหัสที่แปลง ภาษาธรรมดาให้เป็นรหัส (Cryptographic) จึงสามารถใช้งานร่วมกับ ระบบตรวจการณ์ที่เป็น Passive เช่น Thermal Image, ระบบชี้เป้าด้วย Laser รวมทั้งระบบการรับรองฝ่ายตามเวลาของแต่ละวัน(Time of day Authentication) โดยแบ่งข้อมูลในการพิสูจน์ฝ่าย เป็น 4 ระดับ คือ

- ระดับ 1 พิสูจน์ทราบการเป็นฝ่ายเดียวกัน(Active Interrogation) และ การแสดงหมายเลขของยานรบ (Platform Identification Number - PIN)
- ระดับ 2 การแสดงตำบลที่เป็น Lat/Long โดยระบบจะต่อเชื่อมกับ GPS
- ระดับ 3 การพิสูจน์ทราบเป็นกลุ่ม (Selective Interrogation)
- ระดับ 4 การแลกเปลี่ยนข้อมูลที่สำคัญ เช่นรหัสภารกิจ รหัสประเทศ ฯลฯ

7.6 Mode C เป็นMode ที่อากาศยานใช้แสดงความสูง โดยMode C จะเชื่อมต่อกับเครื่องวัดความสูงของอากาศยาน (Aircraft Altimeter) สามารถวัดความสูงได้ตั้งแต่ **-1000** ถึง **+126,700 ฟุต**

■ **การแสดงค่าความสูงบนจอ PPI** จะประเมินค่าความสูง ได้ที่ Video Decoder โดยการใช้ปุ่ม SAL (Selected Altitude Layer) On/OFF Sw. ร่วมกับ Low Sw. และ Up Sw. ซึ่งสามารถประเมินความสูงของอากาศยานได้ละเอียดถึง 100 ฟุต

■ **ปุ่ม SAL 99+ /OFF/-1K Sw.** จะกำหนดขีดจำกัดด้านบน และด้านล่างอย่างคร่าว ดังนี้

■ **ตั้งปุ่มควบคุมไว้ที่ 99+** ขีดจำกัดด้านล่างจะเริ่มตั้งแต่ **ค่าความสูงที่ Low Sw. ตั้งไว้** จนถึงขีดจำกัดด้านบนสุด คือ 126,700 ฟุต

■ **ปุ่มควบคุมไว้ที่ -1K** ขีดจำกัดด้านล่างจะเริ่มตั้งแต่ -1,000 ฟุต จนถึง**ค่าความสูงด้านบนที่ UP Sw. ที่ตั้งไว้**

7.7 Interrogator สามารถกำหนด การตอบสัญญาณถามของ Transponder ของเรือ หรืออากาศยานที่ระบุได้ เมื่อมีเรือหรืออากาศหลายลำอยู่ในบริเวณเดียวกัน ผ่านทาง Video Decoder โดยใช้ ปุ่ม I/P Sw. ซึ่งเป็น Spring Load เมื่อกดแล้วจะดีดกลับไปตำแหน่งปกติโดยอัตโนมัติ หลังจากกดปุ่มนี้แล้วจะมี **สัญญาณ 2 แถบ นานประมาณ 20 วินาที** เรือและอากาศยานที่เกี่ยวข้องจะต้องติดต่อสื่อสารทางวิทยุโทรศัพท์ได้โดยการสั่ง SquawkI/P(Ident-Identification of Position) ใน Mode 2 และMode 3/A ในกรณีของอากาศยาน การ Ident อาจกระทำโดยใช้ Microphone ของนักบิน โดยทุกครั้งที่นักบิน ติดต่อกับหน่วยใด ก็จะปรากฏเป็นสัญญาณ 2 แถบหลัง Echo ของเรดาร์

7.8 การตอบของ Transponder จะตอบเป็น Pulse Group หรือ Code(Information Pulse)โดยจะมีเลข 4 หลัก เริ่มจาก 0000 - 7777 ใน Mode 2 ,Mode 3/A และ Mode C รวมเป็น Code ในแต่ละ Mode คือ 4096 Code ส่วนใน Mode 1 จะมีเลข 2 หลัก คือ00 - 73 Code ในการและตอบจะต้องตั้ง Code ตามที่นัดหมายกันไว้

8 หลักการทำงานของระบบ IFF หรือ SSR

8.1 Interrogator ขณะส่งสัญญาณถาม

1) Toggle Switch ที่ Decoder อยู่ที่ตำแหน่ง Challenge

2) สัญญาณถามจะส่ง เป็นห้วงคลื่นวิทยุความถี่ 1030 MHz (ย่าน UHF) ผ่านสายอากาศ ซึ่งปกติจะติดตั้งร่วมกับเรดาร์ และติดตั้งสายอากาศร่วมกัน ในการเดินอากาศอาจติดตั้ง เฉพาะ SSR อย่างเดียวก็ได้

3) การส่งสัญญาณถามจะส่งในขณะที่ Primary Radar ทำงาน หรือ ปิดอยู่ก็ได้ โดยจะมีข้อแตกต่างเฉพาะ Echo ของเป้าที่ปรากฏบนจอ PPI หรือไม่เท่านั้น ส่วน Echo ของ IFF จะปรากฏเหมือนกัน ทั้ง2กรณี

4)การส่งสัญญาณถาม แบ่งออกเป็น 5 Mode คือ Mode 1, Mode 2 ,Mode 3/A , Mode 4 และMode C ความแตกต่างของแต่ละ Modeจะอยู่ที่ความห่างของ Fix Pulse 2 Fix Pulse คือ P1 และ P3 ดังนี้

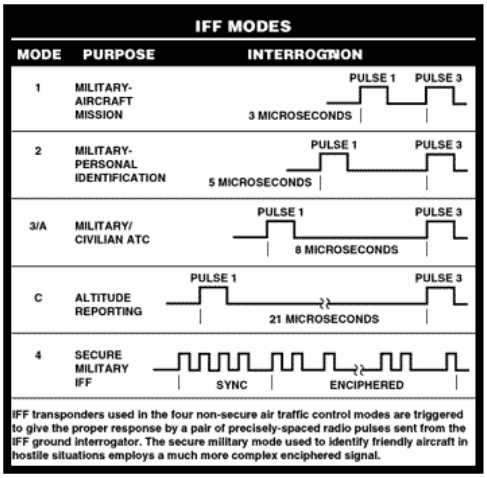
1) Mode 1 P1 ห่างจาก P3 3 μsec

2) Mode 2 P1 ห่างจาก P3 5 μsec

3) Mode 3 P1 ห่างจาก P3 8 μsec

4) Mode 4 P1 ห่างจาก P4 Synchronous Pulse 4 Pulse ตามด้วยPulse Code 32 Pulse Code (Information Pulse)

5) Mode C P1 ห่างจาก P3 21 μsec

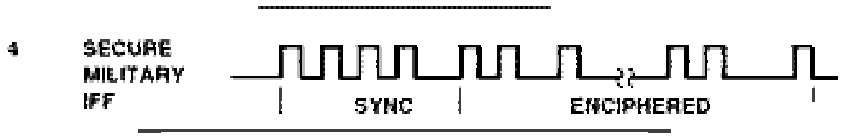


8.2 Transponder หรือเครื่องตอบ เป็นเครื่องรับ - ส่งห้วงคลื่นวิทยุ โดยปกติจะติดตั้งบนอากาศยาน หรือ เรือรบ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณตอบโดย Transponder จะตอบเป็น Pulse Group หรือ Information Pulse (A1 , A2 , A4 , B1 , B2, B4 ,C1,C2 , C4 , D1 , D2 และ D4 รวมเป็น 12 Pulse) โดยจะมีเลข 4 ตัว กำหนดให้ A เป็นหลักพัน , B เป็น หลักร้อย , C เป็นหลัก สิบ และ D เป็น หลักหน่วย

1) Mode 1 จะมีเลข 2 หลัก คือ 00 – 73(A1 , A2 ,A4 , B1 และ B2) ตั้งสัญญาณตอบได้ 32 Code

2) ใน Mode 2 และ Mode 3/A จะมีตัวเลข 4หลัก คือ 0000 – 7777 มี Information Pulse ครบทุกตัว ตั้งสัญญาณตอบได้ 4096 Code

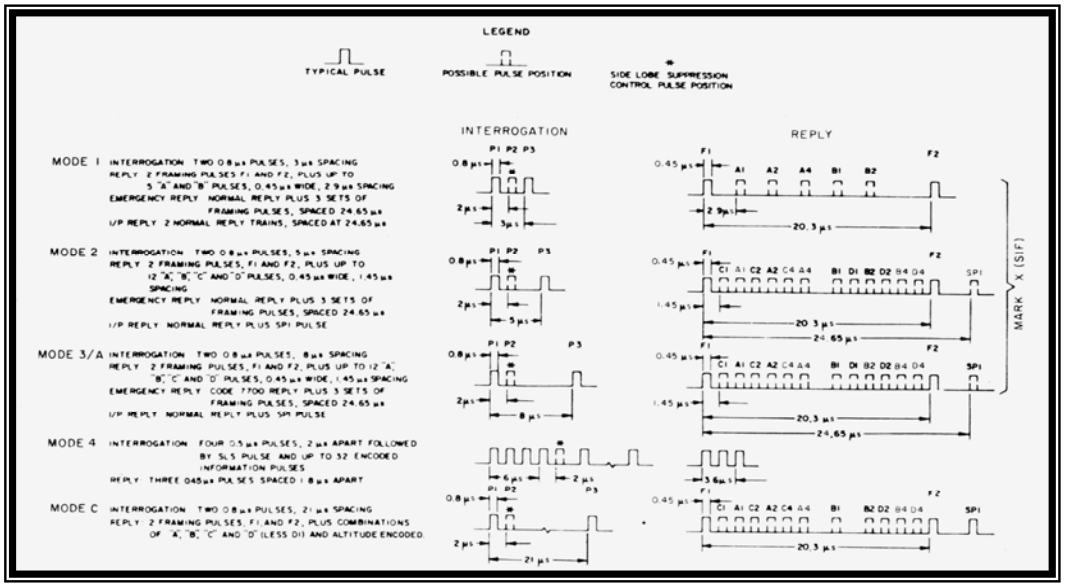
3) Mode 4 ใช้ทางยุทธวิธีทางทหารของสหรัฐอเมริกา และประเทศในสนธิสัญญา NATOโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการ ถอดรหัส IFF(โดยใช้ Read-Gate หรือ Manual) จากฝ่ายข้าศึก การถามและการตอบจะต้องเข้ารหัสลับ ในMode นี้ จะมีระยะห่างระหว่าง Fix Pulse มากกว่า Mode อื่น เพื่อบรรจุข้อมูลรหัสลับและสัญญาณ Synchronizationเพื่อแสดงให้ Transponderทราบว่า สัญญาณถามนี้ เป็นการเข้ารหัสลับ Transponderก็จะประเมินผลโดยใช้ส่วนที่มีหน้าที่ในการถอดรหัสลับ และส่งสัญญาณตอบโดยเข้ารหัสลับเช่นกัน (กรรมวิธีที่กล่าวข้างต้นเป็นการดำเนินการโดยอัตโนมัติภายในเครื่อง) ถ้าTransponder ไม่สามารถถอดรหัสหรือ ตอบสัญญาณถามได้แสดงว่าเป็นฝ่ายข้าศึก (Mode 4 เป็นคำถามที่เน้นคำตอบว่าเป็นฝ่ายเดียวกันหรือไม่เท่านั้น)



4) ใน Mode C จะมีInformation Pulse ครบเว้น D1 ทำให้สามารถตั้งสัญญาณตอบได้ 1,280 Code เท่านั้น

5) Transponder สามารถจะส่งสัญญาณเพื่อแสดงตำบลที่ของอากาศยานหรือ เรือ ในกรณีที่มีเรือและอากาศยานหลายลำปรากฏบนจอ PPI และใช้ Code เดียวกัน โดยการผลักปุ่ม Iden/Mic (**ที่ ตำแหน่ง MIC จะเป็นการแสดงตำบลที่ของอากาศยานในขณะที่นักบินกด Key พูดวิทยุโทรศัพท์**) ที่ Transponder Control ไปตำแหน่ง Ident และหน่วยที่ถามต้องตั้ง Switch I/P/X ที่ Video Decoder ไปไว้ตำแหน่ง I/P เมื่อตั้งSwitch ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว Echo ของ IFF จะไปปรากฏบนจอ PPI เป็น 2 แถบห่างกันประมาณ 1 ไมล์ นาน 20 วินาที

6) ในการถามและตอบ จะต้องตั้ง Mode ใน Interrogator และ ตั้งสัญญาณตอบ Pulse Group (Information Pulse) ตามที่นัดหมายกันไว้



8.3 Video Decoder เป็นส่วนประกอบหลักของ IFF ที่ทำงานร่วมกับ Interrogatorใช้ในการถาม(Challenge) การตั้ง Mode และ Code รวมทั้งการเลือก ลักษณะของ Echo ต่างๆ ของ IFF ให้ปรากฏบนจอ PPI

1) Video Decoder เป็นอุปกรณ์ที่ต่อเชื่อม กับ Interrogator มีหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณห้วงคลื่นที่ตอบมาจาก Transponder

2) Video Decoder สามารถตั้ง Code ต่างๆ ตามที่ได้นัดหมายกันไว้ และสามารถรับสัญญาณตอบจาก Transponder ได้ 2 อย่างคือ

(1) ตำแหน่ง Code สัญญาณที่รับจาก Transponder ทุก Code จะปรากฏหลัง Echo เป็น Pulse Group (Slash)ตาม Code ที่ตั้งไว้ Transponder

(2) ตำแหน่ง Decoder ตำแหน่งนี้ Video Decoder จะแปลงสัญญาณตอบจาก Transponder เฉพาะสัญญาณตอบ ที่ตั้ง Code ตามที่นัดหมายกันไว้เท่านั้น โดยสัญญาณตอบจาก Transponder จะปรากฏหลัง Echo เป็นแถบสัญญาณภาพหนา 1 แถบ (หากมีการ Squawk I/P จะมี 2 แถบ) ถ้าตั้ง Code ไม่ตรง จะไม่ปรากฏภาพ สัญญาณใด ๆ หลัง Echo

3) กรณีที่ไม่ทราบ Code ของสัญญาณตอบ พนักงานสามารถถอดรหัสจาก Pulse Group ที่ปรากฏหลัง Echo ได้ โดยตั้ง Video Decoder ไว้ตำแหน่ง Code แต่ในปัจจุบันมีเครื่องถอดรหัส(Read Gate)ประกอบอยู่กับ Video Decoder

4) Video Decoder สามารถเลือกชนิดของการใช้งานได้ดังนี้

(1) Passive Decoder เป็นการตรวจสอบสัญญาณ ตอบเมื่อตั้ง Video Decoder ไว้ที่ Decode ถ้าตั้ง Mode และ Code ตรงกัน ก็จะผลิตสัญญาณเป็น แถบหลัง Echo เรดาร์ ถ้าไม่ตรงก็จะไม่มี สัญญาณ IFF ปรากฏ Switch Code/Off/Decode จะอยู่ที่ตำแหน่ง Decode

(2) Bracket Decode เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาระหว่าง F1(Start Pulse) และ F2(stop Pulse)ของสัญญาณตอบ ว่าเท่ากับ 20.3 μsec หรือไม่ ถ้าถูกต้องก็จะผลิต Bracket Output Pulse ขึ้นมา 1Pulse หลัง Echo เป้า ถ้าไม่ถูกต้องอาจแสดงว่า เป็นสัญญาณรบกวนก็ได้

(3) Codeเมื่อ เราตั้ง Switch ที่ Video Decoder ไว้ตำแหน่งนี้ สัญญาณตอบทุกสัญญาณที่ได้รับ จะปรากฏบนจอPPI เป็น Information Pulse หลัง Echo เรดาร์ ทุก Code และ Mode

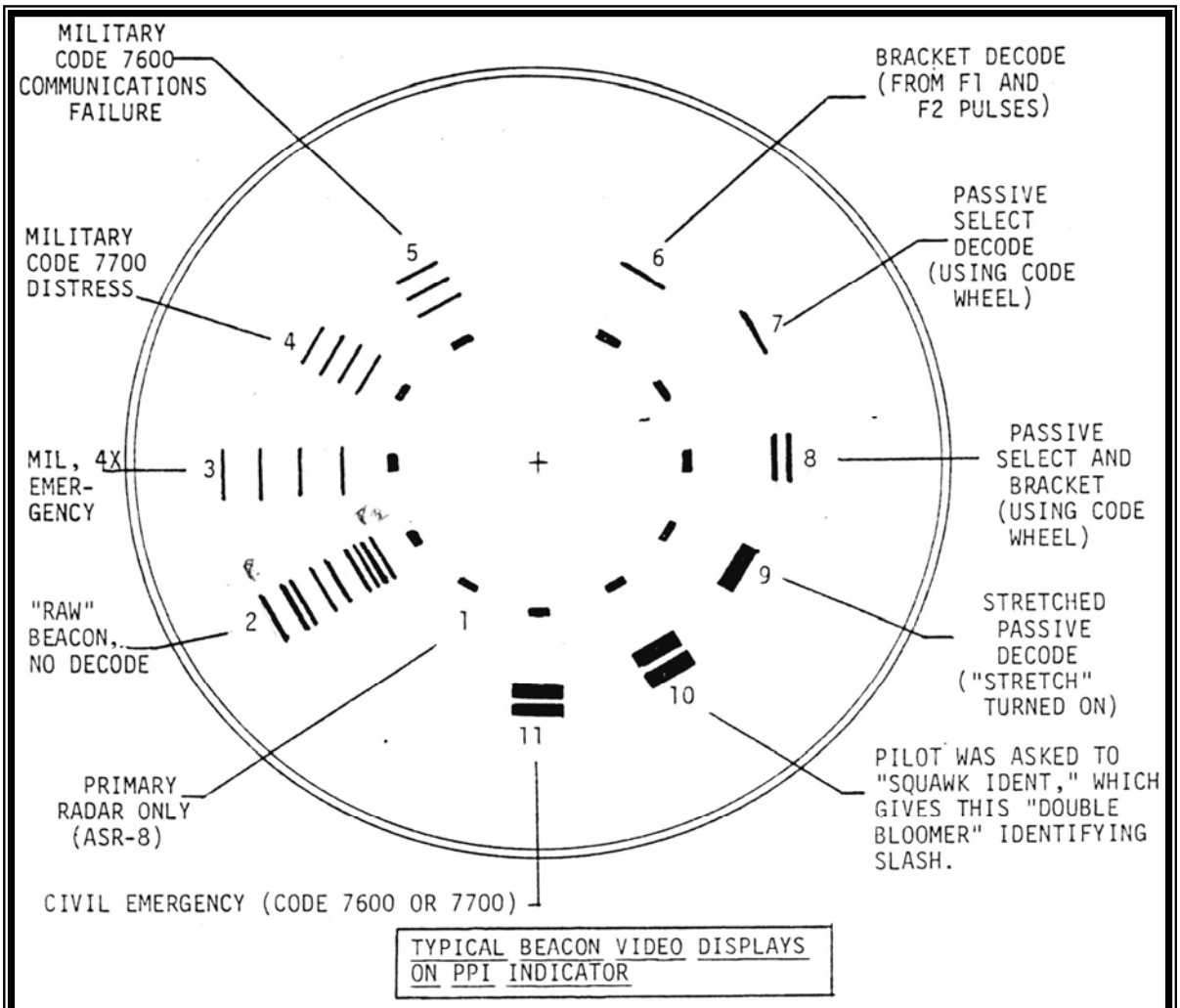
(4) I/P Decode เมื่อต้องการทราบตำบลที่ของ อากาศยาน หรือเรือเมื่อตั้งรหัสตรงกันหลายลำ เรือหรือเครื่องบินต้องผลัก Switch /Off/X ไว้ตำแหน่ง I/P เรือหรือเครื่องบิน ที่ Squawk Ident มาจะปรากฏเป็นแถบหลัง Ehco เป้าอีกแถบหนึ่ง (ปกติจะมี 1 แถบ) นาน 20 วินาที

(5) X-Pulse เมื่อต้องการพิสูจน์ทราบว่าเป็นเป้า เครื่องบินบังคับวิทยุ (Drone) หรือ ไม่

5) การแสดงภาพบนจอ PPI แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

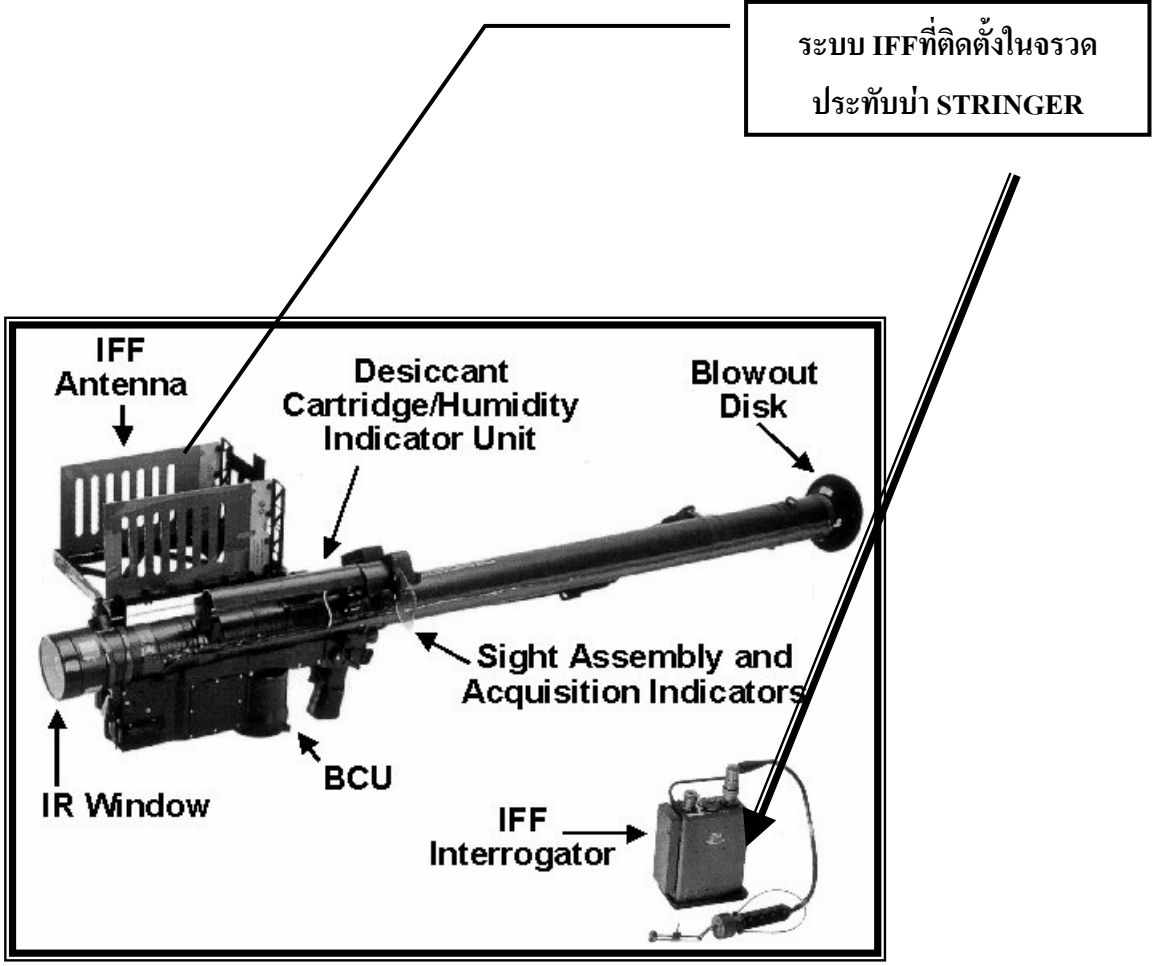
1)Raw Video Display เป็นการถามในขณะที่ Video Decoder ตั้งอยู่ตำแหน่ง Code การแสดงภาพสัญญาณตอบจะแสดงเป็นขีด (Slash) ของ Information Pulse ทุก Pulse หลังเป้าเรดาร์

2) Decode Video Display เป็นการถามในขณะที่ Video Decoder ตั้ง Switch อยู่ที่ Decoderสัญญาณ IFF จะปรากฏ หลังเป้าเรดาร์เฉพาะ เมื่อตั้ง Mode และ Code ตรงกันเท่านั้น โดยจะปรากฏเป็นแถบ 1 แถบ



TYPICAL BEACON VIDEO DISPLAYS ON PPI INDICATOR

1. Primary Radar Only (Example: ASR-8)
2. "Raw" Beacon Video, Not Decoded
3. Military Emergency, Mode 3, Code 4X (two miles between slashes)
4. Military Emergency, Mode 3, Code 7700: Distress (one mile between slashes)
5. Military Emergency, Mode 3, Code 7600 (Communication Failure)
6. Bracket Decode (also called Common System, C/S Decode)
7. Passive Select Decode; Aircraft has replied with its own discrete identity code. (Bracket Decode is OFF.)
8. Passive Select Decode and Bracket Decode Combined
9. Stretched Passive Decode (Stretch Turned On)
10. Stretched "Double Bloomer" Decode for Special Position Identification (SPI)
11. Civil Emergency (Code 7700) "Double Bloomer" for Distress



9. สัญญาณตอบจาก Transponder ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ดังนี้

9.1 ตามเป้าฝ่ายเดียวกันได้อย่างต่อเนื่อง

9.2 ทราบภารกิจของฝ่ายเดียวกันจากสัญญาณตอบ(mode 1,2และ 3/A)

9.3 ทราบความสูงของอากาศยาน(mode C)

9.4 ทราบข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพน้ำมันเชื้อเพลิง, สถานภาพอาวุธ , เข็ม , ความเร็ว และข้อมูลทางยุทธวิธีอื่นๆ

9.5 ติดตามสถานภาพของฝ่ายเดียวกัน โดยเฝ้าสังเกตจากสัญญาณฉุกเฉินต่างๆใน Mode 1 และ 3/A

9.6 พิสูจน์ฝ่ายเชิงรุกโดยการเข้ารหัสลับ ใน Mode 4

10. ขีดจำกัดการใช้งานของระบบ IFF ตามทฤษฎี ระยะทางในการแพร่คลื่นของ Interrogator จะมีรัศมีมากกว่า 100 ไมล์ขึ้นไปสำหรับ สถานีบกหรือเรือ กับอากาศยาน และ 30 ไมล์สำหรับ เรือหรือบก กับเรือ แต่อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นอุปสรรคที่ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งาน ระบบ IFF หรือ SSR ลดลง คือ

10.1 ประสิทธิภาพของInterrogator (Hardware)

10.2 ประสิทธิภาพของ Transponderที่ติดตั้งบนเรือ หรืออากาศยาน

10.3 ระยะขอบฟ้า (Line of Sight) เนื่องจาก ระบบIFF ทำงานในย่านความถี่ UHF

10.4 การวางตัวและ สภาพทางภูมิศาสตร์ของตำบลที่เป้าขณะถูกถาม

10.5 ตำบลที่ของสายอากาศ ทั้งของ Interrogator และ Transponder

11. สัญญาณรบกวนที่เกิดในระบบ IFF มี 2 ชนิด คือ

11.1 FRUIT (Fault Reply Unsynchoneous to Interrogator Transmission) เป็นการรบกวน ที่เกิดจากการที่มีเรือหรืออากาศยานหลายลำอยู่ในบริเวณเดียวกัน และในช่วงเวลาหนึ่งมีสัญญาณถามจากหน่วยหลายหน่วย **ต่อเรือ หรือ อากาศยานลำเดียวกัน** ทำให้สัญญาณตอบไปปรากฏบน PPI ของเรือถาม แต่ละลำซ้อนทับกัน

11.2 Gable เกิดจากสัญญาณตอบจากเป้า 2 เป้า ที่อยู่ในแบริ่ง และ ระยะใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดการซ้อนทับกันบางส่วนหรือ ทั้งหมด

12. หลักปฏิบัติในการหมายรู้พิสูจน์ฝ่ายที่ควรทราบ

12.1 อากาศยานต้องแสดงฝ่ายให้เรือทราบก่อนเสมอ

12.2 อากาศยานและหน่วยพื้นดินต้องรับผิดชอบในการแสดงฝ่ายตามแต่สถานการณ์ คือ

1) อากาศยานต้องพิสูจน์ทราบหน่วยพื้นดินก่อนเข้าโจมตี

2) อากาศยานต้องแสดงฝ่ายให้หน่วยพื้นดินทราบเมื่อถูกถาม หรือ เมื่อถูกโจมตี

12.3 เรือดำน้ำต้องแสดงฝ่ายให้เรือผิวน้ำ และ อากาศยาน

12.4 เรือเล็กต้องแสดงสัญญาณฝ่ายก่อนเรือใหญ่ เว้นแต่ในกรณีทัศนวิสัยเลว เรือใหญ่ซึ่งมีอุปกรณ์ดีกว่าจะต้องเป็นฝ่ายแสดงฝ่ายก่อน

13. ระบบ IFF ใน ทร. ปัจจุบันมีการ กำหนดตารางรหัส ,วิธีการใช้และความหมาย ไว้ใน อทร.3201(เอกสารประกอบการฝึก กร. การสื่อสาร – อิเล็กทรอนิกส์) ดังนี้

13.1 MODE 1 แสดงหน่วยต้นสังกัดเรือ อากาศยาน ตามการจัดกำลังปกติ ระดับกองเรือ หรือฝูงบิน (มีเลข 2 ตัว)

13.2 MODE 2 มีเลข 4 ตัว

1) เลขตัวแรก แสดงหน่วยต้นสังกัดเรือ อากาศยานตามการจัดกำลังปกติ

2) เลขตัวที่ 2 แสดงหมู่เรือ หรือ ฝูงบิน

3) เลขตัวที่ 3 แสดงหมายเลขเรือ หรือ ประเภทของอากาศยาน

4) เลขตัวที่ 4 ไม่ได้แสดงความหมายใด

13.3 MODE 3 มีเลข 4 ตัว

1) ในกิจของทหาร สามารถใช้ได้ตั้งแต่ 5100 ถึง 7177 แต่ใน ทร. ได้รับอนุมัติให้ใช้ในช่วง 5200-5277, 5300-5377 และ 5400-5477

2) ใช้แสดง เรือ อากาศยานในหน่วยเฉพาะกิจ

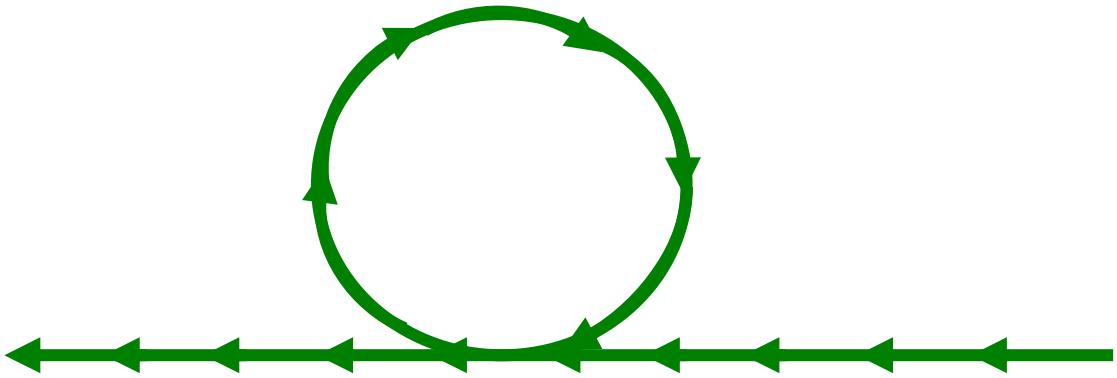
3) ตัวเลขสามตัวแรก แสดงหน่วยเฉพาะกิจ ตัวที่สี่ ไม่ได้แสดงความหมายใด

13.4 MODE C ใช้บอกความสูงของอากาศยาน มีหน่วยเป็น พันฟิต และใช้พิสูจน์ฝ่าย โดยให้ บ. หรือ ฮ. บินในระดับความสูงที่กำหนด

14. ท่าบินสำหรับแสดงว่าเป็นฝ่ายเดียวกัน เมื่อถูกขอให้พิสูจน์ฝ่าย

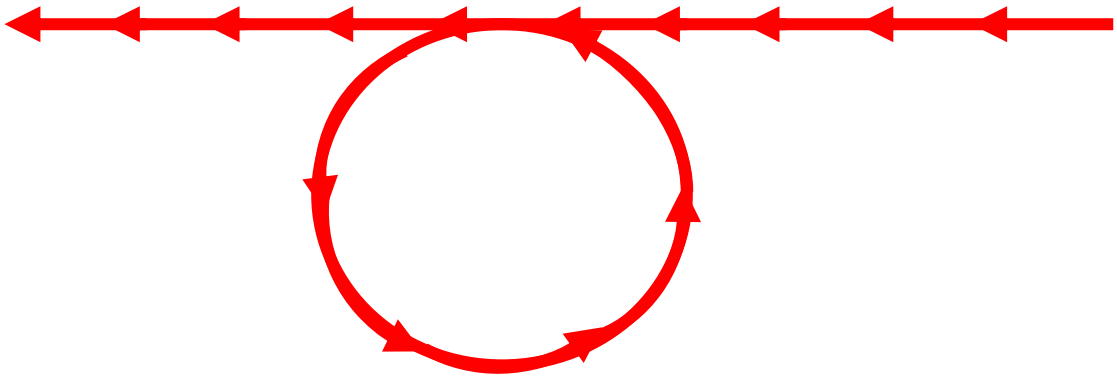
14.1 ท่าบินที่ 1

ท่าบิน 1 **เลี้ยวขวา ทำวงกลม 1 รอบ แล้วกลับเข้าแนวบินเดิม**



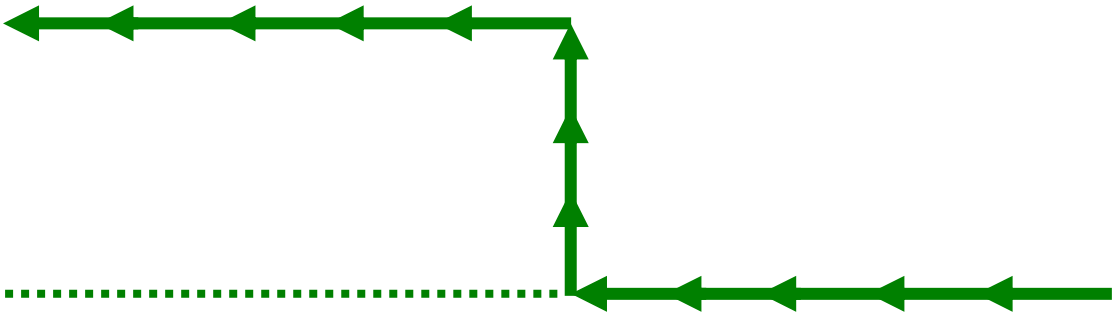
14.2 ท่าบินที่ 2

ท่าบิน 2 **เลี้ยวซ้าย ทำวงกลม 1 รอบ แล้วกลับเข้าแนวบินเดิม**



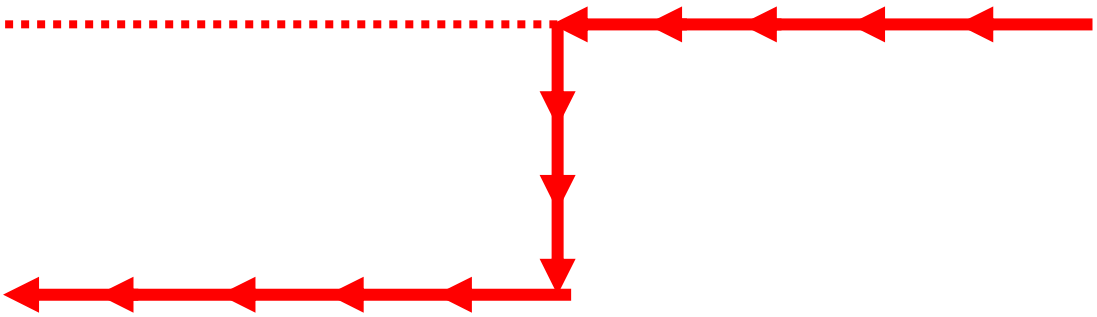
14.3 ท่าบินที่ 3

ท่าบิน ที่ 3 เลี้ยวขวา ทำมุมประมาณ 90 องศา บินตรงประมาณ 1 นาที แล้ว เลี้ยวซ้ายประมาณ 90 องศา แล้วกลับเข้าแนวบินเดิม



14.4 ท่าบินที่ 4

ท่าบิน ที่ 4 เลี้ยวซ้าย ทำมุมประมาณ 90 องศา บินตรงประมาณ 1 นาที แล้ว เลี้ยวขวา ประมาณ 90 องศา แล้วกลับเข้าแนวบินเดิม



15. กฎปฏิบัติในการใช้ IFF

15.1 ถ้ามิได้สั่งการเป็นอย่างหนึ่งอย่างใด ให้เลือกใช้เลขรหัส IFF ตามตารางรหัส IFF ที่ กำหนดไว้ใน อทร.3201

15.2 การใช้ IFF ต้องสอดคล้องกับ EMCON Plan

15.3 การพิสูจน์ทราบ โดย IFF ปกติจะใช้ร่วมกับการสื่อสารทางวิทยุ คือเมื่อหน่วยถามและ หน่วยตอบติดต่อสื่อสารกันได้แล้ว โดยใช้คำพูดดังนี้

หน่วยถาม **"Squawk Mode……..."** หรือ **"Squawk Ident"**

หน่วยตอบ ผลัก SW. เลือก Mode ที่จะตอบการถาม ที่ Transponder Control Unit ตามที่ฝ่ายถาม กำหนด (ต้องตั้ง รหัส IFF ตามที่กำหนดไว้ในคำสั่งยุทธการก่อนออกเรือ)

หน่วยถามสั่งเลิก Squawk **"เลิก"**

ถ้ารหัส IFF ที่ตอบตรงตามที่สั่งการไว้ จะมีแถบหนาจำนวน 1 แถบปรากฏหลัง Echo เป้า หากเป็นการ Squawk Ident ถ้ารหัส IFF ที่ตอบตรง จะมีแถบหนาจำนวน 2 แถบ ปรากฏหลัง Echo เป้า ที่ Squawk Ident ตอบ

16. รหัสฉุกเฉิน สากล ทหาร/พลเรือน

-2700 ค้นหาและช่วยเหลือ

-7500 มีการจี้เครื่องบิน (**Hi-Jack**)

-7600 การสื่อสารขัดข้อง

-7700 เครื่องยนต์ขัดข้อง

-7177 S O S (เหตุอันตรายอับจน)

-4 X ฉุกเฉินทางทหาร

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

1. SECODARY SURVEILLANCE (SSR) FORMAL TRAINING

(TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED)

2. คำแนะนำปฏิบัติการสื่อสารประจำ ที่ 1/2535 เรื่อง การหมายรู้พิสูจน์ฝ่ายร่วมของ บก.ทหารสูงสุด

3. อทร. 3201 เอกสารประกอบการฝึก กร. การสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์

น.ต. จิรภัส ศิลปกุล

หัวหน้าหมวดสื่อสาร กองฝึกศูนย์ยุทธการ กฝร.

เมษายน 2550

GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักเรียนได้ รู้ถึงแนวความคิดในการพัฒนาระบบ GMDSS
2. เพื่อให้นักเรียนได้ รู้ถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้งานในระบบ GMDSS
3. เพื่อให้นักเรียนได้ รู้ถึงเขตพื้นที่ทะเล และ ข้อกำหนดในการติดตั้งอุปกรณ์
4. เพื่อให้นักเรียนได้ รู้ถึงขั้นตอนและวิธีการใช้งานระบบ GMDSS

ความเป็นมา

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1959 เป็นต้นมา องค์การทางทะเลของโลก หรือ IMO - International Maritime Organization และมวลประเทศสมาชิก โดยการประสานงานอย่างใกล้ชิดกับ สหภาพโทรคมนาคมสากล หรือ ITU - International Telecommunication Union กับคณะกรรมการบริหารความถี่วิทยุสากล หรือ CCIR - International Radio Consultative Committee กับอีกหน่วยงานสากลอื่น ๆ อาทิเช่น องค์การอุตุนิยมวิทยาแห่งโลก หรือ WMO -World Meteorological Organization, องค์การอุทกศาสตร์สากล หรือ IHO - International Hydrographic Organization , สถาบันการสื่อสารทางทะเลผ่านดาวเทียม หรือ INMARSAT - International Maritime Satellite Organization และระบบดาวเทียมร่วม COSPAS-SARSAT ได้ใช้ความพยายามร่วมกันพัฒนาและจัดรูปแบบ ระบบความปลอดภัยและแจ้งเหตุภัยพิบัติทางทะเลทั่วโลก

ซึ่งในที่สุดของผลการทำงานร่วมกัน ได้ก่อให้เกิดข้อบังคับที่จะต้องส่งเสริมและบังคับใช้สำหรับ ระบบความปลอดภัยและแจ้งเหตุภัยพิบัติทางทะเลทั่วโลก หรือ **GMDSS - Global Maritime Distress and Safety System** ระหว่างปี ค.ศ. 1992 และ 1999.

1. การพัฒนาระบบ GMDSS ต้องดำเนินการค้นหาและช่วยเหลือ (SAR-Search and Rescue)โดยหน่วยงานบนฝั่งในลำดับแรก ส่วนเรือในทะเลจะเข้าดำเนินการช่วยเหลือเมื่ออยู่ใกล้ที่เกิดเหตุ รวมทั้งระบบ GMDSSจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความทันสมัยที่สุด และจะต้องมีการประสานงานกับหน่วยงานการค้นหาและช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด

2. ระบบGMDSS คือระบบสื่อสารระหว่างเรือกับฝั่งและเรือกับเรือที่ทำงานอัตโนมัติผ่านระบบสื่อสารดาวเทียมและDSC (Digital Selective Calling) ที่พัฒนาขึ้นมาทดแทนระบบเดิม ที่การแจ้งข่าวขึ้นอยู่กับ

- ระบบวิทยุโทรเลข (CW-Morse Code) ความถี่ 500 KHZ
- ระบบวิทยุโทรศัพท์ย่านความถี่ MF ความถี่ 2182 KHz และ ย่านความถี่ VHF (Maritime Band) 156.80MHz (CH16)
- ระบบCW และวิทยุโทรศัพท์ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 150ไมล์ ทำให้เรือที่ประสบภัยไม่ได้รับการช่วยเหลือจากเรือ หรือสถานีฝั่ง หากเรือเหล่านั้นอยู่นอกรัศมีการแพร่คลื่นวิทยุ

3. ประโยชน์ที่ได้รับจาก ระบบ GMDSS

3.1 การค้นหาและช่วยเหลือ (SAR-Search and Rescue)จะดำเนินการ และประสานงานโดยสถานีฝั่งเป็นลำดับแรก เนื่องจาก มีอุปกรณ์และขีดความสามารถในการประสานงานดี ส่วนเรือจะดำเนินการช่วยเหลือเมื่ออยู่ใกล้เรือเกิดเหตุ และไม่เป็นอุปสรรคต่อการช่วยเหลือของสถานีฝั่ง

3.2 เรือและสถานีฝั่งติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารของระบบGMDSS โดยเรือไม่จำเป็นต้องพึ่งพาความช่วยเหลือจากเรือที่เดินทางผ่านขณะเกิดเหตุ

3.3 ข่าวของเรือที่ประสบภัย จะกระจายไปยังสถานีต่างๆ หลายช่องทางพร้อมกัน ทำให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ในโลก

4. ขีดความสามารถของอุปกรณ์สื่อสารที่ติดตั้งในเรือ

4.1 ข่าวการประสบภัยจาก เรือ ถึง ฝั่งจะต้องดำเนินการส่งอย่างอิสระ จากระบบสื่อสาร ที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระบบพร้อมกัน

4.2 รับข่าวการประสบภัยจากสถานีฝั่งได้ พร้อมทั้งสามารถ ส่ง และ รับข่าวแจ้งภัยระหว่างเรือ กับ เรือ

4.3 ประสานงานการ รับ และส่งข่าว การช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางทะเลได้

4.4 สามารถรับ และ ส่งข่าวในพื้นที่เกิดเหตุได้ตลอดเวลา

4.5 รับ และ ส่งสัญญาณการแสดงตำบลที่ (Locating Signal)

4.6 สามารถรับ และ ส่งข่าวเกี่ยวกับ การบริหารจัดการทั่วไปของเรือได้

5. ระบบ GMDSS เป็นระบบที่ IMO (International Maritime Organization) และ SOLAS (Safety of Life at Sea) กำหนดให้เรือโดยสารและ เรือสินค้าทุกลำที่มีรายละเอียดตามที่กำหนดไว้ต้องติดตั้ง

ระบบสื่อสาร ประเภทต่างๆ ตามเส้นทางเดินเรือที่จดทะเบียนไว้ให้แล้วเสร็จสิ้นสมบูรณ์ **"ภายใน 1 ก.พ. 2542"**

6. เรือเดินทะเล ที่ต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดนี้ คือ

6.1เรือสินค้าที่มีระหว่างขับน้ำ ตั้งแต่ 300 ตันกรอสขึ้นไป ที่มีเส้นทางเดินเรือในน่านน้ำสากล หรือ ทะเลเปิด

6.2เรือโดยสารทุกลำ ที่บรรทุกผู้โดยสารตั้งแต่ 12 คนขึ้นไป ที่มีเส้นทางเดินเรือในน่านน้ำสากล หรือ ทะเลเปิด

6.3เรือประมงที่มีระหว่างขับน้ำตั้งแต่ 300 ตันกรอสขึ้นไป ต้องติดตั้งระบบNAVTEX และนำ EPIRB (406 MHz) ไปกับเรือด้วย รวมทั้งต้องมี วิทยุมือถือย่าน VHF (DSC)ไม่น้อยกว่า 3เครื่อง และ SART(Search and Rescue Radar Transponder)บรรจุอยู่ในแพชูชีพด้วย

7. อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ในระบบ GMDSS

7.1 ระบบ DSC (Digital Selective Calling)

7.2 ระบบ NBDP (Narrow Band direct Printing Telegraphy)

7.3 เครื่อง รับ - ส่ง วิทยุย่าน MF/HF(DSC)

7.4 เครื่อง รับ - ส่ง วิทยุประจำที่และวิทยุมือถือ ย่าน VHF (DSC)

7.5 ระบบ NAVTEX (Navigation Telex System)

7.6 ระบบ Inmarsat C

7.7 ระบบ EPIRB (Emergency Position-Indicating Radio Beacon)

7.8 ระบบ SART (Search and Rescue Radar Transponder)

8. แนวความคิดของระบบ DSC

8.1 เป็นการส่งขอมูลแบบ Digital Code โดยใช้ MMSI เป็นลักษณะเฉพาะของ สถานีส่งและ รับ หรือ กลุ่มสถานี

8.2 ส่ง และ รับ สัญญาณแจ้งเหตุอันตรายอับจน รวมทั้งการตอบรับทราบ เมื่ออยู่ ในฐานะที่จะเข้าช่วยเหลือได้ โดยไม่กีดขวางหน่วยงานอื่นที่อยู่ในฐานะที่จะเข้าช่วยเหลือได้ดีกว่า

8.3 ถ่ายทอดสัญญาณแจ้งเหตุอันตรายอับจน เมื่อสถานีนั้นไม่อยู่ในฐานะที่จะดำเนินการช่วยเหลือได้ แต่ทราบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น และในขณะนั้นไม่มีสถานีใดตอบรับทราบ หรือ เข้าช่วยเหลือ

8.4 ประกาศแจ้ง เหตุฉุกเฉิน(Urgent) หรือข่าวเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ (Safety)

8.5 ใช้ในการเรียกขั้นต้น และกำหนดช่องความถี่ในการทำงานกับสถานีใดสถานีหนึ่ง หรือ กลุ่มสถานี ในลักษณะรับ-ส่งข่าวทั่วไป ในรูปแบบ วิทยุโทรศัพท์ หรือ TELEX

9. ลักษณะการต่อเชื่อมของ ระบบ DSC ข้อมูลจากDSCจะเชื่อมต่อ ถึง สถานีเดียว , กลุ่มสถานี หรือทุกสถานี โดยอัตโนมัติ ข้อมูลจาก DSCอาจปรากฏในจอภาพ หรือ พิมพ์ข้อมูลออกมา โดยใช้

MMSI (Maritime Mobile Service Identity) ที่ประกอบด้วยตัวเลข 9 ตัว(ประเทศไทย 567 XXXXXX สำหรับการติดต่อทางวิทยุโทรศัพท์ และ 456XXXXXX สำหรับการติดต่อทาง Telex(NBDP) เป็นลักษณะเฉพาะของ สถานี หรือกลุ่มสถานีกรณีที่ของ Distress จะส่งข่าวถึงทุกสถานีโดยอัตโนมัติ

10. ความถี่ ที่ใช้ในช่องทำงานDSC

- **2187.5 kHz (MF)**
- **8414.5 kHz**
- **4207.5 kHz**
- **6312 kHz** **(HF)**
- **12 577 kHz**
- **16 804.5 kHz**
- **156.525 MHz (VHF Channel 70)**

11. DSC คือ การเรียกที่ ประกอบด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งดังนี้

11.1 สัญญาณแจ้งเหตุอันตรายอับจน (Distress)

11.2 สัญญาณฉุกเฉิน (Urgency)

11.3 สัญญาณเพื่อความปลอดภัย (Safety)

11.4 การปฏิบัติงานตามปกติ (Routine)

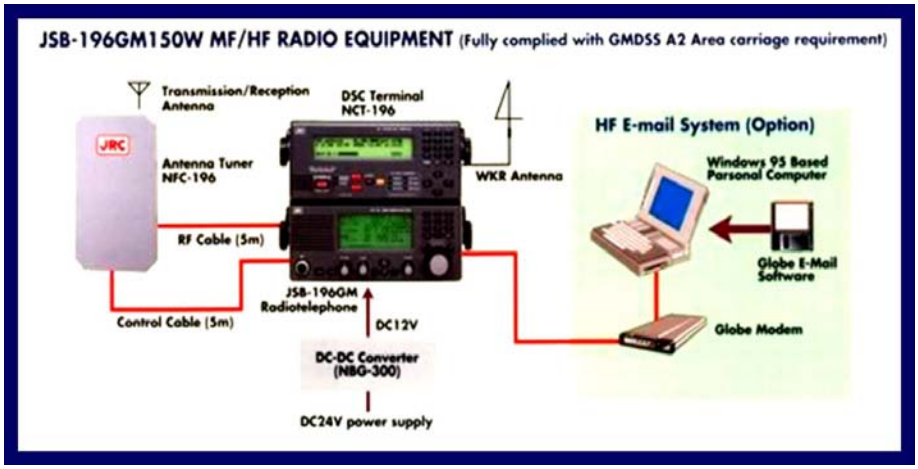
12. ระบบ NBDP (Narrow Band Direct Printing Telegraphy) คือ การส่งและ รับโทรพิมพ์ หรือ Telexผ่านคลื่นวิทยุ ระหว่างเรือ กับ สถานีฝั่ง แบ่งการทำงานเป็น 2 Mode

- **Mode A** (ARQ-Automatic Reception Request Mode) คือการส่ง Telex จาก **เรือ ถึง ฝั่ง** เพื่อให้สถานีฝั่ง เชื่อมต่อกับชุมสายTelex บนบกอื่นๆ
- **Mode B** (FEC -Forward Error Correction Mode) เป็นTelex ที่สถานี **ฝั่ง ส่งถึง เรือ** หรือกลุ่มสถานีเรือ ในแบบการกระจายข่าว

<u>ระบบ NBDP</u>

13. เครื่อง รับ - ส่ง วิทยุย่าน MF/HF(DSC) มีระบบ DSC สำหรับช่องรับและส่งที่ความถี่ 2187.5 kHz., 4207.5 kHz., 6312 kHz., 8414.5 kHz., 12577.0 kHz. และ 16804.5 kHz. มี BUILT IN TWO TONE ALARM และมีระบบวิทยุโทรศัพท์ ตลอดจนระบบ NBDP (Narrow Band Direct Printing Telegraphy) มีสายอากาศ 2 ชุด สำหรับ ทำงานแบบ Duplex**สามารถรับสัญญาณ DSC ได้อย่างอิสระ ขณะที่รับ-ส่งข่าวอยู่

<u>เครื่อง รับ - ส่ง วิทยุย่าน MF/HF(DSC)</u>



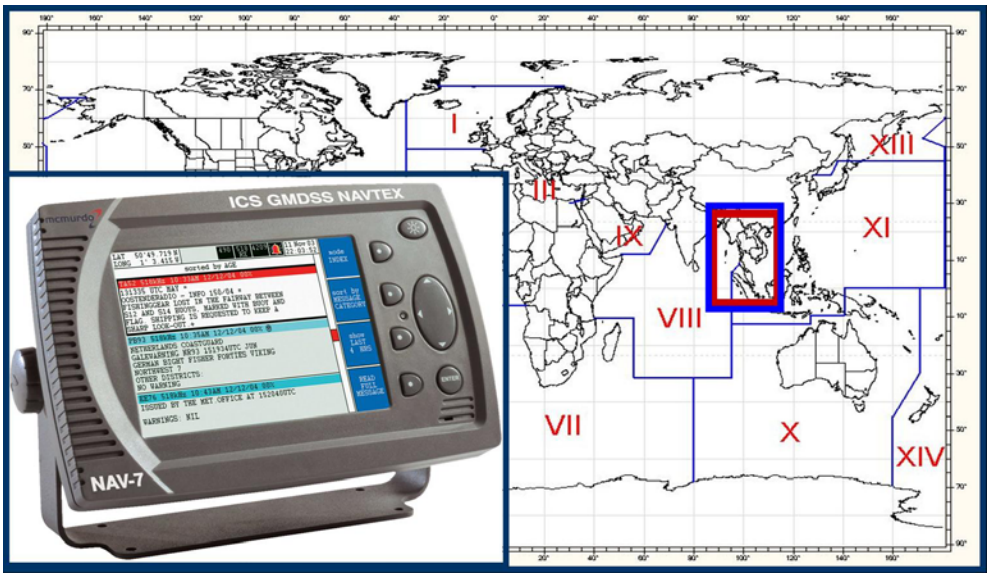
14. เครื่องวิทยุรับ-ส่งย่านความถี่ VHF มีระบบ DSCที่ Channel 70(156.525 MHz) และมีระบบพื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในย่านความถี่ Marine time Band (156 – 174 MHz) มีสายอากาศ 2 ชุด สำหรับ ทำงานแบบ Duplex สามารถรับสัญญาณ DSC ได้อย่างอิสระ ขณะที่รับ-ส่งข่าวอยู่

15. เครื่องรับ-ส่งวิทยุมือถือ ตามข้อกำหนดของระบบGMDSSที่มีประจำเรือช่วยชีวิต ต้องมีคุณสมบัติกันน้ำและแรงกระแทก ใช้เพื่อติดต่อกับเรือกู้ภัย หรือ เรือเดินทะเลในบริเวณใกล้เคียงกับตำบลที่ของเรือช่วยชีวิตอยู่ สำหรับเรือขนาด 500 ตันกรอสขึ้นไปต้องมีอย่างน้อย 3 ชุด สำหรับเรือขนาดต่ำกว่า 500 ตันกรอสต้องมีอย่างน้อย 2 ชุด

<u>เครื่อง รับ - ส่ง วิทยุประจำที่และ วิทยุมือถือ ย่าน VHF (DSC)</u>

16.ระบบสารสนเทศเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ(NAVTEX-Navigation Telex System)NAVTEX คือระบบสารสนเทศเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ เป็นเครื่องรับข่าวสารเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ(MSI-Maritime Safety Information) แบบอัตโนมัติ โดยใช้ ระบบ TELEX รับสัญญาณย่าน MF คลื่นความถี่ 518 kHz แบ่งทะเลทั่วโลกออกเป็น 16 เขต คือ **NAVAREA I – NAVAREA XVI** ข่าวสารที่ได้รับจะเป็นข้อมูลการเดินเรือหรือคำเตือนลักษณะอุตุนิยมวิทยาต่างๆ รวมทั้งข่าวสารการค้นหาและช่วยเหลือเรือที่ประสบอันตราย เรือเดินทะเลทุกลำจะต้องติดตั้ง NAVTEX

<u>NAVTEX และการแบ่งพื้นที่บริการ</u>



17. Inmarsat C มีความสามารถอันหนึ่ง ที่เรียกว่า “EGC-Enhance group calling” ซึ่งสามารถกระจายข่าวไปยังสถานี ในพื้นที่บริการของระบบ Inmarsat โดย EGC แบ่งบริการออกเป็น 2 ประเภทคือ

- Fleet Net การรับ และ ส่งข่าวสารเกี่ยวข้องกับบริการด้านการค้าทั่วไปไม่เกี่ยวข้องกับ ระบบ GMDSS
- Safety Net ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบGMDSS โดยตรงเป็นการส่งข่าวสารเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ (MSI) เช่นเดียวกับ NAVTEX เรือเดินทะเลต้องติดตั้ง เมื่ออยู่นอกเขตบริการของ NAVTEX

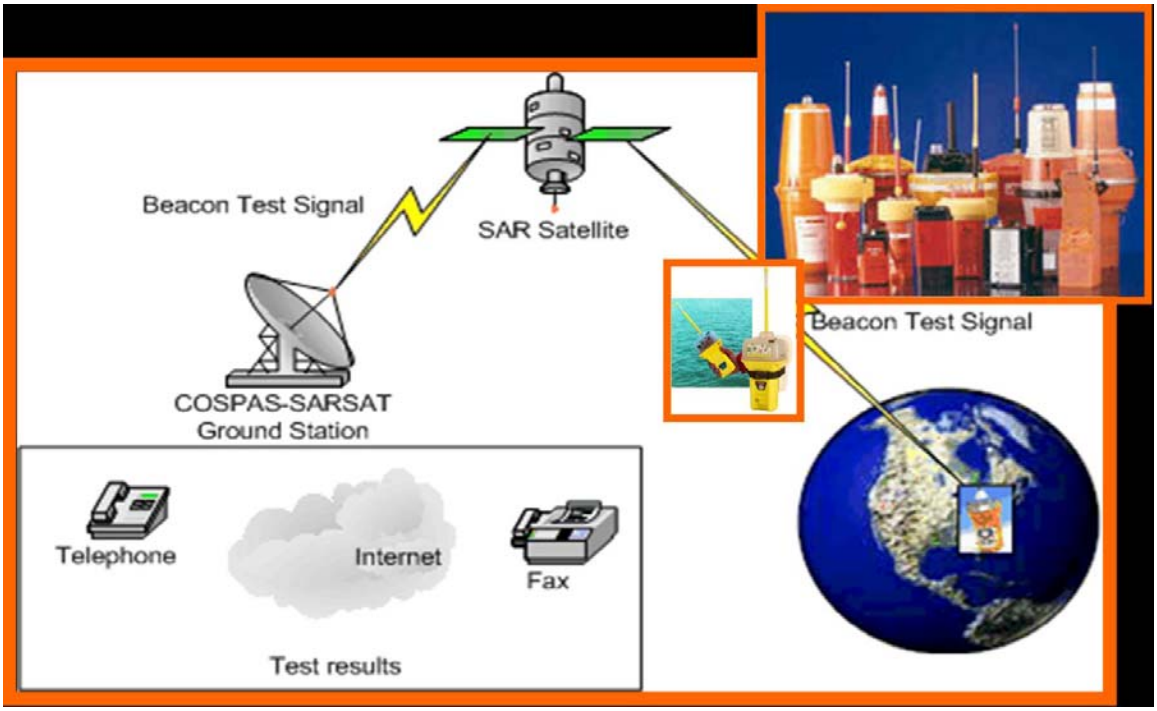
Inmarsat C

18. ทุ่นแสดงตำบลที่ฉุกเฉิน EPIRB(Emergency Position-Indicating Radio Beacon)เป็นทุ่นสัญญาณที่มีเครื่องส่งวิทยุอยู่ภายในเมื่อเริ่มส่งสัญญาณ (Activate) จะส่งสัญญาณแสดงลักษณะเฉพาะของเรือต่อเนื่องอย่างน้อย 48 ชั่วโมง EPIRBจะทำงานโดยอัตโนมัติ (Hydro-Static Release) เมื่อเรือจมลง ในระดับความลึกประมาณ 3-10ฟุต สามารถค้นหาได้ โดยอากาศยาน และดาวเทียมรวม ทั้งสามารถแจ้งข้อมูลรายละเอียดของเป้าได้มากกว่าทุ่นแสดงตำบลที่แบบอื่น เช่น สามารถแจ้งข้อมูลเพิ่มเติมให้ RCCทราบเช่นประเทศที่เรือหรืออากาศยานจดทะเบียนจำนวนผู้โดยสารที่อยู่บนเรือ หรืออากาศยาน เป็นต้น

18.1 EPIRB ที่ใช้ในปัจจุบันได้เริ่มนำเอาระบบความถี่คู่ (Dual Frequency) 121.5 / 406 MHz มาใช้งานอย่างแพร่หลายเพราะสะดวกในการใช้งาน ตลอดจนรุ่นใหม่ๆ ที่มีการใส่ภาค GPS (Global Positioning System) หรือระบบแจ้งตำบลที่ดาวเทียมลงในเครื่อง EPIRB

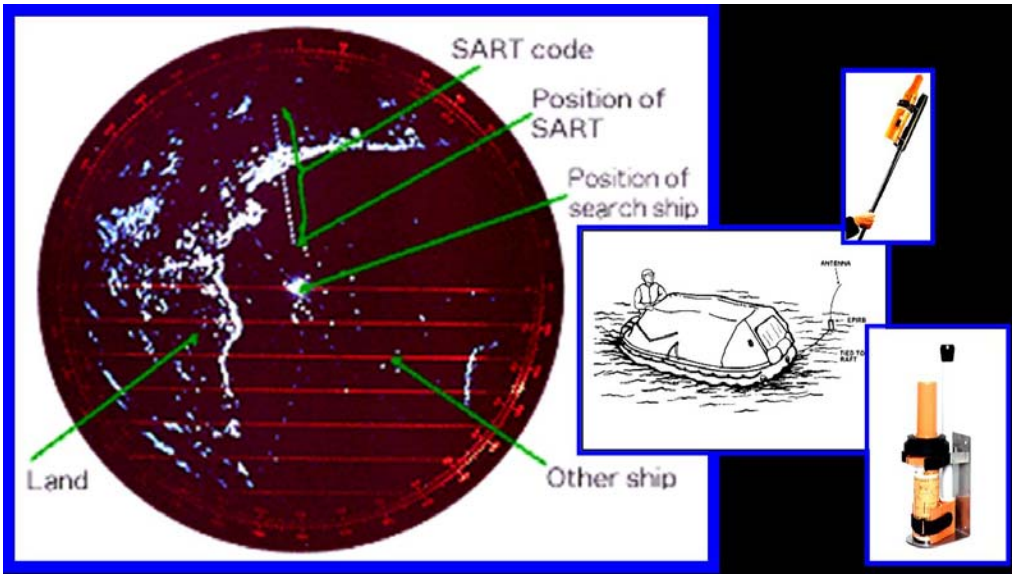
18.2 Inmarsat E หรือ L Band EPIRB (1544.5 MHz) จะส่งข้อมูลที่ประกอบด้วย ข้อมูลตำบลที่จาก ระบบ GPS และข้อมูลรายละเอียดอื่นๆผ่านดาวเทียม Inmarsat ไปยังศูนย์ ประสานงานและช่วยเหลือผู้ประสบภัย (RCC) เพื่อประสานการช่วยเหลือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

EPIRB



19. ทุ่นเรดาร์ (SART-Search and Rescue Radar Transponder) เป็น Secondary Radar ติดตั้งในเรือใหญ่ หรือในแพชูชีพ ทำงานในย่านความถี่ 9 GHz(X Band) ซึ่งเป็นย่านความถี่ของ เรดาร์เดินเรือ หลักการทำงานคือ เมื่อได้รับ สัญญาณ(Pulse)จากเรดาร์เดินเรือ สัญญาณ นั้นจะไปกระตุ้นเครื่องส่งของSARTให้ส่งสัญญาณตอบเป็น รหัส(Code) 12 จุด ไปปรากฏบนจอเรดาร์ ของเรือหรืออากาศยานที่กำลังทำการค้นหา ให้ทราบตำบลที่ของเรือ หรือ แพชูชีพที่ประสบภัย ทำงานด้วย แบตเตอรี่อายุใช้งานประมาณ 96 ชม.

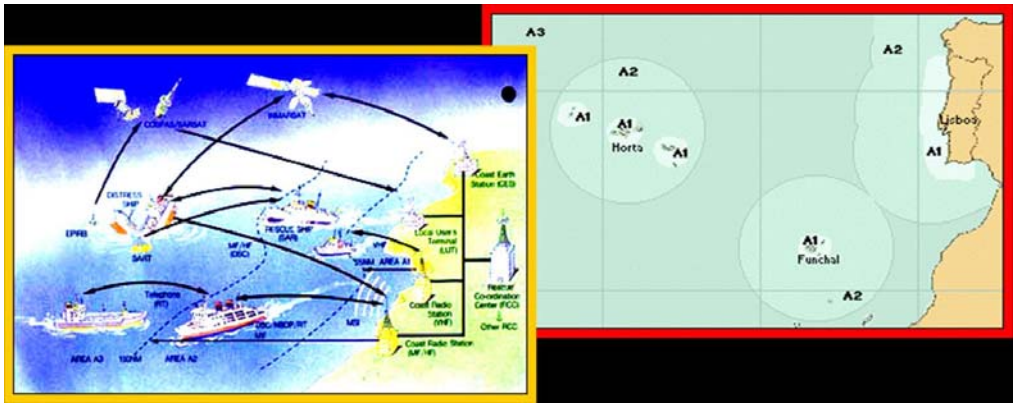
ทุ่นเรดาร์ (SART-Search and Rescue Radar transponder)



20. ข้อกำหนดการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระบบ GMDSS ภายใต้ข้อกำหนดของระบบ GMDSS การติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารในเรือ จะขึ้นอยู่กับรัศมีการเดินทางของเรือลำนั้นๆ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเรือเหมือนก่อนหน้านี้

- **พื้นที่ A1 (Sea Area A1)** ห่างฝั่ง 20 – 30ไมล์ ติดตั้ง เครื่องรับ-ส่งย่าน ความถี่ VHF และส่งข่าวแจ้งเหตุ ผ่านระบบ DSC
- **พื้นที่ A2 (Sea Area A2)** ห่างฝั่ง100-150ไมล์ ติดตั้งเครื่องรับ-ส่งย่านความถี่ MF รับ-ส่งข่าวด้วยระบบวิทยุโทรศัพท์ และส่งข่าวแจ้งเหตุ ผ่านระบบ DSC
- **พื้นที่ A3 (Sea Area A3)** ต้องการระบบสื่อสารระยะไกล ติดตั้งเครื่องรับ-ส่งวิทยุย่านความถี่ HFส่งข่าวด้วยระบบวิทยุโทรศัพท์และส่งข่าวแจ้งเหตุ ผ่านระบบ DSC รวมทั้งต้องมีระบบ Telex (NBDP) ในกรณีที่อยู่ในพื้นที่บริการของ ระบบ INMARSAT จะต้องติดตั้งระบบ Inmarsat C เมื่อไม่มีระบบNAVTEX (ระหว่าง Latitude 70 องศาเหนือ และ 70องศาใต้)
- **พื้นที่ A4 (Sea Area A4)** อยู่นอกพื้นที่บริการระบบ INMARSAT หรืออยู่บริเวณขั้วโลกเหนือ และใต้ติดตั้งเครื่องรับ-ส่งวิทยุย่านความถี่ HF ส่งข่าวด้วยระบบวิทยุโทรศัพท์และส่งข่าวแจ้งเหตุ ผ่านระบบ DSC รวมทั้งต้องติดตั้งระบบTelex (NBDP) และต้องติดตั้งระบบ NAVTEX เมื่ออยู่ในพื้นที่บริการ

<u>ข้อกำหนดอุปกรณ์ในการติดตั้งเครื่องมือสื่อสารระบบGMDSS</u>



21. ข้อกำหนดเพิ่มเติมในการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสาร เรือที่มีระวางขับน้ำ 300 ตันกรอส กับ เรือบรรทุกน้ำมันขนาด 300.000 ตัน อาจติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารเหมือนกัน เมื่อมีรัศมีการเดินทางเหมือนกัน เรือที่มีรัศมีเดินทางในเขต A2 , A3 หรือ A4 จำเป็นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์สื่อสาร ที่จะต้องติดตั้งประจำเรือที่จดทะเบียนในพื้นที่A1ด้วยเสมอเช่น เรือที่มีรัศมีเดินทางใน พื้นที่ A3 จะต้องติดตั้งวิทยุ

- VHF(DSC)
- MF/HF (DSC)

- ■ Inmarsat C
- ■ Telex

22. เครื่องมือสื่อสารระบบ GMDSS ที่จะต้องติดตั้งในเรือ ที่เดินทางเขต พื้นที่ต่างๆ

22.1 พื้นที่1 (Sea Area1)

- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF พร้อมด้วยระบบ DSC จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับข่าว NAVTEX จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม EPIRB จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณเรดาร์ Radar Transponder เรือขนาดต่ำกว่า 500 ตันกรอส จำนวน 1 เครื่อง เรือขนาด 500 ตันกรอสขึ้นไป จำนวน 2 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF กันน้ำได้แบบมือถือตามกฎ GMDSSจำนวน 3 เครื่อง หรือ 2 เครื่องตามขนาดของเรือ

22.2 พื้นที่2 (Sea Area2)

- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF พร้อมด้วยระบบ DSC จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับข่าว NAVTEX จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม EPIRB จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณเรดาร์ Radar Transponder เรือขนาดต่ำกว่า 500 ตันกรอส จำนวน 1 เครื่อง เรือขนาด 500 ตันกรอสขึ้นไป จำนวน 2 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF กันน้ำได้แบบมือถือตามกฎ GMDSS จำนวน 3 เครื่อง หรือ 2 เครื่องตามขนาดของเรือ
- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย MF/HF พร้อมด้วยระบบ DSC

22.3 พื้นที่3 (Sea Area3)

- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF พร้อมด้วยระบบ DSC จำนวน 2 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับข่าว NAVTEX จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม EPIRB จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณเรดาร์ Radar Transponder เรือขนาดต่ำกว่า 500 ตันกรอส จำนวน 1 เครื่อง เรือขนาด 500 ตันกรอสขึ้นไป จำนวน 2 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF กันน้ำได้แบบมือถือตามกฎ GMDSSจำนวน 3 เครื่อง หรือ 2 เครื่องตามขนาดของเรือ

- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย MF/HF พร้อมด้วยระบบ DSC และ NBDP (Telex) Functions และเครื่องพิมพ์ข่าวพร้อม Modem จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับข่าว MSI (Marine Safety Information) หรือ EGC receiver ข่าย HF (อาจติดตั้งรวมอยู่ใน Inmarsat-C) จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ เครื่องสื่อสารผ่านดาวเทียม INMARSAT-C จำนวน 1 เครื่อง

22.4 พื้นที่4 (Sea Area4)

- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF พร้อมด้วยระบบ DSC จำนวน 2 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับข่าว NAVTEX จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม EPIRB จำนวน 1 เครื่อง
- ⏩ กระโจมส่งสัญญาณเรดาร์ Radar Transponder เรือขนาดต่ำกว่า 500 ตันกรอส จำนวน 1 เครื่อง เรือขนาด 500 ตันกรอสขึ้นไป จำนวน 2 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย VHF กันน้ำได้แบบมือถือตามกฎ GMDSS จำนวน 3 เครื่อง หรือ 2 เครื่องตามขนาดของเรือ
- ⏩ เครื่องรับส่งวิทยุข่าย MF/HF พร้อมด้วยระบบ DSC และ NBDP (Telex) Functions และเครื่องพิมพ์ข่าวพร้อม Modem จำนวน 2 เครื่อง
- ⏩ เครื่องรับข่าว MSI (Marine Safety Information) ข่าย HF (อาจติดตั้งรวมอยู่ในเครื่องรับส่งวิทยุข่าย MF/HF) จำนวน 2 เครื่อง

23. การใช้งานระบบ GMDSS ประเทศไทย มี กรมการขนส่งทางอากาศ กระทรวงคมนาคม เป็นศูนย์ประสานงานการค้นหาและช่วยเหลืออากาศยานและเรือที่ประสบภัย “ปฏิบัติงานตลอด 24 ชั่วโมง” แม้ว่าข้อกำหนดในการติดตั้ง ระบบ GMDSS ไม่ได้บังคับใช้กับเรือรบ แต่ ทร.ได้ติดตั้งระบบ GMDSS ไว้ที่ กภ.1 และเรือรบเกือบทุกลำ เพื่อใช้ประสานงานการค้นหาและช่วยเหลือฯ และเพื่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินในขณะปฏิบัติราชการในทะเล

- ■ 3 ตัวแรก เป็นชื่อประเทศที่สถานีฝั่งหรือเรือจดทะเบียนไว้
- ■ 6 ตัวหลัง แสดงชื่อเรือ หรือ สถานีฝั่ง
  - ☐ประเทศไทยได้รับการจัดสรรให้ใช้ 567XXXXXX สำหรับการติดต่อสื่อสารทางวิทยุโทรศัพท์ย่านความถี่ MF/HF และ VHF
  - ☐456XXXXXX สำหรับการติดต่อสื่อสารทาง ระบบTelex (NBDP)

24. เมื่อพบเห็นอากาศยานหรือเรือประสบภัย <u>แจ้งข่าวต่อศูนย์ประสานงานการค้นหาและช่วยเหลือฯ กรมการขนส่งทางอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง</u>

24.1 แจ้งโดยตรง

- ■ ทางโทรศัพท์ หมายเลข 0-2286 0506, 0-2286 0594
- ■ ทางโทรสาร หมายเลข 0-2287 3186

24.2 แจ้งผ่านที่ทำการไปรษณีย์ทุกแห่ง ของบริษัทไปรษณีย์ไทย จำกัด โดยได้รับการยกเว้นไม่ต้องเสียเงินค่าธรรมเนียมการแจ้งข่าวเกี่ยวกับอากาศยานหรือเรือที่ประสบภัย โดยจ่าหน้าดังนี้

- ■ ศูนย์ประสานงานการค้นหาและช่วยเหลืออากาศยานและเรือที่ประสบภัย
  กรมการขนส่งทางอากาศ ซอยงามดูพลี ถนนพระราม 4
  แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

25. วิธีการแจ้งข่าวเมื่อพบเห็นอากาศยาน หรือเรือที่ประสบภัย ลักษณะของข่าวอากาศยานและเรือที่ประสบภัย ควรประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

- ■ เครื่องหมายสัญชาติและทะเบียน สี และลักษณะของอากาศยานหรือ ชนิด (เรือโดยสาร , เรือสินค้า, เรือบรรทุกน้ำมัน) ขนาด ชื่อ และสัญชาติของเรือ
- ■ ตำบลที่อยู่ของอากาศยานหรือเรือที่ประสบภัย อาจกำหนดโดยแลตกิจูดและ ลองกิจูด หรือระบุเป็นระยะทาง และแบริ่ง จากจุดตำบลที่สำคัญเด่นชัดใกล้เคียงในพื้นที่ภูมิประเทศ
- ■ สภาพลักษณะคลื่น ทิศทาง และความเร็วลมในทะเล
- ■ เวลาที่พบเห็นเหตุการณ์
- ■ สภาพลักษณะ จำนวนบุคคลที่พบเห็น (ตาย บาดเจ็บ หรือบาดเจ็บสาหัส)
- ■ การให้ความช่วยเหลือในเบื้องต้น

26. ระเบียบปฏิบัติการสื่อสารด้วย DSC ในย่านความถี่ MF/HF และ VHF

26.1 การส่งสัญญาณแจ้งภัย (Distress Alert)

- ■ การส่งสัญญาณแจ้งภัย DSCแสดงว่า นายเรือ ของเรือที่กำลังตกอยู่ในภาวะอันตรายคับขันนั้น ต้องการความช่วยเหลือโดยด่วน
- ■ สัญญาณแจ้งภัย DSC จะส่งให้ไกลที่สุดเท่าที่จะทำได้และต้องส่งโดยวิธีการสื่อสารมากกว่าหนึ่งวิธี โดยมีข้อมูลเหล่านี้ส่งรวมไปด้วย
- ■ ตำบลที่ครั้งสุดท้าย
- ■ เวลา (UTC) ที่เกิดเหตุ
- ■ ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับตำบลที่ และ เหตุที่เกิดขึ้นจะถูกส่งโดยอัตโนมัติ (เมื่อเชื่อมต่อระบบ GPSเข้ากับระบบสื่อสารที่มี DSC และมีการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับเหตุที่เกิดขึ้นเพิ่มเติมก่อนการส่ง)

26.2 เมื่อมีเวลาในการป้อนข้อมูลเพิ่มเติม ข้อมูลที่ส่งไปกับสัญญาณแจ้งภัยควรจะประกอบด้วย

- ประเภทของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น(Nature of Distress) เช่น ไฟไหม้เรือ คนตกน้ำ หรือ เรือกำลังจะจม
- ตำบลที่ครั้งสุดท้ายของเรือ (หากระบบGPS ต่อเข้ากับ ระบบDSCก็จะแสดงโดยอัตโนมัติ)
- เวลา(UTC) ที่เกิดเหตุ
- ความถี่ และวิธีการสื่อสารที่จะใช้ในการสื่อสารแจ้งภัย

26.3 การตอบรับทราบสัญญาณแจ้งภัย DSC โดยปกติเป็นหน้าที่ของสถานีบนบกเท่านั้น เรือที่เดินทางอยู่ในรัศมีการทำงานของสถานีบกมากกว่าหนึ่งสถานี อาจตอบรับทราบสัญญาณแจ้งภัยได้ เมื่อรอเวลาให้ผ่านไป มากกว่า 3 นาที เพื่อให้โอกาสสถานีบนบกเหล่านั้นทำการตอบรับทราบก่อนสถานีเรือ เมื่อได้รับสัญญาณแจ้งภัย DSC จะต้องดำเนินการดังนี้

- ปรับแต่งอุปกรณ์สื่อสารให้พร้อมที่จะรับ ข่าวแจ้งภัยที่จะส่งต่อมาภัยหลัง
- ส่งข่าวรับทราบสัญญาณแจ้งภัยนั้น **โดยใช้ความถี่รับ-ส่งข่าวแจ้งภัย ทางวิทยุโทรศัพท์** ในย่านความถี่เดียวกับที่รับข่าวแจ้งภัย เช่นความถี่ 2182 KHz หรือ 156.80MHz(CH16)

26.4 การตอบรับทราบสัญญาณแจ้งภัยDSC ด้วยความถี่แจ้งภัยทางวิทยุโทรศัพท์ มีรายละเอียดดังนี้

- Mayday
- MMSI ของเรือที่ประสบอันตราย (3ครั้ง)
- This is
- MMSI/นามเรียกขาน/หรือการแสดงอื่น ของเรือที่ตอบรับทราบ(3ครั้ง)
- Received Mayday

<u>ตัวอย่าง การตอบรับทราบสัญญาณแจ้งภัย DSC</u>

Mayday

567999999 567999999 567999999

This is

567480915 567480915 567480915 (หรือนามเรียกขานหรือ การแสดงอื่นๆ 3 ครั้ง)

Receive Mayday

Over

26.5 หลังจากทิ้งช่วงเวลาไว้ระยะหนึ่งแล้วยังไม่มีสถานีบกใดตอบรับทราบ เรือที่รับสัญญาณแจ้งภัยได้ ต้องส่งการตอบรับทราบ **โดยใช้ ระบบ DSC(MF-2187.5 KHz และ VHF(CH70)** โดยเลือก Format Knowledge หน้าเครื่องDSC โดยมี แบบฟอร์ม ข่าวดังนี้

- MMSI ของเรือที่ประสบภัย
- ประเภทของภัยที่เกิดกับเรือ (Nature of Distress)
- ตำบลที่ของเรือที่ประสบภัย
- เวลา(UTC) ที่ประสบภัย
- รูปแบบของการรับ-ส่ง ข่าวแจ้งภัย
- ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปพร้อมกันด้วย ระบบ DSC

26.6 เรือที่ตอบรับทราบสัญญาณแจ้งภัย โดยระบบDSC จะต้องรีบแจ้งให้สถานีฝั่ง หรือสถานีปลายทาง ภาคพื้นดิน (CES-Coast Earth Station) ทราบทันทีด้วยอุปกรณ์สื่อสารรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งว่า ตนได้ตอบรับทราบสัญญาณแจ้งเหตุนั้นแล้ว

26.7 การรับ-ส่งข่าวแจ้งภัย(Distress Traffic) หลังจากตอบรับทราบสัญญาณแจ้งภัยแล้ว จะเริ่มทำการรับ-ส่งข่าวแจ้งภัย ทางวิทยุโทรศัพท์ ด้วยความถี่ที่ใช้ในสื่อสารแจ้งภัย 2182 KHz และ 156.80 MHz (CH16) ดังนี้

- Mayday
- This is
- MMSI และ นามเรียนขาน หรือการแสดงอย่างอื่นของเรือที่ประสบภัย
- ตำบลที่ของเรือที่ประสบภัย
- ประเภทภัยที่เกิดขึ้น และความช่วยเหลือที่ต้องการ
- ข้อมูลอื่นๆที่จำเป็น เพื่อให้ความช่วยเหลือสะดวกขึ้น

ข่าวแจ้งภัย

MAYDAY, MAYDAY, MAYDAY,
This is
Thaisamut, Thaisamut, Thaisamut.
MAYDAY
Thaisamut /MMSI 567999999,
Position 12. 04.6’ North 100. 18.8’ East.
Ship has taken on water and in danger of capsizing, I require immediate assistance,
4 persons on board, are taking to life craft, Over.”

26.8 Distress Card เรือทุกลำควรจัดทำ Distress Card ไว้ประจำห้องสื่อสารเพื่อสามารถนำมาใช้ได้ทันทีเมื่อมีเหตุจำเป็น

MAYDAY MAYDAY MAYDAY

This is

……(ชื่อเรือ 3 ครั้ง)

MAYDAY

……../……(ชื่อเรือและนามเรียกขาน)

Position……(ตำบลที่เกิดเหตุ)

Problem……(เหตุการณ์ที่เกิด)

Request……(ความช่วยเหลือที่ต้องการ)

26.9 การถ่ายทอดสัญญาณแจ้งภัยDSC (DSC Distress Relay Alert) การถ่ายทอดสัญญาณแจ้งภัยDSC แทน สถานีที่ประสบภัย จะต้องพิจารณาดังนี้

- ■ เรือที่ประสบภัยไม่สามารถ ส่งข่าวแจ้งภัยด้วยตัวเอง
- ■ นายเรือพิจารณาแล้วว่า จำเป็นต้องถ่ายทอดสัญญาณแจ้งภัยDSC

❑ ขั้นตอนการถ่ายทอดสัญญาณแจ้งภัยDSC มีขั้นตอนดังนี้

- ■ ปรับเครื่องส่งไปที่ช่องความถี่แจ้งภัย DSC 2187.5 KHz /VHF156.525(Ch70)
- ■ เลือก Distress Relay Call ที่หน้าเครื่อง DSC
- ■ การป้อนข้อมูลรายละเอียดในเครื่อง DSC
  - ☐ MMSI ของเรือที่ประสบภัย
  - ☐ ประเภทของ ภัยที่เกิดขึ้น
  - ☐ ตำบลที่ของเรือที่ประสบภัย
  - ☐ เวลา(UTC) ที่เกิดเหตุ
  - ☐ รูปแบบและความถี่ ในการรับ-ส่งข่าวแจ้งภัย
  - ☐ ส่งข่าวแจ้งภัย (Send หรือ Call)

26.10 การตอบรับทราบ การถ่ายทอดสัญญาณแจ้งภัยDSC จากสถานีบนบกหลังจากที่สถานีบกได้ตอบรับทราบ สัญญาณแจ้งภัยแล้ว สถานีบกจะต้องส่งข้อมูลที่รับออกไปอีกครั้งในรูปแบบการถ่ายทอดสัญญาณแจ้งภัยDSC โดยจ่าหน้าถึง ทุกสถานี หรือ กลุ่มสถานีที่กำหนด และมีรูปแบบของข่าวดังนี้

- ■ ALL Station This is MMSI (ของสถานีฝั่ง)
- ■ MMSI ของเรือที่ประสบภัย
- ■ ประเภทของ ภัยที่เกิดขึ้น

- ตำบลที่ของเรือที่ประสบภัย
- เวลา(UTC) ที่เกิดเหตุ
- รูปแบบและความถี่ ในการรับ-ส่งข่าวแจ้งภัย
- ส่งข่าวแจ้งภัย (Send หรือ Call)

26.11 เรือที่รับการถ่ายทอดสัญญาณแจ้งภัยDSC จากสถานีบก ได้จะต้องดำเนินการ ส่งการตอบรับทราบข่าวนั้น ทางวิทยุโทรศัพท์ ด้วยความถี่ที่ใช้ในการแจ้งภัย ในย่านเดียวกับที่รับข่าว การถ่ายทอดได้ คือ 2182KHzและ 156.80MHz(CH16)

- ขั้นตอนการตอบรับทราบมีดังนี้
  - ☐ Mayday
  - ☐ MMSI ของสถานีบกที่ทำการถ่ายทอดข่าว(3 ครั้ง)
  - ☐ Received Mayday

27. การส่งข่าวฉุกเฉิน (Urgent Communication) การส่งข่าวฉุกเฉิน มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- ส่งประกาศแจ้งข่าวฉุกเฉิน ด้วยความถี่DSC ช่อง2187.5 KHz และ156.525MHz(CH70)
- ส่งข่าวฉุกเฉิน ด้วยความถี่การสื่อสารประสบภัยทางวิทยุโทรศัพท์ 2182KHz และ 156.800MHz(Ch16)

27.1 การเรียกแจ้งข่าวฉุกเฉิน จ่าหน้าถึง สถานีใดสถานีหนึ่ง All Ship , All Ship ในพื้นที่ที่ระบุ(All Ship in Sattahip Area), Group Shipและ อาจระบุความถี่ที่จะใช้ในการส่งข่าวฉุกเฉินรวมไปด้วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ปรับเครื่องส่งไปที่ช่องเรียกแจ้งภัย DSC 2187.5 kHz/,156.525MHz (CH70)
- เลือกรูปแบบการจ่าหน้า All Ship , Area Call ,Individual Call etc.
- ป้อนข้อมูลในระบบ DSC ดังนี้
  - ☐ MMSI ของสถานีที่ต้องการแจ้งข่าว
  - ☐ Urgent
  - ☐ กำหนด ช่องความถี่ที่จะใช้ในการรับ- ส่งข่าว และเลือก Radiotelephony
  - ☐ กดปุ่ม Send หรือ Call

27.2 ขั้นตอนการส่ง ข่าวฉุกเฉิน ปรับเครื่องรับ-ส่งไปที่การทำงานแบบวิทยุโทรศัพท์ ช่องความถี่ 2182KHz และ/หรือ156.800MHz(Ch16) รูปแบบของข่าวฉุกเฉิน

- PAN-PAN PAN-PAN PAN-PAN
- All Station หรือระบุ สถานี
- This is
- MMSI และ C/S ของสถานีที่ส่งข่าว
- ข้อความข่าวฉุกเฉิน

ข่าวฉุกเฉิน

"Pan Pan, Pan Pan, Pan Pan. This is Thaisamut, a Navy Blue 5 metre red half cabin cruiser.
I am 3 miles off the west end of Samui Island. We have been disabled by a wave and require a tow. There are four people onboard. Over."

27.3 การรับข่าวฉุกเฉิน เรือหรือสถานีที่ได้ยินข่าวฉุกเฉินที่จ่าหน้าถึงAll Ship ไม่ต้องตอบรับทราบการเรียกDSCนั้น แต่ให้ปรับเครื่องรับ-ส่งวิทยุโทรศัพท์ไปที่ความถี่ที่ระบุในประกาศแจ้งข่าวฉุกเฉินที่จะส่งตามมา

28. การส่งข่าวเพื่อความปลอดภัย (Safety Communication) การส่งข่าวเพื่อความปลอดภัย มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- ส่งประกาศแจ้งข่าวเพื่อความปลอดภัย ด้วยความถี่ DSC ช่อง2187.5 KHz และ 156.525MHz(CH70)
- ส่งข่าวเพื่อความปลอดภัยด้วยความถี่การสื่อสารประสบภัยทางวิทยุโทรศัพท์ 2182KHz และ 156.800MHz(Ch16)

28.1 การเรียกแจ้งข่าวเพื่อความปลอดภัย จ่าหน้าถึง สถานีใดสถานีหนึ่ง All Ship , All Ship ในพื้นที่ ที่ระบุ(All Ship in Sattahip Area), Group Shipและ อาจระบุความถี่ที่จะใช้ในการส่งข่าวเพื่อความปลอดภัย รวมไปด้วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ปรับเครื่องส่งไปที่ช่องเรียกแจ้งภัย DSC 2187.5 kHz/,156.525MHz (CH70)
- เลือกรูปแบบการจ่าหน้า All Ship , Area Call ,Individual Call etc.
- ป้อนข้อมูลในระบบ DSC ดังนี้
  - ☐ MMSI ของสถานีที่ต้องการแจ้งข่าว
  - ☐ เลือก Safety
  - ☐ กำหนด ช่องความถี่ที่จะใช้ในการรับ- ส่งข่าว และเลือก Radiotelephony
  - ☐ กดปุ่ม Send หรือ Call

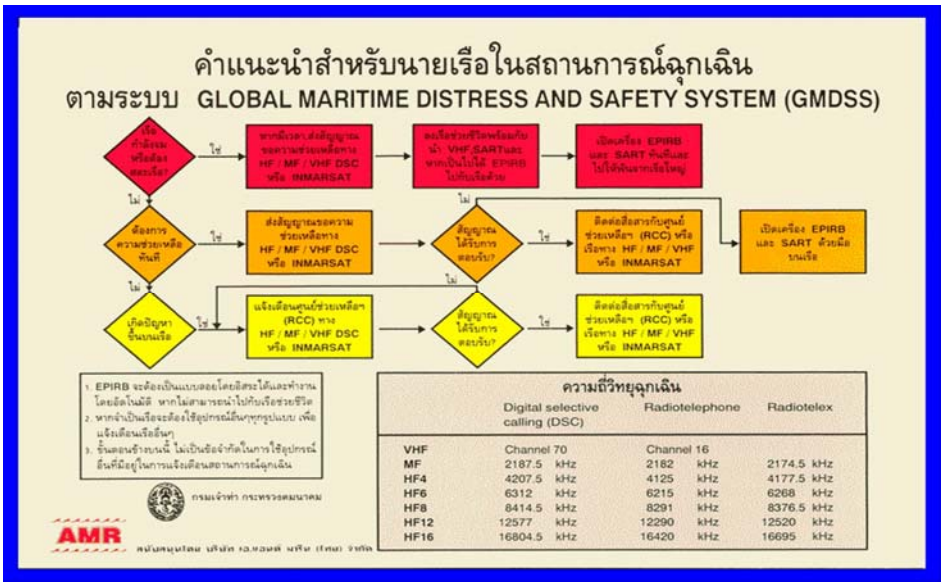
28.2 ขั้นตอนการส่ง ข่าวเพื่อความปลอดภัย ปรับเครื่องรับ-ส่ง ให้ทำงานแบบวิทยุโทรศัพท์ และเปลี่ยนช่องหรือความถี่ ตามที่ระบุไว้ในประกาศแจ้ง รูปแบบของข่าวเพื่อความปลอดภัย

- Securite Securite Securite
- All Station หรือระบุ สถานี
- This is
- MMSI และ C/S ของสถานีที่ส่งข่าว
- ข้อความข่าวเพื่อความปลอดภัย

<u>ข่าวเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ</u>

"Securite, Securite, Securite, all ships, all ships, all ships.
This is Bangkok Radio, Bangkok Radio, Bangkok Radio,
for a renewal of a strong wind warning please switch to channel VHF 67. Out."

28.3 การรับข่าวเพื่อความปลอดภัย เรือหรือสถานีที่ได้ยินข่าวเพื่อความปลอดภัยที่ จ่าหน้าถึง All Ship ไม่ต้องตอบรับทราบการเรียกDSCนั้น แต่ให้ปรับเครื่องรับ-ส่งวิทยุโทรศัพท์ไปที่ความถี่ที่ระบุในประกาศแจ้งข่าว เพื่อความปลอดภัยที่จะส่งตามมา



****

บรรณานุกรม

- **IMO GMDSS HANDBOOK**
- **WWW.GMDSS.Com**

นาวาตรี จิรภัส ศิลปกุล

หน.หมวดสื่อสาร กองฝึกศูนย์ยุทธการและสื่อสาร

กองการฝึกกองเรือยุทธการ

9 เมษายน 2550