เครื่องจำลองการบิน

Flight Simulator

เมธี บวรภราดร
METEE BORVONPARADORN

วิศรุต วงศ์เบี้ยสัจจ์
WISSARUT VONGBIASAT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

เครื่องจำลองการบิน

Flight Simulator

เมธี บวรภราดร
METEE BORVONPARADORN

วิศรุต วงศ์เบี้ยสัจจ์
WISSARUT VONGBIASAT

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตร์จารย์ ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องจำลองการบิน

Flight Simulator

ผู้จัดทำ นาย เมธี บวรภราดร รหัสประจำตัว 58011024

นายวิศรุต วงศ์เบี้ยสัจจ์ รหัสประจำตัว 58011170

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องจำลองการบิน		
นักศึกษา	นายเมธี	บวรภราดร	รหัสประจำตัว 58011024
	นายวิศรุต	วงศ์เบี้ยสัจจ์	รหัสประจำตัว 58011170
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ		

บทคัดย่อ

Flight Simulator เป็นการจำลองเหตุการณ์ต่างๆ บนพื้นฐานของการขับเครื่องบินจริง ซึ่งโครงการนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างเครื่องจำลองการบิน รุ่น Airbus a320/321 โดยทำการออกแบบ Cockpit Panel และส่วนต่างๆที่สำคัญของเครื่องบิน เช่น MCDU , THOROTTLE , CONTROL STICK เป็นต้น และทำการสร้าง Hardware ให้สามารถควบคุมระบบต่างๆของเครื่องบินด้วย microcontroller โดยจะใช้โปรแกรม X-Plane 11 เป็นตัวช่วยในการจำลองเหตุการณ์และส่วนต่างๆของเครื่องบิน Airbus a320/321

เครื่องจำลองการบิน ของรุ่น Airbus a320/321 จะเป็นการทำงานของ 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นตัวโปรแกรมจำลองการทำงานของเครื่องบิน และส่วน Hardware ที่ทำการควบคุมการทำงานต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์กับนักศึกษาการบินหรือนักบิน ที่ต้องการฝึกบินให้เกิดความชำนาญและความปลอดภัยให้มากที่สุด เพื่อลดความสูญเสียจากเหตุการณ์เครื่องบินตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	FLIGHT SIMULATOR	
Students	Mr. Metee Borvonparadorn	Student ID 58011024
	Mr. Wissarut Vongbiasat	Student ID 58011170
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	Year 2018	
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Pattarapong Phasukkit	

ABSTRACT

Flight Simulator is a simulation of events based on the real plane. This project will study about creating a flight simulator Airbus a320 / 321 by designing cockpit panels and important parts of the aircraft such as MCDU, THOROTTLE, CONTROL STICK etc. We have made a hardware to control the aircraft by microcontroller and using X-Plane 11 to simulate the events of the Airbus a320 / 321.

The Airbus a320 / 321's flight simulator features two parts, the flight simulator and the hardware controller. Which controls various functions In order to benefit aviation students or pilots Who want to train as much as possible to gain expertise and safety In order to reduce losses from the plane crash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ สำเร็จอย่างสมบูรณ์ ได้โดยจากความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ ที่ช่วยเหลือในการทำโครงงาน ความรู้ การแก้ปัญหา สถานที่ และเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำโครงงาน ความรู้ที่ได้จากการเป็นนักศึกษาฝึกงานที่บริษัท AATC (Asian Aviation Training Centre) ได้ศึกษาวิธีใช้เครื่อง Flight Simulator ขอขอบคุณ นายอานนท์ วังบุญ และ นายวิจักษ์ มาระมิ่ง ที่บริษัท AATC คอยแนะนำการทำโครงงาน คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพ่อแม่ที่เป็นกำลังใจและเป็นผู้สรับสนุนการเงินในการทำโครงงาน รวมไปถึงรุ่นพี่ในคณะที่คอยให้คำแนะนำ และเพื่อนๆที่คอยแนะนำคอยสอน และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจนให้ผลโครงงานสำเร็จอย่างสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงงานนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจและผู้นำผลนี้ไปใช้งานหรือนำไปต่อยอดต่อไป

เมธี บวรภราดร

วิศรุต วงศ์เบี้ยสัจจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 1
1.5 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ประวัติการบิน 3
2.2 หลักพื้นฐานการบิน 7
2.3 การควบคุมทิศทางการบิน 10
2.4 รู้จักกับเครื่องฝึกบินจำลอง Flight Simulator 14
2.5 AIRBUS a320 16
2.6 MCDU 19
2.7 Arduino Board 23
2.8 ArdSimX 26
บทที่ 3 การออกแบบ 29
3.1.ตัวควบคุมทิศทางการบิน (Sidestick a320) 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.อุปกรณ์เพิ่มแรงยกให้กับปีก. (Flaps) 30
3.3.ตัวควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ (Throttle a320) 31
3.4.แผงควบคุมระบบต่างๆของเครื่องบิน (Overhead panel) 32
3.5 ตัวควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบิน (MCDU, Mulifunction Control Display Unit) 35
3.6 ตัวควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน (Autopilot) 37
3.7 ตัวเปิดปิดล้อของเครื่องบิน (Gear Landing) 38
3.8 โครงของเครื่องจำลองการบิน (Cockpit) 39
บทที่ 4 ผลการทดลอง 40
4.1 ผลทดลองการใช้ Side-Stick ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน 40
4.2 ผลการทดลองใช้ Throttle a320 ตัวควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ 41
4.3 ผลการทดลองใช้ Overhead Panel แผงควบคุมระบบไฟนำร่องของเครื่องบิน 42
4.4 ผลทดลองใช้ (MCDU, Mulifunction Control Display Unit) ตัวควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบิน 43
4.5 ผลทดลองใช้ Autopilot ตัวควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน 44
4.6 ผลทดลองใช้ Gear Landing ตัวเปิดปิดล้อของเครื่องบิน 45
บทที่5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของวงจร 46
5.1.สรุปผลการทดลอง 46
5.2.ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน 47
5.3.แนวทางการแก้ไข 47
5.4.ประโยชน์และการประยุกต์การใช้งาน 47
5.5.สิ่งที่ได้จากโครงงาน 47
บรรณานุกรม 48
ภาคผนวก 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ผลทดลองการใช้ Side-Stick ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน.....40

4.2 ผลการทดลองใช้ Throttle a320 ตัวควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์.....41

4.3 ผลการทดลองใช้ Overhead Panel แผงควบคุมระบบไฟนำร่องของเครื่องบิน.....42

4.4 ผลทดลองใช้ (MCDU, Mulifunction Control Display Unit) ตัวควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบิน.....43

4.5 ผลทดลองใช้ Autopilot ตัวควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1.1 Ornithopters 3
รูปที่ 2.1.2 เครื่องกลที่เบากว่าอากาศ 3
รูปที่ 2.1.3 เครื่องบินของพี่น้องตระกูล Wright 4
รูปที่ 2.1.4 Bleriot XI Monoplane 5
รูปที่ 2.1.5 Henri Fabre Seaplane 5
รูปที่ 2.1.6 Vikers Gunbus 6
รูปที่ 2.1.7 F.X. Trimotor 6
รูปที่ 2.2.1 แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน 7
รูปที่ 2.2.2 แรงยกของปีกเครื่องบิน 8
รูปที่ 2.2.3 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องบิน 9
รูปที่ 2.2.4 Wing Flap 10
รูปที่ 2.3.1 แกนทั้ง 3 ของเครื่องบิน 10
รูปที่ 2.3.2 แกน Longitudinal Axis 11
รูปที่ 2.3.3 แกน Longitudinal Axis 11
รูปที่ 2.3.4 แกน Lateral Axis 12
รูปที่ 2.3.5 แกน Vertical Axis 13
รูปที่ 2.4.1 Flight Simulator 14
รูปที่ 2.4.2 Motion 6 Degrees of Freedom 15
รูปที่ 2.4.3 Flight Simulator ของการบินไทยมีทั้งหมด 8 รุ่น 15
รูปที่ 2.5.1 เอ 320-100 ของบริติช แอร์เวย์ 16
รูปที่ 2.5.2 เอ 320-200 ของยูเอสแอร์เวย์ 16
รูปที่ 2.5.3 เอ 319CJ ของเดมเลอร์ไครส์เลอร์ 17
รูปที่ 2.5.4 เอ 318 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6.1 MCDU 22
รูปที่ 2.7.1 CPU ATMega328 ขนาด 28 ขา 24
รูปที่ 2.7.2 IC FT232RL 25
รูปที่ 2.8.1 Block Diagram ArdsimX 26
รูปที่ 2.8.2 การเชื่อมต่อผ่านทาง LAN 28
รูปที่ 2.8.3 การเชื่อมต่อผ่านทาง USB Ports 28
รูปที่ 3.1.1 Sidestick A320 29
รูปที่ 3.1.2 แบบ Sidestick A320 29
รูปที่ 3.1.3 Sidestick A320 29
รูปที่ 3.2.1 Flaps Panel 30
รูปที่ 3.2.2 แบบ Flaps Panel 30
รูปที่ 3.2.3 Flaps 30
รูปที่ 3.3.1 Throttle a320 31
รูปที่ 3.3.2 ออกแบบ throttle a320 31
รูปที่ 3.3.3 ออกแบบที่จับ throttle a320 31
รูปที่ 3.3.4 Throttle a320 Panel 31
รูปที่ 3.4.1 EXT LT Panel 32
รูปที่ 3.4.2 ออกแบบ EXT LT Pane 32
รูปที่ 3.4.3 EXT LT Panel 32
รูปที่ 3.4.4 ไฟนำร่องของเครื่องบิน 32
รูปที่ 3.4.5 Beacon Light 33
รูปที่ 3.4.6 Strobe Light 34
รูปที่ 3.4.7 Taxi Light 34
รูปที่ 3.4.8 Landing Light 35
รูปที่ 3.5.1 MCDU 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5.2 ออกแบบวงจร MCDU 35
รูปที่ 3.5.3 ลายวงจร MCDU 36
รูปที่ 3.5.4 ออกแบบแผ่นอะคริลิค MCDU 36
รูปที่ 3.5.5 ออกแบบปุ่ม MCDU 36
รูปที่ 3.5.6 ออกแบบปุ่ม MCDU 36
รูปที่ 3.6.1 Autopilot A320 37
รูปที่ 3.6.2 ออกแบบ Autopilot A320 37
รูปที่ 3.6.3 ออกแบบ Autopilot A320 37
รูปที่ 3.6.4 Autopilot A320 Panel 37
รูปที่ 3.7.1 Gear Landing 38
รูปที่ 3.7.2 ออกแบบ Gear Landing 38
รูปที่ 3.7.3 ออกแบบที่จับ Gear Landing 38
รูปที่ 3.7.4 Gear Landing Panel 38
รูปที่ 3.8.1 Cockpit A320 39
รูปที่ 3.8.2 ออกแบบ Cockpit A320 39
รูปที่ 3.8.3 โครง Cockpit A320 39
รูปที่ 3.8.4 โครง Cockpit A320 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบัน อาชีพนักบินมีความต้องการมากเห็นได้จากสายการบินต่างๆที่เพิ่มจำนวนเที่ยวบิน นักบินก็ต้องมีจำนวนมากขึ้น ในการฝึกบินเครื่องบินนั้นมีความเสี่ยงสูงที่มีโอกาสทำให้เครื่องบินตก เนื่องจากผู้ฝึกบินนั้นไม่มีประสบการณ์ ดังนั้นเครื่องจำลองการบิน จึงมีความสำคัญอย่างมากในการฝึกบินของนักศึกษาการบิน

เครื่องจำลองการบินเริ่มจากการทำตัวควบคุมทิศทางเครื่องบิน ตัวควบคุมมุมองศาปีกของเครื่องบิน และตัวควบคุมต่างๆ สามารถทำจากได้ บอร์ด microcontroller เชื่อมต่อกับโปรแกรม X-plane 11 และการนำค่าสถานะบอกเครื่องบิน เช่น ความสูง ความเร็ว ทิศทางของเครื่องบิน นำมาแสดงผลด้วยหน้าจอที่เหมือนกับห้องควบคุมนักบิน เพื่อความเหมือนจริงในการฝึกการบินของนักศึกษาการบิน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเป็นการศึกษาการ Interface ระหว่างตัว Controller กับโปรแกรม Flight simulator

1.2.2 เพื่อเป็นการศึกษาการใช้งานและออกแบบคำสั่งให้ตัว Controller ทำงานได้กับโปรแกรม Flight simulator

1.2.3. สามารถออกแบบแผงควบคุมห้องนักบิน Cockpit Panel

1.2.4. เพื่อศึกษาและเรียนรู้ปัญหาต่างๆจากการสร้างชิ้นงาน ตลอดจนการหาวิธีการแก้ไขปัญหานั้นๆ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

สร้าง Hardware แผงควบคุมห้องนักบิน ควบคุมระบบต่างๆของเครื่องบินด้วย Microcontroller ทำการ Interface กับโปรแกรม X-Plane 11

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1. ศึกษาโปรแกรมจำลองการบิน (X-Plane 11)

1.4.2. ศึกษาโปรแกรม ArdsimX

1.4.3.. ศึกษาการใช้งานและคำสั่ง Microcontroller

1.4.4. ศึกษาการ Interface Microcontroller กับ โปรแกรม X-plane 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.5. ศึกษาการออกแบบ Cockpit Panel

1.5 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถใช้งานโปรแกรมจำลองการบิน (X-Plane 11)

1.5.2. ได้มีความสามารถในการเขียนโปรแกรมคำสั่งรูปแบบต่างๆมากขึ้น

1.5.3. สามารถนำเทคนิคการ Interface ไปใช้ในงานต่างๆต่อไปได้

1.5.4. สามารถนำไปเป็นการเรียน การสอน แก่นักศึกษาการบิน

1.5.5. มีทักษะในการทำงานร่วมกับผู้อื่นมากขึ้น

1.5.6. สามารถแก้ไขปัญหาหรือ หาคำตอบจากปัญหาต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

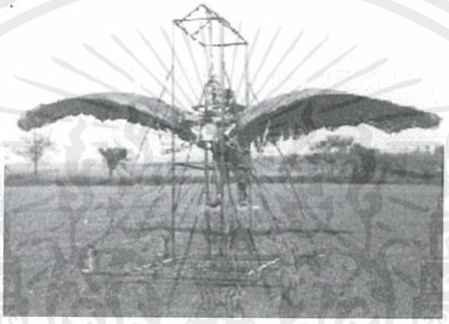
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติการบิน

Ornithopters (Flapping- wing)

ความสวยงาม และการเป็นอิสระของนก ได้ดึงดูดความชื่นชม และความน่าอิจฉา ความเป็นอิสระ ในการเคลื่อนที่ ไปได้ทุกที่ทุกทาง เหนือเครื่องกีดขวาง ซึ่งเป็นสิ่งที่พวกเราทุกคน อยากจะทำความพยายาม แรกๆในการสร้างเครื่องกล เพื่อเอาชนะ แรงดึงดูดของโลกเช่นเครื่องกลที่ขยับปีกเหมือนนก

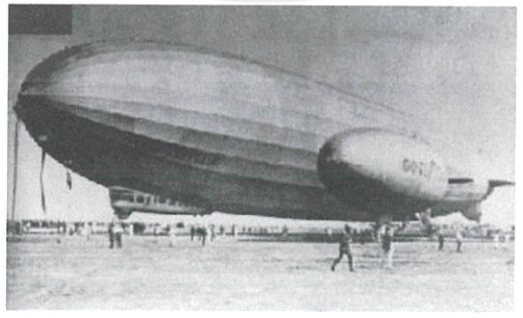


รูปที่ 2.1.1 Ornithopters

เครื่องกล ที่ใช้การขยับปีกเหมือนนก เพื่อที่จะให้ การบินบรรลุผล แต่ก็แทบ จะไม่จำเป็น ต้องบอกเลย ว่ามันไม่เป็นผลสำเร็จ

เครื่องกลที่เบากว่าอากาศ

ระหว่างปี 1650 และปี 1900 มีการพยายามครั้งที่สอง เป็นการบินที่ไม่สลับ ซับซ้อน แต่มีประสิทธิภาพ ในการทำการบิน เครื่องจักรกลที่เบากว่าอากาศ คือการคิดที่จะใส่เติมภาชนะด้วยสิ่งที่ปกติ สิ่งนั้นจะลอยขึ้นไปในอากาศ ซึ่งมนุษย์รู้จักมาตั้งแต่ปี 1300 ซึ่งระยะห่างกันถึง 500 ปี มีสารต่างๆหลายชนิดที่รู้จัก ว่า เบากว่าอากาศ โดยทั่วๆไปได้แก่ไอน้ำ กาซฮีเลี่ยม, กาซไฮโดรเจน ความพยายามในการใช้อากาศยานแบบนี้ ครั้งแรกทำโดย พี่น้องตระกูล Montgolfier ในฝรั่งเศส ปี 1783



รูปที่ 2.1.2 เครื่องกลที่เบากว่าอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ที่ประสบความสำเร็จที่สุด ในการสร้างยานที่เบากว่าอากาศ คือ Count Ferdinand จาก Zeppelin (ดูรูปภาพข้างบน) ในต้นปี 1930 ยานของ German Graft Zeppelin สามารถทำการบินข้ามมหาสมุทร Atlantic ไปยังประเทศ อเมริกา สำหรับยาน Hidenburg ก็ประสบความสำเร็จเช่นเดียวกัน จนกระทั่งยานถูกทำลาย เนื่องจากไฟไหม้ ขณะที่ กำลังจะลงจอด ที่ Lakehurst,New Jersey.ในปี 1937

Orville and Wilbur Wright

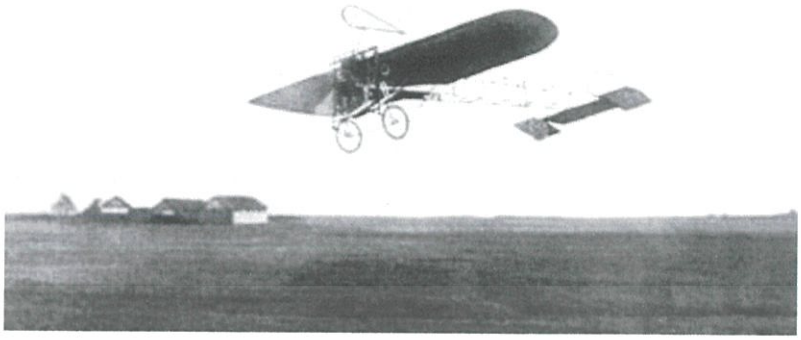
ในต้นปี 1900 พี่น้องชาวอเมริกันสองคน คือ Orville and Wilbur Wright จาก Dayton, Ohio เริ่มทดลอง ด้วยเครื่องร่อน เครื่องร่อนสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลจาก Otto Lilienthal ชาวยูโรป ทั้งหมดของการทดลองบิน ประสบความล้มเหลว มาในปี 1901 ทั้งคู่ ได้ตัดสินใจด้วยการสร้างปีกขึ้นมา โดยใช้ข้อมูลของตัวเอง ทดลองปีกชนิดต่างๆ มาในปี 1902 เครื่องร่อนที่สร้าง มีความยาวของ ปีก ถึง 32 ฟุต จากปลายปีก ถึงปลายปีก และกว้างถึง 5 ฟุต นี่ถือเป็นยานลำแรก ที สามารถควบคุมการบินได้ทั้งสามแกน และนั่นหมายความ ว่า ยานสามารถบังคับให้ขึ้น-ลง, ซ้าย - ขวา และ เอียง ซ้าย-ขวาได้ เขาทดลองบิน มากกว่า 800 เที่ยว ที่ Kitty Hawk ปัญหาต่างๆที่เคยเกิดขึ้น ก็สามารถแก้ไขได้ทั้งหมด

รูปที่ 2.1.3 เครื่องบินของพี่น้องตระกลู Wright

พี่น้องตระกูล Wright มีความมั่นใจ ในความสามารถที่จะบินได้ ,เขาจึงตัดสินใจที่จะหันไปใช้เครื่องยนต์ ในปี 1903, หลังจากที่เขาได้ออกแบบยานของเขาใหม่ จากเครื่องร่อน ในปี 1902 ของเขา ,เป็นการ กำเนิด the Kitty Hawk Flyer ใน วันที่ 17 เดือน ธ.ค. 1903 , ด้วย อากาศยานลำนี้ Orville and Wilbur Wright ได้แสดงการบินด้วยอากาศยาน ที่ใช้เครื่องยนต์ สร้างแรงขับดัน. หลังจากความสำเร็จของ Wright Brothers กิจกรรมทางด้านการบินก็เกิดขึ้นทุกหนทุกแห่ง ในโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bleriot XI Monoplane



รูปที่ 2.1.4 Bleriot XI Monoplane

ศักยภาพ ในอนาคตของเครื่องบิน ได้ตระหนักขึ้น เมื่อ Louis Bleriot (France) ได้บินเครื่องบินปีกชั้นเดียวของเขา ผ่านช่องแคบอังกฤษ ในปี 1909. ซึ่งเป็นสาเหตุ ที่ทำให้อังกฤษ เห็นว่าความมั่นคงของอังกฤษ ไม่ปลอดภัย เพราะว่า เดิมอังกฤษ ให้ความไว้วางใจกับกองทัพเรือของตน

Henri Fabre Seaplane

เครื่องบินที่บินขึ้นลงทางน้ำ ได้สร้าง และบินเป็นครั้งแรก โดย Henri Fabre (ชาวฝรั่งเศส) ในปี 1910 ที่ Martigues, France. เป็นความบุกเบิกครั้งสำคัญ ของการบินทางน้ำ คือ Glen Curtiss จากอเมริกา ในปี 1911 โดยที่เขาใส่ สกี แทนล้อเข้าไปในเครื่องบินปีกสองชั้น ที่ใช้เครื่องยนต์ผลักเครื่องบินของเขา และเครื่องบินของเขา สามารถบินขึ้นจากน้ำได้.

รูปที่ 2.1.5 Henri Fabre Seaplane

การบินครั้งแรก ของเครื่องบินทางน้ำ เรียกว่า Hydravion ถูกสร้างขึ้นโดย Frenchman Henri Fabre. โดยใช้ เครื่องยนต์ Gnome rotary engine กำลัง 50 แรงม้า, Fabre บินได้ 1650 ฟุต เหนือน้ำ (28 มี.ค. 910)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vikers Gunbus

รูปที่ 2.1.6 Vikers Gunbus

จนกระทั่ง 1914 , ขณะที่สงครามดำเนินการอยู่, ผู้สร้างได้รับความกดดันให้ติดตั้งอาวุธปืนระเบิด, และ ทอร์ปีโด บนเครื่องบิน. และ Vicker Gunbus (จากอังกฤษ) ก็ได้ดำเนินการให้ ในปี 1914

F.X. Trimotor

รูปที่ 2.1.7 F.X. Trimotor

จากสหรัฐอเมริกา, Ford Trimotor เป็นสายการบินแรกของโลก ที่ให้บริการ ในปี 1910.ด้วยการออกแบบ ที่ก้าวหน้า เกี่ยวกับอากาศยาน เนื่องจากสงคราม ห้องโดยสาร ปกปิดมิดชิด และเป็นมาตรฐานสำหรับสายการบินพานิชย์ ในปี 1920

เมื่อเวลาผ่านไป, ความเร็วของเครื่องบินเริ่มมากขึ้น. จากความเร็วสูงสุด 12 ไมล์ต่อ ช.ม.ของเครื่องตระกูล Wright ชื่อ Kitty Hawk Flyer , จน กระทั่ง ในปี 1947, นักบินทดลอง ชื่อ Chuck Yeager บินด้วยความเร็ว เหนือความเร็วเสียง จากจุดนั้น การทดลองบิน ของเครื่องบินที่มีความเร็วเหนือเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็ทำลายสถิติ เรื่อยมา. ทุกวันนี้ เราสามารถที่จะเห็นเครื่องบินบางลำ ที่มีความเร็วเหนือเสียง ที่สร้างตั้งแต่ ปี 1960 เช่น Concorde(mach 2), TU-144 (mach 2.2), SR-71 Blackbird (mach 3)

2.2 หลักพื้นฐานการบิน

แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน มีแรงที่กระทำต่อเครื่องบินอยู่ 4 แรงตลอดเวลา ขณะที่เครื่องบินกำลังบินอยู่ แรงทั้งสี่นั้น คือ

(1) แรงยก (Lift)

(2) แรงดึงดูดของโลก (Gravity force or Weight)

(3) แรงขับไปข้างหน้า (Thrust)

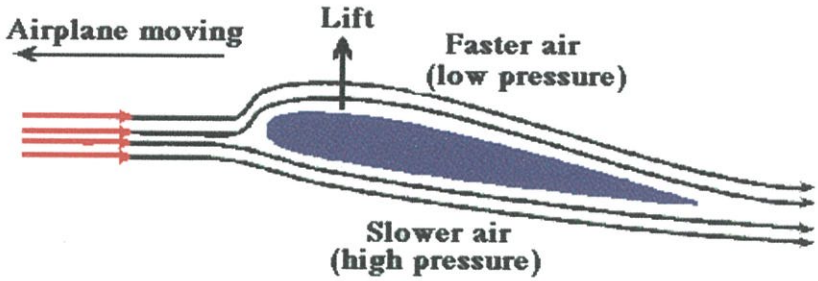
(4) แรงต้านทาน หรือแรงฉุด (Drag).

แรงยก และแรงต้าน (Lift and Drag) ถือว่าเป็นแรงที่เกิดจาก aerodynamics เพราะว่าแรงนี้ เกิดจากการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน ผ่านอากาศ

รูปที่ 2.2.1. แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน

แรงยก (Lift): เกิดขึ้นโดยความกดอากาศต่ำ ที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวด้านบน ของปีก เมื่อเปรียบเทียบกับความกดอากาศที่พื้นผิวด้านล่างของปีกเครื่องบิน หรือพูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ แรงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวด้านบนของปีก น้อยกว่าแรงที่เกิดขึ้น ที่พื้นผิว ของปีกด้านล่าง ตามหลักของเบอร์นูลลี่ ทำให้เกิดแรงยกขึ้นข้างบน ที่ปีกของเครื่องบิน. ลักษณะรูปร่างของปีกเครื่องบิน ถูกออกแบบมาให้อากาศ ที่พัดไหลผ่านด้านบนของปีก จะมีระยะทางที่อากาศต้องเดินทางมากกว่า จึงทำให้ต้องไหลผ่านเร็วกว่าด้านล่าง ทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ (ดูรูปประกอบ) ดังนั้นจึงทำให้ปีกถูกยกขึ้น แรงยกก็คือ แรงที่อยู่ตรงข้ามกับน้ำหนัก หรือแรงดึงดูดของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.2. แรงยกของปีกเครื่องบิน

แรงยกขึ้นอยู่กับ (1) รูปร่างของ airfoil (2) มุมที่ปีกกระทำต่อ Relative Wind (3) พื้นที่ผิวที่อากาศไหลผ่าน (4) กำลังสองของความเร็วลม (นำไปหา dynamic pressure) (5) ความหนาแน่นของอากาศ.

LIFT EQUATION

$$L = C_L \times d \times \frac{V^2}{2} \times A$$

L = Lift d = Density of Air

C_L = Lift Coefficient V = Velocity of Air

A = Wing Area

น้ำหนัก (Weight): เกิดจากแรงดึงดูดของโลก แรงนี้ กด หรือดึงเครื่องบินลงมายังโลก เราถือว่ากระทำที่จุดศูนย์กลางของแรง หรือ CG ของเครื่องบิน

แรงขับเคลื่อน (Thrust): คือ แรงที่ขับเคลื่อนไปข้างหน้า จะเป็นแรงผลัก หรือ แรงฉุด ที่ เกิดจากเครื่องยนต์ของเครื่องบิน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์ลูกสูบ, เครื่องยนต์เทอร์โบเจ็ท หรือเทอร์โบแฟน

THRUST EQUATION

Thrust is a Force Force is the change in Momemtum with time

$$F = \frac{([MV]_e - [MV]_0)}{(t_e - t_0)}$$

$\dot{m}$ = mass flow rate = mass / time

$\dot{m} = d \times V \times A$ = Density x Velocity x Area

Thus $F = \dot{m}_e V_e - \dot{m}_0 V_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงต้าน (Drag): เป็นแรงที่กระทำตรงข้ามกับแรงที่ขับเคลื่อน เครื่องบินไปข้างหน้า โดยเฉพาะเป็นแรงที่ต่อต้าน การเคลื่อนที่ของวัตถุในอากาศ มีทิศทางขนานกับวัตถุที่เคลื่อนที่ นี่ก็คือแรงเสียดทานของอากาศ ที่ผ่านส่วนต่างๆ ของเครื่องบิน. แรงต้านเกิดจากการกระทบของอากาศ การเสียดทานของพื้นผิวเครื่องบิน และแรงดูดเนื่องจากอากาศแทนที่

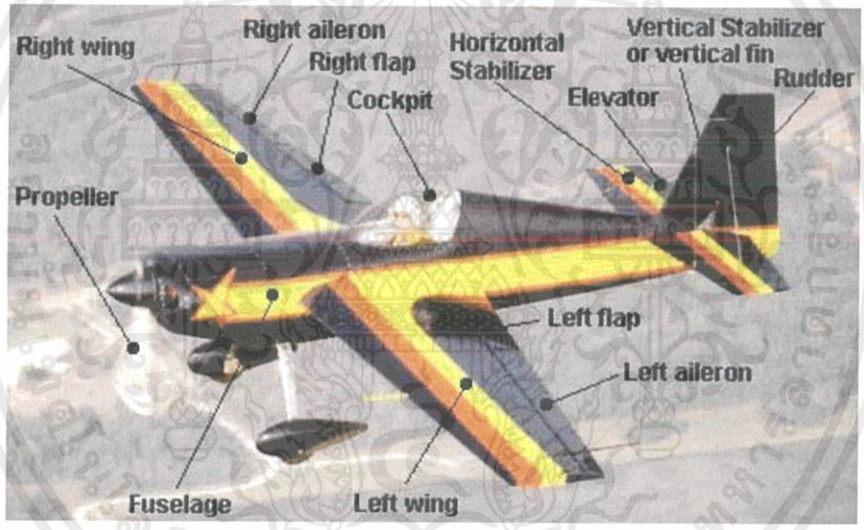
DRAG EQUATION

$$D = C_D \times d \times \frac{V^2}{2} \times A$$

D = Drag d = Density of Air
C_D= Drag Coefficient V = Velocity of Air
A = Wing Area

การควบคุมการบิน

เครื่องบิน ประกอบไปด้วย ส่วนที่เคลื่อนไหวได้ และส่วนที่อยู่กับที่เคลื่อนไหวไม่ได้ แต่ช่วยให้การบินมีสเถียรภาพ และใช้บังคับเครื่องบินขณะบิน กรุณาดูรูปประกอบ



รูปที่ 2.2.3 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องบิน

ส่วนทุกส่วนของ airfoil ออกแบบมาให้ทำหน้าที่เฉพาะในขณะที่เครื่องบินบินอยู่ ส่วนที่เคลื่อนไหวไม่ได้ เช่น ปีก, กระโดงหาง, และแพนหาง. ส่วนที่เคลื่อนไหวได้ ก็ได้ แก่ส่วนที่ควบคุม หรือบังคับการบิน ได้แก่ Ailerons, Elevator, Rudders และ Flaps สำหรับ Ailerons, Rudders, Elevators ใช้ในการบังคับทิศทาง หรือลักษณะท่าบิน เพื่อทำให้เครื่องบินบินไปตามที่นักบิน ต้องการ ส่วน Flaps นั้นจะใช้ระหว่างเครื่องจะลงสนามบิน และจะให้ยื่นออกมาเล็กน้อยขณะบินขึ้น

Aileron: บางครั้งเรียกว่าปีกเล็กแก้เอียง คือส่วนที่ใช้ ในการควบคุมเครื่องบิน สามารถเคลื่อนไหวได้ ติดตั้งที่ขายปีกหลัง ส่วนของปลายปีกใช้บังคับให้ เครื่องบินเอียง ซ้าย-ขวา หรือรอบแกน Longitudinal Axis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elevator: เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมในแนวระดับ, ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ ชายหลังของแพนหาง ออกแบบมาเพื่อใช้บังคับการเคลื่อนที่รอบแกน Lateral Axis หรือ Pitching คือบังคับให้หัวเชิดขึ้นหรือลง

Rudder: เป็นส่วนที่ตั้งอยู่ในแนวตั้ง ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ ชายหลังของกระโดงหาง (vertical stabilizer) ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนไหวรอบแกน Vertical Axis คือบังคับให้เครื่องบินหันหัวไปทางซ้าย หรือขวา โดยปกติแล้วในการเลี้ยวจะใช้งานร่วมกันระหว่าง Rudders และ Ailerons คือเครื่องจะเอียงด้วย

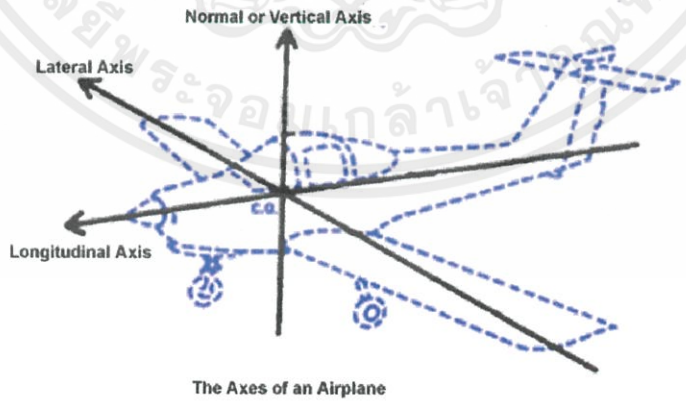
รูปที่ 2.2.4 Wing Flap

Wing Flaps: ติดตั้งอยู่ที่ชายปีกหลังด้านใน อยู่ติดกับลำตัว อาจจะ ติดตั้ง แบบบานพับ หรือแบบเลื่อนออก เพื่อเพิ่มส่วนโค้งของด้านบนของปีก และเพิ่มพื้นที่ของปีก ซึ่งเป็นการเพิ่มแรงยกให้ปีก

2.3 การควบคุมทิศทางการบิน

แกนของการหมุน

เครื่องบินมีแกนของการหมุนอยู่สามแกน เรียกชื่อว่า แกน longitudinal , แกน vertical , และ แกน lateral . ดูรูปภาพ ข้างล่างประกอบแล้วคุณจะเข้าใจ วิธีที่ง่ายที่จะเข้าใจแกนเหล่านี้ ง่ายๆคือคิดว่ามีไม้อันยาวมาเสียบผ่านเครื่องบิน จากหัวเครื่องบิน, จากปีกเครื่องบิน, และอีกอันผ่านจุดที่มีไม้ สองอันตัดผ่านกันอยู่ และจุดที่ไม้สามอันตัดผ่านกันนั้น ดังรูป เราถือเอาว่าคือจุดศูนกลาง ที่น้ำหนักทั้งหมดของเครื่องบิน จะกระทำที่จุดนี้ (center of gravity).



รูปที่ 2.3.1 แกนทั้ง 3 ของเครื่องบิน

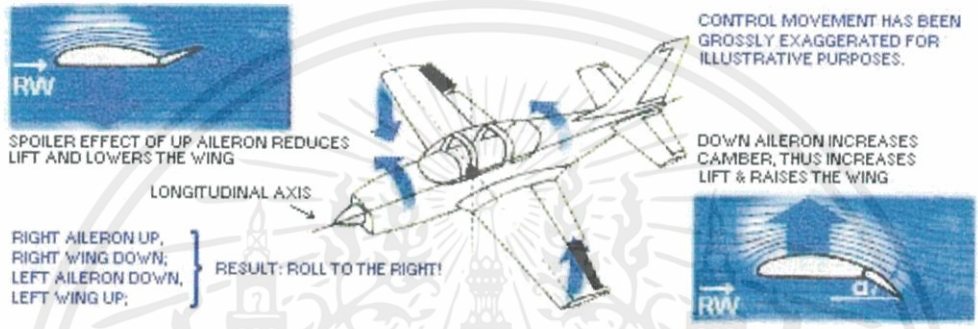
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนตามยาว ตั้งแต่หัวไปจรดหางเรียกว่า แกน longitudinal axis, และการ หมุน หรือเคลื่อนที่ของลำตัว รอบแกนนี้เราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า " Roll "

แกนขวางจากปีกข้างหนึ่งไปยังปีก อีกข้างหนึ่งเรียกว่า แกน lateral axis, และการหมุน หรือเคลื่อนลำตัว รอบจุดนี้เราเรียกลักษณะ เช่นนี้ว่า " Pitch "

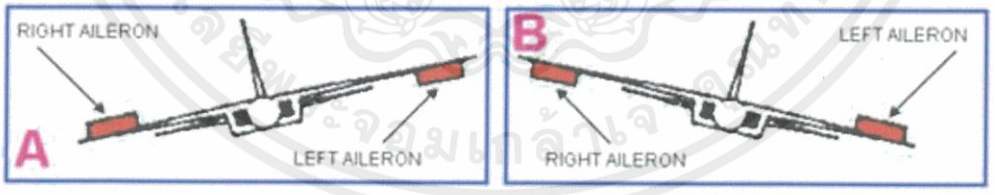
แกนในแนวตั้งที่ผ่านจุดที่เรียกว่า center of gravity (เมื่อเครื่องบิน บินอยู่ในแนวระดับ) เราเรียกว่า แกน vertical axis, และการหมุน หรือเคลื่อนที่ของลำตัวรอบจุดนี้ เราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า " Yaw "

แกน Longitudinal Axis:



รูปที่ 2.3.2 แกน Longitudinal Axis

แกนที่วิ่งจากหัวเครื่องบินจนถึงหางเครื่องบิน คือแกน longitudinal axis (ดูภาพข้างบนประกอบ). การเคลื่อนที่รอบแกนนี้ เรียกว่า Roll. ลักษณะ ที่เครื่องมีอาการ Roll เป็นผลที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของ ailerons. Ailerons ติดตั้งอยู่ที่ปลายปีก และควบคุมโดย control column ในห้องนักบิน และสร้างมาในลักษณะ ที่ aileron ข้างหนึ่ง กระดก ลงล่าง แต่อีกข้างหนึ่งจะกระดกขึ้นบน.



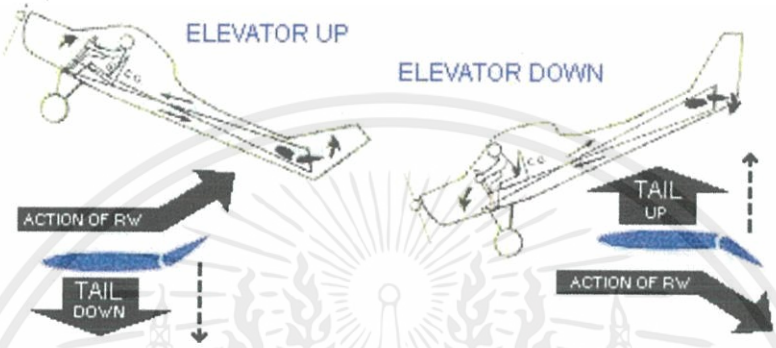
รูปที่ 2.3.3 แกน Longitudinal Axis

เมื่อ aileron มีการเคลื่อนไหว จากตำแหน่งศูนย์ หรือตำแหน่งแนวระดับ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ลักษณะแรงยกของปีกเครื่องบินทั้งสองข้าง การทำให้ปีก เครื่องบินยกขึ้น, aileron ของปีกนั้นต้องกระดกลง ปีกที่มี aileron กระดกลงก็จะทำให้แรงยกบนปีกนั้นเพิ่มขึ้น และปีกที่มี aileron กระดกขึ้นก็จะมีแรงยกลดลง สิ่งนี้จะทำให้เครื่องบินเอียงไป ทางด้านที่ aileron กระดกขึ้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ailerons ของปีกทั้งสองข้างต่อไปยัง control column ในห้องนักบินโดยระบบ mechanical linkage. เมื่อ เมื่อคันบังคับหมุนไปทางขวา (หรือโยก คันบังคับ ไปทางขวา), aileron ทางปีกขวาจะกระดกขึ้น และaileron ทางปีกซ้ายจะกระดกลง ผลที่เกิดขึ้น ก็คือแรงยกทางปีกซ้ายจะเพิ่มขึ้น และแรงยกทางปีกขวาจะลดลง เป็นเหตุให้เครื่องบินเอียงไปทางขวา แต่ถ้าหมุนคันบังคับไปทางขวา (หรือโยกคันบังคับไปทางซ้าย) แรงบนปีกก็จะเกิดตรงกันข้าม เป็นเหตุให้เครื่องบินเอียงไปทางซ้าย.

แกน Lateral Axis



รูปที่ 2.3.4 แกน Lateral Axis

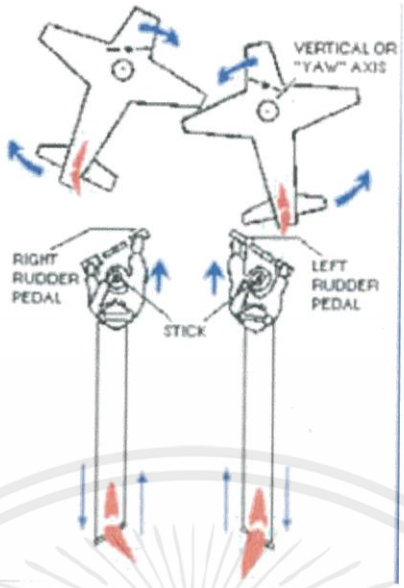
แกน lateral axis เริ่มจากปลายปีกถึงปลายปีก ลักษณะการเคลื่อนไหวรอบแกน lateral axis เรียกลักษณะ นี้ว่า pitch อะไรเป็นเหตุให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบ pitching มันคือ elevator ซึ่งติดตั้งอยู่ที่แพนหาง (horizontal stabilizer). elevator สามารถกระดกขึ้น หรือกระดกลงได้ เมื่อนักบินบังคับคันบังคับ (control column or stick) ถอยหลังหรือไปข้างหน้า.

การดึงคันบังคับมาข้างหลังจะบังคับให้ elevator กระดกขึ้น. (ดูรูปภาพข้างบน ประกอบ) ลมที่ประทะกับพื้นผิวด้านบนของ elevator ที่กระดกขึ้น ทำให้เกิดแรงกดมากขึ้น เป็นเหตุให้ส่วนหางของเครื่องบินถูกกดลง การเคลื่อนไหวรอบแกน lateral axis, เมื่อหางเคลื่อนที่ลง (pitches) ส่วนหัวของเครื่องบิน (pitches) เชิดขึ้น เครื่องบินไต่ระดับ

การผลักคันบังคับไปข้างหน้า เพื่อบังคับ elevator ให้กระดกลง . ลมที่ประทะ กับพื้นผิวด้านล่างของ elevator ที่กระดกลง ทำให้เกิดแรงด้านล่างมากขึ้น กว่าด้านบน เป็นเหตุให้ส่วนหาง ของเครื่องบินกระดกขึ้น (pitch up) และ หัวของเครื่องบินกระดกลง เป็นเหตุให้หัวเครื่องบินดิ่งลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน Vertical Axis:



รูปที่ 2.3.5 แกน Vertical Axis

แกนที่สาม ซึ่งผ่านจากหลังคาด้านบน ทะลุท้องเครื่องบิน เรียกว่า แกน vertical หรือ yaw axis. หัวเครื่องบิน เคลื่อนที่ ไปรอบแกนนี้ จากด้านข้างหนึ่ง ไปอีกด้านข้างหนึ่ง Rudder ของเครื่องบิน ซึ่งเคลื่อนไหว โดยการที่นักบิน ใช้เท้าเหยียบไปบน แผ่น rudder ที่อยู่บนพื้น rudder ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ของเครื่องบินรอบแกนนี้ Rudder เป็นแผ่นบังคับที่เคลื่อนไหวติดอยู่กับกระโดงหาง การเหยียบลงบน (rudder pedal), แผ่นบังคับด้านขวา rudder ก็จะตวัดไปทางขวา เหยียบแผ่นบังคับที่พื้นไปทางซ้าย จะบังคับให้ rudder ตวัด ไป ทางซ้ายt, เมื่อนักบิน เหยียบแผ่นบังคับทางซ้าย, นั่นหมายความว่าถ้านักบินกำหนดทิศทางของ Rudder ให้ตวัดไปทาง ทางซ้าย นี่ก็ทำให้เกิดแรงกระทำต่อหาง , แผ่นหางของเครื่องบิน หางของเครื่องบินก็จะเบนไปทางขวา และ หัวของเครื่องบิน ก็จะเบนไปทางซ้าย(yaw to the left).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 รู้จักกับเครื่องฝึกบินจำลอง Flight Simulator

ทีนี้เรามาดูว่าเจ้าเครื่องฝึกบินจำลองหรือที่เรียกกันว่า Flight Simulator มีหน้าตาเป็นอย่างไร

รูปที่ 2.4.1 Flight Simulator

Flight Simulator เครื่องจำลองการขับเครื่องบิน Airbus A380-800 ของ CAE Series 7000

หลายๆ คนที่ทำงานออฟฟิศคงเคยซ้อมหนีไฟกันเป็นระยะๆ เพื่อให้เกิดความคุ้นเคย เมื่อเกิดเหตุการณ์จริงจะได้ไม่ตื่น ตระหนกและรับมือได้ทัน นักบินก็เช่นเดียวกัน ต้องฝึกซ้อมการบินในสถานการณ์ต่างๆ ที่ไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นจริงได้โดย ใช้เครื่องที่เรียกว่า Flight Simulator ให้เสมือนจริงให้มากที่สุด เพื่อให้เกิดทักษะและทัศนคติที่ดีในการบินนั่นเอง

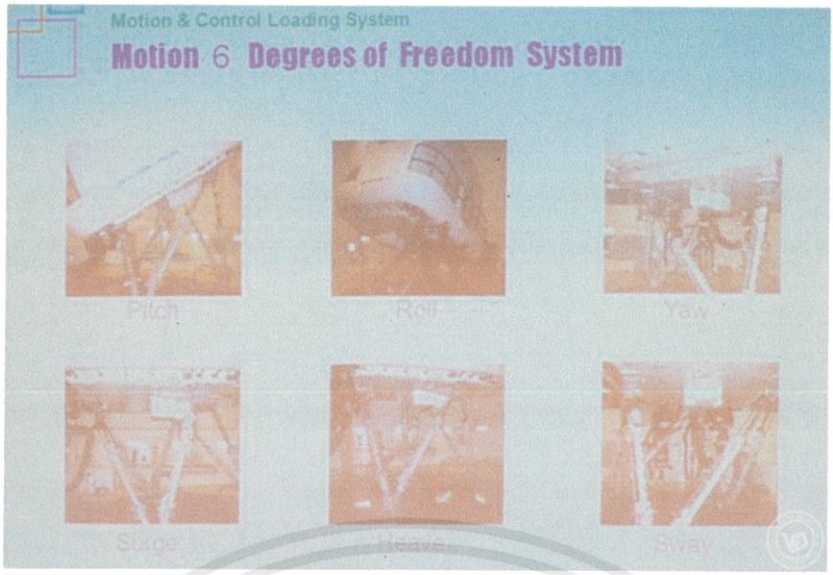
Flight Simulator ใช้ข้อมูล 2 ส่วนหลักๆ ในการประมวลผล ได้แก่

1. ข้อมูลจริง เช่น แผนฝังต่างๆ ในสนามบินทั่วโลก ข้อมูลภูมิศาสตร์บนโลก เพื่อให้เหมือนกับการขับเครื่องบินจริงให้มากที่สุด

2. ข้อมูลจำลอง เช่น สภาวะอากาศจำลอง เช่น หิมะตก หมอกลง, สภาพการบินที่ไม่ปกติ เช่น ปั้นแบบ 90 องศา หรือแม้แต่จำลองเหตุการณ์ไฟไหม้ โดยอ้างอิงจากสมการคณิตศาสตร์

การฝึกของนักบินด้วย Flight Simulator จึงเป็นการจำลองเหตุการณ์ต่างๆ บนพื้นฐานของการขับเครื่องบินจริง ภายใต้การ ประมวลผลด้วยเครื่องเซิร์ฟเวอร์ 10 ตัว และควบคุมการเคลื่อนไหวให้เสมือนการปั้นด้วยเครื่องปั้นจริงๆ ไปยังฮาร์ดแวร์ที่ เป็นขา 6 ขา (Motion 6 Degrees of Freedom) โดยใช้ระบบไฮโดรลิกหรือไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4.2 Motion 6 Degrees of Freedom

อย่างไรก็ตามเครื่องบินแต่ละรุ่น มีแผงควบคุม หน้าจอ หน้าปัดที่แตกต่างกัน ดังนั้นการบินไทยจึงมีเครื่อง Flight Simulator ที่แตกต่างกันไปตามอินเทอร์เฟซของเครื่องแต่ละรุ่น

ปัจจุบันเครื่อง Flight Simulator ของการบินไทยมีทั้งหมด 8 รุ่น ทั้งหมดเป็น Level D หรือมาตรฐานขั้นสูงสุดของ Flight Simulator

ตอนนี้ถือว่าการบินไทยมีเครื่องซ้อมจำนวนเยอะรุ่นที่สุดในไทย ส่งผลให้สายการบินอื่นทั้งของไทยและต่างประเทศ ต้องมา ขอเช่าชั่วโมงบินจาก Flight Simulator ของการบินไทยอีกด้วย

รูปที่ 2.4.3 Flight Simulator ของการบินไทยมีทั้งหมด 8 รุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 AIRBUS a320

แอร์บัส เอ 320 (Airbus A320 Family) เป็นอากาศยานประเภทลำตัวแคบที่มีพิสัยบินระยะใกล้ถึงปานกลาง ผลิตโดยแอร์บัส เอส.เอ.เอส. เริ่มให้บริการครั้งแรกเมื่อปีพ.ศ. 2531 โดยแอร์ฟรานซ์และยังคงได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบัน รุ่นของ เอ 320 รวมถึง A318, A319, A320 และ A321 ในปัจจุบันเรียกถึงด้วยชื่อว่า A320ceo (current engine option) อันสืบเนื่องจากการเปิดตัวรุ่นใหม่ได้แก่ A320neo โรงงานประกอบสุดท้ายอยู่ที่ตูลูส ประเทศฝรั่งเศส และ ฮัมบวร์ก ประเทศเยอรมนี และยังมีที่ เทียนจิน ที่เปิดใช้ในปีค.ศ. 2009 เพื่อผลิตเครื่องบินให้กับสายการบินของประเทศจีน แอร์บัส ตระกูล เอ 320 นี้สามารถจุผู้โดยสารได้ถึง 220 คน และมีพิสัยการบินตั้งแต่ 3,100 ถึง 12,000 กิโลเมตร โดยขึ้นอยู่กับรุ่นผลิต

สมาชิกรุ่นแรกของแอร์บัส ตระกูล เอ 320 คือ A320 ซึ่งเปิดตัวเมื่อเดือนมีนาคม ค.ศ. 1984 และขึ้นบินครั้งแรกในวันที่ 22 กรกฎาคม ค.ศ. 1987 และจากนั้นไม่นานก็มีรุ่นใหม่อื่นๆ ออกมา ได้แก่ A321 (ส่งมอบในปีค.ศ. 1994) A319 (ค.ศ. 1996) และ A318 (ค.ศ. 2003) โดยเครื่องบินในรุ่นของ เอ 320 นั้นเป็นเครื่องบินรุ่นแรกที่เริ่มใช้ระบบบังคับการบินแบบ fly-by-wire และยังเริ่มใช้การควบคุมโดยสติ๊กด้านข้าง ซึ่งนับเป็นครั้งแรกสำหรับเครื่องบินพาณิชย์ และนอกจากนี้ยังมีการพัฒนาอื่นๆ อีกมากมายตั้งแต่เปิดตัวเครื่องบินรุ่นนี้ขึ้น

ณ วันที่ 31 กรกฎาคม ค.ศ. 2015 แอร์บัสมียอดส่งมอบเครื่องบินตระกูล เอ 320 ถึง 6,668 ลำ และนอกจากนี้ยังมีคำสั่งซื้ออีก 5,161 ลำ ทำให้ เอ 320 เป็นเครื่องบินพาณิชย์ที่มีการยอดจำหน่ายสูงสุดในระหว่างปีค.ศ. 2005 ถึง 2007 และยังเป็นเครื่องบินรุ่นเดียวที่มียอดขายสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง เครื่องบินแอร์บัส เอ 320 นั้นเป็นเครื่องบินยอดนิยมในหมู่สายการบินต่างๆ รวมถึงสายการบินต้นทุนต่ำ เช่น อีซี่ย์เจ็ต ซึ่งได้ซื้อรุ่น A319 และ A320 เพื่อแทนที่โบอิง 737 โดยมีลูกค้าที่ใช้ประจำการมากที่สุด คือ ยูเอสแอร์เวย์ (276 ลำ)

รูปที่ 2.5.1 เอ 320-100 ของบริติช แอร์เวย์

รูปที่ 2.5.2 เอ 320-200 ของยูเอสแอร์เวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5.3 เอ 319CJ ของเดมเลอร์ไครส์เลอร์

รูปที่ 2.5.4 เอ 318

- เอ 320/เอ 321 neo

เอ320นีโอ และเอ321นีโอ จะลดการใช้เชื้อเพลิงลงถึงร้อยละ 15 ของเครื่องยนต์แบบปรกติที่ใช้กับแอร์บัส เอ320 เอ321 ในปัจจุบัน โดยขนาดเครื่องยนต์ของ เอ320นีโอ เอ321นีโอ จะมีขนาด 81 นิ้ว จากเดิมที่มีขนาด 68 นิ้วในปัจจุบัน (a320ceo - Current Engine Option) ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

- เอ 320/เอ 321 Sharklet

Sharklet เป็นอุปกรณ์ปลายปีก (wing tip) ที่แอร์บัส บริษัทผู้ผลิตเครื่องบินของยุโรป ได้ออกแบบใหม่สำหรับเครื่องบินรุ่น เอ320/เอ321 ที่จะช่วยลดการไหลเวียนของอากาศที่มีแรงดันสูงใต้ปีกไปยังพื้นที่เหนือปีกที่อากาศมีแรงดันต่ำกว่า และยังช่วยลดแรงดึงที่ปลายปีกของเครื่องบิน ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดการใช้เชื้อเพลิงลงถึงร้อยละ 4 จาก wing tip แบบเดิม หรือทำให้เครื่องบินมีพิสัยบินได้ไกลขึ้นราว 100 ไมล์ทะเลหรือบรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นอีก 450 กิโลกรัม

- เอ 320

แอร์บัสออก เอ 320-100 และ เอ 320-200 มีพิสัยบินประมาณ 5,400 กิโลเมตร (2,900 ไมล์ทะเล) สามารถจุผู้โดยสารได้ 150 คน โดยรุ่น -200 จะได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากวิงเฟนซ์ ที่ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบิน และบินได้ไกลกว่ารุ่น -100 ซึ่งมีการผลิตออกมาเพียง 21 ลำเท่านั้น

คู่แข่งสำคัญคือ โบอิง 737-800

- เอ 319

ปรับปรุงจาก 320 โดยเปลี่ยนความยาวลำตัวเครื่องให้สั้นลง แต่ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเท่ากับ 320-200 ทำให้บรรทุกผู้โดยสารได้ 124 คน และมีพิสัยบินประมาณ 7,200 กิโลเมตร (3,900 ไมล์ทะเล) โดยทั้ง 320 และ 319 ต่างก็ได้รับความนิยมมากกว่ารุ่นอื่นๆในตระกูล 320 โดยมีลูกค้าสำคัญอย่างอีซี่ย์เจ็ตสายการบินต้นทุนต่ำ ซึ่งจัดที่นั่งใหม่เป็น 156 ที่นั่ง ในการจัดแบบชั้นประหยัดอย่างเดียว ให้บริการอยู่กว่า 120 ลำคู่แข่งสำคัญคือ โบอิง 737-700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เอ 319CJ

เป็นการปรับเปลี่ยนให้เป็นเครื่องบินส่วนตัว และเพิ่มถังเชื้อเพลิงแทนที่ห้องสินค้าทำให้เพิ่มพิสัยบินเป็น 12,000 กิโลเมตร (6,500 ไมล์ทะเล) และแม้ต้องการจะปรับมาใช้เป็นเครื่องบินโดยสารก็สามารถปรับเปลี่ยนมาเป็น เอ 319 แบบมาตรฐานได้ดังเดิม ในบางครั้งเครื่องบินรุ่นนี้จะถูกเรียกว่า ACJ หรือ แอร์บัส คอร์ปอเรต เจ็ต

คู่แข่งสำคัญคือ โบอิงบิซิเนสเจ็ต ที่ใช้เครื่องของ737-700, กัลฟ์สตรีม วี และบอมบาร์เดียร์ โกลบอล เอกซ์เพรส

- เอ 319LR

โดยรุ่นนี้จะจัดที่นั่งเป็นชั้นธุรกิจทั้งหมด ประมาณ 48 ที่นั่ง มีพิสัยบินประมาณ 8,300 กิโลเมตร (4,500 ไมล์ทะเล) โดยมีรุ่นที่คล้ายกันอย่าง 737-700ER เป็นคู่แข่งสำคัญ

- เอ 321

ปรับปรุงจาก 320 โดยเพิ่มความยาวลำตัวเครื่อง และเพิ่มขนาดพื้นที่ของปีก เพื่อแข่งขันกับ 737-900/-900ER และ757 เพียงแต่ 321 มีพิสัยไม่เพียงพอสำคัญเที่ยวบินข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก อย่าง 757

321-100 สามารถจุผู้โดยสารได้ 186 ที่นั่ง มีพิสัยบิน 4,300 กิโลเมตร (2,300 ไมล์ทะเล) 321-200 สามารถจุผู้โดยสารได้ 186 ที่นั่ง แต่เพิ่มความจุเชื้อเพลิง ทำให้มีพิสัยบินไกลมากขึ้นเป็น 5,500 กิโลเมตร (3,000 ไมล์ทะเล)

- เอ 318

รู้จักกันในชื่อ มินิแอร์บัส เนื่องจากเป็นรุ่นที่มีขนาดเล็กที่สุดของตระกูล 320 โดยมีความยาวสั้นกว่า 319 อยู่ 6 เมตร และหนักน้อยกว่าอยู่ 14 ตัน ทำให้สามารถจุผู้โดยสาร 109 ที่นั่ง ในการจัดแบบ 2 ชั้นบิน มีพิสัยบินประมาณ 2,750 ถึง 6,000 กิโลเมตร โดยสามารถแข่งขันได้กับ 737-600 และดักลาส ดีซี-9 และโบอิงก็ได้พัฒนารุ่น โบอิง 717 มาแข่งเช่นกัน

- เอ 318 อีลีท

ในวันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 แอร์บัสได้เปิดตัวเครื่องบินส่วนตัว เอ 318 อีลีท เพื่อแข่งขันในตลาดพิสัยบินปานกลาง จุผู้โดยสารประมาณ 14 - 18 ที่นั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 MCDU

Flight management system

ระบบการจัดการการบิน (FMS) เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสายการบินที่ทันสมัยของการบิน FMS เป็นระบบคอมพิวเตอร์พิเศษที่ทำงานอัตโนมัติบนเครื่องบินได้อย่างหลากหลายลดภาระงานของลูกเรือการบินจนถึงจุดที่เครื่องบินพลเรือนที่ทันสมัยไม่มีวิศวกรการบินหรือผู้เดินเรืออีกต่อไป หน้าที่หลักคือการจัดการในเที่ยวบินของแผนการบิน การใช้เซ็นเซอร์ต่าง ๆ (เช่นGPSและINSมักสำรองโดยการนำทางด้วยวิทยุ) เพื่อกำหนดตำแหน่งของเครื่องบิน FMS สามารถนำทางอากาศยานตามแผนการบิน จากห้องคนขับปกติ FMS จะถูกควบคุมผ่าน aหน่วยควบคุมการแสดงผล (CDU) ซึ่งประกอบด้วยหน้าจอขนาดเล็กและคีย์บอร์ดหรือหน้าจอสัมผัส FMS จะส่งแผนการบินสำหรับแสดงผลไปยังระบบเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์การบิน (EFIS), การแสดงการนำทาง (ND) หรือการแสดงผลมัลติฟังก์ชั่น (MFD) FMS สามารถสรุปได้ว่าเป็นระบบคู่ที่ประกอบด้วย Flight Management Computer (FMC), CDU และ cross talk bus

FMS ที่ทันสมัยได้รับการแนะนำในBoeing 767แม้ว่าจะมีคอมพิวเตอร์นำทางรุ่นก่อน ๆ ก็ตาม ขณะนี้ระบบที่คล้ายกับ FMS อยู่บนเครื่องบินขนาดเล็กเป็นเซสนา 182 ในวิวัฒนาการของ FMS นั้นมีขนาดความสามารถและการควบคุมที่แตกต่างกันมากมาย อย่างไรก็ตามคุณสมบัติบางอย่างเป็นเรื่องธรรมดาสำหรับ FMS ทั้งหมด

Navigation database

FMS ทั้งหมดมีฐานข้อมูลการนำทาง ฐานข้อมูลการนำทางประกอบด้วยองค์ประกอบที่แผนการบินถูกสร้างขึ้น สิ่งเหล่านี้ถูกกำหนดผ่านมาตรฐานARINC 424 ปกติแล้วฐานข้อมูลการนำทาง (NDB) จะอัพเดททุก 28 วันเพื่อให้แน่ใจว่าเนื้อหาเป็นปัจจุบัน แต่ละ FMS มีเพียงชุดย่อยของข้อมูล ARINC / AIRACที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของ FMS

NDB มีข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการสร้างแผนการบินประกอบด้วย:

- Waypoints / แยก
- แอร์เวย์ส
- วิทยุนำทางช่วยรวมถึงอุปกรณ์วัดระยะทาง (DME), VHF รอบทิศทางรอบทิศทาง (VOR), บีคอนที่ไม่ใช่ทิศทาง (NDB) และระบบลงจอดเครื่องมือ (ILS)
- สนามบิน
- รันเวย์
- การออกเครื่องมือมาตรฐาน (SID)
- อาคารผู้โดยสารขาเข้ามาตรฐาน (STAR)
- รูปแบบการถือครอง (เป็นเพียงส่วนหนึ่งของ IAPs - แม้ว่าสามารถป้อนโดยคำสั่งของ ATC หรือขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของนักบิน)
- ขั้นตอนวิธีการของเครื่องมือ (IAP)

จุดอ้างอิงสามารถกำหนดได้โดยนักบิน (s) ตามเส้นทางหรือโดยอ้างอิงไปยังจุดอื่นที่มีการป้อนสถานที่ในรูปแบบของจุดอ้างอิง (เช่น VOR, NDB, ILS, สนามบินหรือจุดแยก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flight plan

แผนการบินจะถูกกำหนดโดยทั่วไปบนพื้นดินก่อนการเดินทางอย่างใดอย่างหนึ่งโดยนักบินสำหรับเครื่องบินขนาดเล็กหรือมอบหมายงานระดับมืออาชีพสำหรับสายการบิน มันถูกป้อนเข้าสู่ FMS โดยการพิมพ์เลือกจากไลบรารีที่บันทึกของเส้นทางทั่วไป (เส้นทาง บริษัท) หรือผ่านทางACARS datalink กับศูนย์จัดส่งของสายการบินระหว่าง preflight จะมีการป้อนข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการแผนการบิน ซึ่งอาจรวมถึงข้อมูลประสิทธิภาพเช่นน้ำหนักรวมน้ำหนักน้ำมันเชื้อเพลิงและจุดศูนย์ถ่วง มันจะรวมถึงระดับความสูงรวมถึงระดับความสูงล่องเรือเริ่มต้น สำหรับเครื่องบินที่ไม่มี GPSก็ต้องมีตำแหน่งเริ่มต้นด้วยนักบินใช้ FMS เพื่อปรับเปลี่ยนแผนการบินในเที่ยวบินด้วยเหตุผลหลายประการ การออกแบบทางวิศวกรรมที่สำคัญช่วยลดการกดแป้นพิมพ์เพื่อลดปริมาณงานของนักบินในการบินและกำจัดข้อมูลที่สับสน (ข้อมูลที่เป็นอันตรายทำให้เข้าใจผิด) FMS ยังส่งข้อมูลแผนเที่ยวบินสำหรับการแสดงผลในการนำทาง (ND) ของสำรับการบินเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ Flight Instrument System (EFIS) โดยทั่วไปแล้วแผนเที่ยวบินจะปรากฏเป็นเส้นสีม่วงแดงกับสนามบินอื่น ๆ เครื่องช่วยด้านวิทยุและจุดแสดงแผนการบินพิเศษซึ่งมักใช้สำหรับข้อกำหนดทางยุทธวิธีรวมถึงรูปแบบการค้นหานัดพบการเติมน้ำมันในวงโคจรการเติมคะแนนคำนวณการปล่อยอากาศ (CARP) สำหรับการกระโดดร่มที่แม่นยำนั้นเป็นเพียงแผนการบินพิเศษบางอย่างที่ FMS สามารถคำนวณได้

Position determination

เมื่อทำการบินภารกิจหลักของ FMS คือการกำหนดตำแหน่งของเครื่องบินและความแม่นยำของตำแหน่งนั้น Simple FMS ใช้เซ็นเซอร์เดียวโดยทั่วไปแล้วGPSเพื่อกำหนดตำแหน่ง แต่ FMS ที่ทันสมัยใช้เซ็นเซอร์จำนวนมากเท่าที่จะทำได้เช่น VORs เพื่อกำหนดและตรวจสอบตำแหน่งที่แน่นอน FMS บางตัวใช้ตัวกรองคาลมานเพื่อรวมตำแหน่งจากเซ็นเซอร์ต่างๆเข้าไว้ในตำแหน่งเดียว เซ็นเซอร์ทั่วไป ได้แก่ :

- ตัวรับสัญญาณ GPS คุณภาพการบินทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์หลักเนื่องจากมีความแม่นยำและความสมบูรณ์สูงสุด
- เครื่องช่วยวิทยุที่ออกแบบมาสำหรับการนำทางอากาศยานทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์คุณภาพสูงอันดับสอง เหล่านี้รวมถึง;
    - การสแกน DME (อุปกรณ์วัดระยะทาง) ที่ตรวจสอบระยะทางจากสถานี DME ห้าแห่งพร้อมกันเพื่อกำหนดตำแหน่งเดียวทุก ๆ 10 วินาที
    - VORs (ช่วงคลื่นวิทยุ VHF รอบทิศทาง) ที่จ่ายตลับลูกปืน ด้วยสถานี VOR สองสถานีคุณสามารถกำหนดตำแหน่งอากาศยานได้ แต่ความแม่นยำนั้นมี จำกัด
- ระบบอ้างอิงเฉื่อย (IRS) ใช้วงแหวนไจโรเลเซอร์และเครื่องวัดความเร่งเพื่อคำนวณตำแหน่งเครื่องบิน พวกเขามีความแม่นยำสูงและเป็นอิสระจากแหล่งภายนอก สายการบินใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสาม IRS อิสระเพื่อกำหนดตำแหน่ง "สาม IRS ผสม"

FMS ทำการตรวจจับเซ็นเซอร์ต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องและกำหนดตำแหน่งเครื่องบินและความแม่นยำเดียว ความถูกต้องอธิบายไว้ในรูปของวงกลมนำทางที่เกิดขึ้นจริง (ANP) เครื่องบินที่ใดก็ได้ในรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางไมล์ทะเลที่วัดได้ น่านฟ้าที่ทันสมัยมีการกำหนดประสิทธิภาพการนำทาง (RNP) ที่จำเป็น เครื่องบินจะต้องมี ANP น้อยกว่า RNP ของตนเพื่อใช้งานในน่านฟ้าระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Guidance

เมื่อพิจารณาจากแผนการบินและตำแหน่งของเครื่องบิน FMS จะคำนวณเส้นทางที่จะปฏิบัติตาม นักบินสามารถทำตามหลักสูตรนี้ได้ด้วยตนเอง (คล้ายกับการติดตามรัศมี VOR) หรือตั้งค่าอัตโนมัติให้เป็นไปตามหลักสูตร

โดยปกติโหมด FMS จะเรียกว่า LNAV หรือการนำทางด้านข้างสำหรับแผนการบินด้านข้างและ VNAV หรือการนำทางตามแนวตั้งสำหรับแผนการบินในแนวตั้ง VNAV จัดเตรียมความเร็วและระยะพิทช์หรือเป้าหมายระดับความสูงและ LNAV จัดเตรียมคำสั่งการหมุนพวงมาลัยไปที่นักบินอัตโนมัติ

VNAV

เครื่องบินที่มีความซับซ้อนโดยทั่วไปจะเป็นสายการบินเช่นAirbus A320หรือBoeing 737 และเครื่องบินที่ขับเคลื่อนด้วย turbofan อื่น ๆ มีประสิทธิภาพในการนำทางแนวตั้ง (VNAV) วัตถุประสงค์ของ VNAV คือการทำนายและปรับเส้นทางแนวตั้งให้เหมาะสม คำแนะนำรวมถึงการควบคุมแกนสนามและการควบคุมคันเร่งเพื่อให้มีข้อมูลที่จำเป็นต่อการบรรลุเป้าหมายนี้ FMS จะต้องมีเที่ยวบินและเครื่องยนต์อย่างละเอียด ด้วยข้อมูลนี้ฟังก์ชั่นสามารถสร้างเส้นทางแนวตั้งที่คาดการณ์ไว้ตามแผนเที่ยวบินด้านข้าง แบบจำลองการบินโดยละเอียดนี้มีให้บริการโดยผู้ผลิตเครื่องบินเท่านั้น

ในช่วงก่อนการบิน FMS จะสร้างโปรไฟล์แนวตั้ง มันใช้น้ำหนักเครื่องบินเปล่าน้ำหนักเชื้อเพลิงจุดศูนย์ถ่วงและความสูงของการล่องเรือเริ่มต้นรวมถึงแผนการบินด้านข้าง เส้นทางแนวตั้งเริ่มต้นด้วยการปีนขึ้นไปบนเรือ จุด SID บางจุดมีข้อ จำกัด ในแนวตั้งเช่น "ที่หรือมากกว่า 8,000" การไต่อาจใช้แรงผลักดันที่ลดลงหรือการไต่ระดับ "FLEX" เพื่อประหยัดความเครียดของเครื่องยนต์ แต่ละคนจะต้องได้รับการพิจารณาในการคาดการณ์ของโปรไฟล์แนวตั้ง

การใช้งาน VNAV ที่แม่นยำนั้นทำได้ยากและมีราคาแพง ในการล่องเรือที่เผาเชื้อเพลิงส่วนใหญ่มีหลายวิธีในการประหยัดเชื้อเพลิง

เมื่อเครื่องบินเผาไหม้เชื้อเพลิงมันจะเบาลงและสามารถล่องเรือได้สูงขึ้นซึ่งโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพมากกว่า ปีนขั้นตอนหรือปีนล่องเรืออำนวยความสะดวกนี้ VNAV สามารถกำหนดได้ว่าขั้นตอนหรือการล่องเรือปีนขึ้นไป (ตรงที่เครื่องบินลอยขึ้น) ควรเกิดขึ้นเพื่อลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานทำให้ FMS สามารถกำหนดความเร็วที่ดีที่สุดหรือประหยัดที่สุดในการบินในระดับเที่ยวบิน สิ่งนี้มักเรียกว่าความเร็ว ECON สิ่งนี้ขึ้นอยู่กับดัชนีต้นทุนซึ่งป้อนเพื่อให้น้ำหนักระหว่างความเร็วและประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ดัชนีต้นทุนถูกคำนวณโดยการหารต้นทุนต่อชั่วโมงของการใช้งานเครื่องบินด้วยต้นทุนเชื้อเพลิง โดยทั่วไปดัชนีราคา 999 ให้ความเร็ว ECON เร็วที่สุดโดยไม่คำนึงถึงเชื้อเพลิงและดัชนีต้นทุนเป็นศูนย์ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โหมด ECON เป็นความเร็ว VNAV ที่ใช้โดยสายการบินส่วนใหญ่ในการล่องเรือ

RTA หรือเวลาที่มาถึงที่ต้องการช่วยให้ระบบ VNAV สามารถกำหนดเป้าหมายการมาถึงตามจุดที่กำหนดในเวลาที่กำหนด สิ่งนี้มักจะมีประโยชน์สำหรับการกำหนดเวลามาถึงสนามบิน ในกรณีนี้ VNAV จะควบคุมความเร็วของการล่องเรือหรือดัชนีค่าใช้จ่ายเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นไปตาม RTA

สิ่งแรกที่ VNAV คำนวณสำหรับโคตรคือจุดสูงสุดของจุดลง (TOD) นี่คือจุดที่เชื้อสายที่มีประสิทธิภาพและสะดวกสบายเริ่มต้นขึ้น โดยปกติแล้วสิ่งนี้จะเกี่ยวข้องกับการสืบสายเลือดที่ไม่ได้ใช้งาน แต่สำหรับเครื่องบินบางลำการเดินลงที่ไม่ได้ใช้งานนั้นชันและอึดอัดเกินไป FMS คำนวณ TOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย "บิน" ทางด้านหลังจากการแตะผ่านทางเข้าและล่องเรือ มันทำเช่นนี้โดยใช้แผนการบินโมเดลเครื่องบินและลมที่ลงมา สำหรับสายการบิน FMS นี่คือการคาดการณ์ที่ซับซ้อนและแม่นยำมากสำหรับ FMS แบบง่าย (บนเครื่องบินขนาดเล็ก) ซึ่งสามารถกำหนดได้ด้วย "กฎแห่งหัวแม่มือ" เช่น เส้นทาง 3 องศา

จาก TOD VNAV กำหนดเส้นทางที่คาดการณ์สี่มิติ เมื่อ VNAV สั่งให้คันเร่งไม่ได้ใช้งาน เครื่องบินก็จะเริ่มลงสู่เส้นทาง VNAV หากเส้นทางที่คาดการณ์ไม่ถูกต้องหรือลมตกที่แตกต่างจากการคาดการณ์เครื่องบินจะไม่ปฏิบัติตามเส้นทางอย่างสมบูรณ์แบบ เครื่องบินแตกต่างกันไปตามระดับเสียงเพื่อรักษาเส้นทาง เนื่องจาก throttles ไม่มีการใช้งานสิ่งนี้จะทำให้ความเร็วลดลง โดยทั่วไปแล้ว FMS อนุญาตให้ความเร็วแตกต่างกันไปในวงเล็ก ๆ หลังจากนี้ทั้งคันเร่งจะเลื่อน (หากเครื่องบินอยู่ต่ำกว่าเส้นทาง) หรือ FMS ร้องขอการเบรกความเร็วด้วยข้อความเช่น "เพิ่ม DRAG" (หากเครื่องบินอยู่เหนือเส้นทาง)

เชื้อสายไม่ได้ใช้งานในอุดมคติหรือที่รู้จักกันในนาม "เชื้อสายสีเขียว" ใช้เชื้อเพลิงขั้นต่ำลดมลพิษ (ทั้งที่ระดับความสูงและท้องถิ่นไปยังสนามบิน) และลดเสียงรบกวนในท้องถิ่น ในขณะที่ FMS ที่ทันสมัยที่สุดของสายการบินขนาดใหญ่มีความสามารถในการลดการใช้งานที่ไม่ได้ใช้งานระบบควบคุมการจราจรทางอากาศส่วนใหญ่ไม่สามารถจัดการอากาศยานหลายลำได้ ดังนั้นการใช้ช่วงล่างที่ไม่ได้ใช้งานจะลดลงโดยการควบคุมจราจรทางอากาศ

รูปที่ 2.6.1 MCDU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Arduino Board

Arduino เป็นภาษาอิตาลี อ่านว่า *อาดุอีโน่* หรือ จะเรียกว่า *อาดุยโน่* ก็ได้ไม่ผิด เพราะไม่ใช่ภาษาบ้านเรา, Arduino คือ Open-Source Platform สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีจุดมุ่งหมายให้ Arduino Platform เป็น Platform ที่ง่ายต่อการใช้งาน, โดย Arduino Platform ประกอบไปด้วย
ส่วนที่เป็น Hardware คือ

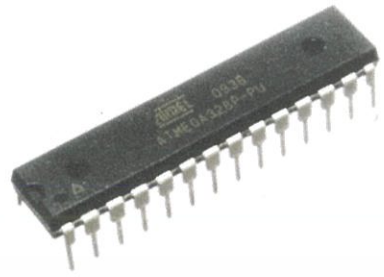
1.บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มี ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่า บอร์ด Arduino, โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น
2.ส่วนที่เป็น Software คือ
ภาษา Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม MCU, มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++
Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino, คอมไพล์โปรแกรม (Compile) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด (Upload)

Arduino ถูกใช้ประโยชน์ในลักษณะเดียวกับ MCU คือ ใช้ติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆด้วยการเขียนโปรแกรมให้กับ MCU เพื่อควบคุมการรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่างๆ
ตัวอย่าง การประยุกต์ใช้ Arduino ในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบเปิด/ปิดไฟในบ้านอัตโนมัติ, ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ, ระบบเปิด/ปิดประตูอัตโนมัติ, ระบบเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ หรือ ใช้ควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของคุมมอเตอร์ เป็นต้น

สิ่งที่ทำให้ Arduino น่าสนใจ
-Arduino กำลังเป็นที่นิยม และเป็นที่สนใจ สำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ทั้งมือใหม่ และมือเก่า ทำให้เราสามารถหาอ่านคู่มือ วิธีใช้ วิธีแก้ปัญหาต่างๆ ได้ง่ายบนอินเทอร์เน็ต
-Arduino พร้อมใช้งานทันที เพราะบอร์ด Arduino ติดตั้งอุปกรณ์จำเป็นพื้นฐานมาให้หมดแล้ว (ต่างจาก MCU เปล่าๆ ที่ต้องซื้ออุปกรณ์จำเป็นอื่นๆ มาติดตั้งเพิ่มเติม)
-Arduino สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยไวยากรณ์ภาษา C/C++ ซึ่งง่ายสำหรับผู้ที่มีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมอยู่บ้างแล้ว แต่สำหรับผู้ที่ไม่เคยเขียนโปรแกรมมาก่อนเลย ก็สามารถเริ่มต้นศึกษาและหาหนังสืออ่านได้ไม่ยาก นอกจากนี้ยังมี Library ให้เลือกใช้มากมาย ทำให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้นครับ
-Arduino ราคาไม่แพงเกินไปสำหรับผู้ที่อยากจะเริ่มต้นใช้งาน
การอัปโหลดโปรแกรมที่เขียนบนคอมพิวเตอร์ลงไปที่ Arduino ก็ทำได้โดยง่าย แค่ใช้สาย USB ต่อบอร์ด Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์ แล้วอัปโหลดด้วยโปรแกรม Arduino IDE เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chipและ IC ภายใน Arduino Board ที่สำคัญ ATmega328P-PU



รูปที่ 2.7.1 CPU ATMega328 ขนาด 28 ขา

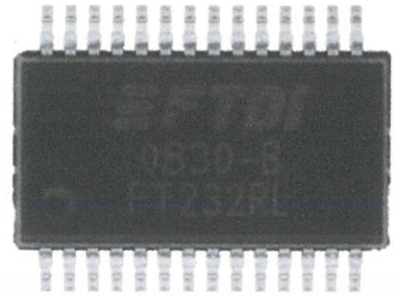
จากตัวบอร์ด Arduino ที่ใช้ในโปรเจคนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของ AVR ขนาด 8 บิต โดยในสถาปัตยกรรม AVR ซึ่งออกแบบโดย ATMELเมื่อปี 1996 เป็น CPU แบบ RISC มีสถาปัยกรรมการต่อแบบหน่วยควาจำแบบ Harvard ซึ่งแยกหน่วยความจำแบบ Flash สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรมและใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับหน่วยความจำข้อมูล และนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยง อีกด้วย

MAX3421E

MAX3421E เป็น USB peripheral/host controller ที่มีดิจิตอลลอจิกและวงจรอนาล็อกที่จำเป็นต่อ USB แบบ full-speed หรือ USB REV 2.0 ในตัว MAX3421E นี้จะมี transceiver ±15 kV ESD อยู่ภายในเพื่อป้องกันและการ connect/disconnect ซึ่ง MAX3421E จะมีการใช้การเข้าถึงโดยมีอินเตอร์เฟส SPI ที่ทำงานได้ถึง 26 MHz MAX3421E ทำให้การเชื่อมต่อ USB Peripheral นั้นกว้างขึ้นนั่นคือมันสามารถทำให้ใช้ได้กับหลายไมโครโปรเซสเซอร์ เช่น ASIC,DSP เป็นต้น เมื่อมันทำงานเป็น USB Host เช่น ทำงานเป็นเมาส์ หรือ คีย์บอร์ด ที่เชื่อมต่อกับระบบ Embedded Firmware จะสามารถทำได้ง่ายเพราะ Devices ได้รับการสนับสนุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FT232RL



รูปที่ 2.7.2 IC FT232RL

ใน Arduino board จะมี IC FT232RL ไว้สำหรับแปลงจาก USB เป็น Serial เพื่อ นำไปต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์

Software Arduino Environment

โปรแกรม Arduino Environment ในที่นี้คือ Arduino IDE เป็นซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อการเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ด Arduino ซึ่งจะสามารถหาการดาวน์โหลดได้ที่ http://arduino.cc/en/main/software โดยจสมรถรองรับได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Window,Linux และ Max OS X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ArdSimX

ส่วนหลักของการ interface คือ ArdSimX Plugin ที่ใช้ในการเชื่อมกับ ArdSimX firmware เพื่อทำการอัปโหลด input และ output ของ controller (Arduino board). สิ่งที่ต้องมีก็คืออัปโหลด ArdSimX base skecth พร้อมกับlibralyที่ติดตั้ง ArdSimX ให้การควบคุมห้องนักบินได้โดยไม่ต้องเข้ารหัส Arduino Plugin และ firmware ไม่สามารถทำงานแยกกันต้องใช้ร่วมกันเท่านั้น

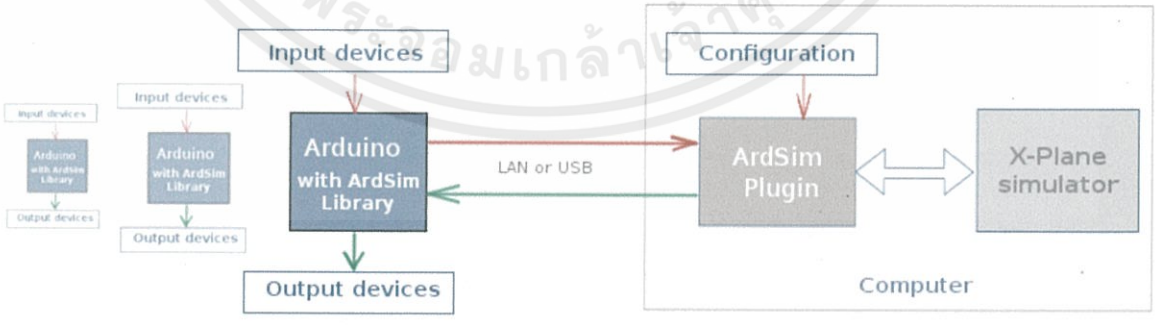
ArdSimX Interface for home cockpit builders

ArdSimX interface ต้องการทักษะการเข้ารหัส Arduino ขั้นต่ำ คุณสามารถกำหนด Arduino pin เป็นตัวควบคุม input ที่เชื่อมโยงกับคำสั่ง X-Plane หรือ dataref เฉพาะเพื่อส่งข้อมูลหรือใช้เป็น outputได้รับค่า dataref ผ่าน ArdSimX Plugin

ในการกำหนดค่าการควบคุม input ArdSimX สำหรับ X-Plane หรือรับข้อมูลจาก X-Plane สำหรับ output libraly ของ ArdSimX มีชุดของฟังก์ชั่นที่คุณสามารถใช้ในคำสั่ง Arduino เพื่อตั้งค่าการควบคุม inpit และกำหนดการกระทำเฉพาะ (สวิตช์, ตัวเข้ารหัส, LED ฯลฯ) สำหรับ ขา Arduino

ArdSimX Interface ไม่รวมฟังก์ชั่นใด ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในรหัส Arduino - input / output ทั้งหมดได้รับการกำหนดโดยใช้ตัวกำหนดค่าออนไลน์เท่านั้น!

ArdSimX Plugin จะทำการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino ทั้งหมดโดยอัตโนมัติด้วย X-Plane จากนั้นจะใช้ไฟล์กำหนดค่า input / output อย่างง่ายเพื่อควบคุมการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างบอร์ด Arduino ที่เชื่อมต่อกันแต่ละบอร์ด โดยใช้ไฟล์กำหนดค่าหนึ่งไฟล์ ในการสร้างไฟล์กำหนดค่าคุณสามารถใช้ตัวกำหนดค่าออนไลน์สำหรับ input และ output (หรือแก้ไขด้วยตนเอง)



รูปที่ 2.8.1 Block Diagram Ardsim X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ ArdSimX

- สามารถเลือกการสื่อสาร LAN หรือ USB สำหรับ Arduino ใดก็ได้
- การกำหนดค่าส่วนใหญ่ทำได้ด้วยไฟล์กำหนดค่า input / output ที่อยู่ใน folder Plugin
- ไม่จำเป็นต้องเขียนคำสั่ง Arduino ที่กำหนดเองสำหรับการควบคุม input (และoutput บางส่วน) ส่วนใหญ่เนื่องจากคุณสามารถใช้ฟังก์ชั่นง่าย ๆ ที่จัดทำโดย libraly ของ ArdSimX
- สามารถขยายจำนวน input สำหรับ Arduino หนึ่งตัวโดยใช้การเชื่อมต่อ "matrix"
- สามารถใช้บอร์ดได้ถึง 9 บอร์ดสำหรับระบบเดียวโดยมี LAN และ USB ในการรวมกัน
- สามารถใช้ Encoder แบบหมุนได้สูงสุด 25 ตัวใน Arduino หนึ่งตัว
- สามารถกำหนดค่าความแม่นยำ input แบบ analog (ความไว) และช่วง input
- สามารถรับค่า dataref จาก X-Plane และใช้ในคำสั่งเฉพาะสำหรับการส่งออก

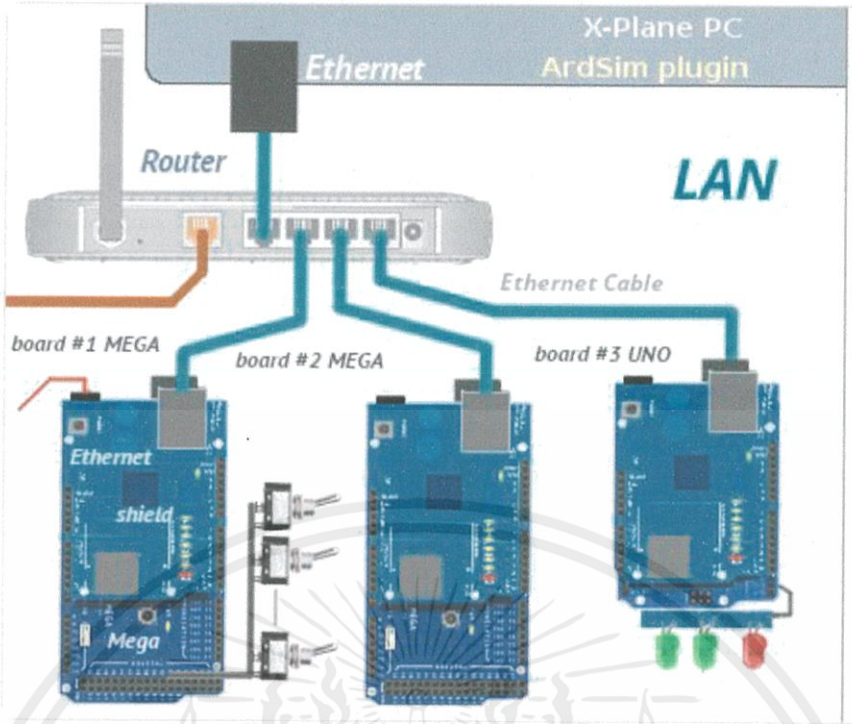
Connection

ArdSimX plugin ตั้งแต่ v2.0 รองรับการเชื่อมต่อ LAN และ USB และสแกนพอร์ต USB ทั้งหมด (หากเปิดใช้งานการเชื่อมต่อ USB ในเมนู ArdSimX) พร้อมกับที่อยู่ LAN เพื่อค้นหาบอร์ด Arduino ทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับ LAN (และ / หรือ USB)

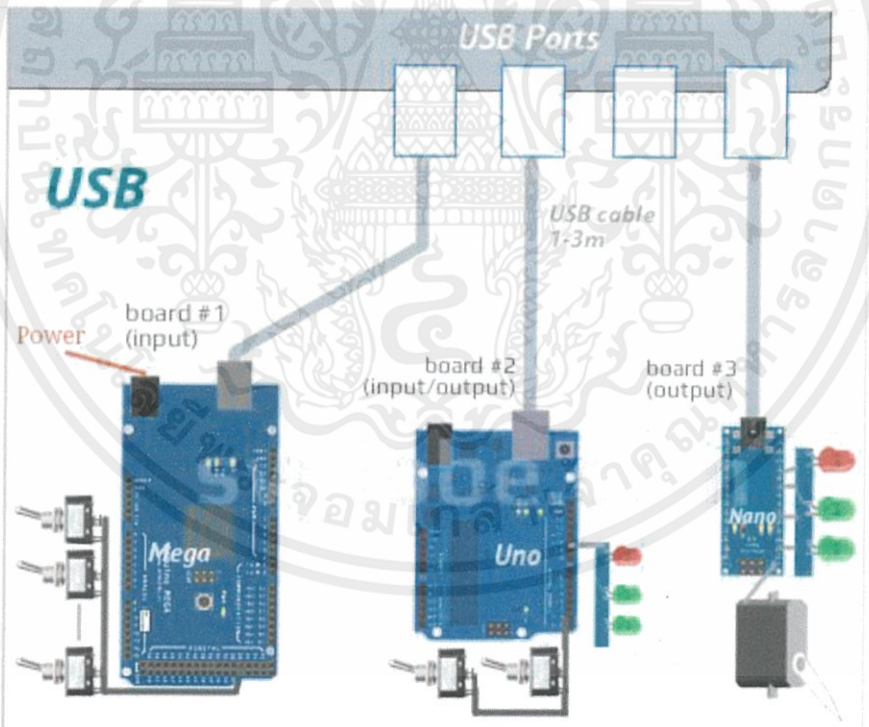
USB connection

ArdSimXUSB ไม่จำเป็นต้องมี Ethernet Shield สำหรับ Arduino และการเชื่อมต่อเครือข่าย ระวังการจ่ายไฟของบอร์ด Arduino และคุณภาพสาย USB เป็นที่พึงปรารถนาที่จะใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเชื่อมต่อหลายบอร์ดและสามารถทำการเชื่อมต่อและเชื่อมต่อบอร์ด Arduino สูงสุด 9 ตัวกับlibraly ของ ArdSimX เข้ากับ X-Plane PC โดยใช้ router และสวิตช์ LAN เพิ่มเติมหรือ / และซ็อกเก็ต USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8.2 การเชื่อมต่อผ่านทาง LAN



รูปที่ 2.8.3 การเชื่อมต่อผ่านทาง USB Ports

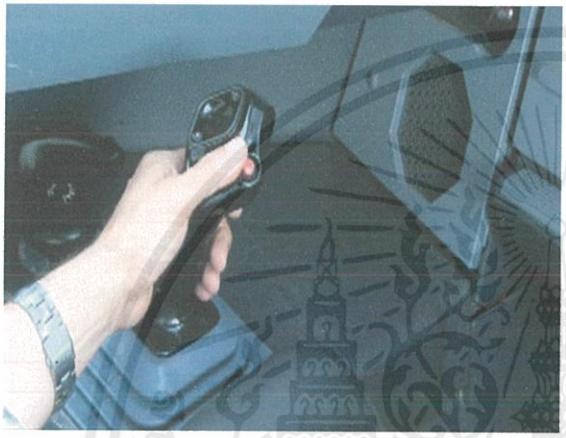
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

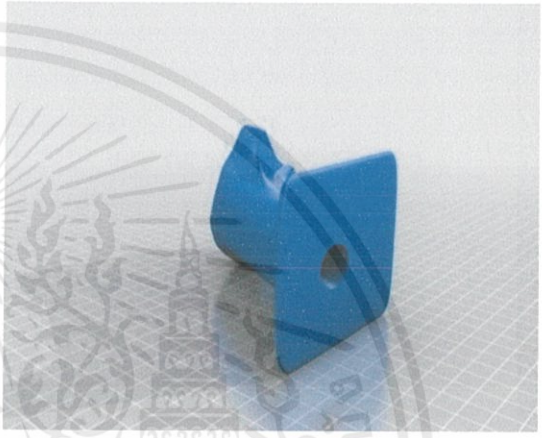
การออกแบบ

เนื่องจากอุปกรณ์ภายในห้องควบคุมเครื่องบินเป็นอุปกรณ์ที่เฉพาะตัว ไม่สามารถสั่งซื้อได้เนื่องจากมีราคาที่สูงมาก ส่วนการออกแบบอุปกรณ์ให้มีความสมจริงมากที่สุดโดยใช้การออกแบบ 3D และส่วนของโครงเครื่องจำลองการบินออกแบบผ่านโปรแกรม Solidwork โดยใช้ไม้ปาติเกิล (Particle Board) และเหล็กเป็นส่วนประกอบ

3.1.ตัวควบคุมทิศทางการบิน (Sidestick a320)



รูปที่ 3.1.1 Sidestick A320



รูปที่ 3.1.2 แบบ Sidestick A320

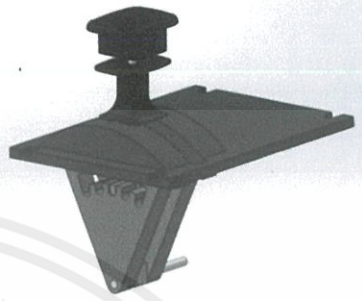
รูปที่ 3.1.3 Sidestick A320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sidestick ควบคุมทิศทางการบิน ประกอบด้วย 2แกน ดังนี้
    1. longitudinal axis
    2. Lateral Axis

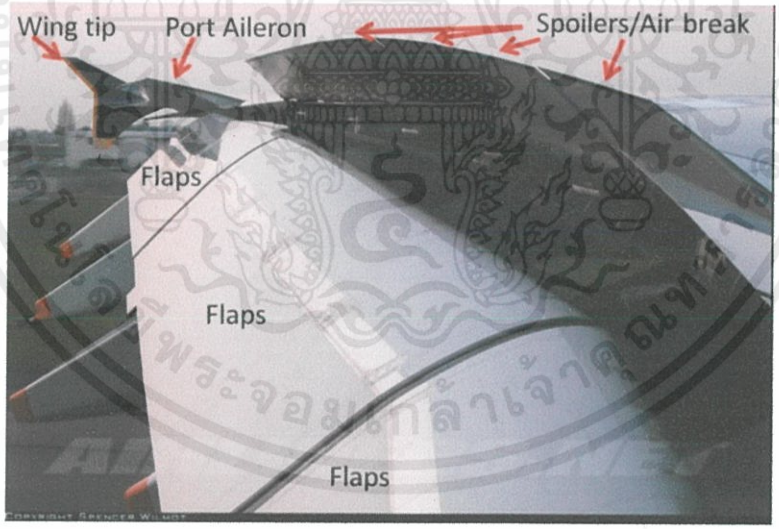
3.2.อุปกรณ์เพิ่มแรงยกให้กับปีก. (Flaps)

รูปที่ 3.2.1 Flaps Panel



รูปที่ 3.2.2 แบบ Flaps Panel

Flap ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์เพิ่มแรงยก หรือ High-lift device โดยที่ High-lift device ทั้งหมดทั้งมวลจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มแรงยกไปพร้อมๆกับช่วยลดความเร็วของเครื่องบิน โดยที่ยังคงทำให้เครื่องบินนั้นบินอยู่ได้ วิธีการหลักๆก็คือเปลี่ยนรูปทรงของแพนอากาศ (Airfoil) ให้มีส่วนโค้งเพิ่มมากขึ้น (Camber)



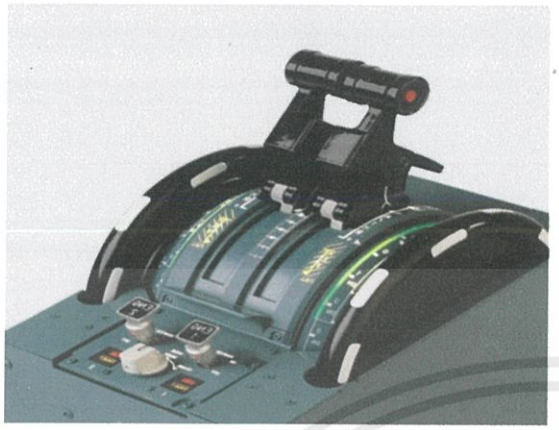
รูปที่ 3.2.3 Flaps

ในเวลาที่เครื่องบิน Takeoff จะเปิด Flap และ Slat เพียงเล็กน้อยเพื่อช่วยเพิ่มแรงยก ขณะที่บินขึ้น mในเวลาที่เครื่องบิน Landing จะเปิด Flap และ Slat เพิ่มมากขึ้นตามความเร็วในขณะ เพื่อให้มีแรงยกในขณะที่บินความเร็วต่ำ และเมื่อแตะพื้น Runway เครื่องบินจะเปิด Spoilers เพื่อตัดแรงยกไม่ให้เครื่องลอยขึ้น และลดความเร็วเครื่องบิน

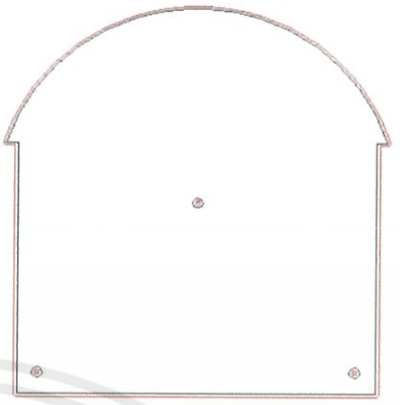
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.ตัวควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ (Throttle a320)

Throttle เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.3.1 Throttle a320



รูปที่ 3.3.2 ออกแบบ throttle a320

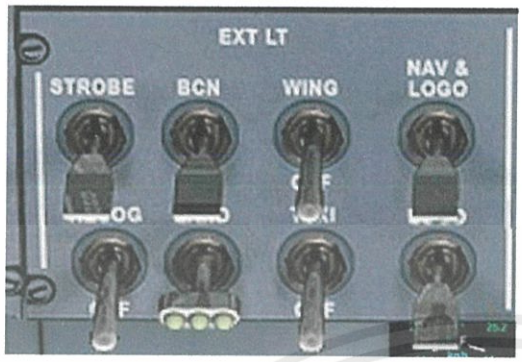
รูปที่ 3.3.3 ออกแบบที่จับ throttle a320

รูปที่ 3.3.4 Throttle a320 Panel

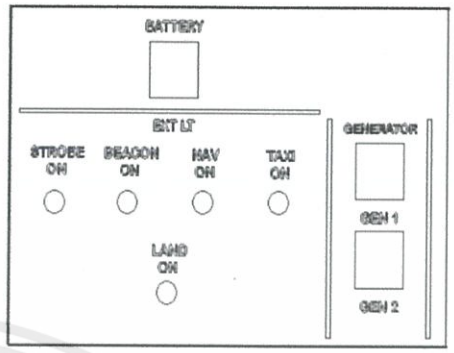
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.แผงควบคุมระบบต่างๆของเครื่องบิน (Overhead panel)

EXT LT Panel เป็นแผงควบคุมแสงไฟบริเวณภายนอกเครื่องบิน

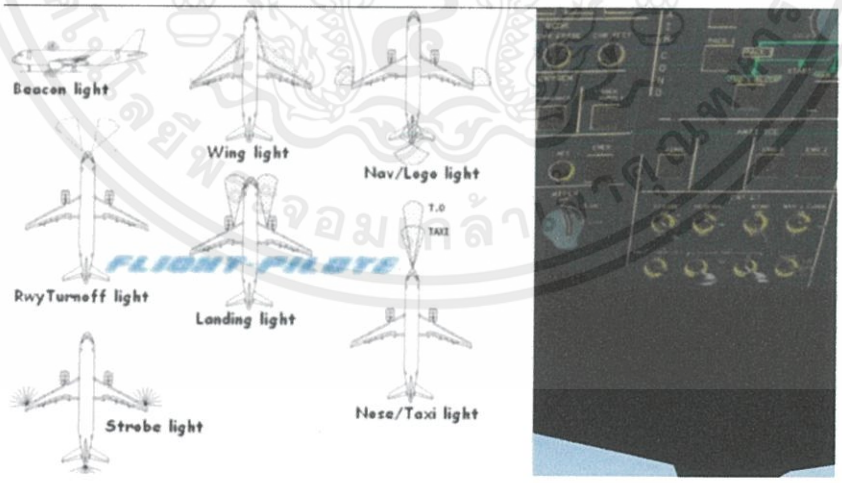


รูปที่ 3.4.1 EXT LT Panel



รูปที่ 3.4.2 ออกแบบ EXT LT Panel

รูปที่ 3.4.3 EXT LT Panel



รูปที่ 3.4.4 ไฟนำร่องของเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟนำร่อง หรือ Navigator Light คือ ไฟสัญญาณที่แสดงสถานะของอากาศยานในขณะนั้นๆ ขณะที่เตรียมขึ้นบิน จอดอยู่กับที่ ขณะที่กำลังเคลื่อนที่ไปยังรันเวย์เพื่อบินขึ้น หรือขณะที่อากาศยานกำลังบินอยู่ในห้วงอากาศ โดยทั่วไปไฟที่ด้านซ้าย ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งปลายปีกของเครื่องบินจะใช้สีแดง ส่วนไฟที่บริเวณปลายปีกด้านขวานั้นจะใช้สีเขียว เนื่องจากต้องบินในเวลากลางคืนที่มีสภาพแสงน้อยมาก ไฟดังกล่าวจะช่วยในการแจ้งเตือนถึงตำแหน่งของเครื่องบินในตอนกลางคืนว่า อากาศยานลำนั้นกำลังเคลื่อนที่ หรือบินไปยังทิศทางใด

Beacon Light

มีลักษณะของหลอดไฟที่ใช้สีแดง การทำงานของไฟ Beacon Light จะมีการทำงานที่หมุนอยู่ตลอดเวลา เพื่อทำให้ดูเหมือนไฟสัญญาณที่กำลังกะพริบ โดยจะทำการติดตั้งไว้ในบริเวณลำตัวของอากาศยาน ซึ่งมีทั้งด้านบนและข้างใต้ของอากาศยาน เป็นไฟสัญญาณที่แจ้งเตือนการทำงานของอากาศยานลำนั้น ซึ่งนักบินจะทำการเปิด ก่อนจะเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์

รูปที่ 3.4.5 Beacon Light

Strobe Light

มีลักษณะเป็นไฟสีขาวกะพริบ มีความเข้มของแสงสูงมากคล้ายไฟแฟลต ส่วนมากไฟ Strobe Light จะติดตั้งอยู่ที่บริเวณปลายปีกค่อนไปทางด้านหลังต่อจากไฟ Navigator Light เป็นสัญญาณไฟที่คอยแจ้งเตือนในยามค่ำคืนให้รับรู้ถึงขนาดของอากาศยานลำนั้นๆ เนื่องจากตำแหน่งของการติดตั้งไฟชนิดนี้ อยู่ที่ชายปีกทั้งสองข้าง ทำให้สามารถประเมินขนาดความกว้างของปีกทั้งสองข้างได้

ทั้งนี้ โดยปกติไฟสัญญาณ Strobe Light จะเปิดใช้งานเมื่ออากาศยานอยู่ในทางวิ่ง หรือรันเวย์ที่พร้อมจะทำการขึ้นบิน สำหรับ Strobe Light ในเครื่องบินโดยสารของบริษัท Airbus จะมีการทำงานโดยกะพริบติดต่อกันสองครั้งแล้วทำการเว้นระยะของการกะพริบ ส่วนอากาศยานโดยสารของบริษัท Boeing ไฟ Strobe Light จะกะพริบแค่ครั้งเดียวแล้วเว้นระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4.6 Strobe Light

Taxi Light

ไฟสัญญาณดังกล่าวติดตั้งอยู่ตรงบริเวณฐานล้อหน้าของอากาศยาน เพื่อแจ้งเตือนสถานะว่าอากาศยานลำนั้น กำลังเคลื่อนตัวอยู่ในทิศทางใด Nose Taxi light จะมีความเข้มของแสงคล้ายกับไฟสปอร์ตไลท์ ที่ใช้ส่องไปยังทิศทางไกลๆ โดยส่องออกจากบริเวณส่วนหัวของอากาศยาน

รูปที่ 3.4.7 Taxi Light

Landing Light

เป็นสัญญาณไฟที่แสดงสถานะการบินขึ้น-ลงของอากาศยาน นักบินจะเปิดใช้งานสัญญาณไฟนี้ เมื่ออากาศยานบินอยู่ที่ระดับความสูงต่ำกว่า 10,000 ฟุต หมายความว่า เมื่ออากาศยานทำการบินขึ้น (Take off) ไปแล้ว ไฟ Landing Light จะถูกปิดสวิตช์ เมื่อความสูงของเครื่องพ้นระดับ 10,000 ฟุตไปแล้ว

ในทางกลับกัน เมื่ออากาศยานต้องทำการร่อนลงจอด หรือ Landing เมื่อนักบินทำการลดระดับความสูงจนตัวเครื่อง มีความสูงต่ำกว่า 10,000 ฟุต จะต้องทำการเปิดไฟสัญญาณ Landing Light ทันที เพื่อแจ้งเตือนสถานะของอากาศยานว่ากำลังจะทำการร่อนลงจอด

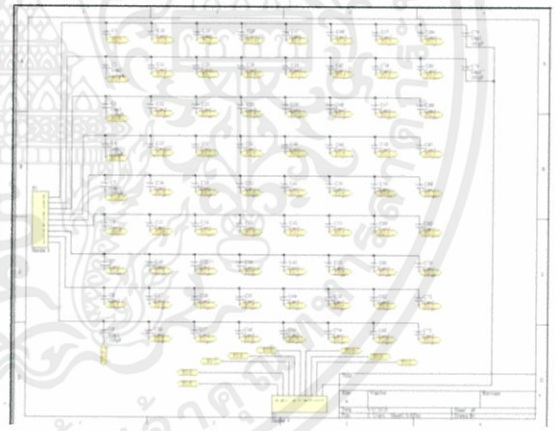
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4.8 Landing Light

3.5 ตัวควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบิน (MCDU, Mulifunction Control Display Unit)

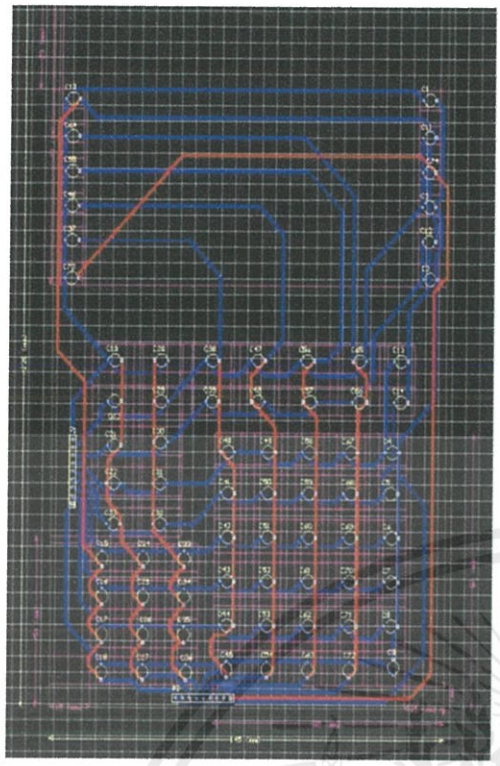
MCDU เป็นคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนเครื่องบินที่เก็บข้อมูลสนามบิน เส้นทางการบินทั้งหมด เพื่อนำมาใช้คำนวณร่วมกับความเร็วลม สภาพอากาศ และอุณหภูมิในขณะนั้น ตัว MCDU จะแสดงผลมาว่าจะต้องใช้ความสูงในการบินเท่าไหร่ กำลังเครื่องยนต์เท่าไหร่ในการบิน

รูปที่ 3.5.1 MCDU

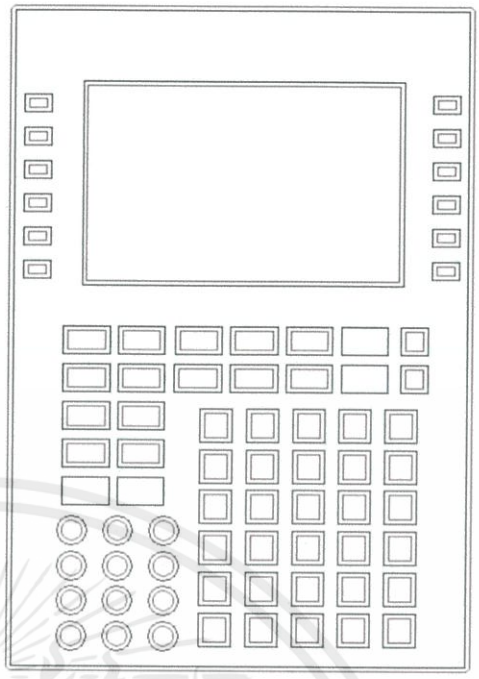


รูปที่ 3.5.2 ออกแบบวงจร MCDU

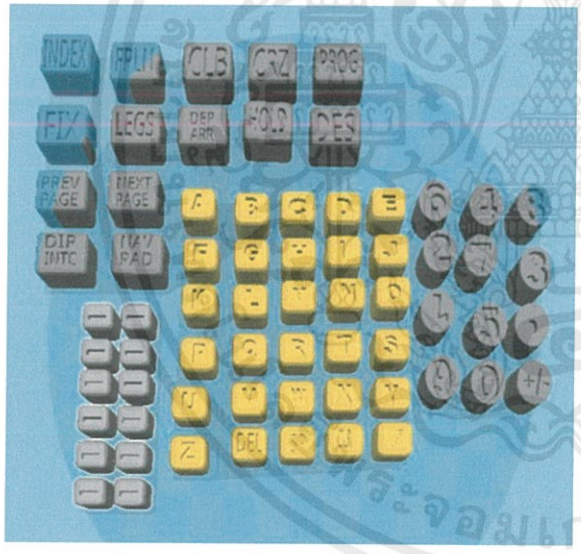
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5.3 ลายวงจร MCDU



รูปที่ 3.5.4 ออกแบบแผ่นอะคริลิค MCDU



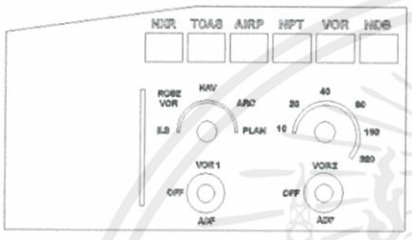
รูปที่ 3.5.5 ออกแบบปุ่ม MCDU

รูปที่ 3.5.6 ออกแบบปุ่ม MCDU

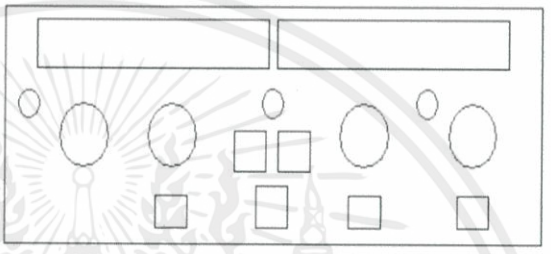
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ตัวควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน (Autopilot)

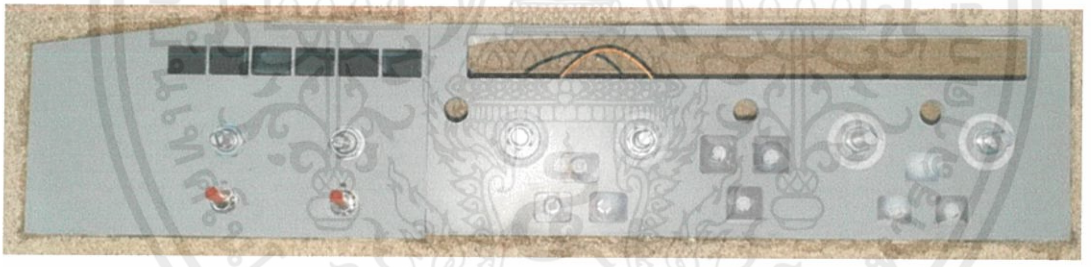
รูปที่ 3.6.1 Autopilot A320



รูปที่ 3.6.2 ออกแบบ Autopilot A320



รูปที่ 3.6.3 ออกแบบ Autopilot A320

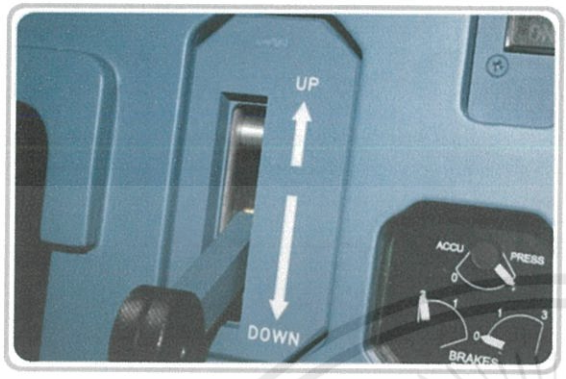


รูปที่ 3.6.4 Autopilot A320 Panel

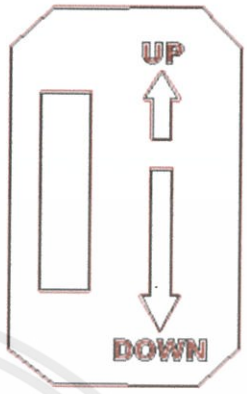
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ตัวเปิดปิดล้อของเครื่องบิน (Gear Landing)

Gear Landing เปิดล้อเมื่ออยู่บนพื้นดินและปิดล้อเมื่อเครื่องบินทำการบินขึ้นเหนือพื้นดินแล้ว



รูปที่ 3.7.1 Gear Landing



รูปที่ 3.7.2 ออกแบบ Gear Landing

รูปที่ 3.7.3 ออกแบบที่จับ Gear Landing

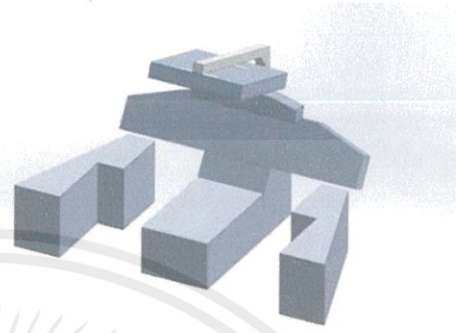
รูปที่ 3.7.4 Gear Landing Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 โครงของเครื่องจำลองการบิน (Cockpit)

โครงของเครื่องจำลองการบินออกแบบผ่านโปรแกรม Solidwork โดยใช้ไม้ปาติเกิล (Particle Board) และเหล็กเป็นส่วนประกอบ

รูปที่ 3.8.1 Cockpit A320



รูปที่ 3.8.2 ออกแบบ Cockpit A320

รูปที่ 3.8.3 โครง Cockpit A320

รูปที่ 3.8.4 โครง Cockpit A320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลทดลองการใช้ Side-Stick ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน

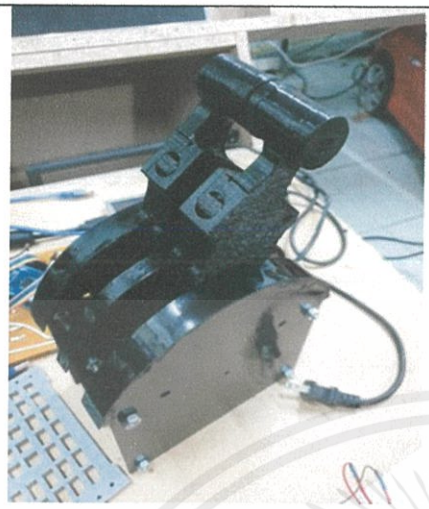
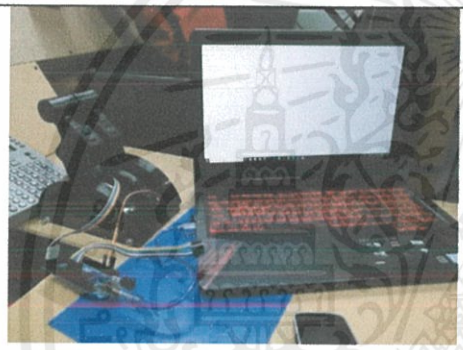
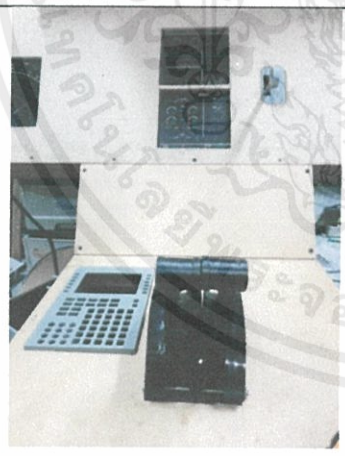
ตารางที่ 4.1 ผลทดลองการใช้ Side-Stick ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน

	1.ทำการออกแบบ Side-Stick ผ่านโปรแกรม Solidwork แล้วนำมาปริ้นโดยใช้เครื่อง 3D Printer
	2.ทำการเขียนโปรแกรมในบอร์ด Arduino ในลักษณะ Mouse ของคอมพิวเตอร์
	3. ควบคุมแกน ailerons ให้เครื่องบินเคลื่อนไปทางซ้าย ควบคุมแกน ailerons ให้เครื่องบินเคลื่อนไปทางขวา ควบคุมแกน ailerons ให้เครื่องบินเคลื่อนขึ้นบน ควบคุมแกน ailerons ให้เครื่องบินเคลื่อนลงล่าง
ผลการทดลอง Side-Stick สามารถควบคุมทิศทางของเครื่องบินในโปรแกรม X-Plane 11 ในทิศทางตามคำสั่งที่เราต้องการ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองใช้ Throttle a320 ตัวควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์

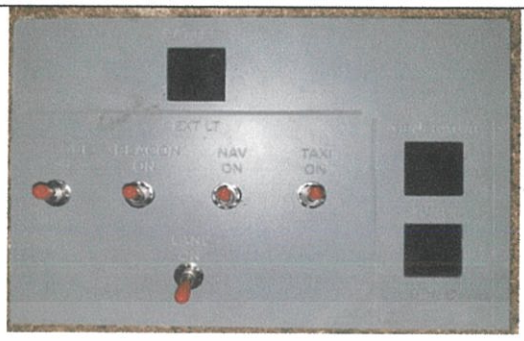
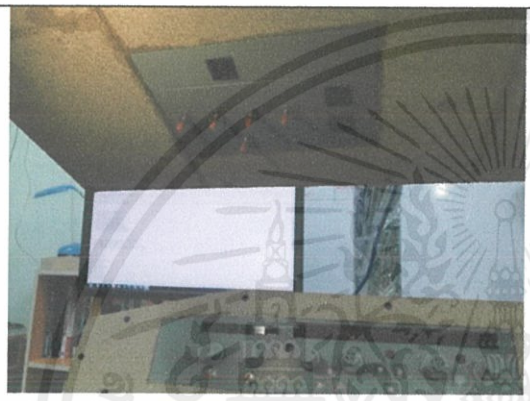
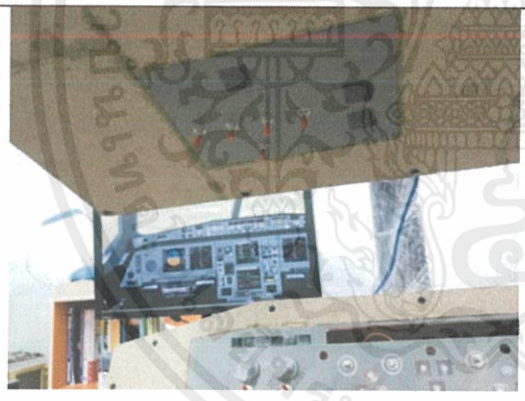
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองใช้ Throttle a320 ตัวควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์

	1.ทำการออกแบบ Throttle a320 โดยส่วนบนจะออกแบบโดยใช้ Solidwork จากนั้นนำมาปริ้นโดยใช้เครื่อง 3D Printer และส่วนล่างออกแบบโดยใช้โปรแกรม Artcam จากนั้นนำแบบมาใช้กับเครื่องตัดอะคริลิค
	2.ทำการเขียนโปรแกรมในบอร์ด Arduino ให้สามารถปรับค่าความเร็วของเครื่องยนต์โดยการใช้ Potentiometer เชื่อมเข้ากับโปรแกรม X-plane 11 โดยผ่านโปรแกรม Ardsim X
	3.ทำการทดลองปรับความเร็วของเครื่องยนต์ในระดับ ควบคุม throttle ให้อยู่ที่ 0 % ควบคุม throttle ให้อยู่ที่ 50 % ควบคุม throttle ให้อยู่ที่ 100 %
ผลการทดลอง Throttle a320 สามารถปรับค่าความเร็วได้ทั้ง 2 เครื่องยนต์ เห็นได้จากจอแสดงความเร็วของเครื่องบิน และจอแสดงผลเปอร์เซ็นต์ของเครื่องยนต์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองใช้ Overhead Panel แผงควบคุมระบบไฟนำร่องของเครื่องบิน

ตารางที่ 4.3 ผลทดลองใช้ Overhead Panel แผงควบคุมระบบไฟนำร่องของเครื่องบิน

	1.ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Artcam จากนั้นนำแบบมาใช้กับเครื่องตัดอะคริลิค
	2.ทำการเขียนโปรแกรมในบอร์ด Arduino ให้สามารถเปิดปิดสวิชต์ในโปรแกรม X-Plane 11 ได้โดยเชื่อมต่อผ่านโปรแกรม Ardsim X
	3.ทำการทดลองเปิดปิดสวิชต์ทุกตัวของ Overhead Panel
ผลการทดลอง Overhead Panel สามารถเปิดและปิดสวิตช์ไฟนำร่องของเครื่องบินได้ตามต้องการ สามารถใช้ได้ทุกตัว โปรแกรมสามารถแสดงผลออกได้ตามคำสั่ง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

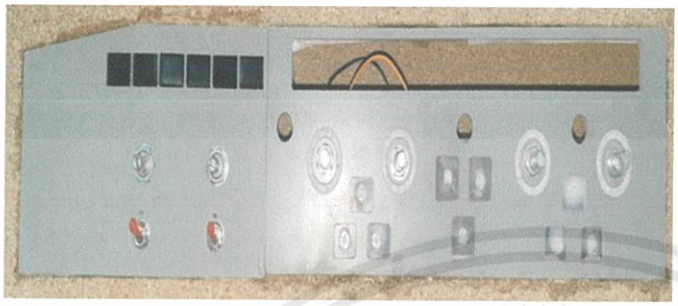
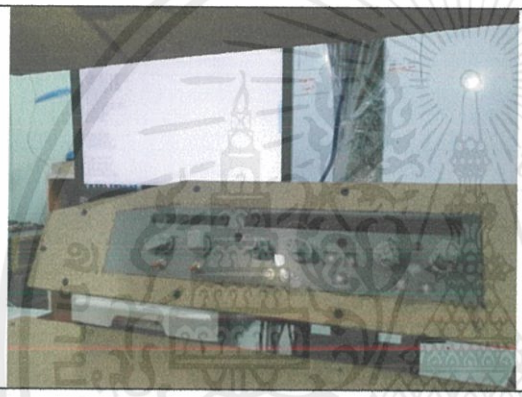
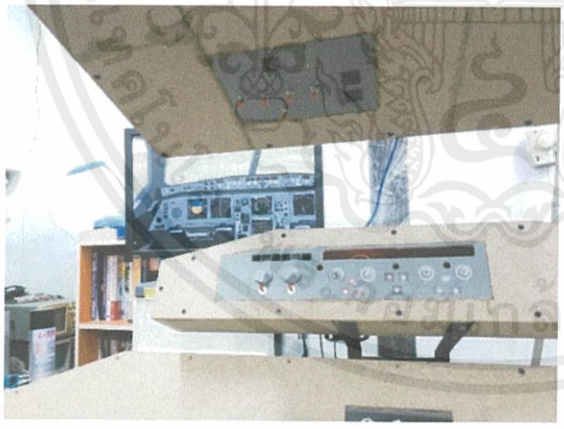
4.4 ผลทดลองใช้ (MCDU, Mulifunction Control Display Unit) ตัวควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบิน

ตารางที่4.4 ผลทดลองใช้ (MCDU, Mulifunction Control Display Unit) ตัวควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบิน	
	1.ออกแบบวงจรแบบ matrix input ส่วนตัวกรอบของ MCDU ออกแบบโดยโปรแกรม Artcam จากนั้นนำไปตัดที่เครื่องตัดอะคริลิค และส่วนของปุ่มกดออกแบบผ่านโปรแกรม Tinkercad จากนั้นนำไปปริ้นโดยใช้ 3D Printer
	2.ทำการเขียนโปรแกรมในบอร์ด Arduino ให้สามารถในโปรแกรม X-Plane 11 ได้โดยเชื่อมต่อผ่านโปรแกรม Ardsim X
	3.ทำการทดลองกดปุ่มต่างๆของ MCDU
ผลการทดลอง MCDU สามารถกดปุ่มต่างๆไปควบคุมระบบของเครื่องบินได้ เห็นได้จากจอแสดงผลของตัว MCDU	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลทดลองใช้ Autopilot ตัวควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน

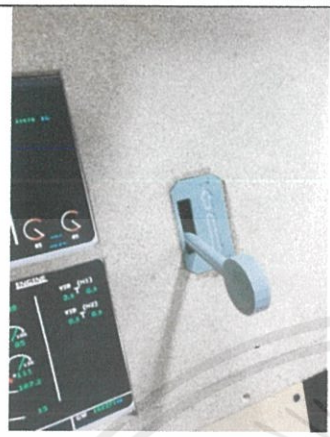
ตารางที่4.5 ผลทดลองใช้ Autopilot ตัวควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน

	1.ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Artcam จากนั้นนำแบบมาใช้กับเครื่องตัดอะคริลิค
	2.ทำการเขียนโปรแกรมในบอร์ด Arduino ให้สามารถเปิดปิดสวิชต์ในโปรแกรม X-Plane 11 ได้โดยเชื่อมต่อผ่านโปรแกรม Ardsim X
	3.ทำการทดลองปรับค่าตัวควบคุมความเร็ว ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน
ผลการทดลอง สามารถควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงผ่านทางแผงวงจรแบบปุ่มได้	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลทดลองใช้ Gear Landing ตัวเปิดปิดล้อของเครื่องบิน

ตารางที่4.6 ผลทดลองใช้ Gear Landing ตัวเปิดปิดล้อของเครื่องบิน

	1.ออกแบบกรอบโดยใช้โปรแกรม Artcam จากนั้นนำแบบมาใช้กับเครื่องตัดอะคริลิค และส่วนก้านทำการออกแบบโดยโปรแกรม Tinkercad จากนั้นนำมาปริ้น 3D Printer
	2.ทำการเขียนโปรแกรมในบอร์ด Arduino ให้สามารถเปิดปิดสวิชต์ในโปรแกรม X-Plane 11 ได้โดยเชื่อมต่อผ่านโปรแกรม Ardsim X
	3.ทำการทดลองเปิดและปิดล้อของเครื่องบิน
ผลการทดลอง สามารถเปิดและปิดล้อของเครื่องบินได้	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของวงจร

5.1.สรุปผลการทดลอง

เครื่องจำลองการบิน เป็นหัวใจสำคัญที่นักบินควรใช้ หรือควรฝึกบินให้ชำนาญ เพราะว่าเป็นเครื่องที่สามารถจำลองการใช้เครื่องบินได้จริง ในแต่ละขั้นตอนของการ Start Up เครื่องยนต์ หรือจะเป็นขั้นตอนในการเตรียมการบิน สื่อสารกับท่าอากาศยาน ขั้นตอนในการ Take-Off ขั้นตอนในการ Landing ซึ่งมีความสำคัญทุกขั้นตอน ถ้าเราไม่มีความชำนาญพอ หรือประมาทในการบินจริงอาจเกิดปัญหาใหญ่มาตามได้ จากการทดลองพบว่าเครื่องจำลองการบินที่สร้างขึ้นมา สามารถนำมาใช้กับโปรแกรม X-Plane 11 ได้ โดยการเชื่อมต่อเข้ากับโปรแกรม Ardsim รับคำสั่งจาก Hardware ที่สร้างขึ้นมาในรูปแบบอุปกรณ์ต่างๆ

การทดลองที่ 1 โดยการใช้ side stick สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมได้ สามารถเคลื่อนที่ได้ 8 ทิศทาง ในการทดลองเห็นได้ว่าสามารถเคลื่อนที่ได้ตาม Side Stick ที่สร้างขึ้นมา ตามที่โปรแกรม X-Plane 11 ทำได้

การทดลองที่ 2 Throttle ควบคุมให้อยู่ในระดับที่ 0 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำได้ทุกระดับทั้ง 2 เครื่องยนต์ โดยทันทีทันใดไม่มีการหน่วงเวลาในการทำงาน

การทดลองที่ 3 EXT LT PLANE เป็นสวิชต์ควบคุมระบบไฟนำร่องของเครื่องบิน จะสามารถเห็นผลจากภายนอกเครื่องบิน เห็นได้ชัดในช่วงเวลากลางคืนของโปรแกรม X-Plane 11 จากผลการทดลองสามารถใช้สวิตช์เชื่อมต่อระบบเข้ากับโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

การทดลองที่ 4 (MCDU, Mulifunction Control Display Unit) ตัวควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบิน ในการทดลองเห็นว่าสามารถควบคุมระบบต่างๆได้และ สามารถแสดงผลในจอแสดงผลได้

การทดลองที่ 5 Autopilot ตัวควบคุมเครื่องยนต์ ทิศทาง และความสูงของเครื่องบิน ผลการทดลองเห็นว่าสามารถปรับการควบคุมได้ จะพบว่าเครื่องบินจะบินตามที่เรากำหนดไว้

การทดลองที่ 6 Gear Landing ตัวเปิดปิดล้อของเครื่องบิน ผลการทดลองพบว่าสามารถเปิดปิดล้อได้ เห็นได้จากการแสดงผลในจอแสดงสถานะของเครื่องบิน และเสียงการบินล้อของเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. เนื่องจาก FLIGHT SIMULATOR มีน้อยมากในประเทศไทย ในการฝึกบินโดยใช้เครื่อง SIMULATOR จึงมีราคาที่สูงมาก
2. การเขียนโปรแกรมให้ถูกต้อง และหาโปรแกรมที่ใช้เชื่อมต่อกับโปรแกรม X-Plane 11 ใช้เวลาค่อนข้างมาก
3. การออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ มีความเฉพาะเจาะจงจึงต้องออกแบบให้มีฟังช์ชั่นใกล้เคียงมากที่สุด

5.3.แนวทางการแก้ไข

1. ศึกษาวิธีสร้างเครื่อง FLIGHT SIMULATOR จากต่างประเทศ
2. ปรึกษาผู้ที่ประสบการณ์เกี่ยวกับด้านการบิน

5.4.ประโยชน์และการประยุกต์การใช้งาน

สามารถให้เป็นการศึกษาสำหรับนักเรียนการบิน หรือนักบินที่ต้องการฝึกบิน เนื่องจากอุบัติเหตุของเครื่องบินทำให้เกิดความเสียหายจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นจำนวนคนที่เสียชีวิต หรือตัวเครื่องบินที่ราคามหาศาล ถ้านักบินทุกคนได้ฝึกบินจนเกิดความชำนาญ ก็สามารถที่ลดปัญหาเหล่านี้ได้

5.5.สิ่งที่ได้จากโครงงาน

ได้รับความรู้เกี่ยวกับ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เราสร้างขึ้นมาต่อกับโปรแกรมต่างๆ เช่น โปรแกรมฝึกบินเครื่องบิน โปรแกรมฝึกขับรถ หรือ โปรแกรมเกมส์ต่างๆ และการออกแบบชิ้นงานต่างๆโดยใช้ไม้ แผ่นอะคริลิค และ 3D Printer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.jimspage.co.nz/intro.html Accessed on December 12,2018

[2] https://www.thaitechnics.com/fly/principle_t.html Accessed on January 10,2018

[3] http://www.aatc-bkk.com/ Accessed on Fabuary 17,2019

[4] https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%AA_%E0%B9%80%E0%B8%AD320 Accessed on Fabuary 20,2019

[5] http://www.thaiairways.com/flightsimulator/ Accessed on March 9,2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

@ ================ INFO ================

Board #1 - Arduino (LAN) ----------

---- Digital pins: ----

---- Analog pins: ----

1 - Throttle position, all

Board #2 - Arduino (USB) ----------

---- Digital pins: ----

---- Analog pins: ----

0 - Throttle position, all

---- Matrix: ----

1 - FMS: INDEX

2 - FMS: DIR/INTC

3 - FMS: FIX

4 - FMS: prev fix

10 - FMS: FPLN

12 - FMS: NAVRAD

13 - FMS: next fix

19 - FMS: ls_5l

20 - FMS: CLB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21 - FMS: DEP/ARR

22 - FMS: key_A

23 - FMS: key_F

24 - FMS: key_K

25 - FMS: key_P

26 - FMS: key_U

27 - FMS: key_Z

28 - FMS: ls_4l

29 - FMS: CRZ

30 - FMS: HOLD

31 - FMS: key_B

32 - FMS: key_G

33 - FMS: key_L

34 - FMS: key_Q

35 - FMS: key_V

37 - FMS: ls_3l

38 - FMS: DES

39 - FMS: PROG

40 - FMS: key_C

41 - FMS: key_H

42 - FMS: key_M

43 - FMS: key_R

44 - FMS: key_W

45 - FMS: key_delete

46 - FMS: ls_2l

49 - FMS: key_D

50 - FMS: key_I

51 - FMS: key_N

52 - FMS: key_S

53 - FMS: key_X

55 - FMS: ls_6l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

56 - FMS: ls_3r

63 - FMS: ls_1r

65 - FMS: ls_4r

66 - FMS: ls_6r

67 - FMS: key_E

68 - FMS: key_J

69 - FMS: key_O

70 - FMS: key_T

71 - FMS: key_Y

72 - FMS: key_clear

73 - FMS: ls_1l

74 - FMS: ls_2r

75 - FMS: ls_5r

76 - FMS: EXEC

Board #3 - Arduino (USB) ----------

---- Digital pins: ----

2 - Autopilot Airspeed set, encoder.

4 - Autopilot Altitude pre-set, encoder

6 - Autopilot Heading bug, encoder

8 - Autopilot Vertical Speed set, encoder

10 - AP Toggle button

11 - AP Toggle button

12 - Flight director Toggle button

13 - Yaw damper Toggle button

Board #4 - Arduino (USB) ----------

---- Digital pins: ----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Board #5 - Arduino (USB) ----------

---- Digital pins: ----

@ ================ CONFIG ================

*6-1U

[A]

[I]

D36- sim/cockpit/switches/EFIS_range_selector 5

D37- sim/cockpit/switches/EFIS_range_selector 4

D38- sim/cockpit/switches/EFIS_range_selector 3

D39- sim/cockpit/switches/EFIS_range_selector 2

D40- sim/cockpit/switches/EFIS_range_selector 1

D41- sim/cockpit/switches/EFIS_range_selector 0

D44- sim/cockpit/switches/EFIS_submode 1

D45- sim/cockpit/switches/EFIS_submode 2

D46- sim/cockpit/switches/EFIS_submode 3

D47- sim/cockpit/switches/EFIS_submode 4

D48- sim/instruments/EFIS_wxr

D49- sim/instruments/EFIS_tcas

D50- sim/instruments/EFIS_apt

D51- sim/instruments/EFIS_fix

D52- sim/instruments/EFIS_vor

D53- sim/instruments/EFIS_ndb

D23- sim/cockpit/switches/EFIS_dme_1_selector 1

D22- sim/cockpit/switches/EFIS_dme_1_selector 2

D24- sim/cockpit/switches/EFIS_dme_2_selector 1

D25- sim/cockpit/switches/EFIS_dme_2_selector 2

E10- sim/autopilot/airspeed_down

E10- sim/autopilot/airspeed_up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E6- sim/autopilot/heading_down

E6- sim/autopilot/heading_up

D2- sim/autopilot/NAV

D4- sim/autopilot/heading

D3- sim/autopilot/wing_leveler

*5-1U

[A]

[I]

E2- sim/autopilot/altitude_down

E2+ sim/autopilot/altitude_up

D8+ sim/autopilot/servos_toggle

D9+ sim/autopilot/autothrottle_toggle

D10+ sim/autopilot/glide_slope

D11+ sim/autopilot/altitude_hold

D7+ sim/autopilot/vertical_speed

E4- sim/autopilot/vertical_speed_up

E4+ sim/autopilot/verticalspeed_down

*4-1U

[A]

[I]

D3+ sim/lights/taxi_lights_toggle

D4+ sim/lights/strobe_lights_on

D6+ sim/lights/nav_lights_on

D8+ sim/lights/landing_lights_on

D10+ sim/lights/beacon_lights_on

D5+ sim/lights/strobe_lights_off

D7+ sim/lights/nav_lights_off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D9+ sim/lights/landing_lghts_off

D11+ sim/lights/beacon_lights_off

D2+ sim/electrical/batteries_toggle

D12+ sim/electrical/generator_1_toggle

D13+ sim/electrical/generator_2_toggle

*3-1U

[A]

[

A1 sim/time/zulu_time_sec8639,0 1 100 0 8699

D2+ sim/fligt_controls/rudder_lft

D3+ sim/flightcontrols/ruder_rgt

A0 sim/flightmodel/controls/flaprqst 0,1 1 200 0 40

A2 sim/flightmodel/controls/speedbrake_ratio 0,1 1 200 0

*2-1U

[A]

B 2 10 22 30 100

[I]

B19+ sim/FMS/index

B20+ sim/FMS/dir_int

B21+ sim/FMS/fi

B22+ sim/FMS/prev

B31+ sim/FMS/next

B30+ sim/FMS/navrad

B28+ sim/FMS/fpln

B29+ sim/FMS/legs

B38+ sim/FMS/clb

B39+ sim/FMS/dep_arr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B47+ sim/FMS/crz

B48+ sim/FMS/hold

B56+ sim/FMS/des

B57+ sim/FMS/prog

B14+ sim/FMS/exec

B10+ sim/FMS/ls_1l

B1+ sim/FMS/ls_1r

B64+ sim/FMS/ls_2l

B11+ sim/FMSls_2r

B55+ sim/FMS/ls_3l

B74+ sim/FMS/ls_3r

B46+ sim/FMS/ls_4l

B2+ sim/FMS/ls_4r

B37+ sim/FMS/ls_5l

B12+ sim/FMS/ls_5r

B73+ sim/FMS/ls_6l

B3+ sim/FMS/l_6r

B40+ sim/FMS/key_A

B49+ sim/FMS/key_B

B58+ sim/FMS/key_C

B67+ sim/FM/key_D

B4+ sim/FMS/key_E

B41+ sim/FMS/key_F

B50+ sim/FMS/key_G

B59+ sim/FMS/key_H

B68+ sim/FMS/key_I

B5+ sim/FMS/key_J

B42+ sim/FMS/key_K

B51+ sim/FMS/key_L

B60+ sim/FMS/key_M

B69+ sim/FMS/key_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B6+ sim/FMS/key_O3

B43+ sim/FMS/key_P

B52+ sim/FM/key_Q

B61+ sim/FMS/key_R

B70+ sim/FMS/key_S

B7+ sim/FMS/key_T

B44+ sim/FMS/key_U

B53+ sim/FMS/key_V

B62+ sim/FMS/key_W

B71+ sim/FMS/key_X

B8+ sim/FMS/ey_Y

B45+ sim/FMS/key_Z

B63+ sim/FMS/key_delete

B9+ sim/FMS/key_clear

B54+ sim/FMS/key_space

B72+ sim/FMS/key_slash

B15+ sim/FMS/key_1

B24+ sim/FMS/key_2

B33+ sm/FMS/key_3

B16+ sim/FMS/key_4

B25+ sim/FMS/key_5

B34+ sim/FMS/key_6

B17+ sim/FMS/key_7

B26+ sim/FMS/key_8

B35+ sim/FMS/ke_9

B27+ sim/FMS/key_0

B36+ sim/FMS/key_minus

B18+ sim/FMS/key_period

A0 sim/cockpit2/engine/actuators/throttle_ratio_all 0,1 1 200 0 35

D52+ si/flight_controls/landing_gear_down

D53+ sim/flight_contols/landing_gear_up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*1-1U

[A]

[I]

E10- sim/autoplot/altitude_down

E10+ sim/autopilot/altitude_up

E6- sim/autopilot/vertical_speed_down

E6+ sim/autpilot/vertical_speed_up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้