บทที่ 2
ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ

2.1 ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ

ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศเป็นระบบที่จัดตั้งขึ้นเพื่อ เป็นระบบนำทางให้แก่อากาศยานในการเดินทางไปสู่จุดหมายด้วยความปลอดภัย สะดวก และรวดเร็ว โดยระบบดังกล่าวจะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวข้องกับทิศทางการบิน ระยะทาง ทิศที่ตั้งของสนามบิน แนวในการร่อนลงสู่สนามบิน ส่วนระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids)
2) ประเภทวิทยุช่วยการเดินอากาศ (Air Navigation Radio Aids)

2.1.1 ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids)

เป็นระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศยานที่ใช้ในการร่อนลงสู่สนามบิน และใช้ในการเคลื่อนตัวของอากาศยานบนพื้นทางวิ่ง (Run Way) และทางขับ (Taxi Way) ในขณะที่ทัศนวิสัยต่ำ เพราะประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) จะเป็นระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ที่มีความสว่างและแสงสีต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของ องค์กรการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ซึ่ง ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) ประกอบด้วย

1) ระบบไฟบอกแนวและขอบเขตของทางวิ่ง (Runway Light)
2) ระบบไฟบอกแนวและขอบเขตของทางขับ (Taxiway Light)
3) ระบบไฟบอกแนวของทางวิ่ง (Approach Light) และเป็นมาคเคอร์พอทย์ (Marker Point) ขณะอากาศยานกำลังร่อนลงสู่สนามบิน บอกแนวทางการร่อนลงทางตั้ง (VASI, PAPI) เพื่อให้อากาศยานร่อนลงสู่พื้นทางวิ่งในมุมที่ถูกต้อง
4) ระบบไฟที่ส่งสัญญาณสื่อสารระหว่างหอบังคับการบิน กับผู้ควบคุมอากาศยาน (Aerodrome Beacon) รูปแบบของการสื่อสารโดยใช้ระบบไฟนี้จะเป็นไปตามข้อบังคับของ องค์กรการบินพลเรือนระหว่างประเทศ
5) ระบบไฟบอกที่ตั้งสิ่งกีดขวางของการเดินอากาศ (Obstruction Light) เช่น ตึกสูงหรือเสาสูง

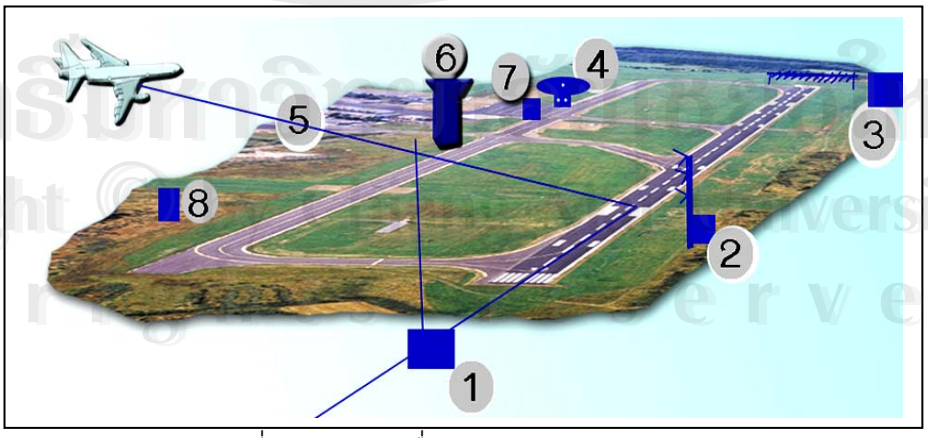
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

6) ประเภททัศนวิสัยนี้เหมาะที่จะใช้ กับอากาศยานขนาดเบา และมีความเร็วต่ำ เนื่องจากความแม่นยำในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการมองของผู้ควบคุมอากาศยาน

2.1.2 **ประเภทวิทยุช่วยการเดินอากาศ** (Air Navigation Radio Aids)

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณวิทยุให้แก่อากาศยาน เพื่อบอกที่ตั้งของสนามบิน บอกทิศทางเมื่อเทียบกับแม่เหล็กโลก บอกระยะทางจากอากาศยานถึงสนามบิน บอกแนวในการร่อนลงสู่สนามบิน เป็นต้น สังเกตได้ว่าขอบเขตของการนำร่อง ประเภทวิทยุช่วยการเดินอากาศนี้จะกว้างกว่าแบบประเภททัศนวิสัย

ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะการนำอากาศยานร่อนลงสู่พื้นทางวิ่งในสภาวะอากาศที่เลวร้าย เช่น ฝนตก หิมะตก หมอกลงจัด ฐานเมฆที่ปกคลุมบริเวณสนามบินต่ำ ฯลฯ เหตุการณ์ดังกล่าวจะทำให้นักบินไม่สามารถมองเห็นทางวิ่ง ที่จะนำอากาศยานลงจอดได้ชัดเจน และเนื่องด้วยในขณะที่กำลังร่อนลงนั้นอากาศยานมีความเร็วใกล้จุดต่ำสุดที่เรียกว่า Near-Critical Speed จึงเป็นการลำบากที่จะนำอากาศยานไต่ระดับความสูงขึ้นใหม่อีกครั้ง เพราะจะก่อให้เกิดอันตรายอย่างยิ่งยวดเนื่องจากในปัจจุบันอากาศยานมีขนาดใหญ่ขึ้น ความเร็วสูงขึ้น นอกจากนั้นเหตุผลอีกประการหนึ่ง ก็คือปัจจุบันจำนวนอากาศยานได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการควบคุมจราจรทางอากาศจำเป็นจะต้องมีเครื่องมือในการจัดเส้นทางการบินที่มีความถูกต้อง และแม่นยำสูงขึ้นมากกว่าเดิม ซึ่งช่วยไม่ให้เกิดอุบัติเหตุเฉี่ยวชนกันในอากาศได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ ส่วนสถานที่ติดตั้งระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศมีดังในรูปที่ 2.1 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1) วีโออาร์ (Very High Frequency Omni-Directional Radio Range: VOR) *ดังรูปที่ 1.1 หมายเลข 4*

2) ดีเอ็มอี (Distance Measuring Equipment: DME) *ดังรูปที่ 2 .1 หมายเลข 7*

3) คอมพาทส์โลเคเตอร์ (Compass Locator) *ดังรูปที่ 2 .1 หมายเลข 5*

4) เอ็นดีบี (Non-Directional Beacon: NDB) *ดังรูปที่ 2 .1 หมายเลข 8*

5) ระบบนำร่องไอแอลเอส (Instrument Landing System: ILS)

ประกอบด้วย 3 ระบบ

- โลคาไลเซอร์ (LOCALIZER: LLZ) *ดังรูปที่ 2 .1 หมายเลข 3*
- ไกด์พาท (GLIDE PATH: GP) *ดังรูปที่ 2 .1 หมายเลข 2*
- มาร์คเคอร์ บีคอล (MARKER BEACON: MM) *ดังรูปที่ 2 .1 หมายเลข 1*

ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1) เอนรูทแนฟเอดส์ (Enroute Navigation Aids)

2) เทอร์มินอลเอดส์ (Terminal Navigation Aids)

2.1.3 **เอนรูทแนฟเอดส์** (Enroute Navigation Aids)

เป็นระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ ที่ให้ข้อมูลในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งจะบอกที่ตั้งของต้นทาง หรือปลายทาง ทิศทางที่จะออกจากต้นทาง หรือทิศทางที่จะเข้าสู่ปลายทาง นอกจากนั้นยังบอกระยะทางที่ออกจากต้นทาง หรือระยะทางที่ห่างจากปลายทาง ซึ่งระบบนี้จะประกอบด้วย 3 ระบบ

1) วีโออาร์ (Very High Frequency Omni-Directional Radio Range: VOR)

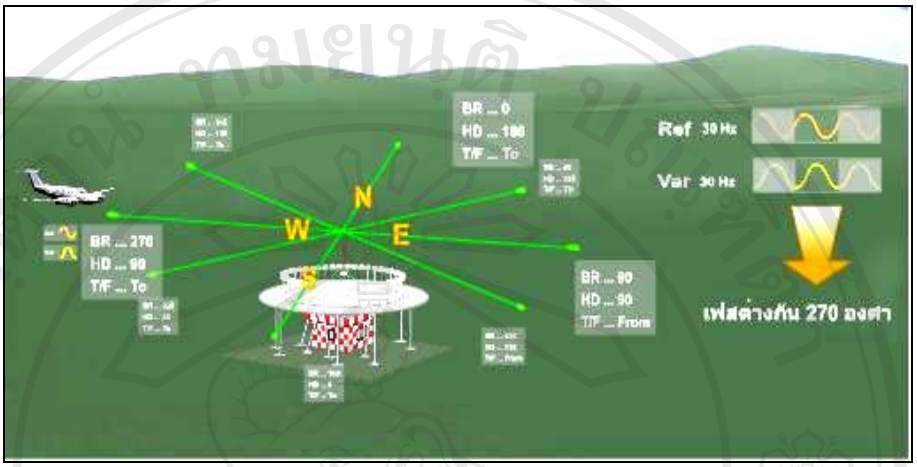
วีโออาร์ จะส่งสัญญาณวิทยุบอกทิศทางตลอด 360 องศาโดยรอบสถานี โดยเทียบจากทิศเหนือของแม่เหล็กโลก VOR นี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ซีวีโออาร์ (Conventional Very High Frequency Omni-Directional Radio Range: CVOR)
- ดีวีโออาร์ (Doppler Very High Frequency Omni-Directional Radio Range: DVOR)

ทิศทางหรือมุมที่ได้รับจากวีโออาร์ จะละเอียดมากโดยสามารถบอกมุมได้ละเอียดเป็นทศนิยมกี่หลักก็ได้แล้วแต่การออกแบบเครื่องรับ อากาศยานที่มีเครื่องรับ วีโออาร์ จะทราบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขณะนี้อากาศยานลำดังกล่าวบินอยู่ ณ ทิศทางใด และทำมุมกี่องศากับสถานี ซึ่งปัจจุบันวีโออาร์เปรียบเสมือนผู้ขีดเส้นทางการบินในอากาศให้แก่อากาศยานนั่นเอง

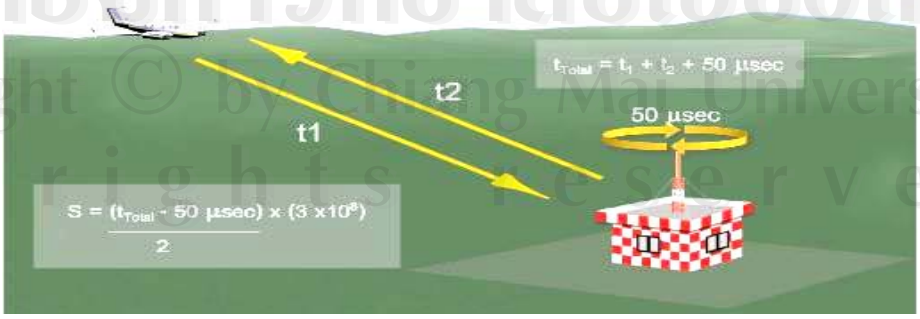


รูปที่ 2.2 สถานีวีโออาร์

(Very High Frequency Omni-Directional Radio Range: VOR)

2) ดีเอ็มอี (Distance Measuring Equipment: DME)

เป็นอุปกรณ์เครื่องช่วยการเดินอากาศ ที่ใช้วัดระยะทางจากสถานีภาคพื้นดินกับอากาศยาน โดยใช้วิธีส่งสัญญาณวิทยุเป็นรหัสประจำตัว ถาม ตอบ ระหว่างตัวอุปกรณ์บนอากาศยานกับอุปกรณ์ภาคพื้นดิน ซึ่งระยะทางจะคำนวณได้จากเวลาในการส่งคำถามจนกระทั่งได้รับคำตอบกลับ ระยะทางที่ได้จะมีลักษณะเป็นระยะทางลาดเอียง (Slant Range) มีหน่วยเป็นไมล์ทะเล ดีเอ็มอี เปรียบเสมือนหลักกิโลเมตรสำหรับการเดินทางในอากาศ

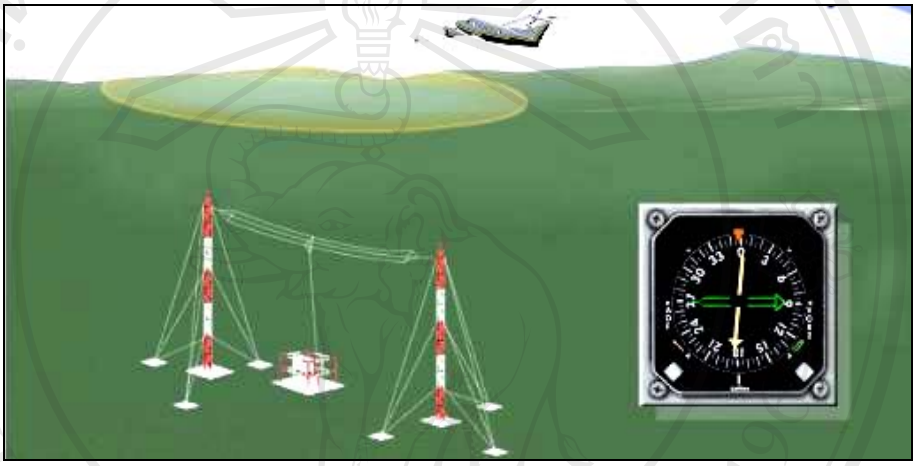


รูปที่ 2.3 สถานีดีเอ็มอี (Distance Measuring Equipment: DME)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3) เอ็นดีบี (Non-Directional Beacon: NDB)

เอ็นดีบี หรือวิทยุประภาคาร เป็นอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณวิทยุบอกให้อากาศยานทราบ ถึงทิศทาง และที่ตั้งของสถานีโดยคร่าว ๆ ซึ่งจะช่วยให้นักบินสามารถนำอากาศยานเข้าสู่สนามบินได้อย่างถูกต้องโดยเทียบกับเข็มทิศบนอากาศยานปัจจุบันได้นำ ข่าวอากาศ (Air Traffic Information Service) มาประกอบเข้ากับสัญญาณเอ็นดีบีเพื่อส่งข่าวอากาศ และข่าวอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการเดินอากาศ



รูปที่ 2.4 สถานีเอ็นดีบี (Non-Directional Beacon: NDB)

2.1.4 เทอร์มินอลเอดส์ (Terminal Navigation Aids)

เป็นระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศที่นำอากาศยานเข้าสู่สนามบิน และนำร่อนลงสู่พื้นทางวิ่ง ซึ่งประกอบด้วย 4 ระบบ

1) วีโออาร์ (Very High Frequency Omni-Directional Radio Range: VOR)

2) ดีเอ็มอี (Distance Measuring Equipment: DME)

3) คอมพาทส์โลเคเตอร์ (Compass Locator)

เป็นเครื่องช่วยการเดินอากาศ ที่นำอากาศยานเข้าสู่สนามบินแบบหยาบ ๆ โดยจะส่งสัญญาณวิทยุให้แก่อากาศยานเพื่อบอกที่ตั้งของสนามบินปลายทาง ทั้งนี้ทำหน้าที่เหมือนเอนดีบี แต่ส่งสัญญาณที่มีกำลังน้อยกว่า

4) ระบบนำร่อนไอแอลเอส (Instrument Landing System: ILS)

เป็นระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศที่ส่งสัญญาณวิทยุเพื่อบอกแนวร่อน,มุมร่อน และระยะทางในการร่อนลงสู่ทางวิ่ง อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถนำอากาศยานร่อนลงสู่ทางวิ่งด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแม่นยำ และช่วยให้เกิดความปลอดภัยในการเดินอากาศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงแล้วจะสามารถนำอากาศยานร่อนลงสู่สนามบินได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้นักบิน สำหรับระบบนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Category) โดยแต่ละประเภทนี้เองจะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพและขอบเขตการใช้งานของระบบ

ILS Facility Performance Category I เป็นระบบที่จัดไว้เพื่อนำทางอากาศยานเข้าสู่ทางวิ่งตั้งแต่ระยะที่สัญญาณครอบคลุม (ปกติ 18-25 ไมล์ทะเล) เข้ามาจนถึงระยะทางอีกประมาณ 1000 เมตรก่อนถึง จุกแตะพื้น (Touchdown Zone) ซึ่งระยะทางดังกล่าวอากาศยานจะสูงจากพื้นดินประมาณ 60 เมตร (จุดที่ Middle Marker ตั้งอยู่) ประเภท ที่หนึ่ง เป็นประเภทที่หนึ่ง ต่ำที่สุด และไอแอลเอสส่วนใหญ่ที่มีใช้งานในประเทศไทยจะมีประสิทธิภาพการใช้งานในระดับเดียวกับประเภทที่หนึ่งนี้

ILS Facility Performance Category II เป็นระบบที่จัดไว้เพื่อนำทางอากาศยานเข้าสู่ทางวิ่ง ตั้งแต่ระยะที่มีสัญญาณครอบคลุมเข้ามาจนถึงระยะอีกประมาณ 300 เมตร ก่อนถึงจุดแตะพื้น (Touchdown Zone) ซึ่งระยะทางดังกล่าวอากาศยานจะสูงจากพื้นดินประมาณ 15 เมตร เป็นไอแอลเอสที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก และในประเทศไทยมีใช้ 2 แห่งคือทางอากาศยานสากลกรุงเทพฯ ดอนเมือง (ฝั่งกองทัพอากาศ) และท่าอากาศยานสากลสุวรรณภูมิ

ILS Facility Performance Category III เป็นระบบที่จัดไว้เพื่อนำทางอากาศยานเข้าสู่ทางวิ่งตั้งแต่ระยะที่สัญญาณครอบคลุมเข้ามาจนถึงจุดที่อากาศยานแตะกับพื้นทางวิ่ง และวิ่งอยู่บนทางวิ่ง ประเภทที่สาม นี้ยังสามารถแบ่งย่อยออกไปอีกเป็น IIIA, IIIB, IIIC ซึ่ง Category IIIC เป็นประเภทที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด อย่างไรก็ตามประเทศไทยยังไม่มีความจำเป็นต้องใช้ระบบไอแอลเอส ประเภทที่สาม นี้เนื่องจากโดยปกติทัศนวิสัยในการบินของเมืองไทยไม่เป็นปัญหาในการร่อนลงเมื่อเทียบกับประเทศที่มีหิมะตก หรือหมอกหนาทึบเมื่อเข้าฤดูหนาวเช่นยุโรปหรือในประเทศแถบขั้วโลก

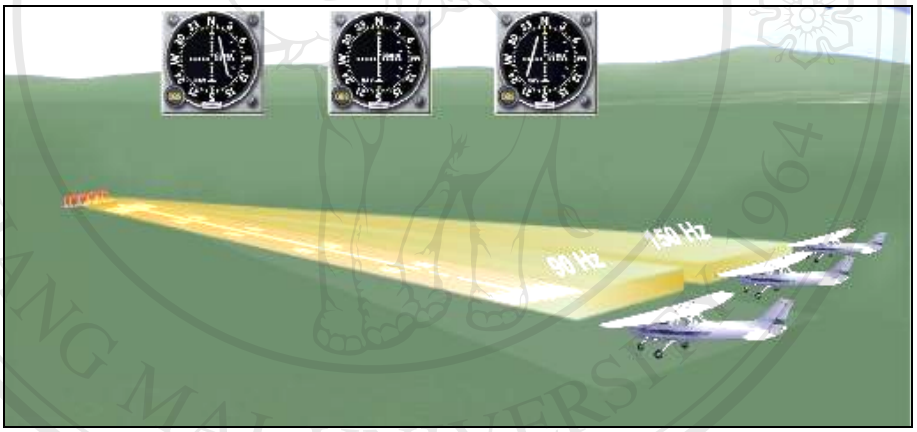
ระบบนำร่อนไอแอลเอสประกอบด้วย

- โลคาไลเซอร์ (LOCALIZER: LLZ)
- ไกด์พาท (GLIDE PATH: GP)
- มาร์คเคอร์ บีคอล (MARKER BEACON: MM)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1) **โลคาไลเซอร์** (LOCALIZER: LLZ)

เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ตรงกับแนวทางวิ่ง บริเวณหัวทางวิ่งด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้าน โดยอากาศยานจะใช้สัญญาณ โลคาไลเซอร์ ตัวที่ติดตั้งอยู่หัวทางวิ่งด้านตรงข้ามกับหัวทางวิ่งที่อากาศยานร่อนลง โลคาไลเซอร์ จะส่งสัญญาณวิทยุบอกแนวกึ่งกลางทางวิ่งให้อากาศยานที่มีเครื่องรับโลคาไลเซอร์ ทราบว่าขณะนี้อากาศยานอยู่ตรงกึ่งกลาง หรืออยู่ด้านขวาหรืออยู่ด้านซ้ายของทางวิ่ง ซึ่งเป็นการบอกแนวที่ละเอียดมาก จึงทำให้อากาศยานสามารถร่อนลงบริเวณกึ่งกลางของทางวิ่งได้อย่างแม่นยำ ไม่ลงด้านขวา หรือด้านซ้ายของขอบทางวิ่ง ซึ่งจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุแก่อากาศยานได้ โลคาไลเซอร์เปรียบเสมือนผู้ขีดเส้นตรงจากแนวกึ่งกลางของทางวิ่งลากขึ้นไปในอากาศเป็นระยะทาง 18-25 ไมล์ทะเล เพื่อเป็นเส้นนำให้อากาศยานเกาะเข้ามาจนเห็นทางวิ่ง และลงสู่พื้นทางวิ่งอย่างปลอดภัย



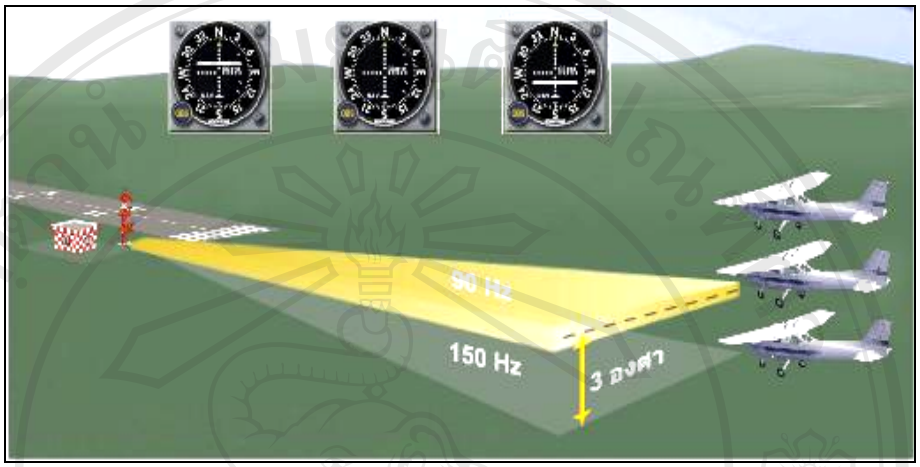
รูปที่ 2.5 สถานีโลคาไลเซอร์ (LOCALIZER: LLZ)

2) **ไกด์พาท** (GLIDE PATH: GP)

เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ข้างทางวิ่งบริเวณใกล้จุด Touchdown Zone ซึ่งอาจจะติดตั้งบริเวณหัวทางวิ่งด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านอากาศยานจะใช้สัญญาณ ไกด์พาท ตัวที่ติดตั้งอยู่หัวทางวิ่งด้านที่อากาศยานร่อนลง ไกด์พาท จะส่งสัญญาณวิทยุบอกแนววิถีร่อน หรือมุมร่อนทางแนวดิ่ง (Vertical Guidance) เพื่อให้อากาศยานที่มีเครื่องรับ ไกด์พาท ร่อนลงสู่พื้นทางวิ่งบริเวณ Touchdown Zone ด้วยมุมที่ปลอดภัย (ปกติจะกำหนดไว้ 3 องศา) ไม่ร่อนลงในมุมที่ชันมากเกินไปจนทำให้อากาศยานกระแทกพื้นด้วยความแรง หรือไม่ร่อนลงในมุมที่ต่ำมากเกินไปจนทำให้อากาศยานชนเข้ากับสิ่งกีดขวาง หรือวิ่งเลยทางวิ่งไปจนเกิดอุบัติเหตุได้ ไกด์พาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปรียบเสมือนผู้ขีดเส้นตรงที่ลาดเอียงทำมุม 3 องศา กับพื้นทางวิ่งขึ้นไปในอากาศเพื่อให้อากาศยานไต่ลงมาจนถึงพื้นทางวิ่งด้วยความปลอดภัย



รูปที่ 2.6 สถานีไกด์พาท (GLIDE PATH: GP)

3) มาร์คเคอร์ บีคอล (MARKER BEACON)

เป็นอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณวิทยุขึ้นไปในอากาศเป็นม่านขวางแนวร่อนลงของอากาศยาน โดยปกติจะติดตั้งอยู่แนวตรงกับทาง เมื่ออากาศ ยานร่อนลงตัดผ่านม่านสัญญาณวิทยุนี้ เครื่องรับบนอากาศยานก็จะแสดงแสง และเสียงเพื่อบอกนักบิน นักบินก็จะทราบระยะทางจากจุดนั้น ๆ ไป ถึงจุดแตะพื้น (Touchdown Zone) ได้ มาร์คเคอร์ บีคอล เปรียบเสมือนหลักกิโลเมตรในอากาศชนิดหนึ่งเพื่อบอกระยะทางขั้นสุดท่ายก่อนนักบินจะนำอากาศยานร่อนลงสู่พื้น อย่างไรก็ตามปัจจุบันมักไม่นิยมติดตั้ง มาร์คเคอร์ บีคอล เพราะมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ในการติดตั้ง และสามาถใช้ ดีเอ็มอี แทนได้อยู่แล้ว มาร์คเคอร์ บีคอล นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

- เอาว์เตอร์ มาร์คเคอร์ (Outer Marker: OM)
  จะติดตั้งห่างจากปลายทางวิ่ง 5-7 ไมล์ทะเล
- มิดเดิลเตอร์ มาร์คเคอร์ (Middle Marker: MM)
  จะติดตั้งห่างจากปลายทางวิ่ง 1000 เมตร
- อินเนอร์ มาร์คเคอร์ (Inner Marker: IM)
  จะติดตั้งห่างจากปลายทางวิ่งประมาณ 30 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 **ดีวีโออาร์** (Double Very high frequency Omni directional Radio range :DVOR)

ดีวีโออาร์เริ่มมีบทบาทเข้ามาเป็นเครื่องวิทยุช่วยเดินอากาศตั้งแต่ปี พ.ศ.2493 และใช้กันแพร่หลายในกิจการบินทั่วโลก เนื่องจากเป็นเครื่องที่มีหลักการใช้ที่ไม่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพสูงในการช่วยการเดินอากาศ สถานีดีวีโออาร์จะส่งสัญญาณออก 2 ชุดพร้อม ๆ กัน ชุดหนึ่งเรียกว่า สัญญาณอ้างอิง (Reference phase) อีกชุดหนึ่งเรียกว่า สัญญาณแปร (Variable signal) หรือสัญญาณบอกทิศทาง

การให้ทิศทางของดีวีโออาร์ (DVOR) ก็เปรียบเสมือนได้กับสถานีประภาคารไฟประจำสนามบิน (Airport beacon light) หากว่าสถานีประภาคารนี้หมุนไปด้วยความเร็วที่ทราบแล้ว และจะกระพริบทุกครั้งที่ลำแสงผ่านทิศเหนือขั้วแม่เหล็กของโลก หากจับเวลาตั้งแต่ลำแสงเริ่มกระพริบจนกระทั่งลำแสงผ่านผู้ตรวจก็จะประมาณทิศทางของประภาคารนั้นได้ ตัวอย่าง สมมุติว่าลำแสงหมุนไป 1 องศาทุก ๆ วินาที และจับเวลานับแต่แสงกระพริบจนถึงเวลาที่ผ่านผู้ตรวจได้ 120 วินาที ก็หมายความว่าผู้ตรวจอยู่ทางทิศ 120 องศาจากประภาคาร

2.2.1 **หลักการทำงานของ ดีวีโออาร์** (DVOR)

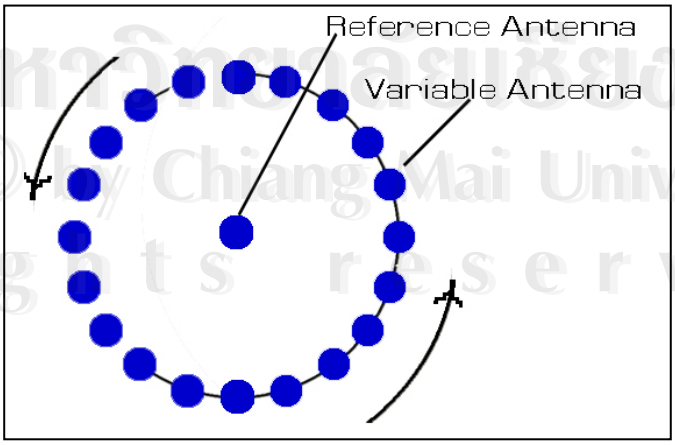
สัญญาณอ้างอิง (Reference phase) จะส่งออกจากสายอากาศเส้นกลางโดยผสมคลื่นแบบแอมปลิจูด มอดดูเลต (amplitude modulated: AM) ส่วนสัญญาณแปร (Variable Signal) นั้นส่งสัญญาณจากระบบสายอากาศ 48 เส้น ที่รายล้อมสายอากาศเส้นกลางและเป็นการผสมคลื่นกลับกัน (Reverse role) ดังรูที่ 2.8

หลักการพื้นฐานของดีวีโออาร์ ก็เป็นการวัดความต่างเฟส (Phase Different) ระหว่างสัญญาณ 2 ชุด ที่แพร่ออกจากสถานีพร้อม ๆ กัน และใช้ทิศเหนือแม่เหล็กเป็นจุดกำหนดในการหาความต่างของเฟสของสัญญาณทั้งสอง สัญญาณ 2 ชุด ที่ส่งออกจากสถานีนั้น โดยที่สัญญาณชุดหนึ่งเป็นชุดที่ไม่จำกัดทิศทาง (Non - directional) และมีเฟสคงที่ (Constant phase) ตลอด 360 องศา สัญญาณชุดนี้เรียกว่า สัญญาณอ้างอิง (Reference phase)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

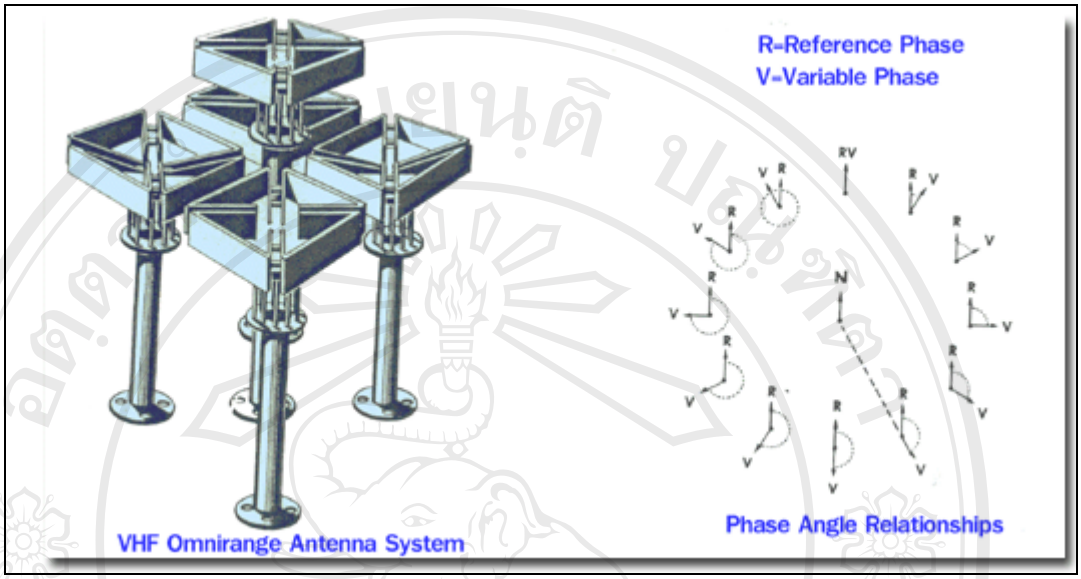
รูปที่ 2.7 ลักษณะสายอากาศ ของดีวีโออาร์

สัญญาณอ้างอิง (Reference phase) นี้จะแพร่ออกจากสายอากาศเส้นกลางของชุดสายอากาศของเครื่องส่ง ส่วนสัญญาณแปร (Variable Phase) นี้จะแพร่ออกจากสายอากาศ 48 ต้น ที่วางรอบเป็นรูปวงกลมล้อมรอบสายอากาศของสัญญาณอ้างอิง (Reference phase) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สายอากาศ ของดีวีโออาร์

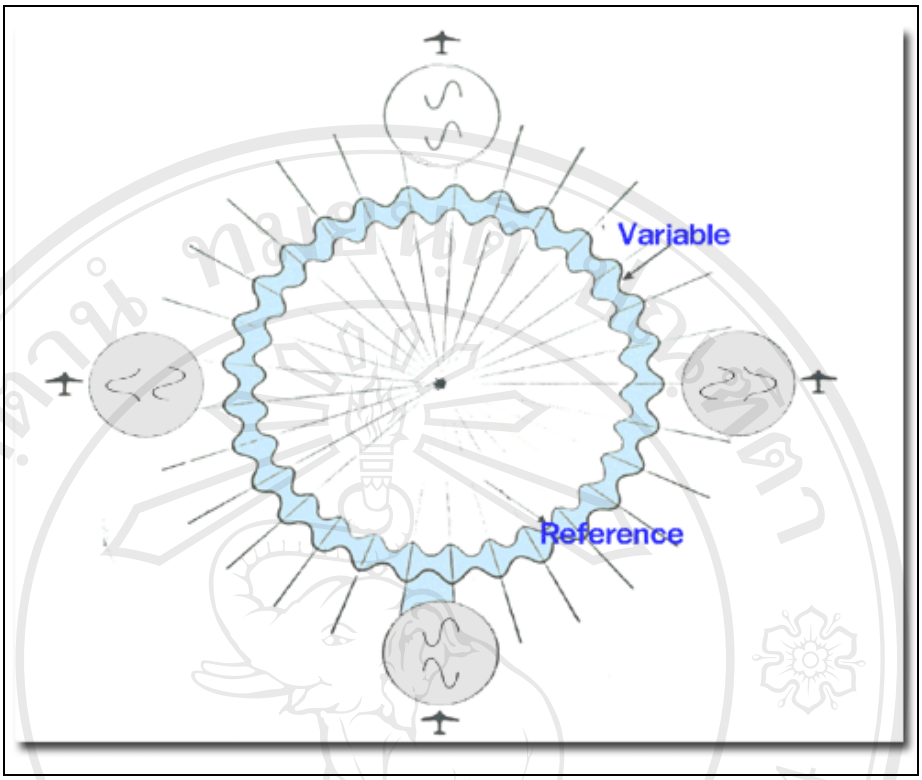
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.9 ระบบสายอากาศ และ สัญญาณของสายอากาศ

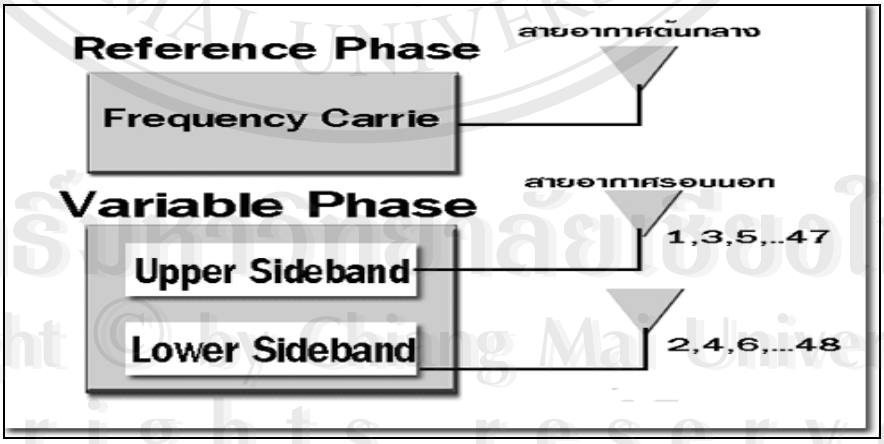
เมื่อดูตามรูปที่ 2.8 เห็นว่าสถานี ดีวีโออาร์ทำการส่งสัญญาณ 2 ความถี่ในเวลาเดียวกัน ซึ่งความถี่ที่หนึ่งเป็นสัญญาณอ้างอิง (Reference phase) เป็นแบบเฟสคงที่ (Constant phase) ส่งที่สายอากาศต้นกลาง และอีกความถี่เป็นส่วนสัญญาณแปร (Variable Phase) เป็นแบบเฟสเปลี่ยนแปลง หมุนไปรอบ ๆ ตัว 360 องศา สัญญาณทั้งสองจะมีเฟส ตรงกันที่ 360 องศา (ที่ทิศเหนือแม่เหล็ก) และเฟสต่างกัน 180 องศา เมื่อสัญญาณหมุนผ่านไป 180 องศา ซึ่งอุปกรณ์ในเครื่องบินจะรับสัญญาณทั้งสองสัญญาณ และเครื่องรับสัญญาณจะคำนวณความแตกต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองสัญญาณ ให้ผลลัพธ์เป็นองศาของรัศมี โดยที่เริ่มต้นคิดจากทิศเหนือของสถานี เส้นบอกทิศทางดังกล่าวนี้เรียกว่า เรเดียล (Radial) นักบินจะทราบเป็นมุมเรเดียลของสถานี สัญญาณทั้งสองจากเครื่องส่งสัญญาณดีวีโออาร์จะสร้างเส้นรัศมี 360 เส้น เหมือนกับซี่ลวดล้อจักรยาน แต่ละเส้นเราเรียกว่า เรเดียล ดังรูปที่ 2.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.10 ลักษณะสัญญาณของ ดีวีโออาร์

2.2.2 การส่งสัญญาณของดีวีโออาร์

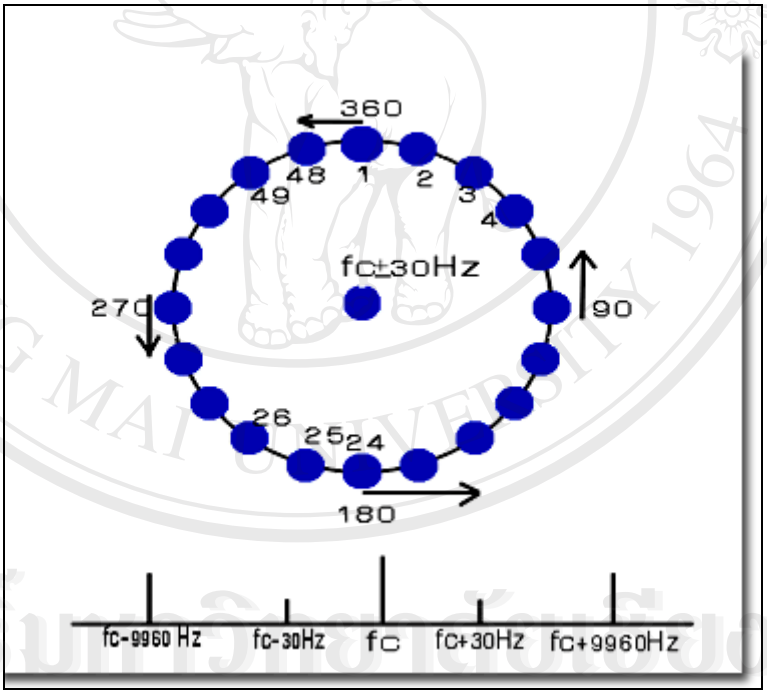


รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของดีวีโออาร์เบื้องต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งของ ดีวีโออาร์มี 3 เครื่องส่งประกอบด้วย

1) ความถี่พาหนะ (Frequency Carrie: Fc) จะส่งสัญญาณอ้างอิง (Reference Phase) ที่สายอากาศตัวกลาง ความแรงของสัญญาณ 50 วัตต์ มีการรวมสัญญาณที่ 30 เฮิรตซ์ (Hertz: Hz) แบบแอมปลิจูด มอดดูเลต (Amplitude Modulated: AM)
2) ความถี่อัปเปอร์ไซด์แบนด์ (Upper Sideband: Fc+9960) จะส่งสัญญาณแปร (Variable Phase) ที่สายอากาศรอบนอกต้นที่เป็นเลขคี่เช่น ตัวที่ 1 ตัวที่ 3 ตัวที่ 5 ถึงตัวที่ 47 ความแรงของสัญญาณ 1.4 วัตต์
3) ความถี่โลเวอร์ไซด์แบนด์ (Lower Sideband: Fc-9960) จะส่งสัญญาณแปร (Variable Phase) ที่สายอากาศรอบนอกต้นที่เป็นเลขคู่เช่น ตัวที่ 2 ตัวที่ 4 ตัวที่ 6 ถึงตัวที่ 48 ความแรงของสัญญาณ 1.4 วัตต์



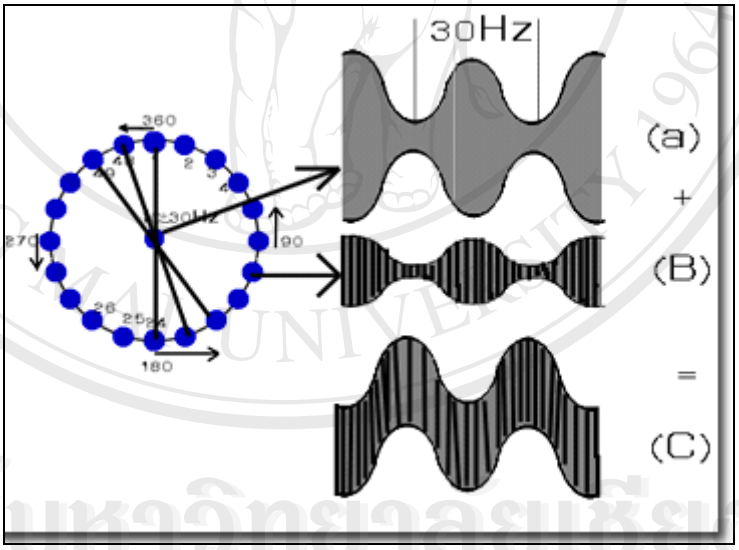
รูปที่ 2.12 การกระจายสัญญาณ

จากรูปที่ 2.12 แสดงรายละเอียดความถี่ของ ดีวีโออาร์ที่มี 3 เครื่องส่งประกอบด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1) ความถี่พาหนะ (Frequency Carrie: Fc) จะส่งสัญญาณอ้างอิง (Reference Phase) ที่สายอากาศต้นกลาง ความแรงของสัญญาณ 50 วัตต์ มีการรวมสัญญาณที่ 30 เฮิรตซ์ (Hertz: Hz) แบบแอมปลิจูด มอดดูเลต (Amplitude Modulated: AM)
2) ความถี่อัปเปอร์ไซด์แบนด์ (Upper Sideband: Fc+9960) จะส่งสัญญาณแปร (Variable Phase) โดยมีความถี่เท่ากับผลรวมระหว่างความถี่พาหนะ กับความถี่ 9960 เฮิรตซ์ (Hertz: Hz)
3) ความถี่โลเวอร์ไซด์แบนด์ (Lower Sideband: Fc-9960) จะส่งสัญญาณแปร (Variable Phase) โดยเป็นผลต่างความถี่ระหว่างความถี่พาหนะ กับความถี่ 9960 เฮิรตซ์ (Hertz: Hz)

2.2.3 การรวมสัญญาณของดีวีโอาร์



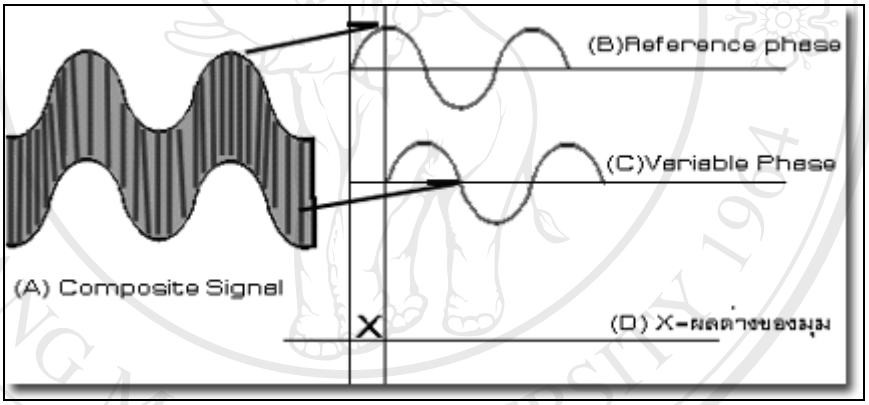
รูปที่ 2.13 การรวมของสัญญาณ

จากรูปที่ 2.13 ลักษณะการรวมสัญญาณ ซึ่งสัญญาณอ้างอิง (Reference phase) ส่งความถี่พาหนะ (Frequency Carrie: Fc) ที่สายอากาศตัวกลางดังในรูป 2.13(a) ส่วนลักษณะการกระจายสัญญาณแปร (Variable Phase) ที่ประกอบไปด้วยความถี่อัปเปอร์ไซด์แบนด์ (Upper Sideband: Fc+9960) จะส่งออกอากาศที่สายอากาศตัวคี่ และความถี่โลเวอร์ไซด์แบนด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(Lower Sideband: Fc-9960) จะส่งออกอากาศที่สายอากาศต้นคู่ การส่งออกอากาศที่สายอากาศรอบนอกจะส่งสัญญาณทีละคู่ คือต้นที่1และต้นที่24 ออกพร้อมกัน สลับไปที่ ต้นที่48 และต้นที่23 ต้นที่47และต้นที่22 จนครบสายอากาศต้นที่ 2และต้นที่25 การสลับการออกอากาศนี้จะหมุนรอบแบบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งใช้ความถี่ในการสลับ 30 รอบต่อวินาที ดังในรูป2.13(B) ทั้งนี้การส่งออกอากาศของสัญญาณอ้างอิง (Reference phase) และสัญญาณแปร (Variable Phase) จะส่งอากาศพร้อมกัน ซึ่งมีการรวมสัญญาณกันแบบเชิงความถี่ที่เรียกว่า ฟรี-คเว็นซี มอดดูเลชั่น (Frequency Modulation) การรวมสัญญาณนี้จะรวมกันในอากาศ ดังรูปที่ 2.13(C) สัญญาณนี้เรียกว่า *คอมโพซิทซิกแนล (Composite Signal)*

2.2.4 การบอกมุมของดีวีโออาร์



รูปที่ 2.14 การบอกมุมของดีวีโออาร์

จากรูป 2.14 เมื่ออากาศยานเข้ามาสู่สนามบิน อากาศยานจะรับสัญญาณคอมโพซิทซิกแนล (Composite Signal) ดังรูป 2.14(A) และในเครื่องรับของอากาศยาน สามารถที่จะแยกสัญญาณออกเป็น 2 สัญญาณคือ สัญญาณอ้างอิง (Reference phase) ได้จากขอบด้านบนของสัญญาณคอมโพซิทซิกแนล (Composite Signal) ซึ่งมีความถี่ 30 เฮิรตซ์ ดังรูป 2.14(B) ส่วนสัญญาณแปร (Variable Phase) ได้มาจากความถี่ที่อยู่ภายในสัญญาณคอมโพซิทซิกแนล (Composite Signal) โดยมีความถี่ 30 เฮิรตซ์เช่นกัน ซึ่งอากาศยานจะรับสัญญาณนี้จากสายอากาศจาก 48 ต้น โดยความแรงของสัญญาณ จะได้จากสายอากาศที่ใกล้อากาศยานมากที่สุดจะมีความแรงสัญญาณมากที่สุด และความแรงจะลดน้อยลงไปตามลำดับตามความห่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสายอากาศกับอากาศยาน ซึ่งมีผลทำให้สัญญาณที่จะได้รับเป็นรูปสัญญาณไซด์เวป (Sine wave) และมีความถี่ 30 เฮิรตซ์ ดังรูป 2.14 (C)

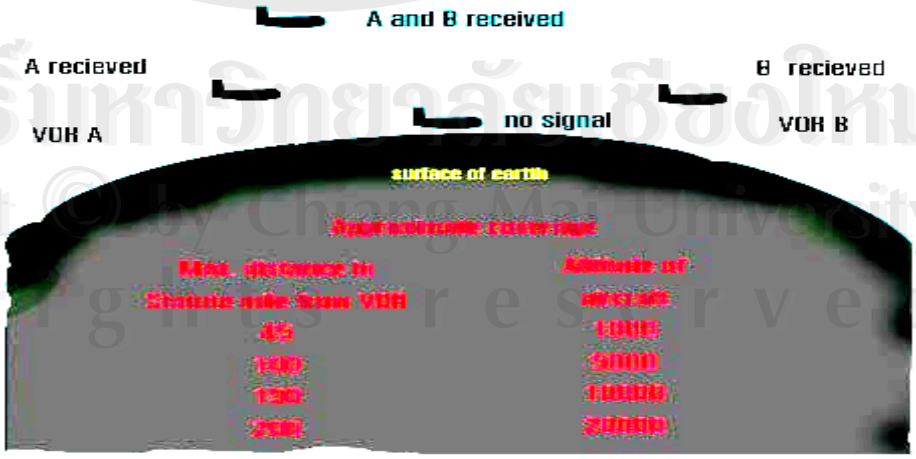
ความต่างเฟสระหว่างสัญญาณอ้างอิง (Reference phase) กับสัญญาณแปร (Variable Phase) ดังรูป 2.13(D) เครื่องรับของอากาศยานจะสามารถคำนวณเป็นมุมของสนามบินนั้น ๆ ได้ ทั้งนี้สัญญาณอ้างอิง (Reference phase) จะเริ่มต้นที่ 0 องศา เมื่อเทียบกับขั้วโลกเหนือจนครบ 360 องศา ส่วนสัญญาณแปร (Variable Phase) จะเริ่มต้นองศาตามความแรงสัญญาณแปรที่ได้รับครั้งแรก ดังนั้นเครื่องรับอากาศยานจะได้มุมของดีวีโออาร์ คือค่าผลต่างระหว่างมุมสัญญาณอ้างอิง กับมุมสัญญาณแปร

2.2.5 **รัศมีการทำงานของดีวีโออาร์** (DVOR range)

มีเกณฑ์ที่จะกระทำต่อรัศมีทำการของ ดีวีโออาร์ดังนี้

1. **กำลังส่ง** (Transmission power) ยิ่งเครื่องส่งมีกำลังสูงขึ้นเท่าใดรัศมีทำการก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้นแต่รัศมีทำการเช่นนี้ยังคงขึ้นอยู่กับระดับสูงของเครื่องบินด้วย เครื่องส่งดีวีโออาร์ (DVOR) ที่มีกำลังขาออก 200 วัตต์ จะมีรัศมีทำการประมาณ 200 ไมล์ทะเล

2. **ระดับสูงของสถานีส่งและระดับสูงของเครื่องบิน** เพราะว่า ดีวีโออาร์ (DVOR) ทำงานในย่านความถี่คลื่นสูงมาก (Very High Frequency: VHF) รัศมีทำการของมันจะเป็นลักษณะตามเส้นสายตา (Line of sight) แต่ในทางใช้การแล้วจะไกลกว่าระยะนี้เล็กน้อย เนื่องจากการหักเหของบรรยากาศ

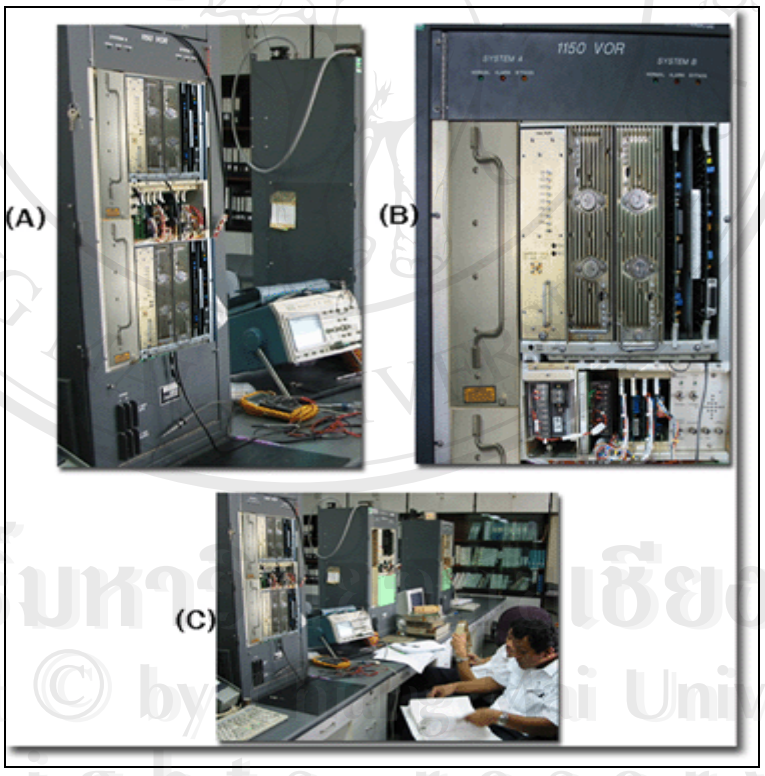


รูปที่ 2.15 รัศมีทำการของ ดีวีโออาร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 คุณลักษณะของดีวีโออาร์ รุ่นเอเอสไอ1150 (DVOR ASI1150)

รูปที่ 2.16 สถานีดีวีโออาร์ รุ่นเอเอสไอ1150



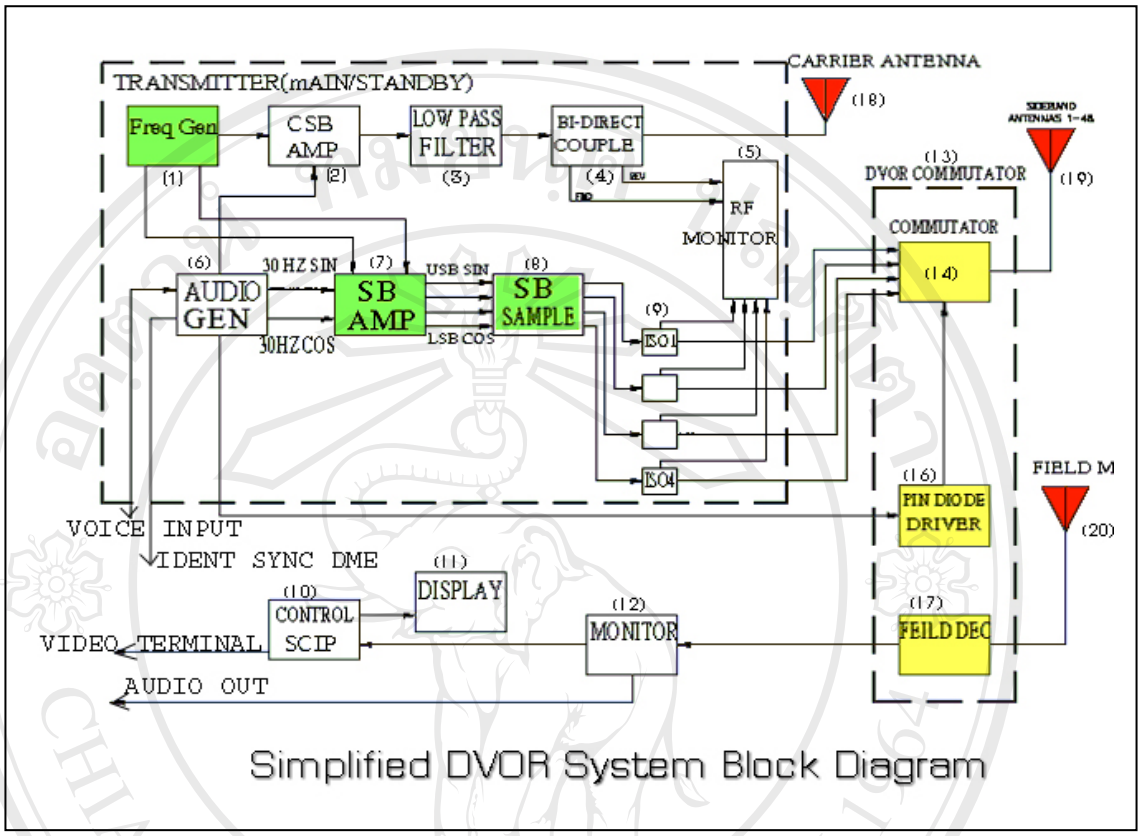
รูปที่ 2.17 ตัวเครื่องดีวีโออาร์ รุ่นเอเอสไอ1150

(A) รูปร่าง (Case) ดีวีโออาร์ รุ่น เอเอสไอ1150

(B) มอนิเตอร์ ดีวีโออาร์ รุ่น เอเอสไอ1150

(C) บริเวณที่ติดตั้งดีวีโออาร์ รุ่น เอเอสไอ1150

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมของดีวีโออาร์ รุ่นเอเอสไอ1150

หลักการทำงานของ ดีวีโออาร์ รุ่น ASI1150

ระบบการทำงานของดีวีโออาร์จะประกอบไปด้วย 2 ระบบ คือระบบเครื่องส่งหลัก (Main) และระบบเครื่องส่งสำรอง (Standby) โดยทั้ง 2 ระบบจะมีการทำงานเหมือนกัน แต่จะทำงานสลับกันโดยที่เครื่องส่งหลักทำงานครั้งแรก กรณีที่เกิดปัญหาคอนโทรลสคลิป (Control SCIP)(10) จะทำการเปลี่ยนเครื่องให้เครื่องส่งสำรองทำงานโดยอัตโนมัติทันที เพื่อให้ระบบดีวีโออาร์ทำงานอย่างต่อเนื่องได้ตลอด 24 ชั่วโมง

ระบบเครื่องส่งหลัก และระบบเครื่องส่งสำรอง มีส่วนประกอบหลักเหมือนกันดังรูปที่ 2.18 ซึ่งจะประกอบไปด้วย เครื่องส่ง (1) จะผลิตความถี่พาหนะ 2 แบบ คือ *แบบที่ 1 ความถี่พาหนะ (Frequency Carrie: Fc)(2)* ที่ส่งสัญญาณเป็นสัญญาณอ้างอิง (Reference Phase) ออกอากาศที่สายอากาศต้นกลาง (18) ความแรงของสัญญาณ 50 วัตต์ โดยมีการรวมสัญญาณที่ 30 เฮิรตซ์ แบบแอมปลิจูดมอดดูเลต (Amplitude Modulated: AM) ทั้งนี้สัญญาณ 30 เฮิรตซ์ จะผลิตจากระบบออดิโอเจนเนอร์เรเตอร์ (Audio Generator)(6) *ส่วนแบบที่ 2 คือ ความถี่ไซด์*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แบนด์ (Frequency Sideband)(7) ที่ส่งสัญญาณเป็นสัญญาณแปร (Variable Phase) ออกอากาศที่สายอากาศที่มีจำนวน 48 ตัว (19) โดยสายอากาศจะเรียงกันเป็นวงกลมดังรูปที่ 2.7 ความแรงของสัญญาณ 1.4 วัตต์ ทั้งนี้ความถี่ไซด์แบนด์ยังแบ่งการทำงานได้ 2 แบบ คือ*ความถี่อัปเปอร์ไซด์แบนด์ (Upper Sideband: Fc+9960)* โดยมีความถี่เท่ากับผลรวมระหว่างความถี่พาหนะ กับความถี่ 9960 เฮิรตซ์ และ*ความถี่โลเวอร์ไซด์แบนด์ (Lower Sideband: Fc-9960)* ซึ่งจะเป็นผลต่างความถี่ระหว่างความถี่พาหนะ กับความถี่ 9960 เฮิรตซ์ โดยการออกอากาศนั้นจะส่งไปที่สายอากาศทั้ง 48 ต้น และจะสลับการออกอากาศทีละคู่ ใช้เวลาในการสลับ 30 รอบต่อวินาที ดังในรูปที่ 2.11-2.12 การสลับการออกอากาศนี้ จะสลับกันอยู่ในส่วนของ *ดีวีโออาร์คอมมิวเตเตอร์ (DVOR Commutator)(13)* ทั้งนี้สัญญาณ 30 รอบต่อวินาที นั้นได้มาจากในส่วนของออดิโอเจน ส่งมาที่บล็อคพินไดโอดไดว์เวอร์ (Pin Diode Driver)(16) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ให้สัญญาณออกอากาศทั้ง 48 ต้น

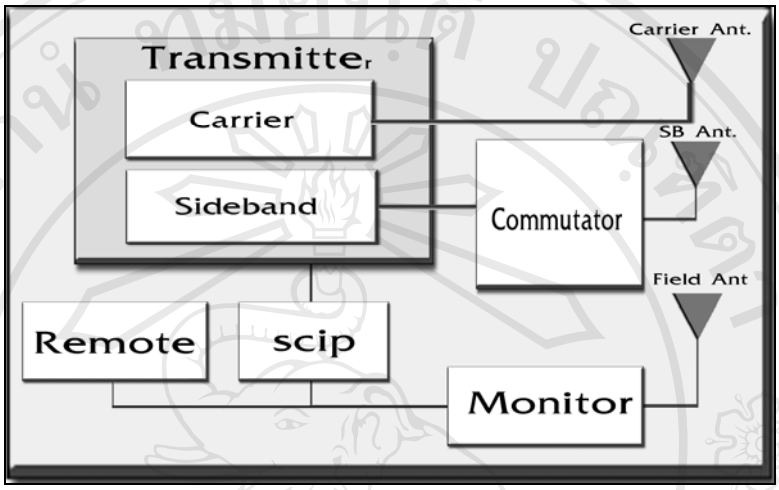
ส่วนระบบมอนิเตอร์ (Monitor)(12) มีหน้าที่ตรวจสอบระบบของดีวีโออาร์ โดยจะมีสายอากาศตรวจจับสัญญาณ (Field Monitor)(20) ที่จะรับสัญญาณของดีวีโออาร์ว่ามีความถูกต้องเพียงใด ถ้ามีความผิดปกติของระดับสัญญาณ มอนิเตอร์ก็จะรายงานผลให้ทราบ และส่งต่อไปที่คอนโทรลสคลิป (Control SCIP)(10) เพื่อทำการสั่งเปลี่ยนเครื่องส่งจากเครื่องส่งหลักเป็นเครื่องส่งสำรอง หรือเครื่องส่งสำรองเป็นเครื่องส่งหลักโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าระบบดีวีโออาร์ไม่สามารถทำงานได้ทั้ง 2 เครื่อง ระบบคอนโทรลสคลิป (Control SCIP)(10) ก็จะสั่งปิดระบบการทำงานของดีวีโออาร์ทันที ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของอากาศยานที่จะได้รับสัญญาณที่ไม่ถูกต้อง สำหรับวิศวกรเองจะควบคุมการทำงานของระบบดีวีโออาร์มีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 บริเวณหน้าเครื่องของระบบดีวีโออาร์ วิธีที่ 2 ณ ห้องวิศวกรที่ประจำอยู่หอบังคับการบินนั้น ๆ การควบคุมระบบดีวีโออาร์ระยะไกล เรียกว่าระบบรีโมท (Remote System) ทั้งนี้จะมีไว้เพื่อแสดงผลการทำงาน และควบคุมการทำงานของระบบดีวีโออาร์ได้

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าระบบดีวีโออาร์รุ่นเอเอสไอ 1150 ประกอบด้วยดังรูปที่ 2.19

1. ระบบสายอากาศ (Antenna System)
2. ระบบแคร์เรีย (Carrier System)
3. ระบบไซด์แบนด์ (Sideband System)
4. ระบบคอมมิวเตเตอร์ (Commutator System)
5. ระบบมอนิเตอร์ (Monitor System)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

6. ระบบรีโมท (Remote System)
7. ระบบคอนโทรลสคริป (Control SCIP System)



รูปที่ 2.19 โครงสร้างหลัก ของดีวีโออาร์ รุ่น ASI1150

2.4 ประโยชน์ของดีวีโออาร์

1) ช่วยให้อากาศยานในการบิน เข้าหาสถานี (Homing) จากทิศทางใด ๆ
2) ช่วยให้อากาศยานในการบิน เดินทางตามเส้นทางที่มีดีวีโออาร์ติดตั้งเป็นระยะ
3) ช่วยให้อากาศยานในการบิน วนรอ (Holding) เพื่อการบินเข้าสู่สนาม
4) ช่วยให้อากาศยานทราบทิศทางของสนามบิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved