ตำราฝึกงานในหน้าที่
จำพวกทหารสารสนเทศ
และสงครามอิเล็กทรอนิกส์

ลชทอ.๒๗๑๓๐

ลชทอ.๒๗๑๕๐

ลชทอ.๒๗๑๗๐

กองสงครามอิเล็กทรอนิกส์

ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

กองสงครามอิเล็กทรอนิกส์
สำนักระบบบัญชาการและควบคุม
กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
ทหารอากาศ

คำนำ

ตำราฝึกงานในหน้าที่เกี่ยวกับงานด้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการฝึกความชำนาญ ตามมาตรฐานการฝึกความชำนาญ (มฝช.) ของจำพวกทหารสารสนเทศและสงครามอิเล็กทรอนิกส์ เนื้อหาของตำราเล่มนี้กล่าวถึงความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ ชนิด การปฏิบัติการและการป้องกัน เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกงานในหน้าที่มีความรู้ความเข้าใจและทักษะในการปฏิบัติงานสงคราม อิเล็กทรอนิกส์ สามารถนำไปปฏิบัติงานในสายงานสารสนเทศและสงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่รับผิดชอบให้ประสบความสำเร็จ เพื่อตอบสนองต่อนโยบายของ ทอ.ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยสร้างจิตสำนึกในการปฏิบัติงาน และตระหนักถึงความสำคัญของการปฏิบัติงานด้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์ของ ทอ.

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เข้ารับการฝึกงานในหน้าที่และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีส่วนในการจัดทำเอกสารเล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

กคอ.สบค.ทสส.ทอ.
กันยายน พ.ศ.๒๕๕๙

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
บทที่ ๑ สงครามอิเล็กทรอนิกส์	๑
กล่าวทั่วไป	๑
ประวัติความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์	๑
มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์	๒
บทที่ ๒ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	๔
กล่าวนำ	๔
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า	๔
คลื่นวิทยุ	๕
คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ	๕
แสง	๖
รังสีอัลตราไวโอเลต	๖
รังสีเอกซ์	๖
รังสีแกมมา	๗
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์ทางทหาร	๗
บทที่ ๓ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรดาร์	๑๓
บทกล่าวนำเกี่ยวกับเรดาร์	๑๓
ประวัติความเป็นมา	๑๓
ลักษณะของสัญญาณเรดาร์	๑๔
ส่วนประกอบของเรดาร์	๑๕
ลักษณะของเสาอากาศ	๑๘
การตรวจจับเป้าหมาย	๒๐
Maximum Unambiguous Range	๒๒
การตรวจจับเป้าหมายของเรดาร์ในระบบจรวด	๒๓
ระบบจรวดที่นำวิถีแบบ Missile Homing	๒๔
ระบบจรวดที่นำวิถีแบบ Missile Guidance	๒๕
บทที่ ๔ อุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ ทอ.	๒๗
บทนำ	๒๗
อุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการสนับสนุนสงครามอิเล็กทรอนิกส์	๒๗
อุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรการโจมตีสงครามอิเล็กทรอนิกส์	๓๐

บทที่ ๑
สงครามอิเล็กทรอนิกส์

กล่าวทั่วไป

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้ได้ถูกนำไปใช้ในทุกระดับและทุกหน่วยรบ อุปกรณ์สื่อสารช่วยให้การติดต่อควบคุมและให้ข่าวสารที่สำคัญต่อการตัดสินใจ เครือข่ายเรดาร์เป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์ในการป้องกันภัยทางอากาศ อุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยเตือนภัยเมื่อข้าศึกรุกราน เนื่องจากระบบเรดาร์นี้ขึ้นอยู่กับสเปกตรัมแม่เหล็กเพื่อข่าวสารและการจัดการ ดังนั้น การใช้ประโยชน์อาจจะได้ไม่เต็มที่และระบบเรดาร์อาจจะถูกข้าศึกนำไปใช้ประโยชน์จากการใช้อุปกรณ์แม่เหล็กอื่น ๆ

ประวัติความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์

ไม่มีใครรู้แน่ว่าสงครามอิเล็กทรอนิกส์ถูกนำไปใช้ครั้งแรกเมื่อไร แต่จากการเปรียบเทียบ ประวัติทางทหารตามลำดับเวลาพบว่า ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. ๒๔๕๙ พลเรือ Sir Henry Jackson ผู้บัญชาการทหารเรืออังกฤษได้ส่งสัญญาณวิทยุ เพื่อตรวจหาการเคลื่อนไหวของหมู่เรือของเยอรมันนี ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของการปรากฏของสัญญาณวิทยุของเยอรมันนีจะน้อยมาก แต่ Sir Henry ได้ใช้ข้อมูลนี้ในการเคลื่อนทัพและส่งผลให้อังกฤษเอาชนะเยอรมันในการรบครั้งนั้น

สงครามอิเล็กทรอนิกส์กลายเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการทางทหารระหว่างสงครามโลก ครั้งที่ ๒ โดยการนำเอาเรดาร์มาใช้ซึ่งอังกฤษเป็นชาติแรกที่นำมาใช้ การต่อสู้ด้วยการใช้สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าได้ถูกตั้งชื่ออย่างเหมาะสมว่า “สงครามวิทยุ” (Battle of the beams) แผนการทิ้งระเบิดของเยอรมันนีเหนือหมู่เกาะอังกฤษและความพยายามทิ้งระเบิดของพันธมิตรเหนือน่านฟ้ายุโรป นำไปสู่การโต้ตอบอย่างดุเดือด Sir Winston Churchill เรียกการรบนี้ว่า “การรบแห่งเวทย์มนต์ดำ” หรือ “สงครามแห่งเวทย์มนต์ดำ” การรบนี้แสดงให้เห็นถึงอำนาจของความรู้ความสามารถ และความชำนาญของนักวิทยาศาสตร์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับสงครามอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีบทบาทสำคัญในสงครามโลกครั้งที่ ๒

บางครั้งเราเรียกสงครามแห่งเวทย์มนต์ว่า “กาดำ” หรือ “นกดำ” ชื่อทั้งสองนี้ยังคงใช้กันอยู่ในหมู่ของนายทหารสงครามอิเล็ทรอนิกส์และไม่มีใครรู้ที่มาของชื่อทั้งสอง แต่พอเดาได้ว่ามันอาจมาจากความเชื่อเรื่องโชคลางที่ว่า “กาดำจะนำโชคร้ายมาสู่ผู้พบเห็น”

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic warfare ; EW) พัฒนาไปพร้อม ๆ กับเรดาร์การรบกวนคลื่นวิทยุครั้งแรกของฝ่ายพันธมิตรต่อข้าศึกเกิดขึ้นเมื่อ Libyan Campaign ช่วงเดือน พฤศจิกายน ค.ศ.๑๙๔๑ เมื่อคลื่นวิทยุของรถถังเยอรมันถูกรบกวนจากเครื่องบิน เครื่องมือสร้างคลื่นในตอนนั้นจัดว่ามีอำนาจการทำลายล้างเกินความจำเป็นเมื่อเทียบกับเครื่องสร้างคลื่นรบกวนสมัยปัจจุบัน แต่มันก็สามารถรบกวนการติดต่อสื่อสารได้ในการรบ ดังนั้นรถถังต่าง ๆ เคลื่อนไหวอย่างไม่เป็นขบวน นี้แสดงถึงบทบาทของการปฏิบัติการทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ แต่อย่างไรก็ตามอังกฤษได้ละเลยการป้องกันการรบกวนคลื่นทางอากาศเป็นเหตุทำให้การรบกวนคลื่นยุติโดยฝูงบินขับไล่เยอรมัน ใช่วงเวลานี้เยอรมันได้ใช้ปืนติดเรดาร์ เพื่อทำให้เรดาร์มองไม่เห็นและแล้วก็ถึงคราวที่เยอรมันได้เปรียบเยอรมันได้รบกวนเรดาร์ทุกตัวของอังกฤษที่ใช้งานได้และได้นำกองทัพ Scharnhorst เดินทางจาก Brest ผ่านช่องแคบอังกฤษไปยังทะเลเหนือ ในช่วงเวลานี้เรดาร์ของอังกฤษใช้การไม่ได้เลย

ถึงแม้ว่าการเคลื่อนไหวของ Scharnhorst ปิดบังอังกฤษได้ แต่อังกฤษได้รับบทเรียนอันมีค่านี้ ประสิทธิภาพ ของเรดาร์รบกวนได้ทดลองแล้ว อีกทั้งเยอรมันได้เปิดเผยความสามารถของตนเอง การกระทำนี้นำไปสู่บทเรียนอันแสนมีค่ายิ่ง หลังจากมีการใช้คลื่นรบกวนเรดาร์ประสิทธิภาพของมันก็ลดลง เมื่อเราเปิดคลื่นรบกวน (countermeasure) เราก็กลายเป็นเป้าของเครื่องป้องกันคลื่นรบกวน (counter-countermeasures) หรือคลื่น

รบกวนอาจถูกข้าศึกใช้ทำลายอาวุธของเรา สหรัฐอเมริกาได้สังเกตุการรบระหว่างระบบอิเล็กทรอนิกส์รุกกับเทคนิคในการส่งคลื่นรบกวนเพื่อลดประสิทธิภาพในการตรวจจับของอีกฝ่ายหนึ่ง สหรัฐอเมริการู้ดีว่าการปฏิบัติการในอนาคตจะขึ้นอยู่กับระบบเตือนภัยและระบบควบคุมและระบบทั้งสองนี้ ขึ้นอยู่กับสงครามอิเล็กทรอนิกส์ในฤดูใบไม้ผลของปี ค.ศ.๑๙๔๒ นักวิจัยของสหรัฐอเมริกาจำนวนหนึ่ง ได้ถูกสั่งให้ทำงานร่วมในโครงการ Royal Air Force radiation countermeasures program จากองค์กรเล็ก ๆ นี้ ห้องทดลองถูกสร้างเมื่อปี ๑๙๔๓ ที่เมือง Malvern ประเทศอังกฤษ ซึ่งออกแบบมาเพื่อการสร้างเครื่องสร้างคลื่นรบกวน เครื่องสร้างคลื่นรบกวนเครื่องแรกของสหรัฐอเมริกาถูกสร้างที่นี่และถูกติดตั้งบนเครื่องบิน B-17 ซึ่งถือเป็นเครื่องบินลำแรกที่มีอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์

หลังจากสงครามอังกฤษจนกระทั่งสงครามเบอร์ลิน อังกฤษเปิดฉากรุกเยอรมัน แทนที่เยอรมันจะป็นฝ่ายรุก เครื่องบินขับไล่ของเยอรมันถูกใช้ในการนี้เป็นส่วนมาก โดยมีเรดาร์ภาคพื้น (Freya และ Wuzburg) เป็นเสมือนตาของเครื่องบินขับไล่ ก่อนที่อังกฤษออกแบบตัวแจมเมอร์ (Jammer ; ตัวสร้างคลื่นรบกวน) อังกฤษต้องการรู้ความสามารถในการป้องกันการแจมเมอร์ (การรบกวนคลื่นเรดาร์) ของระบบเรดาร์ของเยอรมัน อังกฤษแอบดักรับสัญญาณของระบบเรดาร์ Wurzburg ผลจากการทดสอบพบว่าเรดาร์นี้สามารถตรวจจับความถี่ในย่านความถี่ที่กว้างเป็นพิเศษ แต่ไม่มีความสามารถในการป้องกันการแจมได้เลย วิธีที่มีประสิทธิภาพในการแจมเรดาร์ทั้งสองคือ chaff หรือ “window” (เรียกตามอังกฤษ) อังกฤษเลือกใช้ “window” เพราะเกรงว่าเยอรมันอาจพบเศษอลูมิเนียมและหลักการนี้โต้กลับคืนอังกฤษ การรบกวนคลื่นอิเล็กทรอนิกส์ได้ใช้ในการรบครั้งนี้ด้วย แต่ถูกใช้ในการรบกวนการสื่อสารระหว่างเรดาร์กับเครื่องบินขับไล่ในเวลากลางคืน

ระหว่าง “สงครามวิทยุและสงครามมนต์ดำ” จากรายงานต่าง ๆ พบว่าเรดาร์เป็นอาวุธลับของฝ่ายพันธะมิตร ความสำคัญของการรบอยู่ที่การรบกวนเรดาร์และเรดร์จะทำให้ฝ่ายพันธะมิตรชนะสงคราม รายงานเหล่านี้มองเฉพาะแง่ดีเพราะต่อมาสงครามอิเล็กทรอนิกส์ช่วยลดการสูญเสียของคนและเครื่องบินลดลงในสงครามโลกครั้งที่ ๒ แต่มันไม่ได้หมายความว่ามันจำเป็นต่อผู้ชัยชนะ

การต่อสู้กันของเรดาร์ในสงครามโลกครั้งที่ ๒ ถูกกำหนดโดยแจมเมอร์ที่ดี ไม่ใช่เรดาร์ที่ยอดเยี่ยมจากการวิเคราะห์ที่เป็นประโยชน์มากที่สุดในสงครามโลกครั้งที่ ๒ แสดงให้เห็นว่าเยอรมันให้ความสำคัญต่อแจมเมอร์ของฝ่ายพันธะมิตร ความเห็นของนักวิเคราะห์มีอยู่ว่าโครงการต่อต้านระบบเรดาร์ไม่เพียงทำลาย เรดาร์ควบคุมการป้องกันต่อต้านเครื่องบิน แต่ยังทำให้โครงการทางวิทยาศาสตร์ของเยอรมันแย่ลง ประสบการณ์ที่มีค่านี้ควรช่วยกำหนดอนาคตที่สดใสของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ แต่เนื่องจากมีบทเรียนมากมายที่ถูกลืมและมีเทคโนโลยีที่จำกัด ตอนปลายสงครามโลกครั้งที่ ๒ สันติสุขอย่างถาวรเหมือนจะเกิดขึ้น

มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์

การสงครามอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าในอดีต ปัจจุบันหรืออนาคตก็ตาม มีความมุ่งหมายหลัก คือ ลดทอนหรือทำลายประสิทธิภาพการทำงานระบบอุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด

๑. มาตรการสนับสนุนทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Support : ES) คือ ดักจับสัญญาณและหาที่ตั้งแหล่งส่ง หรือจุดแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของข้าศึกและวิเคราะห์ลักษณะทางอิเล็กทรอนิกส์ในอุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและลักษณะการเข้ารหัส โดยมาตราการสนับสนุนทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งออกได้เป็น

๑.๑ การค้นหาทิศทางของข้าศึกระหว่างการรบ เป็นการกระทำในการค้นหาเพื่อดักจับและระบุตำแหน่งแหล่งที่มาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งที่ตั้งใจแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ตั้งใจ

๑.๒ การเตือนภัยคุกคามระหว่างการรบ เป็นการกระทำเพื่อพิสูจน์ทราบอุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อรับรองภัยคุกคามและแจ้งเตือนภัยคุกคามนั้น

๒. มาตรการโจมตีทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Attack : EA) คือ การกระทำใด ๆ ที่ลดประสิทธิภาพหรือทำลายการใช้งานของอุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ๆ ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

๒.๑ การรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Jamming) เช่น

๒.๑.๑ Spot Jamming การรบกวนแบบนี้ใช้กำลังส่งสูงสุดต่อความถี่ใดความถี่หนึ่ง

๒.๑.๒ Barrage Jamming คือการส่งสัญญาณ ที่มีแถบคลื่นกว้างตลอดย่านความถี่ของเรดาร์ข้าศึกใช้งาน

๒.๑.๓ การลวงทางอิเล็กทรอนิกส์ (Deception Jamming) เป็นการไตร่ตรองการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อลดประสิทธิภาพการจับเป้าหมาย และทำให้รับสัญญาณสะท้อนกลับผิดพลาด

๒.๑.๔ การโจมตีใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Directed Energy) เป็นการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำลายฝ่ายตรงข้ามโดยตรง เช่น RF Weapon, Laser Weapon เป็นต้น

๓. มาตรการป้องกันทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Protection : EP) คือ เทคนิควิธีการ หรือมาตราการในการหลีกเลี่ยง หรือการใช้มาตรการโจมตีทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์จากข้าศึกที่กระทำต่อฝ่ายเรา โดยสามารถแบ่งออกเป็น

๓.๑ ระเบียบปฏิบัติการใช้อุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ การจัดการการใช้อุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโหมดต่าง ๆ หรือระเบียบปฏิบัติการใช้งานเพื่อป้องกันการโจมตีทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝั่งข้าศึก

๓.๒ การควคุมการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการเลือกหรือควบคุมการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อลดจากตรวจจับของฝั่งข้าศึกหรือลดการรบกวนสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการใช้อุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ๆ

๓.๓ การจัดสรรคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการจัดสรรคลื่นความถี่เพื่อลดการรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเดียวกันเอง

๓.๔ การเพิ่มขีดความสามารถในอุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการเพิ่มอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ลงไปในอุปกรณ์แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการป้องกันการรบกวนที่เกิดจากการโจมตีทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝั่งข้าศึก หรือการรบกวนจากคลื่นถี่ของฝ่ายเดียวกันเอง

บทที่ ๒
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า

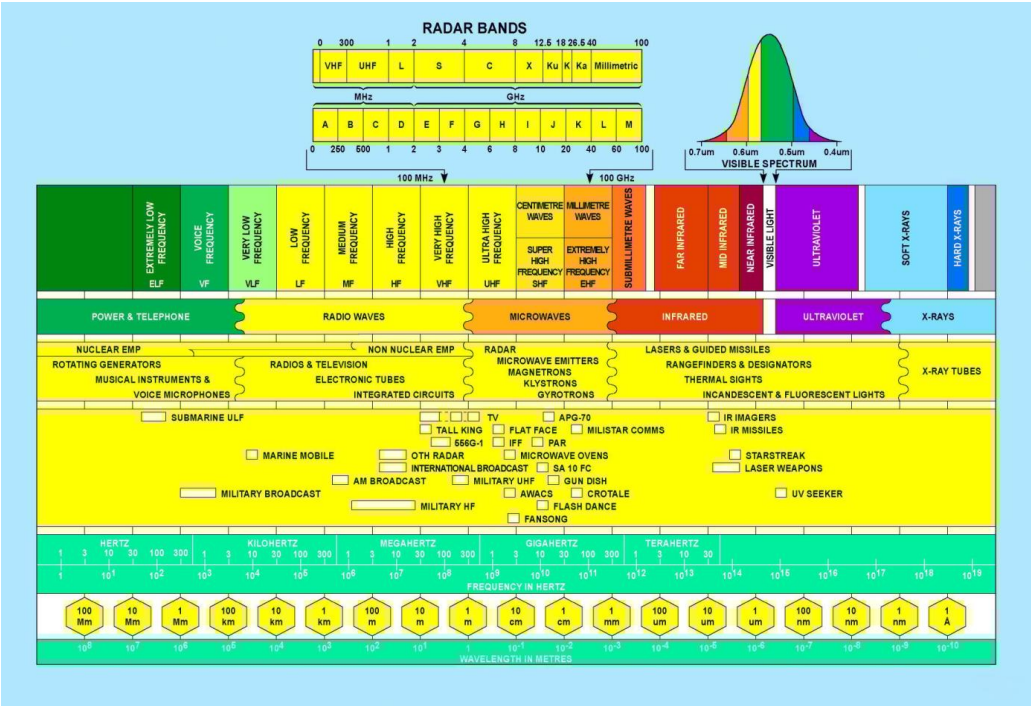
กล่าวนำ

กองทัพอากาศได้กำหนดวิสัยทัศน์ในการจะเป็น “กองทัพอากาศชั้นนำในภูมิภาคอาเซียนในปี ๒๕๖๒” ซึ่งในการที่จะสามารถบรรลุเป้าหมายได้ ทอ.ได้แบ่งการพัฒนาออกเป็นห้วงระยะเวลาเริ่มจากการเป็น “กองทัพอากาศดิจิตอล (Digital Air Force)” และ “กองทัพอากาศที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Air Force)” โดยกองทัพอากาศได้มุ่งเน้นพัฒนาที่องค์ประกอบหลัก ๖ ส่วน ได้แก่ ส่วนบัญชาการและควบคุม (Command & Control), ส่วนระบบการตรวจจับ (Sensor), ผู้ปฏิบัติหรือหน่วยปฏิบัติ (Shooter), เครือข่าย (Network), สนับสนุน และบริการ (Support and Service) และทรัพยากรบุคคลและองค์กร (Human and Organization) อีกทั้งในหน่วย ที่เกี่ยวข้องกับส่วนหลักจะต้องได้รับการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อมุ่งสู่วิสัยทัศน์เดียวกัน

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบหลักในการปฏิบัติการทางอากาศ จัดได้ว่ามีส่วนสำคัญในการกำหนดผลของความสำเร็จในการปฏิบัติภารกิจนั้น ๆ จากประวัติศาสตร์สงครามทางอากาศที่ผ่านมา ประเทศที่มีระบบสงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัยและมีขีดความสามารถในการปฏิบัติการจะสามารถชิงความได้เปรียบทั้งทางยุทธศาสตร์และทางยุทธวิธีทางการรบ เพื่อดำรงขีดความสามารถการใช้กำลังทางอากาศ (Air Power) ทำให้มีการจัดทำหลักสูตรสงครามอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเตรียมความพร้อมของกำลังพลให้พร้อมทั้งในส่วนการกำหนดแผน และส่วนปฏิบัติการด้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีชื่อเรียกช่วงต่าง ๆ ของความถี่ต่างกันตามแหล่งกำเนิดและวิธีการตรวจวัดคลื่น ดังภาพ



ภาพที่ ๒.๑ ช่วงความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ในสเปกตรัมมีสมบัติที่สำคัญเหมือนกันคือ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที และมีพลังงานส่งผ่านไปพร้อมกับคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีชื่อเรียกดังนี้

คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุมีความถี่ช่วง 10^4 - 10^9 Hz (เฮิรตซ์) ใช้ในการสื่อสาร คลื่นวิทยุมีการส่งสัญญาณ ๒ ระบบ คือ

๑.๑ ระบบ Amplitude Modulation (A.M.)

ระบบ A.M. มีช่วงความถี่ 530 - 1600 kHz (กิโลเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้าไปกับคลื่นวิทยุเรียกว่า "คลื่นพาหะ" โดยแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียงในการส่งคลื่นระบบ A.M. สามารถส่งคลื่นได้ทั้งคลื่นดินเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงขนานกับผิวโลกและคลื่นฟ้าโดยคลื่นจะไปสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แล้วสะท้อนกลับลงมา จึงไม่ต้องใช้สายอากาศตั้งสูงรับ

๑.๒ ระบบ Frequency Modulation (F.M.)

ระบบ F.M. มีช่วงความถี่ 88 - 108 MHz (เมกะเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้ากับคลื่นพาหะ โดยความถี่ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียงในการส่งคลื่นระบบ F.M. ส่งคลื่นได้เฉพาะคลื่นดินอย่างเดียว ถ้าต้องการส่งให้คลุมพื้นที่ต้องมีสถานีถ่ายทอดและเครื่องรับต้องตั้งเสาอากาศสูง ๆ รับ

คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ

คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟมีความถี่ช่วง 10^8 - 10^{12} Hz มีประโยชน์ในการสื่อสาร แต่จะไม่สะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์จะต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะ ๆ เพราะสัญญาณเดินทางเป็นเส้นตรง และผิวโลกมีความโค้ง ดังนั้น

สัญญาณจึงไปได้ไกลสุดเพียงประมาณ ๘๐ กิโลเมตรบนผิวโลก อาจใช้ไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียมแล้วให้ดาวเทียมนำสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกล ๆ

เนื่องจาก ไมโครเวฟสามารถสะท้อนกับผิวโลหะได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจหาตำแหน่งของอากาศยาน เรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า เรดาร์ โดยส่งสัญญาณไมโครเวฟออกไปกระทบอากาศยาน และรับคลื่นที่สะท้อนกลับจากอากาศยาน ทำให้ทราบระยะห่างระหว่างอากาศยานกับแหล่งส่งสัญญาณไมโครเวฟได้

รังสีอินฟาเรด

รังสีอินฟาเรดมีช่วงความถี่ 10^{11} - 10^{14} Hz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-3} - 10^{-6} เมตร ซึ่งมีช่วงความถี่คาบเกี่ยวกับไมโครเวฟ รังสีอินฟาเรดสามารถใช้กับฟิล์มถ่ายรูปบางชนิดได้และใช้เป็นการควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรลกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้

แสง

แสงมีช่วงความถี่ 10^{14} Hz หรือความยาวคลื่น $4x10^{-7}$ - $7x10^{-7}$ เมตร เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประสาทตาของมนุษย์รับได้ สเปคตรัมของแสงสามารถแยกได้ตามตาราง ดังนี้

สี	ความยาวคลื่น (nm)
ม่วง	380-450
น้ำเงิน	450-500
เขียว	500-570
เหลือง	570-590
แสด	590-610
แดง	610-760

ตารางที่ ๒.๑ สเปคตรัมของแสง

รังสีอัลตราไวโอเลต

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ รังสีเหนือม่วง มีความถี่ช่วง 10^{15} - 10^{18} Hz เป็นรังสีตามธรรมชาติส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดประจุอิสระและไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ รังสีอัลตราไวโอเลต สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ แต่มีอันตรายต่อผิวหนังและตาคน

รังสีเอกซ์

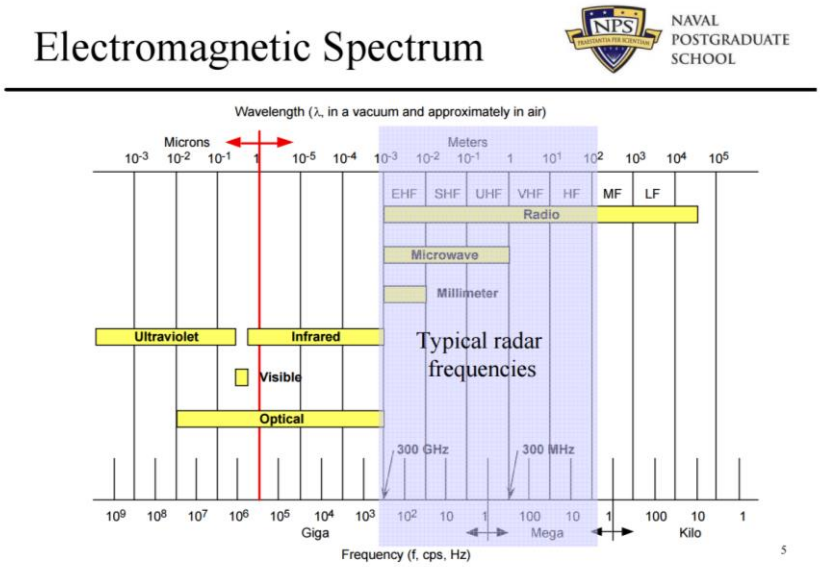
รังสีเอกซ์ มีความถี่ช่วง 10^{16} - 10^{22} Hz มีความยาวคลื่นระหว่าง 10^{-8} - 10^{-13} เมตร ซึ่งสามารถทะลุสิ่งกีดขวางหนา ๆ ได้ หลักการสร้างรังสีเอกซ์ คือ การเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกาย ในวงการอุตสาหกรรมใช้ในการตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ ใช้ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทางและศึกษาการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึก

รังสีแกมมา

รังสีแกมมามีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ามีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์และสามารถกระตุ้นปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์ทางทหาร

แถบความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความถี่ตั้งแต่ความถี่ต่ำจนกระทั่งความถี่สูงถึง 10^{24} Hz. ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่กว้างมาก สามารถจำแนกการใช้งานได้หลากหลายประเภทตามลักษณะทางกายภาพ และวัตถุประสงค์ของการใช้งานตามช่วงความถี่ต่าง ๆ ดังจะแสดงดังภาพ ๒.๒ – ๒.๔



ภาพที่ ๒.๒ แถบความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรดาร์ใช้งาน

Radar Bands and Usage

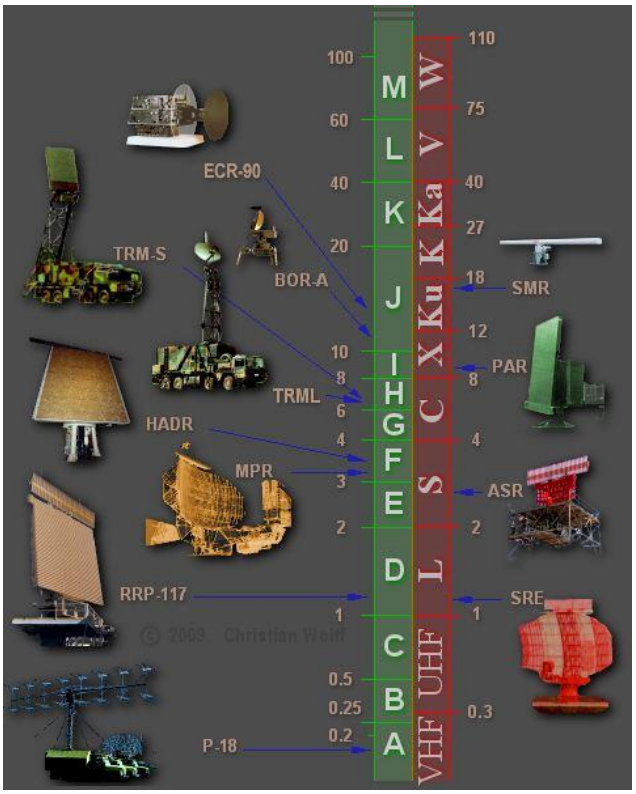
NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL

Band Designation	Frequency Range	Usage
HF	3–30 MHz	OTH surveillance
VHF	30–300 MHz	Very-long-range surveillance
UHF	300–1,000 MHz	Very-long-range surveillance
L	1–2 GHz	Long-range surveillance En route traffic control
S	2–4 GHz	Moderate-range surveillance Terminal traffic control Long-range weather
C	4–8 GHz	Long-range tracking Airborne weather detection
X	8–12 GHz	Short-range tracking Missile guidance Mapping, marine radar Airborne intercept
K_u	12–18 GHz	High-resolution mapping Satellite altimetry
K	18–27 GHz	Little use (water vapor)
K_a	27–40 GHz	Very-high-resolution mapping Airport surveillance
millimeter	40–100+ GHz	Experimental

(Similar to Table 1.1 and Section 1.5 in Skolnik)

6

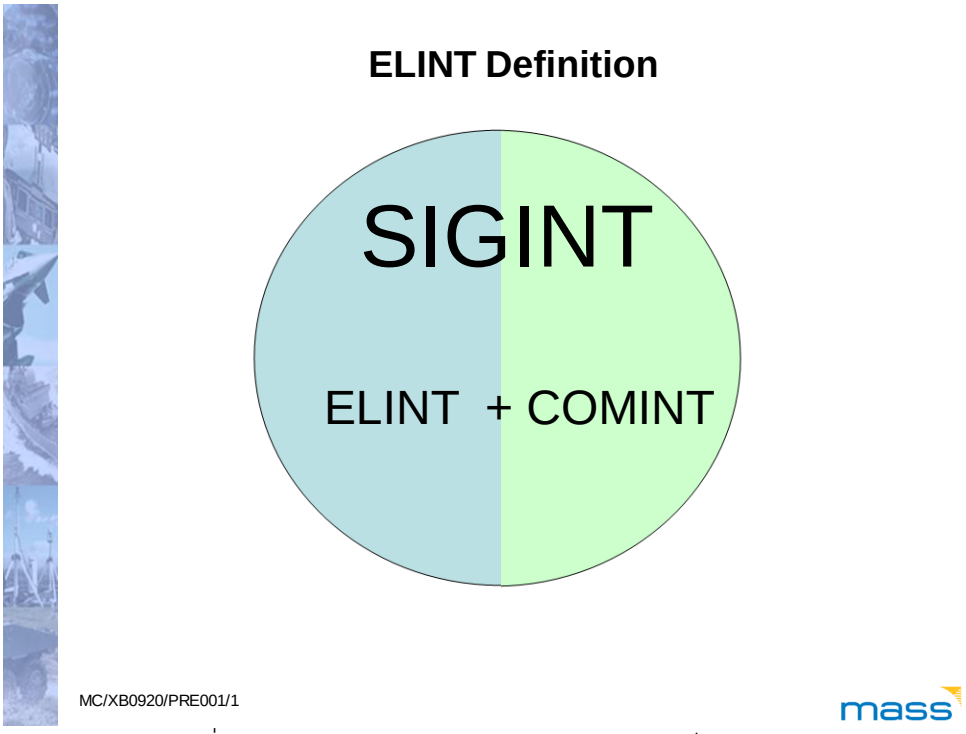
ภาพที่ ๒.๓ แถบความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรดาร์ใช้งาน



ภาพที่ ๒.๔ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์ทางทหาร

จากภาพเป็นการแสดงเรดาร์ในแบบต่าง ๆ ที่ทำงานในหลายย่านความถี่ ซึ่งยิ่งเรดาร์มีความถี่สูงก็จะยิ่งได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศเช่น ฝน, ละอองน้ำ, เมฆ มากยิ่งขึ้น ในขณะเดียวกันเรดาร์ที่ส่งคลื่นความถี่สูง ๆ จะมีประยชน์เป็นอย่างมากในเรื่องของความแม่นยำในการตรวจจับเป้าหมายมากยิ่งขึ้น

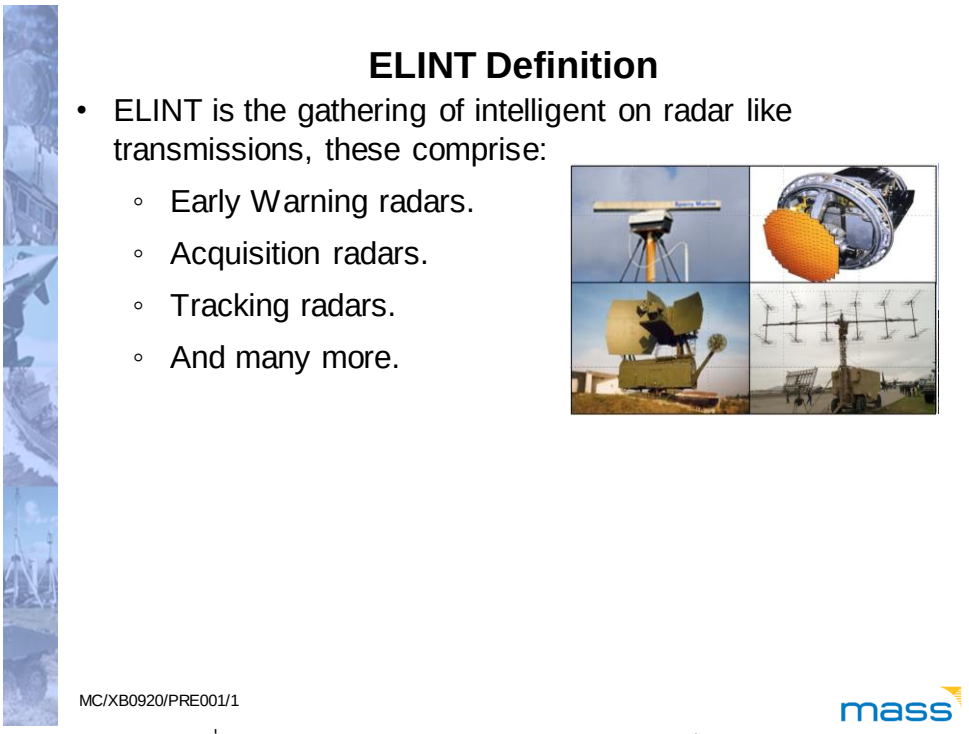
ในการจัดทำ Threat Library จึงมีความจำเป็นที่จะต้องจำแนกคุณลักษณะเฉพาะของเรดาร์แต่ละประเภท โดยต้องอาศัยการหาข่าวที่เรียกว่าการหาข่าวแบบ SIGINT (Signal Intelligence) ดังภาพที่ ๒.๕



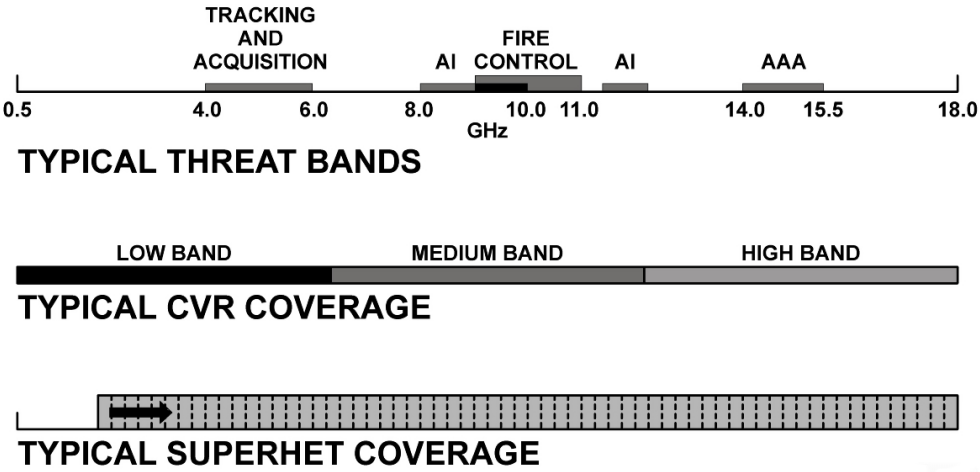
ภาพที่ ๒.๕ คำจำกัดความการหาข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์

Communication Intelligence (COMINT) คือ การหาข่าวการติดต่อสื่อสารโดยการดักจับสัญญาณติดต่อสื่อสารเช่นสัญญาณวิทยุ, โทรศัพท์, สัญญาณจากคอมพิวเตอร์ ซึ่ง COMINT จะสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญในการวางแผนและดำเนินกลยุทธ์ที่มีค่ามาก ซึ่งมีหลายขนาดสามารถติดตั้งให้กับยานพาหนะต่าง ๆ รวมถึงอากาศยาน ตลอดจนการติดตั้งเป็นสถานีดักจับสัญญาณติดต่อสื่อสารภาคพื้น ซึ่งจะต้องติดตั้งกับชุดการหาที่ตั้งของสัญญาณ Direction Finding (D/F) เพื่อระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนินสัญญาณ

Electronic Intelligence (ELINT) คือ การหาข่าวทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่สูงกว่าย่านการติดต่อสื่อสารแบบ COMINT ความถี่ที่ดักจับได้จะเป็นย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งทั้งหมดนั้นจะใช้ในเรดาร์เริ่มตั้งแต่ Early Warning Radar, Air Surveillance Radar (ASR), Airborne Early Warning (AEW)/Airborne Warning and Control System (AWACS), Ground-Controlled Intercept, Acquisition, Tracking, Fire Control Radar, Missile Guidance ข้อมูลที่ดักรับได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะของคลื่น เช่น ความถี่ ความกว้างของคลื่น ความเร็วในการตรวจจับ โดยต้องอาศัยเทคนิค D/F ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่น เพื่อที่จะนำไปสร้างเป็น Electronic Order of Battle (EOB) และจัดทำ EW Database



ภาพที่ ๒.๖ คำจำกัดความการลาดตระเวนทางอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ ๒.๗ แถบความถี่สัญญาณเรดาร์ของภัยคุกคาม

ELINT Product

- Radar Parameters by Type and Value
- Radar and System Identification
- Electronic Order of Battle (EOB) through Locating Technique.
- Levels of Activity
- Capability Assessment
- Used to Develop Appropriate Programs for

- Electronic Support Measure (ESM) systems
- Jammers
- Chaff Dispensers
- To Help Develop Tactics and Countermeasures

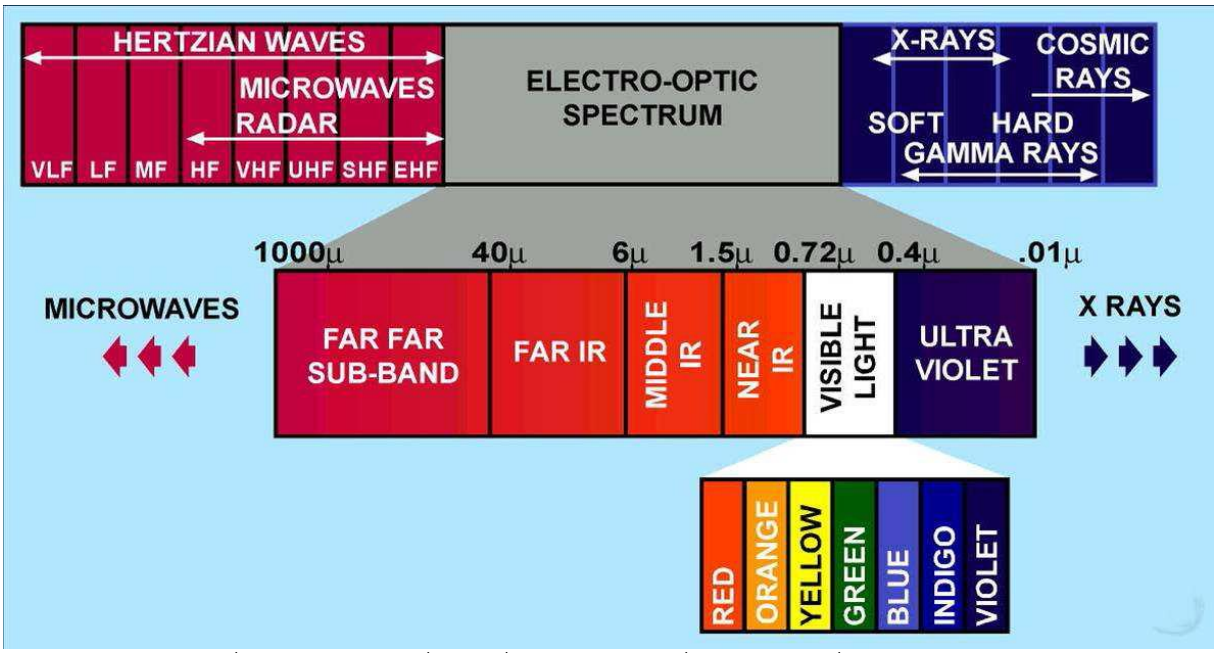
Electro-Optics in Modern Warfare

ในช่วง ๒ ทศวรรษที่ผ่านมา Electro-Optics มีการพัฒนาเป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้ว่ามีอุปกรณ์จำพวก Electro-Optics ทางทหารรูปแบบใหม่จำนวนมาก ซึ่งอุปกรณ์ Electro-Optics เหล่านี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ทางทหารได้เป็นอย่างดีทุกสภาพอากาศทั้งกลางวันและกลางคืน

อุปกรณ์ Electro-Optics แบบ Passive systems เช่น Infrared homing, Thermal Imaging and Image Intensification Systems มีการใช้งานในทางทหารอย่างกว้างขวางรวมถึง Surveillance, Reconnaissance, Navigation, Target Acquisition and Tracking, Weapon Sights, Personal Sights, Fire Control และ Weapon Guidance

ในส่วนของอุปกรณ์ Electro-Optics แบบ Active Laser Systems มีการพัฒนาเช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในการ Range Finding, Target Designation and Missile Guidance ปัจจุบันเริ่มมีการพัฒนาระบบ High Energy Laser Ground and Air Based Systems for Missile Defense

คุณลักษณะของ Electro-Optical Bands ซึ่งประกอบด้วย คลื่นอินฟราเรด คลื่นแสง และคลื่นอัลตราไวโอเลต จะมีคุณลักษณะเหมือนกับคลื่นวิทยุและคลื่นเรดาร์ กล่าวคือกฎของการสะท้อน หักเห เลี้ยวเบน โพลาไรเซชั่นและความเร็วในการเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที สำหรับส่วนที่แตกต่างกัน คือ ความยาวคลื่นหรือความถี่ในส่วนของ คลื่นอินฟราเรด คลื่นแสง และคลื่นอัลตราไวโอเลต จะมีความยาวคลื่นที่สั้นมาก ๆ รวมถึงความถี่ที่สูงกว่ามาก ๆ ดังจะแสดงใน Electromagnetic spectrum ด้านล่าง



ภาพที่ ๒.๘ แถบความถี่ของคลื่นอินฟราเรด คลื่นแสง และคลื่นอัลตราไวโอเลต

เนื่องจากข้อจำกัดทางรูปภาพจึงไม่สามารถกล่าวถึงพลังงานของ Electro-Optic ได้การจำแนกสามารถแยกออกเป็นความถี่ต่าง ๆ ซึ่งปกติแล้วการจำแนก Electro-Optical Spectrum จะแบ่งออกในรูปของความยาวคลื่นมีชื่อเรียกว่าไมครอน (μ) หรือ 10^{-6} เมตร

- Infrared (IR): 1000 μ - 0·72 μ
- Far Far IR: 1000 μ - 40 μ
- Far IR: 40 μ - 6 μ
- Middle IR: 6 μ - 1·5 μ
- Near IR: 1·5 μ - 0·72 μ
- Visible Light: 0·72 μ - 0·40 μ
- UV: 0·40 μ - 0·01 μ

ในระหว่างกลางวันดวงอาทิตย์จะเป็นสิ่งที่ให้แสงสว่าง ซึ่งจะมีการแผ่พลังงานความร้อนออกมาในรูปของคลื่นความถี่ที่ตาสามารถมองเห็นได้ ซึ่งลำแสงจากดวงอาทิตย์จะกระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนเข้าตาเราดวงตาทำหน้าที่เป็นเสมือนเครื่องรับ ซึ่งสามารถรับคลื่นที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ Visible Light: 0·72 μ - 0·40 μ ในขณะที่เวลากลางคืนดวงจันทร์ทำหน้าที่ให้แสงสว่าง ซึ่งแสงจากดวงจันทร์นั้นให้แสงสว่างได้เพียงน้อยกว่า 7% ของดวงอาทิตย์ ทำให้การมองเห็นเป็นไปด้วยความยากลำบาก ต่อมามีการคิดค้นใช้อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับมองเห็นในเวลากลางคืนด้วยคลื่นความถี่อินฟราเรต

ในส่วนของคลื่นอินฟราเรตและคลื่นอัลตราไวโอเรต ขอบเขตของการตรวจจับคลื่นจะเป็นการตรวจจับวัตถุที่มีการแผ่คลื่นออกมา ซึ่งระบบที่ใช้ในการตรวจจับคลื่นทั้งคลื่นอินฟราเรตและคลื่นอัลตราไวโอเรต เช่น Forward Looking Infrared (FLIR), Missile Homing, Infrared Search and Tracking (IRST) และ Missile Approach Warners (MAWs) เป็นต้น

บทที่ ๓
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรดาร์

บทกล่าวนำเกี่ยวกับเรดาร์

คำว่าเรดาร์ (RADAR) ย่อมาจากคำว่า Radio Detection And Ranging เป็นอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้คลื่นวิทยุตรวจค้นหาตำแหน่งของเป้าหมาย โดยสามารถอ่านระยะทาง, ทิศทาง ตลอดจนลักษณะของเป้าหมายนั้น ๆ ได้ ตัวเครื่องส่งจะสร้างความถี่วิทยุแล้วป้อนเข้าสายอากาศ คุณลักษณะของสายอากาศจะส่งพลังงานความถี่วิทยุออกไปเป็นลำคลื่นแล้วกวาดไปทั่วพื้นที่รัศมีทำการ คลื่นความถี่วิทยุนี้ เมื่อกระทบเป้าหมายจะสะท้อนคลื่นวิทยุกลับมาเข้าเครื่องรับที่มีความไวพิเศษ แม้ว่าคลื่นวิทยุที่สะท้อนอ่อนกำลัง แต่หลังจากถูกวงจรขยายกำลังให้สูงพอก็จะป้อนสัญญาณผ่านระบบต่าง ๆ แล้วปรากฏบนจอเรดาร์ได้

การสะท้อนกลับของคลื่นวิทยุความถี่สูงมาก ๆ อาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์ ๓ ข้อ คือ

- ความถี่ของคลื่นเรดาร์ มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น คลื่นเรดาร์จึงมีคุณสมบัติ สะท้อน, หักเห, แทรกสอด เลี้ยวเบนได้ เช่นเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- บรรดาความถี่เรดาร์ที่ออกจากเครื่องส่งด้วยกำลังสูง สามารถบังคับให้พุ่งออกเป็นลำคลื่นเหมือนลำแสงไฟฉายได้ โดยอาศัยคุณสมบัติของสายอากาศแบบที่มีตัวสะท้อนรูปกลีบส้ม (Parabolic Reflector)
- เพราะว่าคลื่นเรดาร์เดินทางด้วยความเร็วของแสง (๓๐๐,๐๐๐,๐๐๐ เมตรต่อวินาที) เราจึงอาศัยความเร็วคงที่นี้ เป็นหลักในการคำนวณหาระยะทางของเป้าหมายได้

ประวัติความเป็นมา

๑. เรดาร์ได้เริ่มพัฒนาใช้งานตั้งแต่ ปี ค.ศ. ๑๙๒๒ โดยมี ดร.เอลเบิร์ต เอช เทเลอร์ (Dr.Albart H.Taylor) และ ดร.ยัง (Dr.Young) สังกัดห้องทดลองของ ทร.สหรัฐอเมริกา ได้ทดลองจนประสบความสำเร็จจากความคิดครั้งแรกที่สังเกตว่า เมื่อมีเรือแล่นผ่านวิถีทางที่ส่งคลื่นวิทยุออก จะมีสัญญาณบางส่วนสะท้อนคลื่นวิทยุกลับมาเข้าเครื่องรับจึงเป็นการเริ่มต้นค้นหาประโยชน์จากการสะท้อนกลับของคลื่นวิทยุดังกล่าวต่อไป

๒. ปี ค.ศ.๑๙๔๑ ช่วงเวลาดังกล่าวเกิดสงครามโลกครั้งที่สอง อังกฤษต้องใช้เครื่องบินจำนวนมากขึ้นไปเตรียมพร้อมอยู่ในอากาศตลอดแนวชายฝั่ง เพื่อเตรียมการขัดขวางการโจมตี จากฝูงบินเยอรมันที่มุ่งเข้าทิ้งระเบิดมหานครลอนดอน แต่การนำเครื่องบินขึ้นไปเตรียมพร้อมบนอากาศตลอดเวลานั้น ทำให้อังกฤษประสบปัญหาขาดแคลนเชื้อเพลิง นักบินได้รับความเหนื่อยล้าเกิดความสึกหรอของเครื่องบินโดยเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนมาก อังกฤษจึงได้จัดระบบการป้องกันภัยทางอากาศใหม่ โดยตั้งสถานีเรดาร์เป็นระยะตลอดชายฝั่ง สถานีเรดาร์เหล่านี้ทราบการเคลื่อนไหวของเครื่องบินข้าศึกที่เข้ามา แล้วจึงสั่งการไปยังเครื่องบินที่เตรียมพร้อมอยู่ที่พื้นดิน ขึ้นไปสกัดกั้นบนอากาศ วิธีการเช่นนี้อังกฤษสามารถตรวจพบฝูงบินเยอรมันได้ตั้งแต่ระยะไกล ๆ จึงมีเวลาทำลายเครื่องบินข้าศึกลงได้มากขึ้นและลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ลดความเหนื่อยล้าของนักบินและลดความสึกหรอของเครื่องบิน

๓. ต่อมาหลังสงครามโลกครั้งที่สอง ได้มีการดัดแปลงแก้ไขให้เครื่องเรดาร์ให้มีรัศมีทำการไกลขึ้น วัดได้ระยะสูงขึ้น จึงมีการสร้างเครื่องเรดาร์แบบใหม่ ๆ ที่ได้แก้ไขจุดอ่อนของแบบเก่าออกมาใช้งานอยู่ตลอดเวลา ความมุ่งหมายที่ต้องมีการดัดแปลงก็เพื่อ

๓.๑ มีกำลังส่งสูง และได้รัศมีทำการไกลออกไป

๓.๒ สามารถจับเป้าหมายได้แน่นอน

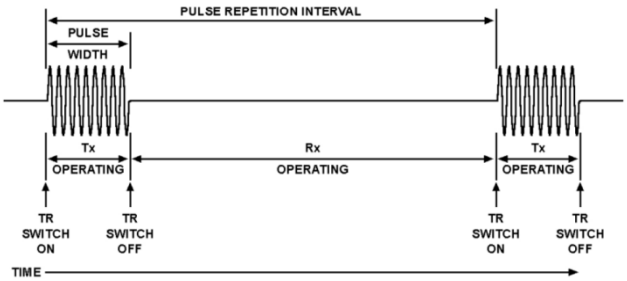
๓.๓ มีความรวดเร็วที่จะได้สัญญาณป้อนแก่เครื่องอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เช่น Data Signal Processing เป็นต้น

๓.๔ มีความสะดวกในการใช้งานและง่ายต่อการปรนนิบัติซ่อมบำรุง

๓.๕ มีความแข็งแรง, ทนทานต่อการเคลื่อนย้าย

๓.๖ สามารถขจัดการรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึกได้

ลักษณะของสัญญาณเรดาร์



ภาพที่ ๓.๑ ลักษณะของสัญญาณเรดาร์

คลื่นเรดาร์มีลักษณะเป็น Pulse โดยมีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้อยู่กับประเภทของเรดาร์ที่ใช้งาน แต่ตัวแปรที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติของคลื่นเรดาร์ที่สำคัญ ประกอบด้วย

๑. ความถี่ของคลื่นเรดาร์

ความถี่ที่ใช้ในการส่งคลื่นเรดาร์ มีตั้งแต่คลื่นโซนาร์, Very High Frequency (VHF), Ultra High Frequency, S-Band, C-Band, X-Band ซึ่งแต่ละช่วงความถี่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นการนำความถี่ไปใช้งานจึงแตกต่างกันด้วย

๒. กำลังออกอากาศ

กำลังออกอากาศมากเรดาร์ก็มีรัศมีทำการไกล แต่เครื่องส่งเรดาร์จะพักการส่งนานกว่า ขณะทำการส่ง ฉะนั้นกำลังเฉลี่ยการออกอากาศของหนึ่งวงรอบจึงต่ำมาก เมื่อเทียบกับกำลังออกอากาศสูงสุด ขณะส่ง Pulse

๓. Pulse Width (PW)

คือ ความกว้างของคลื่นที่เครื่องส่งเริ่มส่งในระดับกำลังสูงสุด (Peak Power) จนถึงระดับกำลังเฉลี่ย (Average Power) มีหน่วยการวัดเป็น microsecond

๔. Pulse Repetition Interval (PRI)

คือ คาบเวลาจากจุดเริ่มต้นของ Pulse ที่ 1 เป็นถึงจุดเริ่มของ Pulse ที่ 2 มีหน่วยการวัดเป็น microsecond เช่นเดียวกับ Pulse Width

ในบางครั้งเราสามารถวัด PRI ได้ในรูปของ Pulse Repetition Frequency (PRF) โดยคำนวณได้จาก PRF = 1/PRI

๕. Duty cycle คือ อัตราส่วนของ P_{av} / P_t หรือ PW/PRI

P_{av} = Average Power

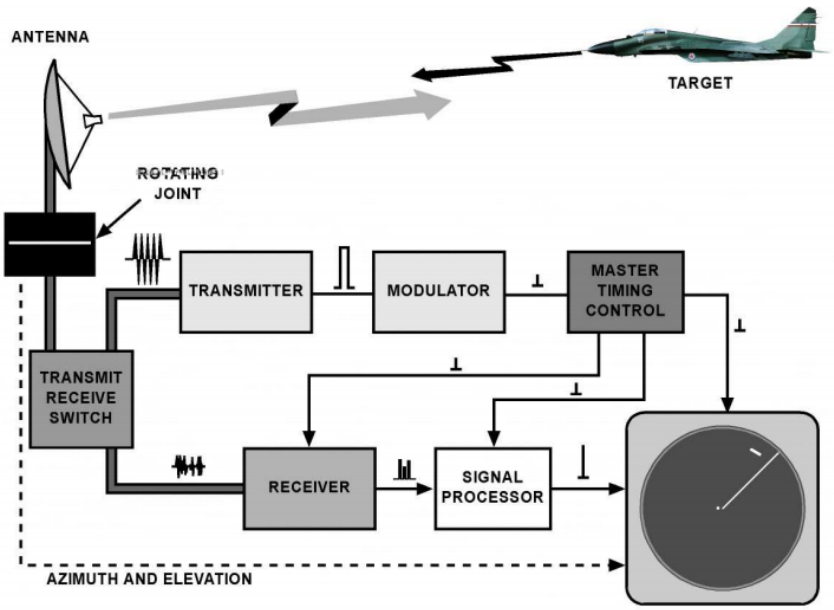
P_t = Peak Power

PW = Pulse Width

PRI = Pulse Repetition Interval

ส่วนประกอบของเรดาร์

ระบบเรดาร์โดยทั่วไปจะต้องประกอบด้วยชุดต่าง ๆ อย่างน้อย ๖ ชุด ดังนี้คือ ชุด Synchronizer, ชุดเครื่องส่ง, มอดูเลเตอร์, ชุดสายอากาศ, ชุดเครื่องรับ, ชุดแสดงผล และชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ ๓.๒ ส่วนประกอบของเรดาร์

๑. Master Time Control หลักการของเรดาร์คือ วัดระยะเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางจากจุดเริ่มต้นและถูกสะท้อนกลับมายังจุดเริ่มต้น Master Time Control จะกำหนดพลังงานคลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกตามช่วงเวลาที่คล้องจองกัน ระหว่างส่งออกไป และรับเข้ามาแล้วไปปรากฏบนจอเรดาร์พร้อม ๆ กัน กับที่มีสัญญาณ Trigger ไปป้อนสู่ Transmitter Modulator

วงจรภายใน Master Time Control ที่สร้างสัญญาณ Trigger กี่ครั้งต่อวินาที แล้วไปป้อน Transmitter Modulator เรียกว่า “Master Oscillator” แล้วยังเป็นสัญญาณ Synchronizer ที่จอเรดาร์และระบบต่าง ๆ ที่เหลือใน Transmitter ด้วย ความถี่ของ Master Oscillator จะเป็นตัวกำหนด Pulse Repetition Interval (PRI) ของเรดาร์ทั้งระบบ เช่นที่ Range Marker และคลื่นกวาดของจอเรดาร์ คลื่นกวาด (Sweep Signal) จะเป็นตัวบอกระยะไกลที่สุดหรือระยะทางที่ให้เรดาร์ทำงาน พร้อมทั้งต้องทำงานสัมพันธ์กับ RF.Pulse วิธีช่วยให้พนักงานเรดาร์หาระยะทางของเป้าหมาย จากจุดเริ่มกวาด คือ ปรับ Range Marker ให้ปรากฏเป็นช่วง ๆ ละ ๕, ๑๐ หรือ ๒๐ ไมล์ เพื่อง่ายต่อการวัดระยะที่หน้าจอเรดาร์

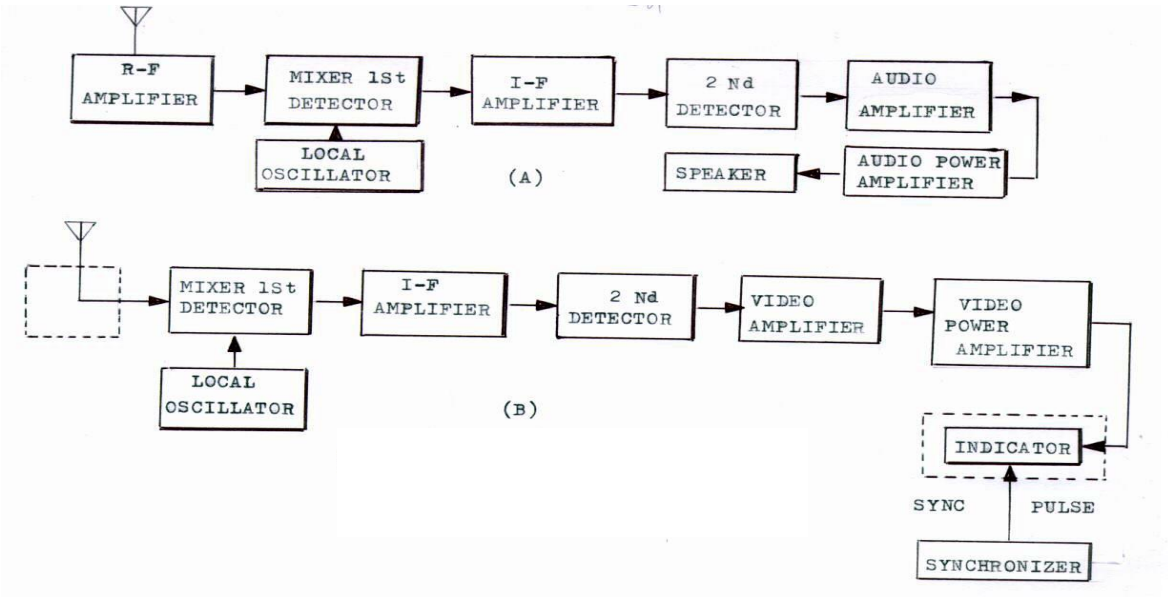
๒. Modulator ชุดนี้ประกอบด้วยวงจรสร้าง Pulse สำหรับส่งออกมาและวงจรส่งความถี่วิทยุ เครื่องเรดาร์บางแบบจะแยก Transmitter กับ Modulator แล้วต่อกันด้วยเคเบิลที่ยอมให้พัลส์แรงไฟสูงผ่าน เมื่อมีสัญญาณ Trigger จากชุด Master Time Control จะไปกระตุ้นชุด Modulator ให้ส่งคลื่นวิทยุที่มีแรงไฟสูงมากออกมาเป็นห้วง ๆ

ความกว้างของ Pulse ช่วงเวลาของแต่ละรูปคลื่นขึ้นอยู่กับระบบเรดาร์แต่ละแบบที่ไม่เหมือนกัน กรณีที่ใช้เครื่องเรดาร์ค้นหาระยะทางไกล ต้องใช้ความกว้างของรูปคลื่นพัลส์ ระหว่าง ๒ ถึง ๕๐ μs เพื่อให้สัญญาณมีกำลังสูง สำหรับเครื่องเรดาร์ค้นหาระยะทางใกล้, เรดาร์เฝ้าติดตามขีปนาวุธ, เรดาร์

บังคับการยิงและเรดาร์ควบคุมการบิน จะต้องใช้รูปคลื่นที่มีพัลส์แคบประมาณ ๑ μs หรือน้อยกว่าเพื่อวัดระยะได้แน่นอน

๓. Antenna ปกติจะทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสู่อากาศ หรือรับคลื่นจากอากาศ สายอากาศที่ดีจะต้องมี Characteristic Impedance (Z_O) เท่ากับ สายส่งกำลังหรือท่อส่งคลื่น และต้องมีชุดสะท้อนคลื่น (Reflector) มาประกอบกับ สายอากาศเพื่อเพิ่มกำลังรับ-ส่งสัญญาณและช่วยให้หาทิศทาง และมุมเงยของเป้าหมายได้แน่นอน ระบบสายอากาศที่สมบูรณ์จะต้องประกอบด้วยชุดขับเคลื่อนและชุดควบคุมการขับเคลื่อน

๔. Receiver คือ เครื่องมือในการรับสัญญาณกำลังอ่อน ๆ ที่สะท้อนกลับ มาเข้าสายอากาศได้ สัญญาณอ่อน ๆ นี้อาจจะมีเพียง ๒-๓ ไมโครโวลท์ แล้วถูกขยายอย่างมากจนได้รูปของ Video Pulse ไปป้อนที่จอเรดาร์ เครื่องรับมีลักษณะเป็นแบบ Superheterodyne



ภาพที่ ๓.๓ เครื่องรับเรดาร์ต่อกันกับชุด Synchronizer

จากภาพ จะเห็นว่าเครื่องรับเรดาร์ต่อกันกับชุด Synchronizer โดยผ่านจอเรดาร์ทั้งนี้เพื่อใช้จอเรดาร์รับส่งสัญญาณ Sync.Pulse และ TR.Switch จะปิดเส้นทางเข้าเครื่องรับ จากการทำงานของเครื่องส่งทุกครั้งในห้วงเวลาสั้น ๆ เท่ากับความกว้างของ Pulse ที่ส่งออกอากาศ เพราะพลังความถี่สูงอาจเล็ดรอดหรือทะลักเข้ามาทำให้การจับเป้าหมายระยะใกล้มีขีดจำกัด วิธีการลดขีดจำกัดนี้ คือ สร้างคลื่นประตูช่วงรับคลื่น (Receiver Gate) ให้ทำงานคล้องจองกับชุดสร้างสัญญาณ Trigger ในชุด Timer

คุณสมบัติที่ต้องการสี่ประการของเครื่องรับเรดาร์ คือ Reliability,Sensitivity,Bandwidth และ Selectivity ตลอดจน Recovery Time

๔.๑ Reliability ความเชื่อถือได้ปกติแล้ว เครื่องเรดาร์จะต้องทำงานได้ตลอดเวลาจะหยุดเครื่องเพื่อซ่อมบำรุง ก็ต้องทำตามหมายกำหนดการซ่อมบำรุงเท่านั้น หากต้องหยุดเครื่องเพื่อซ่อมบำรุงนอกกำหนดการบ่อย ๆ หมายถึง มีชั่วโมงเฉลี่ยการใช้งานต่ำ (MTBF = Mean Time Between Function) หรือมีชั่วโมงเฉลี่ยการซ่อมบำรุง (MTTR = Mean Time to Repair) สูง แสดงว่าเครื่องมีสภาพไม่น่าไว้วางใจ การออกแบบและการประกอบชิ้นส่วนในชุดต่าง ๆ ไม่ทนทานทั้งทางวงจรไฟฟ้า และชิ้นส่วนเคลื่อนไหวทางกลศาสตร์ เป็นต้น ยิ่งกว่านั้นเครื่องเรดาร์ที่ติดตั้งใช้งานในพื้นที่มีความร้อนจัด หนาวจัด, ความชื้นสูง ฯลฯ ก็เป็น

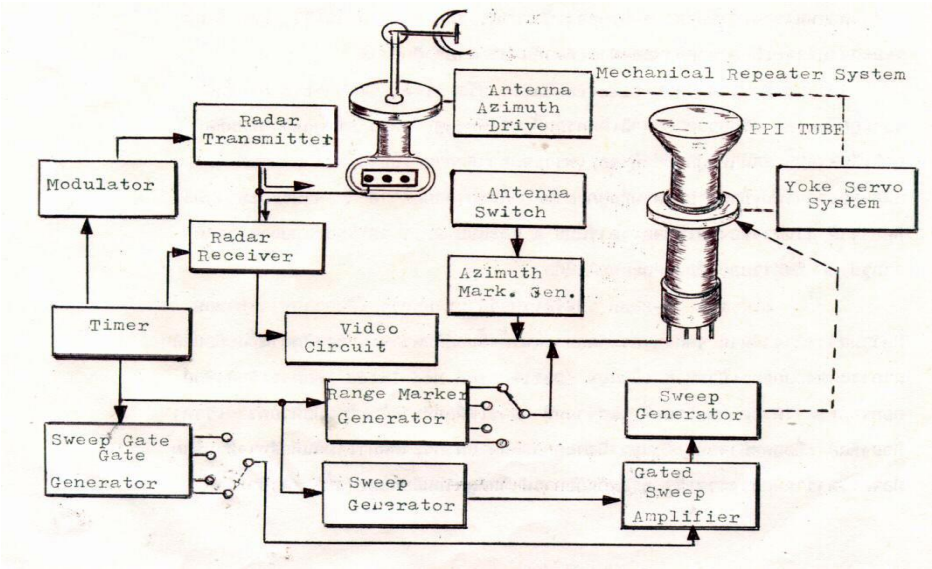
สาเหตุที่ทำให้เครื่อง เรดาร์ชำรุด และมีปัญหาขัดข้องได้ ทั้งที่ช่างซ่อมบำรุงก็ได้ทำการซ่อมบำรุงตามกำหนด การที่กำหนดไว้แล้วก็ตามอาจช่วยได้มากถ้ามีการตรวจ และควบคุมคุณภาพตามระยะเวลา ดำเนินการตามแผนการตรวจซ่อมระดับโรงงาน กำหนดไว้ให้อย่างกวดขัน และต่อเนื่อง

๔.๒ Sensitivity ความไวในการรับสัญญาณและอัตราส่วนของสัญญาณต่อคลื่นรบกวน (Signal To Noise Ratio) ต้องมีความสัมพันธ์กัน คลื่นรบกวนที่เกิดจากสภาพอากาศและสัญญาณรบกวนต่าง ๆ (Interference) รวมทั้ง Fluctuation Noise (คลื่นรบกวนจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำหรือวัตถุซึ่งตัวนำในวงจรต่าง ๆ) และ Avoidable noise ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของรีเลย์ มอเตอร์เย็นเนอเรเตอร์ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่กรองไม่เรียบ ตลอดจนการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ปัจจุบันเครื่องรับสมัยใหม่ใช้ Paramatic Amplifier แก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแล้วปรับปรุงความไวของเครื่องรับได้ผลดียิ่งขึ้น

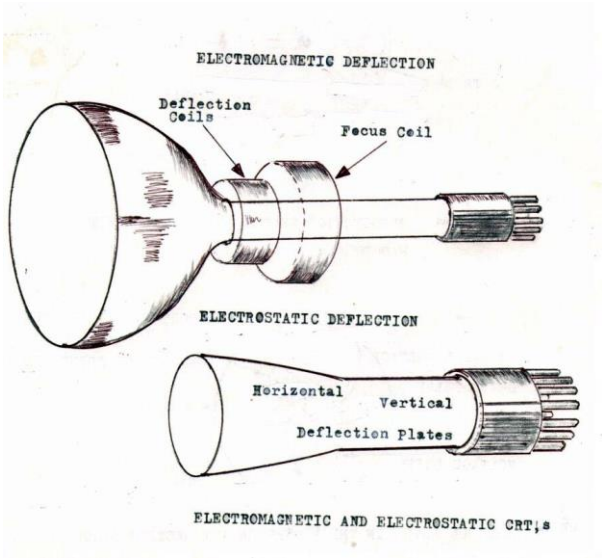
๔.๓ Band Width and Selectivity คือ การสนองตอบต่อความถี่ (Frequency Response) คิดจากจุด 0.707 ของค่าสูงสุดของความถี่แตกต่างระหว่างจุด คือความกว้างแถบคลื่น (Bandwidth) และการเลือกรับ (Selectivity) จะเพิ่มขึ้น ถ้าความกว้างแถบคลื่นลดลง มีผลให้แยกเป้าหมายได้ละเอียดขึ้น คือเป้าหมายที่ปรากฏบนจอไม่พร่า

๔.๔ Recovery Time คือ เวลาที่วงจรเครื่องรับเรดาร์ ต้องการปรับตัว หรือคืนสู่สภาพทำงานปกติ หลังจากที่ได้รับสัญญาณแรง ๆ จากเครื่องใกล้เคียง เครื่องเรดาร์ที่ออกแบบดีจะมี Recovery สั้นมาก วงจรสำหรับลดสัญญาณแรง ๆ ที่เข้ามา ได้แก่ วงจรปรับเกณฑ์การขยายโดยอัตโนมัติ (AGC = Automatic Gain Control) วงจรรักษาเวลาคงที่โดยรวดเร็ว (FTC = Fast Time Constant) และวงจรปรับเกณฑ์การขยายโดยอัตโนมัติชนิดฉับพลัน (IAGC = Instanteneous Automatic Gain control)

วงจรดังกล่าวจะตัดสัญญาณรบกวน เช่น Ground Clutter หรือรักษาระดับของ Noise ไว้เพียงแต่นั้นในเรื่องเรดาร์แบบใหม่ จะมี Sidelobe Cancellation หรือ Dicke-fix ซึ่งนอกเหนือไปจาก Log. หรือ PIE แล้วยังมีผลดีในด้านการป้องกันการโจมตีทางอิเล็กทรอนิกส์มากยิ่งขึ้น



ภาพที่ ๓.๔



ภาพที่ ๓.๕

๕. Display เป็นชุดแสดงออกของสัญญาณภาพ ซึ่งจะแสดงภาพทุกครั้ง ที่มีเรดาร์มีการจับเป้าหมายเข้ามาที่สายอากาศ จอเรดาร์นั้นออกแบบสร้างไว้ให้พนักงานเรดาร์ สามารถอ่านตำแหน่งของเป้าหมาย, จำนวนของเป้าหมาย, ระยะทาง, ความเร็ว, ทิศทางและระยะสูงไม่ว่าจะเป็นอากาศยานของฝ่ายเดียวกันหรือฝ่ายข้าศึกก็ตาม

๖. Transmit Receive Switch เป็นระบบใช้สายอากาศอันเดียว ทำการรับและส่งทำหน้าที่เป็น Electronic Switch ขณะทำการส่งจะยอมให้พลังงานความถี่วิทยุที่มีกำลังแรงมากออกจากสายอากาศ แต่ไม่ให้พลังงานความถี่วิทยุที่มีกำลังแรงมากนั้นเข้า

ลักษณะของเสาอากาศ

ระบบเสาอากาศที่เป็นทิศทาง จะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- มุมของลำคลื่นที่ส่งออกไป (Beam Angle)
- เปอร์เซ็นต์ของ Side Lobe ที่เกิดขึ้นจากการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ประมาณ ๑๐ %
- กำลังการขยายของสายอากาศ
- รูปแบบของจานสายอากาศ (Reflector)

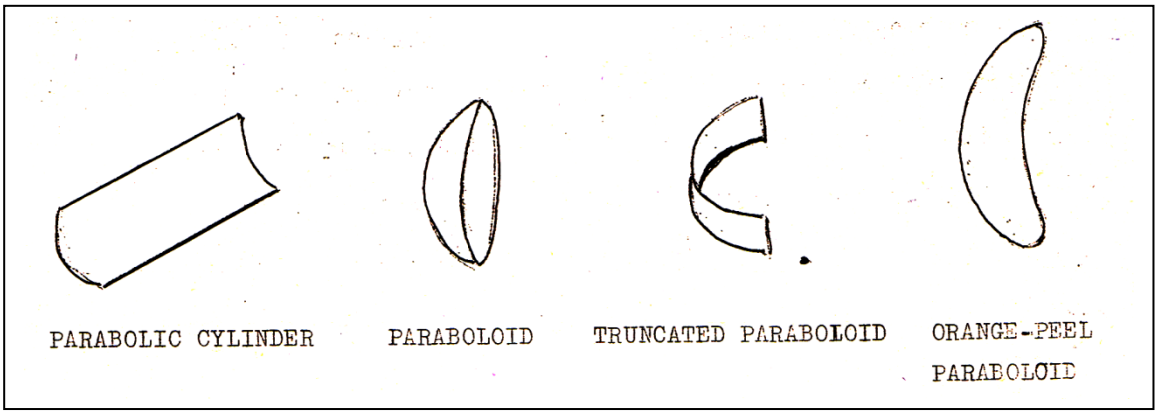
ระบบสายอากาศที่มีการขับเคลื่อนจะประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

- จานสายอากาศ (Reflector)
- ตัวป้อนกำลังงาน และรับกำลังงานจากสายอากาศ (Feed Horn)
- ข้อต่อในการส่งผ่านกำลังงานในส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotary Joint)
- อุปกรณ์ตัดต่อกำลังงานเพื่อแยกการส่ง และรับกำลังงาน (Duplexer)
- ระบบ SYNCHRO และ / หรือ ACP (Azimuth Change Pulse)

Reflector ทำหน้าที่สะท้อนกำลังงานที่ส่งจาก Feed Horn ออกไปสู่บรรยากาศให้ได้รูปแบบและทิศทางตามต้องการ รวมถึงการรวบรวมสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามา ในระบบเรดาร์ส่วนมาก Reflector จะเป็นแบบที่มีพื้นผิวราบเรียบ เพื่อให้การแพร่กระจายคลื่นเป็นไปอย่างคงที่และได้รูปแบบตามต้องการจานสายอากาศที่นิยมใช้ทั่วไปจะเป็นแบบ Parabolic ซึ่งมีอยู่ ๔ แบบ คือ

- Parabolic crlinder
- Paraboloid

- Truncated paraboloid
- Orange paraboloid



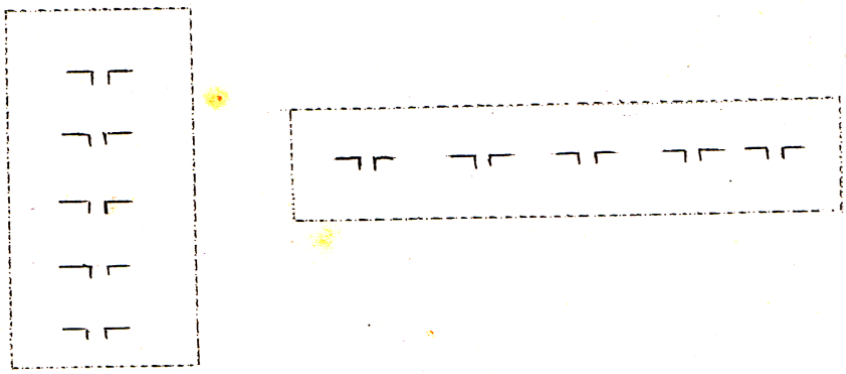
ภาพที่ ๓.๕ PARABOLIC ANTENNA

สายอากาศแบบ Parabolic มีการนำมาใช้งานโดยทั่วไป การกระจายกำลังอาศัยการป้อนกำลังงานจาก Feed Horn ป้อนเข้าที่จุดศูนย์รวมของจานสายอากาศ คลื่นสัญญาณที่สะท้อนออกไปจะเป็นแนวขนานซึ่งกันและกัน และจะตั้งฉากกับแนวแกนของสายอากาศ หมายถึงว่า พลังงานที่สะท้อนออกไปมีความสัมพันธ์ทางมุมเดียวกัน นอกจากสายอากาศแบบ Parabolic ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสายอากาศอีกหลายชนิดที่นำมาใช้งานเช่นเดียวกัน เช่น สายอากาศแบบ Lens และสายอากาศแบบ Array เป็นต้น

สายอากาศแบบ Array เป็นสายอากาศอีกแบบหนึ่งซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวางเช่นเดียวกันในปัจจุบัน สายอากาศแบบ Array จะประกอบด้วยตัวแพร่กระจายคลื่น (Element) หลาย ๆอันนำมาวางเรียงกันในระยะเท่า ๆ กัน ใช้ความสัมพันธ์ทางมุม (Phase) และ Amplitude ของสัญญาณป้อนให้กับตัวแพร่กระจายคลื่นแต่ละอัน เพื่อควบคุมการแพร่กระจายคลื่นให้ได้รูปแบบของคลื่นที่กระจายออกไปตามต้องการ สายอากาศแบบ Array ที่ใช้ทั่วไปมี ๒ แบบ คือ

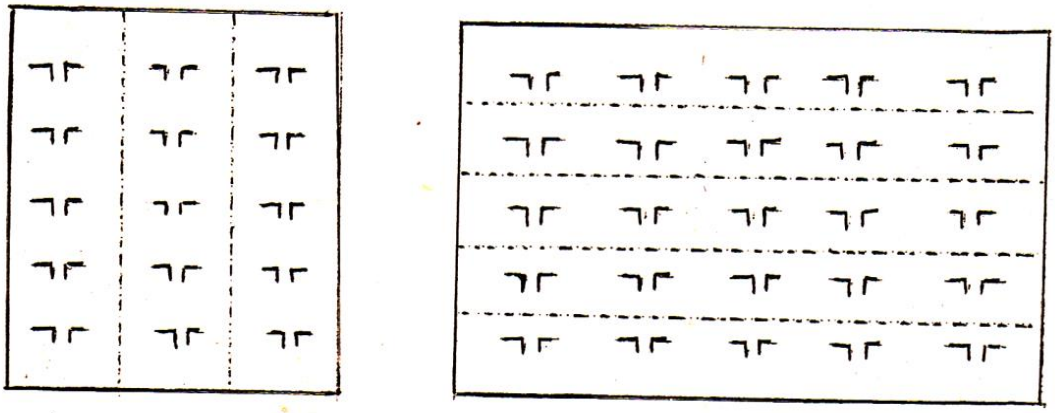
- Linear array
- Planar array

Linear Array เป็นการนำเอาตัวแพร่กระจายคลื่น (Element) หลาย ๆ อันนำมาจัดวางเรียงกันเป็นแนวเส้นตรง ในระยะเท่า ๆ กันในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง



ภาพที่ ๓.๖ LINEAR ARRAY

Planar Array ประกอบด้วย Linear Array ตั้งแต่ ๒ ชุดขึ้นไป นำมาจัดวางเรียงกัน หรือซ้อนกัน หรือใช้ Linear Array หลาย ๆ อันจัดวางเรียงผสมกัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบ หรือจุดประสงค์ในการใช้งาน



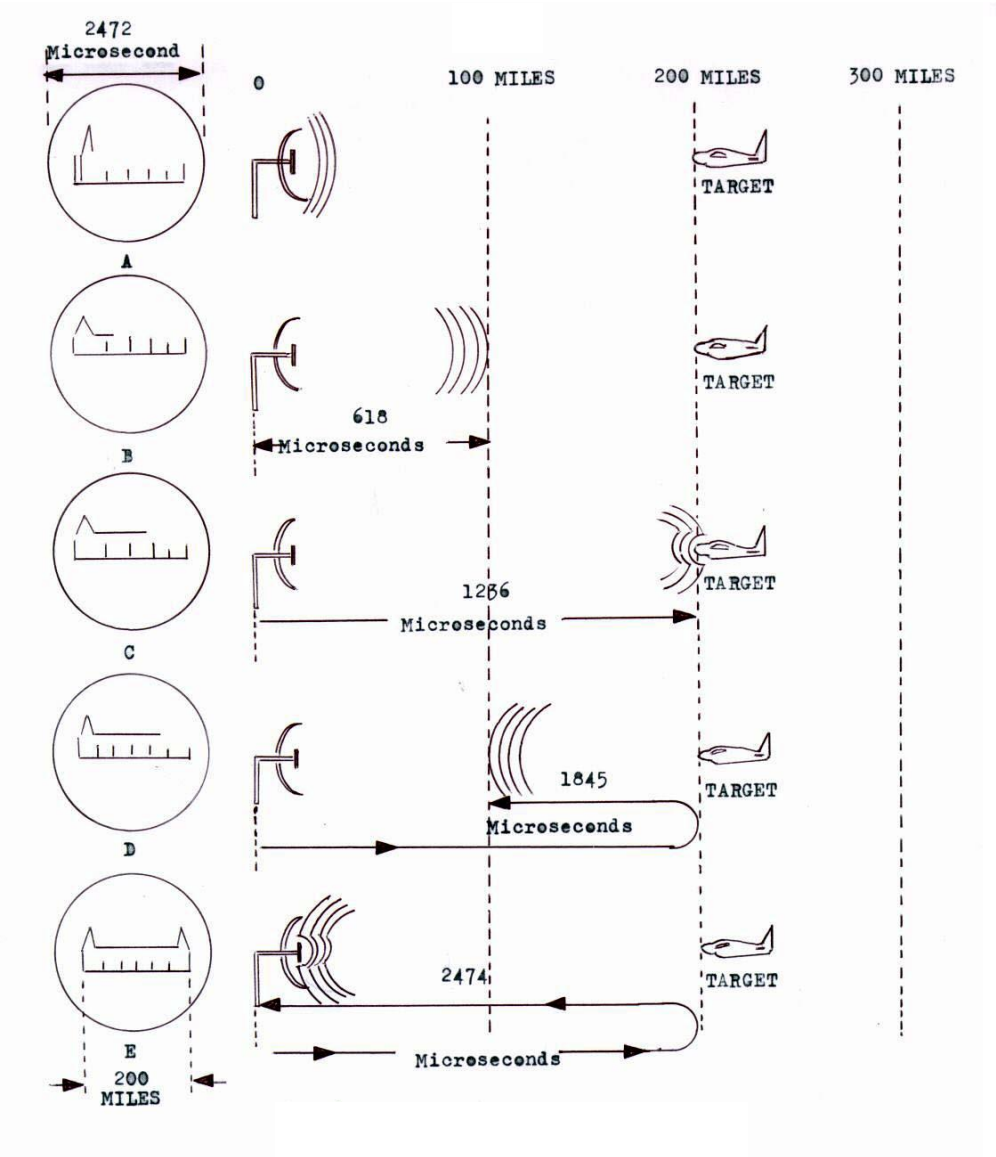
ภาพที่ ๓.๗ PLANAR ARRAY

การตรวจจับเป้าหมาย

๑. การวัดระยะทางของเรดาร์

เมื่อคลื่นเรดาร์ถูกส่งออกไปหาเป้าหมาย เรดาร์จะใช้หลักการที่เรียกว่า “Pulse Delay Ranging” คือ เมื่อคลื่นเรดาร์ถูกส่งออกจากระบบ เดินทางผ่านอากาศไปยังเป้าหมาย คลื่นเรดาร์ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับมายังเครื่องรับเรดาร์ ซึ่งความเร็วในการเดินทางของคลื่นเรดาร์เดินทางเท่ากับด้วยความเร็วแสง คือ ๓๐๐,๐๐๐,๐๐๐ เมตรต่อหนึ่งวินาที ดังนั้น ระยะเวลาที่ใช้วัดระยะทางระหว่างเรดาร์ไปยังเป้าหมาย คือ ครึ่งหนึ่งของระยะเวลาเดินทางของคลื่นเรดาร์ทั้งหมด ซึ่งสามารถแสดงเป็นสูตรการคำนวณได้ คือ

$$\text{Range} = \text{Total Time} \times 3 \times 10^{8} / 2 \text{ เมตร}$$



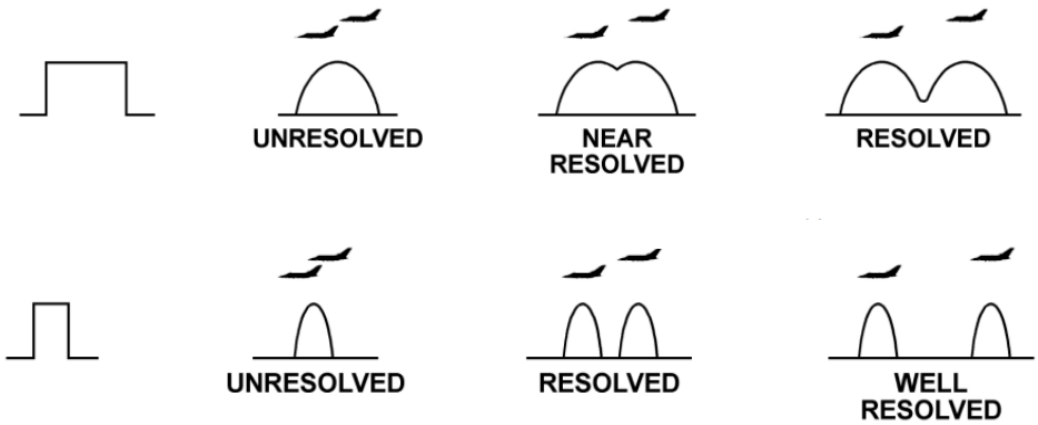
ภาพที่ ๓.๘ ECHO RANGING PLINCIPLE

๒ Range Resolution

Range Resolution คือ ขีดความสามารถของเรดาร์ในการแยกเป้าหมายที่มีระยะทางและทิศทางใกล้ ๆ กัน โดยสามารถคำนวณได้ด้วยสูตร

Range Resolution = Pulse Width x 3 x 10^8 / 2

วิธีการแยกเป้าหมายได้ละเอียดก็คือ ใช้ Pulse Width แคบ แต่มีสัญญาณสะท้อนกลับอ่อนกำลังลง ตัวอย่างพิจารณาเครื่องบินเล็ก ๆ สองเครื่องบินใกล้กัน ถ้าคลื่นสะท้อนกลับจากเครื่องบินทั้งคู่ใหญ่มาก จะเห็นเป้าหมายเดียวบนจอใหญ่ แต่พร่า แทนที่จะเห็นเป็นจุดสว่างสองจุด



ภาพที่ ๓.๙ RANGE RESOLUTION

๓. ระยะบอดของเรดาร์

ระยะบอดของเรดาร์เกิดจากการที่เรดาร์ส่งคลื่นเรดาร์และรับคลื่นสะท้อนกลับจากเป้าหมาย ณ เวลาเดียวกัน ซึ่งเวลาดังกล่าวเครื่องรับเรดาร์จะทำการปิดตัวเองลง ทำให้ไม่สามารถมองเห็นเป้าหมายในจอเรดาร์ได้ ปรากฏการณ์นี้เกิดได้ ๒ กรณี คือ

๓.๑ ณ ระยะที่ใกล้เรดาร์มากที่สุด โดยเกิดจาก Pulse Width ของคลื่นเรดาร์สร้างระยะค้นหาเป้าหมายที่ใกล้ทีสุดไว้ ดังนั้นถ้าเป้าหมายเข้าไปเกินระยะดังกล่าว จะทำให้เรดาร์ไม่สามารถมองเห็นเป้าหมายได้ โดยระยะที่ใกล้ที่สุดสามารถคำนวณได้โดยสูตร

Minimum Range = Pulse Width x 3 x 10^8 / 2 เมตร

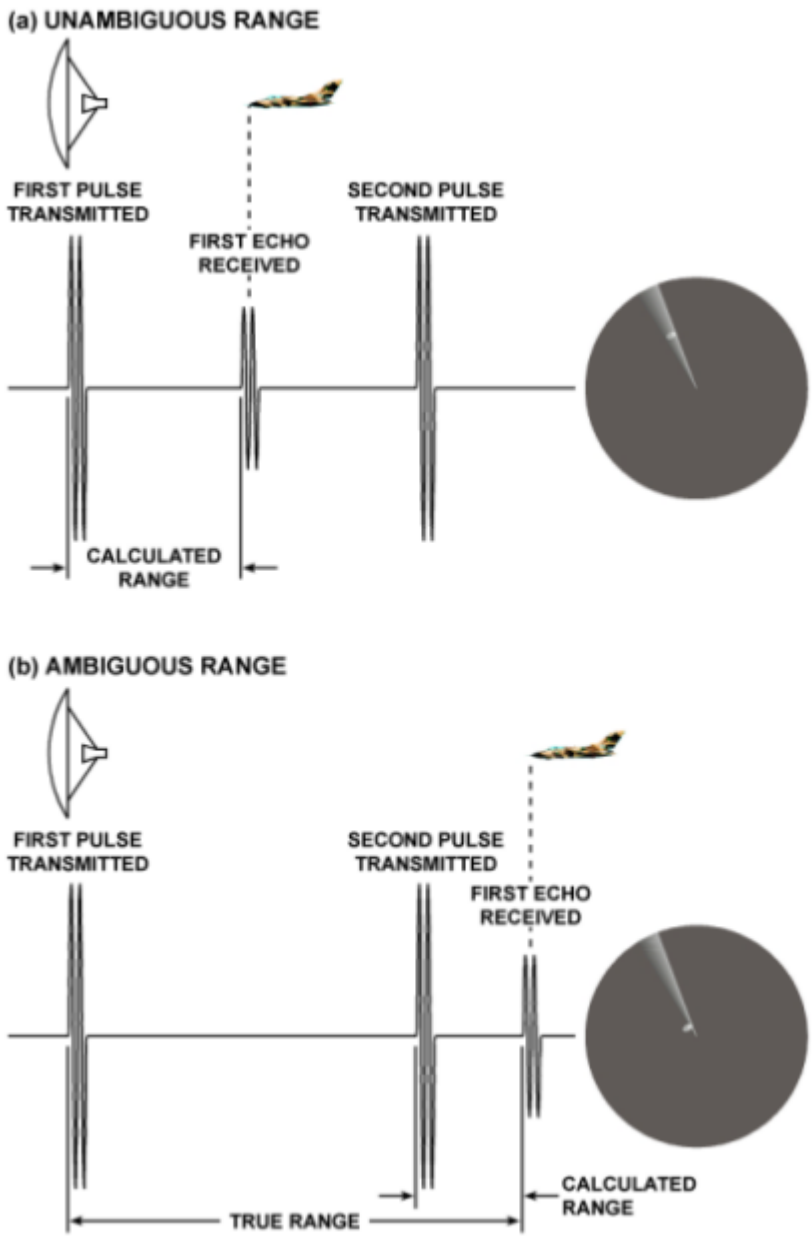
๓.๒ ณ ระยะที่ใกล้กับระยะไกลที่สุดที่เรดาร์จับเป้าหมายได้ เรดาร์ส่งคลื่นเรดาร์และรับคลื่นสะท้อนกลับจากเป้าหมาย ณ เวลาเดียวกัน ซึ่งเวลาดังกล่าวเครื่องรับเรดาร์จะทำการปิดตัวเองลง ทำให้ไม่สามารถมองเห็นเป้าหมายในจอเรดาร์ได้ ระยะดังกล่าวจะเริ่มจากระยะตรวจจับที่ไกลที่สุดถึงระยะตรวจจับไกลที่สุดบวกกับ Pulse Width

ระยะบอด ณ ระยะตรวจจับที่ไกลที่สุด = (PRI/2 + Pulse Width) x 3 x 10^8 เมตร

Maximum Unambiguous Range

ในบางครั้งในการตรวจจับเป้าหมาย เรดาร์อาจะมีการคำนวณระยะผิดพลาดเนื่องจาก สัญญาณสะท้อนที่เครื่องรับได้รับนั้น ได้รับหลังจากที่เครื่องส่งเรดาร์ส่งคลื่นชุดที่สองออกไปแล้ว ซึ่งเครื่องรับจะคิดว่าคลื่นสะท้อนดังกล่าวเกิดการการสะท้อนเป้าหมายจากคลื่นชุดที่สอง ปรากฏการณ์นี้จะทำให้ระยะห่างที่วัดได้ผิดไป ซึ่ง Maximum Unambiguous Range สามารถคำนวณได้โดย

Maximum Unambiguous Range = PRI x 3 x 10^8 / 2



ภาพที่ ๓.๑๐ การตรวจจับเป้าหมายของเรดาร์ในระบบจรวด

การตรวจจับเป้าหมายของเรดาร์ในระบบจรวด

ระบบจรวดที่ใช้เรดาร์ในการค้นหาเป้าหมายมีรูปแบบในการโจมตีอยู่ ๓ ลักษณะ คือ จากอากาศสู่อากาศ, จากพื้นสู่อากาศและอากาศสู่พื้น ซึ่งวิธีการตรวจจับเป้าหมายและการนำไปสู่เป้าหมายของระบบจรวดแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกัน เทคนิคการทำงานของเรดาร์ในระบบอาวุธจะแบ่งออกได้ ๒ ลักษณะตามจุดมุ่งหมายของจรวด คือ

๑. Missile Homing Technique

๒. Missile Guidance Technique

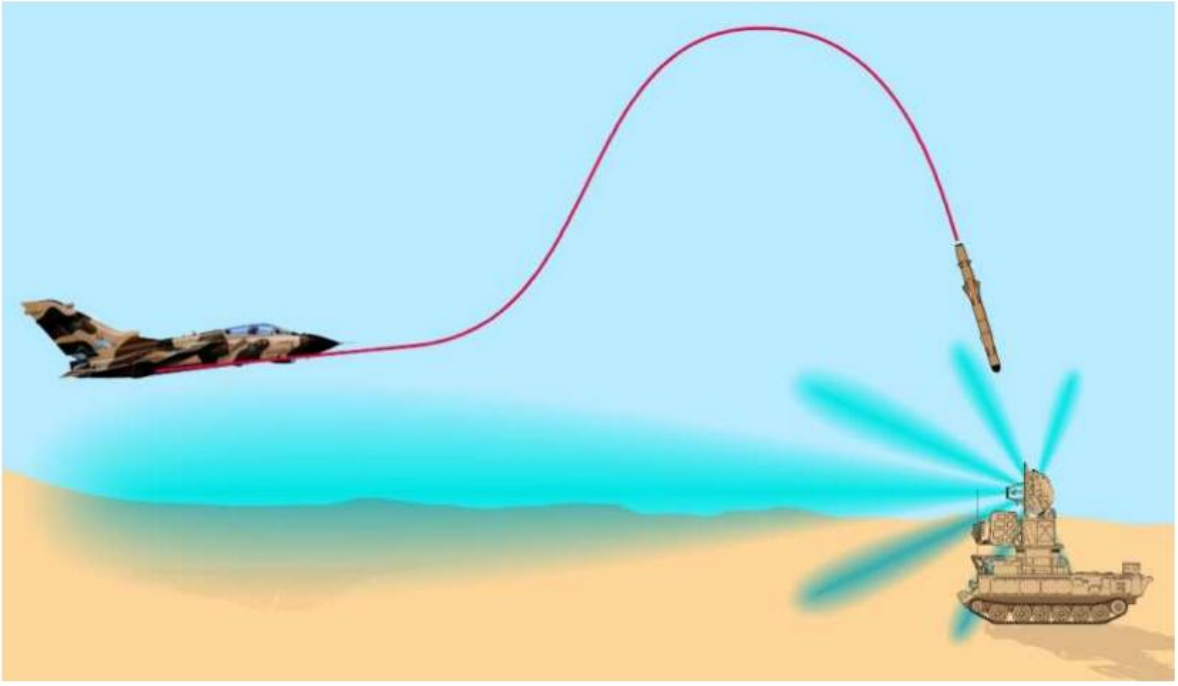
ซึ่งในจรวดที่ถูกออกแบบให้สังหารโดยวิธีการ Hit to Kill ,Proximity Fuzing ต้องใช้การคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านำไปสู่เป้าหมายทั้งสิ้น ซึ่งความแม่นยำในการยิงนั้นนำไปโอกาสในการสังหารสูง (High Kill Probability) ซึ่งความแม่นยำในการยิงในปัจจัยอยู่ ๓ ปัจจัย คือ

๑. ข้อผิดพลาดจากเครื่องยิง
๒. ข้อผิดพลาดระหว่างที่จรวดพุ่งเข้าสู่เป้าหมาย
๓. ข้อผิดพลาดจากเป้าหมาย

ดังนั้น บทบาทการนำวิถีไปสู่เป้าหมายจึงมีความสำคัญมากเพื่อนำไปสู่โอกาสสังหารที่สูงและแม่นยำ

ระบบจรวดที่นำวิถีแบบ Missile Homing

๑. Passive Homing เป็นจรวดนำวิถีในรูปแบบ Fire-and-Forget โดยลักษณะการทำงานของจรวดนำวิถีแบบนี้ คือ เมื่อระบบอาวุธยิงจรวดประเภทนี้ออกไป จรวดจะรับสัญญาณอ้างอิงจากเป้าหมายเพียงอย่างเดียวในการนำวิถีไปสู่เป้าหมาย โดยที่ระบบอาวุธหรือจรวดดังกล่าวไม่ต้องส่งสัญญาณใดเพื่อนำวิถีจรวดนั้นไปสู่เป้าหมาย โดยทั่วไปจรวดประเภทนี้มีขนาด Radar Cross Section (RCS) เล็กและมีวิถีการโจมตีด้วยมุมที่ชันมาก ทำให้เป้าหมายตรวจจับจรวดดังกล่าวได้ยาก

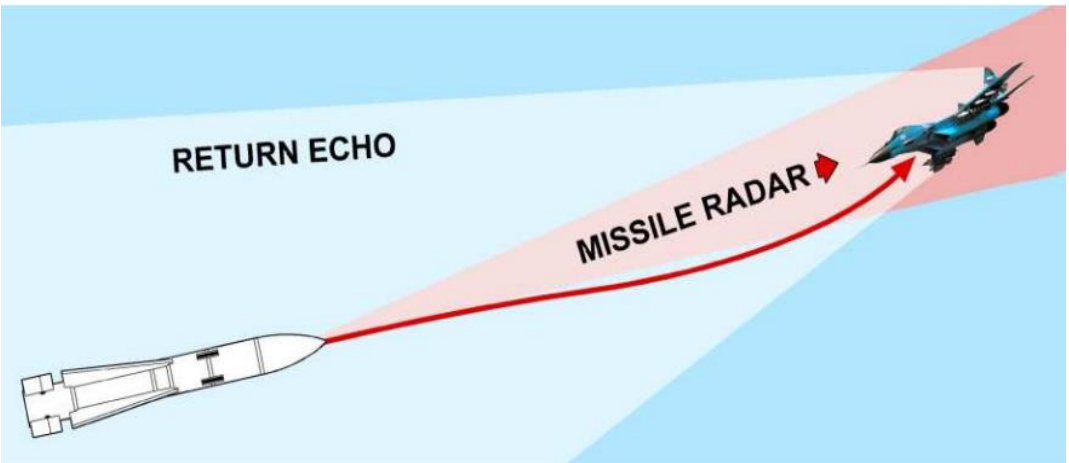


รูปที่ ๓.๑ Passive Homing

๒. Semi-Active Homing หลักการทำงานและนำวิถีของจรวดประเภทนี้ จะถูกแบ่งเป็น ๒ ระบบ คือ เรดาร์ในเครื่องยิงจรวด (Illuminator) ทำหน้าที่ส่งคลื่นเรดาร์ไปยังเป้าหมายให้เป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับจรวด ในจรวดจะมีชุดเครื่องรับสัญญาณจากสัญญาณสะท้อนเป้าหมาย ดังนั้นชุดเครื่องส่งสัญญาณเรดาร์เพื่อใช้ในการตรวจจับเป้าหมายต้องมีกำลังค่อนข้างสูงและใช้คลื่นเรดาร์แบบ Continuous Wave (CW) หรือ PRI ค่อนข้างต่ำ ในกรณีที่ใช้คลื่นพัลล์ในการตรวจจับเป้าหมายนั้น เทคนิค Pulse Dopple เป็นเทคนิคหลักที่ใช้ในระบบจรวดแบบ Semi-Active ซึ่งจะแก้ปัญหาเรื่องระยะบอดของเรดาร์ได้

รูปที่ ๓.๒ Semi-Active Homing

๓. Active Homing ในจรวดพิสัยกลางและพิสัยไกล จรวดจะถูกนำไปสู่เป้าหมายโดยใช้ระบบ Inertial Navigation, การอัพเดตข้อมูลจากเครื่องยิงจรวดก่อนเข้าถึงระยะทำการของจรวด เมื่อเข้าระยะทำการของจรวด เรดาร์ในจรวดจะส่งสัญญาณเรดาร์และรับสัญญาณสะท้อนจากเรดาร์โดยตรง ซึ่งเรดาร์ในจรวดจะส่งสัญญาณโดยใช้เทคนิค Pulse Doppler และใช้คลื่นความถี่ในย่าน I/J Band (8-20 GHz) และเมื่อจรวดอยู่ใกล้เป้าหมาย จรวดแบบนี้จะเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นแบบ Boresight ซึ่งจะทำให้จรวดเข้าสู่เป้าหมายได้แม่นยำมากขึ้น ในจรวดประเภทจากอากาศสู่พื้นสมัยใหม่ใช้เรดาร์ในย่านความถี่ 94 GHz ซึ่งทำให้นำสู่ไปสู่เป้าหมายในแบบโหมด Boresight ได้แม่นยำมาก



รูปที่ ๓.๓ Active Homing

ระบบจรวดที่นำวิถีแบบ Missile Guidance

๑. Command Guidance เป็นวิธีการนำจรวดไปสู่เป้าหมายโดยการตรวจจับทั้งเป้าหมายและตัวจรวดเองในระหว่างการยิง ซึ่งระบบควบคุมการยิงจะส่งการคำนวณระยะทางและเส้นทางไปยังจรวด โดยที่คำสั่งนั้นส่งออกมาในรูปแบบคลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุ หรือแสงเลเซอร์ ซึ่งในระบบจรวดแบบนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นจรวดจากพื้นสู่อากาศ

รูปที่ ๓.๔ Command Guidance

๒. Track Via Missile ระบบเรดาร์ในปัจจุบันมีสามารถในการตรวจจับเป้าหมายได้หลายเป้าหมายในเวลาเดียวกัน ซึ่งทำให้ระบบจรวดมีการพัฒนาโดยนำความสามารถทั้ง Homing และ Guidance มารวมกันไว้ในระบบเดียวกัน เรียกว่า Track Via Missile ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น ๒ รูปแบบ คือ

๒.๑ Semi-Active Track Via Missile ระบบควบคุมการยิงจะทำการตรวจจับทั้งจรวดและเป้าหมายในเวลาเดียวกัน ซึ่งทำให้จรวดหลาย ๆ ลูกสามารถพุ่งไปสู่เป้าหมายเดียวหรือหลายเป้าหมาย โดยเบื้องต้น จรวดจะดำเนินการหาจุดปะทะเป้าหมายโดยได้รับคำสั่งจากระบบบังคับการยิงหรือใช้ระบบควบคุมการเดินอากาศ ภายในตัวจรวดเอง เมื่อจรวดเข้าใกล้เป้าหมาย จรวดจะใช้หลักการของ Semi-Active Homing เพื่อใช้ในการนำจรวดเข้าสู่เป้าหมาย

๒.๒ Full-Active Track Via Missile จรวดที่ใช้งานแบบ Full-Active Track Via Missile ขีปนาวุธจะติดตั้ง Active Radar Seeker ที่หัวจรวด เมื่อขีปนาวุธเข้าสู่ขั้นตอนการยิง สถานีเครื่องส่งสัญญาณจะส่งคำสั่งเพื่อเปิดใช้งาน Active Radar Seeker ข้อมูลเป้าหมายที่ใช้ในการควบคุมขีปนาวุธที่เชื่อมโยงกับสถานีควบคุมข้อมูลเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้รับโดยตรงจากเรดาร์ติดตามและนำมาใช้ในการปรับแต่งสัญญาณวิ่งหาเป้าหมายผ่านการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งจะส่งผลในความแม่นยำของขีปนาวุธสูงและความต้านทานต่อการตอบโต้ใด ๆ

บทที่ ๔

เนื้อหาความรู้ของบทนี้เป็นความลับของทางราชการ