คู่มือเอกสารความรู้ทั่วไป
ระบบควบคุมการยิง EOS 500

กฟอ.ศซส.สพ.ทร.

มี.ค.๕๗

คำนำ

คู่มือเอกสาร ระบบควบคุมการยิง EOS 500 นั้น เป็นอุปกรณ์ตรวจจับด้วย Sensor แบบ Electro Optic ที่มีความคงทน และน่าเชื่อถือ ตลอดจนสามารถติดตามเป้าได้หลายเป้าพร้อมกัน ถูกคิดค้น และพัฒนาโดยบริษัท SAAB ทั้งนี้ ระบบ EOS 500 เป็นระบบที่ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากระบบ EOS 450 ปัจจุบัน ได้มีการนำไปใช้ในกองทัพเรือประเทศต่างๆ ซึ่งรวมถึงกองทัพเรือไทย โดยเป็นส่วนหนึ่งของโครงการปรับปรุงเรือฟริเกต ชุด ร.ล.นเรศวร ซึ่งประกอบด้วย ร.ล.นเรศวร และ ร.ล.ตากสิน นอกจากนั้นยังถูกบรรจุให้เป็นหนึ่งในระบบตรวจจับของเรือฟริเกตสมรรถนะสูงที่กำลังดำเนินการสร้าง ณ ประเทศเกาหลีใต้อีกด้วย เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบควบคุมการยิง EOS 500 ฉบับนี้ กฟอ.ศซส.ฯ ได้รวบรวมขึ้นมาเพื่อให้ความรู้กับกำลังพลในสายวิทยาการไฟฟ้าอาวุธในการเตรียมความพร้อมก่อนที่จะเข้ารับการฝึกอบรมการใช้งาน และ/หรือ การฝึกอบรมการซ่อมทำในระดับต่างๆ ที่จะมีขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ ทั้งนี้ ทาง กฟอ.ศซส.ฯ ขอขอบคุณ ร.อ.ธนะนันต์ อึงขจรกุล ผู้รวบรวมข้อมูลและจัดทำเอกสารต้นฉบับ ซึ่งเป็นความรู้สำคัญในการอำนวยความสัมฤทธิ์ผลในการศึกษาต่อไป

กฟอ.ศซส.ฯ

มี.ค.๕๗

สารบัญ

EOS 500 Director

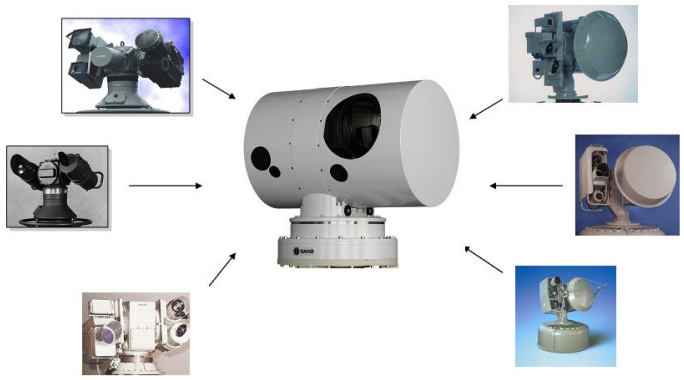
๑.๑ ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญของระบบ EOS 500 ..... ๕
๑.๒ ข้อแตกต่างระหว่างระบบ EOS 500 กับ CEROS 200 ..... ๖
๑.๓ โครงร่างของระบบ (System Layout)..... ๖
๑.๔ Operational Function.....๒๑
๑.๕ Gun Control ๓๔
๑.๖ Integration With CMS ๓๔
๑.๗ Hardware ๓๕

๑.EOS 500 Director

ระบบ EOS 500 เป็นอุปกรณ์ตรวจจับด้วย Sensor แบบ Electro Optic ที่มีความคงทน และน่าเชื่อถือ ตลอดจนสามารถติดตามเป้าได้หลายเป้าพร้อมกัน ถูกคิดค้น และพัฒนาโดยบริษัท SAAB ทั้งนี้ ระบบ EOS 500 เป็นระบบที่ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากระบบ EOS 450 ปัจจุบัน ได้มีการนำไปใช้ในกองทัพเรือประเทศต่างๆ ซึ่งระบบ EOS 500 มีการทำงานที่เพิ่มขึ้นมาได้แก่

- ถูกออกแบบให้เป็นระบบที่สามารถทำการสังเกต (Observation) ตรวจตรา (Surveillance) และติดตามเป้าด้วยความถูกต้องที่สูง (High Accuracy Tracking) ด้วยระบบของตนเอง
- มีการเพิ่มขีดความสามารถของระบบแท่นฐานให้สามารถรองรับ Electro Optical Sensors ได้ถึงสามอุปกรณ์
- มีระบบการติดตามเป้าด้วย Video ที่ทันสมัยมากขึ้น เช่น มีการทำงานแบบอัตโนมัติมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ลดภาระของ Operator
- มีการออกแบบโครงสร้างของระบบที่ให้สามารถทำงานร่วมกับระบบอำนวยการรบขนาดใหญ่ (Combat Management System) หรือเป็นระบบที่ทำงานได้โดยลำพัง (Stand-alone Version)
- มีการเพิ่ม Tool ที่สำคัญในการทำงานของ Search and Rescue
- มีน้ำหนักที่น้อยลง พร้อมทั้งการออกแบบที่ทันสมัย
- สามารถทำการติดตั้ง (Installation) ที่สะดวก และรวดเร็วกว่า พร้อมทั้งขั้นตอนในการ Setting-to-Work ที่ง่ายขึ้น
- มีการออกแบบที่คำนึงถึงความคงทนต่อสภาพท้องทะเล

นอกเหนือจากการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นจากระบบ EOS 450 ที่กล่าวมาในข้างต้น ปัจจัยอีกหนึ่งปัจจัยที่มีทั้งความสำคัญและท้าทายในด้านการใช้งาน หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจหลักของระบบ Electro Optic อย่างระบบ EOS 500 ก็คือเรื่องการควบคุมการยิงอาวุธปืน (Gun Fire Control) เพราะนอกจากจะต้องมีการออกแบบที่ดีแล้ว ยังต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของระบบที่สูง หรือได้มาตรฐานเพียงพอสำหรับทำการยิงอาวุธปืน โดยจะมีการนำปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องมาประกอบการพิจารณา เช่น มีการพิจารณาตั้งแต่กระบวนการตรวจจับเป้าไปจนถึงลำดับในการยิง เป็นต้น อันจะเห็นได้ว่าการควบคุมการยิงอาวุธปืนไม่ได้เป็นเพียงแค่เรื่องของความสามารถในการติดตามเป้าที่แม่นยำ แต่ยังมีความเกี่ยวข้องในการประเมินถึงการดำรงอยู่ของเรือได้อีกด้วย ทำให้ทางบริษัท SAAB ได้นำปัจจัยนี้เข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบ และปรับปรุงระบบ EOS 500 ให้เป็นระบบที่มีขีดความสามารถในการควบคุมการยิงอาวุธปืนในระดับต้น ๆ ของโลก โดยจากข้อมูลอย่างเป็นทางของจากลูกค้าต่าง ๆ ที่ได้นำระบบ EOS 500 ไปใช้ในการควบคุมปืนหลายขนาด เช่น 5” 76 mm 57mm และ 40mm พบว่าในการยิงเป้าอากาศยาน มีจำนวนลูกกระสุนมากกว่า ๕๐ % ที่มีระยะห่างจากเป้าหมายไม่ถึง ๓ เมตร และ ๑๐๐ % ของลูกกระสุนมีระยะห่างจากเป้าหมายไม่เกิน ๖ เมตร



รูปภาพที่ ๑.๑วิวัฒนาการของระบบ EOS **500**

๑.๑ ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญของระบบ EOS 500 ประกอบด้วย

- Electro-optical Sensors

  TV Camera

  - ชื่อตราสินค้า AD Aerospace
  - รุ่น LS-1300
  - ชนิดของ Sensor CCD Array
  - Field of View มีได้หลายรูปแบบ

  IR Camera

  - ชื่อตราสินค้า Sagem
  - รุ่น Mantis STD
  - ประเภท 3rd Generation ๓-๕ หรือ ๘-๑๒ ไมโครเมตร InSb Focal Plane Array

  Laser Range Finder

  - ชื่อตราสินค้า Thales
  - รุ่น CELT-HR20K
  - ประเภท Low Hazard
  - PRF มีค่าสูง

- คุณลักษณะของสายอากาศ
  - ขอบเขตของมุมกระดก -๓๕ o ถึง +๘๕o
  - ขอบเขตของมุมหัน ไม่จำกัด
  - น้ำหนักโดยรวม (ประมาณ) ๑๒๕ กิโลกรัม
  - ความเร็วสูงสุด มากกว่า ๓ rad/s หรือ ๑๗๐o/s

- การทำ Designation ๑.๑ วินาที

- เวลาตอบสนอง (Reaction Time) ของระบบ EOS 500 ในแต่ละขั้นตอน
  - Director Slewing ๐ – ๑.๙ วินาที
  - Search Pattern ๐ – ๓.๐ วินาที
  - Operator Confirms Target ๐.๓ วินาที
  - Settling In Tracking Filter ๐.๕ วินาที
  - Ready To Fire (Total Time) ๐.๘ – ๕.๗ วินาที

๑.๒ ข้อแตกต่างระหว่างระบบ EOS 500 กับ CEROS 200

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบทั้งสอง จะสามารถจำแนกความเหมือนและความแตกต่างออกได้ดังนี้

- โครงสร้างที่เหมือนกัน
  - cPCI Cabinet
  - cPCI CPUs
  - cPCI I/O Boards
  - IR Camera
  - TV Camera
  - Video Tracker
  - การออกแบบ Servo และ Tracking Filter
  - Director Control Software ทั้งในส่วนของ Interface กับระบบ CMS และ HMI
  - ฟังก์ชันการใช้งานในระบบ 9LV
- โครงสร้างที่ต่างกัน
  - ระบบ EOS 500 ใช้ Electrical Motor ในส่วนของแท่นฐาน ในขณะที่ระบบ CEROS 200 ใช้ Hydraulic Drive
  - EOS Baseline Laser มี PRF ที่ต่ำกว่า
  - ระบบ EOS 500 ไม่มีเรดาร์เหมือนกับระบบ CEROS 200

๑.๓ โครงร่างของระบบ (System Layout)

การวางโครงร่างของระบบ EOS 500 จะแบ่งออกได้เป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ดังนี้

๑.๓.๑ Basic Units

- โครงแท่นฐานที่สามารถรองรับ Sensors ได้ ๓ อุปกรณ์
- Electronics Cabinet จำนวน ๒ ตู้

๑.๓.๒ Sensor

ระบบ Sensor ของระบบ EOS 500 จะประกอบด้วย ๓ ชนิดหลัก ๆ ได้แก่ กล้องทีวี (TV Camera) ที่สามารถทำการติดตามเป้าได้ และ ๓-๕ μm Thermal Imager (IR Camera) ที่ใช้ตรวจจับเป้าด้วยรังสี Infrared รวมไปถึง High-PRF Laser Range Finder ที่ใช้ในการระบุระยะของเป้าหมาย โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า หรือความเหมาะสมของงานที่จะนำไปใช้ เช่น ในบางกองทัพเรือต้องการที่จะใช้ IR Camera ที่ทำงานโดยความยาวคลื่น (Wavelength) ระหว่าง ๘-๑๒ μm แทน ๓-๕ μm Thermal Imager เป็นต้น

๑.๓.๓ Block Diagram

Block Diagram ของระบบ EOS 500 จะทำการแบ่งกลุ่มของอุปกรณ์ออกเป็น ๓ กลุ่มหลัก คือ อุปกรณ์ภายนอกตัวเรือ อุปกรณ์ภายในตัวเรือ และอุปกรณ์ที่ระบบต้องทำการเชื่อมต่อ โดยในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

- อุปกรณ์ภายนอกตัวเรือ
  - Optronics Director ที่ประกอบด้วย
  - TV Camera
  - IR Camera
  - Laser Range Finder
- อุปกรณ์ภายในตัวเรือ
  - Operator’s Console
  - Electronics Cabinet
- อุปกรณ์ที่ระบบต้องทำการเชื่อมต่อ
  - CMS
  - Radars
  - Meteorological Sensors
  - Navigation Sensors
  - Guns

การที่จะนำ Sensors ต่าง ๆ มาประกอบในสายอากาศของ EOS 500 นั้น จะต้องมีการทำ Alignment เสียก่อน เพื่อให้มั่นใจว่า Sensor ทุกตัวมีการชี้เป้าหมายไปยังจุดเดียวกัน และเพื่อให้ค่าความแม่นยำของระบบสูงขึ้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ Alignment (Accessory Kit) ของระบบ EOS 500 ประกอบด้วย

- Alignment Telescope
- Laser Telescope
- Excenter Tool
- Alignment Bar
- Diff Screw
- Clip on Laser Filter

- Lifting Eye
- Telescope Mounts
- Adapters
- Loctite
- Nuts
- Washers
- Screws

ในภาพรวมสามารถกล่าวได้ว่า ขั้นตอนในการทำ Alignment จะเริ่มจากการติดตั้งกล้อง Telescope ที่บริเวณด้านบนของ Rate Gyro ซึ่งจะเหมือนกับการติดตั้งกล้อง Telescope ของปืนไรเฟิล จากนั้นจะทำการเล็งกล้อง Telescope ไปยังจุดอ้างอิง (Reference Point) เดียวกันกับที่ Sensor ต่าง ๆ ทำการเล็งอยู่ โดยพนักงานที่รับผิดชอบจะทำการปรับแก้จนกว่า Crosshair ของทั้ง Telescope และ Sensor ชี้ไปที่จุดเดียวกัน หรือให้ซ้อนทับกัน

การเตรียมการก่อนที่จะเริ่มทำการ Alignment พนักงานจะต้องนำฝาครอบสายอากาศทั้งด้านซ้าย และขวาออกเสียก่อนทั้งนี้เพราะ

- ในการติดตั้ง Telescope บริเวณด้านบนของแท่นฐาน Rate Gyro จะไม่สามารถดำเนินการได้ถ้ายังมีฝาครอบสายอากาศอยู่ เพราะขนาดพื้นที่ที่จำกัด
- จากการออกแบบระบบ EOS 500 ให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดทำให้การเข้าถึงในการที่จะดำเนินการปรับแก้อุปกรณ์ต่าง ๆ จะเป็นไปไม่ได้ถ้าไม่นำฝาครอบสายอากาศออก
- ในการทำ Alignment อาจจะต้องมีการย้าย หรือนำ Sensor ออก เพื่อจะติดตั้งอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ทำให้เป็นการที่ดีกว่าถ้าจะนำฝาครอบออกในขั้นตอนแรก

ขั้นตอนหลังจากนำฝาครอบสายอากาศทั้งสองออกแล้วนั้น เป็นขั้นตอนในการติดตั้งกล้อง Telescope และ Differential Screw ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำการปรับแก้ค่าที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๑

รูปภาพที่ ๑.๑การติดตั้งกล้อง Telescope และ Differential Screw

การทำ Alignment ในส่วนของ TV Camera มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

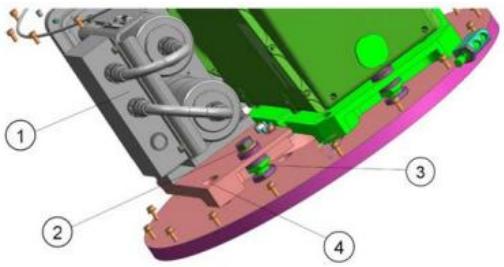
- ปรับ Man Aloft Switch อยู่ในตำแหน่ง OFF
- ติดตั้ง Telescope บนแท่นฐานของ Rate Gyro
- หาจุดอ้างอิง (Reference Point) ที่อยู่ห่างออกไปอย่างน้อย ๓ กิโลเมตร

- ให้พนักงานหมุนสายอากาศแบบ Manual จนกระทั่ง Cross Hair ของ Telescope อยู่ที่ตำแหน่งของจุดอ้างอิงพอดี
- ให้พนักงานดูภาพ TV ที่ Console และตรวจสอบว่า Cross Hair ของทั้งภาพ TV และ Telescope นั้นตรงกันหรือไม่

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสังเกตของพนักงาน โดยถ้า Cross Hair ทั้งสองตรงกันจะไม่จำเป็นต้องทำการ Alignment ใด ๆ อีก แต่ในกรณีที่ Cross Hair ทั้งสองไม่ตรงกันจะต้องดำเนินการทำ Alignment ต่อไป โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- คลายน๊อตสองตัวหน้าบริเวณ Alignment Plate ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๒
- ปรับแก้ระยะทางกระดก (Elevation) ด้วยอุปกรณ์ Excenter Tool ตรงบริเวณที่ ๔ ในรูปภาพที่ ๑.๓
- ปรับแก้ระยะทางหัน (Bearing) โดยการปรับน๊อตตรงบริเวณที่ ๓ ในรูปภาพที่ ๑.๓

รูปภาพที่ ๑.๒ Alignment Plate



รูปภาพที่ ๑.๓บริเวณที่จะทำการปรับแก้ในทางหัน และกระดกของ TV Camera

เมื่อทำการปรับแก้จน Cross Hair ของทั้งภาพ TV ใน Console และ Telescope ตรงกันแล้วนั้น ให้ทำการกวดน๊อตทุกตัวให้แน่น และทำการตรวจสอบอีกครั้งก่อนที่จะมีการหัน หรือกระแทกของสายอากาศ

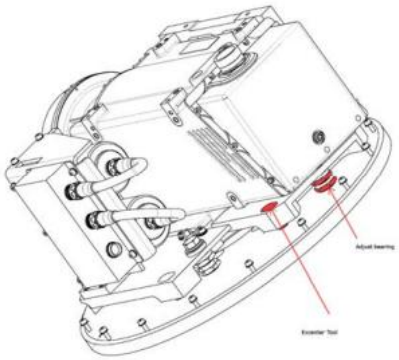
รูปภาพที่ ๑.๔ตัวอย่างการเล็งจุดอ้างอิง (Crosshair) ของ TV Camera

การทำ Alignment ในส่วนของ IR Camera จะมีความคล้ายคลึงกับของ TV Camera โดยจะมีการติดตั้งกล้อง Telescope ที่เหมือนกัน และมีขั้นตอนดำเนินการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

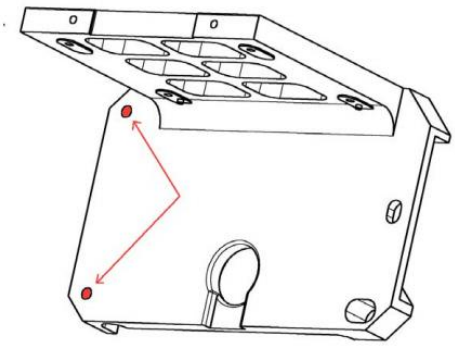
- หา Reference Point ที่อยู่ห่างออกไปอย่างน้อย ๓ กิโลเมตร
- เริ่มการทำงาน Fire Control System (FCS) จาก Console
- ทำการหมุนสายอากาศด้วยมือ จนกระทั่ง Cross Hair ของกล้อง Telescope ทำการเล็งที่ Reference Point พอดี
- ทำการเลือก IR Video บน Console ที่ทำการควบคุมสายอากาศ จากนั้นทำการปรับ Fixed Cross Hair ให้อยู่ตำแหน่ง ON และทำการสังเกต Cross Hair ของทั้ง IR Video และกล้อง Telescope

ถ้า Cross Hair ทั้งสองไม่ได้เล็งอยู่ที่จุดเดียวกันจำเป็นต้องทำการ Alignment ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ทำการคลายน๊อตสองตัวดังในรูปภาพที่ ๑.๖บริเวณด้านหน้าของ IR Camera Alignment Plate
- ทำการคลาย Alignment Lock Nut บน IR Alignment Plate
- ติดตั้ง Excenter Tool เข้าไปใน Elliptic Hole บน Alignment Plate โดยถ้าจำเป็นให้ทำการถอด IR Camera ออกก่อนที่จะมีการติดตั้ง Excenter Tool ก่อนนำ IR Camera มาติดตั้งกลับอีกครั้งหนึ่ง
- ทำการปรับแก้ค่าทางกระดกด้วย Excenter Tool จนกระทั่ง Cross Hair ของทั้ง IR Video และ Telescope มีระดับความสูงที่ตรงกันให้หยุดการปรับแก้ โดยค่าแตกต่างที่ยอมรับได้คือ ±๐.๒ mrad
- ทำการกวดน๊อตสองตัวบริเวณด้านหน้าของ IR Camera Alignment Plate ให้แน่น
- ทำการปรับแก้ค่าทางหันโดยการปรับ Alignment Locking Nut จนกระทั่ง Cross Hair ทั้งสองเล็งไปที่จุดเดียวกัน
- ทำการกวดน๊อตทุกตัวให้แน่นก่อนที่จะทำการถอด IR Camera ออก เพื่อที่จะสามารถนำ Excenter Tool ออกได้ หลังจากนั้นทำการติดตั้ง IR Camera กลับไปดังเดิม
- ทำการถอดกล้อง Telescope ออก และดำเนินการติดตั้งฝาครอบสายอากาศกลับไปดังเดิม



รูปภาพที่ ๑.๕บริเวณที่จะทำการปรับแก้ในทางหัน และกระดกของ IR Camera



รูปภาพที่ ๑.๖IR Camera Alignment Plate

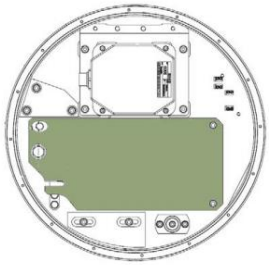
ในส่วนการทำ Alignment ของ Laser Range Finder จะมีความแตกต่างกับ TV Camera และ IR Camera เนื่องจากมีการใช้ Telescope เพิ่มเข้ามาอีกตัวหนึ่ง (ใช้ Telescope ทั้งหมดสองตัว) โดยตัวที่สองจะติดตั้งที่ Laser Range Finder เพราะอุปกรณ์ Laser Range Finder นั้นไม่มีหน้าจอแสดงผลเหมือนกับ TV Camera และ IR Camera ทำให้ต้องใช้กล้อง Telescope เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งหลังจากทำการติดตั้งกล้อง Telescope ที่ใช้เป็นอุปกรณ์อ้างอิงเสร็จแล้ว ขั้นตอนการเตรียมการในการทำ Alignment จะประกอบด้วย

- นำอุปกรณ์ถ่วงความสมดุล (Balancing Weight) ที่อยู่ด้านล่างของอุปกรณ์ Laser ออกดังบริเวณที่ ๑ ในรูปภาพที่ ๔.๗โดยให้ทำการสังเกตตำแหน่งที่นำอุปกรณ์ถ่วงความสมดุลออกมา เพื่อที่จะสามารถนำไปติดตั้งกลับ ณ ตำแหน่งเดิมได้อย่างถูกต้อง
- ทำการถอด Laser ออก
- ติดตั้ง Alignment Bar Laser Mounting Plate และ Laser Telescope บน Alignment Bar
- หา Reference Point ที่อยู่ห่างออกไปอย่างน้อย ๕ กิโลเมตร
- ทำการหันสายอากาศด้วยมือจนกระทั่งกล้อง Telescope ชี้ไปที่จุดอ้างอิงที่ต้องการพอดี
- ทำการสังเกตที่กล้อง Telescope อีกตัวหนึ่งว่ามีการชี้ไปที่จุดอ้างอิงเดียวกันหรือไม่

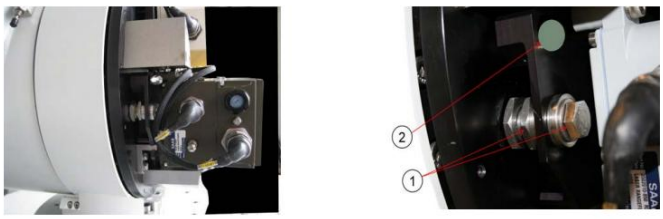
รูปภาพที่ ๔.๗ Laser Balancing Weight

โดยขั้นตอนต่อไปถ้ากล้อง Telescope ทั้งสองไม่ได้ชี้ไปยังจุดอ้างอิงเดียวกัน จำเป็นต้องมีการทำ Alignment โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- คลายน๊อตสองตัวบริเวณด้านหน้าของ Laser Alignment Plate
- ทำการคลาย Alignment Locking Nut บน Laser Alignment Plate
- ทำการติดตั้ง Excenter Tool ใน Elliptic Hole ใน Alignment Plate
- ปรับแก้ค่าผิดพลาดทางกระดกของ Laser โดยการปรับ Excenter Tool จนกระทั่ง Cross Hair ของกล้อง Telescope ทั้งสองมีระดับความสูงที่เท่ากัน
- ทำการกวดน๊อตสองตัวบริเวณด้านหน้าของ Laser Alignment Plate ให้แน่น
- ปรับแก้ค่าผิดพลาดทางหันของ Laser โดยการปรับ Alignment Locking Nut ด้วยคีมปากตาย (Spanner) จนกระทั่ง Cross Hair ของกล้อง Telescope ทั้งสองตรงกัน
- ทำการกวด Rear Alignment Screw และ Alignment Locking Nut ดังบริเวณที่ ๑ ในรูปภาพที่ ๑.๙ให้แน่น

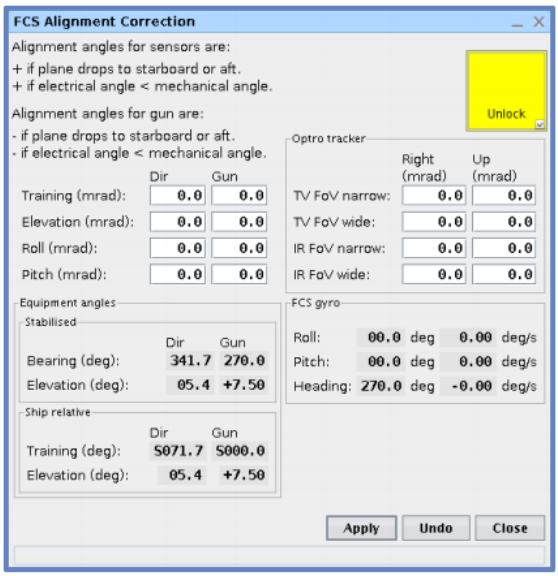


รูปภาพที่ ๑.๘ Laser Alignment Plate



รูปภาพที่ ๑.๙ Alignment Locking Nut

นอกเหนือจากการทำ Alignment ในทางกายภาพดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ระบบ CMS ยังมี Software ได้แก่ FCS Alignment Correction ที่สามารถใช้ในการปรับแก้การทำ Alignment ในขั้นตอนสุดท้ายได้อีกด้วยซึ่งเป็นฟังก์ชั่นที่สามารถทำการเลือกได้จาก Weapons/Dir Settings/FCS Alignment เพื่อที่จะเรียกดู FCS Alignment Correction Form อย่างไรก็ตามฟังก์ชั่นการทำงานนี้สมควรจะใช้เมื่อจำเป็นเท่านั้น



รูปภาพที่ ๑.๑๐ตัวอย่าง FCS Alignment Correction

๑.๓.๔ Man Aloft Switch

Man Aloft Switch เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในส่วนของความปลอดภัย (Safety Device) โดยเมื่อถูกใช้งานจะทำการตัดไฟทั้งหมดที่จะถูกส่งไปยัง Director เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ที่จะไปทำงานใกล้กับสายอากาศ

รูปภาพที่ ๑.๑๑ Man Aloft Switch

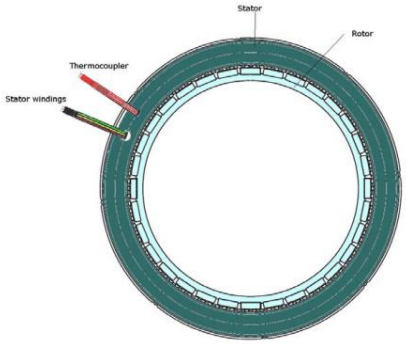
๑.๓.๕ Sensor Platform

ในระบบ EOS 500 มีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ๓ เฟส (3 Phase Electrical Motor) ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๑๒ที่มีค่าความแม่นยำสูงในการควบคุมการหัน และกระดกของ Director โดยสาเหตุที่ไม่ใช้ Hydraulic Motor เหมือนในระบบ CEROS 200 เนื่องจากระบบ EOS 500 มีข้อจำกัดในเรื่องน้ำหนักรวมของระบบ ที่ทางบริษัท SAAB ต้องการให้มีน้ำหนักเบาที่สามารถนำไปติดตั้งในชุดเรือขนาดเล็กได้ ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ประกอบด้วยกัน ๒ ส่วน ได้แก่ มอเตอร์ควบคุมการหัน (Azimuth Motor) ที่สามารถควบคุมการหันได้อย่างอิสระ ๓๖๐ องศา และมอเตอร์ควบคุมการกระดก

(Elevation Motor) ที่สามารถควบคุมการกระดกได้ตั้งแต่มุม –๓๕ องศา จนถึง +๘๕ องศา โดยมอเตอร์ทั้งสองจะมีโครงสร้าง และการทำงานที่เหมือนกัน ยกเว้นเรื่องของขนาดที่จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

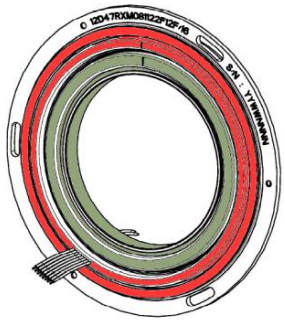
ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญของระบบแท่นฐานประกอบด้วย

- Angular Acceleration มากกว่า ๑๐ rad/s^2
- Angular Speed มากกว่า ๓ rad/s
- Stabilization Accuracy น้อยกว่า ๐.๐๕ mrad RMS
- Weight น้อยกว่า ๑๐๐ kg (ไม่รวม Sensors)
- Payload น้อยกว่า ๕๐ kg



รูปภาพที่ ๑.๑๒3 Phase Electrical Motor

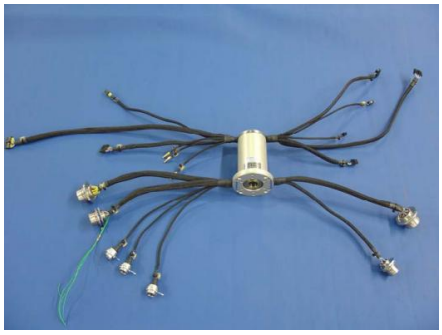
ส่วนประกอบอีกอย่างที่สำคัญของระบบแท่นฐานก็คือ Resolver มีประโยชน์ในการวัดค่ามุม หรือตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปของมอเตอร์ไฟฟ้า แสดงได้ตามรูปภาพที่ ๑.๑๓



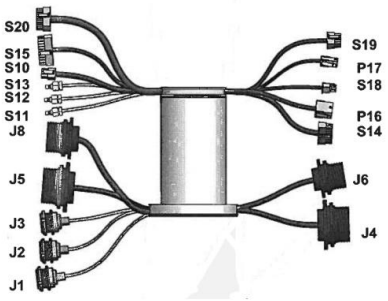
รูปภาพที่ ๑.๑๓ Resolver

๑.๓.๖ Slip Ring

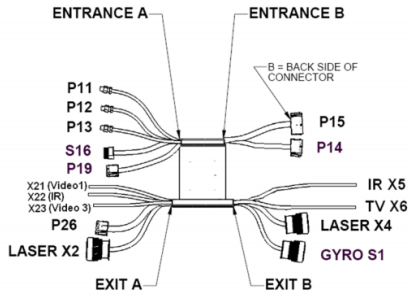
เพื่อให้การขับเคลื่อนของสายอากาศในระบบ EOS 500 เป็นไปด้วยความราบลื่นทั้งทางหัน และกระดก บริษัท SAAB ได้มีการนำ Slip Ring มาเป็นอุปกรณ์ในการแลกเปลี่ยนข้อมูล และสัญญาณไฟฟ้า (Electrical Signals) ระหว่างส่วนประมวลผล/ควบคุม กับสายอากาศ ดังในรูปภาพที่ ๑.๑๔



รูปภาพที่ ๑.๑๔ Slip Ring ในระบบ EOS 500



รูปภาพที่ ๑.๑๕ Azimuth Slip Ring



รูปภาพที่ ๑.๑๖ Elevation Slip Ring

๑.๓.๗ EOS Cabinet

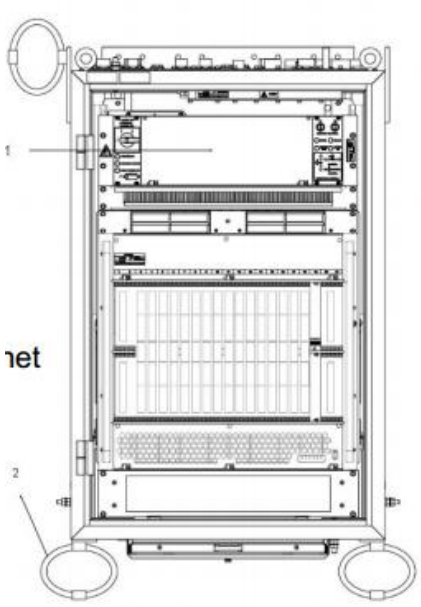
ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญของ EOS Cabinet ประกอบด้วย

- Dimensions ๙๓๐ mm (สูง) x ๕๘๕ mm (กว้าง) x ๖๕๗.๕ mm (ลึก)
- Weight ๑๒๕±๑๐ kg (รวม Shock Absorber)
- Voltage ๑๑๕ VAC ๖๐ Hz
- Power Consumption ๑๕๐๐ W (ที่ Maximum Load of Output)

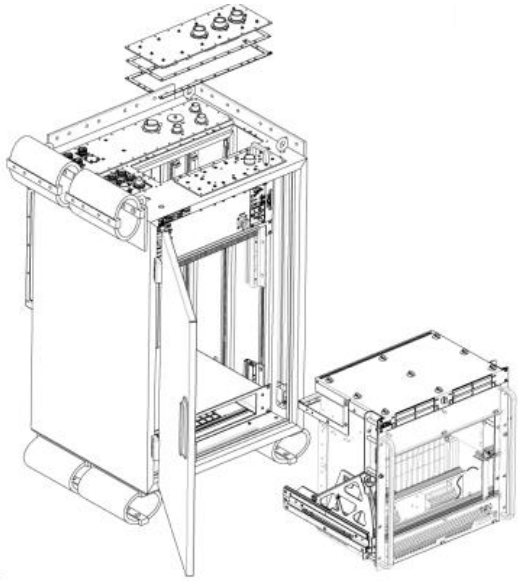
ระบบ EOS 500 ได้มีการใช้ Cabinet ขนาด ๑๙ นิ้ว ตามมาตรฐาน MIL Standard ที่ถูกออกแบบมาให้สามารถทนทานต่อสภาพการใช้งานภายในเรือรบ วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต EOS Cabinet คือ

Aluminum โดยมีการติดตั้ง Shock Mount หรือ Anti-vibration ควบคู่มากับ Cabinet เพื่อป้องกันอันตรายจากการสั่นสะเทือน อีกทั้งยังถูกออกแบบให้มีการป้องกันเรื่องของ EMI/EMC อีกด้วย โดยภายในประกอบด้วย Combat Management Computer (CMC) ที่ทำงานภายใต้ cPCIซึ่งจะประกอบด้วยคอมพิวเตอร์อยู่ด้วยกันหลายตัว และครอบคลุมการทำงานดังต่อไปนี้

- Director Servo Control
- Director and Sensor Control
- Video Tracking
- Target Filtering



รูปภาพที่ ๑.๑๗EOS Cabinet (๑)

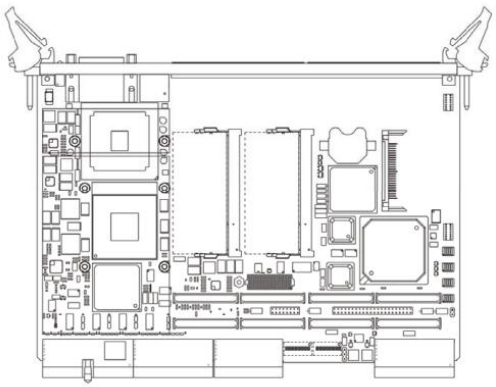


รูปภาพที่ ๑.๑๘EOS Cabinet(๒)

CMC จะทำการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบ CMS ภายใต้ Ethernet Network โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- Single Board Computer

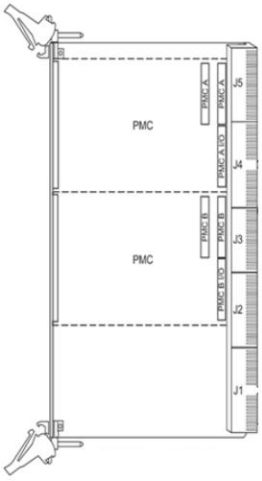
เป็นคอมพิวเตอร์ที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Linux ซึ่งสามารถรองรับการทำงานของ Intel Core i7 ได้สูงสุด ๒.๕๓ GHz และ DDR3-1066 SDRAM ได้สูงสุด ๘ Gbytesอีกทั้งประกอบด้วยช่องสัญญาณ RS422 Asynchronous Serial Port จำนวน ๒ พอร์ต และ USB จำนวน ๑ พอร์ต



รูปภาพที่ ๑.๑๙EOS 500 Single Board Computer

- PMC Carrier Boards

เป็นอุปกรณ์ต่อขยายเพื่อให้ Single Board Computer สามารถทำการเชื่อมต่อ/ติดตั้ง PMC ได้หลายหลายตัวในเวลาเดียวกันโดยมีตำแหน่งการวางอยู่บริเวณด้านหน้าของ CMC



รูปภาพที่ ๑.๒๐PMC Carrier Board

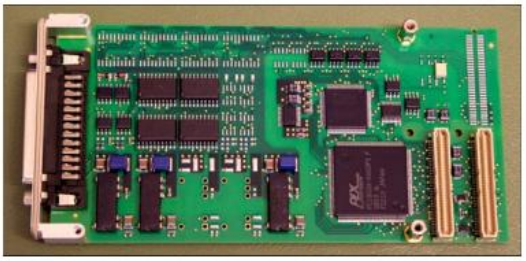
- PMC Modules

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลง หรือเชื่อมต่อสัญญาณต่าง ๆ ของระบบ โดยในระบบ EOS 500 ประกอบด้วย PMC Card ดังต่อไปนี้

- Resolver SB-36410IX PMC Card : ทำหน้าที่แปลงสัญญาณการหัน และกระดกของสายอากาศให้เป็นสัญญาณดิจิตอล

รูปภาพที่ ๑.๒๑ Resolver SB-36410IX PMC Card

- D/A 551 PMC Card : ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อใช้ในการควบคุมสายอากาศ

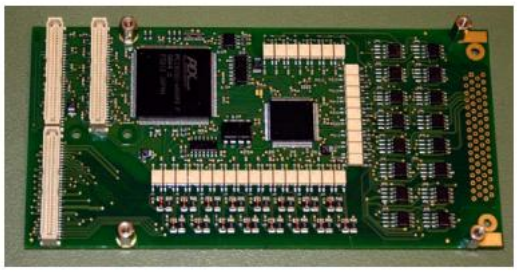


รูปภาพที่ ๑.๒๒D/A 551 PMC Card

- 32 Channels A/D PMC : ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกจากสายอากาศให้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่ใช้ในคอมพิวเตอร์

รูปภาพที่ ๑.๒๓32 Channels A/D PMC

- Digital I/O PMC : ทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณที่รับมาจาก Director และ Sensors รวมทั้ง Power Control Unit และจะทำการส่งต่อไปยัง SIU เพื่อควบคุม Power Switch ให้กับสายอากาศ



รูปภาพที่ ๑.๒๔ Digital I/O PMC

- Video Tracking Processor

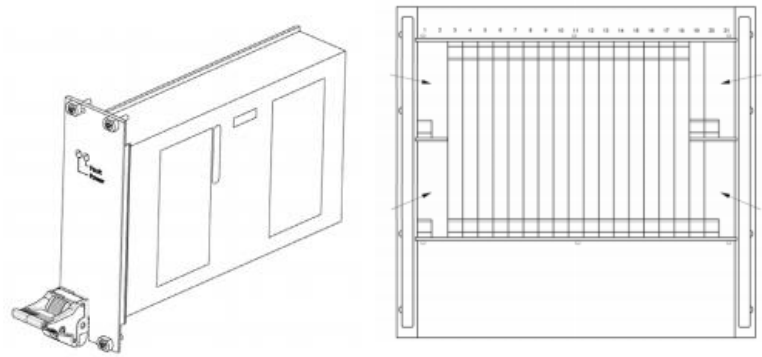
  เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการประมวลผลการติดตามเป้าวิดีโอ โดยหลักการทำงานได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ ๔.๓.๒.๔.๕เรื่องVideo TrackerFunction

- Ethernet Switches

  ประกอบด้วยพอร์ตทั้งหมดจำนวน ๑๒ พอร์ต โดยสามารถรองรับความเร็วในการส่งได้ทั้ง ๑๐๐ และ ๑๐๐๐ Mbit/s

- CMC Power Units

  CMC Power Units จะทำงานที่ ๑๑๕ VAC ๕๐ Hz และทำการจ่ายไฟ ๓.๓ VDC ๕ VDC และ ๑๒ VDC ให้กับ CMC โดยประกอบด้วย Power Supply Unit ทั้งหมด ๔ ตัว ซึ่งจะถูกการติดตั้งอยู่ข้างละ ๒ ตัวเพื่อประโยชน์ในด้าน Redundancy ของระบบ การจ่ายไฟของ CMC Power Units จะถูกควบคุมผ่านทาง Supervision Units (CMM) และมีหลอดไฟ LED แสดงสถานะอยู่ ๒ หลอดได้แก่ สีเขียวที่แสดงถึงสถานะปกติ และสีแดงที่แสดงถึงการตรวจพบสิ่งผิดปกติ (Fault Indication)



รูปภาพที่ ๑.๒๕CMC Power Units

- Supervision Units (CMM)

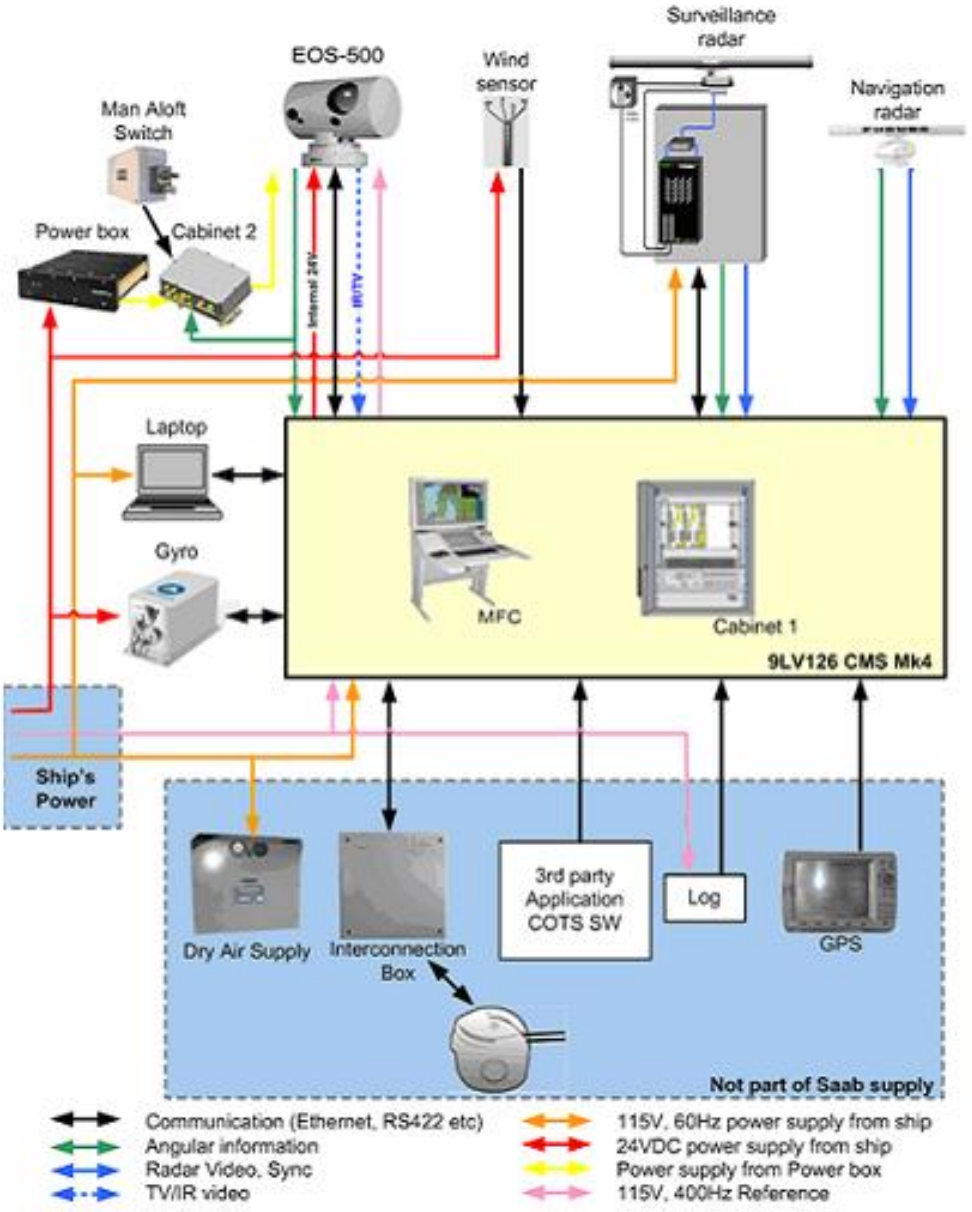
  เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ใน CMC เพื่อทำการควบคุม และตรวจตราข้อมูลดังต่อไปนี้

  - อุณหภูมิใน CMC
  - Power Supply
  - การทำงานของ Fan Unit
  - HD Chasis

รูปภาพที่ ๑.๒๖CMM

- Cooling

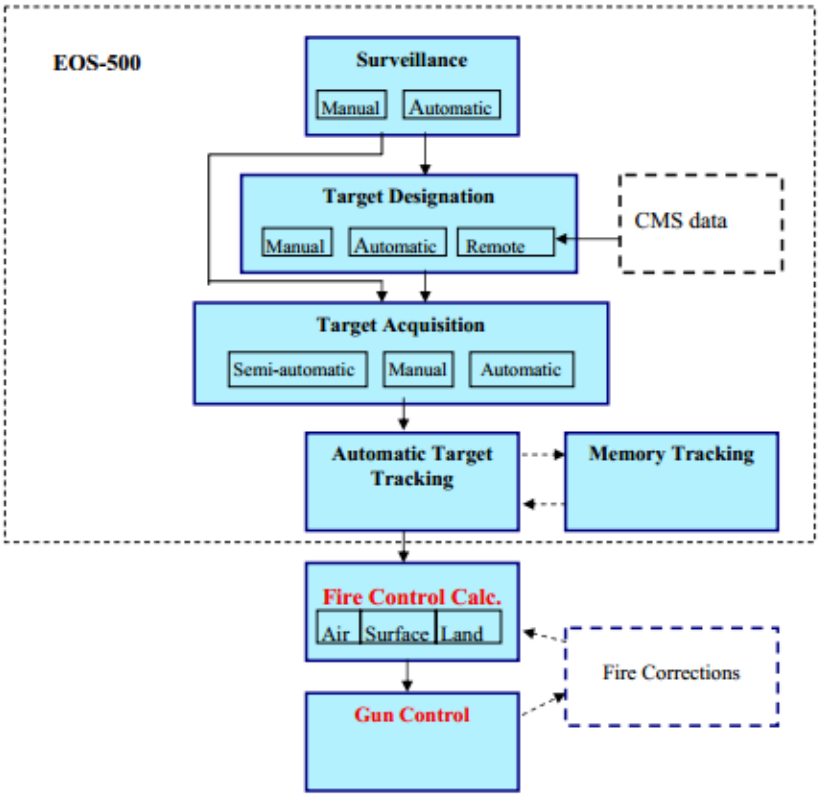
EOS Cabinet มีการระบายความร้อนด้วยพัดลมซึ่งมีการติดตั้งอยู่ด้วยกัน ๒ ที่คือ บริเวณด้านล่างของ Cabinet และบริเวณ Hard Disk Rack โดยพัดลมที่ติดตั้งด้านล่างของ Cabinet จะทำการดูดอากาศเย็นจากภายนอกเข้ามาใน Cabinet ก่อนที่จะถูกระบายออกบริเวณด้านบนของ Cabinet ส่วนพัดลมที่ติดตั้งบริเวณ Hard Disk Rack จะทำการดูดอากาศจากภายใน Cabinet เพื่อทำการระบายความร้อนให้กับ Hard Disk โดยเฉพาะ เนื่องจาก Hard Disk เป็นอุปกรณ์ที่ต้องการการระบายความร้อนที่มากกว่าอุปกรณ์อื่น ๆ



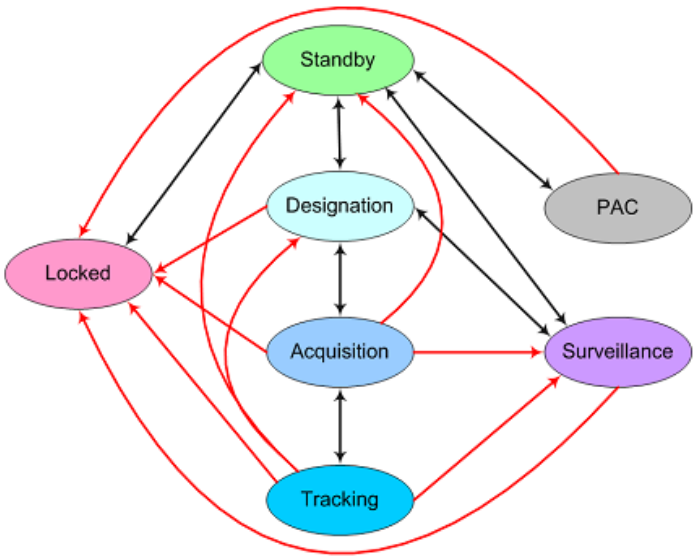
รูปภาพที่ ๑.๒๗ตัวอย่างการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ของระบบ EOS 500

๑.๔ Operational Function

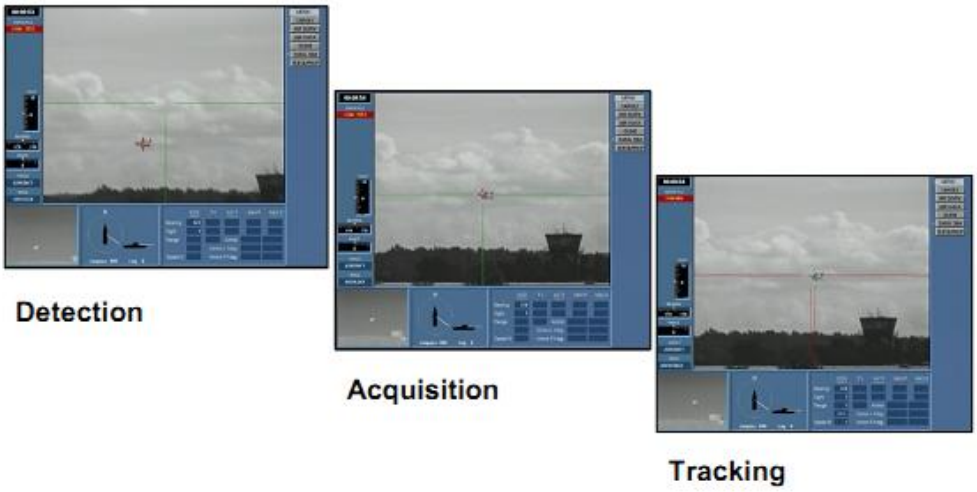
ในระบบ EOS 500 มีลำดับการทำงานต่าง ๆ ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๒๘ โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปภาพที่ ๑.๒๘ลำดับการทำงานของระบบ EOS 500



รูปภาพที่ ๑.๒๙ผังงานการทำงานของระบบ EOS 500



รูปภาพที่ ๑.๓๐ขั้นตอนในการติดตามเป้าของระบบ EOS 500

๑.๔.๑ Surveillance

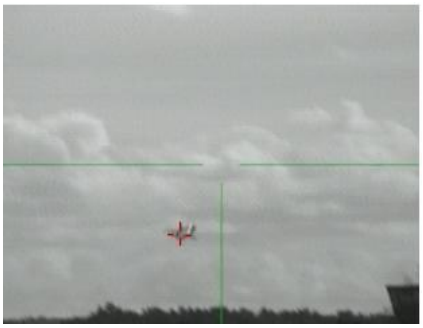
การทำการตรวจตรา (Surveillance) ของระบบ EOS 500 สามารถควบคุม และสั่งการได้โดยตรงจากพนักงาน โดยในระหว่างการใช้งานในโหมด Surveillance การทำงานในโหมดย่อยดังต่อไปนี้สามารถถูกเลือกมาใช้พร้อมด้วยการแสดงถึงทิศทางและมุมของเป้าที่หน้าจอแสดงผล

- Sector Surveillance
  เป็นการกวาดภาพ (Scan) โดยอัตโนมัติตามแนว Horizon ภายใน Sector ที่ระบุไว้
- Elevation Search
  เป็นการทำการค้นหาถึงความสูงของเป้าโดยอัตโนมัติภายใน Bearing ที่กำหนด
- Raster Search
  เป็นการทำ Raster Search ทั้งใน Bearing และ Elevation โดยอัตโนมัติภายในมุมที่กำหนด
- Manual Control
  พนักงานสามารถควบคุมให้สายอากาศด้วยตนเอง โดยใช้ Trackball Joystick หรืออุปกรณ์ที่ใกล้เคียง

๑.๔.๒Target Designation

การทำ Target Designation สามารถกระทำได้โดยหลายวิธี ได้แก่

- เมื่อพนักงานตรวจพบเป้าใน Video Picture จะสามารถทำการ Designation ด้วยตนเองได้
- เมื่อ Video Tracker ทำการระบุถึงเป้าเคลื่อนที่ที่อยู่ในหน้าจอแสดงผล ดังที่แสดงในรูปภาพที่ ๑.๓๑ระบบ EOS 500 จะทำการ Designation โดยอัตโนมัติ
- เมื่อได้รับข้อมูลตำแหน่งของเป้าจาก CMS ระบบ EOS 500 จะเริ่มทำการ Designation เช่นกัน



รูปภาพที่ ๑.๓๑ตัวอย่างการระบุเป้าโดยอัตโนมัติของ Video Tracker

๑.๔.๓Target Acquisition

สามารถดำเนินการได้ ๓ วิธี ได้แก่

- อัตโนมัติ (Automatic)

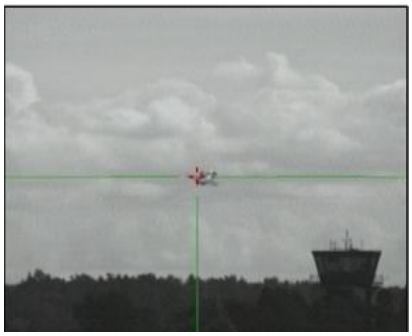
ระบบจะทำการ Acquisition โดยอัตโนมัติเมื่อเริ่มมีการติดตามเป้าที่มีการเคลื่อนที่เข้าใกล้กึ่งกลางของภาพ/จอแสดงผล

- กึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic)

ระบบจะทำการ Acquisition โดยอัตโนมัติเมื่อเริ่มมีการติดตามเป้าที่มีการเคลื่อนที่เข้าใกล้กึ่งกลางของภาพ/จอแสดงผล ภายหลังจากได้รับการยอมรับจากพนักงาน

- ด้วยตนเอง (Manual)

ระบบจะทำการ Acquisition โดยอัตโนมัติภายหลังจากพนักงานทำการเลื่อน Tracking Gate ไปยังจุดที่มีความแตกต่างระหว่างเป้ากับพื้นหลัง ก่อนจะเริ่มทำการติดตามเป้า



รูปภาพที่ ๑.๓๒ Target Acquisition

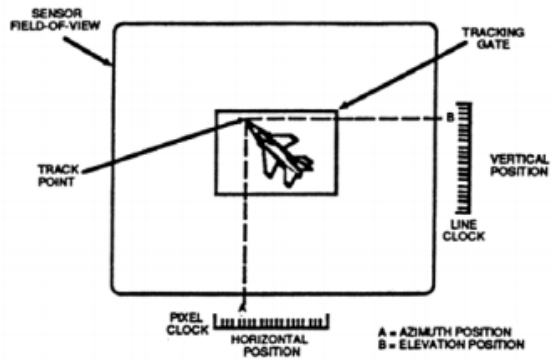
๑.๔.๔Target Tracking

จากเอกสารของ George Downey, E-O Imaging, Inc, Dr.LarryStakom, Battelle, “Electro-Optical Tracking Systems Considerations”, pp. 8-12 ได้กล่าวไว้ว่า เทคนิคในการติดตามการเคลื่อนที่ของเป้าจะประกอบด้วยกัน ๓ ประเภทดังนี้

- Edge Tracking

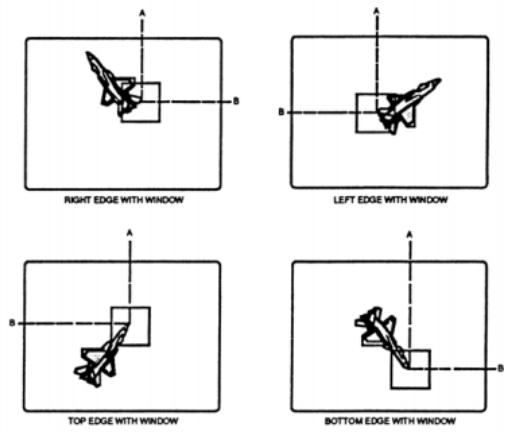
เป็นการประมวลผล และติดตามเป้าที่จุดใดจุดหนึ่งของวัตถุที่แสดงใน Gate (เป้า) โดยที่จะไม่สนใจถึงส่วนอื่น ๆ ของเป้าที่เหลือ ซึ่งเป็นจุดที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Contrast ที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของระดับความต่างศักย์ในสัญญาณวีดีโอ การทำงานจะเริ่มต้นเมื่อมีสัญญาณ Video Pulse ของเป้าที่ต้องการปรากฏขึ้น

ระบบจะทำการบันทึกตำแหน่งของเป้าทั้งทาง Horizontal และ Vertical เพื่อใช้ในการคำนวณหา Error Signal ที่จะใช้ในการควบคุมระบบ Servo ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๓๓



รูปภาพที่ ๑.๓๓ Edge Tracking

การติดตามเป้าแบบ Edge Tracking สามารถดำเนินการได้ ณ ที่ส่วนต่าง ๆ ของเป้า ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๓๔



รูปภาพที่ ๑.๓๔การติดตามเป้าที่ส่วนต่าง ๆ ของ Edge Tracking

- Centroid Tracking

เป็นการติดตามเป้าโดยอาศัย Digital Mapping ของภาพเป้า และวิเคราะห์การกระจายความเข้มของภาพวีดีโอ (Video Intensity Distribution) เพื่อหาจุดศูนย์กลาง และขนาดของเป้า แล้ววางตำแหน่งนี้ไว้ที่กึ่งกลางของ Tracking Gate ปกติแล้วมักใช้กับเป้าที่มีขนาดเล็กกว่า Tracking Gate และใช้ได้ดีกับเป้าอากาศยาน โดยขั้นตอนในการหาจุดศูนย์กลางของเป้าประกอบด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

- (A+B)/2 Centroid Algorithm

วิธีการหาจุดศูนย์กลางของเป้าแบบ (A+B)/2 Centroid Algorithm ถือได้ว่าเป็นวิธีการที่เพิ่มเติมมาจากการทำ Edge Tracking โดยได้มีการนำขอบทั้งสี่ด้าน ได้แก่ บน ล่าง ซ้าย และขวา ของเป้ามาใช้ในการคำนวณ ทำให้ได้แกนของจุดที่จะดำเนินการติดตามเป็นจุดกึ่งกลางของขอบทั้งหมด ซึ่งใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$X_{Cent} = \frac{X_{RE} + X_{LE}}{2} \text{ และ } Y_{Cent} = \frac{Y_{BE} + Y_{TE}}{2}$$

โดยที่

X_{RE}คือ Right Edge

X_{LE}คือ Left Edge

Y_{TE}คือ Top Edge

Y_{BE} คือ Bottom Edge

จากการพิจารณาสมการด้านบนจะพบว่า วิธีการหาจุดศูนย์กลางแบบ (A+B)/2 Centroid Algorithm มีข้อจำกัดที่เห็นได้ชัดคือ มีการนำข้อมูลแค่ ๒ จุดในแต่ละแกนมาใช้ในการคำนวณ ทำให้ค่า Error ของเป้าจะแปรผันกันลักษณะรูปร่างของเป้านั้น ๆ

- Area Balance Algorithm

เป็นการหาจุดศูนย์กลางของเป้าโดยพิจารณาจากความสมดุลของพื้นที่ทั้งหมดเป้าที่อยู่บริเวณตรงกันข้ามกับ System Null Point ซึ่งข้อจำกัดของวิธีการหาจุดศูนย์กลางวิธีนี้ยังคงเป็นเรื่องของขนาด และรูปร่างของวัตถุเช่นเดียวกับวิธี (A+B)/2 Centroid Algorithm นั่นเอง

- Center-of-Mass Algorithm

เป็นการหาจุดศูนย์กลางของเป้าที่มีการแบ่งการพิจารณามวลของวัตถุที่ต้องการออกเป็นพิกเซล (Pixel) ย่อย ๆ ในสองมิติ (X และ Y) โดยมวลของวัตถุที่นำมาพิจารณาจะได้มาจากผลรวมของมวลย่อย ๆ ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$M = m_1 + m_2 + \cdots + m_n$$

โดยที่

M คือ มวลรวมของเป้า

m_nคือ มวลย่อยของเป้า

ในการพิจารณาถึงมวลของเป้าในแต่ละมิติสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$M_x = m_1 x_1 + m_2 x_2 + \cdots + m_n x_n$$

$$M_y = m_1 y_1 + m_2 y_2 + \cdots + m_n y_n$$

ทำให้วิธีการหาจุดศูนย์กลางแบบ Center-of-Mass Algorithm สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ว่า

$$\frac{\sum_{i=0}^{m} X_i}{\sum_{j=0}^{n} M_j} = X_{PE}Centroid + Remainder$$

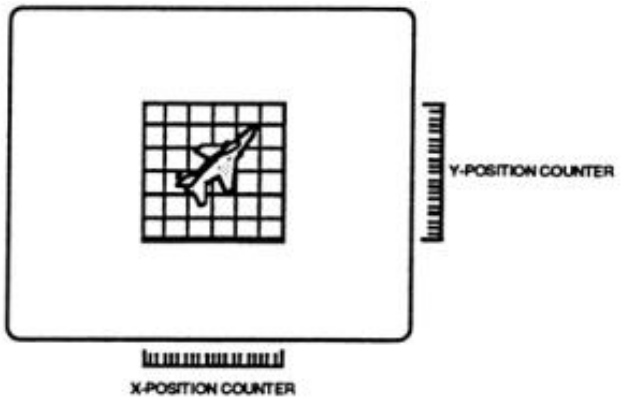
$$\frac{\sum_{i=0}^{m} Y_i}{\sum_{j=0}^{n} M_j} = Y_{PE}\,Centroid + Remainder$$

โดยที่

Xi คือ ตำแหน่งของเป้าในแนวแกน X ที่พิกเซลที่ i เหนือ Threshold

Yi คือ ตำแหน่งของเป้าในแนวแกน Y ที่พิกเซลที่ I เหนือ Threshold

m,nคือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดที่เหนือ Threshold



รูปภาพที่ ๑.๓๕ Center-of-Mass Algorithm

- Intensity Centroid Algorithm

เป็นการหาจุดศูนย์กลางของเป้าที่พัฒนามาจากวิธี Center-of-Mass Algorithm โดยมีการนำค่าความเข้มข้น (Intensity) ในแต่ละพิกเซลมาประกอบในการคำนวณ ดังแสดงในสมการด้านล่างทั้งสอง

$$X_{Intensity\ \ Centroid} = \frac{\sum_{i=0}^{m} I_i X_i}{\sum_{j=0}^{n} I_j}$$

$$Y_{Intensity\ \ Centroid} = \frac{\sum_{i=0}^{m} I_i Y_i}{\sum_{j=0}^{n} I_j}$$

โดยที่

I_iคือ ค่าความเข้มข้นของพิกเซล (Pixel Intensity Value)

X_i คือ ตำแหน่งของเป้าในแนวแกน X ที่พิกเซลที่ i

Y_i คือ ตำแหน่งของเป้าในแนวแกน Y ที่พิกเซลที่ i

m,nคือ จำนวนพิกเซลทั้งหมด

- Correlation Tracking

เป็นการติดตามเป้าที่มีการวัดตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของเป้ากับภาพอ้างอิง (Reference Image) ที่ประกอบด้วยคุณลักษณะของเป้า (Target Signature) และพื้นที่ในการค้นหา (Search Area) โดยข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของการติดตามเป้าแบบ Correlation Tracking ที่เหนือกว่าแบบ Edge Tracking และ Centroid Tracking ก็คือเรื่องความสามารถในการติดตามเป้าแบบเฉพาะเจาะจงได้ในกรณีที่มีจำนวนเป้ามากกว่า ๑ เป้าปรากฏใน Tracking Gate

การทำงานของ Correlation Tracking จะมีการนำภาพ Video จำนวนหลาย ๆ ภาพมาใช้ในการประมวลผลโดยพร้อมกันที่อาศัย Pattern Matching Technique ซึ่งการรวมภาพจำนวนมากเข้าด้วยกันนี้จะส่งผลให้ความสามารถในการติดตามเป้าเพิ่มขึ้น อีกทั้งผลกระทบจาก Random Noise มีค่าลดลง โดยจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการติดตามเป้าที่มีระดับ Signal-to-Noise Ratio ที่ต่ำ

สมการ Correlation ระหว่างภาพ Video ๒ ภาพใน Analog Domain สามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_R(\tau) = \int_{\frac{-T0}{2}}^{\frac{+T0}{2}} V_1(t)V_2(t+\tau)dt$$

โดยที่

$C_R(\mathbf{T})$ คือ ค่า Correlation ระหว่าง V_1และ V_2

$V_1(t)$ คือ สัญญาณดั้งเดิม ณ เวลา t

$V_2(t+\mathbf{T})$ คือ สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลา (t+**T**)

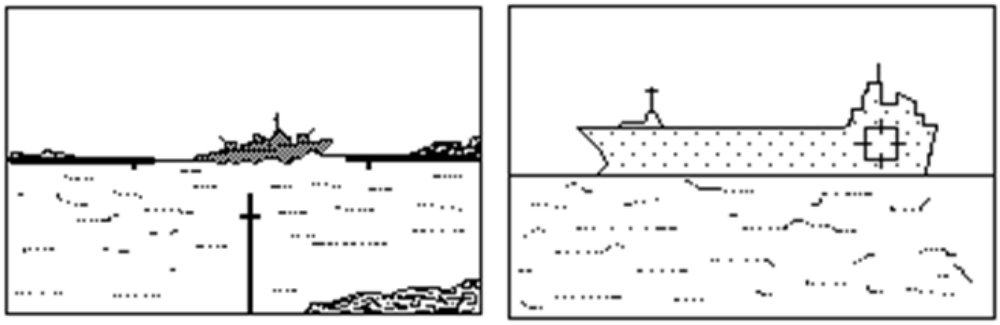
และสมการ Correlation ใน Digital Domain สามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_R(m) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} V_1(k)V_2(k+m)$$

โดยที่

kมีค่าเท่ากับ t ใน Analog Domain

mมีค่าเท่ากับ **T**ใน Analog Domain



รูปภาพที่ ๑.๓๖ Correlation Tracking

จากที่ได้กล่าวถึงวิธีและหลักการในการติดตามการเคลื่อนที่ของเป้าทั้งสามแบบ จะเห็นได้ว่าในการติดตามเป้าแต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่ต่างกัน ทำให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ และขีดความสามารถที่ต่างกันไป ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๓๗

Target Background Correlation	Aircraft Sky	Aircraft Terrain	Ship Sky/Sea	Ship Shore	Vehicles on Land	Terrain Features	Missile	Laser Designator	Reentry Vehicles	Star (Point Source)
Edge	0	-	X	0	-	-	X	-	X	
Centroid	X	0	X	0	0	X	X	X	X	X
Correlation	X	X	X	X	X	X	X	0	X	0

NOTE: Algorithm selection can be influenced by sensor spectral response CCTV, SDA, FLIR
X = Typical application
0 = Possible application
- = Not a Typical application

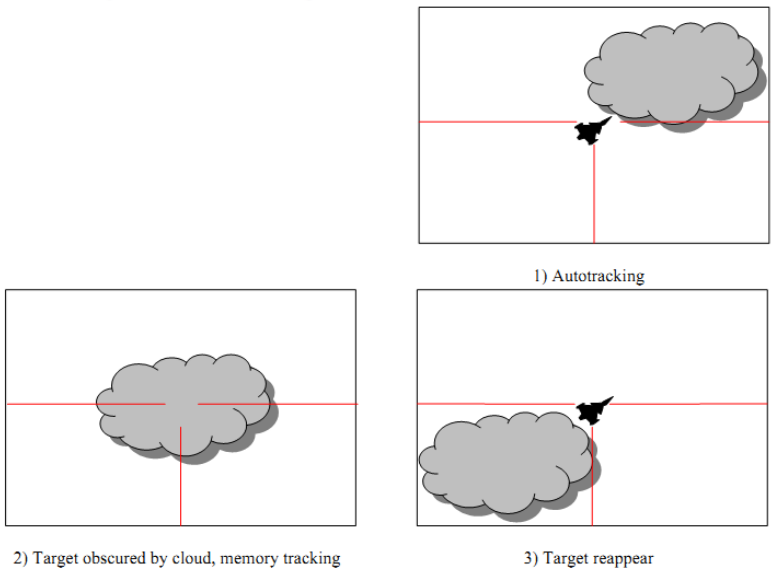
รูปภาพที่ ๑.๓๗ความสามารถในการติดตามเป้าแต่ละชนิดของ Tracking Algorithm ทั้ง ๓

จากรูปภาพที่ ๑.๓๗จะเห็นได้ว่าการติดตามเป้าโดยวิธี Correlation Tracking มีประสิทธิภาพในการติดตามเป้าที่สูง และสามารถรองรับเป้าได้ทุกรูปแบบ ทำให้บริษัท SAAB พิจารณาเลือกการติดตามเป้าชนิดนี้มาใช้ใน EOS 500

การทำงานในส่วนของการติดตามเป้าของระบบ EOS 500 จะถูกดำเนินการโดยอุปกรณ์ Video Tracker ที่จะทำการติดตามเป้าโดยอัตโนมัติสำหรับวัตถุที่ผ่านการ Acquisition (ดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้) โดยในอุปกรณ์ Video Tracker ของ EOS 500 จะรับค่า Input มาจากทั้ง TV-Camera และ IR-Camera เพื่อใช้ในกระบวนการ Automatic Data Fusion

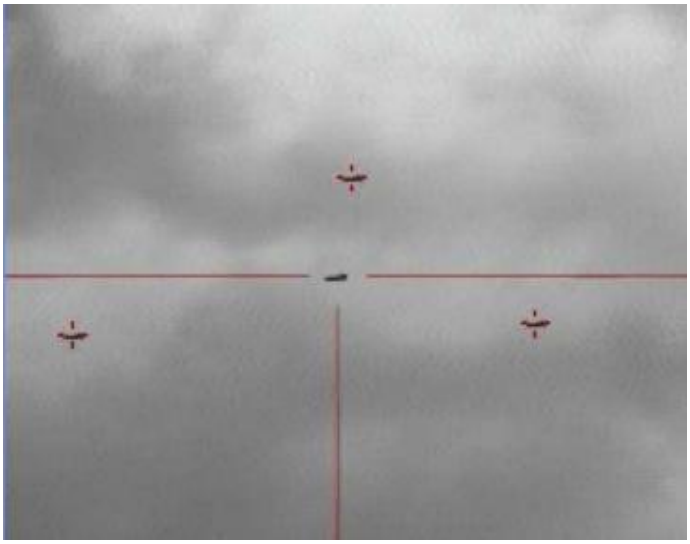
รูปภาพที่ ๑.๓๘ Automatic Target Tracking

เมื่อตรวจพบว่าเป้าได้หายเข้าไปในสิ่งกีดขวางต่าง ๆ Video Tracker จะทำการเปลี่ยนไปใช้ Memory Tracking/Prediction โดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการนำข้อมูลตำแหน่งและความเร็วของเป้าที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ มาทำนายการเคลื่อนที่ของเป้าในอนาคต เพื่อให้ดำเนินการติดตามเป้าต่อไปได้เมื่อเป้ามีการปรากฏขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

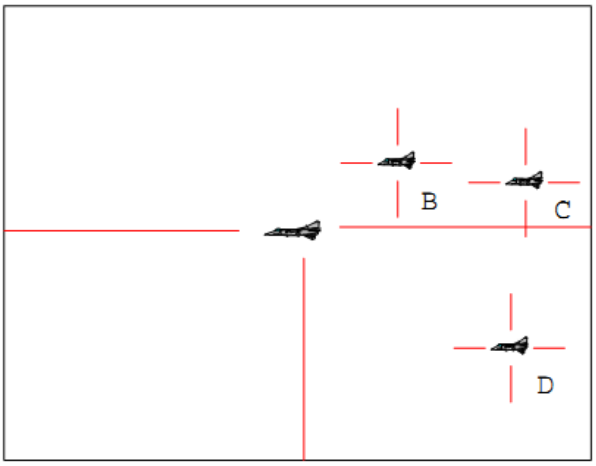


รูปภาพที่ ๑.๓๙ Memory Tracking/Prediction

ระบบ EOS 500 สามารถทำการติดตามเป้าได้สูงสุดถึง ๔ เป้าในเวลาเดียวกัน โดยใช้ Correlation Gate เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับ อย่างไรก็ตามการหันของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับเป้าหลัก (Primary Target) เพียงเท่านั้น ซึ่งพนักงานจะสามารถทำการเลือก หรือเปลี่ยนเป้าหลักได้ตามต้องการ



รูปภาพที่ ๑.๔๐ตัวอย่างการติดตามเป้า ๔ เป้าพร้อมกัน



รูปภาพที่ ๑.๔๑การกำหนดหมายเลขเป้า ๔ เป้า

Video Tracker จะสามารถทำการติดตามเป้าที่ปรากฏอยู่ใน Tracking Gate โดยไม่มีการกำหนดเป้าหลัก ซึ่งในกรณีนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ของสายอากาศ หรืออาจจะมีการเคลื่อนที่ด้วยการควบคุมของพนักงานนั้นเอง

๑.๔ Video Tracker Function

การทำงานของระบบ EOS 500 ได้มีการนำอุปกรณ์ Video Tracker มาใช้ในการประมวลผลข้อมูลต่างๆ โดยเป็นอุปกรณ์ที่นำสัญญาณภาพของทั้งกล้อง TV และ IR มาใช้ในการเปรียบเทียบ และนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

The operator selects to look at TV or IR video, but the video tracker uses the combined contrast from both cameras

รูปภาพที่ ๑.๔๒การทำงานของ Video Tracker

รูปภาพที่ ๑.๔๓อุปกรณ์ Video Tracker

Video Tracker จะรับสัญญาณวิดีโอจากทั้งกล้อง TV และ IR เพื่อทำการวัดหาตำแหน่งของเป้าที่ถูกตรวจจับภายใน Field of View ของกล้องแต่ละตัว ซึ่งค่าของตำแหน่งที่ทำการวัดได้จะถูกส่งต่อไปยัง Director Control Unit (DCU) ในลักษณะสัญญาณ Error โดยอุปกรณ์ Video Tracker จะสามารถทำงานได้ใน ๒ โหมด ได้แก่

- Automatic Centering
- Manual Centering

โดยอุปกรณ์ Video Tracker สามารถสนับสนุนฟังก์ชันการทำงานของ FCS ดังต่อไปนี้

- การดำเนินการ Optronic Acquisition ของเป้าในแบบ Manual
- การดำเนินการ Indication และ Acquisition โดยอัตโนมัติของเป้าที่ระบุ
- การดำเนินการติดตามเป้า
- การดำเนินการ Overlay Presentation

ทั้งนี้อุปกรณ์ Video Tracker จะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง FCS และ CMS ดังต่อไปนี้

- รับจาก FCS

- Control
- Camera
- Simulated Target
- Colour Map
- Reticle (Cross Hairs)
- Overlays 1 through 7 (Bearing, Range, etc)
- Direction Overlay

- ส่งไปยัง CMS
  - Tracker Position
  - Tracker Position Adjustments
  - Tracking Quality
  - Target Indication
  - Target Message

ฟังก์ชันการทำงานของ Video Tracker จะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- Background Suppression

เป็นการพยายามอำพรางภาพพื้นหลังของ Tracking Gate เพื่อให้ความน่าจะเป็นในการติดตามเป้า (Tracking Probability) ของระบบมีค่าสูงขึ้นโดย Background Suppression จะดำเนินการอย่างอัตโนมัติเมื่อตรวจพบเป้าเคลื่อนที่ที่ผ่านการ Acquisition เป็นที่เรียบร้อย

- Tracking Gate

ในส่วนของ Tracking Gate จะแบ่งการทำงานออกเป็น ๔ ส่วนดังนี้

- Gate Size: พนักงานสามารถทำการควบคุมขนาดของ Tracking Gate ด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามระบบ EOS 500 จะทำการควบคุมขนาดของ Tracking Gate โดยอัตโนมัติ ในกรณีที่ระบบได้รับข้อมูลทางด้านระยะของเป้า ซึ่งขนาดของ Tracking Gate จะถูกปรับแต่งให้สอดคล้องกับขนาดของเป้าถูกกำหนดไว้ในระบบ (Default Size of The Target) แต่พนักงานยังคงสามารถทำการปรับแต่งขนาดของ Gate ให้สอดคล้องกับขนาดเป้าจริงได้เช่นกัน

- Gate Centering : Video Tracker มีฟังก์ชันการทำงานสำหรับกำหนดจุดกึ่งกลางของ Tracking Gate โดยอัตโนมัติ (Automatic Centering) ซึ่งพนักงานสามารถทำการใช้งาน หรือยกเลิกการทำงานนี้ได้

- Tracking Point :ในกรณีที่จำเป็นพนักงานสามารถทำการปรับแต่ง Tracking Point ของเป้าได้ด้วยตนเอง

- Presentation : ในการนำเสนอภาพจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) พนักงานสามารถทำการขยายสัญญาณภาพที่ต้องการได้ ๒ เท่า

- Tracking Accuracy

ค่าของความแม่นยำในการติดตามเป้าของระบบ EOS 500 นั้นมีค่าที่ดีกว่า ๐.๔ mradในทางมุม และ ๕ เมตรในทางระยะ

๑.๕ Gun Control

วัตถุประสงค์หลักของ Gun Control Function คือการวิเคราะห์ และจัดหา Fire Control Solutions ให้กับระบบ เพื่อใช้ในการต่อตีเป้าอากาศยาน และพื้นน้ำ รวมไปถึงการโจมตีฝั่ง ด้วยอาวุธปืนที่ไม่ว่าจะใช้กี่กระบอกก็ตาม

Gun Control Function จะทำการให้ค่า Fire Control Solution แก่ฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ต่อไปนี้

- Gun Allocation
- Ballistic Computation
- Gun Angle Control
- Ballistic Test
- Bore Sight Test
- Muzzle Velocity Measurement Handling
- Fire Correction for Air and Surface Engagement
- Pre-action Calibration for Air and Surface Target Engagement
- Throw-off Firings
- Control of the Gun
- Firing Doctrine Support
- Gun Firing
- Built-in Training Support

๑.๖ Integration with CMS

การทำการเชื่อมต่อ EOS 500 เข้ากับระบบ CMS ประกอบด้วยข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

๑.๑.๖.๑ การควบคุมอุปกรณ์ (Equipment Control)

ระบบ EOS 500 จะถูกควบคุม/สั่งการ โดยสมบูรณ์แบบจาก CMS Operator Console ผ่านทาง Human Machine Interface (HMI) นอกจากนี้ฟังก์ชั่น Air Defense Coordination (ADC) จะทำการส่งลำดับของ Track Designation ไปให้ระบบ EOS 500 โดยอัตโนมัติ

๑.๑.๖.๒ การดำเนินการต่อข้อมูลที่ได้รับ (Handling of Received Information)

- Track Data
  ข้อมูล Track ที่ได้รับมาจะถูกจัดเก็บใน Track File ที่ต่างกัน
- Video Information
  ข้อมูล TV-Video และ IR-Video ที่ได้รับมาจะสามารถนำไปแสดงยัง Operator Console ใด ๆ ก็ตาม ด้วยข้อมูลที่เหมือนกัน อีกทั้งข้อมูลดังกล่าวจะต้องสามารถทำการบันทึก และเล่นซ้ำได้อีกด้วย

๑.๑.๖.๓ การใช้งานของระบบ EOS 500 (Operational Use of EOS 500)

ระบบ EOS 500 จะมีการใช้งานหลัก ๆ ได้ดังนี้

- ในกรณีที่ Radar Director เกิดข้อขัดข้องขึ้น หรือถูกเลิกการใช้งานอย่างจงใจ ระบบ EOS 500 จะต้องสามารถแหล่งจากสัญญาณ Track (Tracking Source) ให้กับอาวุธปืนได้ จากการที่ระบบทั้งสองมีการทำงานที่เป็นคู่ขนานกัน

- สามารถส่งข้อมูลเป้าให้กับฟังก์ชัน ADC เพื่อใช้ในการสนับสนุนการกำหนดการต่อตีด้วย Surface to Air Missile (SAM) ได้
- สามารถทำการประเมิน Manual Kill ได้
- สามารถทำการระบุเป้า (Target Identification) และค้นหาโดยพนักงาน (Manual Search) ได้

๑.๑.๖.๔ การทำSimulation

ในระหว่างการฝึก Simulation ระบบ CMS จะไม่ได้มีการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์จริงต่าง ๆ ยกเว้นการทำงานบางอย่างที่ถูกสร้างขึ้นจาก Simulator ภายในของอุปกรณ์นั้น ๆ โดยในระบบ EOS 500 ได้มีการสร้างการทำงานดังต่อไปนี้ขึ้นมา

- สัญญาณภาพของทั้ง TV และ IR ที่ทำการแสดงเป้าอากาศยาน และเป้าพื้นน้ำด้วยพื้นหลัง (Background) ที่เป็นท้องฟ้า และทะเล
- การทำงานในส่วนของการค้นหา และการติดตามเป้า
- การรับข้อมูล Track Designation จากพนักงาน หรือ ADC

๑.๑.๗ Hardware

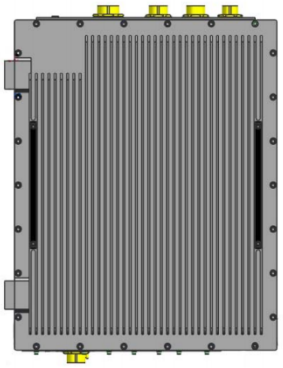
ฮาร์ดแวร์ของระบบ EOS 500 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

๑.๑.๗.๑ Power Supply

ในระบบ EOS 500 จะประกอบด้วย Power Supply ใน ๒ ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

- Director Power Unit

Director Power Unit ของระบบ EOS 500 ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๔๔เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำการจ่ายไฟกระแสตรง (Pulsed Width Modulated DC Current) ให้กับแท่นฐานที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าและสายอากาศ รวมทั้งเซนเซอร์ต่าง ๆ

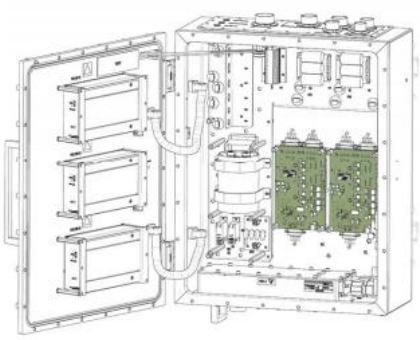


รูปภาพที่ ๑.๔๔EOS 500 Power Unit

ภายใน Director Power Unit ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- Driver Boards

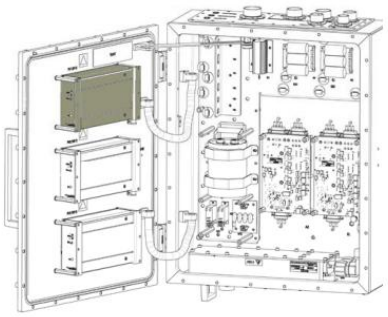
เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ของ Director Power Unit



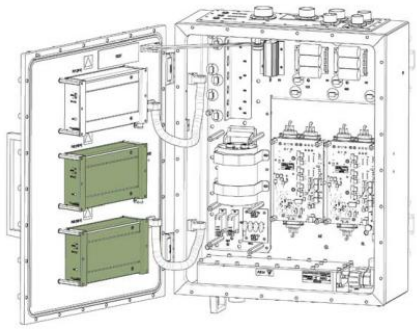
รูปภาพที่ ๑.๔๕ Driver Boards

- Power Supply

ใน DirectorPower Unit จะประกอบด้วย Power Supply ด้วยกัน ๒ ชนิด ได้แก่ ๑๑๕ AC/๒๔ VDC ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๔๖ และ ๑๑๕ AC/๑๐๐ VDC ดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๔๗



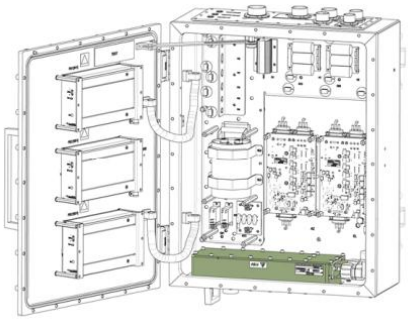
รูปภาพที่ ๑.๔๖๑๑๕ AC/๒๔ VDC



รูปภาพที่ ๑.๔๗๑๑๕ AC/๑๐๐ VDC

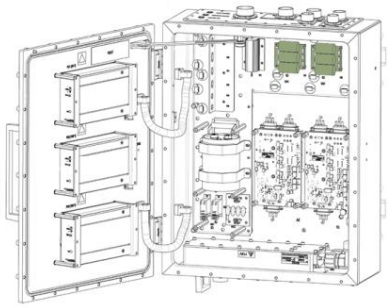
- Power Filter Module

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันชิ้นส่วน/อุปกรณ์ต่าง ๆ จากการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ภายใน Power Filter Module ยังประกอบด้วย Circuit Breaker ที่ทำหน้าที่ตัดการพลังงานไฟฟ้าของ Director Power Unit อีกด้วย



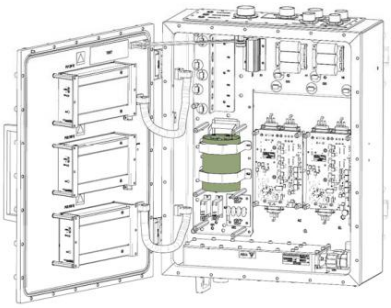
รูปภาพที่ ๑.๔๘ Power Filter Module

- Low Pass LC Filters
  เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กรองกระแสไฟฟ้าจากวงจรการขับเคลื่อน (Drive Circuit) ไปยังมอเตอร์สายอากาศ (Director Motor)



รูปภาพที่ ๑.๔๙ Low Pass LC Filter

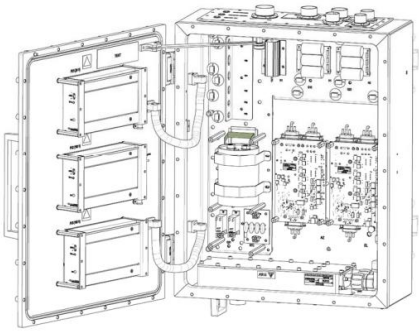
- Motor Capacitor
  เป็นอุปกรณ์ที่ทำการรักษาระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าของ Director Power Unit ให้เสถียรที่ ๑๐๐ VDC



รูปภาพที่ ๑.๕๐ Motor Capacitor

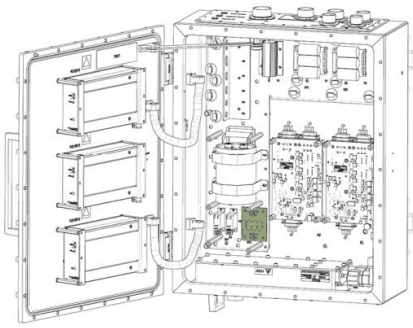
- Bleeder Resistor

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Discharge ความต่างศักย์ไฟฟ้าของ Motor Capacitor



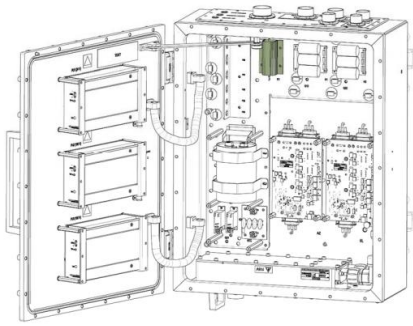
รูปภาพที่ ๑.๕๑ Bleeder Resistor

- NTC Card
  เป็น Thermistors ที่ใช้ควบคุมกระแสไฟฟ้าขาเข้าของ Director Power Unit



รูปภาพที่ ๑.๕๒NTC Card

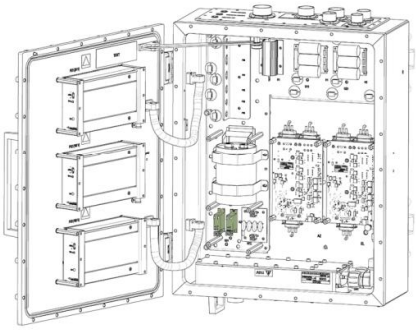
- Space Heater
  เป็นอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนแก่ Director Power Unit เพื่อป้องกันความชื้นที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์ไม่ได้ถูกใช้งาน



รูปภาพที่ ๑.๕๓ Space Heater

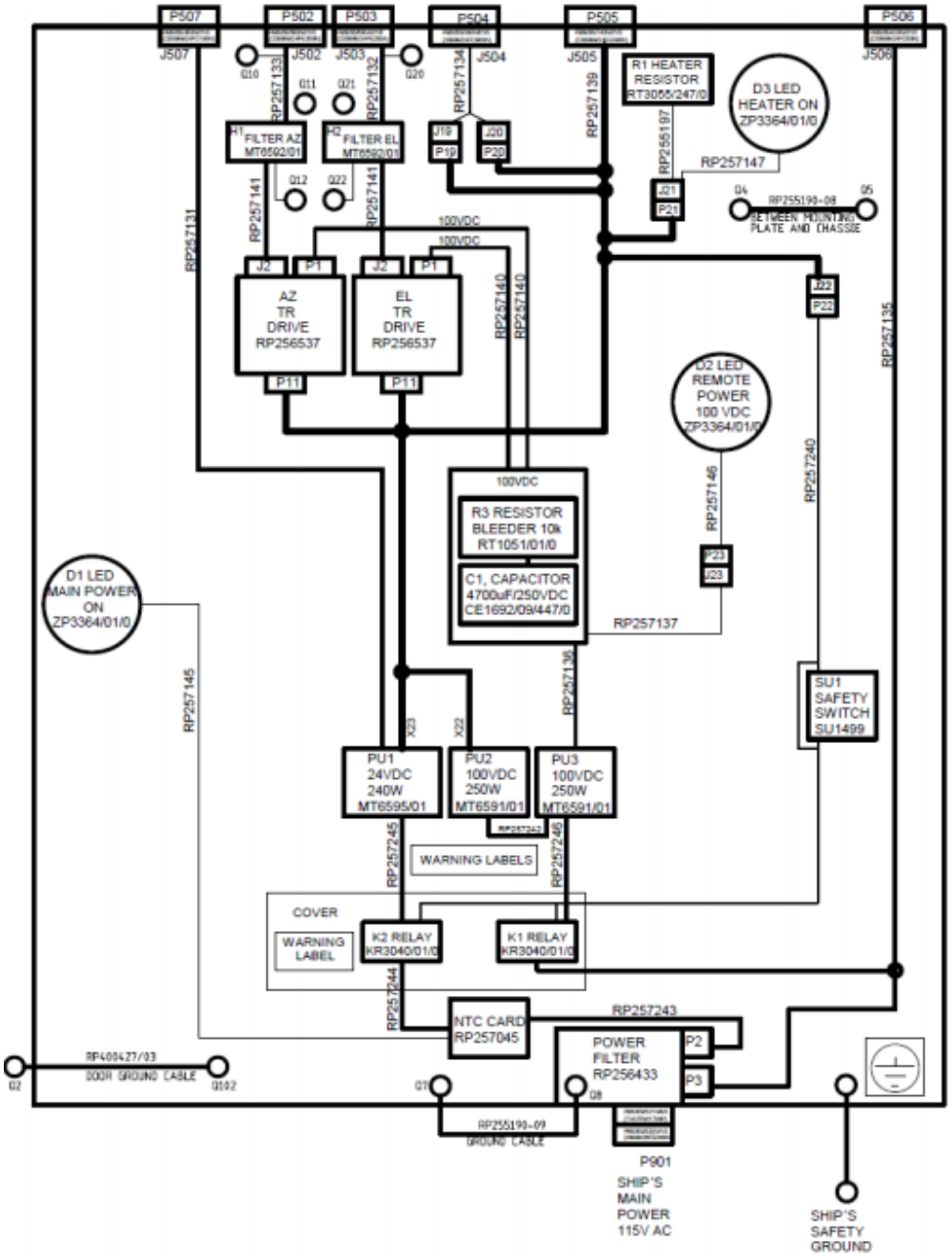
- Relays K1 and K2

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อ (Connect) หรือยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnect) กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับสายอากาศ และมอเตอร์แท่นฐานของ EOS 500



รูปภาพที่ ๑.๕๔ Relays K1 and K2

โดยอุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวมาในส่วนของ Director Power Unit มีการเชื่อมต่อกันดังแสดงในรูปภาพที่ ๑.๕๕



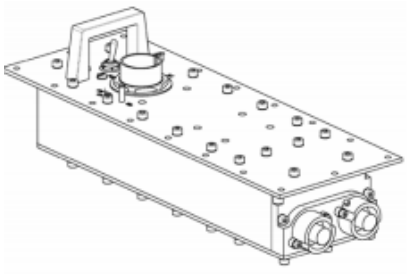
รูปภาพที่ ๑.๕๕EOS 500 Power Unit Block Diagram

- EOS Cabinet Power Unit

เป็นอุปกรณ์ที่ทำการควบคุม และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ EOS Cabinet โดยประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ดังนี้

- Power Filter Module

เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบเพื่อทำการกรองกะแสไฟฟ้าหลัก ๑๑๕ VACจากแหล่งจ่ายภายนอกก่อนที่จะทำการส่งต่อไปยัง Power Supply Unit อีกทั้งยังมี Power Switch ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อ (Connect) หรือยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnect) กระแสไฟฟ้าหลัก ๑๑๕ VAC จากแหล่งจ่ายภายนอก โดยตัวของสวิตช์จะประกอบด้วย Circuit Breaker ที่สามารถยกเลิกการทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้าที่มากเกิน (Overload)



รูปภาพที่ ๑.๕๖ Power Filter Module

- Power Control Unit

เป็นอุปกรณ์ที่ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ภายใน EOS Cabinet ซึ่งจะประกอบด้วยสวิตซ์ควบคุมการทำงานที่สามารถปรับได้ ๓ สถานะดังนี้

๑. Local Off

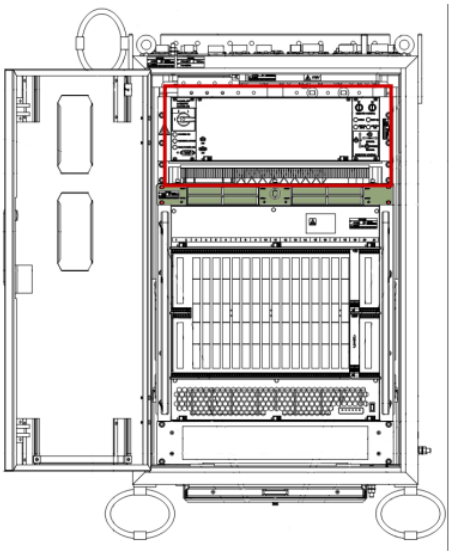
เป็นการยกเลิกการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ยกเว้น Heater

๒. Remote

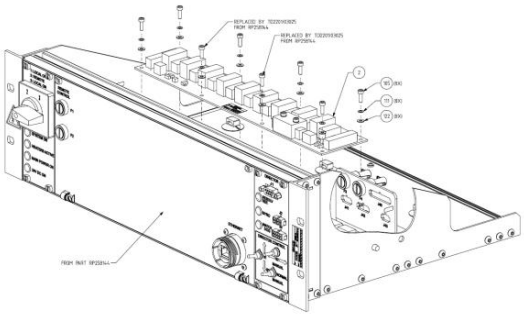
เมื่อไม่มีการใช้งานของระบบ จะทำการยกเลิกการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ

๓. Local On

เป็นการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ทำให้ EOS Cabinet มีการทำงานแบบปกติ



รูปภาพที่ ๑.๕๗ Power Control Unit ใน EOS Cabinet



รูปภาพที่ ๑.๕๘ Power Control Unit

- Power Supply Unit

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้า ๑๑๕ VAC ให้เป็น ๒๔ VDC โดยจะเริ่มการทำงานในทันทีเมื่อ Power Filter Module มีการเริ่มการทำงาน

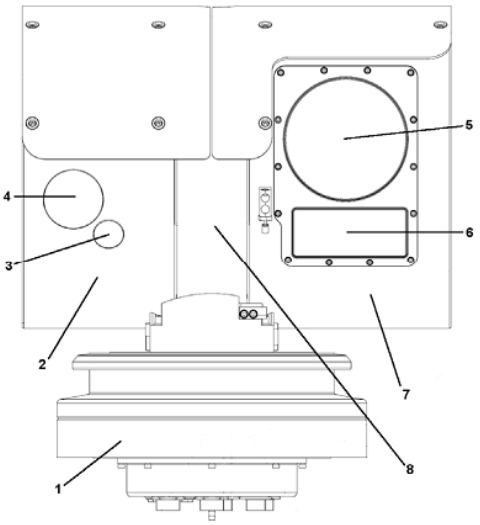
รูปภาพที่ ๑.๕๙ Power Supply Unit

๑.๗.๒ Sensor Unit

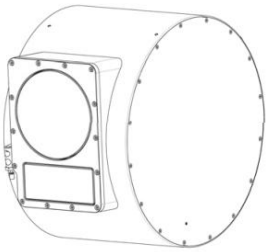
โครงสร้างภายนอกของ Sensor Unit จะถูกแบ่งออกเป็น ๒ ส่วนหลัก ๆ คือฝั่งซ้ายและฝั่งขวาดังที่แสดงใน รูปภาพที่ ๑.๖๐โดยในฝั่งซ้ายจะประกอบด้วย TV Camera และ IR Camera ส่วนฝั่งขวาจะประกอบด้วย Laser Range Finder และ Rate Gyro

Parts

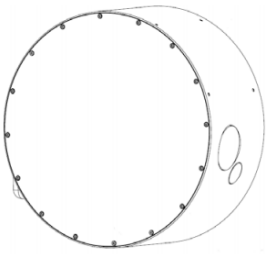
1 Azimuth unit
2 Right sensor unit
3 Laser transmitter window
4 Laser receiver window
5 Thermal imager lens
6 TV camera lens
7 Left sensor unit
8 Elevation unit



รูปภาพที่ ๑.๖๐โครงสร้างภายนอกของสายอากาศ EOS 500



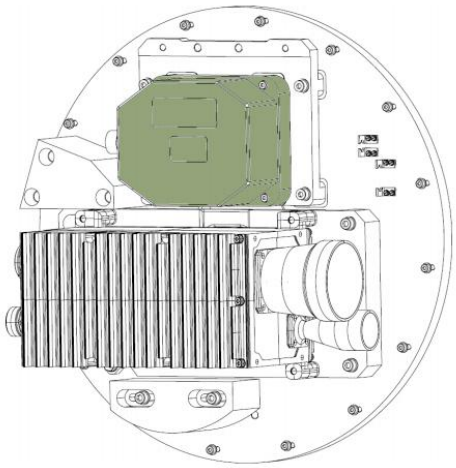
รูปภาพที่ ๑.๖๑ Sensor Unit ฝั่งซ้าย



รูปภาพที่ ๑.๖๒ Sensor Unit ฝั่งขวา

- TV Camera
- IR Camera
- Laser Range Finder
- Rate Gyro

เป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าการอัตราการเปลี่ยนแปลงของการหมุนของสายอากาศ โดยจะทำการส่งข้อมูลให้กับระบบแท่นฐานเพื่อทำการรักษาความสมดุลของสายอากาศต่อไป



รูปภาพที่ ๔.๖๓ Rate Gyro