เอกสารวิชาการ

ช่างไฟฟ้ากำลัง

เล่ม ๖

(ระบบไฟฟ้าในเรือ)

กรมอู่ทหารเรือ

(จัดพิมพ์เมื่อ กันยายน ๒๕๔๘)

บทที่ 1

บทนำ (INTRODUCTION)

1. ขอบเขต

หนังสือเล่มนี้เป็นเพียงข้อแนะนำในการเลือกใช้และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในเรือ ในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟทัศนะ สื่อสาร ไฟกำลัง และระบบขับเคลื่อน ซึ่งเป็นข้อปฏิบัติที่จัดได้ว่าอยู่ในระดับที่ดี ณ เวลาปัจจุบันทั้งในเรื่องของความปลอดภัยของคนและเรือ รวมไปถึงความเชื่อถือได้และความคงทนของการใช้งานอุปกรณ์ ซึ่งในอนาคตถ้าหากวิทยาการก้าวหน้าขึ้น ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงข้อปฏิบัติได้แต่ต้องอยู่บนพื้นฐานดังกล่าวข้างต้น

2. เอกสาร

สำหรับเรือทุกลำจะต้องมีแบบ (Drawings) และคู่มือการใช้งานที่มีข้อมูลรายละเอียดในการใช้งานและซ่อมบำรุงระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างครบถ้วน แบบ (Drawings) จะต้องมีข้อมูลของ Cable Routing, Cable Identification, Cable Size, Loads, Protective Device Setting, Circuit Data, Conductor Termination Detail และ รายการวัสดุ ควรจะต้องมีผลการคำนวณกระแสลัดวงจร (Fault Current) ที่ Circuit Breaker แต่ละตัวด้วยคู่มือการใช้งานควรจะต้องมีคำอธิบายและการแสดงถึงการใช้งานเครื่อง, ขั้นตอนการบำรุงรักษา, การทดสอบที่ต้องการ, และรายการอะไหล่ที่ควรจะมีสำรองไว้ในเรือ ในคู่มือดังกล่าวจะต้องมีชื่อผู้ผลิต ขนาด ชนิด พิกัด หมายเลขชุดเครื่อง (Catalog Number) หรือรายละเอียดที่คล้าย ๆ กัน สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานบนเรือและควรจะต้องมี As-Built One Line Diagram สำหรับระบบผลิตและจ่ายไฟติดตั้งในบริเวณที่สามารถเข้าถึงได้ตลอดเวลา

3. สภาวะแวดล้อม (ENVIRONMENTAL CONDITIONS)

3.1 สภาวะปกติสำหรับการออกแบบและใช้งาน

ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ควรจะมีความเหมาะสมในการใช้งานในสภาวะแวดล้อมปกติบนเรือ ดังนี้

3.1.1 การทำงานในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูงและเต็มไปด้วยไอน้ำทะเล

3.1.2 อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ในห้องนอนและห้องอื่นๆ ที่มีลักษณะเดียวกัน 45 องศาเซลเซียส ในห้องเครื่องจักรใหญ่และเครื่องจักรช่วย 50 องศาเซลเซียส สำหรับเครื่องยนต์หมุนและขับเคลื่อนที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนเช่น Prime Mover หรือ Boiler เป็นต้น 65 องศาเซลเซียส ในบริเวณเหนือ Prime Mover และ Boiler และมีความชื้นสัมพันธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ การออกแบบควรจะออกแบบที่อุณหภูมิน้ำทะเลเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส

3.1.3 อาการโคลงของเรือไม่น้อยกว่าดังแสดงในตารางที่ 1

	Roll		Pitch	
	Static	**Dynamic**	**Static**	**Dynamic**
Ship service equipment	15°	22.5°	5°	7.5°
Emergency equipment	22.5°	22.5°	10°	10°
Switchgear	45°	45°	45°	45°

ตารางที่ 1 การ Roll และ Pitch ของเรือที่กำหนดสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำไปใช้งานในเรือ

3.1.4 ความสั่นของเรือขณะเดินทาง: อุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องสามารถทนความสั่นสะเทือนได้ดังนี้

- ความถี่ของการสั่น ตั้งแต่ 5-15 Hz โดยมี Velocity Amplitude 20 mm/s
- ความเร่งสูงสุดอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหวของเรือในทะเลถึง $\pm$ 0.6 g สำหรับเรือที่มีความยาวเกิน 90 เมตร และ $\pm$ 1 g สำหรับเรือที่มีขนาดสั้นกว่า 90 เมตร เป็นเวลา 5-10 นาที

3.2 สภาวะไม่ปกติสำหรับการออกแบบและใช้งาน

ความต้องการการออกแบบเป็นพิเศษสำหรับเรือหรือพื้นที่เฉพาะใดๆ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะการใช้งานและภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้ออกแบบควรจะต้องนำมาพิจารณาด้วย เช่น การออกแบบระบบที่ต้องทำงานภายใต้สภาวะดังนี้

- ในสภาวะที่มีควันหรือไอที่เป็นอันตราย ฝุ่นละออง ไอน้ำ ไอทะเล ฯลฯ
- ในสภาวะที่มีการกระแทก (Shock) หรือความสั่นสะเทือน (Vibration)
- ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำหรือสูงมาก
- ในสภาวะที่อาจจะเกิดเพลิงไหม้ได้สูง
- ในสภาพการทำงานที่ไม่แน่นอน คุณภาพไฟที่จ่ายให้ไม่ดี ความต้องการฉนวนแบบดีเป็นพิเศษ และในพื้นที่ๆ ซ่อมทำได้ยาก

4. การสร้างอุปกรณ์ (EQUIPMENT CONSTRUCTION) ทดสอบ (TESTING) และการรับรอง (CERTIFICATION)

เครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องได้รับการสร้างและทดสอบตามมาตรฐานแห่งชาติหรือนานาชาติ ซึ่งระบุความต้องการคุณลักษณะเฉพาะสำหรับอุปกรณ์ที่จะใช้สำหรับเรือเดินสมุทร

เครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้าควรจะได้รับการทดสอบและรับรองจากสถาบันที่ทดสอบและรับรองผลิตภัณฑ์อิสระที่มีการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นประจำ

5. วัสดุ

5.1 วัสดุที่ทนต่อการผุกร่อน

ในสถานที่ๆ ต้องการลดการเสื่อมสภาพของวัสดุอันเนื่องมาจากสภาวะการผุกร่อนของทะเลควรจะต้องใช้วัสดุที่ทนต่อการผุกร่อน เช่น เงิน เหล็กทนกัดกร่อน ทองแดง ทองเหลือง Bronze Copper-nickle และ Aluminum Alloy บางชนิด เป็นต้น นอกจากนี้การชุบด้วยโลหะดังต่อไปนี้ โดยให้มีความหนาที่เหมาะสม สามารถพิจารณาว่าเป็นการป้องกันการผุกร่อนได้เช่น

- Electroplating of Cadmium, Nickel, Chromium, Silver, Copper, หรือ Zinc
- Sherardizing
- Galvanizing
- Dipping และ Painting (ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการจะต้องได้ตามมาตรฐาน ASTM B117-95

ชิ้นส่วนที่ควรจะเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน

- ชิ้นส่วนที่จะต้องมีการถอดอยู่เป็นปกติในการใช้งาน เช่น Bolt, nuts, pins, screws, etc.
- Assemblies ที่มีความสำคัญต่อการทำงานเช่น เพลาของมอเตอร์ เป็นต้น
- Enclosures and their fastening and fitting

5.2 วัสดุไม่ลามไฟ (FLAME RETARDANT MATERIALS)

ควรจะมีการใช้วัสดุไม่ลามไฟในเรือให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งวัสดุดังกล่าวจะต้องไม่นำเปลวไฟไปไหม้ที่อื่นหรือไหม้อย่างต่อเนื่องมากไปกว่าที่มาตรฐานกำหนด

6. ฉนวน (Insulation)

การจัดชั้นฉนวนนั้นเป็นไปตามตารางที่ 2

Class	Limits
A	105
B	130
F	155
H	180
N	200
R	220
C	240

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดระดับอุณหภูมิต่ำสุดของฉนวนแต่ละ Class ที่สามารถทำงานได้ โดยขีดจำกัดของการเพิ่มอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของเครื่องกำเนิดตามชนิดของฉนวนเป็นไปตามตารางที่ 2 และ 3 ของบทที่ 3 ขีดจำกัดของการเพิ่มอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของมอเตอร์ตามชนิดของฉนวนให้เป็นไปตามตารางที่ 1 ของบทที่ 6 ขีดจำกัดของการเพิ่มอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของอุปกรณ์ควบคุมตามชนิดของฉนวนให้เป็นไปตามตารางที่ 2 ของบทที่ 6 และขีดจำกัดของการเพิ่มอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของ ทรานสฟอร์เมอร์ (Transformer) ตามชนิดของฉนวนให้เป็นไปตามตารางที่ 3 ของบทที่ 6

บทที่ 2
คุณลักษณะของระบบไฟฟ้าและการวิเคราะห์ภาระทางไฟฟ้า
(POWER SYSTEM CHARACTERISTIC AND LOAD ANALYSIS)

1. ระบบไฟฟ้ามาตรฐาน

ระบบไฟฟ้าต่อไปนี้ถือว่าเป็นระบบไฟฟ้ามาตรฐาน

- ระบบไฟฟ้า 1 เฟส สายไฟ 2 เส้น ทั้ง AC หรือ DC
- ระบบไฟฟ้า 1 เฟส สายไฟ 3 เส้น ทั้ง AC หรือ DC
- ระบบไฟฟ้า 3 เฟส สายไฟ 3 เส้น ชนิดไฟ AC
- ระบบไฟฟ้า 3 เฟส สายไฟ 4 เส้น ชนิดไฟ AC

2. แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน

Standard	AC (V)	DC (V)
Power Utilization	115-200-220-230-350-440-460-575-660-2300-3150-4000-6000-10600-13460	115 and 230
Power Generation	120-208-230-240-380-450-480-600-690-2400-3300-4160-6600-11000-13800	120 and 240

ตารางที่ 1 แรงดันไฟฟ้ามาตรฐานที่ใช้งานภายในเรือ

3. ความถี่ไฟฟ้ามาตรฐาน

สำหรับไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้ากำลังชนิดกระแสสลับนั้น ความถี่ไฟฟ้ามาตรฐานคือ 50 เฮิรตซ์ หรือ 60 เฮิรตซ์

4. การเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า

สำหรับเรือขนาดเล็กที่มีความต้องการทางด้านพลังงานไฟฟ้าน้อย (ถึงประมาณ 15 กิโลวัตต์) จะสามารถเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาด 120 โวลต์, ชนิด 3 เฟสหรือ 1 เฟส โดยมีระบบจ่ายไฟฟ้า (Power Distribution) เป็นขนาด 115 โวลต์ ชนิด 3 เฟสหรือ 1 เฟส สำหรับไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้า

กำลัง ถ้าหากใช้ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส การจ่ายไฟฟ้าแสงสว่าง (เป็นชนิด 1 เฟส) จะต้องทำการเฉลี่ยภาระที่ตู้สวิทช์บอร์ดเพื่อให้มีการจ่ายภาระเท่ากันทั้งระบบ

สำหรับเรือขนาดกลางที่มีความต้องการทางด้านไฟฟ้าไม่เกิน 100 กิโลวัตต์ อาจจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 230 โวลต์ หรือ 240 โวลต์ 3 เฟส และแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่ 220 โวลต์ และ 230 โวลต์ ตามลำดับ การจ่ายไฟแสงสว่าง (เป็นชนิด 1 เฟส) จะต้องทำการเฉลี่ยภาระที่ตู้สวิทช์บอร์ดเพื่อให้มีการจ่ายภาระเท่ากันทั้งระบบ

สำหรับเรือขนาดใหญ่ที่มีความต้องการทางด้านไฟฟ้าสูงจะต้องมีระบบไฟฟ้า 2 ระบบ โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงเคลื่อนเท่ากับ 380, 450, 480, 600 หรือ 690 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าใช้งานอยู่ที่ระดับ 350, 440, 460, 575 หรือ 660 โวลต์ ตามลำดับ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างอาจจะเป็นไฟฟ้า 120 หรือ 230 โวลต์ 3 เฟส 3 เส้น

สำหรับเรือขนาดใหญ่ที่ต้องการพลังงานไฟฟ้ามาก การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงระบบที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นเช่น แรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 6600, 4160 หรือ 2400 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าใช้งานเท่ากับ 6000, 4000 หรือ 2300 โวลต์ตามลำดับ สำหรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่านี้ให้ใช้ Transformer ในการแปลงแรงดันไฟฟ้า

สำหรับเรือที่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำให้ใช้เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 120 โวลต์ดีซี และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงใช้งานขนาด 115 โวลต์ดีซี สำหรับเรือที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นมาให้ใช้เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าขนาด 240/120 โวลต์ดีซี สายไฟฟ้า 3 เส้น ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่ 230/115 โวลต์ดีซี

5. คุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ระบบไฟฟ้าภายในเรือควรจะมีคุณลักษณะดังตารางที่ 2 ในทุกสภาวะการทำงาน อุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ภายในเรือจะต้องสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะดังกล่าว นอกจากนี้ยังจะต้องทนต่อสภาวะ Power Interruption, Transient, EMI, RFI และการทดสอบความเป็นฉนวนภายในระบบไฟฟ้านั้นๆ ด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการพลังงานไฟฟ้านอกเหนือจากที่ระบุข้างต้นจะต้องมีระบบแปลงไฟฟ้าติดตั้งภายในเครื่องมาให้เรียบร้อย อุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องไม่ทำให้คุณลักษณะของระบบไฟฟ้าตามตารางที่ 2 แย่ลงไป

Characteristics	Limit
Frequency	
a) Nominal frequency	50/60 Hz
b) Frequency tolerances	±3%
c) Frequency modulation	½%
d) Frequency transient:	
1) Tolerance	±4%
2) Recovery time	2 s
e) The worst-case frequency excursion from nominal frequency resulting from b), c), and d)1) combined, except under emergency conditions.	±5 ½%
Voltage	
a) User voltage tolerance:	
1) Average of the three line-to-line voltages	±5%
2) Any one line-to-line voltage, including a)1) and line voltage unbalances b)	±7%
b) Line voltage unbalance	3%
c) Voltage modulation	5%
d) Voltage transient:	
1) Voltage transient tolerances	±16%
2) Voltage transient recovery time	2 s
e) Voltage spike (peak value includes fundamental)	±2500 V (380–600 V) system; 1000 V (120–240 V) system.
f) The maximum departure voltage resulting from a)1) and d) combined, except under transient or emergency conditions.	±6%
g) The worst case voltage excursion from nominal user voltage resulting from a)1), a)2), and d)1) combined, except under emergency conditions.	±20%
Waveform voltage distortion	
a) Maximum total harmonic distortion	5%
b) Maximum single harmonic	3%
c) Maximum deviation factor	5%

Characteristics	Limit
Emergency conditions	
a) Frequency excursion	–100 to +12%
b) Duration of frequency excursion	Up to 2 min
c) Voltage excursion	–100 to +35%
d) Duration of voltage excursion:	
1) Lower limits (–100%)	Up to 2 min
2) Upper limit (+35%)	2 min

ตารางที่ 2 คุณลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับ (แรงดันไฟฟ้าต่ำ)[1]

6. Power Quality and Harmonics

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ระบบควบคุมมอเตอร์ คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร วิทยุ เรดาร์ เป็นต้น จะผลิตกระแส Harmonic เนื่องจากเกิด Line-Notching ในระหว่างที่สารกึ่งตัวนำภายในอุปกรณ์ฯ เหนี่ยวนำกัน กระแส Harmonic เหล่านี้อาจจะทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นภายในตัวมอเตอร์ Transformer และสายไฟฟ้าได้ กระแส Harmonic ที่อยู่ไม่อยู่ในลักษณะ Sinusoidal Waveform อาจจะก่อให้เกิด EMI และ RFI ได้ ซึ่งอาจจะกระทบต่อการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ทั่วทั้งลำเรือได้

การโดดเดี่ยว (Isolation) ระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังที่จ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ จะต้องทำทั้งในด้านไฟฟ้า (Electrical) และด้านกายภาพ (Physical) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็น Solid State ที่มีกำลังงานไฟฟ้าต่างกันเกิน 5 ต่อ 1 ไม่ควรติดตั้งอยู่ในวงจรไฟฟ้าเดียวกัน ควรจะโดดเดี่ยว (Isolation) ด้วยการใช้ Shielded Transformer

การป้องกัน EMI นั้น Main Power Switchboard ที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิน 1000 โวลต์และ Propulsion Motor Drives จะต้องไม่อยู่ภายในห้องเดียวกันกับ Ship Service Switchboard และ Control Console

[1] IEEE STD 45 IEEE Recommended Practice for Electric Installations on Shipboard

บทที่ 3
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
(GENERATING SETS)

1. ตำแหน่งและการติดตั้ง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะติดตั้งอยู่ในบริเวณที่แห้ง และมีการระบายอากาศที่ดี ส่วนบริเวณที่ไม่ควรติดตั้งคือบริเวณที่มีท่อทางของน้ำและไอน้ำเป็นต้น ควรจะมีการป้องกันน้ำและน้ำมันหยดใส่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย การติดตั้งควรให้เพลาของเครื่องกำเนิดอยู่ในแนวหัวเรือ-ท้ายเรือ แต่ถ้าหากจำเป็นต้องวางขวางลำเรือจะต้องพิจารณาการหล่อลื่นภายในระบบให้สามารถป้องกันการสึกหรอได้ในทุกส่วนที่ต้องการการหล่อลื่น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องจักรช่วยต่างๆ ของเครื่องฯ จะต้องสามารถทำงานได้ในสภาพการทำงานดังต่อไปนี้[1]

การเอียงทางข้าง	15	องศา
การโคลงทางข้าง	ถึง 22.5	องศา
Trim หัว-ท้าย	5	องศา
การโคลงหัว-ท้าย (Pitch)	ถึง 7.5	องศา

ตำแหน่งและการติดตั้งจะต้องง่ายต่อการดูแลรักษาและการซ่อมทำ โดยจะต้องมีระยะห่างระหว่างเครื่องกำเนิดและสิ่งรอบข้างอย่างน้อย 460 mm (18 in) ซึ่งจะต้องมีพื้นที่ให้สามารถถอด Rotor และ Armature เพื่อการซ่อมทำหรือการอื่นๆ ด้วย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินจะต้องติดตั้งอยู่สูงกว่า Bulkhead Deck หรือ Freeboard deck แล้วแต่ว่าดาดฟ้าไหนจะอยู่สูงกว่ากันและอยู่หลัง Collision Bulkhead มาทางท้ายเรือและอยู่ภายนอกห้องเครื่อง ในกรณีที่ห้องเครื่องไฟฟ้าฉุกเฉินอยู่ติดกับห้องเครื่องไฟฟ้าหลักของเรือ ผนังร่วมของห้องและดาดฟ้าจะต้องบุด้วยฉนวนหรือวัสดุป้องกันอย่างอื่น ซึ่งสามารถป้องกันความร้อน เพื่อไม่ให้อุณหภูมิในห้องเครื่องไฟฟ้าฉุกเฉินสูงขึ้นเนื่องจากเกิดไฟไหม้ในห้องข้างเคียงอย่างน้อย 1 ชม.[2]

ฐานแท่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องยนต์ขับฯ ควรจะเป็นฐานเดียวกันเพื่อให้ศูนย์เพลาระหว่างเครื่องกำเนิดและเครื่องยนต์ขับฯ มีความเที่ยงตรงมากที่สุด ฐานแท่นจะต้องได้รับการตรวจสอบว่ามีความมั่นคง แข็งแรง และถ้าหากจำเป็นต้องใช้ Bedplate จะต้องมีฐานรองรับที่กว้างพอสำหรับ Bedplate นั้น

---

[1] IEEE STD 45 IEEE Recommended Practice for Electric Installations on Shipboard

[2] ระบบไฟฟ้าทั่วไปในเรือ, เจษฎา ยาวะประภาษ

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลัก

การกำหนดจำนวนและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับเรือนั้นจะต้องพิจารณาอย่างระเอียดรอบคอบดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 ถึงความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาวะปกติและภาวะความต้องการพลังงานสูงสุด จำนวนและขนาดของเครื่องกำเนิดควรจะเพียงพอต่อความต้องการและมีเผื่อไว้อีก 1 ชุดในทุกเวลาการทำงาน

สำหรับเรือที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าและใช้ไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้า 2 ระดับ หรือมากกว่า แต่ความถี่เท่ากัน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้าของเรืออาจจะแปลงมาจากแหล่งพลังงานเดียวกันได้โดยไม่ต้องติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มเติม เมื่อเครื่องยนต์หลักเครื่องใดเครื่องหนึ่งชำรุด เครื่องยนต์หลักที่เหลืออยู่จะต้องสามารถขับเคลื่อนเรือให้สามารถวิ่งด้วยความเร็ว 7 นอต หรือครึ่งหนึ่งของความเร็วที่ออกแบบ (เลือกเอาที่อันที่น้อยกว่า) ขนาดกำลังไฟฟ้ารวมปกติของเครื่องจักรจะต้องไม่น้อยกว่าความต้องการกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดในขณะปฏิบัติงานในทะเล

ในการเลือกขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบถึงกระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ เมื่อให้เครื่องกำเนิดเครื่องหนึ่งเป็นเครื่องกำเนิดสำรอง และเครื่องกำเนิดที่รับภาระของเรือในขณะนั้น (ต้องเป็นภาระที่น้อยที่สุด ที่สามารถปฏิบัติงานเรือได้อย่างปลอดภัย) แรงดันไฟฟ้าตกที่เกิดจากการเดินมอเตอร์ที่ใหญ่ที่สุดของเรือ จะต้องไม่ทำให้มอเตอร์ที่เดินอยู่ก่อนแล้วชะงัก หรือระบบควบคุมวูบ

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน

เรือทุกลำจะต้องมีแหล่งพลังงานฉุกเฉินอยู่ด้วยซึ่งอาจจะเป็นเครื่องยนต์ดีเซล หรือ Gas Turbine หรือ แบตเตอรี่ ซึ่งแหล่งพลังงานฉุกเฉินนี้จะต้องติดตั้งอยู่ในห้องที่อยู่เหนือดาดฟ้าต่อเนื่องสูงสุด แต่อยู่หลัง Collision Bulkhead และอยู่นอกห้องเครื่องจักรใหญ่ และสามารถเข้าถึงได้ทันทีจากดาดฟ้าเปิด *ในกรณีที่ห้องเครื่องไฟฟ้าฉุกเฉินอยู่ติดกับห้องเครื่องไฟฟ้าหลักของเรือหรือห้องที่มีเครื่องจักรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องไฟฟ้าหลักของเรือ ผนังร่วมของห้องและดาดฟ้าจะต้องบุด้วยฉนวนหรือวัสดุป้องกันอย่างอื่นซึ่งสามารถป้องกันความร้อน เพื่อไม่ให้อุณหภูมิในห้องเครื่องไฟฟ้าฉุกเฉินสูงขึ้นเนื่องจากเกิดไฟไหม้ในห้องข้างเคียงอย่างน้อย 1 ชม.*[3]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินจะต้องเป็นลักษณะ Self-contained และจะเริ่มเดินอัตโนมัติพร้อมรับภาระเต็มที่ได้ภายใน 45 วินาที (ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินจะต้องมีระบบเริ่มเดินประกอบอยู่และจะต้องมีพลังงานสำหรับการเริ่มเดินเครื่องได้อย่างน้อย 6 ครั้งโดยไม่ต้องประจุไฟเพิ่ม ถ้าแหล่งพลังงานดังกล่าวมีเพียงแหล่งเดียวจะต้องมีระบบป้องกันไม่ให้ระบบเริ่มเดินเครื่องอัตโนมัติทำการเดินเครื่องจนแหล่งพลังงานหมด หรือถ้ามีแหล่ง

---

[3] IEEE STD 45 IEEE Recommended Practice for Electric Installations on Shipboard

พลังงานที่ 2 แหล่งพลังงานนี้จะต้องทำการเริ่มเดินเครื่องได้อย่างน้อย 3 ครั้ง ถ้าหากความพยายามในการเริ่มเดินเครื่องถึง 3 ครั้งแล้วเครื่องยังไม่ติดจะต้องมีสัญญาณเตือน “การเริ่มเดินเครื่องล้มเหลว” ไปที่ห้องควบคุมเครื่องจักรและสะพานเดินเรือ

4. การควบคุมแรงดันไฟฟ้า (VOLTAGE REGULATION)

4.1 กล่าวโดยทั่วไป

ชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) ควรจะมีให้สำหรับแต่ละเครื่องกำเนิด การควบคุมแรงดันไฟฟ้าควรจะเป็นแบบอัตโนมัติและควรจะทำงานภายใต้สภาวะคงตัว (Steady-State) ตั้งแต่ภาระเป็น 0 ถึง 100 % ที่ทุกค่าของ Power Factors ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในการทำงานปกติ ชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) จะต้องรักษาแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 97.5 % ถึง 102.5 % ชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) จะต้องทนสภาพการทำงานภายในเรือได้และควรจะได้รับการออกแบบให้สามารถทนความสั่นที่เกิดขึ้นเป็นปกติภายในเรือ

4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

การกระตุ้นสนามแม่เหล็ก (Excitation) และอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

4.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลัก

สำหรับการทำงานเครื่องเดียว สภาวะ Steady-State ของแต่ละการเพิ่มหรือลดภาระระหว่างภาระเท่ากับ 0 % ถึง 100% จะต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2.5 % ของค่าพิกัดแรงดัน (Rated Voltage) ของเครื่องกำเนิด

ภายใต้สภาวะ Transient เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ค่าพิกัดแรงดัน (Rated Voltage)และพิกัดความเร็ว (Rated Speed) และมีการเปลี่ยนแปลงภาระภายใต้กระแสและ Power Factor ที่กำหนด ค่าแรงดันไฟฟ้าจะต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 12 % ของค่าพิกัดแรงดันไฟฟ้า (Rated Voltage) แรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะต้องคืนสู่ค่าแรงดันไม่เกิน $\pm$2.5 % ของค่าพิกัดแรงดันไฟฟ้า (Rated Voltage) ภายในเวลา 1.5 วินาที

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปที่มี Reactive Droop Compensation ค่า Voltage Droop ควรจะเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 4 %

4.2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน

สภาวะ Steady-State ของแต่ละการเพิ่มหรือลดภาระระหว่างภาระเท่ากับ 0 % ถึง 100% จะต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm$3.5 %

4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

4.3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Shunt-Wound

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะออกแบบให้สามารถควบคุมความเร็วเครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นไม่เกิน 8 % เมื่อภาระลดลงจาก 100 % เหลือ 20% และแรงดันไฟฟ้าจะตกไม่เกิน 12% เมื่อภาระเพิ่มขึ้นอย่างช้าจาก 20% ถึง 100%

4.3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Compound-Wound

เมื่อภาระเปลี่ยนแปลงระหว่าง 20% ถึง 100% ค่าแรงดันไฟฟ้าจะต้องเปลี่ยนไม่เกิน 3 % ของพิกัดแรงดันไฟฟ้า (Rated Voltage)

5. การขนานเครื่อง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะต้องสามารถขนานกันได้และภาระที่เครื่องกำเนิดฯ แต่ละเครื่องรับอยู่จะต้องแตกต่างกันไม่เกิน $\pm$15% ของภาระทั้งหมดในขณะนั้น จุดที่จะนำมาพิจารณาในการคิดถึงการจ่ายภาระแบบขนานต่อไปหรือไม่คือ เมื่อพิจารณาถึงการรับภาระของเครื่องไฟฟ้าแต่ละเครื่องแล้วไม่เกิน 75 %

เมื่อต้องการขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง การทำงานของเครื่องจะต้องได้ตามเงื่อนไขดังนี้

ก. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องทำงานที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่อง

ข. ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะคงที่ หรือเพิ่มขึ้นหรือลดลงเล็กน้อยตามสัดส่วนของภาระที่เปลี่ยนแปลง

ค. สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Compound-Wound ควรมี Series Field Equalizer

6. เครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ควรจะติดตั้งให้กับเครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดคือ Speed Regulating Governor และ Automatic Overspeed Trip ซึ่ง Automatic Over speed Trip ควรจะตัดวงจรอัตโนมัติ (Automatic Trip) เมื่อความเร็วของเครื่องยนต์สูงกว่าความเร็วออกแบบ 15 % และควรจะสามารถตัดวงจร (Trip) ด้วยผู้ใช้งานโดยตรง (Manual) ได้ด้วย นอกจากนั้นเครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดควรจะสามารถจำกัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ได้ด้วย เมื่อภาระสูงสุดถูกปลดออกไปจากกะทันหัน ความเร็วเครื่องควรจะเพิ่มขึ้นไม่เกิน 95 % ของ Overspeed Trip

Load	Response time	Speed Deviation
$\pm$ 7.5 %	2.0 s	5.5 %
$\pm$ 100 %	5.0 s	7.5 %

ตารางที่ 1 การตอบสนองของเครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดต่อภาระที่เปลี่ยนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินควรจะสามารถรับภาระ 100% ของพิกัดกำลังงานไฟฟ้าได้ในการเพิ่มภาระในครั้งเดียว

7. ฉนวนสำหรับขดลวด

วัสดุที่นำมาใช้ทำฉนวนสำหรับขดลวดจะต้องทนต่อความชื้น, ไอทะเล, ไอน้ำมัน และจะต้องมีคุณลักษณะการเพิ่มของอุณหภูมิ (Temperature Rise) ไม่เกินค่าในตารางที่ 2 และ 3

Item	Machine Part	Type of Enclosure	Method of Temperature Determination	Class of insulation			
				A	B	C	D
	Armature windings	Dripproof and	Thermometer	40	60	80	100
		open	Resistance	60	90	120	145
		Totally enclosed	Thermometer	45	65	85	105
			Resistance	60	90	120	145
	Multilayer field winding	Dripproof and	Thermometer	40	60	80	100
		open	Resistance	60	90	120	145
		Totally enclosed	Thermometer	45	65	85	105
			Resistance	60	90	120	145
	Single-layer field windings with exposed uninsulated surfaces and bare copper windings	Dripproof and	Thermometer	50	70	95	120
		open	Resistance	60	90	120	145
		Totally enclosed	Thermometer	55	75	100	125
			Resistance	60	90	120	145
	Cores and mechanical parts in contact with or adjacent to the insulation	Dripproof and	Thermometer	40	60	80	100
		open	Thermometer	45	65	85	105
		Totally enclosed					
	Commutators and collector rings	All	Thermometer	55	75	95	115

NOTE 1—The temperature attained by miscellaneous parts (such as brushholders, brushes, pole tips, etc.) should not injure the machine in any respect.

NOTE 2—Where two methods of temperature measurement are listed, temperature rise within the values listed in the table, measured by either method, demonstrates conformity.

NOTE 3—The temperature rises in the foregoing table are based on ambient temperature of 50 °C (122 °F). For 40 °C (104 °F) ambient, the temperature rises may be increased 10 °C (50 °F). See 5.17 for ambient temperatures of totally enclosed water-air cooled machine.

NOTE 4—All machines have a 1.0 service factor.

NOTE 5—For totally enclosed short-time rated motors only, the temperature rise by resistance method only may be increased 10 °C (50 °F) above the value listed in the table.

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดของการเพิ่มอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตามชนิดของฉนวน

Machine Part	Method of Temperature Determination	Class of Insulations			
Armature windings					
a) All kVA ratings	Resistance	50	70	95	115
b) 1563 kVA and less	Embedded detector	60	80	105	130
c) Over 1563 kVA	Embedded detector	55	75	100	125
Field windings					
a) Salient pole	Resistance	50	70	95	115
b) Cylindrical rotor	Resistance	—	75	95	115
NOTE 1—The temperatures attained by cores, amortisseur windings, and mechanical parts (such as collector Rings, brushholders, etc.) should not injure the machine in any respect. NOTE 2—The temperature rises in the foregoing table are based on ambient temperature of 50 °C (122 °F). For 40 °C (104 °F) ambient, the temperature rises may be increased 10 °C (50 °F). See 5.17 for ambient Temperatures of totally enclosed water-air cooled machines. NOTE 3—All machines have a 1.0 service factor.					

ตารางที่ 3 ขีดจำกัดของการเพิ่มอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตามชนิดของฉนวน

การทดสอบฉนวนจะต้องทำในสถานที่ที่สะอาดและแห้ง ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของฉนวนที่ใช้ วิธีการทดสอบ และสภาพแวดล้อมของการทดสอบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการบันทึกสภาวะต่างๆ เหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและความชื้นของอากาศขณะทำการทดสอบ

การวัดค่าความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance) ควรจะต้องวัดทั้งวงจร (ระดับแรงดันเดียวกัน) ด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 500 โวลต์ เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที ค่าความต้านทานที่วัดได้ควรจะต้องไม่ต่ำกว่าค่า Rm ดังต่อไปนี้

$$\mathbf{Rm = kV+1}$$

Rm = recommended minimum insulation resistance in MW at 40 °C (104 °F) of entire machine winding

kV = rated machine terminal to terminal potential, in rms kilovolts

8. แผ่นป้าย (NAMEPLATE)

เครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดควรจะต้องมีแผ่นป้าย (Nameplate) แสดงรายละเอียด ซึ่งทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน (Corrosion-Resistant Material) โดยจะต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Name of manufacturer
- Manufacturer's type and frame designation
- Manufacturer's serial number
- Output: in kilovolt amperes for ac generators; in kilowatts for dc generators
- Voltage rating
- Current rating
- Power factor rating for ac generator
- Frequency rating for ac generator
- Number of phases for ac generator
- Rated temperature rise
- Service factor (or intermittent duty rating)
- Ambient temperature rating
- Revolutions per minute at rated load
- Excitation voltage at rated load for ac generator
- Excitation current at rated load and power factor for ac generator
- DC generator winding type—shunt, stabilized shunt, or compound wound

ในการพิจารณาเลือกเครื่องยนต์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้คือ

- ราคา
- ขนาด (Dimension)
- ความสิ้นเปลืองต่างๆ
- ชื่อเสียงของเครื่องยนต์ (แสดงว่าเครื่องยนต์จะต้อง Well Proven)
- ความเชื่อถือได้ (Reliability) ของเครื่องยนต์ขับฯ
- จำนวนที่เครื่องยนต์ขับฯ ที่มีใช้อยู่แล้วในกองทัพเรือ
- ความง่ายต่อการใช้งาน (Simplicity)
- ความสามารถในการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง (Maintainability)
- ความคงทนในการใช้งาน (Durability)

บทที่ 4
แบตเตอรี่
(BATTERY)

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะฉุกเฉิน เช่น การเริ่มเดินเครื่องจักรใหญ่และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเรือที่ใช้ระบบเริ่มเดินด้วยแบตเตอรี่ (Battery) ในสภาวะปกติ และการจ่ายไฟให้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน ระบบไฟเดินเรือในขณะที่ระบบไฟหลักขัดข้อง ซึ่งเป็นการจ่ายไฟในสภาวะฉุกเฉิน เป็นต้น จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น แบตเตอรี่ที่ติดตั้งในเรือ จำเป็นต้องเป็นชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานในเรือ ซึ่งจะต้องคำนวณปริมาณขนาดความจุของแบตเตอรี่ ให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อปริมาณความต้องการของภาระ เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่มีขนาดที่ใหญ่หรือเล็กเกินไป นอกจากนี้ การติดตั้ง สถานที่และสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ติดตั้งแบตเตอรี่ จะต้องได้รับการดำเนินการอย่างถูกต้อง เพื่อความสะดวกปลอดภัยและง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษาทั้งแบตเตอรี่และระบบเครื่องจักรในบริเวณเดียวกัน

โดยปกติการนำแบตเตอรี่ไปใช้งานภายในเรือนั้น สามารถเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Battery) หรือแบตเตอรี่ชนิดด่าง (Nickel-Alkaline Battery) ก็ได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละประเภท สำหรับรายละเอียดการติดตั้งในเอกสารฉบับนี้จะกล่าวถึงแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เนื่องจากมีใช้งานอยู่ในเรือของกองทัพเรือเป็นส่วนใหญ่ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. คุณลักษณะที่ต้องการของแบตเตอรี่ที่ใช้งานภายในเรือ

ควรเป็นชนิดที่ถูกออกแบบให้มีคุณลักษณะที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานภายในเรือดังนี้

- อุณหภูมิแวดล้อมที่สูง เช่น ในห้องเครื่องจักรและในห้องเก็บแบตเตอรี่ที่ผนังห้องสามารถรับแสงอาทิตย์ได้โดยตรง เป็นต้น
- การโคลงของเรือ
- การสั่นสะเทือน
- ความชื้นและความเค็มสูง

2. โครงสร้างและส่วนประกอบ(CONSTRUCTION AND ASSEMBLY)ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

- **แผ่นธาตุ (Plates)** มี 2 ชนิดคือ แผ่นธาตุบวก (Positive Plate) และแผ่นธาตุลบ (Negative Plate) ซึ่งแผ่นธาตุทั้งสองชนิดนี้ประกอบด้วยโครงตะกั่ว (Grid) และวัสดุที่เกิดปฏิกิริยา (Active Material) อันเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่แต่ละแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. โครงตะกั่ว (Grid) เป็นที่สำหรับรองรับให้วัสดุที่เกิดปฏิกิริยา (Active Material) เกาะตัวกันเป็นรูปแผ่น วัสดุที่นำมาทำเป็นโครงตะกั่ว (Grid) จะหล่อจาก Alloy (ที่เป็นส่วนผสมของ Lead, Antimony และ Arsenic) โครงตะกั่ว (Grid) ที่ใช้มีหลายแบบ เช่น แบบ Paste และแบบ Spine Grid เป็นต้น

ข. วัสดุที่เกิดปฏิกิริยา (Active Material) ที่ใช้ละเลงในโครงตะกั่ว (Grid) นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นธาตุฯ คือ

- แผ่นธาตุบวก (Positive Plate) จะใช้วัสดุที่เกิดปฏิกิริยา (Active Material) ที่เป็นส่วนผสมของผง Lead Suboxide, Dynel Flock, Sulfuric Acid และน้ำกลั่น
- แผ่นธาตุลบ (Negative Plate) จะใช้วัสดุที่เกิดปฏิกิริยา (Active Material) ที่เป็นส่วนผสมของผง Lead Suboxide, Dynel Flock, Expander HL 500, Vaseline, Sulfuric Acid และน้ำกลั่น

- **แผ่นกั้น (Separator)** มีรูปร่างเป็นแผ่นบาง ๆ มีรูสำหรับให้สารละลาย Electrolyte ซึมผ่านได้ ใช้สอดระหว่างแผ่นธาตุบวก (Positive Plate) และแผ่นธาตุลบ (Negative Plate) สลับกันไปเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวก (Positive Plate) และแผ่นธาตุลบ (Negative Plate) สัมผัสกัน (ถ้าแผ่นธาตุบวก (Positive Plate) และแผ่นธาตุลบ (Negative Plate) สัมผัสกันจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายในแบตเตอรี่) ในปัจจุบันแผ่นกั้นนิยมใช้แผ่นกั้นชนิด PVC ฉาบใยแก้ว

- **สะพานไฟและขั้ว (Inter-Cell Connector and Plate Strap)** สะพานไฟและขั้วทำด้วย Alloy ที่มีส่วนผสมระหว่าง Lead, Antimony และ Arsenic สะพานไฟมีหน้าที่สำหรับต่อทางไฟจาก Cell หนึ่งไปยังอีก Cell หนึ่ง ส่วนขั้วนั้นมีหน้าที่สำหรับเชื่อมแผ่นธาตุชนิดเดียวกันรวมให้เป็นหมู่ ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะนำกระแสสูงสุดได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

- **สารละลาย Electrolyte** ที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Battery) คือ Sulfuric Acid (H_2SO_4) ผสมกับน้ำบริสุทธิ์ (H_2O) ให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 1.250 – 1.300

- **เปลือกหม้อและฝาปิด (Container and Cover)** ทำด้วยยางแข็ง หรือพลาสติก

- **เซลล์ (Cells)** ในที่นี้จะหมายถึงองค์ประกอบของแบตเตอรี่ที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ โดยปกติมีขนาดแรงดันไฟฟ้าประมาณ 2 โวลต์ การนำเซลล์ (Cells) ไปใช้งานที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นสามารถกระทำได้โดยการต่อเซลล์แบบอนุกรม (Series) และถ้าหากต้องการความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นก็สามารถนำแบตเตอรี่ชุดดังกล่าว (ที่มีขนาด แรงดันไฟฟ้า และความจุเท่ากัน) ต่อขนาน (Parallel)

- **แผ่นป้าย (Name Plate)** แสดงรายละเอียดคุณสมบัติเฉพาะของแบตเตอรี่ โดยควรมีรายละเอียดดังนี้

  - ตราอักษร, บริษัทผู้ผลิต

- ชนิด
- อัตราการจ่ายกำลังไฟฟ้า (Amp-Hour)
- ความถ่วงจำเพาะของสารละลาย Electrolyte เมื่อประจุไฟเต็มที่

3. การติดตั้งและสถานที่ติดตั้ง (INSTALLATION AND ARRANGEMENT)

- จะต้องไม่ติดตั้งในบริเวณที่มีความร้อนสูง เย็นจัด มีละอองน้ำ ไอน้ำ หรือมีสภาพอย่างอื่นที่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการใช้งาน แบตเตอรี่สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าในเวลาฉุกเฉิน จะต้องติดตั้งในสถานที่ที่มีการป้องกันความเสียหายจากการผุกร่อน ไฟไหม้ ฯลฯ

- ไม่ควรติดตั้งในบริเวณปิดทึบ และควรแยกเก็บเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการบำรุงรักษาแบตเตอรี่แต่ละชนิด

- แบตเตอรี่ขนาดใหญ่ เช่นแบตเตอรี่สำหรับไฟฟ้าฉุกเฉิน จะต้องเก็บไว้ในห้องโดยเฉพาะ และถ้าหากจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นติดตั้งอยู่ในห้องเดียวกันอุปกรณ์นั้นๆ จะต้องเป็นชนิด Explosion-Proof

- แบตเตอรี่ขนาดกลาง เช่น แบตเตอรี่ที่ใช้ในการหมุนเครื่อง และระบบสื่อสาร เป็นต้น จะต้องจัดเก็บอย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม สามารถเก็บไว้ในตู้เก็บ (Locker) ในห้องเครื่องไฟฟ้าฉุกเฉิน ห้องเครื่องจักร หรือห้องอื่นๆ ที่เหมาะสม

- แบตเตอรี่ขนาดเล็ก เช่น แบตเตอรี่สำหรับวิทยุฉุกเฉิน เป็นต้น ควรเก็บไว้ในกล่อง และวางไว้ในสถานที่ที่เหมาะสมห่างจากวิทยุ หรืออุปกรณ์อื่นๆ อย่างน้อย 6 ฟุต เพื่อป้องการการผุกร่อนเนื่องจากแก๊สที่เกิดจากแบตเตอรี่

4. การระบายอากาศ (VENTILATION)

ห้องเก็บแบตเตอรี่จะต้องจัดให้มีการระบายอากาศที่ดีเพื่อป้องกันการสะสมของแก๊สติดไฟที่ระเหยจากแบตเตอรี่ โดยปกติแก๊สดังกล่าวจะเบากว่าอากาศการสะสมจึงเกิดขึ้นบริเวณที่ว่างด้านบนของที่เก็บต่างๆ ในกรณีที่เก็บแบตเตอรี่ไว้เป็นชั้นๆ มากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป ชั้นที่เก็บ (ยกเว้นชั้นล่างสุด) จะต้องมีพื้นที่ว่างอย่างน้อย 2 นิ้วเพื่อการหมุนเวียนของอากาศในห้องเก็บแบตเตอรี่ และจะต้องมีระบบระบายอากาศให้มีการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องอย่างเพียงพอ ระบบระบายอากาศดังกล่าวอาจเป็นการจัดให้มีการหมุนเวียนของอากาศแบบธรรมชาติคือ การติดตั้งปล่องระบายอากาศโดยตรงจากส่วนบนสุดของห้องเก็บสู่บรรยากาศภายนอก ปล่องระบายอากาศจะต้องไม่มีส่วนโค้งมากกว่า 45 องศาจากแนวดิ่ง ถ้าหากไม่สามารถจัดให้มีปล่องระบายอากาศแบบธรรมชาติได้จะต้องติดตั้งระบบระบายอากาศโดยใช้พัดลม ซึ่งขนาดของพัดลมที่ใช้จะต้องมีความสามารถหมุนเวียนอากาศภายในห้องทั้งหมดได้ภายใน 2 นาที สีภายในของปล่องระบายอากาศ ท่อระบายอากาศ และพัดลมระบายอากาศจะต้องทาด้วยสีป้องกันการผุกร่อน

ตู้เก็บแบตเตอรี่ ถ้าสามารถทำได้ควรจัดให้มีการระบายอากาศเช่นเดียวกับห้องเก็บแบตเตอรี่ แต่ถ้าตู้เก็บแบตเตอรี่อยู่ภายในห้องที่มีการระบายอากาศที่ดี เช่น ห้องเครื่องไฟฟ้า ห้องเครื่องจักรใหญ่ เป็นต้น สามารถทำท่อระบายอากาศจากตู้เก็บฯ ออกไปยังห้องนั้นๆ ได้ โดยที่ท่อที่ต่อจากส่วนบนสุดของตู้เก็บฯ จะต้องสูงจากส่วนบนสุดของตู้เก็บฯ ไม่น้อยกว่า 3 ฟุต และผนังตู้เก็บฯ ส่วนใกล้ๆ กับพื้นตู้จะต้องทำเป็นช่องคล้ายบานเกล็ด (Louver) เพื่อเป็นช่องให้อากาศดีเข้า

กล่องเก็บแบตเตอรี่ (Deck Box) ควรจัดให้มีท่อระบายอากาศจากส่วนบนสุดของกล่อง โดยปลายท่อสูงจากตัวกล่องอย่างน้อย 4 ฟุต เป็นท่อโค้งแบบคอห่าน (Goose Neck) หรือหัวเห็ด (Mushroom Head) หรือแบบอื่นๆ ที่สามารถป้องกันน้ำเข้าสู่ภายในกล่อง ช่องทางสำหรับอากาศดีควรจัดให้มีสองด้านโดยอยู่ตรงกันข้าม ถ้าหากกล่องเก็บแบตเตอรี่มีขนาดเล็กให้ทำช่องเปิดระบายอากาศที่ด้านบนสุดเท่านั้นก็เพียงพอแล้ว

5. ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (BATTERY RATING)

ควรจะมีขนาดเพียงพอในการใช้งานโดยพิจารณาถึงเวลาและอัตราในการจ่ายพลังงานให้กับระบบหรืออุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะต้องถูกติดตั้งให้มีระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน ขนาดความจุและเวลาในการใช้งานดังกล่าวจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และการใช้งานภายในเรือ

หม้อแบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน เมื่อเริ่มจ่ายกระแส (แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะประจุกระแสเต็ม) จะต้องมีแรงเคลื่อนไม่สูงเกินกว่า 105 % ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าปกติสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน และจะต้องมีแรงเคลื่อนไม่ต่ำกว่า 87.5 % ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าปกติสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน เมื่อการจ่ายกระแสถึงเวลาที่กำหนด (เวลาที่ออกแบบไว้ว่าระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉินจะต้องสว่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง)

แบตเตอรี่สำหรับหมุนเครื่องจักร ต้องมีขนาดความจุที่เพียงพอในการหมุนเครื่องได้นาน 1.5 นาที ที่ความเร็วในการเริ่มเดินเครื่องจักร และสามารถทำการเริ่มเดินเครื่องจักรได้ติดต่อกันอย่างน้อย 6 ครั้ง โดยไม่ต้องประจุไฟใหม่

6. เครื่องประจุไฟแบตเตอรี่ (BATTERY CHARGER)

ในขณะที่แบตเตอรี่จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ในลักษณะ Floating Service หรือจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์โดยแบตเตอรี่กำลังประจุไฟ ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายออกจะต้องไม่เกินจำนวนที่ปลอดภัยสำหรับการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าขนาดแรงเคลื่อนที่จ่ายออกจะเกินขนาดปลอดภัยสำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งาน จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage Regulator) ให้กับอุปกรณ์ดังกล่าวด้วย

การประจุไฟแบตเตอรี่จะต้องสามารถประจุไฟฯ ให้เต็มได้ภายในเวลาไม่เกิน 8 ชม. โดยที่กระแสที่ใช้ในการประจุต้องไม่สูงเกินเกณฑ์ปลอดภัย (Safe Charging Rate) และแบตเตอรี่สำหรับเครื่องวิทยุจะต้องมี 2 ชุด ซึ่งจะแบ่งเป็นชุดที่กำลังใช้งานและชุดประจุไฟอย่างละ 1 ชุด ในกรณีนี้การ

ประจุไฟจะต้องสามารถประจุไฟได้เท่ากับหรือเร็วกว่าการจ่ายไฟของชุดที่กำลังใช้งาน เพื่อให้สามารถใช้เครื่องวิทยุได้อย่างต่อเนื่อง

อุปกรณ์ประจุไฟสำหรับแบตเตอรี่ที่จ่ายแรงเคลื่อนสูงกว่า 20 % ของขนาดแรงเคลื่อนใช้งานในระบบ จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการย้อนกลับของกระแส (Reverse Current) ชนิดทำงานโดยอัตโนมัติไว้ด้วย

7. การป้องกันการใช้งานเกินกำลัง (OVERLOAD PROTECTION)

การป้องกันการใช้งานเกินกำลังสำหรับแบตเตอรี่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินที่มีขนาดต่ำกว่า 600 แอมป์ ลงมาสามารถใช้ฟิวส์แทนตัวตัดตอนไฟฟ้า (Circuit Breaker) ได้

8. ข้อควรระวังในการใช้งานแบตเตอรี่

เมื่อ Lead Sulfate ($PbSO_4$) สลายตัว ความถ่วงจำเพาะของสารละลาย Electrolyte จะเพิ่มขึ้น เซลล์จะมีความต้านทานภายในต่ำและสามารถให้กระแสสูงขึ้น หลังจากเซลล์ได้รับการประจุเต็มที่แล้ว ถ้ายังคงประจุไฟต่อไปอีกพลังงานจะถูกใช้ในการ Electrolysis (เป็นการแยกสลายของสารประกอบทางเคมีโดยกระแสไฟฟ้า) ทำให้น้ำในสารละลาย Electrolyte จะแตกตัวออกเป็นก๊าซ Hydrogen ($2H_2$) และก๊าซ Oxygen (O_2) ซึ่งจะผุดเป็นฟองอากาศ ออกจากสารละลาย Electrolyte ภายใต้สภาวะเช่นนี้เรียกว่าการเกิด “ก๊าซซิ่ง” (GASSING) และถ้าเกิดติดต่อกันเป็นเวลานาน หรือเกิดขึ้นในอัตราสูงเกินไป จะทำให้เกิดการเสียหายแก่แผ่นธาตุจนไหม้ได้หรือแผ่นธาตุอาจบิดงอไป และ Lead Peroxide (PbO_2) กับ Sponge Lead (Pb) บนแผ่นธาตุจะหลวมคลอน

บทที่ 5
สวิทซ์บอร์ด
(SWITCHBOARDS)

สวิทช์บอร์ด คือ ตู้ที่ติดตั้งอุปกรณ์ทางไฟฟ้าซึ่งมีหน้าที่ควบคุมและป้องกันในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบสายส่ง ระบบจ่าย และมอเตอร์หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ อาจจะเป็นตู้เดี่ยวหรือประกอบด้วยหลายๆ ตู้รวมกันก็ได้ โดยปกติพิกัดความสามารถในการทำงาน (Rating) จำนวนอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนตู้จะขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายในการใช้งานของตู้นั้นๆ

1. สวิทช์บอร์ดที่ติดตั้งในเรือ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1.1 สวิทช์บอร์ดหลัก (Main Switchboard) เป็นสวิทช์บอร์ดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักของเรือ อาจจะมีจำนวนหนึ่งตู้หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับขนาดของเรือ ขนาดของพลังงานไฟฟ้า และระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยปกติจะประกอบด้วยตู้ย่อยต่างๆ หลายตู้ เช่น ตู้สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ต่ออยู่กับตู้นั้นๆ ตู้สำหรับควบคุมการทำงานในลักษณะขนานเครื่อง ตู้สำหรับต่อวงจรไฟบก ตู้สำหรับจ่ายไฟไปใช้งาน ซึ่งอาจต่อไปยังจุดศูนย์กลางภาระ (Load Center), ตู้จ่ายไฟกำลัง (Power Switchboard) หรือต่อไปยังภาระโดยตรง (Direct Load)

1.2 สวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน (Emergency Switchboard) เป็นสวิทช์บอร์ดสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินของเรือ โดยปกติจะมีจำนวนหนึ่งตู้ และจะประกอบด้วยตู้ย่อยต่างๆ เช่น ตู้ย่อยสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน ตู้สำหรับจ่ายไฟไปใช้งาน

1.3 สวิทช์บอร์ดศูนย์กลางภาระ (Load-Center Switchboard) เป็นสวิทช์บอร์ดที่รับไฟจากสายส่ง (Feeder) ของสวิทช์บอร์ดหลัก และจ่ายไฟไปยังแผงย่อยไฟกำลัง, ภาระ และไฟแสงสว่างในพื้นที่รับผิดชอบของสวิทช์บอร์ดศูนย์กลางภาระ (Load-Center Switchboard) นั้นๆ ในการพิจารณาติดตั้งจะคำนึงถึงเหตุผลเกี่ยวกับความสะดวกและความประหยัดเป็นหลัก โดยปกติจะติดตั้งในเรือขนาดใหญ่

ในการเตรียมการเพื่อให้ข้อมูลกับบริษัทผู้ผลิตนั้นจะต้องพิจารณาถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเรือ ขนาด จำนวน และชนิดของเครื่องขับและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดที่จะต้องติดตั้งในเรือ การออกแบบเบื้องต้นสำหรับระบบการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Distribution System) ที่ใช้ในเรือ พิจารณาสถานที่ติดตั้งสำหรับสวิทช์บอร์ดและแผง (Panel) ต่างๆ เพื่อกำหนดขีดจำกัดเกี่ยวกับขนาดความกว้าง ยาว และสูง ที่สำคัญที่สุดคือการพิจารณาถึงข้อกำหนดคุณสมบัติเฉพาะของสวิทช์บอร์ดและแผงย่อย สำหรับติดตั้งใช้งานในเรือเพื่อให้ได้สวิทช์บอร์ดที่มีคุณสมบัติเหมะสมสำหรับการติดตั้งใช้งานในเรือ

2. การติดตั้งและสถานที่ติดตั้ง (INSTALLATION AND LOCATION)

สวิทช์บอร์ดสำหรับควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Switchboard) ควรจะติดตั้งให้อยู่ในบริเวณเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มันควบคุมอยู่ และควรจะต้องเป็นห้องปิดมิดชิด เช่น อาจจะติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องควบคุมเครื่องจักรที่อยู่ในบริเวณนั้น ควรจะติดตั้งในบริเวณที่แห้ง มีระยะห่างจากท่อน้ำ ไอน้ำ และน้ำมัน แต่ถ้าหากมีความจำเป็นจะต้องเดินท่อเหล่านี้ผ่านในบริเวณที่สวิทช์บอร์ดฯ ติดตั้งอยู่จะต้องมีการป้องกันการหยดและข้อต่อของท่อทาง จะต้องเป็นการต่อด้วยการแล่นประสานเท่านั้น การติดตั้งสวิทช์บอร์ดควรให้สามารถเข้าถึงได้ทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่งจะต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการบำรุงรักษา แต่ถ้าสวิทช์บอร์ดที่ด้านหลังปิด จะต้องสามารถทำการบำรุงรักษาสวิทช์บอร์ดได้จากทางด้านหน้า (ไม่น้อยกว่าสวิทช์บอร์ดที่สามารถทำการบำรุงรักษาจากทางด้านหลังได้) โดยจะต้องมีพื้นที่เพื่อการทำงานไม่น้อยกว่าตารางที่ 1

แรงดันไฟฟ้าเทียบกับพื้นเรือ	สภาวะ	ระยะห่าง	ระยะห่างเมื่อมี Stiffener และ frames
0–150	1	0.91 m	0.61 m
0–150	2	0.91 m	0.76 m
0–150	3	0.91 m	0.91 m
151–600	1	0.91m	0.76m
151–600	2	1.07 m	0.91 m
151–600	3	1.22 m	1.07 m
601–2500	1	0.91 m	0.76 m
601–2500	2	1.22 m	1.07 m
601–2500	3	1.52 m	1.22 m
2501–9000	1	1.22 m	1.07 m
2501–9000	2	1.52 m	1.22 m
2501–9000	3	1.82 m	1.52 m
9001–25000	1	1.52 m	1.22 m
9001–25000	2	1.82 m	1.52 m
9001–25000	3	2.74 m	1.82 m
25001–35 000	1	1.82 m	1.52 m
25001–35 000	2	2.44 m	1.82 m

แรงดันไฟฟ้าเทียบกับพื้นเรือ	สภาวะ	ระยะห่าง	ระยะห่างเมื่อมี Stiffener และ frames
25001–35 000	3	3.05 m	2.44 m

หมายเหตุ คำว่า “สภาวะ” มีความหมายดังต่อไปนี้:

1) Exposed live parts on one side and no live or grounded parts on the other side of the working space, or exposed live parts on both sides effectively guarded by suitable insulating materials. Insulated wire or insulated busbars operating at not over 300 V shall not be considered live parts.

2) Exposed live parts on one side and grounded parts on the other side.

3) Exposed live parts on both sides of the work space (not guarded as in condition a)) with the operator between.

ข้อยกเว้น: Working space shall not be required in both of assemblies such as dead-front switchboards where there are no renewable or adjustable parts such as fuses or switches on the back and where all connections are accessible from locations other than the back.

ตารางที่ 1 แสดงความต้องการระยะห่าง (ที่ต้องการเป็นอย่างน้อย เพื่อเป็นพื้นที่ในการบำรุงรักษาสวิทช์บอร์ดหลัก) สำหรับสวิทช์บอร์ด

พื้นที่ด้านหน้าของแผงสวิทช์บอร์ดไม่ควรมีสิ่งกีดขวางการทำงาน บำรุงรักษา และการถอด/ประกอบอุปกรณ์ของสวิทช์บอร์ด โดยปกติแล้วควรมีระยะไม่น้อยกว่า 0.91 เมตร และสวิทช์บอร์ดหลักควรจะติดตั้งบนฐานที่ยกสูงกว่าพื้นห้อง โดยระดับที่เหมาะสมนั้นจะอยู่ในระดับที่ไม่ต่ำกว่าช่องทางระบายน้ำ แต่ถ้าต้องการหลีกเลี่ยงความสูงของตู้มากเกินไป สามารถทำขอบผนึกน้ำและการระบายน้ำที่เหมาะสมให้กับสวิทช์บอร์ดได้เช่นกัน การติดตั้งสวิทช์บอร์ดหลักควรจะเป็นชนิด Self-Supporting และควรจะมีฉนวนปูที่พื้นบริเวณด้านหน้าของสวิทช์บอร์ดหลักไปตลอดช่วงความยาวของสวิทช์บอร์ดโดยมีความกว้างไม่น้อยกว่าที่ระบุสำหรับพื้นที่ในการทำงานข้างต้น

เมื่อด้านหลังของสวิทช์บอร์ดสามารถเข้าถึงได้โดยผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในส่วนหลังของสวิทช์บอร์ดนี้จะต้องมีการป้องกันการเข้าถึงได้โดย ซึ่งอาจจะทำประตูกั้นและใส่กุญแจได้

3. ชนิดของสวิทช์บอร์ด (TYPE OF SWITCHBOARD) มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ Dead Front และ Live Front ซึ่งจะมีข้อแตกต่างกันดังนี้

3.1 สวิทช์บอร์ดชนิด Dead Front เป็นแบบที่ส่วนของอุปกรณ์ที่ทำงานทั้งหมดจะอยู่ภายในโครงสร้างของสวิทช์บอร์ด สำหรับอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องถูกใช้งานโดยควบคุมจากภายนอกตู้ (Front-of-Board Operation) จะต้องถูกติดตั้งอย่างดีกับโครงสร้างภายในโดยจะมีเฉพาะแขนจับหรือปุ่มกดโผล่ออกมาจากตัวตู้ ซึ่งมีลักษณะเป็นบานพับเท่านั้น เครื่องมือวัด ไฟแสดงสถานะต่างๆ จะถูกติดตั้งอยู่บนบานพับด้านหน้า สวิทช์บอร์ดชนิดนี้จะมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและอุปกรณ์ภายในตู้ฯ มาก และเป็นแบบที่ใช้ในเรือ

3.2 สวิทช์บอร์ดชนิด Live Front เป็นแบบที่อุปกรณ์ทำงานต่างๆ เช่น Fuse, Circuit Breaker และเครื่องมือวัดต่างๆ ถูกติดตั้งอยู่นอกตู้ฯ (Surface Mounted)

ข้อกำหนดโดยทั่วๆ ไปสำหรับการเลือกชนิดของสวิทช์บอร์ดคือ ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อเทียบกับ Ground หรือระหว่างเส้นแล้วสูงกว่า 48 โวลต์ และในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อเทียบกับ Ground หรือระหว่างเส้นแล้ว สูงกว่า 250 โวลต์ จะต้องใช้สวิทช์บอร์ดแบบ Dead Front

4. โครงสร้างของสวิทช์บอร์ดแรงดันต่ำ (แรงดันไม่เกิน 1000 โวลต์)

ควรจะเป็นแบบ Dead Front และ Metal enclosed และการจัดเรียงอุปกรณ์ภายในจะต้องง่ายต่อการเข้าบำรุงรักษาและถอดเปลี่ยน สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 55 โวลต์ ที่ติดตั้งบนบานพับจะต้องมีสิ่งป้องกันผู้ปฏิบัติงานจาก Electrical Shock ผนังด้านหน้าที่ติดตั้ง instruments, relays, switches, และอุปกรณ์อื่นๆ จะต้องทำเป็นบานพับเพื่อให้สามารถเข้าถึงได้อย่างสม่ำเสมอ สำหรับบานพับที่มีขนาดใหญ่สูงกว่า 1100 มม. หรือกว้างกว่า 610 มม.จะต้องมี Panel Positioner เสมอ สำหรับแผงที่ไม่ต้องการการเปิดปิดอย่างสม่ำเสมอในการบำรุงรักษาหรือปฏิบัติงานสามารถใช้ Bolt ขันปิดได้ ถ้าหากสวิทช์บอร์ดไม่สามารถเข้าจากทางด้านหลังได้อุปกรณ์ และ Bus Connection จะต้องอยู่ลึกไม่เกิน 460 มม. จากด้านหน้าของสวิทช์บอร์ด

สวิทช์บอร์ดสำหรับปิดด้านข้างควรจะทำจากโลหะพร้อม Louvers บริเวณด้านบนและด้านล่างเมื่อมีความต้องการการระบายอากาศภายในตู้ ซึ่งควรจะทำเป็นผนังถาวรถ้าหากไม่มีความต้องการในการเปิดเพื่อบำรุงรักษาหรือเพื่อการอื่น

ฉนวนสำหรับ แผง ฐาน ทางไฟ และส่วนรองรับข้อต่อ ควรจะทำจากวัสดุทนความชื้น ไม่ลามไฟ ไม่ติดไฟ มี Dielectric สูง และมีความแข็งแรงทางกล

ควรจะมีราวสำหรับจับตลอดความยาวของสวิทช์บอร์ดที่แนะนำให้ใช้คือราวจับในแนวนอน แต่ถ้ามีข้อขัดข้อราวจับในแนวตั้งในทุก Section ของสวิทช์บอร์ดก็สามารถยอมรับได้เช่นกันและวัสดุที่ใช้จะต้องเป็นฉนวน

สายไฟสำหรับวงจรควบคุมจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า AWG (American Wire Gage) #14 ยกเว้นสายที่จำเป็นจะต้องเข้าอุปกรณ์ซึ่งต้องการขนาดสายที่เล็กกว่า สายภายในสำหรับวงจรเครื่องมือต่างๆ (Instrument Circuit) จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า AWG #20 และสายไฟที่ใช้จะต้องผ่านการทดสอบการไหม้ไฟในแนวดิ่งตาม VW-1 ที่สอดคล้องกับ ANSI/UL 1581-1991

สายภายในทุกเส้นจะต้องมีการจับยึดอย่างดีเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดจากการเสียดสี ตัด หรือการเคลื่อนไหวอย่างรุนแรงจากความสั่นสะเทือน และจะต้องทนต่อกระแสลัดวงจรสูงสุดได้

5. โครงสร้างของสวิทช์บอร์ดแรงดันปานกลาง (แรงดันตั้งแต่ 1001 ถึง 15000 โวลต์)

สวิทช์บอร์ดควรใช้แบบ Metal-Clad ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเหมือนกับสวิทช์บอร์ดแรงดันต่ำ แต่มีคุณลักษณะเพิ่มเติมดังนี้

ตู้สวิทช์บอร์ดจะต้องมีฉากโลหะป้องกัน (Metal Barier) สำหรับส่วนปฐมภูมิ (Primary Section) แต่ละส่วน ซึ่งส่วนปฐมภูมิ (Primary Section) นั้น ประกอบด้วย Bus Compartment, Primary Entrance Compartment, the Removable Element Compartment, the Potential Transformer Compartment และ the Control Transformer Compartment ในการลดการนำไฟฟ้าที่ผิด (Communicating Faults) ระหว่างส่วนปฐมภูมิ (Primary Section) จะต้องไม่มีส่วนใดๆ ของฉากโลหะป้องกันมีช่องเปิด

Mechanical Interlock ควรจะมีลักษณะดังนี้

ก. ป้องกัน Circuit Breaker สับเข้าหรือออกตำแหน่งต่อทางไฟ เมื่อ Switching Device อยู่ในตำแหน่งปิด

ข. ป้องกันการต่อทางไฟของ Switching Device เว้นเสียแต่ว่า Primary Disconnecting Devices ปิดสนิทหรือแยกจากกันในระยะปลอดภัย

ค. จะต้องจับยึด Circuit Breaker ให้อยู่ในตำแหน่งได้อย่างแน่นหนาไม่ว่าจะอยู่ในตำแหน่งต่อทางไฟหรือตำแหน่งทดลอง

ง. ป้องกันการปลดหรือเข้าถึง Fuses ทางด้านปฐมภูมิ (Primary Side) ของ Control Power Transformer ยกเว้นวงจรทางด้านทุติยภูมิ (Secondary Circuit) นั้นเปิดอยู่

จ. ป้องกันการปลดกลไกการเก็บพลังงานของ Circuit Breaker ยกเว้นว่ากลไกนั้นได้รับการประจุพลังงานเต็มแล้ว

ฉ. ป้องกัน Circuit Breaker หลุดจาก Housing ภายหลังจากที่กลไกการเก็บพลังงาน (Stored Energy Mechanism) ของ Circuit Breaker นั้นได้รับการประจุพลังงานเต็มที่

เครื่องมือ มิเตอร์ รีเลย์ อุปกรณ์ควบคุม และการเดินสายของส่วนทุติยภูมิ (Secondary) ควรจะแยก Ground ต่างหากจากส่วนปฐมภูมิ (Primary)

6. การออกแบบอุปกรณ์สำหรับสวิทช์บอร์ด

อุปกรณ์จะต้องสามารถทนการสั่นสะเทือนโดยไม่มีการชำรุดหรือทำงานผิดปกติ และสามารถทำงานได้เมื่อเรือเอียง 45 องศาในทุกทิศทางจากแนวดิ่ง

อุปกรณ์ Switching ทุกตัวที่ทำงานบน Power Switchboards ควรจะมีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่ากระแสต่อเนื่องสูงสุดของ Apparatus ที่มันควบคุม สำหรับ Apparatus ที่มีความสามารถในการทนกระแส Overload ได้ถึง 30 นาที หรือมากกว่า อุปกรณ์ Switching จะต้องทนได้ถึงกระแส Overload นั้น สำหรับ Apparatus ที่มีพิกัดกระแสสูงในระยะเวลาสั้นๆ อุปกรณ์ Switching จะต้องทนกระแสนั้นได้เช่นกัน

สำหรับอุปกรณ์ในการแสดงค่า ควรเป็นชนิดที่สำหรับติดตั้งบนสวิทช์บอร์ด ยกเว้นอุปกรณ์สำหรับประจุแบตเตอรี่ ซึ่งอาจจะเป็นชนิดที่ติดตั้งบนแผง มีความถูกต้องของการแสดงค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชนิดที่ติดตั้งบนสวิทช์บอร์ดนั้นจะมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 1 %

โวลต์มิเตอร์ควรจะมีช่วงการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 1

ช่วงของแรงดันไฟฟ้าระบบ	ช่วงของโวลต์มิเตอร์
115-120	0-150
220-240	0-300
440-480	0-600
575-600	0-700
2400	0-3000
4160	0-5250

ตารางที่ 1 ช่วงของโวลต์มิเตอร์กับแรงดันที่ใช้วัด

ช่วงของ Ammeter และ Wattmeter จะต้องเพียงพอต่อค่ากระแสและกำลังงานสูงสุดของสภาวะการทำงานปกติ และจะต้องสามารถแสดงค่าได้ 110 ถึง 150 % ของพิกัดกระแสและกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะปกติ สำหรับวงจรที่อาจเกิด Overload สูงขึ้น 25 % ของภาระปกติ พิกัดของ Ammeter และ Wattmeter ควรจะไม่น้อยกว่า 135 % ของสภาวะปกติ

7. CIRCUIT BREAKERS

พิกัดกระแส (Current Rating) ของ Circuit Breakers ควรเป็นความสามารถในการนำกระแสอย่างต่อเนื่องของ Circuit Breaker โดยการเพิ่มของอุณหภูมิของ Circuit Breaker ไม่เกินค่า Temperature Rise

สำหรับ Circuit Breaker ไฟกำลังชนิดแรงดันไฟฟ้าต่ำอาจมีอุปกรณ์ปลดทางไฟ (Trip Device) แบบ Electromechanical หรือ Electronic อุปกรณ์สำหรับกระแสเกินควรจะมีตัวปลดหน่วงเวลา (Time Trip) ได้เมื่อกระแสเกินในลักษณะ Long time, Short Time, หรือทั้งสองอย่าง สำหรับตัวปลดหน่วงเวลาของ Power Circuit Breaker ควรจะต้องสามารถปรับเวลาในการปลดได้ แต่สำหรับ MCCB นั้นไม่จำเป็นต้องปรับเวลาได้

Arcing Contacts ควรจะสามารถถอดเปลี่ยนได้โดยง่าย ยกเว้นชนิดที่เป็น Mold case circuit breackers และ circuit breaker ทุกตัวควรจะเป็นชนิด trip free

Circuit breaker ชนิดที่เป็น Mold case ทุกตัวจะต้องถูกวางในลักษณะที่สามารถถอด Circuit Breaker ออกทางด้านหน้าของตู้ได้โดยไม่ต้องถอดสายหรือปลดทางไฟที่จ่ายไฟให้กับ Circuit Breaker ก่อน

8. การจัดวางอุปกรณ์ (ARRANGEMENT OF SWITCHBOARD EQUIPMENT)

อุปกรณ์ที่ต้องทำงานหรือตรวจสอบจากทางด้านหน้าของ Switchboard ควรจะได้รับการจัดวางเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดและสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก Mold case circuit breaker นั้นสามารถวางได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ในระดับกึ่งกลางของ Main switchboard นั้นจะติดตั้ง circuit breaker ที่มีขนาด Frame Size ประมาณ 400 A และ Circuit breaker ที่ใหญ่กว่านี้ไม่ควรติดตั้งในตำบลที่สูงกว่าฐานของ Main Switchboard เกิน 1800 mm เมื่ออุปกรณ์ตัดต่อทางไฟบางอย่างเช่น Air Circuit Breaker วางซ้อนกันอยู่ ควรจะมีระยะห่างพอสมควรเพื่อป้องกันสะเก็ดไฟจากการ Arc หรือควรจะมีแผ่นกั้นป้องกันติดตั้งอยู่

ควรจะมีระยะระหว่างฐานของ Switchboard กับ ตัวนำไฟฟ้าเปลือย (Live Part) อย่างน้อย 200 mm การจัดวาง Buses และ Interconnection ต่างควรจะได้รับการออกแบบเพื่อให้มีพื้นที่สำหรับสายไฟและการเข้าหัวสายของสายไฟต่างๆ ด้วย

โดยปกติแล้วการซ่อมบำรุง Fuses, Instrument และ Control Circuit ต่างๆ ควรจะสามารถกระทำได้จากทางด้านหน้าของ Switchboard

ถ้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อาจจะทำงานที่อุณหภูมิสูงเช่น Rheostats เป็นต้น ติดตั้งอยู่ใน Switchboard อุปกรณ์นั้นๆ ควรจะถูกติดตั้งแยกออกไปหรือมีแผ่นกั้นและมีการระบายอากาศเพื่อป้องกันการเพิ่มอุณหภูมิของอุปกรณ์ข้างเคียงสูงเกินไป ถ้าหากไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวในพื้นที่โล่งหรือมีแผ่นกั้นได้ อุปกรณ์นั้นๆ ควรจะติดตั้งนอก Switchboard

สำหรับ AC Switchboard ที่มี Synchroscope และ Synchronizing Lamps อยู่ ควรจะติดตั้ง Synchroscope และ Synchronizing Lamps ในบริเวณที่เห็นได้ง่ายจากบริเวณที่เจ้าหน้าที่ที่กำลังควบคุม

เครื่องทำงานอยู่ อุปกรณ์ปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าควรจะอยู่ใกล้ๆ กับมาตรวัดแรงดันไฟฟ้าที่มันปรับอยู่ และมิเตอร์วัดความถี่ควรจะอยู่ในตำแหน่งที่สามารถอ่านได้ง่ายจากสวิทช์ควบคุมความเร็วเครื่อง

9 การป้องกันอุปกรณ์ (PROTECTIVE FUNCTION)

9.1 กล่าวโดยทั่วไป

Molded-Case Circuit Breaker อาจจะสามารถใช้แทน Power Circuit Breaker ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า 25 กิโลวัตต์ และไม่ได้ขนานเครื่องในการใช้งาน

9.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating-Current Generators)

Circuit Breaker ที่ใช้ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรเป็นชนิด Trip-Free สำหรับ Power Circuit Breaker สำหรับไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low Voltage) ควรจะมีชุดตัดทางไฟชนิด Long-time Overcurrent หรืออาจจะใช้ Circuit Breaker สำหรับไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (Medium Voltage) ที่มี Overcurrent Relays แบบตรวจจับกระไฟฟ้าผิดปกติในลักษณะ Long-Time ได้ ซึ่งการตั้งค่าการตรวจจับกระแสไฟฟ้าสูงเกินปกติแบบ Long-Time นี้ไม่ควรเกิน 115 % ของพิกัดที่ใช้งานอย่างต่อเนื่อง (Continuous Rated) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Circuit Breaker สำหรับไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low-Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรจะมี Short Time-Delay Trips ส่วน Circuit Breaker สำหรับไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (Medium Voltage) อาจไม่จำเป็นต้องมีถ้าอุปกรณ์ป้องกันแบบ Long-Time สามารถป้องกันเครื่องกำเนิดได้ตามที่ต้องการแล้ว สำหรับเครื่องกำเนิดที่จะต้องเดินขนานกันตั้งแต่ 3 เครื่องขึ้นไป ควรจะต้องมี Instantaneous Trips ที่ตั้งค่าการทำงานไว้สูงกว่าค่ากระแส Short - Circuit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว

ถ้าหากเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกันตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป ควรจะมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟย้อนกลับ (Reverse Power) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว อุปกรณ์ป้องกันควรจะทำงานที่ค่า Reverse Power เท่ากับหรือมากกว่า 15 % ของพิกัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซล และทำงานที่ 5% ของพิกัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันก๊าซ ถ้าหากมีการใช้ Reverse Power Relay ซึ่งอาจจะทำงานในขณะที่มีการย้อนกลับของกระแสเพียงเล็กน้อย เพื่อป้องกันการตัดวงจรไฟฟ้า (Tripping) ขณะสับทางไฟ (Switching) อุปกรณ์ป้องกัน Reverse Power ควรจะต้องมีอุปกรณ์หน่วงเวลา (Time Delay) ติดตั้งอยู่ด้วย

9.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Direct-Current Generators)

Circuit Breaker ที่ใช้ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรเป็นชนิด Trip-Free ที่มี Time Overcurrent โดยตั้งค่าการตัดวงจร (Trip) ไว้ไม่เกิน 115 % ของพิกัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การตั้งค่า Instantaneous Trip ของ Circuit Breaker ของเครื่องกำเนิดควรจะตั้งไว้ต่ำกว่าค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดของเครื่องกำเนิดเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากไฟกระโดดที่ซี่ Commutator

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายไฟในลักษณะขนานกันตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป Circuit Breaker ของเครื่องกำเนิดจะต้องมี Reverse-Current Relay ที่จะทำงานเมื่อกระแสย้อนกลับมีค่าสูงจนเพียงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ซึ่ง Reverse-Current Relay ควรจะทำงานที่กระแสย้อนกลับมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 15 % ของพิกัดพลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซล และควรจะทำงานที่กระแสย้อนกลับมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 5 % ของพิกัดพลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันก๊าซ ถ้าหากมีการใช้ Reverse Power Relay ซึ่งอาจจะทำงานในขณะที่มีการย้อนกลับของกระแสเพียงเล็กน้อย เพื่อป้องกันการตัดวงจรไฟฟ้า (Tripping) ขณะสับทางไฟ (Switching) อุปกรณ์ป้องกัน Reverse Power ควรจะต้องมีอุปกรณ์หน่วงเวลา (Time Delay) ติดตั้งอยู่ด้วย

บทที่ 6
อุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง
(POWER EQUIPMENT)

อุปกรณ์ไฟฟ้ากำลัง หมายถึง อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น มอเตอร์ อุปกรณ์ควบคุมสำหรับมอเตอร์ เบรค อุปกรณ์แปลงกำลังไฟฟ้า เป็นต้น โดยปกติอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังดังกล่าวที่ใช้ในเรือสามารถแยกออกเป็นแบบมาตรฐานต่าง ๆหลายแบบ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอุปกรณ์นั้น ๆ ในการใช้งาน สถานที่ติดตั้งและคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของอุปกรณ์นั้น ๆ ดังนั้นในการเลือกใช้อุปกรณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องพิจารณาให้รอบคอบ

1. มอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ (MOTOR AND MOTOR' S CONTROLLER)

1.1 ชนิดของมอเตอร์ (MOTOR CLASSIFICATION)

1.1.1 ชันท์ – เวาน์ด มอเตอร์ (Shunt-Wound Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งวงจรของขดลวดฟิลด์และขดลสวดอาร์เมจอร์ต่อกันในลักษณะขนาน

1.1.2 สเตบิไลซ ซันท์-เวาน์ด มอเตอร์ (Stabilized Shunt-Wound Motor) มอเตอร์แบบ ซันท์-เวาน์ด ซึ่งมีขดลวดขนาดเล็กต่ออนุกรมอยู่เพื่อป้องกันการเพิ่มของความเร็ว หรือเพื่อลดความเร็วลงในขณะที่มีการเพิ่มโหลด

1.1.3 ซีรี-เวาน์ด มอเตอร์ (Series-Wound Motor) มอเตอร์ชนิดมีเครื่องเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (Commutator) ซึ่งขดลวดฟิลด์ (Field) และขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ต่อกันในลักษณะอนุกรม (ในการใช้งานความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะมีโหลดน้อยจะสูงกว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะที่มีโหลดเต็มที่มาก)

1.1.4 ค็อมเพานด์-เวาน์ด มอเตอร์ (Compound - Wound Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีขวดลวดฟิลด์สองขด โดยปกติขดลวดฟิลด์ขนาดใหญ่ (Predominating Field) จะต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) และอีกขดหนึ่งต่ออนุกรมกับวงจรของอาร์เมเจอร์ คุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้จะเกี่ยวกับความเร็วรอบและทอร์ค (Torque)

1.1.5 อินดัคชั่นมอเตอร์ (Induction Motor – มอเตอร์ ชนิดเหนี่ยวนำ) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าจะต่อกับขดลวดปฐมภูมิปกติ คือ ขดลวดสเตเตอร์และขดลวดทุติยภูมิแบบหลายเฟส (Poly-Phase) หรือแบบกรงกระรอก (Squirrel-Cage) โดยปกติมอเตอร์ชนิดนี้จะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโรเตอร์ (Rotor) โดยตรง กระแสที่ไหลภานในโรเตอร์ (Rotor) คือกระแสที่ถูกเหนี่ยวนำจากอาร์มาเจอร์ (Armature)

1.1.5.1 มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ โรเตอร์ชนิดกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำซึ่งวงจรทางด้านทุติยภูมิประกอบด้วย ขดลวด ซึ่งพันในลักษณะกรงกระรอก

1.1.5.2 มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ โรเตอร์ชนิดเวาน์ด (Wound Rotor Induction Motor) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งวงจรทางด้านทุติยภูมิ ประกอบด้วยขดลวดชนิดหลายเฟส (Poly-Phase Winding) หรือขดลวด (Coils) ซึ่งขั้วต่อถูกลัดวงจร (Short Circuited) หรือต่อเข้ากับวงจรที่เหมาะสม เมื่อประกอบด้วย Collector หรือ Slip Ring จะเรียกว่า Slip Ring Induction Motor)

1.1.6 ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motor) ซิงโครนัสแมชชีน (เครื่องจักรกล ซึ่งรอบความเร็วเฉลี่ยขณะใช้งานปกติ จะเท่ากับอัตราส่วนของความถี่ของระบบไฟฟ้ากับจำนวน Pole ของซิงโครนัสมอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ไม่มีการเลื่อนไถล (slip)) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยปกติสนามแม่เหล็กจะถูกเหนี่ยวนำโดยไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 คุณสมบัติทางกลของมอเตอร์ (MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MOTOR)

1.2.1 โครงสร้างและการระบายอากาศ (Enclosure and Method of Ventilation) ลักษณะของโครงสร้างและการระบายอากาศของมอเตอร์ที่ใช้งานในเรือ มีหลายแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ลักษณะโดยทั่ว ๆ ไป ที่ใช้ในเรือประกอบด้วย

(1) Open Self-Ventilation เป็นโครงสร้างที่การระบายอากาศจากภายนอกสามารถผ่านไปบริเวณรอบ ๆ ของขดลวดของมอเตอร์ ใช้เฉพาะในบริเวณโครงสร้างดังกล่าวสามารถให้การป้องกันที่เพียงพอคือ ไม่เกิดอันตรายกับผู้ใช้และอุปกรณ์ขณะใช้งาน

(2) Dripproof Protected Self Ventilation โครงสร้างที่สามารถป้องกันหยดของเหลวหรือของแข็งขนาดเล็ก ๆ ที่ตกลงมาบนโครงสร้างในทิศทางต่าง ๆ ในมุมที่ไม่เกิน 15 องศา จากแนวดิ่งไม่ให้ผ่านเข้าไปในโครงสร้าง หรือในกรณีที่ผ่านเข้าไปได้ (มีขนาดเล็กมากๆ) จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือมีผลเสียต่อการทำงานของอุปกรณ์ภายในโครงสร้างการระบายอากาศ ช่องทางระบายอากาศ จะป้องกันด้วยตระแกรงลวดแผ่นโลหะที่ยื่นออกจากโครงสร้าง หรือฝาครอบที่สามารถป้องกันบุคคลจากการสัมผัสส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า ฝาครอบนี้ยังสามารถป้องกันหนูและแมลง ซึ่งอาจเล็ดลอดเข้าไปอาศัยอยู่ภายในโครงสร้าง โดยปกติจะใช้งานในบริเวณที่แห้ง หรือมีที่กำบัง

(3) Totally Enclosed Fan-Cooled เป็นโครงสร้างที่ป้องกันการถ่ายเทอากาศระหว่างภายนอกและภายในอย่างอิสระ แต่ไม่ถึงขนาดผนึกอากาศการระบายอากาศ จะใช้พัดลมซึ่งติดตั้งอยู่ภายในโครงสร้าง ขับโดยเพลาของมอเตอร์ โดยปกติจะใช้งานในบริเวณที่มีน้ำมันหล่อหรือน้ำมันเชื้อเพลิง และในบริเวณที่มีการกระจายหรือกระเด็นของฝอยน้ำ

(4) Waterproof, Nonventilated เป็นโครงสร้างออกแบบให้การทำงานของอุปกรณ์ภายในไม่มีผลเสียหาย เนื่องจากความชื้นที่สามารถรั่วเข้าสู่ภายในโครงสร้างได้ การรั่วผ่านทางเพลาของมอเตอร์เป็นสิ่งที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้ แต่จะป้องกันไม่ให้รั่วเข้าไปถึงอ่างน้ำมันหล่อและจะต้องให้มีการระบายน้ำที่รั่วเข้าไปได้โดยอัตโนมัติ การระบายความร้อนใช้น้ำมันหล่อ ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างไม่ใช้อากาศจากภายนอก โดยปกติจะติดตั้งบริเวณดาดฟ้าภายนอกตัวเรือ (Weather Deck) หรือบริเวณที่มีน้ำสาดกระเด็นถึง หรือบริเวณที่อาจจะมีน้ำท่วมในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

(5) Explosion – Proof Fan-Cooled เป็นโครงสร้างที่ถูกออกแบบและสร้างให้สามารถทนต่อการระเบิดของแก๊ส หรือไอระเหยเฉพาะบางชนิด ซึ่งการระเบิดดังกล่าวอาจเกิดขึ้นภายในโครงสร้าง และขณะเดียวกันก็สามารถป้องกันไม่ให้เกิดการระเบิดของแก๊ส หรือไอระเหยรอบ ๆ โครงสร้าง เนื่องจากประกายไฟ หรือการระเบิดที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง การระบายอากาศโดยใช้พัดลมจะต้องออกแบบให้ไม่มีประกายไฟในขณะทำงาน หรือมีการป้องกันโดยมีเกาะป้องกันโดยปกติจะติดตั้งในบริเวณที่บรรยากาศมีการสะสมของแก๊ส หรือไอระเหยที่ไวต่อการระเบิด โดยปกติโครงสร้าง แบบ Explosion – Proof ไม่สามารถผนึกน้ำได้ (Watertight) ดังนั้นถ้าต้องการให้มีคุณสมบัติในการผนึกน้ำ จะต้องบรรจุอยู่ในโครงสร้างที่สามารถผนึกน้ำได้ (Watertight Enclosure)

(6) Watertight Enclosure เป็นโครงสร้างที่ออกแบบให้ลำน้ำจากหัวฉีด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว กำลังดัน (Head) 35 ฟุต จากระยะ 10 ฟุต จากโครงสร้างในช่วงระยะเวลา 15 นาที ไม่สามารถรั่วเข้าไปภายในโครงสร้างได้

(7) Submersible Self-Ventilated เป็นโครงสร้างลักษณะระฆัง (Bell Type) โดยมีมอเตอร์และปั๊มบรรจุอยู่ภายในในแนวตั้งมีช่องเปิดทางด้านล่าง โดยโครงสร้างจะต้องมีความสูงมากพอที่จะไม่ให้กำลังดันน้ำมากพอที่จะดันน้ำให้เข้าไปถึงขดลวดของมอเตอร์ เมื่อใช้งานอยู่ใต้ระดับน้ำ การระบายความร้อน โดยปกติจะใช้ของเหลวที่ไหลผ่านเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนออกไป การใช้งานโดยปกติจะใช้งานในลักษณะเฉพาะพิเศษบางอย่างซึ่งจำเป็นจะต้องอยู่ใต้ระดับน้ำในบางเวลา อย่างไรก็ตามอาจใช้ในการสูบถ่ายของเหลวบางชนิดที่ง่ายต่อการระเบิด เช่น Methane, Propane, Ammonia เป็นต้น โดยมีข้อกำหนดว่าจะต้องไม่มีอากาศอยู่ในถังที่บรรจุของเหลวดังกล่าว เพื่อป้องกันการระเบิดซึ่งอาจจะเกิดจากแก๊สภายในถัง

1.2.2 กล่องต่อหัวสาย (Terminal Box) มอเตอร์ทุกตัวจะต้องประกอบด้วยกล่องต่อหัวสาย ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีระดับการป้องกันแบบ Dripproof ยกเว้นมอเตอร์ที่มีโครงสร้างในลักษณะ Waterproof และ Explosion-Proof กล่องต่อหัวสายจะต้องเป็นโครงสร้าง ซึ่งสามารถป้องกันในลักษณะ Waterproof และ Explosion-Proof ตามลำดับ กล่องต่อหัวสายจะต้องมีท่อร้อยสายสำหรับสายไฟที่จะผ่านเข้ามา โดยปลายท่อทำเป็นเกลียวขนาดมาตรฐานกวดติดอยู่กับตัวกล่องมีขนาดและจำนวนเพียงพอกับสายที่จะผ่านเข้าภายในกล่องโดยปกติจะถูกกำหนดโดยอู่ต่อเรือ

1.2.3 ฉนวน (Insulation) เป็นวัสดุเคลือบลวดทองแดงที่พันภายในมอเตอร์เพื่อป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าของขดลวดภายในมอเตอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฉนวนในด้านการทนความร้อน หรือสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง โดยไม่เปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ โดยปกติที่ใช้งานในเรือจะประกอบด้วย

CLASS A ฉนวนซึ่งสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุด 105°C

CLASS B ฉนวนซึ่งสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุด 130°C

CLASS F ฉนวนซึ่งสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุด 155°C

CLASS H ฉนวนซึ่งสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุด 180°C

CLASS C ฉนวนซึ่งสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงสุดมากกว่า 220°C

อุณหภูมิของฉนวนที่กล่าวถึงเป็นผลรวมของอุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นขณะทำงานของขดลวดของมอเตอร์ และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยประมาณในจุดที่มีความร้อนสูง (Hot-Spot) ภายในมอเตอร์

ขดลวดต่าง ๆ และส่วนประกอบที่ประกอบเป็นขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสสลับและขดลวดอาร์เมเจอร์สำหรับมอเตอร์กระแสตรงแบบ Open – Slot ควรจะแช่ในน้ำยาวานิช (Insulation Vanish) และอบให้แห้งขดลวดต่าง ๆ ควรมีคุณสมบัติทนต่อน้ำทะเล, ไอน้ำทะเล, ฝอยน้ำมัน และเชื้อรา

สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขดลวดสเตเตอร์ที่พันแล้วควรจะแช่ในน้ำยาวานิช แล้วอบให้แห้ง หรือเป็นแบบ Encapsulated Type โรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่ก็ควรจะแช่ในน้ำยาวานิชและอบให้แห้งสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขดลวดฟิลด์ควรจะผ่านกรรมวิธีการทำฉนวนโดยใช้วานิชหรือส่วนผสมที่เป็นฉนวนอย่างอื่นขณะพันหรือทำให้เรียบร้อยก่อนพัน ขดลวดที่พันเรียบร้อยแล้วจะต้องมีคุณสมบัติต้านทานน้ำและน้ำมัน

ช่องแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้ซิลิกอนเป็นฉนวนจะต้องได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษในการบำรุงรักษา

1.2.4 อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) มอเตอร์ที่ใช้ในห้องเครื่องจักร ควรจะเป็นชนิดที่ถูกออกแบบให้ใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อมที่ 50° C โดยปกติจะใช้ฉนวน CLASS B

มอเตอร์ที่ใช้ในบริเวณต่าง ๆ ภายนอกห้องเครื่องจักรควรจะเป็นชนิดที่ถูกออกแบบให้ใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อม 40° C โดยปกติจะใช้ฉนวน CLASS A

ยกเว้นสำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานในบริเวณที่มีความร้อนสูง เช่น บนหม้อน้ำ บริเวณติดกับท่อแก๊สเสีย ปล่องควัน หรือมอเตอร์สำหรับพัดลมระบายความร้อน แบบ Axial-Flow เป็นต้น ควรเป็นชนิดที่ถูกออกแบบให้ใช้งานที่ อุณหภูมิล้อม 65° C และใช้ฉนวน CLASS F หรือ CLASS H

โดยทั่ว ๆ ไปมอเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในเรือจะใช้มอเตอร์ที่มีฉนวน CLASS F ไม่ว่าจะใช้งานในบริเวณที่กำหนดอุณหภูมิแวดล้อม 40°C หรือ 50°C เพื่อลดขนาดรวมของมอเตอร์ให้เล็กลง

1.2.5 สเปสฮีทเตอร์ (Space Heater) มอเตอร์ที่ติดตั้งในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก หรือมีสภาพที่มีความชื้นสูงควรจะเป็นชนิดที่มีอุปกรณ์ทำความร้อน (Space Heater) ประกอบรวมอยู่ด้วยเพื่อป้องกันการควบแน่นของความชื้นในขณะไม่ใช้งาน ตัวทำความร้อนอาจจะเป็นชุดความต้านทานที่ยึดติดอยู่ภายในบริเวณโครงมอเตอร์ส่วนล่าง หรือขดลวด (Phase Winding) ซึ่งรับกระแสไฟจากเครื่องแปลงไฟชนิดแรงเคลื่อนต่ำ (Low – Voltage Transformer) ไม่ว่าจะเป็นตัวทำความร้อนแบบใด วงจรของชุดทำความร้อนจะต้องประกอบด้วย กลไกทางไฟฟ้าที่จะป้องกันไม่ให้มีการจ่ายกระแสไฟเข้าชุดทำความร้อนในขณะที่มอเตอร์ทำงาน

1.2.6 เพลา (Shafts) ตามมาตรฐานของ NATIONAL ELECTRIC MANUFACTURES ASSOCIATION (NEMA) ลักษณะของเพลาที่ใช้ควรจะมีลักษณะดังนี้

NEMA Short-Shaft Extensions ใช้สำหรับ Flexible และ Rigidly Coupled Drive อย่างไรก็ตามในบางกรณีเพลาเหล่านั้นอาจจะเป็น End Tapered, เกลียว หรือมีนัต (Nut) และแหวนล๊อค (Lock Ring) เพื่อสะดวกในการประกอบและถอดออก

NEMA Long-Shaft Extensions ใช้สำหรับการขับเครื่องจักรช่วยแบบ Pulley Driven เพลาที่มีขนาดยาวเป็นพิเศษจะใช้สำหรับปั๊มแบบใบพัด (Impeller) ที่ต่อในลักษณะ Close Couple และพัดลมอากาศ แบบ Axial-Flow

Front-End Shaft Extensions จะใช้สำหรับ Brake Motor หรือมอเตอร์ที่ใช้เบรค (Brake) แบบก้ามปู (Shoe Brake)

Carbon Steel Shaft ใช้สำหรับ Coupled Drives และปั๊มน้ำจืด แบบ Close Couple เพลาที่ทำจากโลหะป้องกันสนิม เช่น Stainless Steel หรือ Monet โดยติดตั้งแบบ มีปลอกสวม จะใช้สำหรับปั๊มที่ใช้กับของเหลวที่สามารถทำให้เกิดการผุกร่อน (Corrosive Liquids)

1.2.7 แบริ่ง (Bearings) โดยทั่ว ๆ ไปทั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้แบริ่ง แบบที่สามารถใส่จารบีได้ (Greasable Ball Bearing) มอเตอร์สำหรับพัดลมระบายความร้อนแบบ Axial-Flow โดยปกติจะใช้แบริ่งแบบมีการหล่อลื่นในตัว (Prelubricated Sealed Ball Bearing) เนื่องจากจะต้องใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่น และการเข้าถึงเพื่อบำรุงรักษาไม่สะดวก สำหรับแบริ่งแบบ Sleeve Bearing ซึ่งออกแบบให้ใช้งานในลักษณะจมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น (Flood Lubrication) หรือการหล่อลื่นแบบใช้กำลังดัน (FORCED LUBRICATION) จะใช้ในกรณีพิเศษเท่านั้น

1.2.8 อุปกรณ์ทดรอบ (Speed Reduction Drive) โดยปกติเกียร์ทดรอบจะถูกติดตั้งอย่างมั่นคงแยกออกจากมอเตอร์ขับเพื่อลดหรือเพิ่มรอบที่ขับโดยมอเตอร์ มอเตอร์และเกียร์จะต้องพิจารณาเลือก

ให้เหมาะสมในการใช้งานเพื่อขับอุปกรณ์ โดยต้องพิจารณาถึง ความเร็วรอบ แรงบิดและลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ที่ขับโดยมอเตอร์นั้น ๆ

สายพานแบบวี (V-Belt Drive) โดยปกติจะใช้สำหรับเครื่องอัดอากาศ และเครื่องอัดน้ำยาความเย็นของเครื่องเย็น และพัดลมแบบความเร็วต่ำ (Low-Speed Fan) ในการใช้สายพานแบบวีจะต้องติดตั้งมอเตอร์บนฐานแท่นที่สามารถปรับความตึงของสายพานได้

1.2.9 ลักษณะการติดตั้งมอเตอร์ (Mounting) ลักษณะการติดตั้งมอเตอร์จะเป็นไปตามการออกแบบสำหรับมอเตอร์ชนิดนั้น ๆ ซึ่งการติดตั้งอาจเป็นการติดตั้งบนพื้นในแนวระดับการติดตั้งแบบแขวนกับเพดานในแนวระดับ การติดตั้งในแนวดิ่ง โดยเพลาของมอเตอร์อยู่ทางด้านล่างหรือด้านบน และในบางกรณีอาจติดตั้งในแนวเอียง โดยปกติมอเตอร์ที่ติดตั้งในเรือจะติดตั้งในแนวระดับขนานกับแนวกระดูกงูเรือ ในกรณีที่ต้องติดตั้งในแนวขวางลำเรือควรแจ้งให้บริษัทผู้ผลิตทราบ เพื่อออกแบบให้เหมาะสมกับการติดตั้ง อย่างไรก็ตามการติดตั้งในแนวดิ่งซึ่งเป็นการประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง และสะดวกในการประกอบท่อทางต่าง ๆ ก็มีใช้ เช่น มอเตอร์ขับปั๊มชนิดแรงเหวี่ยง (Motor-Driven Centrifugal Pump) เป็นต้น

มอเตอร์และอุปกรณ์ที่ขับโดยมอเตอร์ควรติดตั้งอยู่บนฐานแท่นเดียวกัน เพื่อให้แน่ใจในเรื่องศูนย์เพลาระหว่างมอเตอร์และอุปกรณ์นั้น ๆ

1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ALTERNATING - CURRENT MOTORS)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งหมดควรจะเป็นชนิดที่ถูกออกแบบให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ คือ แรงดันไฟฟ้า เฟส ความถี่ และเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ขับด้วยมอเตอร์นั้น ๆ คือ ความเร็วรอบ กำลังม้าและอัตราการใช้งานการสร้างและลักษณะการพันของขดลวด ควรจะพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งานของมอเตอร์นั้น ๆ เช่น Wound Rotor Induction Squirrel Cage Induction Synchronous หรือ Commutator โดยปกติมอเตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในเรือจะเป็นแบบ Squirrel Cage Induction

อัตราการใช้งาน (Duty Ratings) หรือวงรอบการใช้งาน (Operating Cycle) สำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งในเรือแยกออกได้เป็นแบบใหญ่ ๆ สองแบบ คือ การใช้งานแบบต่อเนื่อง (Continuous Duty) และการใช้งานแบบเป็นช่วง (Intermittent Duty) การใช้งานแบบต่อเนื่อง คือ การใช้งานในลักษณะที่มีโหลดค่าที่ใช้ช่วงระยะเวลานาน การใช้งานแบบเป็นช่วง คือ การใช้งานในลักษณะที่โหลดเป็นช่วง ๆ สลับกับ เช่น ช่วงมีโหลด และไม่มีโหลด หรือช่วงมีโหลดและพัก หรือช่วงมีโหลดไม่มีโหลดและพัก โดยช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่สลับกันนั้น เป็นช่วงเวลาที่คงที่

เครื่องหมายกำกับลักษณะการออกแบบ (Design Designation) เนื่องจากมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำโรเตอร์ชนิดกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor) เป็นมอเตอร์ชนิดที่ใช้งานมากใน

เรือดังนั้นจึงมีการกำหนดเครื่องหมายกำกับลักษณะการออกแบบสำหรับมอเตอร์ 3 เฟสชนิดเหนี่ยวนำโรเตอร์ ชนิดกรงกระรอก เพื่อสะดวกในการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะการทำงานโดยพิจารณาถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของมอเตอร์ในเรื่องแรงบิด ความเร็วรอบ และกระแสไฟฟ้า เครื่องหมายกำกับดังกล่าวประกอบด้วย

(1) Design A มอเตอร์มีขนาดแรงบิดขณะเริ่มเดินปกติ ค่ากระแสขณะเริ่มเดินสูง และมีสลิปต่ำ มอเตอร์ชนิดนี้โดยปกติจะไม่ใช้งานในเรือ เนื่องจากคุณสมบัติที่มีค่ากระแสเริ่มเดินสูง

(2) Design B มอเตอร์มีขนาดแรงบิดขณะเริ่มเดินปกติ ค่ากระแสขณะเริ่มเดินต่ำ และมีสลิปต่ำ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีใช้งานในเรือมากที่สุด โดยปกติจะใช้กับปั๊มชนิดแรงเหวี่ยง พัดลม พัดลมเป่า มอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ และเครื่องอัดอากาศซึ่งไม่ต้องการแรงบิดสูงขณะเริ่มเดิน (Not Loaded When Started)

(3) Design C มอเตอร์มีขนาดแรงบิดขณะเริ่มเดินสูง ค่ากระแสขณะเริ่มเดินต่ำและสลิปต่ำ มอเตอร์ชนิดนี้โดยปกติจะใช้กับเครื่องหางเสือ กว้านสมอ ปั๊มชนิดลูกสูบ (Plunger Type Pumps) และเครื่องอัดอากาศชนิดต้องการแรงบิดสูงขณะเริ่มเดิน (Not Unloaded When Start)

(4) Design D มอเตอร์มีขนาดแรงบิดขณะเริ่มเดินสูง ค่ากระแสขณะเริ่มเดินปานกลางและมีสลิปมาก มอเตอร์ชนิดนี้โดยปกติใช้กับกว้านสมอ กว้านท้ายเรือ อุปกรณ์ควบคุมลิ้น ปิด – เปิด เครื่องมือกลไก สำหรับเคลื่อนย้ายของหนัก (Conveyors) ลิฟท์ และเครื่องยกของต่าง ๆ (Hoists)

มอเตอร์ชนิดกรงกระรอก (Squirrel Cage Motor) อาจจะถูกออกแบบให้ทำงานที่อัตราหนึ่ง สอง สาม หรือสี่ อัตราความเร็ว นอกจากนั้นยังเหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต้องการให้มีการปรับอัตราความเร็วขณะใช้งานได้เมื่อใช้โดยการควบคุมความถี่ และควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าร่วมกัน การปรับอัตราความเร็วโดยการควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจะต้องมีการออกแบบมอเตอร์เป็นพิเศษโดยให้มีค่า สลิป (Slip) สูง

มอเตอร์ชนิด เวาน์ด-โรเตอร์ อาจจะใช้งานในลักษณะที่สามารถปรับอัตราความเร็วได้หรือลักษณะอัตราความเร็วคงที่ ในการใช้งานในลักษณะปรับอัตราความเร็วได้อาจจะใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ การเพิ่ม ลด ค่าความต้านทานที่ต่อเข้ากับวงจรของโรเตอร์ ซึ่งสามารถลดหรือเพิ่มรอบได้ถึง 50% อย่างไรก็ตามการเพิ่ม ลด ค่าความต้านดังกล่าวจะมีผลถึงคุณลักษณะเกี่ยวกับแรงบิดและอัตราความเร็วของมอเตอร์ ในการใช้งานในลักษณะอัตราความเร็วคงที่มีไม่มากในเรือ โดยปกติจะใช้เมื่อมีความจำเป็น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังผลิตต่ำแต่ต้องใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่ การใช้มอเตอร์ชนิดนี้จะให้ข้อได้เปรียบเกี่ยวกับค่ากระแสเริ่มเดินต่ำ และซึ่งให้ค่าแรงบิดปกติตามที่ต้องการ โดยพิจารณาเลือกใช้ค่าความต้านทานที่ต่อเข้ากับวงจรโรเตอร์ที่เหมาะสม

มอเตอร์ชนิดซินโครนัส โดยปกติจะใช้งานบนบกมากกว่าในเรือ โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบกำลังไฟฟ้า และใช้ในการขับอุปกรณ์ใหญ่ ๆ เช่น มอเตอร์เย็น

เนอเรเตอร์ เครื่องอัดอากาศ ปั๊ม และพัดลมขนาดใหญ่ การใช้งานในเรืออาจจะมีใช้เพื่อขับปั๊มขนาดใหญ่และมอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าของเรือ

เมื่อมอเตอร์รับภาระเต็มที่และการทำงานของมอเตอร์อยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) แล้ว การเพิ่มของอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของมอเตอร์ไม่ควรเกินตารางที่ 1

Machine part	Method of temperature determination	Ambient							
		50 °C (122 °F)				65 °C (149 °F)			
		Class of insulation							
		A	B	F	H	A	B	F	H
Windings									
a) All except b) and c)	Resistance	50	70	95	115	34	60	80	105
b) Totally enclosed nonventilated enclosures only	Resistance	55	75	100	125	40	65	85	110
c) Encapsulated only	Resistance	55	75	100		40	65	85	
d) 1500 hp and less	Embedded detector	60	80	105	130	40	65	90	115
e) Over 1500 hp Field winding of synchronous motors	Embedded detector	55	75	100	125	40	65	85	110
a) Salient pole	Resistance	50	70	95	115	35	60	80	105
b) Cylindrical rotor	Resistance		75	95	115		65	85	105

ตารางที่ 1 - Limits of observable temperature rise for ac motors

1.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF DIRECT CURRENT MOTORS)

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่แตกต่างกัน คือ ลักษณะการพันขดลวดของขดลวดฟิลด์ตามที่กล่าวมาแล้ว ลักษณะการพันดังกล่าว เช่น Shunt Winding, Stabilized Shunt Winding, Series Winding Compound Winding Crane หรือการพันในลักษณะอื่น ๆ

มอเตอร์แบบ Shunt หรือ Stabilized Shunt จะใช้ในงานที่ต้องการความเร็วคงที่ โดยไม่คำนึงว่าโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลง เช่น พัดลม พัดลมเป่า ปั๊มชนิดแรงเหวี่ยง ลิฟต์ เป็นต้น

มอเตอร์แบบ Stabilized Shunt เป็นการพันโดยเพิ่มขดลวดเล็ก ๆ ต่ออนุกรมกับขดฟิลด์ (Light Series Field) เพิ่มจากขดลวด ซันท์ฟิลด์ (Shunt Field) เพื่อควบคุมความเร็วไม่ให้เพิ่มขึ้นขณะที่โหลดเพิ่ม โดยปกติมอเตอร์ชนิดนี้จะใช้กับโหลดที่มีความเฉื่อยสูง (Load of High Inertia) เช่น พัดลม

หรือปั๊มแบบแรงเหวี่ยงที่ขับโดยตรง (Direct Connected) มอเตอร์ชนิดนี้จะให้อัตราเร่ง โดยมีค่ากระแสของอาร์เมเจอร์ (Armature Current) ต่ำและการแปลงพลังงานที่ดีกว่า มอเตอร์แบบชันท์ธรรมดา

มอเตอร์ แบบ Series-Winding ใช้กับโหลดที่ต้องการแรงบิดสูงขณะเริ่มเดิน และใช้งานในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความเร็วในช่วงกว้าง เนื่องจากมอเตอร์สามารถทำงานที่ความเร็วรอบสูงขณะที่มีโหลดน้อย และทำงานที่รอบต่ำโดยมีค่ากระแสต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการพันแบบอื่นและให้แรงบิดสูง โดยปกติมอเตอร์ชนิดนี้จะเหมาะสมกับลักษณะการทำงานของกว้าน ซึ่งต้องการแรงบิดสูงและรอบต่ำในการดึง และรอบสูงเมื่อปล่อยเชือกหรือโซ่

มอเตอร์ แบบ Compound Winding เป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการแรงบิดขณะเริ่มเดินสูง เป็นมอเตอร์ที่สามารถรับโหลดสูง(Peak Load) ได้เกินกว่าอัตราปกติ โดยมีค่ากระแสของอาร์เมเจอร์ต่ำและให้ผลในการแปลงพลังงานได้ดีกว่ามอเตอร์แบบ Shunt Winding อย่างเดียว โดยปกติมอเตอร์ชนิดนี้ถูกออกแบบสำหรับโหลดที่มีความเฉื่อยสูง เช่น พัดลมแบบแรงเหวี่ยงที่ขับโดยตรง เกียร์หมุนเพลาใบจักร ลิ้นควบคุม เครื่องอัดอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมอเตอร์แบบ Compound Winding ที่ออกแบบพิเศษสำหรับการใช้งานเฉพาะอย่าง เช่น Crane หรือ Winch ซึ่งประกอบด้วย Light Shunt Field และHeavy Series Field เพื่อให้มีคุณสมบัติเฉพาะพิเศษเหมาะสมกับงาน เช่น แรงบิดสูง เมื่อโหลดมีน้ำหนักมาก ความเร็วสูงเมื่อโหลดเบา และมีรอบคงที่ขณะใช้งานโดยปกติจะใช้กับ เครนยกของหรือกว้านสมอ

1.5 คุณสมบัติทางกลของอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ (MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MOTOR CONTROL EQUIPMENT)

1.5.1 สตาร์ทเตอร์และคอนโทรลเลอร์เพนเนล (Starter and Controller Panels) กรุ๊ปคอนโทรล (Group Control) หรือศูนย์ควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Center) หมายถึง กลุ่มของมอเตอร์สตาร์ทเตอร์หลาย ๆ ตัวที่ติดตั้งรวมกันอยู่ในตู้ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นดาดฟ้าเรือ มอเตอร์สตาร์ทเตอร์แต่ละตัวจะรับไฟจากสายป้อนสายเดียวกัน แล้วแยกไปยังเซอร์กิตเบรกเกอร์ของแต่ละสตาร์ทเตอร์ กรุ๊ปคอนโทรลจะเป็นตู้โลหะซึ่งมีแผ่นโลหะกั้นระหว่างชุดของสตาร์ทเตอร์ (Starter) แต่ละชุดซึ่งบรรจุอยู่ภายในลักษณะ “OPEN” โดยกรุ๊ปคอนโทรลเป็นโครงสร้างลักษณะ Drip-Proof

สตาร์ทเตอร์เดี่ยว ๆ แต่ละชุด จะบรรจุอยู่ในโครงสร้างตามความเหมาะสม สำหรับสถานที่ติดตั้ง เช่น Drip Proof Watertight Submersible Explosion-Proof

โครงสร้างลักษณะตู้ (Cabinet Enclosures) โดยปกติจะถูกออกแบบให้ติดตั้งในลักษณะติดกับผนังเมื่อมีขนาดเล็ก และติดตั้งบนพื้นดาดฟ้าเรือเมื่อมีน้ำหนักมากกว่า 150 ปอนด์ขึ้นไป ในการติดตั้งจะต้องพิจารณาให้สามารถเข้าถึงได้ทางด้านหลังสำหรับแนวแผงสตาร์ทเตอร์ขนาดใหญ่ สำหรับการต่อหัวสายและการตรวจสอบการต่อหัวสายเข้ายังตู้ดังกล่าว จะต้องออกแบบและติดตั้งให้

เหมาะสม โดยปกติสายป้อนจะถูกต่อเข้าทางด้านบนของตู้ และสายไฟที่ต่อออกไปยังมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ จะต่อออกจากทางด้านล่าง สำหรับตู้ที่มีโครงสร้างลักษณะ Drip Proof สายไฟป้อนที่เข้าทางด้านบนของตู้ จะต้องมีท่อร้อยสายแบบกั้นน้ำ (Watertight Terminal Tube) หรือซีล (Seal) อย่างอื่นที่มีคุณสมบัติสามารถกันความชื้นไม่ให้ผ่านเข้าในตู้ สายไฟที่ผ่านเข้าด้านล่าง จะต้องมีอุปกรณ์จัดสายไฟเพื่อป้องกันการครูดกับสายอื่น ๆ เนื่องจากการสั่นสะเทือน

โดยทั่ว ๆ ไปในการปฏิบัติโครงสร้างสำหรับบรรจุสตาร์ทเตอร์ของมอเตอร์ทุกชนิดยกเว้น แบบ Explosion Proof จะมีแผ่นปิดสำหรับช่องร้อยสายที่สามารถถอดออกได้เมื่อต้องการใช้งาน เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนโลหะตกลงไปข้างใน โดยเฉพาะเมื่อมีการเจาะรูหลังจากส่งมาจากโรงงานแล้ว สำหรับโครงสร้างแบบ Explosion – Proof ใบสั่งซื้อควรจะบอกขนาดและจำนวนของช่องสำหรับต่อท่อร้อยสาย สำหรับสายไฟที่จะต่อเข้าภายในโครงสร้างให้บริษัทผู้ผลิตทราบ

ชุดความต้านทานที่ติดตั้งแยกต่างหากจากวงจรควบคุมในกรณีที่มีความจำเป็นต้องติดตั้งเพิ่มเติม จะต้องติดตั้งในบริเวณที่มีการระบายอากาศที่ดีและมีอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้น้ำหรือของเหลวอื่น ๆ หยดลงสู่ชุดความต้านทานนั้นได้

การพิจารณาอุณหภูมิแวดล้อมและชนิดของฉนวนที่ใช้ สำหรับอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ควรจะพิจารณาเลือกใช้ในลักษณะเดียวกับมอเตอร์ที่อุปกรณ์เหล่านั้นควบคุมอยู่

1.5.2 มาสเตอร์สวิทช์ (MASTER SWITCH)

มาสเตอร์สวิทช์ที่ใช้อาจจะเป็นชนิด Push Button, Drum Switch, Selector Switch, Pressure Switch, Temperature Switch, Interlock Switch, Float Switch หรือ Remote Pilot Device ซึ่งเหมาะสมกับการทำงานเพื่อควบคุมมอเตอร์โดยผ่านชุดอุปกรณ์เพิ่มเติม

สวิทช์ที่ติดตั้งบริเวณเดียวกับมอเตอร์ (Local Switch) และไฟแสดงอาการทำงานของชุดควบคุม (Indicating Light) ซึ่งติดตั้งแยกออกต่างหากจากชุดควบคุม จะต้องบรรจุอยู่ในโครงสร้างที่มีคุณสมบัติในการป้องกันเหมือนกับชุดควบคุมนั้น ๆ สำหรับการควบคุมจากระยะไกล โครงสร้างสำหรับบรรจุสวิทช์ ควรจะเหมาะสมกับบริเวณที่ติดตั้งคืออาจเป็นชนิด Drip Proof, Watertight, Submersible หรือ Explosion Proof โดยทั่ว ๆ ไปจะเป็นโครงสร้างที่ทำจากทองเหลือง (Brass) หรือทองสัมฤทธิ์ (Bronze) และเป็นแบบ Watertight สำหรับสวิทช์ขนาดเล็กที่ติดตั้งในบริเวณที่สัมผัสอากาศ หรือ บริเวณที่อาจทำให้เกิดการผุกร่อนได้ (Corrosive Area) และโครงสร้างที่ทำจากทองสัมฤทธิ์ เหล็ก (Modular Iron) หรือเหล็กไม่เป็นสนิม (Stainless Steel) สำหรับสวิทช์ควบคุมกว้าน

สายเคเบิลที่ผ่านเข้าไปในตัวสวิทช์ สำหรับสวิทช์ชนิด Drip Proof ควรผ่านบุชชิง (Bushing-โลหะที่ใช้หุ้มส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์เพื่อป้องกันการชำรุด) เข้าทางด้านล่างของสวิทช์และควรผ่านท่อร้อยสายชนิดผนึกน้ำ (Watertight Terminal Tubes) สำหรับสวิทช์แบบอื่น ๆ

โดยปกติชุดควบคุมจะติดตั้งในบริเวณใกล้อุปกรณ์ ซึ่งชุดควบคุมนั้นควบคุมในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งในลักษณะที่สามารถมองเห็นอุปกรณ์จากตำแหน่งที่ติดตั้งชุดควบคุมได้ เช่น กรณีของกรุ๊ปคอนโทรลหรือชุดควบคุมของพัดลม สวิทช์ที่ใช้ควบคุมจากระยะไกลจะต้องออกแบบให้สามารถเดินอุปกรณ์จากบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ได้ ในขณะที่สวิทช์ควบคุมระยะไกลยังอยู่ในตำแหน่งเปิดวงจร

1.5.3 รีโอสแท็ทปรับแต่งความเร็ว (Speed-Regulating Rheostat) รีโอสแท็ทปรับแต่งความเร็ว สำหรับมอเตอร์กระแสตรงแบบควบคุมโดยขดลวดซันท์ที่ใช้งานในเรือ จะต้องเป็นชนิดติดตั้งกับผนัง โดยมีการป้องกันแบบ Drip Proof และมีกล่องต่อหัวสาย เพื่อให้เกิดอันตรายน้อยที่สุดต่อตัวรีโอสแท็ท และผู้ใช้งาน

1.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ALTERNATING CURRENT MOTOR CONTROLLERS)

อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ จะต้องถูกออกบบให้มีการทำงานที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและป้องกันอันตรายสำหรับมอเตอร์ที่อุปกรณ์นั้นควบคุม คุณสมบัติและการนำไปใช้งานสำหรับอุปกรณ์ควบคุมชนิดต่างๆ โดยทั่วๆ ไป ประกอบด้วย

1.6.1 การทำงานของอุปกรณ์ (Controller Operation) อุปกรณ์ควบคุมอาจเป็นชนิดที่ถูกออกแบบให้ทำงานโดยการควบคุมโดยตรงจากตู้ควบคุม (Mechanic) หรือแบบที่ควบคุมการทำงานโดยใช้คุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic) โดยปกติมอเตอร์ที่มีขนาดต่ำกว่า 2 กำลังม้า และต้องการควบคุมเพียงแต่การเปิด - ปิด จะใช้การควบคุมในแบบ Mechanic อุปกรณ์นอกจากที่กล่าวมาแล้วจะใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ Magnetic ซึ่งสามารถออกแบบได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบทำงานอัตโนมัติ (Auto) และแบบทำงานไม่อัตโนมัติ (Manual) อุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติจะทำงานปิด – เปิด การเริ่มเดินและหยุดของมอเตอร์เมื่อได้รับสัญญาณควบคุมซึ่งไม่ได้มาจากผู้ใช้ อุปกรณ์ควบคุมแบบไม่อัตโนมัติต้องการควบคุมด้วยมือในการกดปุ่มเริ่มเดิน หรือหยุด หลังจากนั้นชุดอุปกรณ์ควบคุมจะทำงานต่อไปเองในการควบคุมการเริ่มเดินและการหยุดมอเตอร์ โดยปกติอุปกรณ์ควบคุมแบบไม่อัตโนมัติ จะใช้งานกับอุปกรณ์ทุกชนิดที่ไม่ต้องการทำงานในลักษณะที่มีวงจรการทำงานแบบอัตโนมัติ เช่น เครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดน้ำยาของระบบทำความเย็น เป็นต้น

1.6.2 ชนิดของอุปกรณ์ควบคุม (Type of Controllers) โดยทั่ว ๆ ไปอุปกรณ์ควบคุมแบบ Across Line Type จะเป็นแบบที่ใช้ในเรือ เนื่องจากขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเรือมีขนาดที่เพียงพอ สำหรับจ่ายให้กับมอเตอร์ทุกตัวที่ติดตั้ง โดยขนาดของกระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ไม่มีผลต่อกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าดังกล่าว อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องการหลีกเลี่ยงไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องรับภาระมากเกินไป เนื่องจากขนาดกระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ก็อาจใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ Auto Transformer Type ซึ่งถูกออกแบบสำหรับ Closed Circuit Transition เพื่อ

ป้องกันขนาดของ Transition Current สูง Starting Transformer มาตรฐานสำหรับมอเตอร์ขนาดมากกว่า 50 แรงม้า จะมี Tap ที่ 50, 65 และ 85 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเต็มที่ สำหรับมอเตอร์ขนาดต่ำกว่า 50 แรงม้า ลงมาจะมี Tap ที่ 65 และ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยขนาดกระแสเริ่มเดินจากสายส่งจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับกำลังสองของเปอร์เซนต์โวลท์เทจแทป เช่น 80 % Tap เท่ากับ 64 % Across-Line Starting Current อุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวโดยปกติจะใช้กับสูบน้ำดับเพลิง ซึ่งจะเดินโดยให้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ฉุกเฉินซึ่งมีกำลังผลิตต่ำ

อุปกรณ์ควบคุมแบบ Primary Resistor Type สามารถใช้ในการจำกัดค่ากระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ขนาดใหญ่ และควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขนาดเล็ก แต่เนื่องจากคุณสมบัติในการลดขนาดของกระแสเริ่มเดินทำได้ไม่มากนักจึงมีติดตั้งใช้งานในเรือน้อย

อุปกรณ์ควบคุมแบบ Secondary Resistor Type ใช้ในการจำกัดค่ากระแสเริ่มเดินและควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด Wound Rotor ปกติจะใช้กับ Forced Draft Blowers และ Main Circulating Pumps

อุปกรณ์ควบคุมแบบ WYE-DELTA Type สามารถใช้ในการจำกัดค่ากระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ขนาดใหญ่ โดยมอเตอร์เริ่มเดินโดยต่อวงจรในลักษณะ WYE แล้วจึงเปลี่ยนลักษณะการต่อวงจรเป็นแบบ DELTA เมื่อเดินแล้ว การเปลี่ยนลักษณะการต่อวงจรจะเป็นในลักษณะ Closed Transition การต่อลักษณะดังกล่าวมอเตอร์จะต้องเป็นแบบที่มีหัวต่อสำหรับสาย 6 สาย (Six Lead Motor) โดยค่ากระแสเริ่มเดินจะลดลงประมาณ 33 % ของค่ากระแสเริ่มเดินแบบ Across Line

1.6.3 ลักษณะการป้องกันของอุปกรณ์ควบคุม (Controller Protective Features)

(1) Low Voltage Protection (LVP) เป็นลักษณะการป้องกันซึ่งจะมีผลทำให้อุปกรณ์ควบคุม ตัดวงจรของมอเตอร์ออกจากระบบไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่มีแรงดันไฟฟ้า และจะรักษาสถานภาพการตัดวงจรนี้ไว้จนกว่าแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะกลับสู่สภาพปกติ และมีการสตาร์ทใหม่ โดยการกดปุ่มสตาร์ท จุดมุ่งหมายของ LVP คือ ป้องกันไม่ให้มีการสตาร์ทใหม่โดยทันที หลักจากที่เกิดการขัดข้องขึ้นกับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขนาดใหญ่ต่างๆ พร้อม ๆ กัน ซึ่งทำให้ขนาดกระแสเริ่มเดินจำนวนมากเกิดขึ้นพร้อมกัน จนทำให้เกิดสภาวะของกระแสที่ใช้สูงเกินกว่าที่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจะรับภาระได้ นอกจากนั้นยังมีจุดประสงค์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ เมื่อขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ป้อนให้ต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัยในการใช้งาน และป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับผู้ใช้งาน

(2) Low Voltage Release (LVR) เป็นลักษณะการป้องกันเช่นเดียวกับ LVP จะแตกต่างกันที่การต่อวงจรเพื่อสตาร์ทใหม่เป็นไปโดยอัตโนมัติ หลังจากที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าป้อนกลับสู่สภาพปกติ ดังนั้นจึงควรจะติดตั้งใช้กับอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยของชีวิต ซึ่งจำเป็นจะต้องสตาร์ทใหม่ทันทีหลังจากระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับสู่สภาพปกติแล้วเท่านั้น อย่างไรก็ตามการ

ติดตั้งจะต้องมีการจำกัดจำนวน เพื่อป้องกันขนาดกระแสเริ่มเดินไม่ให้เกิดภาระ ซึ่งระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถรับได้ ในกรณีของอุปกรณ์ควบคุม ควบคุมมอเตอร์จำนวนหลาย ๆ ตัว จะต้องออกแบบให้มีการเรียงลำดับในการสตาร์ทใหม่ในลักษณะอัตโนมัติ หลังจากระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับสู่สภาพปกติ โดยปกติจะติดตั้งรีเลย์ชนิดหน่วงเวลา (Time Delay Relay) กับ LVR เพื่อควบคุมลำดับการสตาร์ทใหม่ดังกล่าว โดยปกติมอเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งถูกควบคุมแบบอัตโนมัติโดย Pressure Switch จะติดตั้ง LVR ยกเว้นในกรณีที่วงจรติดตั้ง Low-Voltage Relay ซึ่งจะทำงานเปิดวงจรเมื่อเกิดความบกพร่องของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในสายป้อนอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันในลักษณะ LVR สำหรับอุปกรณ์ควบคุมทั้งหมดทำงานในลักษณะ Manual Type จะมีการป้องกันในลักษณะ LVR

(3) Overload Protection เป็นลักษณะการป้องกันซึ่งจะมีผลทำให้อุปกรณ์ควบคุมตัดวงจรของมอเตอร์ออกจากระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เมื่อขนาดของกระแสที่ผ่านเข้าสู่มอเตอร์มีขนาดสูงจนทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (Over Rating) ขนาดของกระแสดังกล่าวไม่ใช่เกิดจากการลัดวงจร การป้องกันดังกล่าวทำได้โดยการติดตั้งรีเลย์โหลดเกิด (Overload Relays) สำหรับมอเตอร์ที่มีโหลดความเร็ว จะต้องติดตั้งรีเลย์โหลดเกินสำหรับแต่ละขดลวด รีเลย์โหลดเกินที่ใช้อาจเป็นแบบที่ทำงานโดยความร้อน (Thermal) หรือทำงานโดยคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic)

(4) Thermal Overload Relay โดยทั่ว ๆไปประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนตรวจรับความร้อน (Heat Sensitive Element) และส่วนที่ทำให้เกิดความร้อน (Heat Generating Element) โดยส่วนที่ทำให้เกิดความร้อนอาจเป็นฮีทเตอร์ หรือขดลวดต่ออนุกรมกับวงจรรับภาระของมอเตอร์ (Motor Load Circuit) เมื่อมีกระแสไฟที่มีขนาดสูงกว่าเกณฑ์ไหลผ่านเข้าสู่มอเตอร์ ซึ่งจะผ่านส่วนทำให้เกิดความร้อนของ Thermal Overload Relay ด้วย และทำให้เกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ส่วนตรวจจับความร้อนกระตุ้นให้รีเลย์โหลดเกินทำงาน เปิดวงจรของระบบไฟป้อนที่ส่งเข้าสู่มอเตอร์ เนื่องจากคุณลักษณะในการทำงานของรีเลย์โหลดเกินชนิดความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาทำงาน (Length of Time of Application) และขนาดของกระแสเกินพิกัด (Overload Current) ดังนั้นรีเลย์ชนิดนี้จึงสามารถออกแบบให้ทำงานสัมพันธ์กับขนาดของกระแส ซึ่งมอเตอร์นั้น ๆ สามารถรับได้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายขึ้นกับฉนวนของมอเตอร์ (Current Heating Curve of Motor) ในการติดตั้งรีเลย์โหลดเกินชั้นความร้อนจะต้องมีการชดเชย (Compensated) เนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงโดยปกติรีเลย์โหลดเกินชนิดนี้อาจเป็นแบบ Solder Pot, Bimetal, Single Metal หรือ Induction Type โดยปกติรีเลย์โหลดเกินที่ใช้ในเรือจะเป็นแบบทำงานด้วยความร้อน

(5) Magnetic Overload Relay โดยทั่ว ๆ ไปประกอบด้วยขดลวดซึ่งต่ออนุกรมกับวงจรรับภาระของมอเตอร์และอาร์เมเจอร์ตัดต่อ (Tripping Armature) หรือกลไกตัดต่อ (Plunger) เมื่อกระแสที่ไหลผ่านขดลวดมีขนาดสูงกว่าขนาดกระแสเกินพิกัดที่ตั้งไว้ อาร์เมเจอร์ตัดต่อจะทำงานทำ

ให้หน้าสัมผัสของรีเลย์เปิดออก ซึ่งจะเป็นผลให้ตัดกระแสที่จะไหลเข้าขดลวดควบคุมการทำงานของหน้าสัมผัสของเบรคเกอร์ของไฟป้อนที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และทำให้วงจรไฟป้อนของมอเตอร์ถูกตัดออก การทำงานของรีเลย์ชนิดแม่เหล็กอาจเป็นแบบทำงานโดยทันทีหรือแบบหน่วงเวลา เนื่องจากการทำงานไม่สัมพันธ์กับความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงจะไม่มีผลกระทบกับการทำงาน และไม่จำเป็นต้องมีการชดเชย เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง(Temperature Compensation) แต่ก็ทำให้เป็นข้อจำกัดสำหรับการใช้งานในเรือ เนื่องจากการทำงานไม่สัมพันธ์กับ Heat Curve of Motor

รีเลย์โหลดเกิน (Overload Relay) ควรจะออกแบบให้สามารถปรับเข้าสู่ภาวะเดิมหลังจากทำงานไปแล้ว (Resetting) ดังนั้น จึงสามารถสตาร์ทมอเตอร์ขึ้นใหม่ได้โดยมีความสามารถในการการป้องกันโหลดเกินพิกัดเหมือนเดิม อย่างไรก็ตาม รีเลย์แบบความร้อนจะต้องรอให้ส่วนกำเนิดความร้อนเย็นลงก่อนที่กลไกจะสามารถปรับเข้าสู่สภาพเดิมได้ สำหรับรีเลย์แบบแม่เหล็กสามารถทำการปรับเข้าสู่สภาวะเดิมได้ทันทีหลังจากกลไกทำงานเปิดวงจรแล้ว การปรับรีเลย์เข้าสู่สภาวะเดิมอาจทำได้โดยการทำด้วยมือ (Manual) การทำแบบอัตโนมัติหรือใช้ไฟฟ้าควบคุมในเรือโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ทำด้วยมือ ซึ่งจะประกอบด้วยกลไกที่จะทำให้กลไกตัดวงจรกลับเข้าสู่สภาวะปกติแบบอัตโนมัติไม่มีใช้ในเรือ แบบที่ทำงานด้วยไฟฟ้าจะใช้เฉพาะในกรณีที่การปรับรีเลย์เข้าสู่สภาวะปกติ ต้องทำจากที่อยู่ไกลจากสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม

(6) Emergency Run Features ลักษณะที่สามารถบังคับให้อุปกรณ์ทำงานต่อไปได้ในกรณีที่เกิดการผิดปกติขึ้น เช่น เกิดกระแสเกินพิกัดโดยอุปกรณ์นั้น ๆ หยุดไปแล้วเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันอย่างหนึ่งอย่างใดทำงานไปแล้ว โดยปกติเป็นลักษณะที่มีสำหรับอุปกรณ์บางอย่าง ที่มีความจำเป็นสูงที่จะทำงานให้ครบวงรอบการทำงานโดยไม่มีการหยุดในระหว่างกลางคัน เช่น ลิฟท์ เป็นต้น ในกรณีที่มอเตอร์ถูกตัดวงจรเนื่องจากเกิดสภาวะกระแสเกินพิกัด สามารถกดปุ่มหรือกลไกลลักษณะอื่นที่สามารถควบคุมกลไกการตัดวงจรของรีเลย์โหลดเกิน ต่อวงจรเพื่อให้มอเตอร์ดังกล่าวทำงานต่อในสภาวะที่มีกระแสเกินพิกัดจนกว่าจะครบวงรอบการทำงาน

(7) Short Circuit Protection โดยทั่ว ๆ ไป สายควบคุมทุก ๆ เส้น ที่ต่อออกจากอุปกรณ์ควบคุมจะมีการป้องกันในลักษณะการลัดวงจร โดยใช้ฟิวส์ติดตั้งภายในอุปกรณ์ควบคุม ถ้าสายเส้นนั้น ๆ ไม่มีการป้องกันโดยอุปกรณ์จำกัดกระแส (Current-Limiting Device) เช่น คอยล์ หรือความต้านทาน ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในโครงสร้างของอุปกรณ์

(8) Secondary Source of Power Protection ในกรณีที่มีไฟป้อนแหล่งที่สองที่มีขนาดแรงเคลื่อนสูงกว่า 24 โวลต์ ถูกจ่ายเข้าไปยังอุปกรณ์ควบคุมเพื่อใช้กับวงจรเตือน ไฟแสดงสถานะการทำงาน หรือวงจรอื่น ๆ จะต้องมีกลไกควบคุมที่เหมาะสมเพื่อปลดวงจรของไฟป้อนแหล่งที่สองนั้นออกจากอุปกรณ์ควบคุมเมื่อฝาตู้อุปกรณ์ควบคุมนั้นถูกเปิดออก หรือติดตั้งอุปกรณ์ปลดวงจรต่างหากเพื่อปลดวงจรของแหล่งจ่ายไฟแหล่งที่สอง ซึ่งควรติดตั้งใกล้ ๆ กับมอเตอร์หรือตัวอุปกรณ์ควบคุม

(9) แรงเคลื่อนไฟฟ้าตก (Voltage Dips) การเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมจะต้องพิจารณาโดยคำนึงถึงเงื่อนไขพื้นฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับคุณลักษณะการเริ่มเดินมอเตอร์ ผลกระทบของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตก เนื่องจากค่ากระแสเริ่มเดินที่มีผลต่อระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า แรงบิดและความต้องการทางด้านกลไกของตัวขับ ในกรณีของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกนั้น อุปกรณ์ควบคุมควรจะเลือกใช้โดยไม่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าตกขณะที่มอเตอร์เริ่มเดินมีค่าเกินกว่าขนาดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) มอเตอร์ขับเครื่องจักรช่วยของอุปกรณ์ ซึ่งในสภาวะการทำงานปกติจะต้องสตาร์ทหลายครั้งในแต่ละชั่วโมง เช่น มอเตอร์สำหรับเครื่องปรับอากาศ เครื่องอัดอากาศ และเครื่องเย็น เป็นต้น จะต้องไม่ทำให้เกิดขนาดแรงเคลื่อนตกที่แผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 10%

(ข) มอเตอร์ขับเครื่องจักรช่วยของอุปกรณ์ ซึ่งในสภาวะการทำงานปกติ จะสตาร์ทไม่บ่อยครั้งในแต่ละชั่วโมง เช่น มอเตอร์ปั๊มน้ำดับเพลิง กว้านสมอ มอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ และมอเตอร์ระบบหางเสือ เป็นต้น จะต้องไม่ทำให้เกิดขนาดแรงเคลื่อนตกที่แผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 18% และขนาดแรงเคลื่อนตกที่ศูนย์กลางโหลด (Load Center) ซึ่งจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์นั้น ๆ จะต้องมีขนาดไม่เกิน 23%

(ค) กลุ่มของมอเตอร์ ซึ่งจะสตาร์ทใหม่โดยอัตโนมัติหลังจากสับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟป้อนเข้าสู่วงจรจะต้องไม่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนตกที่แผงจ่ายซึ่งต่อจากสายป้อนมากกว่า 30% หรือขนาดแรงเคลื่อนตกที่ทำให้ไม่สามารถสร้างแรงบิดที่ต้องการ สำหรับมอเตอร์ส่วนใหญ่ในกลุ่มมอเตอร์นั้น ๆ

1.7 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF DIRECT-CURRENT MOTOR STARTERS)

อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอาจเป็นแบบ Across-Line หรือแบบ Resistor โดยปกติแบบ Across-Line จะใช้ควบคุมมอเตอร์ที่มีขนาด 1 กำลังม้าหรือต่ำกว่าเท่านั้น อย่างก็ตามอุปกรณ์ควบคุมจะต้องสามารถควบคุมให้อัตราเร่งของมอเตอร์เป็นไปแบบเรียบ (Smooth Acceleration)

อุปกรณ์ควบคุมแบบ Full-Voltage Across-Line โดยปกติเป็นการควบคุมแบบไม่อัตโนมัติ (Manually Operated) และจำกัดการใช้งานสำหรับมอเตอร์ที่มีขนาดสูงสุดไม่เกิน 2 กำลังม้า โดยอุปกรณ์ที่ถูกขับจะต้องทนต่อสภาพ การเริ่มเดินในลักษณะที่มีแรงบิดสูงได้ และมอเตอร์สามารถรับสภาวะกระแสที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์ที่มีขนาดสูงอย่างรวดเร็ว (High Inrush Current) ได้ ในทางปฏิบัติจะใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมสำหรับการเริ่มเดินอุปกรณ์ครัวขนาดเล็ก ปั๊มขนาดเล็ก และพัดลมระบายอากาศ เป็นต้น

อุปกรณ์ควบคุมแบบ Resistor จะใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนใหญ่ในเรืออุปกรณ์ควบคุมแบบนี้ จะลดขนาดกระแสเริ่มเดินมอเตอร์ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับมอเตอร์และป้องกันสภาพกระแสเกิดพิกัด (Overloading) ที่จะเกิดกับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าของเรือทั่ว ๆ ไป อาจจะเป็น Manual หรือ Magnetic

อุปกรณ์ควบคุมแบบ Resistor ชนิดทำงานแบบ Manual จะมีลักษณะเหมือนกับแบบ Across-Line ยกเว้นแต่เพิ่มความต้านทานสำหรับการเริ่มเดินและติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตราเร่งของมอเตอร์วงจรควบคุมจะถูกออกแบบให้คอนแทรกเตอร์ควบคุมอัตราเร่งของมอเตอร์ต่อวงจร เพื่อผ่านกระแสเข้าทางความต้านทานเริ่มเดินและต่อมอเตอร์เข้ากับสายป้อนโดยตรง เมื่อมอเตอร์เร่งความเร็วขึ้นมาได้ตามพิกัดที่ต้องการ การควบคุมด้วยมือใช้รีโอสตัท (Rheostat) เริ่มเดิน ซึ่งมีหน้าปัทปรับขนาดของความต้านทานในการเริ่มเดิน และควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ สำหรับมอเตอร์ที่หมุนทางเดียว โดยปกติใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการแรงบิดขณะเริ่มเดินต่ำเช่น พัดลมระบายอากาศ เป็นต้น แต่การใช้งานควรจะจำกัดเฉพาะที่ต่ำกว่า 2 กำลังม้าลงมา

อุปกรณ์ควบคุมแบบ Resistor ชนิด Magnetic อุปกรณ์ชนิดนี้อาจเป็นแบบที่ทำงานโดยอัตโนมัติ หรือแบบไม่อัตโนมัติและประกอบด้วย คอนแทกเตอร์หลัก รีเลย์ควบคุมตามจำนวนที่ต้องการคอนแทกเตอร์ควบคุมอัตราเร่งจำนวน 1 หรือมากกว่า รีเลย์ป้อนกันโหลดเกิน อุปกรณ์เดินเครื่องในกรณีฉุกเฉิน และความต้านทานเริ่มเดิน คอนแทกเตอร์หลักจะถูกควบคุมโดยมาสเตอร์สวิทช์ในกรณีทำงานแบบไม่อัตโนมัติ และคอนแทกเตอร์หลักจะถูกควบคุมการทำงานโดยสวิทช์กำลังดันในกรณีทำงานแบบอัตโนมัติ เมื่อคอนแทรกเตอร์หลักปิดวงจรมอเตอร์ถูกต่อเข้ากับสายป้อนโดยผ่านความต้านทานเริ่มเดินซึ่งจะมีวงจรควบคุม โดยมีรีเลย์ซึ่งทำงานโดยการกระตุ้นของกระแส (Current-Sensitive Series Relays) และคอนแทรกควบคุมอัตราเร่ง เพื่อควบคุมการทำงานให้วงจรสามารถปลดความต้านทานเริ่มเดินออกเป็นลำดับ ตามขนาดความเร็วรอบของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วตามพิกัดที่กำหนด ความต้านทานเริ่มเดินจะถูกปลดออกจากวงจรทั้งหมดมอเตอร์ต่อโดยตรงกับสายป้อน อีกวิธีหนึ่งในการควบคุมขณะเริ่มเดิน คือ ให้คอนแทรกเตอร์ควบคุมอัตราเร่งแบบตั้งเวลา ซึ่งจะควบคุมในการปลดความต้านทานขณะเริ่มเดินออกตามระยะเวลาเป็นขั้น ๆ จนกระทั่งปลดออกหมด

การปรับแต่งความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง อาจจะใช้รีโอสตัท (Rheostat) ในวงจร Shunt Field ของมอเตอร์ หรือปรับแต่งขนาดความต้านทานของ Continuous-Duty Resistor ในวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์

1.8 แผ่นป้ายอุปกรณ์ (NAMEPLATES)

1.8.1 มอเตอร์ทุกตัวควรจะมีแผ่นป้ายอุปกรณ์ติดอยู่ที่โครงมอเตอร์โดยบนแผ่นป้ายควรมีรายละเอียดดังต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย คือ

มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ หนึ่ง หรือหลายเฟส

1. ชื่อของอุปกรณ์ Name of Apparatus
2. ชื่อบริษัทผู้ผลิต Name of Manufacturer
3. ชนิดและขนาดโครง Manufacturer's Type and Frame Designation
4. หมายเลขอุปกรณ์ Manufacturer's Serial Number
5. ขนาดกำลังผลิต Horsepower Output
6. พิกัดเวลาเริ่มเดิน Time Rating
7. อุณหภูมิเพิ่มขณะใช้งาน Temperature at Rated Load
8. ความเร็วรอบ Speed at Rated Load
9. แรงดันไฟฟ้า Voltage
10. ขนาดกระแสที่โหลดเต็มที่ Amperes at Full Load
11. ความถี่ไฟฟ้า Frequency
12. จำนวนเฟส Number of Phases

1.8.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด Wound-Rotor ชนิดหนึ่งเฟส หรือหลายเฟส รายละเอียดตามข้อ 1 - 12 และเพิ่มเติมดังนี้

(1) ขนาดกระแสทุติยภูมิที่โหลดเต็มที่ Secondary Amperes at Full Load

(2) ขนาดแรงเคลื่อนทุติภูมิ Secondary Voltage

1.8.3 ซิงโครนัสมอเตอร์ ชนิดหนึ่งเฟส หรือหลายเฟส รายละเอียดตามข้อ 1 - 12 และเพิ่มเติมดังนี้

(1) ค่าตัวประกอบกำลัง Power Factor

(2) ขนาดแรงเคลื่อนเอ็กไซเตอร์ Excitation Voltage

(3) ขนาดกระแสเอ็กไซและพิกัด Excitation and Rating

1.8.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รายละเอียดตามข้อ 1 - 10 และควรเพิ่มเติมดังนี้

(1) ชนิดของการพัน Type of Winding เช่น Shunt, Series, Compound, Stabilized Shunt เป็นต้น

1.9 การใช้งานมอเตอร์ (MOTOR APPLICATION)

โดยทั่ว ๆ ไป การเลือกมอเตอร์ควรจะพิจารณาเลือกมอเตอร์ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานทั้งในเรื่องของชนิด (Type) ลักษณะการทำงาน (Duty) และโครงสร้าง (Enclosure) โดยมอเตอร์ควรเป็นชนิดที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง ยกเว้นแต่ในงานนั้น ๆ ต้องการมอเตอร์ที่ทำงานในลักษณะชั่วคราว (Intermittent of Varying Duty)

โดยปกติมอเตอร์ควรจะเป็นแบบที่มีการป้องกันในลักษณะ Drip-Proof ยกเว้นในกรณีที่บริเวณที่ติดตั้งอาจจะสัมผัสฝอยน้ำหรือน้ำมัน จำเป็นต้องติดตั้งโดยมีวัสดุปิดทึบ (Enclosed) หรือเป็นแบบผนึกน้ำ (Watertight) หรือทั้งสองอย่างรวมกัน มอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าเปิดควรเป็นแบบผนึกน้ำ ยกเว้นแต่ในกรณีที่ติดตั้งโดยมีโครงโลหะครอบซึ่งสามารถให้การป้องกันได้ในลักษณะเดียวกับโครงสร้างแบบผนึกน้ำของตัวมอเตอร์เอง

1.9.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระสลับ เนื่องจากการใช้งานส่วนใหญ่ไม่ต้องการควบคุมความเร็วสำหรับเครื่องขับ ดังนั้นในทุก ๆ ทุกกรณีที่เป็นไปได้ควรใช้มอเตอร์ชนิด Single Speed Squirrel Cage Induction Motor ถ้ามีความเร็วเป็นต้องควบคุมความเร็วของเครื่องขับ มอเตอร์ที่ควรถูกพิจารณาเลือกใช้เป็นอันดับแรก คือ Multi-speed Squirrel Cage Induction Motor ซึ่งสามารถทำความเร็วได้หนึ่ง สอง สามหรือสี่ ความเร็วขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะผสมของการพันที่เลือกใช้ การพันขดลวดอาจรวมเป็นกลุ่มสำหรับการต่อแบบอนุกรมหรือขนาน เพื่อให้ได้ความเร็วรอบแบบ TWO-TO-ONE หรือพันอิสระแบบสองหรือมากกว่า เพื่อให้ได้อัตราส่วนอย่างอื่นที่ต้องการตามสัดส่วนของ Synchronous Speed ถ้ามีความต้องการในการควบคุมรอบแบบอื่น ควรจะใช้ Wound-Rotor Induction Motor โดยมีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วที่เหมาะสมติดตั้งอยู่

1.9.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับการใช้งานส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์แบบ Shunt หรือ Stabilized Shunt-Wound เนื่องจากการควบคุม Shunt Field สามารถเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ได้เพียง 10% ดังนั้น จึงควรใช้เฉพาะงานที่ต้องการ การปรับแต่งรอบไม่มาก ในกรณีที่ต้องการควบคุมรอบมากกว่านี้ควรใช้ Armature Voltage Control, Shunt Field Control หรือลักษณะผสมระหว่างทั้งสองอย่าง

1.9.3 มอเตอร์สำหรับเครื่องจักรช่วยในห้องเครื่องจักร เนื่องจากการออกแบบและติดตั้งระบบระบายอากาศสำหรับห้องเครื่องจักรในปัจจุบันดีเพียงพอที่สามารถให้มอเตอร์แบบ Drip-Proof ได้ สำหรับเครื่องจักรช่วยที่ขับด้วยมอเตอร์ทุกชนิด อย่างไรก็ตามในบริเวณที่คาดว่าจะมีละอองน้ำมันปนอยู่กับอากาศบริเวณนั้น ๆ ควรพิจารณาใช้มอเตอร์แบบ Totally Enclosed Fan-Cooled Motor หรือติดตั้งท่อระบายอากาศเฉพาะ สำหรับมอเตอร์แบบ Enclosed Self-Ventilated Motor เพื่อป้องกันน้ำมันไม่ให้เข้าไปเกาะอยู่บนขดลวดต่าง ๆ ในการติดตั้งมอเตอร์แบบ Drip-Proof ควรติดตั้งในบริเวณที่สูงพ้นจากน้ำท้องเรือ โดยปกติไม่ควรติดตั้งต่ำกว่าระดับแผ่นปูพื้นห้อง (Floor Plate) ยกเว้นแต่จะเป็นมอเตอร์แบบผนึกน้ำ อย่างไรก็ตามถ้าติดตั้งในบริเวณช่องเปิดของแผ่นปูพื้นห้องที่จะไม่ถูกน้ำท้องเรือกระเด็นมาถึง และสามารถมองเห็นและบำรุงรักษาได้สะดวก ก็สามารถใช้มอเตอร์แบบ Drip-Proof ได้

1.9.4 มอเตอร์สำหรับพัดลมระบายอากาศ (Ventilating Fans) และพัดลมเป่า (Blowers) สำหรับมอเตอร์ทั้งหมดที่ติดตั้งเพื่อขับพัดลมแบบ Axial Flow ซึ่งดูดอากาศจากหรือเป่าอากาศออกสู่ดาดฟ้าเรือ จะต้องเป็นแบบผนึกน้ำ (Watertight Type)

(1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ในกรณีที่ต้องใช้มอเตอร์ชนิดสองความเร็วควรเลือกใช้ที่ความเร็วเต็มที่ และ 2/3 ของความเร็วเต็มที่ เนื่องจากขนาดความเร็ว 1/2 ของความเร็วเต็มที่จะให้อัตราไหลของอากาศน้อยมาก สำหรับพัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Type Fan)

(2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควรเป็นแบบ Shunt ยกเว้นในกรณีที่ความเร็วรอบของมอเตอร์มากกว่า 600 รอบต่อนาที ควรจะเป็นแบบ Stabilized Shunt Field ในกรณีที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบควรพิจารณาตามที่กล่าวมาแล้ว สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.9.5 มอเตอร์สำหรับปั๊ม สำหรับปั๊มแบบ Plunger และ Close-Coupled Pump ควรจะเป็นแบบ Totally Enclosed หรืออาจใช้มอเตอร์แบบ Drip-Proof โดยตัวปั๊มที่ถูกขับเป็นแบบ Totally Enclosed หรือถูกออกแบบให้สามารถป้องกันของเหลวไม่ให้เข้าถึงตัวมอเตอร์ได้ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ขับปั๊มควรเป็นแบบ Stabilized Shunt Field และสำหรับปั๊มแบบแรงเหวี่ยงควรจะสามารถเพิ่มความเร็วได้อย่างน้อย 10% โดย Shunt Field

1.9.6 มอเตอร์ติดตั้งในห้องเย็น (Refrigerated Space) โดยปกติไม่ควรติดตั้งมอเตอร์ในบริเวณดังกล่าว แต่ถ้าจำเป็นต้องติดตั้งจะต้องพิจารณาถึงผลของการควบแน่นของความชื้นที่จะมีผลต่อตัวมอเตอร์เป็นพิเศษ

มอเตอร์สำหรับติดตั้งในบริเวณห้องประกอบอาหาร ห้องซักรีด ห้องโรงงาน ห้องสี และห้องอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับห้องต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วควรเป็นแบบ Totally Enclosed หรือ Totally Enclosed Fan-Cooled ยกเว้นในกรณีที่ติดตั้งอยู่ภายในโครงสร้าง ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันเทียบเท่ากับโครงสร้างชนิด Totally Enclosed สามารถติดตั้งมอเตอร์แบบ Open หรือ Drip-Proof แทนได้

มอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ควรใช้มอเตอร์แบบ Squirrel-Cage หรือ Synchronous ซึ่งมีลักษณะการใช้งาน (Time Rating) เช่นเดียวกับอุปกรณ์ซึ่ง มอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์นั้น จ่ายกระแสไฟให้

เครื่องกลบนดาดฟ้า (Deck Machinery) มอเตอร์ที่ใช้ควรเป็นแบบ Water Proof ยกเว้นมอเตอร์ที่ติดตั้งในบริเวณดาดฟ้าปิด (Deckhouse) ใต้ดาดฟ้าหรือมีการป้องกันที่เหมาะสม

1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบบ Single or Multi-speed Constant-Torque Squirrel-Cage จะเหมาะสมสำหรับลักษณะความเร็วที่ต้องการสำหรับกว้านท้ายเรือ กว้านสมอและกว้านยกของต่างๆ อย่างไรก็ตามถ้าต้องการลักษณะการควบคุมความเร็วในลักษณะอื่น ๆ อาจใช้มอเตอร์แบบ Wound-Rotor ซึ่งมีการควบคุมอิมพิแดนซ์ได้หลายแบบ (Several Type of Impedance Control)

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ที่ใช้อาจเป็นแบบ Stabilized Shunt Compound หรือ Series Wound โดยปกติต้องมีอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษเหมาะสมกับงานที่ใช้ ลักษณะการใช้งาน (Duty) จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกลของอุปกรณ์ที่ถูกขับ

สำหรับการขับในลักษณะ Indirect เช่น DC Adjustable-Voltage Drive หรือ Electro-Hydraulic Drive จะต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากมอเตอร์ขับเย็นเนอเรเตอร์ หรือปั๊ม จะต้องทำงานในลักษณะที่มีโหลดน้อย (Light Load) นอกเหนือจากที่ต้องทำงานในลักษณะเป็นช่วง ๆ แล้ว อัตราระยะเวลาใช้งานต่ำสุดสำหรับกว้านสมอ และกว้านต่าง ๆ ควรเป็นดังต่อไปนี้

	Windlass	Capstan	Cargo Winch	Topping and VAMG WOMCH
Direct Gear	30 MIN	30 MIN	30 MIN	28 MIN
Direct Gear With Gypsy Head	30 MIN VAR.	30 MIN VAR.	30 MIN VAR.	-
Indirect (Motor Driving Set or Pump)	30 MIN VAR.	30 MIN VAR.	30 MIN VAR.	-

VAR - ลักษณะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทำงานต่อเนื่องแบบ Light Load ตามด้วยการทำงานแบบ Full Load ในช่วงระยะเวลาที่แน่นอน

1.9.3 มอเตอร์เครื่องหางเสือ

(1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับเครื่องหางเสือที่ใช้มอเตอร์ขับโดยตรง (Direct-Drive) ควรใช้มอเตอร์แบบ Wound-Rotor ซึ่งมีความสามารถหยุดแรงบิด (Breakdown Torque) ได้อย่างน้อยสองเท่าของแรงบิดสูงสุด (Full-Load Torque) สำหรับเครื่องหางเสือที่ใช้มอเตอร์ขับผ่านอุปกรณ์อื่น (Indirect-Drive) เช่น DC Adjustable Voltage หรือ Electro-hydraulic ควรใช้มอเตอร์แบบ Squirrel-Cage ขับมอเตอร์ เย็นเนอเรเตอร์ หรือ ปั๊ม ซึ่งควรมีลักษณะการใช้งานแบบรับโหลด เปลี่ยนแปลงแบบโหลดต่อเนื่องขนาด 15% โหลดในระยะเวลา 60 นาที ตามด้วยโหลดเต็มที่ในระยะเวลา 60นาที

(2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับเครื่องหางเสือที่ใช้มอเตอร์ขับโดยตรง ควรใช้มอเตอร์แบบ Compound-Wound ซึ่งรับโหลดเป็นช่วงในเวลา 60 นาที สำหรับการขับผ่านมอเตอร์ - เย็นเนอเรเตอร์หรือปั๊ม ควรเป็นแบบ Shunt หรือ Stabilized Shunt Wound และมีลักษณะการทำงานแบบเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1.10 การใช้งานอุปกรณ์ควบคุม (CONTROL APPLICATIONS)

อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้งานร่วมกับมอเตอร์ขับอุปกรณ์แต่ประเภท จะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันตามลักษณะเฉพาะของการใช้งานของอุปกรณ์นั้น ๆ คุณสมบัติโดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมจะมีอย่างน้อยที่สุดดังต่อไปนี้

Deck Machinery

อุปกรณ์ Deck Machinery โดยทั่ว ๆ ไปควรจะติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมดังนี้

(ก) ในกรณีที่มอเตอร์ขับอุปกรณ์โดยตรง (Direct Connected) ควรมีตัวควบคุมการทำงานย้อนกลับ สำหรับการควบคุมความเร็ว ยกเว้นแต่อุปกรณ์ดังกล่าวถูกออกแบบให้มีการป้องกันไม่ให้เกิดกรณีที่โหลดถูกปลดออกจากตัวมอเตอร์ขับ (Overhauling Load to the Driving Motor) ไม่ว่าจะเป็นกรณีใด ๆ ขณะกำลังทำงาน ในกรณีที่อุปกรณ์ถูกออกแบบในลักษณะที่กล่าวมาแล้ว อุปกรณ์ควบคุมอาจเป็นแบบ Straight Reversing Type ในกรณีอุปกรณ์ที่ถูกขับเป็น Electro-hydraulic Type ตัวควบคุมไม่ให้เกิดการทำงานย้อนกลับควรจะติดตั้งอยู่สำหรับมอเตอร์นั้น

(ข) Magnetic Break สำหรับหยุดหรือยึดโหลดควรมีติดตั้งอยู่ยกเว้นแต่อุปกรณ์นั้น สามารถล็อคตัวเอง(Self-Locking) ได้อย่างกะทันหัน หรือมีอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับยึดโหลดติดตั้งอยู่แทน

(ค) สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด ควรติดตั้งอุปกรณ์เพื่อหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ Automatic Dynamic Break สำหรับการปล่อยโหลด ทุก ๆ ระยะหรือเป็นการหยุดชั่วคราวแบบอัตโนมัติ

(ง) ตัวความต้านทานชนิดไม่แตก (Non-breakable) และสามารถป้องกันการ ผุกร่อน ซึ่งสามารถรับโหลดของมอเตอร์ขนาด 125% โหลดในเวลา 5 นาที การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้า (Rheostatic Type) สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงควรมีจุดที่ทำให้กระแสของอาร์เมเจอร์แยกออกไป (Armature Shunt Point) โดยติดตั้งอยู่ในตำแหน่งแรกในแต่ละทิศทาง (on First Position in each Direction)

1.11 กว้านและเครื่องกว้าน (CAPSTAN & WINDLASS)

อุปกรณ์ควบคุมสำหรับกว้าน หรือเครื่องกว้านสมอที่ใช้งานในลักษณะเดียวกับกว้านและเครื่องกว้านอื่น ๆ ควรประกอบด้วย

1.11.1 อุปกรณ์ควบคุมการไฟฟ้าที่ทำงานโดยการกระตุ้นจากอาการทางกล ซึ่งถูกออกแบบให้การทำงานในทิศทางตามและทวนเข็มนาฬิกา มีคุณสมบัติเกี่ยวกับความเร็วและแรงบิดเหมือนกันทั้งสองทิศทาง

1.11.2 อุปกรณ์ควบคุมเพื่อขัดขวางไม่ให้เกิดสภาวะโหลดเกินพิกัดหรือตัวหน่วงให้การทำงานลดกลับลงมาโดยทันทีโดยการต่อความต้านทาน เริ่มเดินเข้ากับวงจรของอาร์เมเจอร์ เมื่อโหลดเกิดพิกัดประมาณ 200% ของพิกัดโหลด และควบคุมขนาดกระแสของอาร์เมเจอร์ ให้อยู่ประมาณ 125 % ของพิกัดกระแสสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบ Wound Rotor

1.11.3 อุปกรณ์ควบคุมเพื่อขัดขวางไม่ให้เกิดสภาวะโหลดเกิดพิกัด (Overload of Jamming) หรือตัวหน่วงให้การทำงานลดกลับลงมา (Step-Back Relay) ดังกล่าวจะต้องถูกออกแบบให้สามารถปรับเข้าสู่สภาวะปกติ โดยตัวควบคุมแบบแม่เหล็ก (Magnetic Controller) ซึ่งจะทำงานโดยอัตโนมัติ และอุปกรณ์ควบคุมควรจะทำงานแบบอัตโนมัติ โดยทำงานสอดคล้องกับการทำงานของมาสเตอร์สวิทช์

1.11.4 ในการควบคุมด้วยมืออุปกรณ์ดังกล่าวในข้อ 1.11.2 ควรจะต้องถูกปรับสูงกว่าสภาวะปกติ ก่อนที่จะสามารถควบคุมมอเตอร์ให้มีความเร็วตามพิกัดความเร็วได้อีกครั้ง

1.11.5 สำหรับเรือขนาดเล็ก ซึ่งเครื่องกว้านมีขนาดต่ำกว่า 5 กำลังม้า สามารถใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบ Non-reversing Controller With one Running Point

1.11.6 เครื่องกว้านต่าง ๆ ที่มีการใช้งานไม่บ่อยอาจใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบไม่อัตโนมัติ (Manual Control) สำหรับขนาด 25 กำลังม้าลงมาเมื่อใช้กับไฟฟ้า ขนาด 115 โวลต์ หรือ 50 กำลังม้า ลงมาเมื่อใช้กับไฟฟ้าขนาด 230 โวลต์

1.12 เครื่องหางเสือ (STEERING GEAR)

1.12.1 ลักษณะโดยทั่วไป ในกรณีที่เครื่องหางเสือมีวงจรไฟป้อนสองวงจรป้อนให้กับระบบ จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการสับเปลี่ยนการรับพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้าป้อนไม่ให้เกิดกรณีไฟฟ้า จากสายป้อนทั้งสองวงจรจ่ายเข้าสู่ระบบพร้อม ๆ กัน และเมื่อเกิดการขัดข้องขึ้นกับวงจรไฟฟ้าป้อนที่กำลังใช้งานอยู่ สามารถสับไฟป้อนจากอีกวงจรให้เข้าสู่ระบบได้ทันที อุปกรณ์ควบคุมการสับเปลี่ยนดังกล่าวจะต้องติดตั้งอยู่ในห้องหางเสือ เนื่องจากปกติระบบเครื่องหางเสือจะต้องมีอย่างน้อยมากกว่า 1 ระบบ เพื่อเป็นระบบสำรองเมื่อระบบที่กำลังใช้งานอยู่เกิดขัดข้องกะทันหัน ดังนั้นระบบควบคุมจะต้องติดตั้งกลไก (Interlock) เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบเครื่องหางเสือมากกว่า 1 ระบบ ถูกต่อเข้ากับวงจรสายป้อนพร้อม ๆ กัน ขนาดจ่ายกำลังไฟฟ้าของวงจรไฟป้อนแต่ละวงจร จะต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับจ่ายให้กับระบบเครื่องหางเสือในสภาวะที่ใช้โหลดมากที่สุด

การป้องกันกรณีกระแสเกินพิกัด สำหรับแต่ละวงจรไฟฟ้าป้อนของระบบเครื่องหางเสือที่ติดตั้งอยู่ที่แผงสวิทช์บอร์ดหลักของเรือและแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉินควรเป็น Circuit Breaker ชนิดทำงานโดยทันทีและตั้งให้ตัดวงจรเมื่อขนาดกระแสเท่ากับ 200% ของ Steady-State Locked Rotor Current ของมอเตอร์ขับอุปกรณ์หางเสือ 1 ตัว บวกขนาดกระแสที่ต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบสำหรับระบบหางเสือที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ และสำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ควรตั้งให้ตัดวงจรเมื่อขนาดกระแสไม่น้อยกว่า 100% และไม่มากกว่า 386% ของพิกัดกระแสของมอเตอร์ 1 ตัวที่ใช้ในระบบหางเสือ นอกจากนั้นในวงจรของมอเตอร์ และวงจรควบคุมจะต้องไม่มีอุปกรณ์ป้องกันสภาวะกระแสเกินพิกัด (Overload) อื่น ๆ หรือฟิวส์ ซึ่งจะเปิดวงจรเมื่อเกิดกรณีกระแสเกินพิกัดติดตั้งอยู่ในวงจรดังกล่าว

การทำงานของ Circuit Breaker ทั้งที่สวิทช์บอร์ดหลักและสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน เมื่อเปิดวงจร จะต้องมีสัญญาณกระตุ้นอุปกรณ์ เตือนแบบเสียงซึ่งติดตั้งอยู่บนหรือใกล้ ๆ กับศูนย์ควบคุมระบบขับเคลื่อนให้ส่งสัญญาณเตือนภัยดังกล่าว

แต่ละวงจรของระบบเครื่องหางเสือ จะต้องติดตั้งรีเลย์ชนิด Thermal Overcurrent Relay โดยรีเลย์นี้จะทำงานเพียงแค่ส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปควบคุมไฟแสดงสถานะของการเกิดกระแสเกินพิกัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่แผงสวิทช์บอร์ดหลักของเรือหรือแผงย่อยของศูนย์ควบคุมระบบขับเคลื่อน เพื่อให้ทราบสถานะภาพของมอเตอร์โดยไม่มีการทำหน้าที่อื่น ๆ นอกเหนือจากนี้ เช่น ตัดวงจร เป็นต้น

วงจรควบคุมมอเตอร์เครื่องหางเสือจะต้องสามารถควบคุมการเร่งความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยมีขนาดแรงบิดที่ต้องการขนาดกระแส 150% ของพิกัดกระแสของมอเตอร์ ถ้าระบบในของระบบไม่ได้ออกแบบให้สามารถหยุดหางเสือจะต้องติดตั้งเบรคที่ทำงานโดยระบบแม่เหล็ก (Magnetic Brake) ไฟแสดงสภาวะการทำงานของมอเตอร์ จะต้องติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ควบคุมเครื่องหางเสือทุก ๆ แห่ง โดยไฟแสดงดังกล่าวจะต้องมีฟิวส์

1.12.2 เครื่องหางเสือชนิดขับโดยตรง (Direct-Drive Steering Gear) ระบบควบคุมสำหรับเครื่องหางเสือชนิดนี้ ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับควรเป็นแบบ Rheostat หรือ Reactor Type และสำหรับระบบที่ขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคงเป็นแบบ Rheostat หรือ Variable Voltage โดยมีคุณสมบัติป้องกันกระแสเกินพิกัด แบบ Step-Back ซึ่งจะไม่เปิดวงจรเมื่อทำงาน

1.12.3 ระบบควบคุมหางเสือ (Steering Control Transmission System) ไฟฟ้าที่เลี้ยงระบบควบคุมหางเสือ ควรเป็นไฟฟ้าจากแหล่งเดียวกับที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังของระบบเครื่องหางเสือ อุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้าที่ใช้ อาจเป็นแบบ Self-Synchronous “Follow-up” หรือ “Non–Follow-up” การควบคุมแบบ Follow–up อาจจะควบคุม โดยการควบคุมผ่าน Servo-Motor ซึ่งถูกควบคุมจากระยะไกล ซึ่งจะควบคุมตำแหน่งของหางเสือให้เปลี่ยนไปตามตำแหน่งของพังงาที่เปลี่ยนไปในแต่ละตำแหน่ง หรืออาจจะควบคุมกลไกการทำงานของหางเสือ ทั้งการเคลื่อนไหว และตำแหน่งของหางเสือให้เปลี่ยนแปลงไปพร้อม ๆ กันกับ (Synchronism) การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและการเคลื่อนไหวของพังงาซึ่งติดตั้งอยู่ในตำบลที่ที่ห่างออกไป ในกรณีของระบบควบคุมเครื่องหางเสือแบบ Variable Voltage การควบคุมหางเสือแบบ “Follow-up” อาจทำได้โดยการใช้ชุดความต้านทานแบบ Wheatstone Bridge การทำงานของพังงาจะทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าคร่อมชุดความต้านทานนั้น และการเคลื่อนไหวของหางเสือจะทำให้เกิดความสมดุลขึ้นอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของหางเสือที่ต้องการให้เคลื่อนไหวไปได้ตามต้องการ ตำแหน่งที่ต้องการคือ ตำแหน่งที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าคร่อมชุดความต้านทานดังกล่าวอยู่ในสภาวะสมดุล

การควบคุมแบบ “Non-Follow-up” ชุดควบคุมทางไฟฟ้าประกอบด้วยมาสเตอร์สวิทช์ (Master Switch) ซึ่งจะกลับสู่ตำแหน่ง “OFF” โดยการทำงานของสปริง สวิทช์ดังกล่าวสามารถ

ควบคุมหางเสือให้เคลื่อนไปได้ทั้งทางซ้ายและขวา โดยหางเสือจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ จนกว่าจะถึงตำแหน่งมุมหันสูงสุด หรือเมื่อมาสเตอร์สวิทช์กลับมาที่ตำแหน่ง “OFF”

การควบคุมทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว สามารถให้ทำงานร่วมกับระบบนำร่องอัตโนมัติ (Auto Pilot) ในการติดตั้งระบบสำรองสำหรับควบคุมระบบเครื่องหางเสือจากตำบลที่ต่าง ๆ ภายในเรือ อาจเป็นระบบรวมของระบบทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว โดยปกติระบบสายไฟสำหรับระบบสำรองดังกล่าวตั้งแต่สองระบบขึ้นไป จะต้องติดตั้งอย่างระมัดระวังไม่ให้ความเสียหายที่เกิดขึ้น เช่น การเปิดวงจร หรือการรั่วลงกราวด์ของสายในระบบใดระบบหนึ่งมีผลกระทบต่อระบบสำรองอื่น ๆ และการเลือก หรือสับเปลี่ยนระหว่างระบบสามารถทำได้ศูนย์ควบคุมระบบหางเสือโดยไม่ต้องลงไปที่ห้องหางเสือเลย

ศูนย์ควบคุมระบบหางเสือ อาจติดตั้งอยู่ในบริเวณอื่นในเรือนอกจากห้องถือท้าย โดยมีสวิทช์เลือกที่สามารถส่งการควบคุมไปยังศูนย์ควบคุมต่าง ๆ โดยวงจรทั้งหมดของระบบที่ไม่ได้ใช้งานจะถูกตัดออกโดยเด็ดขาด โดยสวิทช์เลือกดังกล่าวมีแต่เฉพาะวงจรที่กำลังใช้งานเท่านั้นที่ต่อวงจร เพื่อควบคุมระบบเครื่องหางเสือทั้งหมด และในแต่ละศูนย์ควบคุมควรมีอุปกรณ์ชี้มุมหางเสือติดตั้งอยู่ทุก ๆ ศูนย์

1.12.4 พัดลมระบายอากาศ (Ventilation Fan) สตาร์ทเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ อาจเป็นแบบ Fused Switch, Across-Line, Reduced Voltage, Two-Speed หรือ Wound-Rotor ซึ่งติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัด ชนิดทำงานแบบ Manual หรือ Magnetic ขึ้นอยู่กับขนาดของพัดลมและขนาดการควบคุมความเร็วรอบที่ต้องการ

สตาร์ทเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง อาจจะเป็นแบบที่สามารถปรับแต่งความเร็วรอบโดยควบคุม Armature หรือ Field หรือทั้งสองอย่าง ตามความต้องการในแต่ลักษณะ ในกรณีที่ต้องการควบคุมการสูญเสียขณะทำงาน (Operating Loss) ให้มีค่าต่ำที่สุด มอเตอร์ควรจะถูกควบคุมในลักษณะ Field Control

มอเตอร์ซึ่งไม่ควรจะสตาร์ทขึ้นใหม่โดยอัตโนมัติ หลังจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าขัดข้องควรจะติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันลักษณะ Low-Voltage Protection

ระบบระบายอากาศทั้งหมดในเรือควรจะออกแบบให้สามารถหยุดการทำงานได้โดยการควบคุมจากระยะไกลในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ หรือกรณีฉุกเฉินอื่นๆ สำหรับระบบระบายอากาศในห้องเครื่องจักร ควรจะติดตังสวิทช์ควบคุมที่สามารถหยุดการทำงานของระบบติดตั้งอยู่ในช่องทางเดินที่เข้าสู่แต่อยู่ภายนอกห้องเครื่องจักรนั้น ๆ สำหรับระบบระบายอากาศระบบอื่นๆ ควรจะมีสวิทช์ “ปิด” ฉุกเฉินเพื่อหยุดการทำงานของระบบสองแห่ง คืออยู่ในห้องควบคุมความเสียหายหนึ่งแห่ง และแห่งที่สองควรจะติดตั้งในบริเวณห่างจากระบบในระยะที่เหมาะสม ยกเว้นในกรณีที่ใช้สวิทช์สำหรับไฟเข้าเลี้ยงระบบเป็นสวิทช์ “ปิด”แห่งที่สองสวิทช์ “ปิด” ฉุกเฉินเหล่านี้ควรจะติดตั้งอยู่ในตู้ที่ด้านหน้าเป็นกระจกโดยมีอักษรกำกับให้ชัดเจนว่า “ในกรณีที่เกิดไฟไหม้ให้ทุบกระจกและกด

ปุ่มเพื่อหยุดการทำงานของระบบระบายอากาศ” และมีแผ่นป้ายแสดงรายละเอียดของระบบระบายอากาศซึ่งสวิทช์นั้น ๆ ควบคุม ระบบการหยุดการทำงานฉุกเฉินจากระยะไกลดังกล่าวควรจะติดตั้งโดยมีการป้องกันในลักษณะ Under-voltage Protection Type และออกแบบให้หยุดพัดลมโดยอัตโนมัติในกรณีที่เกิดความเสียหายขึ้นกับมาสเตอร์สวิทช์ หรือสายไฟ

ระบบระบายอากาศแบบปิด (Closed Recirculation System) และพัดลมกระจายความเย็นในห้องเย็นไม่จัดอยู่ในระบบที่สำคัญสูงสุด ในกรณีที่เกิดไฟไหม้และไม่จำเป็นต้องรวมอยู่ในระบบปิดฉุกเฉินตามที่กล่าวมาแล้ว

1.12.5 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในห้องประกอบอาหาร ห้องซักรีด ห้องโรงงาน ห้องสีหรือห้องอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกับห้องดังที่กล่าวมาแล้ว อุปกรณ์ควบคุมควรจะติดตั้งอยู่ในโครงสร้างแบบ Drip-Proof และควรเป็นแบบที่ทำงานโดยคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic Type) มากกว่าแบบ Line Switch อุปกรณ์ควบคุมแบบ Magnetic ดังกล่าวอาจจะทำงานโดยควบคุมจากมาสเตอร์สวิทช์แบบกดปุ่ม หรือดรัม (Drum) อุปกรณ์ที่ทำงานโดยอัตโนมัติ (Full Automatic) เช่น เครื่องเย็นตู้น้ำพุ เป็นต้น ถ้าต่อกับระบบไฟป้อนแบบถาวรจะต้องมีสวิทช์ ซึ่งสามารถตัดวงจรโดยการเปิดวงจรสำหรับสายตัวนำทุกเส้นติดตั้งอยู่บริเวณใกล้ ๆ กับอุปกรณ์ ในกรณีที่ต่อวงจรโดยใช้สายเสียบเข้ากับปลั๊กไม่จำเป็นต้องมีสวิทช์

1.12.6 เครื่องจักรช่วยต่าง ๆ ในห้องเครื่องจักร (Engine Room Auxiliaries) อุปกรณ์ควบคุมสำหรับเครื่องจักรช่วยต่างๆ ในห้องเครื่องจักรควรจะมีลักษณะการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอุปกรณ์ เช่น การควบคุมความเร็วรอบสำหรับปั๊ม อุปกรณ์ป้องกันลักษณะ Low-Voltage Release สำหรับอุปกรณ์ที่มีความสำคัญยิ่งสำหรับระบบขับเคลื่อน เช่น ปั๊มน้ำมันหล่อ ปั๊มน้ำทะเลดับความร้อน ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งการสตาร์ทใหม่ของอุปกรณ์ดังกล่าว หลังจากที่ระบบไฟฟ้าได้รับการซ่อมเรียบร้อยแล้ว ไม่มีผลต่อระบบไฟฟ้าของเรือหรือถ้ามีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าของเรือจะต้องติดตั้งอุปกรณ์เพื่อควบคุมลำดับ การสตาร์ทใหม่ของอุปกรณ์ดังกล่าว

1.12.7 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) อุปกรณ์อัดอากาศที่มีมากกว่าหนึ่งสเต็ท (Stage) ขึ้นไป ควรจะติดตั้ง Automatic Unloading Device เพื่อให้ง่ายในการเริ่มเดินของมอเตอร์

1.12.8 ปั๊ม (Pumps) สำหรับมอเตอร์ขับปั๊มต่าง ๆ ซึ่งทางส่งอยู่ภายนอกตัวเรือสูงกว่าเส้น Light Load และที่ทางส่งอยู่ในแนวที่จะส่งออกไปยังอุปกรณ์ปล่อยเรือหรือแพช่วยชีวิต ควรติดตั้งสวิทช์ “ปิด” ฉุกเฉินบรรจุอยู่ในกล่องที่มีการป้องกันแบบ Waterproof โดยมีฝาด้านบนเป็นกระจกติดตั้งในบริเวณที่สะดวกกับการใช้งานในกรณีที่จำเป็นต้องหยุดมอเตอร์ดังกล่าวฉุกเฉินโดยทุบฝากระจกด้านบนและกดปุ่ม “ปิด” ดังกล่าว

1.12.9 ห้องความต้านทาน (Resistor Room) ห้องความต้านทานคือห้องที่ติดตั้งชุดความต้านทานสำหรับกว้านและเครื่องกว้านต่าง ๆ รวมถึงชุดความต้านทานสำหรับอุปกรณ์ควบคุมของกว้านต่าง ๆ ดังกล่าว ควรติดตั้งอยู่ในห้องที่ผนังเป็นโลหะ (Metal Bulkheads) มีประตู และมีการระบายอากาศ

ที่เพียงพอ สำหรับระบายความร้อนความต้านทานดังกล่าวขณะใช้งานถ้ามีอุปกรณ์อื่น ๆ หรือสายไฟติดตั้ง และเดินผ่านห้องความต้านทานอุณหภูมิแวดล้อมบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ หรือสายไฟดังกล่าวจะต้องไม่สูงเกินพิกัดอุณหภูมิแวดล้อมซึ่งออกแบบไว้สำหรับอุปกรณ์ หรือสายไฟดังกล่าว ระบบระบายอากาศควรจะเป่าตรงไปยังชุดความต้านทาน เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนสะสมสูงเกินกว่าพิกัดอุณหภูมิที่ออกแบบไว้สำหรับชุดความต้านทานนั้น ๆ ชุดความต้านทานควรติดตั้งห่างจากผนังทุก ๆ ด้านไม่น้อยกว่า 12 นิ้ว

1.13 แผ่นป้ายอุปกรณ์สำหรับอุปกรณ์ควบคุม (Nameplate for Controllers)

อุปกรณ์ควบคุมแต่ละอุปกรณ์ควรมีแผ่นป้ายติดอยู่กับตัวอุปกรณ์ และสำหรับส่วนแยกออกไปต่างหากจากตัวอุปกรณ์หลัก เช่น ชุดความต้านทาน เป็นต้น ควรจะมีแผ่นป้ายที่มีรายละเอียดเพียงพอ เพื่อระบุว่าเป็นส่วนแยกของอุปกรณ์ไหน สำหรับแผ่นป้ายบนตัวอุปกรณ์หลัก ควรจะระบุรายละเอียดอย่างน้อยดังนี้

1.13.1 อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับ

1. ชื่อของอุปกรณ์ Name of Apparatus
2. ชื่อบริษัทผู้ผลิต Name of Manufacturer
3. หมายเลขแบบของบริษัท Manufacturer's Type Number or Class Identification
4. กำลังม้าของมอเตอร์ Horsepower of Motor
5. แรงดันไฟฟ้า Voltage
6. พิกัดกระแส Rated Amperes
7. ความถี่ Frequency
8. จำนวนเฟส Number of Phases

1.13.2 อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้ากระแสตรง ระบุรายละเอียดเช่นเดียวกับอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับในข้อ 1 - 6

1.14 การทดสอบ (TESTS)

1.14.1 อุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ที่ติดตั้งใช้งานภายในเรือควรจะได้รับการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับควบคุมมอเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมนั้น ๆ จะต้องควบคุม การทดสอบทั้งในลักษณะปกติ และในลักษณะพิเศษต่าง ๆ ควรเป็นไปตามมาตรฐานที่ยอมรับสำหรับอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้งานในเรือ โดยปกติไม่จำเป็นต้องทดสอบอุปกรณ์ย่อย ๆ ภายในแต่ควรจะทำการทดสอบระบบรวมเพื่อให้แน่ใจว่าชุดอุปกรณ์ควบคุมนั้น สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ตามความต้องการ

1.15 ขีดจำกัดของอุณหภูมิเพิ่มขณะใช้งาน (LIMITS OF TEMPERATURE RISE)

1.15.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดอุปกรณ์ควบคุมควราจะมีอุณหภูมิเพิ่มขณะใช้งานไม่สูงกว่าขีดจำกัดที่จะกล่าวถึงต่อไป อนึ่งขีดจำกัดที่จะกล่าวถึงกำหนดโดยพิจารณาที่อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 50 C ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ควบคุมที่ติดตั้งใน ห้องเครื่องจักร หรือห้องอื่นที่มีลักษณะเหมือนห้องเครื่องจักร ในกรณีที่ติดตั้งในห้องอื่น ซึ่งอุณหภูมิแวดล้อมพิจารณาที่ 40 C สามารถบวกเพิ่มขึ้นอีก 10 C ได้ สำหรับทุก ๆ ส่วนของชุดอุปกรณ์ควบคุมดังต่อไปนี้

1) ขดลวด (COILS) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นขณะใช้งานของขดลวด เมื่อทดสอบตามพิกัดการใช้งานควรจะไม่เกินค่าในตารางที่ 2

AC AND DC CONTROL COILS	**METHOD OF TEMPERATURE DETERMINATION**	**LIMITS OF OBSERVABLE TEMPERATURE RISE (DEGREE CELSIUS ABOVE 50° C AMBIENT)**			
		CLASSES OF INSULATION			
		A	**B**	**F**	**H**
WIRE-WOUND COILS	THERMOMETER RESISTANCE	55 75	75 95	105 125	130 150
SINGLE-LAYER COILS WITH EXPOSED SURFACE UNISSULATED OF ENAMCLED	THERMOMETER	80			

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Temperature Rise) ของ Coil

(2) คอนแทก (Contacts) อุณหภูมิเพิ่มขึ้นขณะใช้งานของคอนแทรกเมื่อทดสอบตามพิกัดการใช้งาน โดยวิธีการทดสอบแบบ Thermometer Method ไม่ควรเกิน 55 °C สำหรับ Laminated Contacts และ 65 °C สำหรับ Solid Contacts

(3) ส่วนกลไกต่าง ๆ (Mechanical Parts) ส่วนกลไกต่าง ๆ ซึ่งไม่สัมผัสกับฉนวนอุณหภูมิที่เพิ่มขณะใช้งาน อาจสูงได้จนถึงระดับที่จะไม่เกิดอันตรายต่อส่วนกลไกของส่วนอื่น ๆ ได้

(4) สะพานไฟ สายรัดและหัวต่อสาย (Buses, Connecting Straps, Terminals) ส่วนต่าง ๆ ดังกล่าว เมื่อทดสอบที่พิกัดการใช้งานอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นขณะใช้งาน ไม่ควรเกิน 40 $^{\circ}$ C โดยทดสอบแบบ Thermometer Method

(5) ความต้านทาน (Resistors) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นขณะใช้งานเมื่อทดสอบที่พิกัดการทำงานไม่เกิน 365 $^{\circ}$C เมื่อทดสอบโดยใช้ Thermocouple วางสัมผัสกับตัวความต้านทาน หรือไม่เกิน 240 $^{\circ}$C เมื่อทดสอบโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ปรอท วางสัมผัสกับส่วนของโลหะที่ฝังติดแน่นกับความต้านทาน อุณหภูมิเพิ่มของอากาศที่ผ่านออกจากโครงสร้างที่บรรจุความต้านทานไม่ควรเกิน 165°C อนึ่งอุณหภูมิที่กล่าวทั้งหมดวัดโดยการทดสอบแบบ Thermometer Method

<u>หมายเหตุ</u> รายละเอียดของวิธีการทดสอบวัดอุณหภูมิต่าง ๆ ตามที่กล่าวแล้วทั้งสองวิธีคือ Thermometer Method และ Resistance Method คือ

- Thermometer Method เป็นวิธีการวัดอุณหภูมิโดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอทหรือแอลกอฮอล์ หรือโดยการใช้ Thermocouples สัมผัสกับส่วนที่ร้อนที่สุดที่สามารถเข้าถึงได้ของอุปกรณ์ หรือชิ้นส่วนที่ต้องการวัดอุณหภูมิที่ต้องการทราบค่ากับความต้านทาน ขณะที่มีอุณหภูมิที่ทราบค่าแล้ว เช่น อุณหภูมิห้อง

1.16 การวัดค่าความต้านทาน (Insulation-Voltage Test)

ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐานที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทาน สำหรับส่วนประกอบของอุปกรณ์สวิทชิ่งและอุปกรณ์ควบคุมควรมีค่าดังนี้

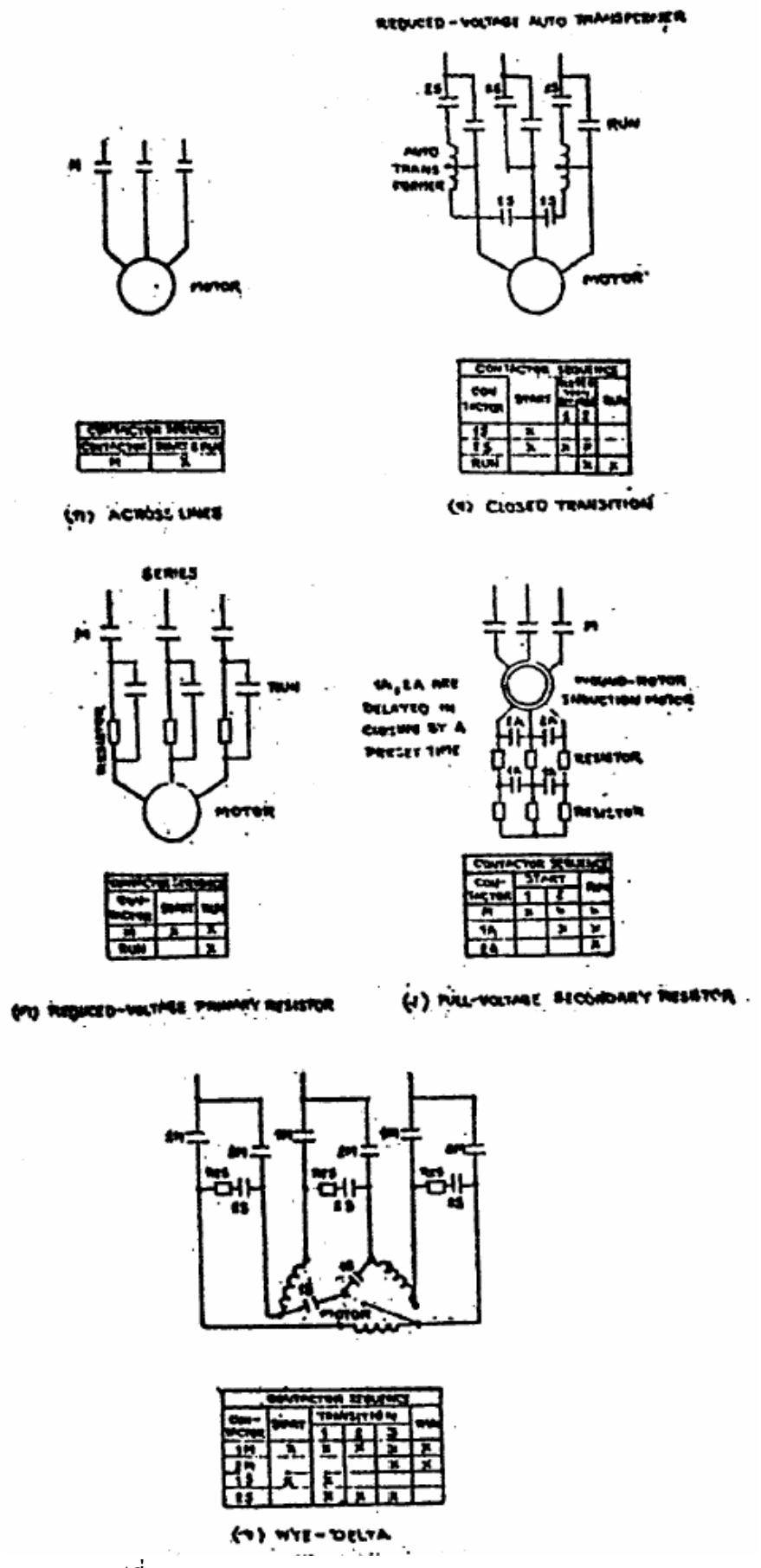
ขนาดพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลท์)	ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ
0 – 600	700 โวลท์ + (2 เท่าของพิกัดแรงเคลื่อน)
601 – 5000	2000 โวลท์ + (2.5 เท่าของพิกัดแรงเคลื่อน)

ขนาดของแรงเคลื่อนทดสอบดังกล่าว ควรจะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าคล่องระหว่างแต่ละวงจรไฟฟ้ากับแผ่นกราวด์ หรือระหว่างแต่ละวงจรไฟฟ้าหลัก (Principle Circuit) กับวงจรไฟฟ้าหลักอื่น ๆ ทั้งหมดและควรระมัดระวังในการเลือกจุดที่จะจ่ายไฟเข้า เมื่ออุปกรณ์ที่ไวต่อการสัมผัส (Sensitive Devices) เช่น สารกึ่งตัวนำ (Semiconductors) ประกอบอยู่ด้วยวงจรที่จะต้องต่อกราวด์ขณะใช้งาน ควรจะปลดกราวด์ออกก่อนการทดสอบ สำหรับลักษณะคุณสมบัติอื่นในการทดสอบ เช่น ขนาดแรงเคลื่อนที่ใช้ทดสอบช่วงระยะเวลาในการทดสอบการลดขนาดของแรงเคลื่อนที่ใช้ทดสอบลงสำหรับส่วนประกอบบางประเภท ฯลฯ ควรจะเป็นไปตามมาตรฐาน ANSI C19.3 – 1973 ข้อ 3 - 5, 10.4 ถึง 3 - 5, 10, 11 Industrial Control Apparatus-General

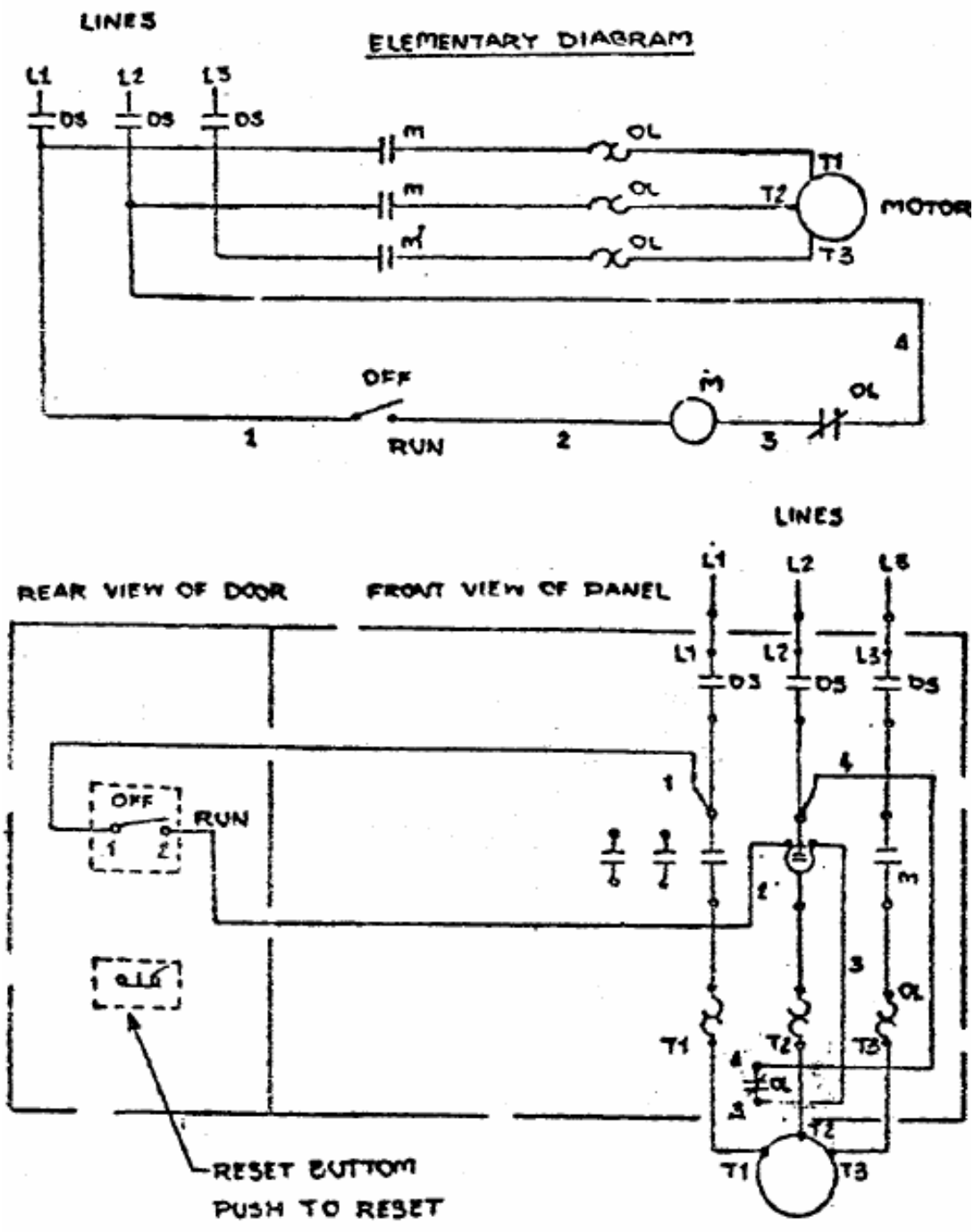
1.17 ข้อกำหนดทั่ว ๆ ไปสำหรับคอนแทรกเตอร์ (General Requirement for Contactors) คอนแทรกเตอร์ควรจะประกอบด้วย Removable Arc-Rupturing Contact และ Magnetic Blowouts หรืออย่างอื่นที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เพื่อทำลายการอาร์ก (Arc) ที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัส ในขณะที่หน้าสัมผัสแยกออกจากกันหน้าสัมผัสของคอนแทรกเตอร์ไม่ควรจะปิดหรือเปิดวงจรอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายในเรือ หน้าสัมผัสสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและไม่ปิดวงจร (Fall Closed) เมื่อเรือเอียงไปแจกแนวดิ่งเป็นมุม 30° เมื่อทำการทดสอบคอนแทรกเตอร์เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะกระทำโดยป้อนไฟฟ้าที่มีขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าใช้งานต่ำที่สุด สำหรับการทำงานอย่างต่อเนื่องเข้าสู่คอนแทรกเตอร์ และรอจนกระทั่งอุณหภูมิของขดลวดคงที่จากนั้นจึงทดสอบการทำงานปิดวงจรของคอนแทรกเตอร์นั้น ๆ ที่ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ใช้งานต่ำสุด

1.17.1 คอนแทรกเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับควรจะทนต่อขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด 110% ของพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อเนื่อง ใช้งานได้โดยไม่มีอันตรายต่อขดลวด และควรจะสามารถปิดวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด 85% ของพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าใช้งาน

1.17.2 คอนแทรกเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควรจะทนต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด 110% ของพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อเนื่อง ใช้งานได้โดยไม่มีอันตรายต่อขดลวด และควรจะสามารถปิดวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด 80% ของพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าใช้งาน เมื่อขดลวดมีอุณหภูมิในระดับสูงที่สุดของอุณหภูมิใช้งาน



รูปที่ 1 Typical Method of Starting A-C Induction Motors



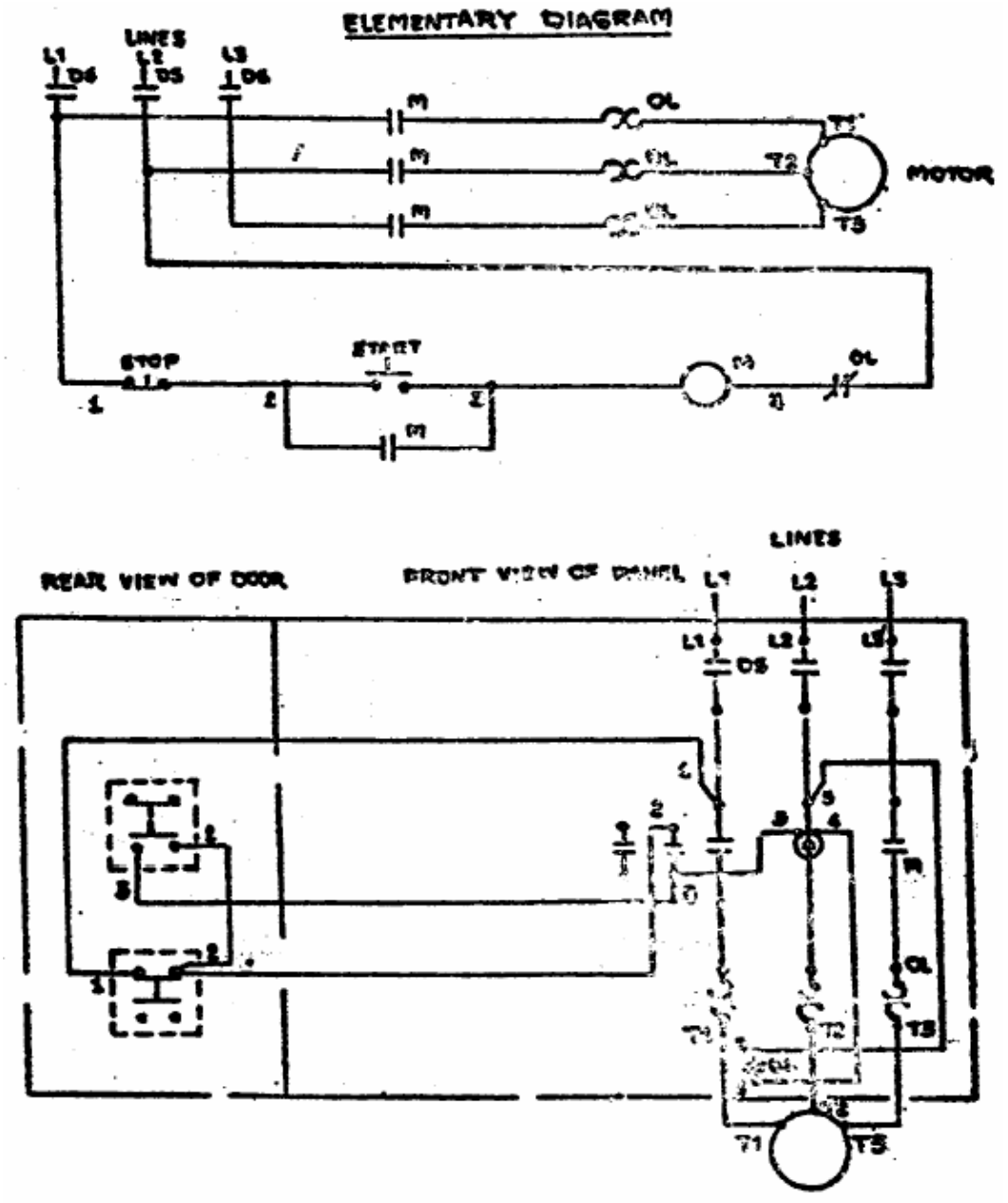
รูปที่ 2 Typical Motor Control Circuit with Low-Voltage Release Feature

หลักการทำงาน

การเริ่มเดินมอเตอร์ โดยปิดสวิทช์เลือกมาที่ตำแหน่ง “RUN” ซึ่งจะทำให้คอนแทรก “M” ต่อวงจรมอเตอร์เข้ากับสายป้อน “L” เมื่อต้องการหยุดเดินมอเตอร์ ปิดสวิทช์เลือกมาที่ตำแหน่ง “OFF”

การป้องกันในกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าในสายป้อนต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัยจะทำให้คอนแทรกเตอร์ “M” เปิดวงจรซึ่งจะเป็นผลให้มอเตอร์ถูกตัดออกจากสายป้อนเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าในสายป้อนกลับสู่สภาพปกติ คอนแทรก “M” จะต่อวงจรทำให้มอเตอร์เริ่มเดินใหม่โดยอัตโนมัติ

การป้องกันในกรณีกระแสเกินพิกัด เมื่อกระแสในสายป้อนที่จ่ายให้มอเตอร์มีขนาดสูงเกินกว่าพิกัดปลอดภัยโอเวอร์โหลดรีเลย์จะเปิดวงจรและส่งผลให้คอนแทรก “M” เป็นวงจรมอเตอร์หยุดเดิน เมื่อต้องการสตาร์ทใหม่ จะต้องกดปุ่มรีเซทเพื่อปรับสภาพของ OL ให้กลับสู่สภาพปกติ มอเตอร์จะเริ่มเดินโดยอัตโนมัติ

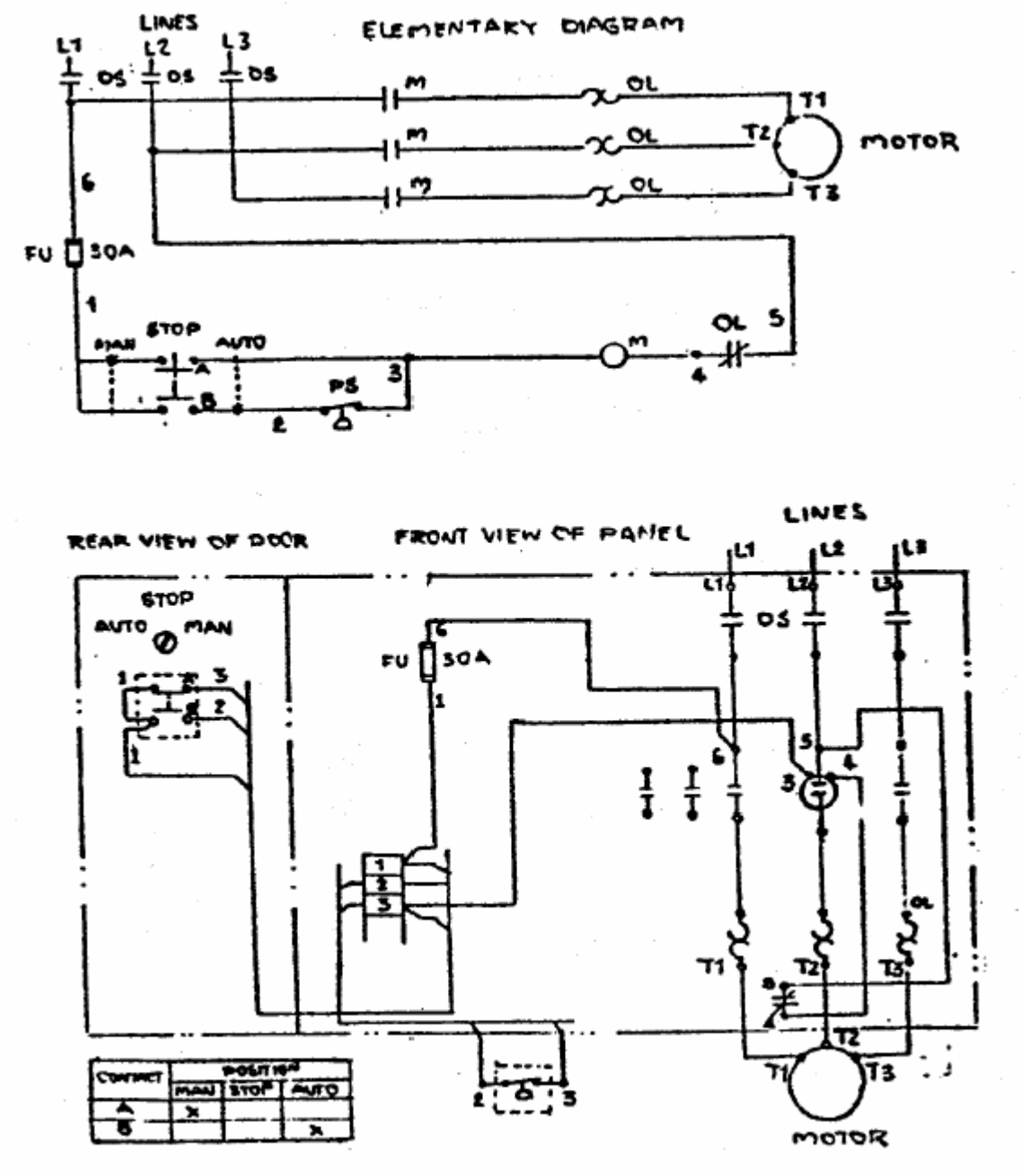


รูปที่ 3 Typical Motor Control Circuit with Low-Voltage Protective Feature

หลักการทำงาน

การเริ่มเดินมอเตอร์โดยการกดปุ่มสตาร์ทจะทำให้คอนแทรก“M”ต่อวงจรมอเตอร์เข้ากับสายป้อน “L” คอนแทรก “M” จะรักษาสภาพการต่อวงจรไว้ โดยวงจรภายในตัวเองในการหยุดมอเตอร์กดปุ่มหยุด (“Stop Button”)

การป้องกันในกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าในสายป้อนต่ำจะทำให้คอนแทรก “M” เปิดวงจรสตาร์ท มอเตอร์หยุดเดิน การเริ่มเดินหลังจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับสู่สภาพปกติแล้ว โดยการกดปุ่มสตาร์ทการป้องกันในกรณีกระแสเกิดพิกัด เมื่อมีกระแสเกิดพิกัดใหม่ผ่านสายป้อนเข้าสู่มอเตอร์จะทำให้โอเวอร์โหลดรีเลย์ OL ส่งอาการไปเปิดหน้าสัมผัสของคอนแทรก “M” ทำให้มอเตอร์หยุดเดิน ในการเริ่มเดินกดปุ่มรีเลย์เพื่อปรับ OL เข้าสู่สภาวะปกติ แล้วจึงกดปุ่มสตาร์ท



รูปที่ 4 Typical Elementary and Wiring Diagram For a Potable Water Pump Application

หลักการทำงาน

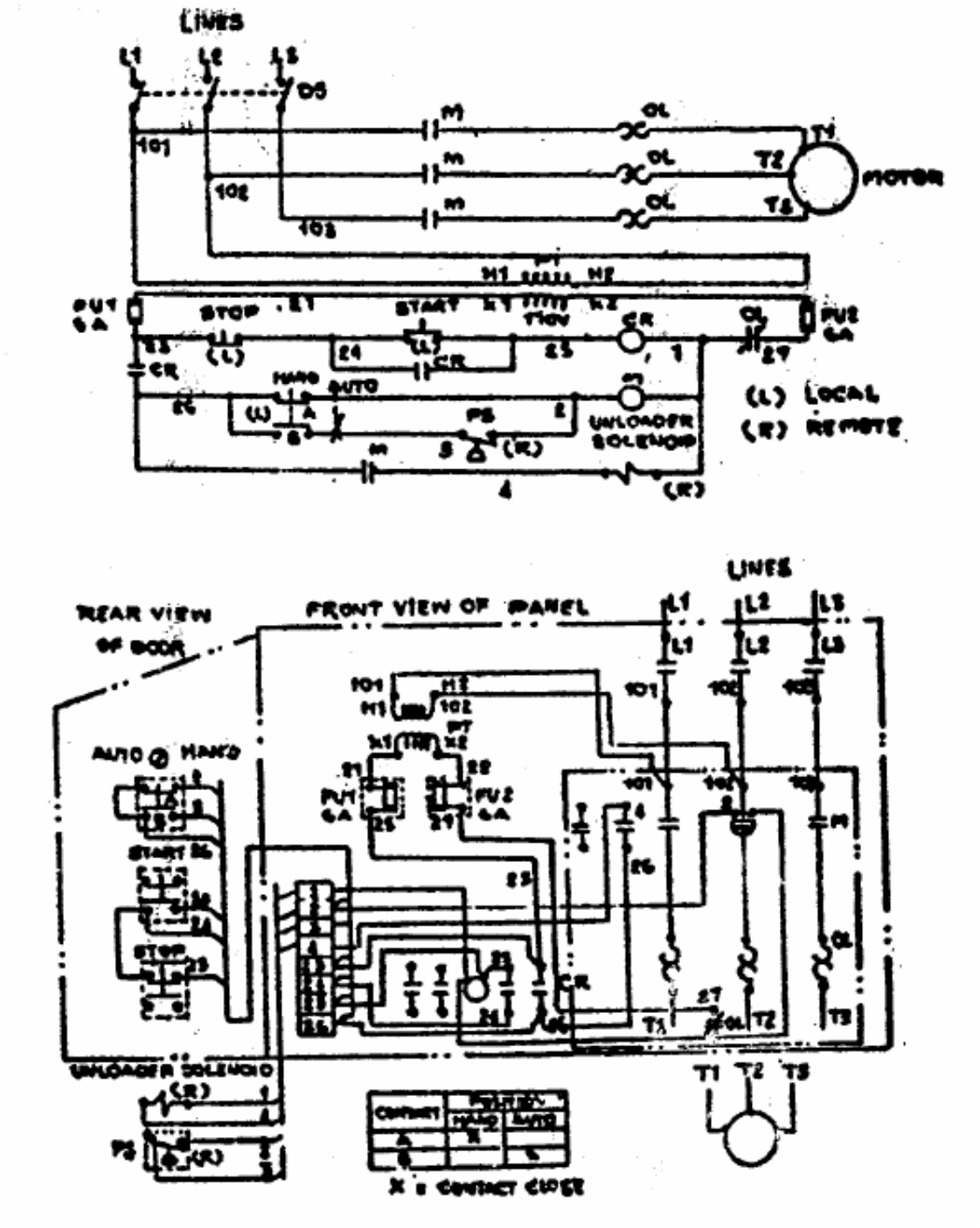
(1) การทำงานแบบไม่อัตโนมัติ หมุนสวิทช์เลือกไปที่ “MAN” จะทำให้คอนแทรก A ต่อวงจรทำให้คอนแทรก M ต่อวงจรมอเตอร์เข้ากับสายป้อน มอเตอร์จะเดินอยู่จนกว่าจะหมุนสวิทช์เลือกมาที่ “STOP”

(2) การทำงานแบบอัตโนมัติ โดยใช้สวิทช์กำลังดัน “PS” เป็นตัวควบคุมการต่อแบบอัตโนมัติ หมุนสวิทช์เลือกมาที่ “AUTO” คอนแทรก “M” จะต่อวงจร มอเตอร์จะทำงานเมื่อ “PS” ปิดวงจร และจะหยุดเมื่อ “PS” เปิดวงจร การทำงานของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับการเปิด-ปิดวงจรของ “PS”

(3) การป้องกันเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำในกรณีที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดคอนแทรก “M” จะเปิดวงจรจากสายป้อนมอเตอร์จะหยุดเดิน เมื่อแรงเคลื่อนกลับสู่สภาพปกติ คอนแทรก “M” จะต่อวงจรและมอเตอร์จะเริ่มเดินใหม่

(4) การป้องกันกรณีกระแสเกินพิกัด เมื่อเกิดกระแสเกิดพิกัด “OL” จะเปิดวงจรทำให้คอนแทรก “M” เปิดวงจร มอเตอร์หยุดเดิน การเริ่มเดินใหม่ โดยการรีเซท “OL”

(5) สามารถหยุดมอเตอร์ได้ทุกเวลา โดยหมุนสวิทช์เลือกมาที่ “STOP”



รูปที่ 5 Typical Elementary and Wiring Diagrams for a Compressor Application

หลักการทำงาน

(ก) เลือกการทำงานแบบไม่อัตโนมัติ (Manual) เริ่มเดินโดยกดปุ่ม “START” จะเปิดวงจรให้กระแสไหลเข้าสู่คอนโทรลรีเลย์ “CR” ซึ่งเป็นรีเลย์แบบรักษาสภาพการทำงานของตัวเอง จะถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนแปลงโดยการควบคุมเมื่อมีกระแสไหลผ่านหน้าสัมผัสของ “CR” จะปิดกระแสจะไหลเข้าสู่คอนแทรก “M” หน้าสัมผัสของคอนแทรก “M” จะปิดวงจรต่อมอเตอร์เข้ากับสายป้อน “L” และทำให้ Unloaded Solenoid ทำงาน การหยุดโดยการกดปุ่ม “STOP” ซึ่งจะตัด “CF” , “L” และมอเตอร์ออกจากสายป้อน “L”

(ข) เลือกการทำงานแบบอัตโนมัติ (Auto) เมื่อปิดปุ่มเลือกมาที่ “AUTO” สวิทช์กำลังดันชนิดปกติเปิด (PS) เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมเริ่มเดินโดยการกดปุ่ม “START” จะทำให้ “CR” ปิดวงจรเมื่อ “PS” ปิดวงจรจะทำให้ “M” ปิดวงจร ต่อมอเตอร์เข้ากับสายป้อน “L” เมื่อ “PS” เปิดวงจรจะทำให้ “M” เปิดวงจรและตัดมอเตอร์ออกจากสายป้อน “L” เมื่อต้องการหยุด กดปุ่ม “STOP”

ในกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ คอนแทรกทุกตัวจะเปิดวงจรตัดมอเตอร์ออกจากสายป้อน การเริ่มเดินใหม่ ต้องกดปุ่ม “START” ใหม่ ในกรณีกระแสเกินพิกัด “OL” จะตัดวงจรมอเตอร์ออกจากสายป้อนเริ่มเดินใหม่ โดยการกดปุ่ม “RESET” ปรับ “OL” เข้าสู่สภาวะปกติ แล้วจึงกดปุ่ม “START”

2. เบรก (BRAKES)

2.1 เบรคไฟฟ้าที่ใช้ในเรืออาจเป็นชนิด Shoe Band หรือ Disk ก็ได้ โดยแต่ละชนิดจะทำงานโดยใช้แรงกดของสปริงในการจับยึด เพื่อหยุดอาการหมุนและปล่อยโดยการควบคุมของอุปกรณ์ที่ใช้คุณสมบัติทางแม่เหล็กในการทำงาน โดยทั่ว ๆ ไป เมื่อมีกระแสป้อนเข้าสู่มอเตอร์จะมีกระแสส่วนหนึ่งผ่านทางคอนแทรกเตอร์เข้าสู่โซลินอยด์ เพื่อควบคุมให้เบรคปลด และเมื่อไม่มีกระแสป้อนเข้าสู่มอเตอร์ ก็จะไม่มีกระแสป้อนเข้าสู่โซลินอยด์ดังกล่าวด้วย เป็นผลให้สปริงกดเบรกเพื่อหยุดอาการหมุนของเพลา

เบรกที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องเป็นชนิดที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความถี่เหมือนมอเตอร์ที่เบรคนั้นติดตั้งใช้งาน เบรคที่ใช้กระแสตรงจะต้องเป็นชนิดที่ใช้ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับมอเตอร์ที่เบรกนั้นติดตั้งใช้งาน โดยลักษณะการพันขดลวดของเบรกไฟฟ้ากระแสตรงนั้นอาจเป็นแบบ Series หรือ Shunt สำหรับเบรคแบบ Series-Wound จะต้องถูกออกแบบให้ปลดออก (Release Down) เมื่อกระแสมีขนาดอย่างน้อย 40% ของขนาดกระแสเมื่อทำงานเต็มที่ และในทุก ๆ กรณี สำหรับขนาดกระแสเริ่มเดิน และจับ (Set) เมื่อขนาดกระแสไม่มากกว่า 90% ของขนาดพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ขณะขดลวดมีอุณหภูมิใช้งานสูงที่สุด และควรมีโครงสร้างหรือการป้องกัน ไม่ให้เกิดอันตรายขึ้นกับขดลวดเนื่องจาก Inductive Discharge ขดลวด Shunt ควรมีความต้านทานภายนอกต่ออนุกรม และมี Discharge Resistance

ขดลวดของเบรกที่ใช้งานรวมกับมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานเป็นช่วง ควรจะไม่เกิดความร้อนสูงจนเกิดความเสียหาย (OVERHEAT) เมื่อทำงานในลักษณะการทำงานตามปกติของมอเตอร์ขดลวดสำหรับเบรกที่ต้องทำงานในลักษณะต่อเนื่อง ควรจะสามารถทำงานอย่างต่อเนื่องได้ที่พิกัดแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้า โดยปกติถ้าไม่กำหนดเป็นกรณีพิเศษ เบรคควรจะมีพิกัดแรงบิด (TORQUE RATING) เท่ากับพิกัดแรงบิดของมอเตอร์ที่เบรคนั้น ๆ ติดตั้งอยู่ด้วย

2.1.1 Disk Brake อาจเป็นชนิดที่ทำงานโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ หรือไฟฟ้ากระแสตรง โดยปกติจะติดกับหน้าของมอเตอร์แบรคเกต (Fronted Bracket) และไม่จำเป็นต้องมีแท่นรองรับพิเศษ เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ในการติดตั้ง จะเป็นการประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้งเบรกแบบ Disk

2.1.2 Shoe Brake โดยปกติจะเป็นแบบที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง ในการติดตั้งจำเป็นต้องมีฐานแท่นและต้องการปรับฐานแท่น เพื่อให้ได้ศูนย์กับมอเตอร์ที่เบรกนั้นทำงานด้วย นอกจากนั้นจำเป็นจะต้องสามารถถอด อาร์เมเจอร์และล้อเบรค (Brake Wheel) ออกมาได้ โดยไม่จำเป็นต้องถอดตัวแม่เหล็กและโครงใส่แม่เหล็ก ฐานเบรค หรือไม่ทำให้ศูนย์ของเบรกขยับจากตำแหน่งที่ตั้งไว้แล้ว

2.1.3 โครงสร้าง (Enclosures) อุปกรณ์ประกอบของเบรกทั้งส่วนที่เป็นไฟฟ้า และส่วนกลไกต่าง ๆ เช่น Wheel, Shoe เป็นต้น ควรจะบรรจุอยู่ในโครงสร้างดังต่อไปนี้

(1) Open Type มอเตอร์ที่ทำงานเป็นเบรกและขดลวด อาจบรรจุในโครงสร้างแบบ Drip-Proof หรือ Waterproof สำหรับขดลวดของเบรกที่บรรจุในโครงสร้างแบบ Waterproof ถ้ามีช่องระบายน้ำแบบที่มีฝาปิด (Drain Plugs) ควรจะมีแผ่นป้ายเขียนเตือนผู้ใช้ให้ระมัดระวังการระบายน้ำออกในขณะที่ยังร้อนอยู่ติดเอาไว้ด้วย และสำหรับตัวโครงผนึกน้ำควรเจาะและติดต่อ (Pipe) หรือท่อผนึกน้ำ (Stuffing Tube) และส่วนกลไกทางกลควรมีวัสดุครอบ เพื่อความปลอดภัยและป้องกันอันตรายต่ออุปกรณ์และผู้ปฏิบัติงาน

(2) Drip-Proof Enclosed ตัวเบรกควรมีคลุมปิดด้วยโครงสร้างลักษณะ Drip-Proof

(3) Waterproof Enclosed ทุก ๆ ส่วนของเบรกควรจะบรรจุอยู่ในตัวเรือน (Housing) ที่แข็งแรงแบบผนึกน้ำ อย่างไรก็ตามมอเตอร์ที่ทำงานเป็นเบรกและขดลวดไม่จำเป็นต้องเป็นชนิดผนึกน้ำ

2.1.4 แผ่นป้ายอุปกรณ์สำหรับเบรค (Nameplates) บนตัวเบรกควรมีแผ่นป้ายอุปกรณ์ติดอยู่ โดยบนแผ่นป้ายนั้นควรมีรายละเอียดระบุอยู่ดังต่อไปนี้

(1) เบรคไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Brake)

(ก) ชื่อของอุปกรณ์ Name of Apparatus

(ข) ชื่อบริษัทผู้ผลิต Name of Manufacturer

(ค) ชนิด Type

(ง) ขนาดโครง Frame

(จ) แรงเคลื่อนไฟฟ้า Voltage

(ฉ) ทางหมุนของอาร์เมเจอร์ Armature Travel

(ช) ขนาดแรงบิด Torque

(ซ) ขนาดแรงกดสปริง Spring Compression

(ญ) พิกัด (เวลา) Time Rating

(ฎ) หมายเลขอุปกรณ์ Serial Number

(ฏ) หมายเลขเฉพาะของขดลวด Coil Specification Number

(ฐ) ขนาดกระแสกระโชก Inrush Current

(ฌ) ความถี่ Frequency

(ด) จำนวนเฟส Number of Phases

(2) เบรคไฟฟ้ากระแสตรง (DC Brake) รายละเอียดเหมือนกับเบรกไฟฟ้ากระแสสลับในข้อ 1 – 10 และเพิ่มเติมดังนี้

(ก) พลัส Plus

(ข) ขนาดกระแสสูงสุดต่อเนื่อง Maximum Continuous Current

(ค) ลักษณะการพัน Series or Shunt

การทดสอบเบรค (Tests) เบรคควรจะได้รับการทดสอบจากโรงงานผู้ผลิตเพื่อให้แน่ใจว่าเบรกดังกล่าวมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ ในกรณีที่ผลิตเบรกลักษณะเดียวกันมาก ๆ อาจทดสอบเท่าที่จำเป็น และมีการทดสอบการทำงานเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องตามความต้องการ ขดลวดอะไหล่ควรจะผ่านการทดสอบ High-Potential Test ตามปกติโดยอะไหล่ส่วนอื่นๆ อาจไม่ต้องทำการทดสอบการทดสอบ การทดสอบการผนึกน้ำของเบรค ควรจะทำในลักษณะเดียวกับมอเตอร์ ซึ่งเบรกนั้นประกอบติดตั้งอยู่ ในส่วนของอุณหภูมิ และความต้านทานของฉนวน ดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้ว

3. คลัตช์แม่เหล็ก (Magnetic Friction Clutches)

คลัตช์แม่เหล็ก ควรจะเป็นชนิดที่ใช้ไฟฟ้าขนาดแรงเคลื่อนเท่ากับมอเตอร์ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งคลัตช์นั้นใช้งานร่วมด้วย โดยทั่ว ๆ ไปคลัตช์แม่เหล็กประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่บรรจุขดลวดแม่เหล็ก (Magnetic Winding) และส่วนจานเหล็ก (Steel Disk) หรือแผ่นความฝืด (Face Plate) ซึ่งจะประกอบเป็นอาร์เมเจอร์ของแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดคลัตช์จะทำงานและจะปลดเมื่อเปิดวงจร เมื่อคลัตช์ปลด ส่วนทั้งสองจะแยกออกจากกันโดยแรงกดของแผ่นสปริง (Spring Plate) หรือขดสปริง (Spring) ระหว่างของทั้งสองแผ่น ควรมีระยะไม่ทำให้เกิดการขัดอาการหมุน (Positive Running Clearance) คลัตช์แบบธรรมดาทั่ว ๆ ไป จะทำงานโดยใช้การทำงานของแม่เหล็กโดยตรงในการดึง เพื่อให้เกิดแรงกดระหว่างหน้าสัมผัสความฝืดระหว่างแม่เหล็กและอาร์เมเจอร์การ

ประกบกันของส่วนทั้งสองของคลัตช์ควรจะเป็นไปในลักษณะเพิ่มความฝืดขึ้นเรื่อย ๆ แบบสม่ำเสมอ จนกระทั่งถึงขนาดความฝืดที่ต้องการ สำหรับการหมุนตามของตัวถูกขับกับตัวขับโดยไม่มีอาการลื่น โดยแรงกดดังกล่าวควรจะเกิดขึ้นระหว่างส่วนทั้งสองของคลัตช์เท่านั้น โดยไม่มีแรงกดถ่ายเทไปยังส่วนอื่นๆ (No one Thrust) คลัตช์แม่เหล็กควรจะอยู่ในลักษณะสมดุลที่ความเร็วทำงาน

แผ่นความฝืด (Friction Lining) และขดลวดแม่เหล็ก (Magnet Coil) ควรจะเข้าถึงได้ (ประกอบเข้าหรือถอดออก) โดยไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับเพลาของตัวขับและตัวถูกขับ หน้าสัมผัสความฝืดควรได้รับการปรับแต่งให้เหมาะสมกับลักษณะการทำงาน ส่วนประกอบเล็ก ๆ ของคลัตช์ควรเป็นวัสดุที่สามารถป้องกันการผุกร่อน Collector Wings สำหรับรับกระแสไฟเข้าคลัตช์ควรจะเป็นโลหะที่ไม่ผุกร่อน (Non-Corrodible Material) และแปรงถ่านควรเป็นแบบ Double Brush Contact เพื่อความมั่นใจในการใช้งาน

การทดสอบ (Tests) คลัตช์ควรได้รับการทดสอบจากโรงงานผู้ผลิตเกี่ยวกับความสมดุล (Balance) อุณหภูมิเพิ่มขณะใช้งานและความต้านทานของฉนวนเช่นเดียวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันตามที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนั้นจะต้องทดสอบว่าคลัตช์สามารถใช้งานในพิกัดแรงบิดที่ต้องการภายใต้สภาวะการทำงานปกติได้โดยไม่มีอาการลื่น (Slipping)

แผ่นป้ายอุปกรณ์สำหรับคลัตช์ (Nameplates) ควรมีข้อมูลรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ชื่อของอุปกรณ์	Name of Apparatus
(2) ชื่อบริษัทผู้ผลิต	Name of Manufacturer
(3) ชนิด	Type
(4) ขนาดแรงดันไฟฟ้า	Voltage
(5) ขนาดกระแสต่อเนื่องสูงสุด	Maximum Continuous Current
(6) แรงบิด	Torque
(7) หมายเลขอุปกรณ์	Serial Number
(8) รอบต่อนาที	Normal Revolutions Per Minute

4. ทรานสฟอร์เมอร์ (TRANSFORMERS)

ทรานสฟอร์เมอร์ คือ อุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดซึ่งไม่สามารถทำงานโดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักของเรือผลิตออกมา ทราบฟอร์เมอร์ที่ใช้งานในเรือ ควรเป็นแบบแห้ง (Dry Type) ระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการหมุนเวียนของอากาศตามธรรมชาติ แต่ในกรณีมีข้อจำกัดในเรือ ขนาดกำลังผลิต (Capacity) ขนาดสถานที่ติดตั้ง (Space) หรือข้อจำกัดอย่างอื่น ทรานสฟอร์เมอร์ที่ใช้อาจเป็นแบบจมอยู่ในของเหลวที่ไม่ติดไฟเพื่อระบายความร้อนด้วยตนเอง(Immersed-Self-Cooled Type) หรือแบบอื่นที่เหมาะสมสำหรับทรานสฟอร์เมอร์

แบบจมอยู่ในของเหลวจะต้องสามารถทำงานได้ เมื่อเรือเอียงไปจากแนวดิ่งถึง 30 องศา โดยไม่มีการรั่วไหลของของเหลว

ทรานสฟอร์เมอร์ ควรติดตั้งในบริเวณที่แห้ง มีการระบายอากาศที่ดี และหลีกเลี่ยงจากกรณีการรั่วของท่อน้ำ หรือการควบแน่นของความชื้น (Condensation) นอกจากนั้น ควรติดตั้งในบริเวณที่เลี่ยงที่เกิดจากการทำงานของทรานสฟอร์เมอร์จะไม่รบกวนเข้าไปถึงห้องพักอาศัย สำหรับทรานสฟอร์เมอร์ที่มีน้ำหนักมากกว่า 100 ปอนด์ ควรติดตั้งอุปกรณ์สำหรับยก เช่น Lifting Lug หรือ Eye Bolts เป็นต้น

ทรานสฟอร์เมอร์ ควรเป็นแบบสามเฟส (Three-Phase Type) หรือ หนึ่งเฟส (Single-Phase) ซึ่งเหมาะสมที่จะต่อใช้งานในลักษณะชุดทรานสฟอร์เมอร์สามเฟส (Three-Phase Band) ทรานสฟอร์เมอร์สำหรับระบบจ่ายไฟ (Distribution Transformers) และทรานสฟอร์เมอร์ในวงจรควบคุม (Control Transformer) ทุกตัว ควรจะเป็นแบบที่ขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิแยกกัน ทรานสฟอร์เมอร์อัตโนมัติ (Auto Transformers) ควรจะใช้เฉพาะการลดแรงดันไฟฟ้าสำหรับการเริ่มเดินมอเตอร์หรือการใช้งานพิเศษอื่นๆ ที่เหมาะสมเท่านั้น

ลักษณะโครงสร้างของทรานสฟอร์เมอร์ทั้งหมดที่ใช้ในเรือควรเป็นชนิดที่มีลักษณะการป้องกันแบบ Drip-Proof

พิกัดขนาดกิโลโวลท์-แอมป์ (KVA) ของทรานสฟอร์เมอร์ ควรจะพิจารณามาจากขนาดของภาระที่ต่อบวกด้วยขนาดที่เผื่อไว้สำหรับวงจรสำรองและการขยายความต้องการกำลังไฟฟ้าในอนาคต อย่างไรก็ตาม ควรจะสอดคล้องกับข้อกำหนดของ ANSI C89.1 – 1974, Special Transformers (Except General-Purpose Type), or IEEE STD. 462-1973 (ANSI C57.12.00-1973) General Requirement for Distribution, Power, and Regulating Transformers นอกจากนั้นจะต้องพยายามจัดวงจรย่อยจากทรานสฟอร์เมอร์เพื่อให้เกิดความสมดุลย์ของโหลดระหว่างเฟสของชุดทรานสฟอร์เมอร์สามเฟส

การพิจารณาเลือกใช้ทรานสฟอร์เมอร์ ควรพิจารณาให้ได้ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สอดคล้องกับขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐานสำหรับระบบต่าง ๆ ในเรือให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น ทรานสฟอร์เมอร์สำหรับระบบไฟแสงสว่างที่ใช้หลอดไฟชนิดที่ใช้ไฟ 120 โวลท์ ควรใช้ทรานสฟอร์เมอร์ซึ่งสามารถาต่อสายเพื่อให้ได้ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายออกที่เหมาะสมกับพิกัดใช้งานของหลอดไฟ คือ ชนิดแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 450 (230) โวลท์ เป็น 120/117 โวลท์

ทรานสฟอร์เมอร์สามารถต่อใช้งานในลักษณะขนาน โดยเลือกทรานสฟอร์เมอร์ที่คุณสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมมาต่อเข้าด้วยกัน แต่โดยปกติการใช้งานลักษณะนี้ไม่มีความจำเป็นสำหรับเรือ

อุณหภูมิเพิ่มขณะใช้งานของทรานสฟอร์เมอร์เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 40°C ไม่ควรเกินขนาดอุณหภูมิที่ให้ไว้ในตารางข้างล่างนอกจากนั้นทรานสฟอร์เมอร์ควรจะถูกออกแบบให้สามารถทำงานเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 50°C โดยอุณหภูมิเพิ่มขณะใช้งานไม่ควรเกินค่าอุณหภูมิที่ให้ใน

ตารางข้างล่าง โดยมีอัตราการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 90°C ของพิกัดขนาดการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าปกติ สำหรับทรานสฟอร์เมอร์ที่ใช้ฉนวน CLASS A และ 90°C สำหรับทรานสฟอร์เมอร์ที่ใช้ฉนวน CLASS B

	COPPER TEMPERATURE RISE BY RESISTANCE DEGREE CELSIUS			HOTTEST SPOT TEMPEERATURE RISE DEGREE CELSIUS		
	INSULATION CLASS			INSULATION CLASS		
PART	A	B	H	A	B	H
INSULATED WINDINGS	55	80	150	65	110	180

ตารางที่ 3 พิกัดอุณหภูมิเพิ่ม (Temperature Rise) ขณะใช้งาน ของทรานสฟอร์เมอร์

<u>หมายเหตุ</u> ชิ้นส่วนโลหะที่ติดกับหรืออยู่บริเวณใกล้ ๆ ฉนวนควรจะมีอุณหภูมิไม่สูงเกินกว่าค่าอุณหภูมิสูงสุด (Hottest Spot) ที่ให้ไว้สำหรับอุณหภูมิของทองแดงที่อยู่ติดกับฉนวนดังกล่าว

ทรานสฟอร์เมอร์ที่ใช้งานในเรือควรจะได้รับการทดสอบ เพื่อให้แน่ใจว่ามีคุณสมบัติถูกต้องตามข้อแนะนำที่กล่าวมาแล้วและสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามพิกัดที่ระบุไว้ ในกรณีที่ทรานสฟอร์เมอร์ดังกล่าว ถูกสร้างขึ้นในลักษณะเดียวกันกับทรานสฟอร์เมอร์ที่เคยได้รับการทดสอบมาแล้ว ควรจะมีการทดสอบเท่าที่จำเป็น และควรมีการทดลองเพื่อทดสอบการทำงาน สำหรับการทดสอบควรให้สอดคล้องกับข้อกำหนดที่ระบุไว้ตาม ANSI C57. 12-1973 SERIES OR ANSI C89.1-1974, Specialty Transformers (Except General-Purpose Type)

การทดสอบความต้านทานของฉนวน (Dielectric Tests) ของทรานสฟอร์เมอร์แบบ General-Purpose Specialty ชนิด Dry Type ซึ่งมีพิกัด 600 โวลต์ หรือต่ำกว่า ควรดำเนินการตามระบุใน ANSI C89.1-1974 สำหรับทรานสฟอร์เมอร์แบบอื่น ๆ ตามระบุใน ANSI C57.12-1973

หัวต่อสาย (Terminals) และการต่อสาย (Connections) ทรานสฟอร์เมอร์ควรจะมีพื้นที่ภายในโครงสร้างที่เพียงพอ และเหมาะสมสำหรับการต่อสายเข้ากับขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิโดยหัวต่อสายดังกล่าว ควรอยู่ในบริเวณที่สามารถเข้าถึงเพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาได้สะดวก ทรานสฟอร์เมอร์ชนิด Single-Phase ควรจะใช้สายเคเบิลชนิด Single-Conductor ในการต่อ เพื่อประกอบเป็นชุด ทรานสฟอร์เมอร์แบบ Three-Phase Bank โดยไม่เกิดผลกระทบจาก Inductive Effect การมาร์คหัวต่อสายสำหรับทรานสฟอร์เมอร์ ควรเป็นไปตามข้อกำหนด ANSI C57.12.70-1964 (R 1971), Terminal Markings and Connections for Distribution and Power Transformers.

ทรานสฟอร์เมอร์ควรจะติดแผ่นป้ายไดอะแกรมแสดงสาย และการต่อหัวสายภายในของทรานสฟอร์เมอร์และมาร์คต่าง ๆ ตลอดจนค่าขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จะได้จากทรานสฟอร์เมอร์นั้น ๆ ในลักษณะการต่อหัวสายต่าง ๆ

แผ่นป้ายอุปกรณ์สำหรับทรานสฟอร์เมอร์ (Nameplated) ควรจะมีข้อมูลอย่างน้อยดังต่อไปนี้

(1) หมายเลขอุปกรณ์	Serial Number or Catalog Number
(2) ชนิด	Type or Form
(3) จำนวนเฟส (ยกเว้นชนิด 1 เฟส)	Number of Phases (Except Single-Phase)
(4) พิกัดกำลัง	kVA Rating
(5) พิกัดแรงเคลื่อนเมื่อไม่มีโหลด	No-Load Voltage Rating
(6) ความถี่	Frequency
(7) อุณหภูมิเพิ่มขณะใช้งาน	Temperature Rise
(8) เปอร์เซ็นอิมพิแดนซ์	Percent Impedance

5. มอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ (MOTOR GENERATORS)

5.1 มอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต้องการขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความถี่พิเศษ แตกต่างจากขนาดซึ่งผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักของเรือ เช่น ขนาด 115V 550 Hz ที่ใช้กับระบบอาวุธต่าง ๆ เป็นต้น โดยทั่ว ๆ ไปการใช้งานที่สำคัญของมอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ในเรือเพื่อ

5.1.1 ผลิตกำลังไฟฟ้า กระแสตรงให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งติดตั้งในเรือซึ่งไฟฟ้ากระแสสลับเป็นระบบไฟฟ้าหลักในเรือ

5.1.2 ผลิตกำลังไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดฉุกเฉินชั่วคราว เช่น ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง มอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ จะได้รับไฟฟ้าป้อนจากแบตเตอรี่ฉุกเฉิน เพื่อขับมอเตอร์แล้วผลิตไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับโหลดที่มีความจำเป็นยิ่งต่อชีวิตในเรือ จนกว่าเครื่องไฟฟ้าฉุกเฉินจะเริ่มเดิน และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดฉุกเฉินได้ทั้งหมด

6. เร็คติไฟเออร์ (RECTIFIERS)

6.1 เร็คติไฟเออร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง การใช้งานที่สำคัญโดยทั่ว ๆ ไป ของเร็คติไฟเออร์ คือ

6.1.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการไฟฟ้ากระแสตรง

6.1.2 เครื่องประจุไฟแบตเตอรี่

6.1.3 Fire-Screen Doors

บทที่ 7
อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง
(LIGHTING FIXTURES AND APPLIANCES)

1. ลักษณะโดยทั่วไปของดวงโคม (FIXTURES) และเครื่องใช้ไฟฟ้า (APPLIANCES)

ลักษณะโดยทั่วไปของดวงโคม (FIXTURES) และเครื่องใช้ไฟฟ้า (APPLIANCES) ที่ใช้ในเรือจะต้องเป็นชนิดที่ถูกออกแบบและสร้างเป็นพิเศษ มีคุณลักษณะสอดคล้องกับข้อกำหนดต่างๆ สำหรับการติดตั้งใช้งานในเรือ โดยปกติจะต้องสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือนปกติที่เกิดขึ้นภายในเรือ นอกจากนั้นโครงสร้างที่บรรจุ (Enclosures) จะต้องมีลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในบริเวณที่อุปกรณ์นั้นๆ ติดตั้งอยู่โดยปกติจะสร้างจากวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานการผุกร่อน และอุปกรณ์ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยจะต้องสามารถต้านทาการผุกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันคุณสมบัติดังกล่าวไม่ให้เสื่อมเร็วกว่าปกติ ส่วนประกอบตกแต่งสำหรับอุปกรณ์ต่างๆที่จัดขึ้นเงาหรือชุบ จะต้องถูกเคลือบเพื่อป้องกันจากไอน้ำเค็ม สารป้องกันที่ใช้ในการเคลือบเช่น แลกเกอร์ เป็นต้น

ในการเลือกใช้หลอดไฟจะต้องพิจารณาถึงการรบกวนที่อาจเกิดกับเครื่องวิทยุ (Radio Interference) ซึ่งอาจเกิดจากหลอดไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดไฟชนิด High-Intensity Electric-Discharge

ดวงโคมทั้งหมดที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดย Underwriters Laboratories Inc., Publication UL595, Marine Type Electric Lighting Fixtures สำหรับดวงโคมที่ไม่มีกำหนดไว้ในข้อกำหนดดังกล่าว จะต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่า และควรจะต้องมีหนังสือรับรองจากบริษัทผู้ผลิตถึงความเทียบเท่า

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างในเรือ จะต้องออกแบบให้มีความสว่างเพียงพอสำหรับบริเวณต่างๆ ภายในเรือ โดยค่าความสว่างต่ำสุด (Minimum Illumination) จะต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่ระบุไว้ตามข้อกำหนด Recommended Practice for Marine Lighting, Published by the Illuminating Engineering Society หรือมาตรฐานอื่นๆ ที่เทียบเท่าหรือดีกว่า

2. ชนิดของดวงโคม (TYPE OF FIXTURES)

ชนิดของดวงโคม (TYPE OF FIXTURES) ชนิดของดวงโคมอาจแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆ ตามชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้และตามลักษณะการใช้งาน

2.1 ชนิดของดวงโคมแบ่งตามชนิดของหลอดไฟฟ้า

2.1.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดไฟฟ้าที่มีข้อได้เปรียบหลายอย่าง เช่น ประสิทธิผลสูงในการส่องสว่าง (High Luminous Efficacy) มากกว่าหลอดชนิดไส้ ความร้อนที่เกิดขณะใช้งาน (Heat Generation) ต่ำกว่าหลอดชนิดไส้สามารถให้สีของแสง (Color Rendition) เหมือนๆ กับหลอดชนิดไส้ และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดชนิดไส้ ทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าแทนที่การใช้งานของหลอดชนิดไส้ในเรือต่างๆ โดยเฉพาะในบริเวณที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ อย่างไรก็ตาม ถ้าติดตั้งในห้องที่ติดตั้งเครื่องจักรกลชนิดหมุนจะต้องพิจารณาถึงการป้องกันผลกระทบจาก Stroboscopic Effect

2.1.2 หลอดไฟชนิดไส้ (Incandescent Lamp) เป็นหลอดไฟฟ้าที่กะทัดรัดและเป็นต้นกำเนิดแสงที่ใช้ความสว่างมากๆ โดยมีโครงสร้างลักษณะง่ายและเล็ก จากข้อดีดังกล่าวทำให้หลอดไฟฟ้าชนิดไส้เหมาะสำหรับให้ความสว่างเป็นจุดหรือส่วนปลีกย่อยต่างๆ หลอดไฟฟ้าชนิดไส้สามารถใช้งานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ นอกจากนี้คุณสมบัติของหลอดยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (Ambient Air Temperature) ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้ให้ความสว่างในบริเวณที่ร้อนหรือเย็นจัดๆ เช่น ในห้องเย็น เกจสำหรับหม้อน้ำ เป็นต้น โดยปกติจะมีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในบริเวณที่ต้องการความสว่างน้อยๆ เช่น ห้องเก็บของเล็กและหลอดไฟฟ้าแสดงสถานะการทำงานต่างๆ เป็นต้น

2.1.3 High-Intensity Electric-Discharge Lamp โดยปกติจะเป็นหลอดชนิดเบ็ดเสร็จ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างมากๆ (High Brightness Sources) มีประสิทธิผลในการส่องสว่างมากกว่า และมีอายุใช้งานยาวนานกว่าหลอดไฟฟ้าชนิดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนั้นยังมีสีของแสงที่เหมาะสมกับการใช้งานในบริเวณทำงานต่างๆ เช่น ระวางบรรทุกสินค้า ดาดฟ้า และห้องเครื่องจักร เป็นต้น แต่ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในห้องพักอาศัยเนื่องจากการให้สีที่ไม่ดีพอ (Poor Color Rendition) เนื่องจากอายุการใช้งานที่ยาวนานซึ่งอาจจะนานกว่า 24,000 ชม. ทำให้เป็นหลอดไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในที่สูงๆ บนเสากระโดงเรือหรือในบริเวณที่อื่นๆ ที่ยากต่อการเข้าถึง อย่างไรก็ตาม หลอดไฟฟ้าชนิดนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถให้ความสว่างได้ทันทีหลังจากที่ดับไปแล้ว ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับบริเวณที่ต้องการแสงสว่างในทันทีหลังจากที่ไฟดับ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่เป็นอันตราย คือ สารที่ให้ความสว่างเป็นปรอทหรือโซเดียม เมื่อมีการระเหยของปรอทจะทำให้เกิดการกัดกร่อนต่ออลูมิเนียม และไอระเหยของโซเดียมเมื่อกระทบกับความชื้นจะเกิดการลุกไหม้ อย่างไรก็ตาม หลอดชนิดไอระเหยปรอทก็เป็นหลอดที่ใช้งานอย่างปลอดภัยในเรือ

2.2 ชนิดของดวงโคมแบ่งตามลักษณะการใช้งานโดยปกติจะแบ่งตามสถานที่ติดตั้ง เช่น ไฟเพดาน (Ceiling Lights) ติดตั้งอยู่บนเพดานที่บุฝ้า ไฟดาดฟ้า (Deck Fixtures) ติดตั้งเหนือศีรษะบนเพดานที่ไม่ได้บุฝ้า ไฟผนัง (Bulkhead Fixtures) ไฟในจุดปลีกย่อย (Detail Lights) เช่น ไฟตั้งโต๊ะ ไฟหัวนอน ไฟกระจก เป็นต้น

โดยปกติดวงโคมที่ใช้ในเรือจะบรรจุอยู่ในโครงสร้าง (Enclosure) ดังต่อไปนี้

2.2.1 Watertight สำหรบดวงโคมที่ติดตั้งในพื้นที่ทั้งหมดที่ดวงโคมอาจจะสัมผัสกับน้ำทะเล มีน้ำสาด (Splashing) หรือมีความชื้นสูงมากๆ และบนดาดฟ้าภายนอกตัวเรือ

2.2.2 Drip-Proof สำหรับดวงโคมที่ติดตั้งเหนือศีรษะ ในบริเวณที่ดาดฟ้าเหนือดวงโคมเปียกหรือมีความชื้น อันอาจจะรวมตัวเป็นหยดน้ำตกใส่ดวงโคมได้

2.2.3 Explosion-Proof สำหรับดวงโคมที่ติดตั้งในบริเวณที่การสะสมของแก๊สระเหยเร็ว (Volatile Gas) โดยปกติจะต้องเป็นโครงสร้างที่สามารถป้องกันไม่ให้การระเหยของแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในทำให้เกิดการลุกไหม้ของแก๊สที่ระเหยอยู่ในบริเวณรอบๆ ตัวโคมไฟ

2.2.4 Non-Watertight สำหรับดวงโคมที่ใช้ในบริเวณที่ไม่มีปัญหาเนื่องจากความชื้นและไอระเหยอันตราย

3. ไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณต่างๆ ภายในเรือ

3.1 ไฟฟ้าแสงสว่างในห้องพักผู้โดยสาร (Passenger Stateroom Lighting) การให้ความสว่างในห้องพักผู้โดยสารจะจัดให้เหมาะสมกับการตกแต่งห้อง อาจจะเป็นการให้ความสว่างภายในห้องทั้งหมดโดยตรงหรือจากหลอดไฟอื่นๆ เช่น ไฟหัวนอน (Berth Light) ไฟกระจก (Mirror Light) ไฟโต๊ะ (Table Light) ไฟเขียนหนังสือ (Desk Light) เป็นต้น ส่วนใหญ่จะใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีครอบ (Covers Fluorescent) ซึ่งอาจจะเป็นโคมที่มีระบายหรือหลอดชนิดไส้ที่ส่องลง (Incandescent Down Light)

ไฟหัวนอน จะติดตั้งไว้ที่หัวเตียง แต่ละเตียงซึ่งมีความสว่างเพียงพอสำหรับการอ่านหนังสือแต่ต้องไม่รบกวนถึงเตียงอื่นที่อยู่ในห้องเดียวกัน

ในห้องน้ำโดยปกติจะใช้โคมไฟเพดานหนึ่งดวงหรือมากกว่ากับไฟกระจกหนึ่งดวง หรือมากกว่าซึ่งจัดไว้สำหรับกระจกแต่ละบานในห้องน้ำขนาดเล็ก ซึ่งไฟกระจกให้ความสว่างที่เพียงพอกับความต้องการ โดยทั่วๆ ไปแล้วปลั๊กสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าจะต้องจัดให้มีที่โต๊ะทำงานและในห้องน้ำทุกห้องเพื่อความสะดวกของทหารประจำเรือ

3.2 ไฟฟ้าแสงสว่างในที่พักอาศัยของคนประจำเรือ (Officer and Crew Quarter Lighting) โคมไฟเพดานสำหรับห้องรับประทานอาหาร (Mess Room) ห้องนั่งเล่น (Lounge) ห้องพักผ่อน (Recreation Room) ห้องทำงาน (Offices) และห้องพัก (Stateroom) สำหรับทหารประจำเรือ โดยปกติจะเป็นหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีเล็นกระจายแสง (Fluorescent with Diffusing Lens) ไฟหัวนอน ไฟโต๊ะ ไฟเขียนหนังสือ เป็นแบบที่เหมาะสมกับการตกแต่งภายในห้องและในห้องน้ำ โต๊ะเขียนหนังสือจะต้องติดตั้งปลั๊กสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าและในกรณีที่ต้องใช้พัดลมแขวน (Bracket Fan) ต้องมีปลั๊กสำหรับพัดลมดังกล่าว

สุขาและห้องอาบน้ำ (Toilet and Shower Spaces) มีไฟเพดานและไฟกระจกสำหรับในห้องขนาดเล็กที่แสงสว่างจากไฟกระจกเพียงพอกับความต้องการแล้ว ไม่จำเป็นต้องมีไฟเพดาน

3.3 ไฟฟ้าแสงสว่างช่องทางเดิน (Passage Lighting) ช่องทางเดินที่บุเพดานควรจะติดตั้งโคมไฟแบบฟลูออเรสเซนต์แบบ Cornice โดยเดินสายซ่อนอยู่ในเพดาน สำหรับช่องทางเดินที่ไม่บุเพดาน จะติดตั้งโคมไฟลักษณะเดียวกับผนัง (Bulkhead) ต่ำจากสิ่งกีดขวาง มุมในการส่องสว่างบริเวณตอนกลางของช่องทางเดิน ไฟช่องทางเดินควรติดห่างกันประมาณ 7 ถึง 9 เมตร และติดอยู่ทุกๆ ทางตัดระหว่างช่องทางเดินตามทางยาวและทางขวางของเรือ ในช่องทางเดินจะต้องติดตั้งปลั๊กเสียบสำหรับเครื่องดูดฝุ่นและเครื่องขัดพื้นทุกๆ ระยะ 40 ฟุต

3.4 ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่สาธารณะ (Public Space Lighting)

สำหรับการให้ความสว่างในห้องนั่งเล่นห้องสูบบุหรี่ ห้องรับประทานอาหาร(Dining Saloon) และพื้นที่อื่นๆ ที่คล้ายๆกัน รวมถึงห้องโถง (Foyers) และช่องทางเดินที่ติดต่อกับห้องดังกล่าว การออกแบบจะขึ้นอยู่กับการตกแต่งผนัง แสงสว่างส่วนใหญ่จะมาจากดวงโคมที่ติดตั้งกับส่วนต่างๆ เพื่อจุดประสงค์ในการตกแต่ง ซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับการพิจารณาของนักตกแต่งภายใน อย่างไรก็ตามดวงโคมทั้งหมดจะต้องได้รับการตรวจสอบอย่างรอบคอบจากวิศวกรไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ต่างๆ เหมาะสมกับการใช้งานภายในเรือ

ดวงโคมพิเศษต่างๆ ที่ติดตั้งในพื้นที่ใช้สอยต่างๆ รวมถึงไฟแสงสว่างเขียนหนังสือ ไฟโต๊ะและไฟตั้งพื้น (Floor Lamp) จะต้องเป็นแบบที่มีสวิตช์ในตัว (Built-in Switch)

ไฟสัญลักษณ์ (Illuminated Signs) ต่างๆ ควรจะติดตั้งไว้ในแต่ละดาดฟ้าและลิฟต์ซึ่งทหารประจำเรือจะต้องสัญจรไปมาเพื่อแสดงว่าเป็นพื้นที่ใช้สอยสาธารณะ และควรจะติดตั้งไว้ที่ห้องสุขาทุกแห่ง

ปลั๊กเสียบสำหรับโคมไฟและเครื่องดูดฝุ่นจะต้องติดอยู่บนพื้น (Floor or Baseboard) สักษณะของปลั๊กอาจเป็นแบบ Shallow Type ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยเดินสายซ่อนอยู่ในท่อ (Conduit) ใต้แผ่นยางปูพื้น หรือเป็นแบบที่เดินทะลุพื้นดาดฟ้าขึ้นมาโดยมีสายไฟเดินอยู่ด้านล่าง

3.5 ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่โภชนาการ (Commissary Space Lighting) แสงสว่างสำหรับพื้นที่โภชนาการต่างๆ ควรจะพิจารณาอย่างรอบคอบให้มีความสว่างเพียงพอสำหรับการเตรียมและตรวจสอบอาหาร โดยปกติดวงโคมที่ใช้ในห้องทำอาหาร(Galley) ห้องเตรียมอาหาร(Pantry) และพื้นที่บริการ(Service Area) จะเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Flush-mounted Drip-proof ติดตั้งอยู่บนเพดาน สำหรับความสว่างเหนือเตา(Ranges) เครื่องปิ้ง(Griddles) จะใช้ดวงโคมชนิดไส้หลอดติดตั้งอยู่ใต้เครื่องดูดควัน ดวงโคมเหล่านี้ จะต้องเป็นแบบที่สามารถทนต่อความร้อนที่เกิดจากเตาต่างๆ ได้ ไฟฟ้าแสงสว่างในห้องเย็นควรจะเป็นดวงโคมชนิดไส้หลอดโครงสร้างแบบ Guarded Watertight Deck Fixture โดยควบคุมจากสวิตช์ติดตั้งอยู่ด้านในห้องเย็นใกล้ๆ กับประตู และมีวงจรไฟฟ้าคู่ขนาน

ที่ต่อออกมายังหลอดไฟสีแดงที่ติดตั้งอยู่ภายนอกห้องเย็น หลอดไฟนี้จะติดเมื่อเปิดไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องเย็น

3.6 ไฟฟ้าแสงสว่างในห้องพยาบาล (Hospital Lighting) โดยปกติทั่วๆ ไปไฟฟ้าแสงสว่างในห้องพยาบาลจะติดตั้งเหมือนๆ กับในห้องพักประจำเรือ สำหรับเรือที่มีห้องผ่าตัด (Operating Room) จะต้องติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างพิเศษเป็นแบบ Explosion-proof นอกจากนี้ ความต้องการเพิ่มเติมต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อการติดตั้งที่เหมาะสม ควรจะได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบจาก กอฟ.กผช.อร ร่วมกับกรมแพทย์ทหารเรือ

3.7 ไฟฟ้าแสงสว่างในห้องโรงงาน (Workshop Lighting) ความสว่างภายในห้องโรงงานควรจะเน้นบริเวณเหนือโต๊ะทำงาน (Work Benches) เครื่องจักร และพื้นที่อื่นๆ ซึ่งอาจจะต้องใช้การสังเกตอย่างใกล้ชิดในการทำงาน โคมไฟจะควรจะติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่เกิดเงามือในบริเวณที่ทำงานโดยผู้ทำงาน หรืออุปกรณ์อื่นๆ นอกจากนี้ควรจะติดตั้งโคมไฟชนิดไส้หลอดสำหรับเครื่องมือโรงงานต่างๆ เช่น เครื่องกลึง (Lathe) เครื่องเจาะ (Drill) เป็นต้น สำหรับห้องโรงงานที่มีเครื่องจักรชนิดหมุน (Rotating Machine) ควรจะพิจารณาในการติดตั้งโคมไฟชนิดฟลูออเรสเซนต์โดยจะต้องใช้ไฟจากคนละเฟสกับเครื่องจักรเพื่อป้องกัน Stroboscopic Effect

3.8 ไฟฟ้าแสงสว่างในห้องเครื่องจักร (Machinery Space Lighting) โดยปกติไฟฟ้าแสงสว่างในห้องเครื่องจักรจะใช้โคมไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลายหลอดติดตั้ง (Multi Lamp Fluorescent Deck Fixture) ขนาด 20 หรือ 40 วัตต์ ควบคุมจากแผงจ่ายไฟ (Distribution Panel) ตำแหน่งและระยะห่างในการติดตั้งโดยปกติจะถูกบังคับจากสภาพการติดตั้ง ท่อ ท่อระบายอากาศ หรือสิ่งกีดขวางต่างๆ ในการติดตั้งควรจะติดตั้งให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุมในการกระจายแสงที่ดี แต่จะต้องสะดวกในการเข้าไปบำรุงรักษา และในกรณีที่จะต้องหลีกเลี่ยงจากการเกิดเงามืดต่างๆ อาจจะต้องติดตั้งต่ำกว่าเพดาน อุปกรณ์รองรับ (Support) สำหรับโคมไฟจะต้องออกแบบให้มีความมั่นคงและไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนภายในห้อง ไฟฟ้าแสงสว่างที่จำเป็นสำหรับพื้นที่ใต้ท้องเรือ เกจ กระจกดูการไหลของน้ำมัน (Oil Sight-Flow Glasses) และอุปกรณ์ที่คล้ายๆ กันจะเป็นโคมไฟ 50 วัตต์แบบ Guarded Watertight Fixture ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมในการใช้งาน

แสงสว่างที่ให้กับสวิตช์บอร์ดควรจะออกแบบอย่างรอบคอบ เพื่อให้มีความสว่างเพียงพอสำหรับการอ่านเครื่องมือวัดต่างๆ โดยไม่มีการรบกวนจากการสะท้อนของแสงหรือพร่ามัว ลักษณะที่เหมาะสมสำหรับสวิตช์บอร์ดคือ การใช้ไฟฟลูออเรสเซนต์ติดเป็นแนวยาวตลอด โดยมีกระจกขุ่นครอบปิด (Line of Fluorescent Lamp with Frosted Glass Cover)

ห้องเครื่องจักรช่วยต่างๆ เช่น ห้องหางเสือ ห้องกว้านสมอ เป็นต้น โดยปกติจะใช้โคมชนิดไส้หลอดที่มีการป้องกันและผนึกน้ำได้ (Guarded Watertight Incandescent Fixture) อย่างไรก็ตามอาจจะใช้หลอดไฟแบบฟลูออเรสเซนต์ได้ ถ้ามีผลเสียจากการกระจายความร้อนของหลอดชนิดไส้

ในห้องเครื่องจักรใหญ่และเครื่องจักรช่วยต่างๆ จะต้องติดตั้งปลั๊กเสียบแบบผนึกน้ำหรือปลั๊กเสียบที่มีสวิตช์เปิด-ปิดในตัว สำหรับดวงโคมชนิดเคลื่อนที่ได้ (Portable Light) และเครื่องมือต่างๆ ในห้องเครื่องจักรจะต้องติดตั้งไว้ทุกๆ ระยะ 40 หรือ 50 ฟุต และในห้องขนาดเล็กควรจะติดตั้งปลั๊กเสียบคู่อย่างน้อยหนึ่งตัว

3.9 ไฟฟ้าแสงสว่างในระวางบรรทุกสินค้า (Cargo Hold Lighting) การให้ความสว่างในระวางบรรทุกสินค้าที่ใช้อยู่มีสองวิธี วิธีที่หนึ่ง เป็นการใช้ดวงโคมชนิดเคลื่อนที่ (Portable “Cargo Cluster”) เป็นชุดโคมไฟในแต่ละชุด ประกอบด้วย หลอดไฟชนิดไส้ติดตั้งอยู่ตั้งแต่ 1-8 ดวง ภายในโครงลักษณะถ้วย ทำจากพลาสติกหรือเหล็ก ภายในเคลือบสารสะท้อนแสง ครอบด้วยตะแกรงลวดป้องกัน (Wire-mesh Guard) ปลั๊กเสียบสำหรับต่อดวงโคมดังกล่าวติดตั้งอยู่ที่ปากระวาง (Cargo Hatch) แต่ละระวาง วิธีที่สอง เป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปคือการติดตั้งดวงโคมประจำที่เพื่อให้ความสว่างโดยทั่วไป และมีดวงโคมชนิดเคลื่อนที่ในกรณีที่ต้องการความสว่างเพิ่มเติม

ในการติดตั้งดวงโคมประจำที่บนเพดานจะต้องติดตั้งอยู่ระหว่างดวง (Deck Beams) หรือใกล้ๆ กับคานรอบๆ ปากระวาง (Deep Beam Surrounding the Hatches) ซึ่งจะเป็นการป้องกันดวงโคมจากความเสียหายระหว่างการบรรจุสินค้า นอกจากนั้น จะต้องสามารถป้องกันอันตรายจากการกระแทกเนื่องจากสินค้าหนักๆ ตกลงมาที่พื้นเหนือดวงโคมเหล่านั้น หรือจากการเคลื่อนย้ายสินค้า

ในระวางแต่ละระวาง จะต้องติดตั้งปลั๊กเสียบคู่อย่างน้อยสองตัว สำหรับต่อดวงโคมชนิดเคลื่อนที่ เพื่อใช้ในระวางและพื้นที่ใกล้ๆ กับปากระวาง

3.10 ไฟฟ้าแสงสว่างบนดาดฟ้าเปิดและขนถ่ายสินค้า (Weather Deck and Cargo Handling Light) ดวงโคมที่ติดตั้งบนดาดฟ้าเปิดทั้งหมดจะต้องเป็นแบบผนึกน้ำ (Watertight) โดยปกติบนดาดฟ้าซึ่งผู้โดยสารสามารถเดินผ่านไปมาได้ (Promenade Deck) ดวงโคมที่ใช้จะเป็นแบบ Screwed type Holophane หรือ Frosted Globe ซึ่งตัวโครงทำจากทองเหลือง โดยไม่มีตะแกรงป้องกัน สำหรับพื้นที่อื่นๆ อาจเป็นแบบป้องกันตามมาตรฐานที่สามารถผนึกน้ำควรมีการกำบังสำหรับแสงสว่างภายนอกตัวเรือที่สามารถมองเห็นได้จากทางหัวเรือ ไฟฟ้าแสงสว่างบนสะพานเดินเรือและในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งรบกวนต่อการนำเรือ ควรจะสามารถควบคุมการปิด – เปิดไว้จากห้องถือท้าย

บันไดลงจากเรือ (Gangway) ควรจัดให้มีไฟฉายแบบเคลื่อนที่ (Portable Floodlights) ติดตั้งอยู่บนฐานซึ่งสามารถหมุนออกด้านนอกตัวเรือ และ Lock ได้อย่างมั่นคงติดตั้งอยู่ทั้งกราบขวาและกราบซ้าย

ไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับอุปกรณ์ขนถ่ายสินค้าและพื้นที่รอบๆ อุปกรณ์ดังกล่าว โดยปกติจะเป็นไฟฉายชนิดผนึกน้ำ ขนาด 300 ถึง 400 วัตต์ ติดตั้งอย่างถาวรในตำแหน่งที่อยู่สูงบนเสากระโดงหรือเสาตั้ง (King Post) อุปกรณ์รองรับ (Support) ควรจะออกแบบและติดตั้งให้มีความมั่นคงโดยปกติจะติดประจำที่ไม่มีการปรับแต่ง ดังนั้นจะต้องออกแบบให้สำแสงที่ส่องลงมาอยู่ในทิศทางที่ดีและเหมาะสมที่สุด

ไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับการหย่อนและชักเรือบต ควรจะเป็นไฟฉายแบบผนึกน้ำหลอดชนิดไส้ที่มีลำแสงแผ่กว้าง (Wide Beam) ขนาด 500 วัตต์ ติดตั้งอยู่บนราวจับ หรือเสาค้ำระหว่างหลักเดวิทของเรือบตที่อยู่ติดกัน การติดตั้งจะต้องสามารถหมุนไฟฉายเพื่อให้ความสว่างบนดาดฟ้าหรือภายนอกตัวเรือ และส่องตรงลงไปยังผิวน้ำข้างๆ เรือ ในการยึดไฟฉายให้อยู่ในตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการควรใช้ Quick-Release Clamp

3.11 ไฟฉายแสงสว่างที่เกี่ยวข้องกับการนำเรือ (Navigational Space Lighting) แสงสว่างต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหรือมีผลกระทบกับการนำเรือควรจะได้รับการพิจารณาควบคุมอย่างเหมาะสม เช่น ในกรณีที่เรือเดินทางในเวลากลางคืน หลอดไฟฟ้าที่ให้ความสว่างทั่วๆ ไปในห้องถือท้ายและภายนอกทางด้านหัวเรือจะต้องดับหมด เพื่อให้เกิดทัศนวิสัยที่ดีกว่าสำหรับผู้นำเรือ จะมีเฉพาะแสงสว่างที่ติดอยู่ภายในเรือนเข็มทิศ (Binnacle) เครื่องสั่งจักร (Telegraph) และเครื่องมือที่จำเป็นอื่นๆ เท่านั้นที่เปิดอยู่ โดยคุณสมบัติและความเข้มของแสงของหลอดไฟดังกล่าว จะต้องเพียงพอสำหรับอ่านค่าบนเครื่องมือ โดยไม่รบกวนทัศนวิสัยภายนอก ไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับอ่านนาฬิกา Chronometer จะต้องเป็นแบบที่มีกำบังและส่องไปเฉพาะหน้าปัดของนาฬิกาและมีสวิตช์ปิด-เปิด ซึ่งจะเปิดเมื่อมีความจำเป็นเท่านั้น

ในห้องแผนที่จะต้องมีควงโคมฟลูออเรสเซนต์ชนิดใช้กับโต๊ะเขียนหนังสือแบบติดผนังซึ่งเป็นแบบที่สามารถปรับได้ มีสวิตช์ในตัว และที่กรองแสงสีแดง (Red Filter) การติดตั้งจะต้องให้สามารถเลื่อนไปทั่วพื้นที่หน้าของโต๊ะในแนวระนาบขนานกับพื้นโต๊ะ ไฟฟ้าลักษณะดังกล่าวจะต้องติดตั้งไว้สำหรับโต๊ะจดบันทึก (Log Desk) ในห้องถือท้ายด้วย

4. ไฟเดินเรือและไฟสัญญาณ (NAVIGATION AND SIGNALING LIGHT)

ไฟเดินเรือและไฟสัญญาณ (NAVIGATION AND SIGNALING LIGHT) เรือทุกๆ ลำจะต้องติดตั้งไฟเดินเรือและไฟสัญญาณในการเดินเรือตามข้อบังคับเกี่ยวกับการเดินเรือสากลรายละเอียดตาม CG-169 Rules of the Road International Inland รายการของไฟเดินเรือและไฟสัญญาณต่างๆ สำหรับเรือที่เดินทางในทะเล (Oceangoing Vessel) ตามตารางที่ 1 ดวงโคมที่ใช้จะต้องเป็นแบบผนึกน้ำ เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติป้องกันการผุกร่อนที่ดีเป็นพิเศษและติดตั้ง Lens แบบ Fresnel Lens

Name of Light	Arc of Visibility Degrees	Lens Color
Starboard Side	112.5	Green
Port Side	112.5	Red
Masthead	225	Clear
Range	225	Clear
Stern	135	Clear
Forward Anchor	360	Clear
After Anchor	360	Clear
Not Under Command	360	Red
Towing	225	Clear

ตารางที่ 1 ไฟเดินเรือและไฟสัญญาณสำหรับเรือเดินทะเล

ไฟข้าง (Side Light) ประกอบด้วยไฟเรือเดินกราบขวา (Starboard Light) และไฟเรือเดินกราบซ้าย (Port Light) ซึ่งติดตั้งอยู่ทางกราบขวาและกราบซ้ายข้างสะพานเดินเรือตามลำดับ ตำแหน่งที่ติดตั้งควรอยู่ในระดับที่สามารถเห็นได้ในระยะอย่างน้อย 2 ไมล์ โดยแสงสว่างจะต้องมองเห็นจากแนวหัวเรือในด้านที่ติดตั้งและเลยมาทางท้ายเรือ 112.5 องศา การติดตั้งจะต้องมีแผ่นกั้นด้านในติดกับตัวเรือ (Inboard Screens, Projecting) ยาวอย่างน้อย 3 ฟุต เลยไปทางด้านหน้าจากหลอดไฟ เพื่อป้องกันไม่ให้มองเห็นจากอีกด้านหนึ่งทางหัวเรือ

ไฟยอดเสา (Masthead Light) และไฟแนว (Range Light) เป็นไฟที่มีลักษณะเหมือนกัน ติดตั้งอยู่ในแนวกระดูกงูเรือบนเสาหน้าและเสาหลัง สามารถมองเห็นได้จากทางหัวเรือไปทางกราบขวาและกราบซ้ายได้ข้างละ 112.5 องศา รวมเป็นมุม 225 องศา ในกรณีที่มี 2 ดวง ไฟดวงหน้าจะต้องต่ำกว่าไฟดวงหลังอย่างน้อย 15 ฟุต และสามารถมองเห็นได้จากระยะอย่างน้อย 2 ไมล์ ระยะห่างในแนวระดับจะต้องมากกว่าระยะห่างในแนวดิ่งอย่างน้อย 3 เท่า สำหรับเรือที่กำลังแล่นเข้ามา เส้นแนวระหว่างไฟยอดเสาและไฟแนวจะแสดงทิศทางการเดินทางของเรือนั้น และสีของแสงจากไฟข้างจะแสดงว่าเรือนั้น จะผ่านทางกราบขวาหรือกราบซ้าย ในกรณีที่มองเป็นไฟข้างทั้งสองดวงแสดงว่าเรือลำนั้นพุ่งตรงเข้ามา

ไฟท้าย (Stern Light) ติดตั้งอยู่ท้ายเรือ ในแนวเส้นกลางลำเรือในตำแหน่งที่สามารถทำให้มองเห็นได้จากระยะอย่างน้อย 2 ไมล์ แสงสว่างจะต้องมองเห็นได้จากทางท้ายเรือไปทางกราบขวาและกราบซ้ายได้ข้างละ 67.5 องศา รวมเป็นมุม 135 องศา

ไฟสมอเรือ (Forward Anchor Light) ติดตั้งที่หัวเรือในตำแหน่งที่สูงจากตัวเรืออย่างน้อย 20 ฟุต ไฟสมอท้ายเรือ (After Anchor Light) ติดตั้งบริเวณท้ายเรือในตำแหน่งที่ต่ำกว่าไฟสมอหัวเรืออย่าง

น้อย 15 ฟุต ไฟทั้งสองจะต้องสามารถมองเห็นได้ในแนวระดับโดยรอบจากระยะทางอย่างน้อย 3 ไมล์โดยทั่วๆ ไป ไฟสมอติดบนยอดเสาหัวและไฟสมอท้ายติดบนยอดเสาท้าย

ไฟแสดงว่าเรือไม่อยู่ในบังคับ (Not-Under-Command Light) ประกอบด้วยไฟสองดวงติดตั้งในแนวดิ่ง โดยมีระยะห่างกันไม่น้อยกว่า 6 ฟุต และสามารถ มองเห็นได้ในแนวระดับโดยรอบในระยะไม่น้อยกว่า 2 ไมล์ โดยทั่วๆ ไป ไฟนี้จะเป็นชนิดเคลื่อนที่แต่อาจติดตั้งประจำที่ก็ได้

ไฟลากจูง (Towing Light) ประกอบด้วยไฟสองดวงติดตั้งในแนวดิ่งแนวเดียวกับไฟยอดเสา โดยมีระยะห่างกันไม่น้อยกว่าง 6 ฟุต แสงสว่างสามารถมองเห็นจากทางหัวเรือไปทางกราบขวาและกราบซ้ายได้ข้างละ 112.5 องศา รวมเป็นมุม 225 องศา โดยปกติจะติดตั้งแบบไม่ถาวร ยกเว้นเรือที่ใช้ประจำ เช่นเรือลากจูง (Tugboat) จะติดตั้งถาวร

ไฟเรือเดิน (Running Light) หมายถึงไฟยอดเสา ไฟแนว ไฟท้ายเรือ และไฟข้าง จะต้องเป็นไฟที่มีไฟสำรองในกรณีที่ไฟฟ้าหลักดับ โดยปกติจะใช้หลอดไฟชนิดสองไส้ (Bi-Filament Lamp) ในโคมที่มีหลอดเดียว (Single-Compartment Fixture) หรือใช้ดวงโคมที่มีหลอดคู่ (Two-Compartment Fixture) ซึ่งแต่ละส่วนใช้หลอดชนิดไส้เดียว โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะใช้แบบดวงโคมที่มีหลอดคู่ เพราะมีความเชื่อถือได้ดีกว่า ไฟสัญญาณ หมายถึงไฟสมอ ไฟแสดงว่าเรือไม่อยู่ในการควบคุมและไฟพ่วงจูง จะใช้ดวงโคมชนิดหลอดเดียวไส้เดียว แต่ละหลอดของดวงโคมชนิดหลอดเดียวและหลอดคู่จะต้องต่อสายไฟอ่อน (Flexible Cable) ชนิด 3 ตัวนำ ขนาด AWG # 14 และมีปลั๊กเสียบชนิดสามขาสำหรับเสียบเข้ากับปลั๊กตัวเมียของไฟแสงสว่างทั้งปลั๊กเสียบตัวผู้และตัวเมียจะต้องเป็นแบบเฉพาะ เพื่อไม่ให้นำไปใช้ในจุดประสงค์อื่น

เรือที่ติดตั้งหวูดไอน้ำ (Steam Whistle) โดยปกติจะติดตั้งไฟหวูด (Whistle Light) ซึ่งจะสว่างเมื่อเปิดหวูด

สำหรับเรือบรรทุกน้ำมันมีข้อกำหนดเพิ่มเติมจะต้องติดตั้งไฟเตือนสีแดง (Red Warning Light) เหนือห้องถือท้าย ซึ่งสามารถมองเห็นได้รอบทิศทาง และจะต้องเปิดระหว่างการส่งถ่ายน้ำมัน ตำแหน่งที่แน่นอนขอบงไฟเรือเดินและไฟสัญญาณ สถานที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งขอบเขตการมองเห็น (Screens) และสายระโยงระยางต่างๆ (Riggings) เป็นความรับผิดชอบของนักออกแบบตัวเรือ (Hull Designer)

ตู้ควบคุมไฟเรือเดินและไฟสัญญาณ (Navigation and Signal Control) ตู้จ่ายไฟสัญญาณจะติดตั้งในห้องถือท้าย สำหรับควบคุมการปิด-เปิดไฟเรือเดินและไฟสัญญาณต่างๆ ควบคุมไฟหัวเรือ ไฟแนว ไฟข้างเรือ ไฟท้ายเรือ ไฟสัญญาณ ไฟสมอ ไฟแสดงเมื่อเรือไม่อยู่ในควบคุม และไฟพ่วงจูง ในส่วนของไฟเดินเรือจะต้องมีระบบแสดงความขัดข้องของหลอดไฟหลักหรือไส้หลอดสำรองหลักและมีสวิตช์ซึ่งอาจเป็นแบบอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติ เพื่อสับเปลี่ยนไปใช้หลอดไฟหรือไส้หลอดสำรอง สำหรับไฟสัญญาณจะเป็นเพียงสวิตช์ปิด-เปิด สำหรับไฟแต่ละดวง

5. ไฟทัศนะและไฟค้นหา (SIGNALING AND SEARCH LIGHTS)

ไฟทัศนะ เรือเดินทะเลและชายฝั่งที่ขับเคลื่อนด้วยใบจักรขนาดตั้งแต่ 150 GT (Gross Tons) จะต้องติดตั้งไฟทัศนะบนส่วนบนของห้องถือท้าย ไฟดังกล่าวอาจเป็นแบบมือถือ หรือแบบติดตั้งประจำที่ขนาด 12 นิ้ว หรือเป็นแบบเคลื่อนที่ที่สามารถติดตั้งได้รวดเร็วในแต่ละปีกของสะพานเดินเรือแบบเคลื่อนที่ อาจเป็นแบบที่มีแบตเตอรี่ในตัว หรือรับไฟจากเต้ารับพิเศษจ่ายไฟแรงเคลื่อนต่ำ

ไฟค้นหา เป็นไฟที่ไม่ได้กำหนดไว้ในข้อกำหนดสากลว่าจะต้องมี โดยปกติจะติดตั้งตามความต้องการของเจ้าของเรือ ถ้าติดตั้งจะเป็นไฟชนิดไส้หลอดขนาด 18 นิ้ว ติดตั้งเหนือห้องถือท้าย สามารถควบคุมการหมุนและกระดกด้วยมือจากภายในห้องถือท้าย สวิตช์ปิด-เปิด จะต้องติดตั้งใกล้ๆ บริเวณที่ใช้งาน

6. อุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอื่นๆ

6.1 พัดลมแขวน (Bracket Fan) ทั่วๆ ไปแล้ว การใช้งานสำหรับพัดลมแขวนในพื้นที่พักอาศัยต่างๆ ภายในเรือเกือบจะไม่มีแล้ว เนื่องจากการใช้ระบบปรับอากาศ อย่างไรก็ตามในพื้นที่ที่ไม่มีระบบปรับอากาศก็อาจจะมีความจำเป็น เช่น ห้องคลัง กระซับสี ห้องซักรีด และ ห้องโรงงาน เป็นต้น ในการติดตั้งไม่ควรติดตั้งกับผนังที่บาง เนื่องจากการสั่นสะเทือนอาจทำให้เกิดเสียงที่สร้างความรำคาญ เต้ารับสำหรับพัดลมแขวนจะต้องติดตั้งในบริเวณที่จะทำให้สายต่อของพัดลมสั้นที่สุด

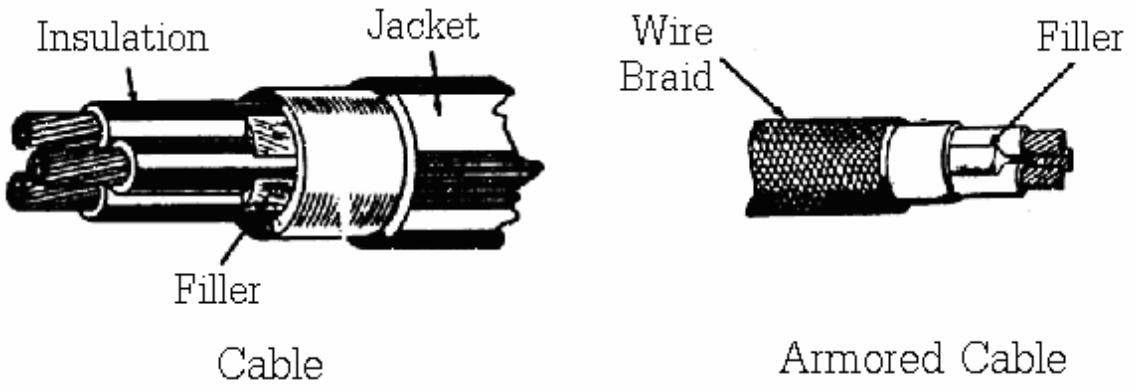
6.2 อุปกรณ์ในการต่อสาย (Wiring Appliance) กล่องต่อสายไฟ (Wiring Connection Box) ที่ใช้จะต้องเป็นแบบผนึกน้ำ ในการเดินสายสามารถเพิ่มกล่องแยกสาย (Bench Box) ได้ตามความจำเป็น และติดตั้งที่ผิวหน้า (Surface Mounted) สวิตช์และเต้ารับต่างๆ ที่ใช้ในพื้นที่ใช้สอยสาธารณะ และห้องพัก โดยปกติอาจเป็นแบบ Commercial Type และใช้ขนาดมาตรฐานทั่วๆ ไป ยกเว้นในกรณีที่จำเป็นอาจมีขนาดต่างๆ ตามความจำเป็น ในบริเวณที่ต้องใช้อุปกรณ์ที่จะต้องผนึกน้ำ จะต้องเป็นแบบผนึกน้ำตามมาตรฐานที่ใช้งานภายในเรือ

บทที่ 8
สายไฟฟ้า
(CABLE)

1. กล่าวโดยทั่วไป (GENERAL)

สายไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้งานในเรือควรจะเป็นสายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเฉพาะของส่วนประกอบของสาย โครงสร้าง และการทดสอบสายได้ตามมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เช่น มาตรฐานของ IEC, IEEE, MIL STD, NES, VG เป็นต้น แต่สายไฟฟ้าตามมาตรฐานของ IEC และ IEEE นั้นเป็นสายไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติตั้งแต่ Commercial Grade จนถึงระดับ Military Grade ดังนั้นการเลือกใช้งานควรจะพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของสายด้วย ลักษณะโดยทั่วๆ ไปของสายไฟฟ้าที่ใช้งานภายในเรือ

1.1 โครงสร้างของสายไฟฟ้า (Cable Construction) สายไฟฟ้าที่ใช้งานภายในเรือตามมาตรฐานที่กล่าวข้างต้นนั้นจะมีโครงสร้างพื้นฐานที่เหมือนกันคือจะมี ลวดตัวนำ (Conductor) ฉนวน (Insulation) และเปลือกนอก (Jacket) และจะมีส่วนประกอบอื่นๆขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน สภาพแวดล้อม และประเภทของงานที่จะนำไปใช้ เช่น ถ้าต้องการนำไปใช้ในพื้นที่ๆ อาจจะได้รับความเสียหายจากการกระทบกระแทกนั้น สายที่จะนำไปใช้ควรจะต้องเป็นสายชนิดที่มี Armor ด้วย เป็นต้น และสายที่จะนำเสนอ ณ ที่นี้เป็นสายที่ใช้งานโดยทั่วๆ ไป ตามมาตรฐาน IEEE 45 ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า

1.1.1 ลวดตัวนำ (Conductor) ลวดตัวนำสำหรับสายไฟฟ้าที่ใช้ในเรือควรเป็นลวดทองแดงอบเหนี่ยว (Soft Annealed Copper Wire) และอาจจะต้องเคลือบด้วยตะกั่ว ดีบุก หรือโลหะอื่นๆ เพื่อป้องกันทองแดงทำปฏิกิริยากับฉนวนที่หุ้มอยู่ในกรณีที่ฉนวนนั้นมีความไวในการทำปฏิกิริยาต่อทองแดง อันเป็นเหตุให้สายเสื่อมสภาพ สำหรับสายที่มีขนาดใหญ่ลวดทองแดงที่ใช้มักจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่าความโตของสายและจะพันเป็นเกลียว (Stranded Wire) ขนาดของสายโดยทั่วๆ ไปจะกำหนดแตกต่างกัน โดย MIL STD กำหนดเป็น AWG หรือ MCM และสาย IEC จะกำหนดด้วยพื้นที่หน้าตัดของสายเป็น mm^2

1.1.2 ฉนวน (Insulation) จะต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมและชนิดของงานต่างๆ ความหนาของฉนวนขึ้นอยู่กับพิกัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย ตามมาตรฐานแล้วผู้ผลิตจะต้องผลิตให้ฉนวนมีความหนาไม่น้อยกว่า 90 % และไม่เกิน 110 % ของความหนาเฉลี่ย ชนิดของฉนวนตามมาตรฐาน IEEE 45 ดังตารางที่ 1

Insulation type designation		Temperature°C (°F)
T	Polyvinyl chloride	75 (167)
T/N	Polyvinylchloride/nylon	90 (194)
E	Ethylene propylene rubber	90 (194)
X	Cross-linked polyethylene	90 (194)
LSE	Low-smoke-ethylene propylene rubber	90 (194)
LSX	Low-smoke-cross-linked polyethylene	90 (194)
S	Silicone rubber	100 (212)
P	Cross-linked polyolefin	100 (212)

ตารางที่ 1 ชนิดและย่านการใช้งานของฉนวนแต่ละชนิด

1.1.3 Tape เมื่อไหร่ก็ตามที่มีการใช้ Binder Tape หรือ Separator Tape ควรจะใช้ Tape ที่ทำจากวัสดุชนิด Polyester Film

1.1.4 Braid ถ้าฉนวนเป็นชนิด Silicone Rubber การใช้ Braid ควรจะเป็น Braid ที่ทำจากแก้ว (Glass Braid)

1.1.5 Fillers ควรทำจากวัสดุที่เข้ากันได้ (Compatible) กับวัสดุอื่นๆ ของสาย Fillers ทำหน้าที่เติมช่องว่างของสายให้เต็มเพื่อที่จะให้สายไฟฟ้ามีรูปร่างของพื้นที่หน้าตัดเป็นทรงกลมให้มากที่สุด และ

ควรจะให้ควันน้อยเมื่อเกิดเพลิงไหม้ โดยมีค่า Low-Smoke Index ไม่ควรเกิน 45 ตามการทดสอบของ NES 711

1.1.6 Marker สายไฟฟ้าควรจะมีการระบุคุณลักษณะเบื้องต้นบนเปลือกนอก (Jacket) ของสายไฟฟ้า ควรจะมีรายละเอียดในการระบุดังนี้

- Manufacturer
- มาตรฐานที่ใช้ และปีของมาตรฐานนั้น
- ปีที่ผลิต
- พิกัดแรงดันไฟฟ้า
- ชนิดของสายไฟฟ้า

1.1.7 เปลือกนอก (Jacket) ควรจะเป็นชนิด Thermosetting หรือ Thermoplastic ดังตารางที่ 2 และควรจะมีความหนาของสายในแต่ละจุดไม่น้อยกว่า 80 % ของความหนาเฉลี่ยของสาย

Jacket material	**Thermosetting cross-linked polyolefin (XLPO)**	**Thermoplastic polyolefin (TPPO)**
Jacket type designations	L	TPO
Physical requirements Unaged: Tensile strength, min., psi Elongation at rupture, min, %	 1300 160	 1400 100
Aging requirements: After air oven at °C hours Tensile strength % of unaged, min. Elongation at rupture, % of unaged, min.	 121 ± 1 168 60 60	 100± 1 168 75 60
After Oil Immersion (ASTM No. 2 or IRM 902) °C	 121 ± 1	 -

hours Tensile strength, lb/in2, % retention 50 — Elongation, % retention 50 —	18	-
Heat distortion max., %	121 °C ± 1 30	90 °C ± 1 25
Cold bend, no cracks, °C[a]	-40	-25
Weatherometer test[b]	Pass	Pass
Acid gas equivalentc, % max	2	2
Halogen contentc, % max	0.2	0.2
Smoke index, max[c]	25	25
Toxicity index, max[c]	5	5
Hot creep test Per ICEA T-28-562-1995 with the following modifications:Temperature of air oven 200 °C ± 2 °C Hot creep elongation, max. Hot Creep Set, max. Tear: lb/in thickness, min.[d]	 25% 5% 35	 - - -
NEMA test procedure reference NEMA WC 3, NEMA WC 3, and NEMA 57		

[a] For test procedure refer to CSA C22.2 No. 38-1995, clause 6.4.6. The insulation system used for this test shall be representative of the final product.

[b] For test procedure refer to ANSI/UL 1581-1991.

[c] For test procedure refer to MIL-C-24643.

[d] For test procedure refer to ANSI/ASTM D470-1993.

ตารางที่ 2 Low-smoke jacket properties, type L (XLPO) and TPO (TPPO)

1.1.8 เกราะ (Armor) ควรจะเป็นชนิดถักแบบตะกร้า โดยปกติแล้วเกราะไม่ทำหน้าที่เป็น Shield การถักของเกราะควรจะถักให้เส้นวางชิดกัน ราบ และขนานกัน และถักแบบการถักตะกร้าโดยให้ส่วนที่ถักแล้วยึดสายไฟได้อย่างแน่นหนา เส้นโลหะที่นำมาใช้ควรจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.32004 $\pm$ 0.0127 มม. และควรจะเป็นเส้นโลหะที่สมบูรณ์ ไม่มีตำหนิใดๆ โดยปกติดแล้วโละที่นำมาใช้จะเป็นอลูมิเนียมหรือ Bronze ลักษณะการถักควรจะเป็นเส้นทับเส้น หรือ สองเส้นทับสองเส้น มุมของการถักและการครอบคลุมสายไฟฟ้าควรได้ตามข้อกำหนดดังตารางที่ 3

Diameter over jacket (in)	**Percent coverage**		**Braid angle ($^\circ$)**	
	min	**Max**	**min**	**Max**
up to 0.600	88	94	30	60
0.601 to 1.000	88	94	35	60
1.001 to 1.500	88	94	40	70
1.501 to 2.000	88	94	45	70
2.001 and over	88	94	50	80

ตารางที่ 3 พื้นที่ครอบคลุมผิวของสายไฟฟ้าและมุมของการถัก

2. การทดสอบสายไฟฟ้า

เมื่อผลิตสายไฟฟ้าออกมาเรียบร้อยแล้วจะต้องมีการทดสอบสายไฟฟ้าดังต่อไปนี้

2.1 การทดสอบไฟฟ้าแรงดันสูง (High Voltage Test) สายไฟฟ้าจะต้องทนการทดสอบไฟฟ้าแรงสูงได้อย่างน้อย 5 นาที ตามตารางที่ 4

Conductor size AWG or circular mil	**Test Potential (kV)**			
	300 V Types T, T/N	**600 V Types E, X, S, T, LSE, LSX, T/N and P**	**601–2000 V Types E, X and P**	**2001–5000 V Types E, X**
20	0.5			
18	1.0	1.5		
16	1.0	1.5		
14 to 9		3.5	5.5	13.0

(ต่อ)

Conductor size AWG or circular mil	**Test Potential (kV) 300 V Types T, T/N**	**600 V Types E, X, S, T, LSE, LSX, T/N, and P**	**601–2000 V Types E, X and P**	**2001–5000 V Types E, X**
8 to 2		5.5	7.0	13.0
1 to 4/0		7.0	8.0	13.0
250 000 to 525 000		8.0	9.5	13.0
525 000 to 1 000 000		10.0	11.5	13.0
1 000 050 and over		10.0	11.5	13.0

ตารางที่ 4 High-voltage ac test potentials; types E, S, X, T, T/N, LSE, LSX and P cables

2.2 การทดสอบความต้านทานของลวดตัวนำ ควรจะทำตามขั้นตอนการทดสอบใน NEMA WC 8-1988 หรือ NEMA WC 7-1988 หัวข้อ 6.3.1 และปรับค่าอุณหภูมิเป็น 25 องศาเซลเซียส ค่าที่ได้ควรเป็นไปตามวัสดุที่ใช้ตามมาตรฐานต่อไปนี้

- ANSI/ASTM B3-95
- ANSI/ASTM B8-95
- ANSI/ASTM B33-94
- ANSI/ASTM B172-95
- ANSI/ASTM B173-95
- ANSI/ASTM B174-95
- ANSI/ASTM B189-95

2.3 การทดสอบความต้านทานของฉนวน (Insulation Resistance Test) การทดสอบจะต้องทำการวัดความต้านทานของฉนวน โดยวัดค่าความต้านทานของลวดตัวนำแต่ละเส้นกับสายดิน (Ground) ควรจะมีค่าไม่น้อยกว่าตารางที่ 5

Conductor size AWG or Circular mil	Types T,T/N	Types E,X,P, LSX[a]	Types E and X	Type S	Type LSE
	0–600 V	0–2000 V	2001–5000 V	0–600 V	0–600 V
20–16	550	3000	—	1100	625
14–9	350	1600	—	700	325
8–2	300	1200	3700	600	225
1–4/0	250	800	2300	500	150
250–525 000	200	650	1650	400	120
525 and larger	150	550	1200	300	100

NOTE 1 - The values are based on the insulation resistance K constant in Table 8-3, Table 8-4, and Table 8-5 calculated for the largest conductor in each size range.

NOTE 2 - To adjust above insulation resistance values for temperatures other than 15.6°C, see Table 8-14.

[a] LSX is limited to 600 V maximum.

ตารางที่ 5 Minimum insulation resistance (based on MW/1000 ft at 15.5 °C)

3. การใช้งานสายไฟฟ้าต่างๆ (CABLE APPLICATIONS)

สายไฟฟ้าที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นสายไฟฟ้าที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบทะเล สำหรับสายไฟฟ้าที่ไม่ได้ระบุว่าเป็นไปตามข้อกำหนดในบทนี้ การนำไปใช้ในเรือควรจะพิจารณาเป็นพิเศษของคุณสมบัติด้าน การไม่ลามไฟ (Flame Retardant) วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductor Material) และการเพิ่มของอุณหภูมิเมื่อนำมาใช้งาน (Temperature Rise) คุณลักษณะของฉนวนและอายุการใช้งานของฉนวนโดยประมาณ ความอ่อนตัวของเปลือกนอก (Jacket Flexibility) ความแข็งแรงของสายไฟฟ้า และสามารถใช้วิธีการติดตั้งตามแบบของเรือได้ นอกจากนี้ สายดังกล่าวยังต้องสามารถทนสภาพการใช้งานในเรือได้

สายไฟฟ้าสำหรับระบบควบคุม สื่อสาร หรือสัญญาณ ที่มีลวดตัวนำมากกว่า 4 ชุดขึ้นไป หรือมากกว่า 3 คู่ขึ้นไป จะต้องมีลวดตัวนำสำรองอย่างน้อย 10 % หรืออย่างน้อยที่สามารถสำรองการทำงานได้ 1 วงจร

ภาระสูงสุดต่อเนื่อง (Maximum Continuous Load) ของสายไฟฟ้าควรจะไม่เกินพิกัดการนำกระแสต่อเนื่องของสายไฟฟ้า (Continuous Current Rating) การเลือกสายไฟฟ้าไปใช้งานควรจะคำนึงถึงอุณหภูมิสูงสุดของลวดตัวนำจะไม่เกินค่าการใช้งานปกติของฉนวนของสาย รวมไปถึงอุณหภูมิของขั้วที่ปลายสายไฟฟ้าเข้าไปต่อด้วย การเลือกพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ ควรจะพิจารณาให้เพียงพอที่จะรับกระแสลัดวงจรในระบบได้และอุณหภูมิของลวดตัวนำจะไม่เพิ่มจนเกินพิกัด คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ควรจะต้องได้รับการพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกัน (Circuit-Protective Device) ด้วย

3.1 สายไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไม่เกิน 600 โวลต์

การใช้งานสายไฟฟ้าเหล่านี้ไม่ควรใช้กับแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดแรงดันของสายไฟฟ้า และอาจจะนำไปใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ควบคุม สื่อสาร และระบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ตามต้องการ

3.2 สายไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันปานกลาง (2000, 5000 โวลต์)

การใช้งานสายไฟฟ้าเหล่านี้ไม่ควรใช้กับแรงดันไฟฟ้าสูงเกินพิกัดแรงดันของสายไฟฟ้า

3.3 สายไฟฟ้าสำหรับระบบควบคุม

สายไฟฟ้าเหล่านี้ควรนำไปใช้ในระบบควบคุม แสดงผล สื่อสาร อิเล็กทรอนิกส์ และวงจรอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันคือมีความต้องการจำนวนคู่สายในการใช้งานหลายคู่ การพิจารณาขนาดของลวดตัวนำในการนำสายไฟฟ้าประเภทนี้ไปใช้งาน ควรจะคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าตกในสายด้วย

3.4 สายไฟฟ้าสัญญาณ (300, 600 โวลต์)

ควรจะใช้ในการนำสัญญาณที่มีความต้องการสายคู่พันกัน (Twist Group) หลายคู่ การป้องกันสนามแม่เหล็กให้กับลวดตัวนำควรใช้เทป หรือ Drain Wire หรือ Tinned Copper Braid หรือใช้ทั้งสองวิธีด้วยกันเพื่อป้องกันการรบกวน

3.5 การใช้งานกับไฟฟ้ากระแสสลับ

โดยปกติแล้วการใช้สายไฟฟ้าในภาระที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้สายไฟฟ้าชนิดหลายสายในเส้นเดียวกัน ตัวนำไฟฟ้าของแต่ละ Phase ของภาระใดๆ ควรจะอยู่ในเส้นเดียวกันเพื่อลดผลกระทบจากการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ยกเว้น

- ถ้าภาระนั้นมีพิกัดกระแสสูงกว่าพิกัดกระแสของสายไฟฟ้า อาจจะสามารถใช้สายไฟฟ้าที่มีขนาดเท่ากัน 2 เส้นหรือมากกว่าต่อขนานกันได้ และทุกๆ Phase ของภาระควรจะอยู่ในสายเส้นเดียวกัน
- ในที่ๆ การใช้สายชนิดหลายเส้น จะทำให้การเดินสายเกิดความยากลำบาก หรือ ทำให้การจัดวางสายเกิดผลที่ไม่ต้องการ หรือ เมื่อการใช้สายไฟฟ้าที่มีลวดตัวนำเพียงเส้นเดียวไม่เกิดผลกระทบจากกระแสเหนี่ยวนำต่ออุปกรณ์ข้างเคียง

3.6 การนำกระแสไฟฟ้า

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าคือ สิ่งที่บอกความสามารถในการนำกระแสของสายไฟฟ้าที่จะสามารถนำกระแสได้อย่างต่อเนื่องและปลอดภัย ถ้าหากปริมาณกระแสสูงเกินเกณฑ์นี้เพียงเล็กน้อยเป็นระยะเวลานาน อาจจะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นทำลายคุณสมบัติของฉนวน (Insulation) ของสายไฟฟ้าได้ พิกัดของสายไฟฟ้านี้เป็นตัวกำหนดขนาดของสายไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งานกับภาระขนาดต่างๆ กัน องค์ประกอบที่จะทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าของสายไฟฟ้าแตกต่างกันคือ

- ขนาดของลวดตัวนำ
- วัสดุที่ใช้เป็นลวดตัวนำ
- ตำบลที่ติดตั้งของสายไฟฟ้า
- ชนิดของฉนวนที่ใช้
- อุณหภูมิแวดล้อม

การนำกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าควรเป็นไปตามตารางที่ 6 ค่ากระนำกระแสของสายไฟฟ้าดังกล่าวควรจะได้รับการคำนวณใหม่ถ้าหากนำสายไฟฟ้าชนิดต่างๆ ไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างไปจาก 45 องศาเซลเซียส และค่าการนำกระแสดังกล่าวเป็นค่าการนำกระแสในลักษณะที่สายไฟฟ้าเดินบน Tray แบบแถวเดียว

			Single Conductor			Two-Conductor			Three-Conductor		
MCM/ AWG	Mm^2	Circular mil	T 75°C	LSE LSX T/N E,X 90°C	S,P 100°C	T 75°C	LSE LSX T/N E,X 90°C	S,P 100°C	T 75°C	LSE LSX T/N E,X 90°C	S,P 100°C
20	0.6	1022	9	11	12	8	9	10	6	8	9
18	1.0	1624	13	15	16	11	13	14	9	11	12
16	1.2	2583	18	21	23	15	18	19	13	15	16
14	2.1	4110	28	34	37	24	29	31	20	24	25
12	3.3	6530	35	43	45	31	36	40	24	29	31
10	5.3	10400	45	54	58	38	46	49	32	38	41
8	8.4	16 500	56	68	72	49	60	64	41	48	52
7	10.6	20800	65	77	84	59	72	78	48	59	63
6	13.3	26300	73	88	96	66	79	85	54	65	70
5	16.8	33100	84	100	109	78	92	101	64	75	82

(ต่อ)

			Single Conductor			Two-Conductor			Three-Conductor		
MCM/ AWG	Mm^2	Circular mil	T 75°C	LSE LSX T/N E,X 90°C	S,P 100°C	T 75°C	LSE LSX T/N E,X 90°C	S,P 100°C	T 75°C	LSE LSX T/N E,X 90°C	S,P 100°C
4	21.1	41700	97	118	128	84	101	110	70	83	92
3	26.7	52600	112	134	146	102	120	132	83	99	108
2	33.6	66400	129	156	169	115	137	149	93	111	122
1	42.4	83700	150	180	194	134	161	174	110	131	143
1/0	53.5	106000	174	207	227	153	183	199	126	150	164
2/0	67.4	133000	202	240	262	187	233	242	145	173	188
3/0	85.0	168000	231	278	300	205	245	265	168	201	218
4/0	107.2	212000	271	324	351	237	284	307	194	232	252
250 MCM	127	250000	300	359	389	264	316	344	217	259	282
262 MCM	133.1	262600		378	407		333	358		273	294
300 MCM	152	300 000	345	412	449	296	354	385	242	290	316
313 MCM	158.7	313 100		423	455		363	391		298	321
350 MCM	177	350 000	372	446	485	324	387	421	265	317	344
373 MCM	189.4	373700		474	516		406	442		332	361
400 MCM	203	400000	410	489	533	351	419	455	286	342	371
444 MCM	225.2	444400		546	588		468	504		382	411
500 MCM	253	500000	469	560	609	401	479	520	329	393	428
535 MCM	271.3	535000	485	615	662	415	526	566	340	432	465
600 MCM	304	600000	521	623	678	450	539	585	368	440	478
646 MCM	327.6	646 000		671	731		581	632		474	516
750 MCM	380	750 000	605	723	786	503	602	656	413	494	537
777 MCM	394.2	777 000		755	822		629	684		516	562
1000 MCM	507	1000000	723	867	939						
1111 MCM	563.1	1111000		942	1025		784	854		644	701
1250 MCM	633	1250000	824	990	1072						
1500 MCM	706	1500000	917	1100	1195						
2000 MCM	1013	2000000	1076	1292	1400						

Ampacity adjustment factors for more than 3 conductors in a cable with no load diversity:

Percent of values in Table 6 for three-conductor cable as adjusted Number of conductors for ambient temperature, if necessary

4	through	6	80
7	through	9	70
10	through	20	50
21	through	30	45
31	through	40	40
41	through	60	35

NOTE 1 - Current ratings are for ac or dc.

NOTE 2 - For service voltage in the 601 V to 5000 V range, Type T, T/N, LSE, and LSX should not be used.

NOTE 3 - Current-carrying capacity of four-conductor cables where one conductor does not act as a normal current-carrying conductor (e.g., grounded neutral or grounding conductor), is the same as three-conductor cables listed in Table 6.

NOTE 4 - The above values are based on an ambient temperature of 45 °C and maximum conductor temperature not exceeding 75 °C for type T insulated cables, 90 °C for type T/N, X, E, LSE, and LSX insulated cables, and 100 °C for type S and P insulated cables.

NOTE 5 - If ambient temperatures differ from 45 °C, the values shown above should be multiplied by the following factors:

Ambient temperature	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
Type T insulated cables	1.08	0.91	-	-
Type T/N, X, E, LSE, LSX insulated cables	1.05	0.94	0.82	-
Type S and P insulated cables	1.04	0.95	0.85	0.74

NOTE 6 - The above current-carrying capacities are for marine installations with cables arranged in a single bank per hanger and are 85% of the ICEA calculated values [see Note 7]. Double banking of distribution-type cables should be avoided. For those instances where cable must be double banked, the current-carrying capacities in the above table should be multiplied by 0.8.

NOTE 7 - The ICEA calculated current capacities of these cables are based on cables installed in free air; that is at least one cable diameter spacing between adjacent cables. See IEEE Std 835-1994.

NOTE 8 - For cables with maintained spacing of at least 1 cable diameter apart, the values above may be divided by 0.85.

ตารางที่ 6 Distribution, control, and signal cables—single banked, maximum current-carrying capacity (types T, T/N, E, X, S, LSE, LSX and P @ 45 °C ambient)

4. การติดตั้งสายไฟฟ้า (CABLE INSTALLATION)

การติดตั้งสายไฟฟ้าภายในเรือเป็นงานที่ควรใช้การวางแผน ควบคุม และกำกับดูแลที่ เนื่องจากสายไฟฟ้าที่ติดตั้งมีจำนวนมาก สภาพภายในเรือที่คับแคบและเป็นงานที่ต้องดำเนินการในช่วงที่เวลางานอย่างอื่นกำลังดำเนินการอยู่ซึ่งกีดขวางการทำงานในการติดตั้งสายไฟฟ้า ข้อกำหนดในการติดตั้งสายไฟฟ้ามีดังนี้

4.1 การหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการเหนี่ยวนำ (Inductive Effect) การติดตั้งสายไฟฟ้าต่างๆ ควรจะระมัดระวังในเรื่องต่อไปนี้

4.1.1 หลีกเลี่ยงการเกิดวงจรแม่เหล็กไฟฟ้าครบรอบ (Closed Magnetic Circuit) รอบสายไฟฟ้ากระแสสลับเดี่ยว และไม่ควรจะมีวัสดุแม่เหล็กอยู่ระหว่างสายแต่ละ Phase

4.1.2 สายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีเพียง 1 เส้น ไม่ควรเดินสายขนานกับวัสดุแม่เหล็กเกิน 76 มม.

4.1.3 สายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีเพียง 1 เส้น ควรจะรองรับสายด้วยฉนวน และถ้าสายนั้นๆ มีเกราะ (Armor) ควรจะต้องมีการต่อลงดินที่จุดกึ่งกลางของการเดินสาย

4.1.4 ในบริเวณที่สายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เส้นจะต้องเดินผ่านผนังห้อง ตัวนำของแต่ละ Phase จะต้องเดินผ่านอุปกรณ์ที่ไม่นำสนามแม่เหล็ก เพื่อป้องกันการ Heat ของผนังห้องนั้นๆ

4.1.5 สายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เส้นที่เดินเป็นกลุ่ม ควรจะจัดเรียงให้สามารถเดินได้โดยเกิดผลกระทบจากความเหนี่ยวนำให้น้อยที่สุด

4.2 ความต่อเนื่องของสายและการกราวด์สาย

สายทุกเส้นจะต้องเป็นสายเส้นเดียวระหว่างจุดถึงจุด (เช่น จาก Switchboard ถึง Control Panel เป็นต้น) แต่การต่อสายสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้า 600 โวลต์หรือต่ำกว่านั้น สามารถยอมรับได้เป็นกรณีดังนี้

ก. สายไฟฟ้าที่ติดตั้งในชิ้นส่วนของระบบอาจจะต่อสายกับชิ้นส่วนอื่นในระบบได้เพื่อให้การแยกชิ้นระบบได้ง่าย

ข. สำหรับเรือที่มีการเปลี่ยนแปลงในภายหลัง สามารถใช้การต่อสายเพื่อขยายวงจรได้

ค. สายไฟฟ้าที่มีความยาวมาก ถ้าใช้การต่อสายแล้วจะทำให้การติดตั้งสายสามารถกระทำได้ดีขึ้น

ง. การต่อสายสามารถกระทำได้ในการซ่อมสายไฟฟ้า โดยที่สายไฟฟ้าที่เหลือยังมีคุณสมบัติที่ดีทั้งคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้า

แต่สำหรับสายไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อน (Propulsion Cable) สายไฟฟ้าที่ต้องให้ตัวได้ในการใช้งาน และสายไฟฟ้าในที่อันตรายไม่ควรต่อสาย

4.3 ตำบลที่ของสายไฟฟ้า

การเดินสายไฟฟ้าควรหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีความร้อนและแก๊สสูง เช่น ห้องครัว ห้องหม้อน้ำ และห้องพัดน้ำ เป็นต้น บริเวณที่อาจจะเกิดความเสียหายต่อสายไฟฟ้าจากการกระทบกระแทกได้ เช่น ห้องเก็บสินค้า เป็นต้น บริเวณที่เป็นด้านนอกของดาดฟ้า ไม่ควรติดตั้งสายไฟฟ้าในถังน้ำมัน ถังน้ำถ่วงเรือ (Ballast Tank) และถังน้ำ ยกเว้นจะเป็นการเดินสายเพื่ออุปกรณ์ภายในถังนั้นๆ

ถ้าสามารถหลีกเลี่ยงได้ ไม่ควรเดินสายไฟฟ้าภายในฉนวนกันความร้อนของผนัง ถ้าต้องการเดินสายไฟฟ้าหลังตู้ต่างๆ จุดเชื่อมต่อสายของสายไฟฟ้าจะต้องเข้าถึงได้ และจุดเชื่อมต่อสายที่อยู่ในที่ซ่อนจะต้องมีเครื่องหมายบอกตำแหน่งให้เห็นชัดเจน ไม่ควรเดินสายไฟฟ้าในห้องเย็น และไม่ควรเดินสายไฟฟ้าบริเวณก้นถัง (ท้องเรือ)

4.4 การป้องกันสาย (Cable Protection)

สายไฟฟ้าควรจะได้รับการป้องกันการเสียหายจากการกระทบกระแทกต่างๆ และควรจะได้รับการจับยึดอย่างดีเพื่อไม่ให้สายแกว่งเมื่อเกิดความสั่นสะเทือน การเดินสายไฟฟ้าผ่านฉนวนควรจะเดินสายในท่อตลอดความยาวของฉนวนที่สายไฟฟ้าจะต้องผ่าน สำหรับการเดินสายผ่านห้องทำความเย็นท่อที่สายเดินอยู่ภายในควรจะต้องมีฉนวนกันความร้อนหุ้มตลอดความยาวท่อในห้องทำความเย็นด้วย

เมื่อเดินสายในท่อ อัตราส่วนพื้นที่ (Space Factor) คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดด้านในของท่อจะต้องไม่เกิน 0.41 ยกเว้นท่อนั้นเดินสาย 2 เส้น อัตราส่วนพื้น (Space Factor) ที่จะต้องไม่เกิน 0.31 การออกแบบท่อและการจัดวางท่อควรป้องกันการเกิดการควบแน่นของน้ำภายในท่อด้วย

4.5 การจับยึดสาย (Cable Support)

การเดินสายเป็นกลุ่มควรจะมี Hangars หรือ Trays รองรับ ในลักษณะที่ไม่กีดขวางการทาสีของโครงสร้างข้างเคียง การเดินสายบน Hangar ชั้นเดียว ควรจะเดินสายเพียงชั้นเดียวเช่นเดียวกัน ยกเว้นการเดินสายนั้นเป็นไปตามตารางที่ 6 ข้อยกเว้นที่ 6 และ 8 สายไฟฟ้าสำหรับระบบควบคุมและ

สัญญาณควรจะเป็นการเดินสายแบบแถวเดียว (Single Bank) แต่อาจจะเป็นสองแถวโดยแถวที่สองเป็นสายสัญญาณและควบคุมอื่น

Clips หรือ Straps ควรจะถูกจับยึดด้วย Screw สองตัว ยกเว้น Clips หรือ Straps นั้นจับยึดสายที่มีขนาด 10 AWG หรือเล็กกว่าลงมา อุปกรณ์จับยึดควรจะทำจากวัสดุที่ทนการผุกร่อนสูงหรือถ้าเป็น Steel ควรจะได้รับการบำบัดที่สามารถป้องกันการผุกร่อนของวัสดุได้ การจับยึดสายควรจะป้องกันการห้อยของสายและระยะระหว่างเข็มขัดรัดสายไม่ควรเกิน 610 มม. ความตึงของการรัดสายควรจะอยู่ในระดับที่แน่นและไม่ทำให้สายไฟฟ้าชำรุด

4.6 การงอสาย

สายไฟฟ้าที่มีเกราะ (Armored Cables) ไม่ควรงอจนรัศมีของการงอน้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางสาย และสายไฟฟ้าที่ไม่มีเกราะ ไม่ควรงอจนรัศมีของการงอน้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางสาย

4.7 การเดินสายผ่าน Bulkhead, Decks ฯลฯ

เมื่อสายไฟฟ้าเดินผ่านดาดฟ้าหรือผนังผนึกน้ำ ควรใช้ Watertight Penetrator หรือ Stuffing Tubes และอาจใช้ Penetrator สำหรับสายไฟฟ้าหลายเส้นได้ด้วย

เมื่อสายไฟฟ้าเดินผ่านดาดฟ้าหรือผนังที่ไม่ผนึกน้ำ ควรทำ Bush ที่เหมาะสมให้สายผ่านเพื่อป้องกันความเสียหายขณะติดตั้งสาย และถ้าหากความหนาของผนังเกิน 6 มม. ก็ไม่จำเป็นต้องมี Bush แต่ขอบของช่องควรจะกลมเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับสายไฟฟ้า

4.8 แรงของการดึงสายขณะติดตั้ง

การติดตั้งสายควรจะกระทำด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับฉนวนของสายและการผิดรูปของสาย

แรงที่ใช้ในการดึงสายตรงๆ ไม่ควรเกิน 0.008 เท่าของ Tensile Strength ของลวดตัวนำในสายเมื่อการดึงสายนั้นกระทำโดยการใช้ Pulling Eye และ Bolt ถ้าการดึงสายด้วย Basket-Weave Grip แรงที่ใช้ในการดึงสายไม่ควรเกิน 640 กก.

ไม่ควรดึงสายในขณะที่อุณหภูมิเย็นจัด แต่ถ้าจำเป็นต้องดึงสายในสภาพดังกล่าวจะต้องนำสายไฟฟ้าที่จะดึงเข้าห้องอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 10 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 24 ชม.ก่อนการติดตั้ง ถ้าสายนั้นเก็บในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ก่อนการติดตั้ง

4.9 สายไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อน

ผลกระทบจากการรบกวนทางคลื่นแม่เหล็ก Impedance ฮาร์มอนิกส์ การลัดวงจร ควรจะนำเข้าพิจารณาด้วยเมื่อต้องเลือกชนิดของสายไฟฟ้า (Single- หรือ Multiple-Conductor) สำหรับระบบขับเคลื่อน

การเดินสายไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนควรจะเป็นการเดินสายให้สั้นที่สุดและสามารถเข้าถึงได้ทุกจุดของสายเพื่อการตรวจสอบ และควรจะเป็นสายเส้นเดียวจาก Terminal หนึ่งถึงอีก Terminal สายไฟฟ้าที่มีลวดตัวนำเส้นเดียวควรมีการจับยึดที่แน่นหนาเพียงพอในการป้องกันสายสบัดเมื่อเกิดการลัดวงจร

สายไฟฟ้าสำหรับระบบขับเคลื่อนที่เชื่อมต่อระหว่าง เครื่องกำเนิด Main Switchboard, Main Transformer, Static Power Converter, และ Motors ควรจะแยกต่างหากจากระบบไฟฟ้า ที่ใช้งานภายในเรือทั่วไป ไฟฟ้าสำหรับระบบควบคุม และไฟฟ้าสำหรับสัญญาณอย่างน้อย 610 มม. เพื่อลดการรบกวนของสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic Interference-EMI)

บทที่ 9
ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและกำลัง
(LIGHTING AND POWER DISTRIBUTION)

1. ลักษณะโดยทั่วไป (GENERAL)

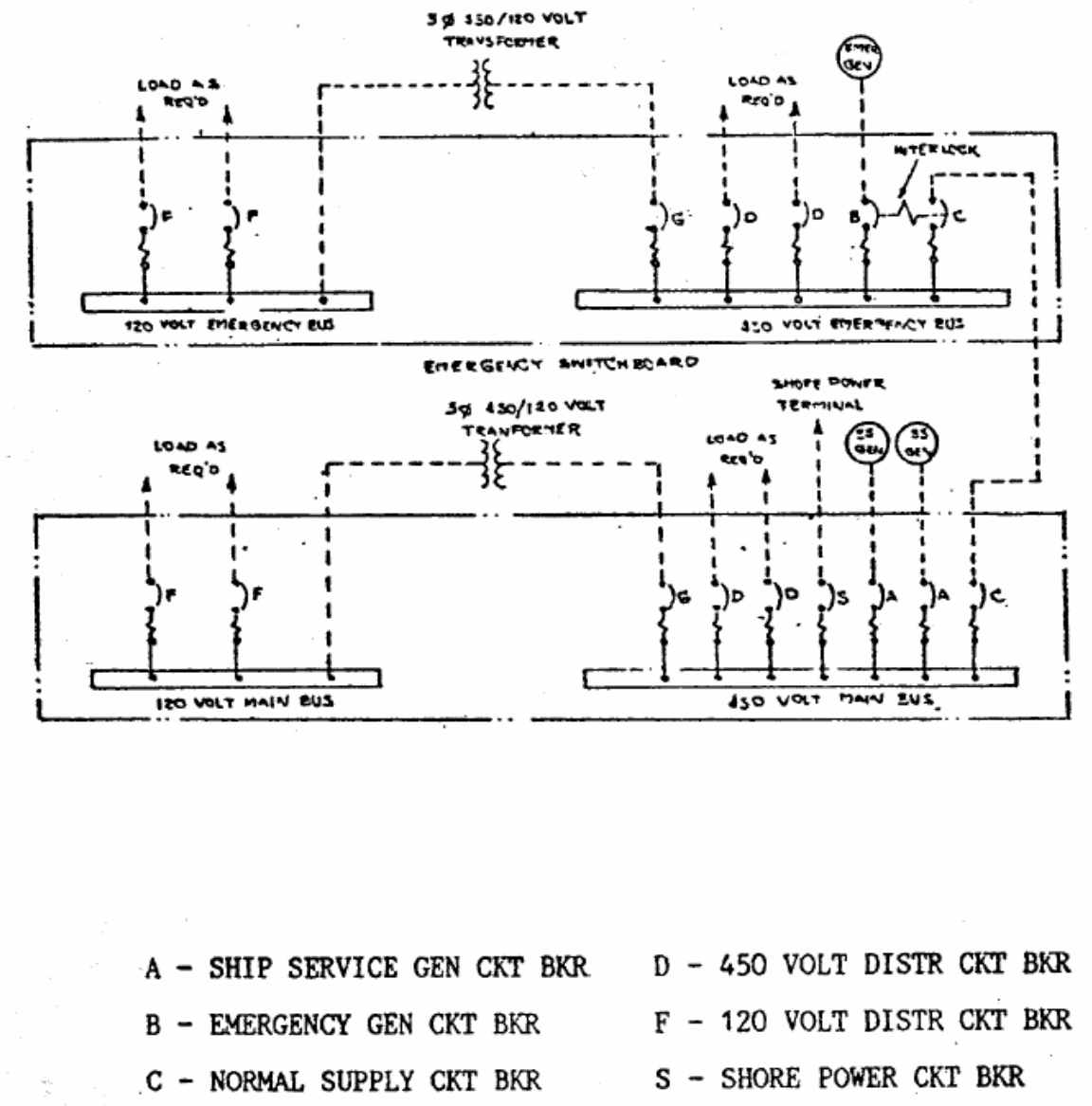
กำลังงานไฟฟ้าสำหรับโหลดแสงสว่าง และภาระกำลังต่าง ๆ ภายในเรือจะจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Ship Service Generator) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน (Emergency Generator) ซึ่งโดยปกติสวิทช์บอร์ดฉุกเฉินของระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าฉุกเฉินจะถูกจ่ายไฟฟ้าเข้าทางบัสไท(Bustie) จากสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีระบบกลไกที่ควบคุมการสับเปลี่ยนไปรับไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินโดยอัตโนมัติ ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแผงสวิทช์บอร์ดทั้งสองไปยังโหลดทางไฟฟ้าต่าง ๆ อาจมีวิธีการต่าง ๆ กัน คือ

- เข้าวงจรย่อยสำหรับวงจรควบคุมและมอเตอร์ (Individual Controller or Motor)
- เข้าแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย (Distribution Panel)
- เข้าแผงย่อยไฟกำลัง (Power Distribution Panel) หรือแผงย่อย (Panel Board) จากนั้นจึงจ่ายไปยังวงจรย่อยสำหรับวงจรควบคุม และมอเตอร์
- เข้าวงจรย่อยไฟแสงสว่าง (Lighting Branch Circuit)
- เข้าแผงย่อยแล้วจึงจ่ายไปยังวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง
- เข้าแผงจ่ายไฟฟ้าย่อยมากกว่าหนึ่งแผง แต่ละแผงจ่ายไฟฟ้าให้กับแผงย่อย และวงจรย่อย หรือทั้งสองอย่าง
- เข้าแผงสวิทช์บอร์ดอื่น จากนั้นจึงจ่ายเข้าตามข้อใดข้อหนึ่ง หรือรวมกันระหว่างข้อใดข้อหนึ่ง หรือทั้งหมดจากข้อ 1.1 – 1.6
- เข้าหม้อแปลงลดกำลังดันไฟฟ้า (Power Step-Down Transformer) แล้วจึงจ่ายเข้าตามข้อหนึ่งข้อใดหรือรวมกันระหว่างข้อหนึ่งข้อใด หรือทั้งหมดจาก ข้อ 1.1 – 1.6 อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าระบบจ่ายไฟฟ้าจะเป็นลักษณะใดก็ตาม แม้แต่ในเรือขนาดเล็ก หรือระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ ควรจะแยกระบบไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้ากำลังออกต่างหากจากกัน หลังจากจ่ายไฟฟ้าออกจากแผงสวิทช์บอร์ดหลักของเรือหรือแผงสวิทช์ฉุกเฉินแล้ว

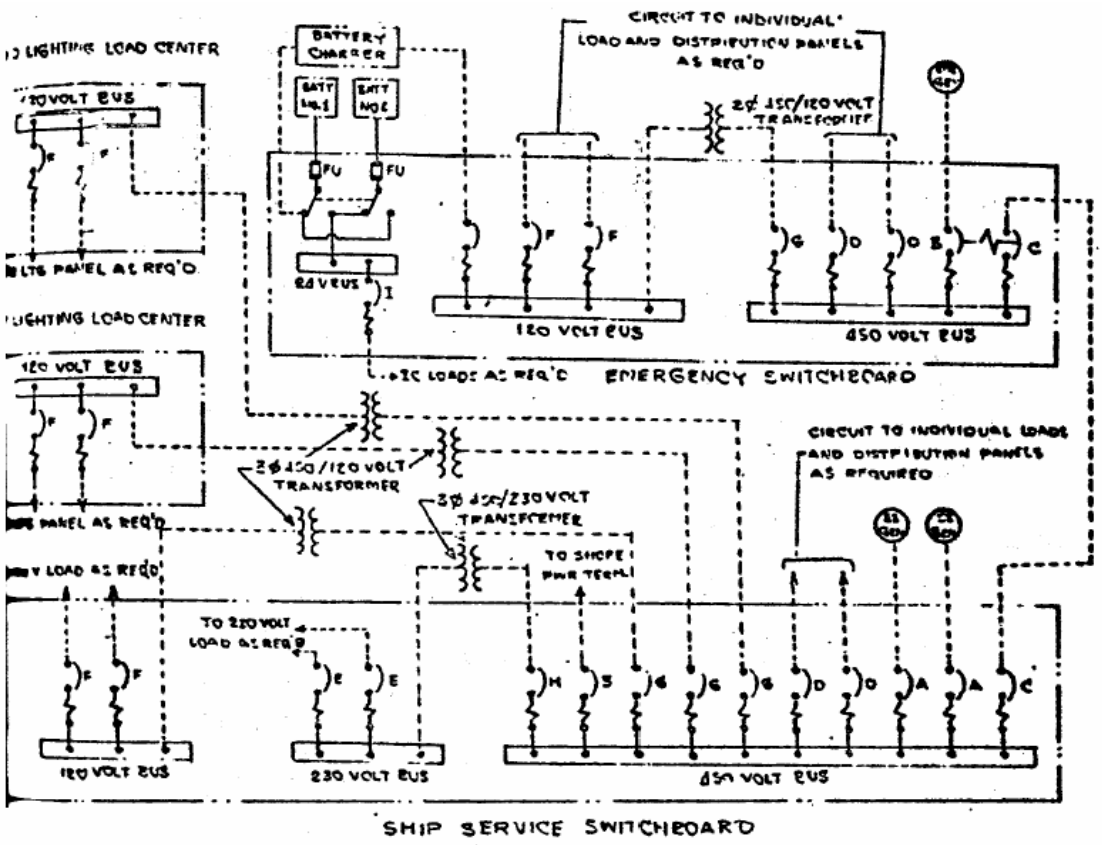
ในเรือขนาดใหญ่ที่มีแผงสวิทช์บอร์ดย่อย (Sub-Distribution Switchboard) หรือสวิทช์บอร์ดศูนย์กลางโหลด (Load-Center Switchboard) ติดตั้งอยู่ตามข้อ 1.7 โดยปกติจะติดตั้งบริเวณหัว-ท้าย และกลางลำเรือ บริเวณศูนย์กลางของโหลดทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่สวิทช์บอร์ดย่อยดังกล่าว จ่ายกำลังไฟฟ้าไปให้เป็นการติดตั้งในลักษณะที่ประหยัดกว่าการเดินสายไฟป้อน (Feeder) ที่ยาวมาก ๆ

ไปตามส่วนต่างๆ ของเรือ ทั่ว ๆ ไปแล้ว สวิทช์บอร์ดดังกล่าวจะติดตั้งในห้องที่จัดไว้เป็นพิเศษ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณนั้นด้วย โดยจัดให้มีโต๊ะงาน (Workbench) มีตู้หรือชั้นสำหรับเก็บหลอดไฟอะไหล่ ฟิวส์ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่จำเป็นในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณนั้น ๆ

ตัวอย่างระบบจ่ายไฟฟ้าในเรือตามรูปที่ 1, 2, และ 3

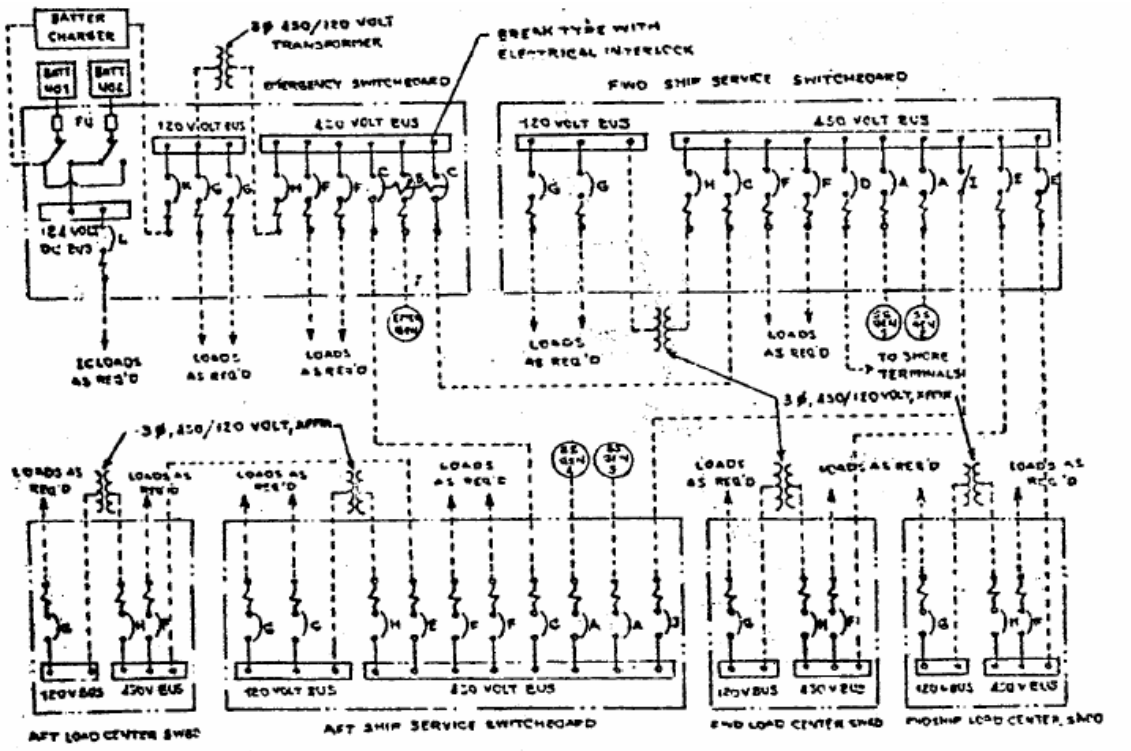


รูปที่ 1 Typical Generator and Bustie Diagram



A - SHIP SERVICE GEN CKT BKR
B - EMERGENCY GEN CKT BKR
C - NORMAL SUPPLY CKT BKR
D - 450 VOLT DISTR CKT BKR
E - 230 VOLT DISTR CKT BKR
F - 120 VOLT DISTR CKT BKR
G - 450/120 V XFMR CKT BKR
H - 450/230 V XFMR CKT BKR
I - 24 VOLT DISTR CKT BKR
S - SHORE POWER CKT BKR

รูปที่ 2 Typical Generator and Bustie Diagram



A - SHIP SERVICE GEN CKT BKR
B - EMERGENCY GEN CKT BKR
C - NORMAL SUPPLY TO EMER GEN CIRCUIT BREAKER
D - SHORE POWER CIRCUIT BKR
E - POWER SUPPLY 10 LOAD CENTER CIRCUIT BREAKER
F - 450 VOLT DISTR CIRCUIT BKR
G - 120 VOLT DISTR CIRCUIT BKR
H - LOCAL 450/120 V XFMR CIRCUIT BKR
I - BUSTIE SWITCH
J - BUS TIE CIRCUIT BREAKER
K - BATT CHARGER CIRCUIT BKR
L - 24 VOLT DC DISTR CKT BKR
FU- FUSE
SS- SHIP SERVICE
EMER - EMERGENCY
XFMR - EMERGENCY

รูปที่ 3 Typical Generator and Bustie Diagram

2. ระบบจ่ายไฟฟ้าแสงสว่าง (LIGHTING DISTRIBUTION)

บัสไฟฟ้าแสงสว่างที่อยู่ในแต่ละแผงสวิทช์บอร์ดจ่ายไฟฟ้า จะถูกป้อนโดยไฟฟ้าจากชุดทรานฟอร์เมอร์สามเฟส ซึ่งประกอบด้วย ทรานฟอร์เมอร์หนึ่งเฟสขนาด 450/120 โวล์ท หรือแบบ DELTA-DELTA (Δ-Δ) ยกเว้นในกรณีที่ติดตั้งหลอดฟูลออเร็สเซนต์ 380/220 โวลท์จำนวน 3 ชุดต่อกัน แบบติดเร็ว (Rapid – Start (Without Starter) Fluorescent Lamps) ขดทางด้านทุติยภูมิจะต่อกัน

แบบ WYE (Y) โดยสายสะเทิน(Neutral) ต่อกราวด์กับตัวเรือ เพื่อความเชื่อถือในการทำงานของหลอดไฟแบบติดเร็วจากบัสไฟฟ้าแสงสว่างดังกล่าว จะส่งกำลังไฟฟ้าสามเฟสให้กับแผงย่อยไฟแสงสว่าง ซึ่งจะจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างในลักษณะไฟฟ้าหนึ่งเฟส ดังนั้นจะต้องพิจารณาถึงความสมดุล ระหว่างเฟสในการต่อวงจรไฟฟ้าแสงสว่างไปจากแผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง

2.1 สายป้อนไฟฟ้าแสงสว่าง (LIGHTING FEEDERS) พลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดในเรือจะถูกส่งมาจากแผงสวิทช์บอร์ดหลักของเรือ หรือจากศูนย์กลางโหลด โดยสายป้อนเข้าสู่แผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่างในทางปฏิบัติเพื่อความประหยัด โดยปกติสายป้อนแต่ละสายจะจำกัดขนาดของโหลดไว้ไม่ให้เกิน 100 แอมป์ ซึ่งจะทำให้สายป้อนอาจจะต่อตรงจากบัสผ่าน Circuit Breaker ขนาด 100 แอมป์

ในบริเวณห้องเครื่องจักรจะต้องมีสายป้อนอย่างน้อยสองสายจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้าแสงสว่างต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ภายใน

ในระวางบรรทุกสินค้าจะต้องมีสายป้อนหนึ่งสายป้อนพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าแสงสว่างเฉพาะแต่ละระวาง เพื่อที่จะสามารถตัดกระแสไฟที่จ่ายให้กับระวางต่าง ๆ จากแผงสวิทช์บอร์ดเมื่อเรืออยู่ในทะเลหรือไม่มีความจำเป็นแล้ว เพื่อป้อนกันอันตรายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นเช่นไฟไหม้ เนื่องจากไฟฟ้าลัดวงจรหรือ อื่น ๆ (Electrical Fire Hazards)

ในพื้นที่ทำงานและอยู่อาศัยนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วควรจะมีสายป้อนที่แยกกันต่างหาก ตามความจำเป็นเพื่อสะดวกในการใช้งานและการควบคุม

ในเรือโดยสารซึ่งแบ่งพื้นที่ภายในเรือออกเป็นเขตย่อย ๆ โดยผนังกันไฟ (Sub-divided into Zones by Fire–Screen Bulkheads) สายป้อนสำหรับไฟฟ้าแสงสว่างที่จำเป็นต่างๆ ควรจะแยกกันต่างหากสำหรับแต่ละเขตที่อยู่ติด ๆ กัน

สายป้อนจากแผงสวิทช์บอร์ดหลักและแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉินที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับพื้นที่เดียวกันหรือพื้นที่ติด ๆ กัน ควรจะเดินแยกจากกันให้ห่างที่สุดท่าที่จะทำได้ เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายกับสายป้อนทั้งสองในเวลาเดียวกันให้น้อยที่สุด ในกรณีที่เกิดความเสียหายอย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นในบริเวณนั้น

ขนาดของสายป้อนไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นขนาดที่คำนวณจากขนาดของโหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่บวกค่าเฉลี่ยของโหลดในวงจรที่ต่อจากสวิทช์ หรือเบรคเกอร์สำรองของแผงย่อยที่สายป้อนนั้นจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้

Lighting Feeder Cable Size = 100 % Connected Load + ½ (Circuit Loads of Spare Switch or Breaker on Supplied Panel)

2.2 ตำบลที่ติดตั้งแผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง (LOCATION OF LIGHTING PANELS)

แผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมด ควรติดตั้งอยู่ในบริเวณที่สามารถเข้าถึงได้สะดวกสำหรับเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบ และควรติดตั้งให้สามารถควบคุมโหลดแสงสว่าง ในพื้นที่นั้น ๆ ได้จากบริเวณเดียว (Centralized)

ห้องเครื่องจักรต่างๆ แผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่างควรติดตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่หลักที่ทำงานหรือทางเข้าหลักของห้องนั้น ๆ

แผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง สำหรับระวางบรรทุกสินค้าจะติดตั้งอยู่ในห้องอุปกรณ์ควบคุมการขนถ่ายสินค้า ซึ่งทำให้สามารถปิดไฟในระวางต่าง ๆ ได้เมื่อขน-ถ่ายเรียบร้อยแล้ว แผงย่อยต่าง ๆ เหล่านี้ไม่อนุญาตให้ติดตั้งไว้ในระวางบรรทุกจำนวนของแผงย่อยจะขึ้นอยู่กับขนาดและการแบ่งพื้นที่ภายในเรือ โดยปกติแล้วแต่ละระวางาจะมีแผงย่อยหนึ่งแผงควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดในระวางนั้น

แผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง สำหรับบริเวณใช้สอยของผู้โดยสารและประจำเรือ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากโครงสร้างและการแบ่งเขตย่อยในเรือ โดยทั่ว ๆ ไปจะมีตั้งแต่หนึ่งแนวขึ้นไปสำหรับแต่ละดาดฟ้าในแต่ละเขตย่อยป้อนกันไฟไหม้ อย่างไรก็ตาม แผงย่อยแต่ละแผงอาจจะจ่ายไฟไปยังวงจรย่อยที่อยู่ต่างดาดฟ้าก็ได้แผงย่อยแต่ละแผงควรติดตั้งอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของโหลดไฟฟ้าที่จ่ายจากแผงนั้นให้มากที่สุด เพื่อลดขนาดของแรงเคลื่อนตกในวงจรย่อยต่าง ๆ โดยปกติจะติดตั้งไปตามช่องทางเดิน

2.3 วงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง (LIGHTING BRANCH CIRCUIT) วงจรไฟฟ้าแสงสว่างอาจมีขนาด 15 แอมป์ 20 แอมป์ 30 แอมป์ หรืออย่างอื่นขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะในการใช้งาน

วงจรย่อยขนาด 15 แอมป์ ใช้กับไฟฟ้าแสงสว่างทั่ว ๆ ไป ในแต่ละวงจรจะมีโหลดต่ออยู่มากที่สุด 15 แอมป์ (1380 วัตต์) เมื่อใช้สายไฟขนาด 12 AWG หรือ 880 วัตต์ เมื่อใช้สายไฟขนาด 14 AWG

วงจรย่อยขนาด 20 แอมป์ ปกติใช้จ่ายให้กับดวงโคมที่ติดตั้งประจำที่แบบไม่มีสวิทช์ปิด-เปิด สำหรับระวางบรรทุกของหรือไฟฟ้าแสงสว่างดาดฟ้า แต่ละวงจรควรจำกัดโหลดสูงสุดที่ต่อไม่เกิน 16 แอมป์ และใช้สายไฟขนาดไม่เล็กกว่า 12 AWG

วงจรย่อยขนาด 30 แอมป์ ปกติใช้จ่ายไฟฟ้าให้กับดวงโคมที่ติดตั้งประจำที่แบบไม่มีสวิทช์ปิด-เปิด ซึ่งขั้วหลอดแบบ MOGUL (OVER) Type หรือหลอดไฟขนาดมากกว่า 300วัตต์ แต่ละวงจรควรจำกัดโหลดที่ต่อในวงจรสูงสุดไม่เกิน 24 แอมป์ และใช้สายไฟขนาดไม่เล็กว่า 10 AWG

อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เครื่องทำความร้อน และมอเตอร์เล็ก ๆ ที่ใช้ไฟฟ้าในลักษณะเดียวกับไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาจจะใช้ไฟฟ้าจากแผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่างได้ โดยแต่ละวงจรย่อยควรจะจำกัดโหลดที่ต่อไม่ให้เกิน 30 แอมป์

ขนาดของโหลดที่ต่อเข้ากับวงจรย่อยในวงจรไฟฟ้าแสงสว่างจะคิดจากขนาดวัตต์จริง ๆ ของหลอดไฟ สำหรับหลอดชนิดไส้แต่จะไม่ต่ำกว่า 50 วัตต์ต่อดวง ยกเว้นอุปกรณ์ที่ออกแบบไม่สามารถที่จะใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดมากกว่าที่ติดตั้งไว้เดิม สำหรับหลอดไฟแบบ Electric-Discharge Type Lamp เช่น ฟลูออเรสเซนต์ หรือไอปรอท จะคิดจากขนาดกระแสป้อนของบาลลาสท์ (Ballast) ของดวงโคมแต่ละดวง ปลั๊กเสียบ (Receptacle Outlets) ที่ติดตั้งเพื่อความสะดวกของผู้โดยสารหรือประจำเรือ ไม่นับรวมอยู่เป็นส่วนของโหลดที่ต่อในวงจรย่อย

ดวงโคมพิเศษต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยหลอดไฟวัตต์ต่ำ ๆ (Low-Wattage Lamp) รับไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อโหลดทั้งหมดของดวงโคมไม่เกิน 12 แอมป์ วงจรไฟฟ้าป้อน (Supply Circuit) จะควบคุมโดยแผงย่อยจ่ายไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และขนาดของกระแสในแต่ละตัวนำจะต้องไม่เกิน 12 แอมป์

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection) ของวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างมีข้อกำหนดดังนี้ คือ ใช้ฟิวส์ขนาด 10 แอมป์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ 15 แอมป์ สำหรับวงจรขนาด 880 วัตต์ ใช้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 15 แอมป์ สำหรับวงจรขนาด 1380 วัตต์ ใช้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 20 แอมป์ และ 30 แอมป์ สำหรับวงจรขนาด 20 แอมป์ และ 30 แอมป์ ตามลำดับ

โดยปกติในห้องเครื่องจักรติดตั้งวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างอย่างน้อยสองวงจร ดวงโคมของแต่ละวงจรย่อยจะติดตั้งสลับกัน เพื่อป้องกันไม่ให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของห้องมืดเมื่อเกิดความเสียหายกับวงจรย่อยวงจรใดวงจรหนึ่ง และจะไม่มีการติดตั้งสวิทช์ในวงจรย่อยดังกล่าว เนื่องจากไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดจะต้องควบคุมจากแผงย่อยเพียงอย่างเดียว

ในห้องพักผู้โดยสารและห้องใช้สอยสาธารณะ ควรจะมีวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างอย่างน้อยสองวงจรและติดตั้งในลักษณะที่เกิดความเสียหายขึ้นกับวงจรใดวงจรหนึ่ง จะยังมีความสว่างเพียงพอสำหรับใช้งานในพื้นที่นั้น ๆ

ไฟเพดานในห้องพักแต่ละห้อง ในห้องน้ำ ห้องเก็บของ หรือพื้นที่เล็ก ๆ อื่น ๆ ที่มีสภาพคล้าย ๆ กันจะต้องควบคุมจากสวิทช์ที่ติดตั้งไว้บริเวณทางเข้าห้องนั้น ๆ โดยติดตั้งอยู่สูงจากพื้นดาดฟ้าประมาณ 4 ฟุต ห้องพักที่มีประตูทางเข้ามากกว่า 1 ประตู ควรมีสวิทช์ควบคุมติดตั้งไว้ทุก ๆ ทางเข้า ไฟหัวนอน ไฟโต๊ะเขียนหนังสือ ห้องน้ำ โต๊ะแต่งตัว จะมีสวิทช์ควบคุมติดตั้งอยู่กับตัวอุปกรณ์ หรือติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้ ๆ

ไฟฟ้าแสงสว่างช่องทางเดิน (Passageway Lighting) จะต้องมีวงจรย่อยเฉพาะเป็นพิเศษไม่รวมกับอย่างอื่น และจะต้องมีการจัดแบ่งระหว่างวงจรย่อยของระบบไฟฟ้าเรือ และวงจรย่อยของระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน เพื่อให้แน่ใจว่ามีความสว่างเพียงพอความต้องการทั้งในระบบไฟฟ้าเรือปกติและไฟฟ้าฉุกเฉิน

พัดลมติดผนังต่าง ๆ ควรรับไฟฟ้าจากวงจรย่อยเฉพาะ ยกเว้นในกรณีที่มีจำนวนน้อยมาก อาจรับมาจากวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างได้

วงจรย่อยไม่ควรจะเดินผ่านผนังกั้นไฟหรือผนังผนึกน้ำ (Fire-Screen or Watertight Bulkhead)

3. ระบบจ่ายไฟฟ้ากำลัง (POWER DISTRIBUTION)

โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว โหลดไฟฟ้ากำลังในเรือ หมายถึง มอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องจักรช่วงต่าง ๆ อุปกรณ์ทำความร้อน และโหลดดังกล่าวรับไฟฟ้าจากสายป้อนเฉพาะสำหรับตัวเองหรือทั้งกลุ่ม โดยสายป้อนดังกล่าวรับไฟฟ้ามาจากสวิทช์บอร์ดจ่ายกำลังไฟฟ้าของเรือ สายป้อนเฉพาะโดยปกติจะใช้กับเครื่องจักรช่วยขนาดใหญ่ในระบบขับเคลื่อน ซึ่งติดตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกันกับแผงสวิทช์บอร์ด แต่ก็สามารถจ่ายไปยังมอเตอร์ขนาดใหญ่ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของเรือ กลุ่มของโหลดจะได้รับไฟฟ้าจากสายป้อนซึ่งจ่ายไฟฟ้าผ่านแผงย่อยจ่ายไฟฟ้าซึ่งติดตั้งอยู่ในศูนย์กลางของโหลดต่าง ๆ ที่รับไฟฟ้าจากแผงย่อยดังกล่าว

3.1 สายป้อนไฟฟ้ากำลัง (POWER FEEDER) อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือแผงย่อยไฟฟ้ากำลังต่อไปนี้ควรมีสายป้อนไฟฟ้ากำลังเฉพาะ คือ

3.1.1 แผงย่อยต่าง ๆ และตู้ควบคุมรวมของเครื่องจักรช่วยต่าง ๆ ในห้องเครื่องจักร และอุปกรณ์ในห้องเย็น (Refrigeration Equipment)

3.1.2 พัดลมระบายอากาศในห้องเครื่องจักร

3.1.3 พัดลมระบายอากาศในบริเวณพักอาศัย และห้องทำงาน

3.1.4 พัดลมระบายอากาศในระวางบรรทุกสินค้า

3.1.5 เครื่องใช้ไฟฟ้าในการประกอบอาหาร

3.1.6 เครื่องทำความร้อนที่ไม่ใช้เป็นเพียงชุดเดียวต่างหาก

3.1.7 แต่ละกลุ่มของอุปกรณ์ขน-ถ่ายสินค้า

3.1.8 ตู้ต่อไฟบก

Circuit Breaker สำหรับวงจรไฟป้อนของพัดลมระบายอากาศต่าง ๆ จะต้องติดตั้งในลักษณะที่สามารถควบคุมจากระยะไกลในการปลดวงจร ในกรณีที่เกิดไฟไหม้อุปกรณ์ควบคุมจากระยะไกลเพื่อปลดวงจรสำหรับพัดลมระบายอากาศในห้องเครื่องจักร ควรจะติดตั้งในช่องทางเดินที่ตรงไปยังและอยู่นอกห้องเครื่องจักร สำหรับระบบระบายอากาศอื่น ๆ โดยปกติจะติดตั้งไว้ในห้องถือท้าย หรือบริเวณใกล้ ๆ ห้องถือท้ายที่อนุญาตไว้ตามข้อกำหนด อุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวประกอบด้วยสวิทช์ปกติปิด (Normally Closed Switch) ซึ่งในขณะทำงานเพื่อตัดวงจรนั้นจะทำให้อุปกรณ์ตัดวงจรเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำกว่าเกณฑ์ (Under-voltage Trip Device) ของ Circuit Breaker ทำการปลดวงจร

ของ Circuit Breaker การติดตั้งอาจจะทำให้ปลดวงจรของ Circuit Breaker หลาย ๆ ตัว พร้อม ๆ กัน ในการกดสวิทช์อุปกรณ์ควบคุมเพียงครั้งเดียว สวิทช์ดังกล่าวจะติดตั้งอยู่ในกล่องที่สามารถทุบกระจกด้านหน้าเมื่อต้องการกดสวิทช์

วงจรย่อยไฟฟ้ากำลัง สำหรับกลุ่มอุปกรณ์ขน-ถ่ายสินค้า ไม่ควรมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะต้องใช้งานในขณะเรือเดินประกอบอยู่ในวงจร เนื่องจากวงจรย่อยดังกล่าวควรจะตัดออกจากสวิทช์บอร์ดจ่ายไฟเมื่อเรืออยู่ระหว่างเดินทางในทะเล อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวก กว้านและกว้านสมอ อาจรับไฟฟ้าจากวงจรนี้ได้

เครื่องหางเสือจะต้องมีสายป้อนสองสายจ่ายไฟฟ้าให้ โดยสายป้อนทั้งสองจะต้องติดตั้งแยกห่างจากกันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อความเป็นไปได้ในการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบน้อยที่สุด ในกรณีที่เกิดความเสียหายอย่างหนึ่งอย่างใด (Single Casualty) โดยปกติสายป้อนทั้งสองสายจะเดินตรงมาจากเมนสวิทช์บอร์ด อย่างไรก็ตามในกรณีที่ขนาดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินมีเพียงพอ สายป้อนสายหนึ่งอาจมาจากสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน แผงย่อยไฟฟ้ากำลังของเครื่องหางเสือ จะต้องติดตั้งกลไกลควบคุมการทำงานให้มีการต่อไฟฟ้าจากสายป้อนเข้าสู่มอเตอร์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในระบบได้จากสายป้อนเดียวเท่านั้น

สายป้อนไฟฟ้ากำลังสำหรับระบบหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ควรมีขนาดในการรับกระแส (Minimum Current-Carrying Capacity) ได้ดังต่อไปนี้

(ก) สายป้อนสำหรับมอเตอร์ตัวเดียว ไม่น้อยกว่า 125% ของขนาดกระแสเต็มที่ของมอเตอร์นั้น ๆ

(ข) สายป้อนสำหรับกลุ่มมอเตอร์ ไม่น้อยกว่า 125% ของพิกัดกระแสของมอเตอร์ขนาดใหญ่สุดในกลุ่มบวก ผลรวมของพิกัดกระแสของมอเตอร์ที่เหลือทั้งหมดบวก 50% ของพิกัดกระแสของสวิทช์สำรองในแผงย่อยที่รับไฟฟ้าจากสายป้อน

(ค) สายป้อนสำหรับอุปกรณ์ขน-ถ่ายสินค้า เครื่องมือโรงงาน กว้านต่าง ๆ กว้านสมอให้พิจารณาจากข้อกำหนดเฉพาะอุปกรณ์อื่น ๆ

(ง) สายป้อนสำหรับแผงย่อยอุปกรณ์ประกอบอาหาร ไม่น้อยกว่า 100% ของกำลังไฟฟ้าของโหลด 50 KW แรก หรือ ½ ของโหลดที่ต่ออยู่ทั้งหมดแล้วแต่ว่าอย่างไหนาจะมากกว่าบวก 65% ของโหลดส่วนที่เหลือและบวก 50% ของพิกัดของสวิทช์สำรองบนแผงย่อยนั้น

(จ) สายป้อนสำหรับทรานฟอร์เมอร์ ไม่น้อยกว่า 100% ของพิกัดกระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

(ฉ) สายป้อนสำหรับอุปกรณ์หางเสือ ไม่น้อยกว่าผลรวมทั้งหมดของพิกัด โหลดที่ทำงานพร้อมกันทั้งหมดในขณะใช้งาน

3.2 ตำบลที่ติดตั้งแผงย่อยไฟฟ้ากำลัง (LOCATION OF POWER PANELS)

แผงย่อยไฟฟ้ากำลังสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในห้องเครื่องจักร รวมทั้งพัดลมระบายอากาศในห้องเครื่องจักร โดยปกติจะติดตั้งในบริเวณพื้นที่ใช้งานหลัก โดยพิจารณาให้สามารถเข้าถึงได้สะดวก เพื่อการ ใช้งานการซ่อมบำรุงและอยู่บริเวณศูนย์กลางของเครื่องจักรช่วยต่าง ๆ ที่รับไฟฟ้าจากแผงย่อย

แผงย่อยสำหรับอุปกรณ์ขน-ถ่ายสินค้า และพัดลมระบายอากาศในระวางบรรทุกสินค้า โดยปกติจะติดตั้งในห้องติดตั้งอุปกรณ์ขน-ถ่ายสินค้า

แผงย่อยของเครื่องหางเสือซึ่งรับไฟฟ้าจากสายป้อนสองสาย (Transfer Panel) ติดตั้งอยู่ในห้องหางเสือ

แผงย่อยสำหรับระบบระบายอากาศในบริเวณที่พักอาศัยและสถานที่ทำงานต่าง ๆ และแผงย่อยที่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดทั่ว ๆ ไป (General Service Panels) ติดตั้งอยู่บริเวณใกล้ ๆ กับโหลดที่รับไฟฟ้าให้มากที่สุด ในกรณีที่โหลดทั้งหมดของแผงย่อยนั้นติดตั้งอยู่ในส่วนเดียวกัน (Single-Compartment) แผงย่อยก็ควรจะติดตั้งอยู่ในส่วนนั้นด้วย

แผงย่อยอุปกรณ์ประกอบอาหาร (Galley Panel) ติดตั้งอยู่ภายในพื้นที่ประกอบอาหารหรือในช่องทางเดิน และอยู่ติด ๆ กับทางเข้าห้องประกอบอาหาร

3.3 วงจรย่อยไฟฟ้ากำลัง (POWER BRANCH CIRCUITS)

วงจรย่อยไฟฟ้ากำลังภายในเรือ ควรจะเป็นวงจรเฉพาะสำหรับ

3.3.1 มอเตอร์แต่ละตัวที่มีขนาดกระแสเมื่อมีโหลดเต็มที่ (Full-Load Current) ตั้งแต่ 6 แอมป์ขึ้นไป

3.3.2 เครื่องทำความร้อนแต่ละเครื่องไม่ว่าจะมีขนาดเท่าไรก็ตาม

3.3.3 กลุ่มของโหลดที่มีขนาดกระแสไม่เกิน 15 และ 20 แอมป์

3.3.4 กลุ่มของโหลดขนาดเล็กต่าง ๆ ซึ่งเมื่อรวมพิกัดกระแสทั้งหมดแล้ว ไม่เกิน 7.5 แอมป์อาจจัดเข้าไว้ในวงจรย่อยเดียวกันโดยรับไฟฟ้าผ่านแผงจ่ายไฟย่อย Sub-Distribution Panel)

ขนาดของสายเคเบิลต่ำสุด และอุปกรณ์ป้องกันสำหรับวงจรย่อยไฟฟ้ากำลังต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วคือ

- วงจรย่อยในข้อ 3.3.1 3.3.2 3.3.4 สายไฟจะต้องไม่ต่ำกว่าขนาด 14 AWG และควรป้องกันโดย เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดไม่เกิน 15 แอมป์ หรือฟิวส์ที่มีขนาดไม่เกิน 10 แอมป์

- วงจรย่อยในข้อ 3 สายไฟจะต้องไม่ต่ำกว่าขนาด 12 AWG และ 10 AWG ตามลำดับ และอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent) ขนาดไม่เกิน 15 และ 20 แอมป์ ตามลำดับ

การพิจารณาขนาดกระแส (Current – Carrying Capacity) ของวงจรย่อย สำหรับมอเตอร์ควรมีขนาด 125% ของโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ และสำหรับวงจรย่อยอื่น ๆ ควรมีขนาดเท่ากับ 100% ของโหลดเต็มที่ที่ต่ออยู่ทั้งหมด

โดยทั่ว ๆ ไป วงจรย่อยแต่ละวงจรจะต้องมีการป้องกันโดยใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งทำงานตัดวงจรโดยความร้อนหรือแม่เหล็ก (Thermal or Magnetic Trips) หรือโดยฟิวส์ เนื่องจากวงจรย่อยแต่ละวงจรมีข้อกำหนดความต้องการต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสำคัญของระบบนั้น ๆ เช่น ระบบหางเสือ ระบบอุปกรณ์เดินเรือ หรือคุณลักษณะเฉพาะทางกลของอุปกรณ์ เช่น กว้านสมอ กว้านเรือบด พัดลมระบายอากาศ ดังนั้นการพิจารณาการป้องกันสำหรับวงจรต่าง ๆ จะต้องพิจารณาถึงข้อกำหนดพิเศษของแต่ละวงจร

การตั้งค่าการทำงานของ Magnetic Instantaneous Trip สำหรับวงจรย่อยของมอเตอร์ควรจะตั้งให้ทำงานที่ค่ากระแสที่มีขนาดสูงกว่าขนาดกระแสเริ่มเดินของมอเตอร์ และสำหรับวงจรที่ให้ภาระโดยผ่านทรานฟอร์เมอร์จะต้องตั้งให้ทำงานมีค่ากระแสที่มีขนาดสูงกว่าขนาด Inrush Current ของทรานฟอร์เมอร์

วงจรย่อยไฟฟ้ากำลังที่ต้องการขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แตกต่างจากไฟฟ้าหลักของเรือ เช่น อุปกรณ์ประกอบอาหาร อุปกรณ์ซักรีด เป็นต้น ให้รับไฟฟ้าที่แปลงจากทรานฟอร์เมอร์ ซึ่งอาจเป็นทรานฟอร์เมอร์เฉพาะสำหรับโหลดนั้น หรือชุดทรานฟอร์เมอร์ที่ติดตั้งก่อนแผงย่อยจ่ายไฟฟ้าเข้าวงจรย่อยเหล่านั้น

4. ไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้ากำลังฉุกเฉิน (EMERGENCY LIGHTING AND POWER)

โดยปกติแล้วเรือทั่ว ๆ ไปที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะมีไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินยกเว้นเรือโดยสารขนาดเล็ก ซึ่งใช้งานเฉพาะระหว่างเวลากลางวัน (พระอาทิตย์ขึ้นถึงพระอาทิตย์ตก) และเรือโดยสารที่ใช้งานในระยะที่ห่างจากฝั่งไม่เกิน 15 ไมล์ ซึ่งระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั่วไปที่ใช้เป็นระบบอิสระจากระบบขับเคลื่อน และติดตั้งอยู่เหนือดาดฟ้าผนึกน้ำ (Watertight Deck)

4.1 ระบบไฟฟ้าฉุกเฉินในเรือใหญ่โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ระบบไฟฟ้าฉุกเฉินชั่วคราว (Temporary Source of Emergency Power) และระบบไฟฟ้าฉุกเฉินหลัก (Final Source of Emergency Power) ระบบไฟฟ้าฉุกเฉินชั่วคราว เป็นระบบที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าฉุกเฉินให้กับโหลดที่กำหนดในช่วงระหว่างที่ระบบไฟฟ้าฉุกเฉินหลักยังไม่สามารถจ่ายไฟได้ โดยทั่ว ๆ ไป ระบบชั่วคราว คือ แบตเตอรี่ไฟฉุกเฉิน และระบบหลัก คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน

4.1.1 ระบบไฟฟ้าฉุกเฉินชั่วคราว จะต้องเพียงพอที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าดังต่อไปนี้คือ

(ก) ไฟฟ้าแสงสว่างเดินเรือ (Navigation Lights)

(ข) ดวงโคมจำนวนที่เพียงพอสำหรับให้ความสว่างในห้องเครื่องจักร สำหรับการทำงานและตรวจสอบภายใต้สภาวะฉุกเฉิน และอำนวยความสะดวกในการแก้ไขระบบไฟฟ้าหลัก

(ค) ไฟฟ้าแสงสว่างในช่องทางเดิน บันได ช่องทางหนี (Escape Trunks) บริเวณที่พักอาศัยสำหรับผู้โดยสารและประจำเรือ พื้นที่ใช้สอยสาธารณะ ห้องเครื่องจักร บริเวณทำงานต่างๆ ที่เพียงพอสำหรับให้ผู้โดยสาร และประจำเรือสามารถหาทางขึ้นมาสู่ดาดฟ้าเปิด และบริเวณเรือช่วยชีวิตและจุดรวมซึ่งประตูผนึกน้ำและประตูกันไฟจะปิด

(ง) ความสว่างที่เพียงพอ สำหรับความปลอดภัยในการควบคุมการทำงานของประตูผนึกน้ำแบบ Power – Operated Watertight Door

(จ) ดวงโคมหนึ่งหรือหลายดวงในห้องประกอบอาหาร ห้องเตรียมอาหาร ห้องวิทยุ ห้องหางเสือ ห้องไฟฟ้าฉุกเฉิน ห้องแผนที่ ห้องถือท้าย ห้องพักผ่อน และห้องรับประทานอาหารของประจำเรือ

(ฉ) ไฟแสงสว่างสำหรับเรือบดและดาดฟ้าที่จะลงจากเรือและจุดรวมผู้โดยสารเพื่อการขน-ถ่ายลงจากเรือไปยังเรือช่วยชีวิต

(ช) ระบบสื่อสารที่อาศัยไฟฟ้า (Electric Communication System) ที่เพียงพอภายใต้สภาวะฉุกเฉินชั่วคราวที่ไม่มีแบตเตอรี่ที่จัดไว้เฉพาะสำหรับอุปกรณ์ หรือระบบนั้น ๆ

(ซ) พลังงานที่เพียงพอในการทำงานของระบบประตาผนึกน้ำ (Power-Operated Watertight Door System)

(ฌ) ระบบประกาศคำสั่งฉุกเฉิน (Emergency Loudspeaker System)

(ญ) ระบบล็อคและเปิดประตูกันไฟ (Fire-Screen Door Holding and Release System)

(ฎ) จ่ายให้กับมอเตอร์-เย็นเนอเรเตอร์ หรืออุปกรณ์แปลงไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับระบบสื่อสาร หรืออื่น ๆ ที่จำเป็นในขณะฉุกเฉินเพื่อความปลอดภัย

4.1.2 ระบบไฟฟ้าฉุกเฉินหลัก จะต้องเพียงพอที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าดังต่อไปนี้ คือ

(ก) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่รับกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าฉุกเฉินชั่วคราวทั้งหมด

(ข) ไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการควบคุมการหย่อนเรือช่วยชีวิตและแพชูชีพ (Life Raft) และภายหลังจากปล่อยเรือช่วยชีวิต หรือแพชูชีพแล้ว

(ค) แผงประจุไฟสำหรับแบตเตอรี่ไฟฉุกเฉินชั่วคราว และแบตเตอรี่ในการเริ่มเดินเครื่องขับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน

(ง) ปั๊มสูบน้ำท้องเรือ 1 ตัว ปั๊มสูบน้ำดับเพลิง 1 ตัว ปั๊มสำหรับระบบ Sprinkler 1 ตัว (ถ้าต้องการให้ระบบไฟฟ้าฉุกเฉินจ่ายไฟให้)

(จ) ไฟสัญญาณเวลากลางวัน (Daylight Signaling Lights)

(ฉ) ระบบตรวจจับควัน (Smoke Detector System)

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีอุปกรณ์อื่นที่ควรจะจัดอยู่ในอุปกรณ์ที่รับไฟจากระบบไฟฟ้าฉุกเฉินหลักถ้ามีการติดตั้งภายในเรือนั้น ๆ และขนาดกำลังผลิตและคุณสมบัติเฉพาะของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าฉุกเฉินมีความเหมาะสมที่จะจ่ายให้ได้ อุปกรณ์ดังกล่าวคือ

Radio Installation

Radio Direction Finder

LORAN

RADAR Plan Position Indicator

Gyro Compass

Depth Sounder

Electric Whistle and Siren Control

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าฉุกเฉินจะต้องมีขนาดกำลังผลิต หรือกำลังไฟฟ้าที่เพียงพอสำหรับจ่ายให้กับโหลดฉุกเฉินตามที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามโหลดที่ไม่ได้ระบุไว้ว่าเป็นโหลดฉุกเฉินก็สามารถที่จะรับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าฉุกเฉินได้ ถ้ามีกำลังไฟฟ้าเพียงพอสำหรับโหลดทั้งหมดในขณะที่ทำงานพร้อม ๆ กัน

สถานที่ติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน และคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องตามที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม โหลดที่ไม่ได้ระบุไว้ว่าเป็นโหลดฉุกเฉินก็สามารถที่จะรับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าฉุกเฉินได้ ถ้ามีกำลังไฟฟ้าเพียงพอสำหรับโหลดทั้งหมดในขณะที่ทำงานพร้อม ๆ กัน

สถานที่ติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน และคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อในกรณีที่แหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่ ข้อกำหนดของสถานที่ติดตั้งสำหรับแบตเตอรี่ดังกล่าวเหมือนกับที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ลักษณะของสวิทช์บอร์ดฉุกเฉินตามหัวข้อ

โดยปกติแล้ว ข้อกำหนดสำหรับระบบไฟฟ้าฉุกเฉินของเรือต่างประเภทกันจะมีข้อแตกต่างกันและมีการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะ ๆ อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดโดยทั่ว ๆ ไป คือ

4.2 เรือโดยสารที่มีความยาวเกิน 65 ฟุต

4.2.1 สำหรับการใช้งานในทะเล และชายฝั่งทะเล แหล่งพลังงานฉุกเฉิน ควรจะเป็นแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟ ซึ่งมีขนาดความจุเพียงพอที่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าฉุกเฉินหลัก (Full Emergency Load) เป็นเวลา 36 ชม. หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินที่ขับด้วยเครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์ซึ่งมีกำลังผลิตไฟฟ้าสามารถจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้าฉุกเฉินเต็มที่อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 36 ชม. และมีแหล่งจ่ายพลังงานฉุกเฉินชั่วคราวที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟ ซึ่งมีความจุเพียงพอที่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าฉุกเฉินชั่วคราวได้ในช่วงระยะเวลาไม่น้อยกว่า 0.5 ชม. โดยระบบไฟฟ้าฉุกเฉินที่ติดตั้ง จะต้องจัดให้มีวงจรควบคุมแบบอัตโนมัติ ที่จะให้กระแสไฟจากแหล่งจ่ายพลังงานฉุกเฉินแบบแบตเตอรี่จ่ายเข้าสู่โหลดไฟฟ้าฉุกเฉินหลัก ทันทีที่ระบบไฟฟ้าปกติขัดข้อง หรือเปลี่ยนแบบอัตโนมัติให้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้าเลี้ยงโหลดฉุกเฉินชั่วคราวต่าง ๆ และเริ่ม

เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินโดยอัตโนมัติ และเปลี่ยนให้โหลดไฟฟ้าฉุกเฉินหลัก รับไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินเมื่อสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้แล้ว

4.2.2 ในกรณีการใช้งานอย่างอื่น นอกเหนือจากการใช้งานในทะเลและชายฝั่งทะเลแล้ว เรือที่มีระวางขับน้ำตั้งแต่ 100 GT (Gross tons) ขึ้นไป แหล่งพลังงานฉุกเฉินควรเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินที่ขับโดยเครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องแก๊สเทอร์ไบน์ หรือแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟที่กำลังผลิต หรือความจุเพียงพอสำหรับจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้าฉุกเฉินหลักอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลา 8 ชม. หรือสองเท่าของระยะเวลาที่เรือแล่น แล้วแต่ระยะเวลาไหนจะสั้นกว่า โดยจะต้องจัดให้มีการควบคุมการสับเปลี่ยนโดยอัตโนมัติ สำหรับถ่ายโหลดฉุกเฉินทั้งหมดมารับไฟจากแบตเตอรี่ หรือให้มีการเริ่มเดินเครื่องไฟฟ้าฉุกเฉินและถ่ายโหลดฉุกเฉินทั้งหมดมารับไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉินโดยอัตโนมัติในทันทีที่ระบบไฟฟ้าปกติขัดข้อง

4.2.3 ในกรณีการใช้งานอย่างอื่น นอกเหนือจากการใช้งานในทะเล และชายฝั่งทะเล สำหรับเรือที่มีระวางขับน้ำตั้งแต่ 100 GT ลงมาถึง 15 GT แหล่งไฟฟ้าฉุกเฉินมีลักษณะเช่นเดียวกับในข้อ 4.2.2 ยกเว้นการสับเปลี่ยนไฟฟ้าจากไฟฟ้าหลักเป็นไฟฟ้าฉุกเฉิน อาจใช้ลักษณะอัตโนมัติแบบในข้อ 4.2.2 หรือการสับด้วยมือ โดยใช้สวิทช์ปิด-เปิด ที่ติดตั้งอยู่ในห้องถือท้าย หรืออยู่ภายใต้การควบคุมของต้นกลเรือ (Chief Engineer)

4.3 เรือสินค้า เรืออื่น ๆ ที่มีระบบขับเคลื่อนด้วยใบจักร และเรือบรรทุกน้ำมัน (CARGO MISCELLANEOUS SELF-PROPELLED VESSELS AND TANK SHIPS)

4.3.1 สำหรับเรือที่มีขนาด 1600 GT หรือมากกว่าที่ใช้งานในทุก ๆ พื้นที่ (All-Waters Service) แหล่งจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินมีลักษณะเช่นเดียวกับเรือโดยสารในข้อ 4.2 ที่แตกต่างกัน คือ จะต้องสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างน้อย 13 ชั่วโมง

4.3.2 สำหรับเรือที่มีขนาดมากกว่า 300 GT แต่น้อยกว่า 1600 GT ที่ใช้งานในทุก ๆ พื้นที่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินอาจมีลักษณะเดียวกับเรือโดยสารในข้อ 4.2 หรืออาจจะเป็นโคมไฟฟ้าแสงสว่างที่ทำงานโดยแบตเตอรี่ และควบคุมการทำงานโดยรีเลย์ (Relay-Controlled Battery-Operated Lnatern) แหล่งจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินที่ใช้จะต้องเพียงพอสำหรับจ่ายให้กับโหลดฉุกเฉินเต็มที่เป็นเวลา 12 ชม. หรือสองเท่าของระยะเวลาเดินทาง แล้วแต่ว่าช่วงเวลาไหนจะสั้นกว่า ในกรณีที่ใช้โคมไฟที่ทำงานโดยแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ใช้จะต้องเป็นแบบที่สามารถประจุไฟใหม่ได้ และระบบฉุกเฉินนั้นจะต้องมีวงจรทำงานร่วมกับเครื่องประจุไฟ ซึ่งจะประจุไฟสำหรับแบตเตอรี่นั้น ๆ ให้เต็มอยู่ตลอดเวลา โดยโคมไฟเหล่านี้ไม่สามารถใช้งานในแบบเคลื่อนที่สำหรับระยะเวลาในการใช้งานของโคมไฟเหล่านี้อาจจะน้อยกว่า 12 ชม. แต่จะต้องมากกว่า 6 ชม.

5. ระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน (EMERGENCY DISTRIBUTION SYSTEM)

5.1 ไฟฟ้าแสงสว่าง (LIGHTING) โดยทั่ว ๆ ไประบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินจะเป็นส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าแสงสว่างหลักของเรือโดยใช้งานอยู่ด้วยกัน ยกเว้นพื้นที่ที่ติดตั้งเครื่องจักร ที่พักอาศัยของผู้โดยสารและประจำเรือ และไฟฟ้าแสงสว่างที่ควบคุมจากสะพานเดินเรือ จะมีสายป้อนไฟฟ้าแสงสว่างที่แยกต่างหากจากไฟฟ้าแสงสว่างหลักของเรือ

สายป้อนไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินในบริเวณห้องเครื่องจักรจะป้อนไฟฟ้าให้กับไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินที่ติดตั้งใน ห้องเครื่องจักร โดยป้อนผ่านแผงจ่ายไฟ ซึ่งโดยปกติจะติดตั้งอยู่สูงกว่าบริเวณพื้นที่ทำงาน และใกล้กับทางเข้าไปยังห้องเครื่องจักรนั้น ๆ

สายป้อนไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินในบริเวณที่พักอาศัยของผู้โดยสารและประจำเรือโดยปกติจะป้อนไฟเข้าไปยังตู้จ่ายไฟ ซึ่งติดตั้งอยู่ในบริเวณที่เหมาะสม สำหรับการควบคุมและจ่ายไฟฟ้าให้กับไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินในบริเวณนั้น ๆ สำหรับเรือโดยสารที่แบ่งเขตการป้องกันไฟไหม้ โดยใช้แผงกันไฟอย่างน้อยจะต้องมีสายป้อนหนึ่งสายสำหรับแต่ละเขตป้องกันไฟที่อยู่ติด ๆ กัน

ไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินในห้องถือท้ายหรือควบคุมจากห้องถือท้ายจะต้องมีสายป้อนเฉพาะป้อนให้กับแผงย่อย ซึ่งจะจ่ายไฟฟ้าให้กับ แผงย่อยไฟเดินเรือ แผงย่อยไฟสัญญาณ ไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน ในบริเวณดาดฟ้าเปิด ไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับเรือช่วยชีวิต และไฟฟ้าแสงสว่างในห้องแผนที่ สำหรับแผงย่อยของไฟเดินเรือ โดยปกติจะรับไฟโดยตรงจากแผงย่อยฉุกเฉินในห้องถือท้ายโดยไม่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามแผงไฟฟ้าย่อยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว อาจจะจ่ายจากสายป้อนเฉพาะสำหรับแต่ละแผงย่อยที่จ่ายตรงมาจากแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉินได้

ไฟฉายสำหรับเรือบดที่อยู่ในบริเวณใกล้ ๆ กัน ควรจะรับไฟฟ้าจากวงจรย่อยคนละวงจรกัน ดวงโคมที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน โดยปกติจะเป็นชนิดเดียวกับไฟฟ้าแสงสว่างหลักของเรือที่ติดตั้งในบริเวณเดียวกันในบริเวณที่ติดตั้งดวงโคมจำนวนมาก ๆ เฉพาะดวงโคมที่จำเป็นเพื่อให้ความสว่างตามความต้องการเท่านั้นที่จะต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าฉุกเฉิน

การแยกแยะดวงโคมในระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินออกจากไฟฟ้าแสงสว่างปกติ อาจทำโดยการติดแผ่นโลหะ (Metal Tag) ซึ่งพิมพ์ตัวอักษร E ด้วยสีแดงขนาดสูงอย่างน้อย ½ นิ้ว โดยติดไว้กับดาดฟ้าหรือผนังติด ๆ กับดวงโคม สำหรับดวงโคมที่มีทั้งวงจรไฟฟ้าฉุกเฉินและไฟฟ้าแสงสว่างปกติให้ติดเพิ่มบนสายของไฟฟ้าฉุกเฉินที่ต่อเข้าดวงโคมนั้น ๆ

5.2 ไฟฟ้ากำลัง (POWER) สายป้อนไฟฟ้ากำลังฉุกเฉินเฉพาะ สำหรับแต่ละระบบไฟฟ้ากำลังฉุกเฉินจะเดินจากแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉินมายังแต่ละระบบโดยตรง โหลดไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้าฉุกเฉินจะมีจำนวนจำกัด และติดตั้งอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กัน

5.3 สื่อสารและสัญญาณ (COMMUNICATION AND ALARM)

ในทางปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไปในการจ่ายไฟฟ้าให้กับไฟฟ้าแสดงสถานะการทำงาน (Indicating) การตรวจจับสถานะและสภาวะการทำงาน (Monitoring) และการเตือนภัย (Alarm) ที่มีความสำคัญยิ่งต่อการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ ในห้องเครื่องจักร จะจ่ายจากแผงย่อยไฟฟ้าฉุกเฉินที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่ทำงานในห้องเครื่องจักรนั้น ๆ โดยจะรับไฟฟ้าโดยตรงจากแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน สำหรับโหลดอื่น ๆ ในระบบสื่อสารและสัญญาณเตือนภัยจะรับไฟฟ้าโดยตรงจากแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน สำหรับแต่ละระบบ

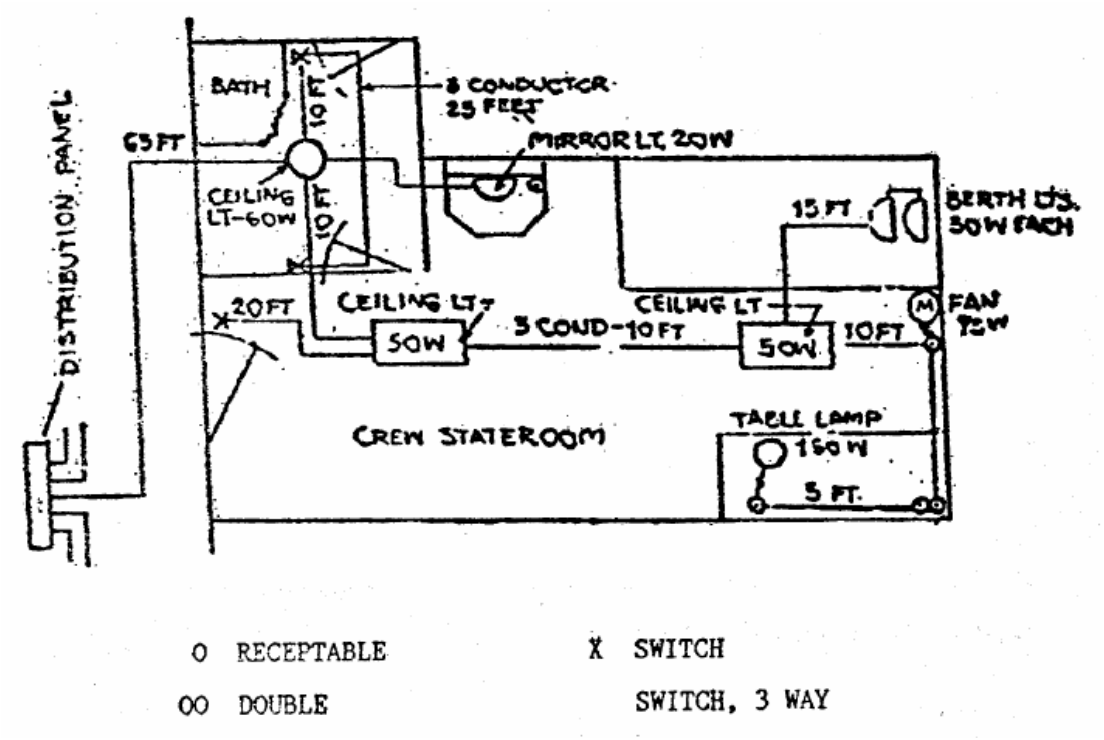
5.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ELECTRONICS)

เครื่องวิทยุ เครื่องวิทยุโทรศัพท์ (Radiotelephone) เครื่องวิทยุหาทิศ (Radio Direction Finder) LORAN และเครื่องวัดความลึก (Depth Sounding) โดยปกติจะรับไฟฟ้าจากแผงย่อยฉุกเฉินที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของโหลดดังกล่าว โดยแผงย่อยนี้รับไฟฟ้าจากสายป้อนที่เกินมาจากแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน สำหรับอุปกรณ์เรดาร์ โดยปกติจะรับไฟฟ้าโดยตรงจากแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน เนื่องจากโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว จะให้กับไฟฟ้าที่มีขนาดแรงเคลื่อนต่างจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

5.5 อื่น ๆ โดยทั่วไป (GENERAL)

แผงย่อยจ่ายไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน จะเป็นลักษณะเช่นเดียวกับที่ใช้ในระบบจ่ายไฟฟ้าหลักของเรือ สายไฟในระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินที่ไม่ใช่สำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องจักร ไม่ควรเดินทะลุผ่านเข้าไปในบริเวณดังกล่าว และควรจะเดินให้ห่างจากผนังหรือดาดฟ้าของบริเวณดังกล่าว

การคำนวณหาขนาดแรงเคลื่อนตกในสายของสายไฟในระบบจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉิน จะทำเช่นเดียวกับสายในระบบจ่ายไฟปกติ สำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉินขนาดของแรงเคลื่อนตกในสายสูงสุดที่ยอมรับได้ จากแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉินถึงดวงโคมที่ไกลที่สุดจะต้องไม่เกิน 3% สำหรับวงจรอื่นๆ ซึ่งรับไฟฟ้าจากบัสหลัก (Main Bus) ของแผงสวิทช์บอร์ดหลักของเรือผ่านบัสไท (Bus tie) ของแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน จะต้องมีขนาดแรงเคลื่อนตกในสายไม่เกิน 5%



รูปที่ 4 Typical Lighting Branch Circuit for Crew Stateroom

6. การคำนวณขนาดของสายไฟสำหรับวงจรไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้ากำลัง
(DETERMINATION OF WIRE SIZE FOR LIGHTING AND POWER CIRCUIT)

การพิจารณากำหนดขนาดหน้าตัดของตัวนำไฟฟ้า สำหรับสายไฟที่ใช้ในเรือทั้งในส่วนของวงจรย่อย (Branch Circuit) และสายป้อนมีองค์ประกอบที่จะต้องพิจารณาหลายอย่าง เช่น ลักษณะการใช้งาน (Duty) พิกัดกระแส (Rated Current) อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) คุณสมบัติในการป้องกันไฟรั่วของฉนวน (Condition of Insulation) ขนาดแรงเคลื่อนตกในสาย (Voltage Drop) เป็นต้น อย่างไรก็ตามองค์ประกอบที่สำคัญและต้องพิจารณาก่อนเป็นอันดับแรก คือ ขนาดของกระแสไฟฟ้าในสาย (Current Carrying Capacity)และขนาดของแรงเคลื่อนตกในสาย (Voltage Drop)

6.1 ขนาดของกระแสไฟฟ้าในสาย หมายถึง ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟโดยพิจารณาจาก

6.1.1 ขนาดความต้องการกระแสไฟฟ้าของโหลดไฟฟ้าขณะใช้งาน (Demand Current of Load)

6.1.2 ขนาดความต้องการตามข้อกำหนด เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานภายในเรือ และเพื่อความต้องการเพิ่มในอนาคต

6.1.3 ขนาดของกระแสซึ่งสายไฟจะต้องสามารถรับได้ จะต้องไม่น้อยกว่าขนาดกระแสของอุปกรณ์ป้องกัน

6.2 ขนาดแรงเคลื่อนตกในสาย หมายถึง ขนาดความแตกต่างระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จุดแหล่งจ่ายและจุดรับไฟ เช่น จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถึงแผงสวิทช์บอร์ด หรือจากแผงสวิทช์บอร์ดถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป โดยจะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดแรงเคลื่อนตกในสายที่ยอมรับได้ในส่วนต่าง ๆ ของระบบจ่ายไฟซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อความปลอดภัยสำหรับระบบไฟฟ้าภายในเรือ

รายละเอียดเกี่ยวกับขนาดกระแสซึ่งสายเคเบิลจะต้องสามารถรับได้ขนาดแรงเคลื่อนตกและขนาดสายเล็กที่สุดที่อนุญาตให้ใช้ในส่วนต่าง ๆ ของระบบจ่ายไฟฟ้าแสดงไว้ในตารางที่ 1 และขนาดความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของสายเคเบิลขนาดและชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 6 ของบทที่ 8

การคำนวณหาขนาดแรงเคลื่อนตกในสายสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

1. ขนาดแรงเคลื่อนตกในสายเป็นเปอร์เซ็นต์ สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส

$$VD = \frac{200\,IRL}{CMV} \qquad \text{---------- 1}$$

หรือ $$VD = \frac{200\,LI}{PVA} \qquad \text{---------- 2}$$ ไฟฟ้ากระแสตรง

หรือ $$VD = \frac{200\,LI\cos\theta}{PVA} \qquad \text{---------- 3}$$ ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส

2. ขนาดแรงเคลื่อนตกในสายเป็นเปอร์เซ็นต์สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่มีขนาดของสายเท่ากับ 52600 CM หรือเล็กกว่า

(AWG No. 3 = 52620 CM)

$$VD = \frac{173\,IRL}{CMV} \qquad \text{---------- 4}$$

หรือ $$VD = \frac{173\,IL\cos\theta}{PVA} \qquad \text{---------- 5}$$

3. ขนาดของแรงดันตกในสายเป็นเปอร์เซ็นต์ สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่มีขนาดของสายเท่ากับ 66400 CM หรือมากกว่า

(AWG No. 2 = 66630 CM)

$$VD = \frac{173\,IRL}{CM\,V} \qquad \text{---------- 6}$$

หรือ $$VD = \frac{173\,IL\cos\theta}{PVA} \qquad \text{---------- 7}$$

VD = ขนาดแรงเคลื่อนตกในสาย (%)

I = ขนาดของกระแส (Amp)

R = ความต้านทานของตัวนำ (Ohm/cm - ft) ;
สำหรับตัวนำชนิดทองแดง R = 12

L = ความยาวของสายในระบบ (ft)

CM = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำหนึ่งเส้น หรือพื้นที่หน้าตัดรวมของตัวนำที่ขนานกัน (CIRCULAR MILS)

V = ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจร (Volt)

$\cos\theta$ = ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

P = ความนำไฟฟ้า (Conductivity – m/mm^2)

CF = ค่าตัวแก้ (Correction Factor) สำหรับใช้ในการคำนวณสำหรับสายที่มีขนาดโตกว่า 66400 CM ในสมการที่ 6 รายละเอียดตามตาราง 3

ลักษณะการใช้งานของสายไฟ	ขนาดของกระแสที่สายไฟจะต้องรับได้	% ขนาดแรงดันไฟฟ้าตกในสายที่ยอมรับได้	ขนาดของสายที่เล็กที่สุด	หมายเหตุ
จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ	115 % ของพิกัดกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดทำงานต่อเนื่อง (Continuous Rated Machines) 15 % Overload สำหรับเครื่องชนิด 125 % 2 ชม. หรือเครื่องลักษณะพิเศษ	1		
ระหว่างแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักของเรือ	75 % ของกำลังผลิตของสถานีจ่ายไฟที่มีเครื่องกำเนิดที่มีขนาดกำลังผลิตสูงสุด	2		
ระหว่างแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักและแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน	กำลังใช้งานสูงสุดของสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน หรือ 125 % ของกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน แล้วแต่อะไรจะมากกว่า	2		
ระหว่างแผงสวิทช์บอร์ดถึงตู้ต่อไฟบก	กำลังใช้งานสูงสุดสำหรับไฟฟ้าที่รับจากบก	2		
ระหว่างแบตเตอรี่ถึงจุดจ่ายไฟฟ้า (Point of Distribution)	อัตราการประจุและการคลายประจุสูงสุดของแบตเตอรี่	1		

ลักษณะการใช้งานของสายไฟ	ขนาดของกระแสที่สายไฟจะต้องรับได้	% ขนาดแรงดันไฟฟ้าตกในสายที่ยอมรับได้	ขนาดของสายที่เล็กที่สุด	หมายเหตุ
สายป้อนวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง	ขนาดของภาระที่ต่ออยู่ทั้งหมด โดยแต่ละภาระจะคิดไม่น้อยกว่า 50 วัตต์ และบวก 50 % ของพิกัดสำหรับวงจรสำรองบนแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย	3	-	จากแผงสวิทช์บอร์ดหลักถึงภาระตัวที่อยู่ไกลที่สุด
สายป้อนสำหรับวงจรไฟค้นหา (Search Circuit)	ขนาดพิกัดกระแสของดวงไฟ	3	-	จากแผงสวิทช์บอร์ดหลักถึงดวงไฟตัวที่อยู่ไกล
สายป้อนสำหรับวงจรเครื่องทำความร้อน (Air Heater Circuit)	ขนาดพิกัดกระแสของเครื่องทำความร้อน	5	-	จากแผงสวิทช์บอร์ดหลักถึงเครื่องทำความร้อนตัวที่อยู่ไกลที่สุด
สายป้อนสำหรับวงจรอุปกรณ์ประกอบอาหาร	100 % ของภาระ 50 กิโลวัตต์แรก และ 65 % ของภาระที่เหลือ ที่ต่ออยู่บวกกับ 50 % ของพิกัดกระแสของสวิทช์สำรองที่ติดตั้งอยู่บนแผงจ่ายไฟฟ้าย่อยของวงจร	5		จากแผงสวิทช์บอร์ดหลักถึงอุปกรณ์ตัวที่อยู่ไกลที่สุด

ลักษณะการใช้งานของสายไฟ	ขนาดของกระแสที่สายไฟจะต้องรับได้	% ขนาดแรงดันไฟฟ้าตกในสายที่ยอมรับได้	ขนาดของสายที่เล็กที่สุด	หมายเหตุ
สายป้อนสำหรับวงจรมอเตอร์	125 % ของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายอุปกรณ์ของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุด บวกกับผลรวมของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายอุปกรณ์ของมอเตอร์ที่เหลือในวงจร และบวกกับ 50 % ของพิกัดกระแสของสวิทช์สำรองที่ติดตั้งอยู่ในแผงย่อย **หมายเหตุ** สำหรับข้อความที่ขีดเส้นใต้ข้างบน 1 สำหรับมอเตอร์ของเครื่องมือโรงงานใช้ 50 % ของผลรวม 2 สำหรับมอเตอร์หลายๆ ตัวที่ใช้ขับอุปกรณ์เครื่องเดียวใช้ 45 % ของผลรวม	5	-	จากแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถึงมอเตอร์ตัวที่อยู่ไกลที่สุด
วงจรไฟฟ้าย่อยทั่วๆ ไป	ไม่เกินขนาดพิกัดกระแสของสายเคเบิลหรือ 80 % ของขนาด	-	AWG.14	
วงจรย่อยอุปกรณ์ทำความร้อนและอุปกรณ์ประกอบอาหาร	100 % ของภาระเต็มที่ที่ต่ออยู่ในวงจร	-	AWG.14	

ลักษณะการใช้งานของสายไฟ	ขนาดของกระแสที่สายไฟจะต้องรับได้	% ขนาดแรงดันไฟฟ้าตกในสายที่ยอมรับได้	ขนาดของสายที่เล็กที่สุด	หมายเหตุ
วงจรย่อยมอเตอร์	ไม่น้อยกว่า 125 % ของพิกัดกระแสเต็มที่ (Full Load) ของมอเตอร์	-	AWG.14	
วงจรย่อยสำหรับกลุ่มของภาระที่มีขนาดพิกัดกระแสรวมไม่เกิน 7.5 แอมป์	ไม่น้อยกว่า 100 % ของภาระเต็มที่ที่ต่ออยู่ทั้งหมด	-	AWG.14	
วงจรย่อยสำหรับกลุ่มของภาระที่มีขนาดพิกัดกระแสรวมไม่เกิน 15 แอมป์	ไม่น้อยกว่า 100 % ของภาระเต็มที่ที่ต่ออยู่ทั้งหมด	-	AWG.12	
วงจรย่อยสำหรับกลุ่มของภาระที่มีขนาดพิกัดกระแสรวมไม่เกิน 20 แอมป์	ไม่น้อยกว่า 100 % ของภาระเต็มที่ที่ต่ออยู่ทั้งหมด	-	AWG.10	

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage Drop) ในสายไฟ

- ค่าที่ให้ไว้ในตารางเป็นค่าเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 50 C และอุณหภูมิสูงสุดของตัวนำในสายมีค่าไม่เกิน 75 C สำหรับสายเคเบิลที่มีฉนวนแบบ T, 85 C สำหรับเคเบิลที่มีฉนวนแบบ X และ E และ 100 C สำหรับสายเคเบิลที่มีฉนวนแบบ AV และ S

- ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมแตกต่างไปจากที่กำหนดคือ 50 °C ค่าความสามารถในการนำกระแสไฟของสายเคเบิลต่าง ๆ ที่ให้ไว้ในตารางจะต้องคูณด้วยตัวประกอบดังตารางที่ 2

AMBIENT TEMPERATURE	40 C	60 C	70 C
TYPE T INSULATION CABLE	1.18	-	-
TYPE X AND E INSULATION CABLE	1.13	0.84	-
TYPE AV AND S INSULATION CABLE	1.10	0.89	0.77

ตารางที่ 2 ตัวประกอบในการคูณกับค่าการนำกระแสไฟฟ้า ณ อุณหภูมิที่ 50 °C

- ค่าความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าที่ให้ไว้ในตารางเป็นค่าสำหรับสายเคเบิลที่ติดตั้งในเรือโดยลักษณะการเดินสายเป็นแบบชั้นเดียวในแต่ละราง (Single Bank Per Hanger) และมีค่าประมาณ 85 % ของค่าที่คำนวณแบบ ICEA สายไฟแบบ Distribution-Type ไม่ควรจะเดินในลักษณะสองชั้น (Double Bank) สำหรับในกรณีที่จำเป็นต้องเดินสายในลักษณะสองชั้น ค่าความสามารถในการนำกระแสของสายเคเบิลที่ให้ไว้ในตารางจะต้องคูณด้วย 0.8

- ค่าความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าที่คำนวณแบบ ICEA คือค่าที่คำนวณโดยมีเงื่อนไขว่าสายเคเบิลติดตั้งอยู่ในลักษณะ Free Air หมายถึงต้องมีระยะห่างระหว่างสายที่ติดกันอย่างน้อยเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของสาย รายละเอียดตาม IEEE PUBLICATION No. S-135-1962/ICEA Publication No. P-46-426-1962 Edition

CABLE AWG No.	POWER FACTOR OF LOAD							
	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
2	1.00	1.01	0.99	0.96	0.92	0.84	0.76	0.68
1	1.00	1.03	1.01	0.98	0.95	0.88	0.80	0.71
0	1.00	1.05	1.04	1.02	0.99	0.93	0.85	0.77
00	1.00	1.07	1.07	1.05	1.03	0.98	0.91	0.84
000	1.00	1.10	1.11	1.10	1.09	1.04	0.98	0.92
0000	1.00	1.13	1.16	1.16	1.15	1.12	1.07	1.01
250M	1.00	1.17	1.21	1.22	1.22	1.20	1.16	1.10

CABLE AWG No.	POWER FACTOR OF LOAD							
	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65
300M	1.00	1.21	1.26	1.28	1.29	1.28	1.25	1.21
350M	1.00	1.24	1.31	1.34	1.36	1.37	1.35	1.31
400M	1.06	1.32	1.39	1.43	1.45	1.46	1.44	1.40

ตารางที่ 3 CORRECTION FACTOR FOR CABLE CALCULATION

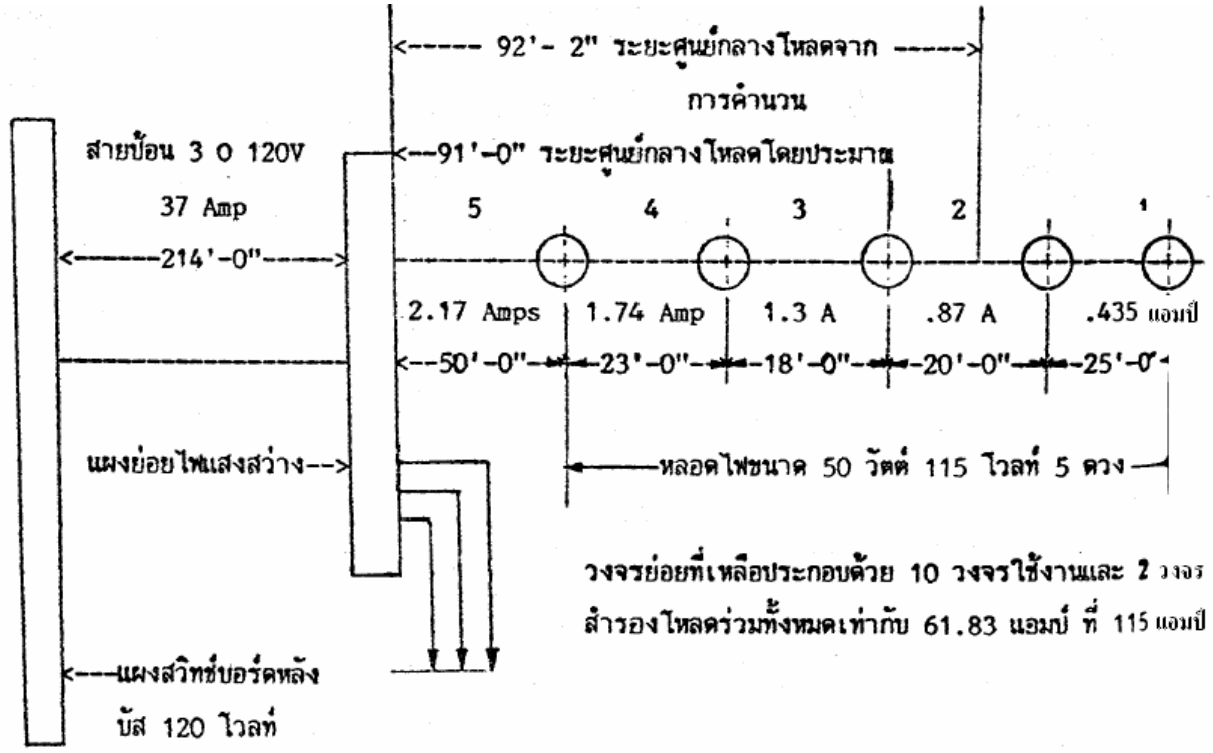
6.3 วงจรไฟฟ้าแสงสว่าง (LIGHTING CIRCUIT)

ขนาดสายไฟ (Wire Size) ของสายเคเบิลในวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง โดยปกติจะกำหนดโดยค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในสายสำหรับสายป้อนและใช้สาย AWG No. 14 (4110 CM) หรือสายขนาดมาตรฐานของ ทร.สหรัฐ ขนาด 4497 CM สำหรับสายไฟวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่างอย่างไรก็ตาม สำหรับสายป้อนที่มีความยาวไม่มาก เช่น สายที่เดินในห้องเครื่องไฟฟ้า หรือห้องเครื่องจักร อาจใช้ขนาดความสามารถในการรับกระแสของสายไฟ (Current Carrying Capacity) เป็นตัวกำหนดขนาดของสายได้ ในกรณีที่ใช้ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกเป็นตัวกำหนด ขนาดของแรงเคลื่อนตกในสายจากแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ไกลที่สุด ต้องไม่เกิน 3 %

ในกรณีที่สายป้อนของวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง มีขนาดตั้งแต่ AWG No. 2 หรือ 66400 CM ขึ้นไป โดยปกติไม่ต้องนำค่า CF จากตาราง 4 มาใช้การคำนวณเนื่องจากโหลดในระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) สูง เช่น หลอดไฟชนิดไส้ หรือฟลอดฟูลออเรสเซ็นต์ชนิดประกอบกำลังสูง (High Power – Factor Fluorescent) ดังนั้นค่า CP จะเท่ากับ 1 อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ค่าตัวประกอบกำลังของวงจรมีค่าต่ำ จะต้องนำค่า CF มาใช้ในการคำนวณด้วย

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณขนาดของสายไฟสำหรับวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง

ในรูป 5 เป็นวงจรไฟฟ้าแสงสว่างโดยแผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่างต่อตรงจากแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไฟป้อนเป็นไฟขนาด 120 โวลท์ 3 เฟส สายป้อนเป็นสายชนิด 3 ตัวนำ (Three-Conductor Cable) ตัวนำทำจากทองแดง ฉนวนแบบ E (Ethylene Propylene Rubber) ความยาวจากเมนสวิทช์บอร์ดถึงแผงย่อยไฟฟ้าแสงสว่างเท่ากับ 214 ฟุต แผงย่อยประกอบด้วยวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง จำนวน 13 วงจร โดยวงจรที่ยาวที่สุดประกอบด้วยดวงโคม จำนวน 5 ดวง ขนาด 50 วัตต์ต่อดวง และมีระยะห่างตามที่แสดงในรูป ส่วนที่เหลือประกอบด้วย 10 วงจรใช้งาน และ 2 วงจรสำรอง โหลดรวมทั้งหมดเท่ากับ 64 แอมป์ (รวม 50 % ของ 2 วงจรสำรองแล้ว) ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของวงจรย่อย เท่ากับ 115 โวลท์



รูปที่ 5 วงจรไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับตัวอย่างการคำนวณขนาดสาย

คำนวณขนาดแรงเคลื่อนตกในสายเคเบิลของวงจรย่อย

1. กำหนดขนาดของสายไฟในวงจรย่อย : จากข้อกำหนดสำหรับสายไฟในวงจรย่อยไฟฟ้าแสงสว่าง จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า AWG No.14 SINV 4110 CIRCULAR MILS (CM) ซึ่งอาจจะใช้สายเคเบิลตามมาตรฐานของ ทร.สหรัฐ ซึ่งมีขนาด 4497 CM ก็ได้ในที่นี้เลือกใช้สายเคเบิลตามมาตรฐาน ทร.สหรัฐ คือ ขนาด 4497 CM

2. คำนวณหาขนาดของกระแสในสายในส่วนต่าง ๆ ของวงจรย่อย

$$I = \frac{P}{V}$$

สำหรับหลอดไฟแต่ละหลอด $I = \frac{50}{115}\text{I} = 0.435$ แอมป์

ขนาดของกระแสในสายช่วงที่ 1 = 0.435 แอมป์

ขนาดของกระแสในสายช่วงที่ 2 = 2 (0.435) = 0.87 แอมป์

ขนาดของกระแสในสายช่วงที่ 3 = 3 (0.435) = 1.3 แอมป์

ขนาดของกระแสในสายช่วงที่ 4 = 4 (0.435) = 1.74 แอมป์

ขนาดของกระแสในสายช่วงที่ 5 = 5 (0.435) = 2.17 แอมป์

3. คำนวณขนาดแรงเคลื่อนตกในสายแต่ละช่วงจากสูตร

$$VD = \frac{200\,IRL}{CMV} \qquad \text{(R ของทองแดง = 12 ohm/cm – ft)}$$

ขนาดของแรงเคลื่อนตกในสายช่วงที่ 1 $= \frac{(200)(.435)(12)(25)}{(4497)(115)} = 0.048\ \%$

ขนาดของแรงเคลื่อนตกในสายช่วงที่ 2 $= \frac{(200)(.87)(12)(25)}{(4497)(115)} = 0.077\ \%$

ขนาดของแรงเคลื่อนตกในสายช่วงที่ 3 $= \frac{(200)(1.3)(12)(18)}{(4497)(115)} = 0.104\ \%$

ขนาดของแรงเคลื่อนตกในสายช่วงที่ 4 $= \frac{(200)(1.74)(12)(25)}{(4497)(115)} = 0.178\ \%$

ขนาดของแรงเคลื่อนตกในสายช่วงที่ 5 $= \frac{(200)(2.17)(12)(50)}{(4497)(115)} = 0.483\ \%$

ขนาดแรงเคลื่อนตกในสายของวงจรย่อยทั้งหมด $= 0.048 + 0.077 + 0.104 + 0.178 + 0.483$

$= 0.890\ \%$

<u>คำนวณหาขนาดของสายป้อน</u>

แรงเคลื่อนตกในสายป้อนที่ยอมรับได้ $= 3 - 0.890 = 2.11\ \%$

ขนาดกระแสในสายป้อน $= \frac{\text{ขนาดกระแสรวมในแผงย่อย}}{\sqrt{3}}$

$= \frac{17 + 61.83}{\sqrt{3}} = 36.95$ แอมป์

การตรวจสอบขนาดของสายว่าเกินขนาด AWG No.3 (526000 CM) หรือไม่

จากสูตร

$$VD = \frac{173\,IRL}{CM\,V}$$

$$= \frac{(173)(36.95)(12)(214)}{(52600)(120)} = 2.60\ \%$$

ขนาดแรงเคลื่อนตกที่คำนวณได้มากกว่าแรงเคลื่อนตกที่คำนวณได้

สายป้อนต้องมีขนาดโตกว่า AWG No. 3

การใช้สายขนาดใหญ่ขึ้นถัดมาคือ AWG No.2 จำเป็นต้องพิจารณาค่า CF ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของสายและตัวประกอบกำลัง

กำหนดให้โหลดในวงจรย่อยเป็นโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูง (= 1.00)

ค่า CF ที่ใช้จากตารางที่ 3 คือ 1

ขนาดของสายป้อน $CM = \frac{173\,IRL}{V\,VD}\,CF$

$$= \frac{(173)(36.95)(12)(214)}{(120)(2.11)} = 64832$$

พิจารณาใช้สายเคเบิลขนาดโตถัดจากที่คำนวณได้ คือ AWG No. 2 66400 CM

<u>ข้อสังเกต</u> ถ้าพิจารณาเฉพาะความสามารถในการรับกระแสของสายไฟจากตาราง 6 ของบทที่ 8 สามารถใช้สายขนาด AWG No. 8 (16500 CM) ได้ ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าตก

ในการปฏิบัติ การคำนวณขนาดแรงเคลื่อนตกในสายของวงจรย่อย อาจจะไม่จำเป็นต้องคำนวณโดยการหาผลรวมของแรงเคลื่อนตกในสายาแต่ละส่วนตามที่กล่าวมาแล้ว แต่อาจจะคำนวณหาโดยใช้การกำหนดศูนย์กลางโหลด (Load Center) สำหรับโหลดทั้งหมดในวงจรย่อยแล้ว คำนวณแรงเคลื่อนตกจากโหลดรวมและระยะห่างระหว่างแผงจ่ายไฟฟ้าย่อยถึงศูนย์กลางโหลด โดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แผงจ่ายไฟฟ้าย่อย

การกำหนดศูนย์กลางโหลดอาจจะทำได้ 2 วิธี คือ กำหนดจากการสังเกตจากวงจร หรือโดยการคำนวณ

<u>วิธีที่ 1</u> กำหนดศูนย์กลางโหลดโดยการสังเกต

จากวงจรไฟฟ้าแสงสว่างในตัวอย่างศูนย์กลางโหลดควรจะอยู่ที่ดวงโคมดวงที่ 3

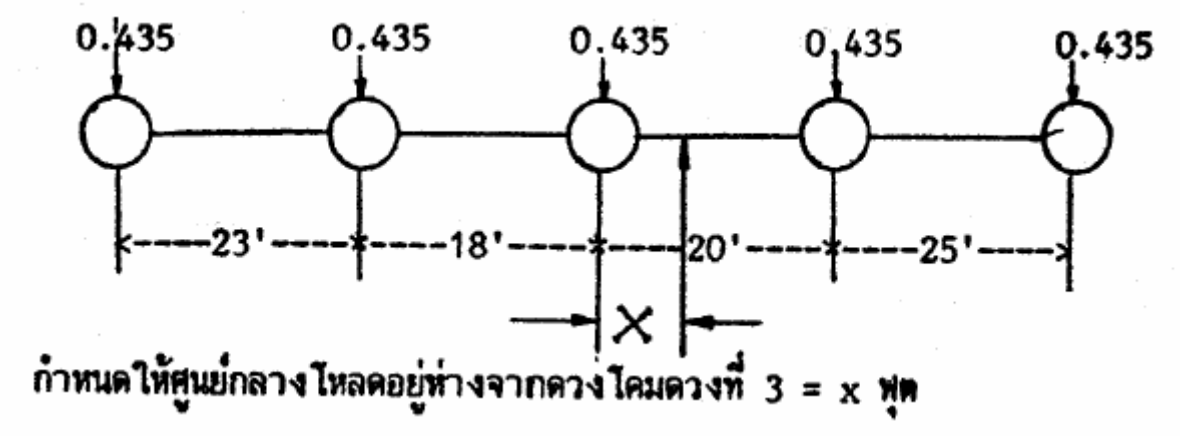
ระยะห่างจากแผงย่อยถึงศูนย์กลางโหลด = 50 + 23 + 18 = 91 ฟุต

$$VD = \frac{200\,IRL}{CM\,V} = \frac{(200)(2.17)(12)(91)}{(4497)(120)}$$

แรงเคลื่อนตกในสายของวงจรย่อย = 0.878 %

<u>ข้อสังเกต</u> ค่าที่คำนวณได้ต่างจากค่าที่ได้จากในตัวอย่าง 0.012% ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

วิธีที่ 2 กำหนดศูนย์กลางโหลดจากการคำนวณ



รูปที่ 6 วงจรสำหรับตัวอย่างการคำนวณแรงดันตกในสาย

Load Equation

0.435 (41+X) + 0.435 (18+X) +0.435X	=	0.435 (20-X) + 0.435 (45-X)
17.835+0.435X + 7.83 + 0.435X + 0.435X	=	8.7 – 0.435X + 19.575 -0.435X
2.17X	=	2.61
X	=	1.2

เพราะฉะนั้น ศูนย์กลางภาระอยู่ห่างจากแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย = 50 + 41 + 1.2 =92.2 ฟุต

$$VD = \frac{200\,IRL}{CMV}$$

$$= \frac{(200x2.17x12x92.2)}{(4497x120)}$$

ดังนั้นจะได้แรงดันไฟฟ้าตกในสายวงจรย่อย = 0.888 %

ข้อสังเกต ค่าที่ได้จะเท่ากับค่าที่คำนวณได้จากในตัวอย่าง

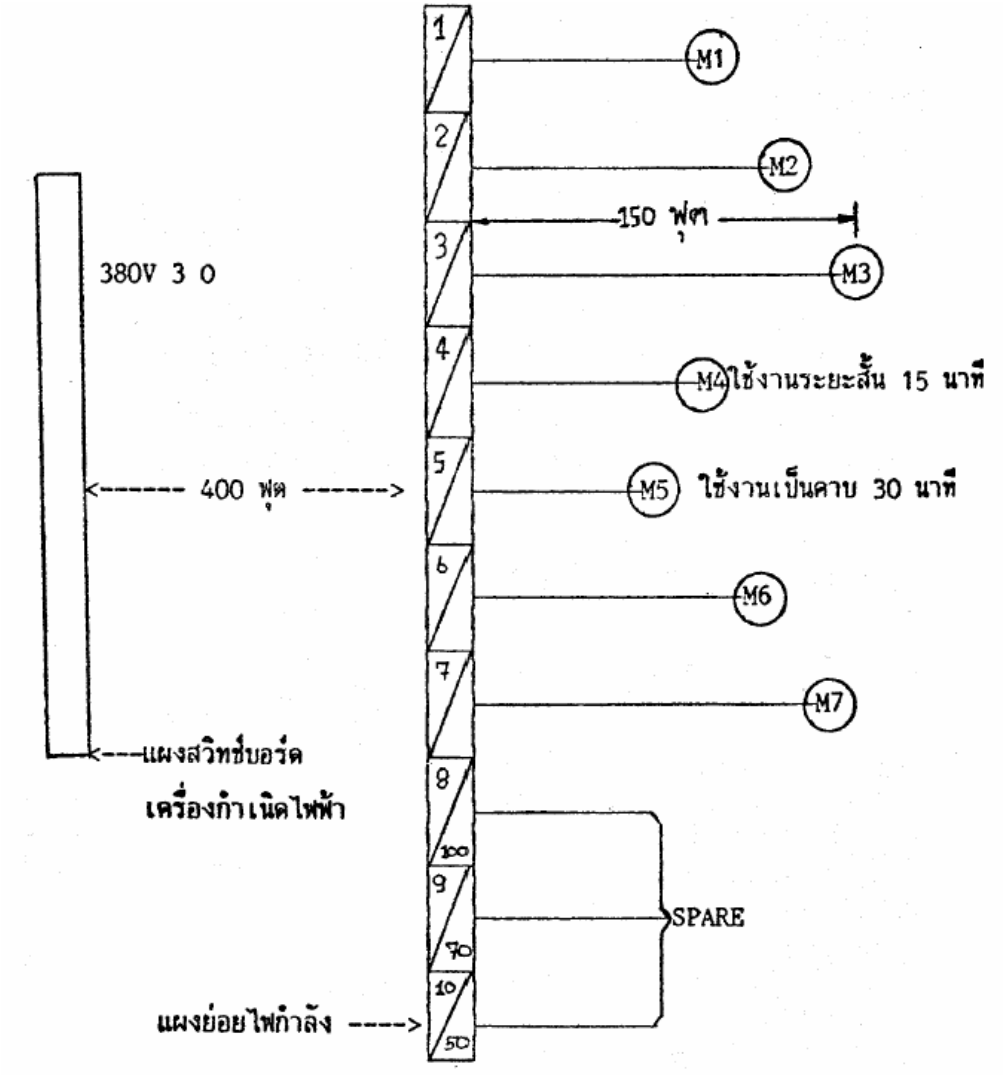
Feeder	Branch	Area Served	Volt	Full load			Element Size	Cable		Max Current Rating	Single Length to Center Load	% Voltage Drop			Phase Marking
				Watts	Amps 30	Amps 10		Cir MIL	Type			Feeder	Branch	Total	
L16		Lighting Panel L16 DH, Port FR 126-160	120	7000	40		50	66400	TAVIA	118	115	1.15			AB
	L16-1	Reept, Pantry	115	200		1.74	15	4497	DSGA	22	40		0.3		AB
	L16-2	Ovlld, LTG & Fan-Pantry		460		4	15	4497	DSGA	22	45		0.8		CA
	L16-3	Decorative LTG Dining Saloon-port		600		5.21	15	4497	DSGA	22	75		1.7		
	L16-4	Decorative LTG Dining Saloon-port		825		7.18	15	4497	DSGA	22	55		1.8	3	BC

ตารางที่ 4 Typical List of Lighting System Feeders and Mains

6.4 วงจรไฟฟ้ากำลัง (POWER CIRCUIT)

ในการคำนวณขนาดตัวนำของสายเคเบิลในวงจรไฟฟ้ากำลัง จะแตกต่างจากการคำนวณสำหรับวงจรไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปจะใช้ค่าแรงเคลื่อนตกเป็นหลักในการคำนวณ สำหรับวงจรไฟฟ้ากำลังโดยทั่ว ๆ ไป จะใช้ขนาดความสามารถในการนำกระแสของสายเคเบิลเป็นหลักในการคำนวณ อย่างไรก็ตามก็ควรที่จะต้องคำนวณหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในสายด้วยเพื่อให้แน่ใจว่า วงจรไฟฟ้ากำลังนั้น ๆ มีคุณสมบัติสอดคล้องตามข้อกำหนดสำหรับการใช้งานภายในเรือ สำหรับวงจรไฟฟ้ากำลังโดยทั่ว ๆ ไป ขนาดแรงเคลื่อนตกในสายที่ยอมรับได้จากแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่อยู่ไกลที่สุดในวงจร จะต้องมีค่าไม่เกิน 5% และขนาดกระแสในสายสำหรับวงจรต่าง ๆ รายละเอียดตามข้อกำหนดในตาราง 1

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณขนาดของสายไฟในวงจรไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 7 สำหรับตัวอย่างการคำนวณขนาดของสายไฟวงจรไฟฟ้ากำลัง

ในตัวอย่างเป็นวงจรไฟฟ้ากำลังในระบบไฟฟ้าขนาด 380 โวลท์ 3 เฟส แผงย่อยไฟฟ้ากำลังรับไฟฟ้าจากแผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง โดยสายป้อนมีความยาว 400 ฟุต แผงย่อยประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ จำนวน 10 ตัว โดยตัวที่ 1-7 จ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรย่อยซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ 1 ตัว ในแต่ละวงจร มอเตอร์ทั้งหมดเป็นอินดัคชั่นมอเตอร์แบบสไควเรลเคจขนาด 380 โวลท์ 3 เฟส ขนาดกำลังม้าของมอเตอร์ต่าง ๆ คือ M1 50 แรงม้า M2, M3 และ M4 25 แรงม้า M5 และ M6 10 แรงม้า M7 5 แรงม้า มอเตอร์ M3 เป็นมอเตอร์ตัวที่ไกลที่สุดมีระยะห่างจากแผงย่อย 150 ฟุต ลักษณะการใช้งาน (Duty) ของมอเตอร์ทุกตัวเป็นแบบทำงานต่อเนื่อง ยกเว้น M4 เป็นแบบใช้งานระยะสั้น 15 นาที และ M5 เป็นแบบใช้งานเป็นคาบทำงาน 30 นาที เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่ 8, 9 และ 10 เป็นเบรกเกอร์สำรองขนาด 100, 70 และ 50 ตามลำดับ กำหนดให้เพาเวอร์แฟคเตอร์รวมของวงจรเท่ากับ 0.8

คำนวณหาขนาดกระแส (Current Carrying Capacity) ของสายเคเบิลในวงจรย่อยของมอเตอร์แต่ละตัว โดยพิจารณาจากขนาดกระสาเต็มที่ของมอเตอร์ ในตาราง 5 ลักษณะการใช้งานของมอเตอร์ และข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดของกระแสในตาราง 1 และ 6

จากตาราง 5 จะได้ขนาดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์แต่ละตัวดังนี้

M1	79.0 แอมป์
M2, M3, M4	41.0 แอมป์
M5, M6	17.0 แอมป์
M7	9.2 แอมป์

จากตาราง 1 และ 6 จะได้ขนาดร้อยละ เพื่อคำนวณขนาดกระแสตัวนำสำหรับมอเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

มอเตอร์ใช้งานแบบต่อเนื่อง	125 %
มอเตอร์ใช้งานแบบระยะสั้น 15 นาที	120 %
มอเตอร์ใช้งานเป็นคาบ 30 นาที	95 %

ขนาดกระแสตัวนำสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว คือ

มอเตอร์ M1	=	1.25 x 79	=	98.75 แอมป์
มอเตอร์ M2,M3	=	1.25 x 41	=	51.25 แอมป์
มอเตอร์ M4	=	1.20 x 41	=	49.20 แอมป์
มอเตอร์ M5	=	0.95 x 17	=	16.15 แอมป์
มอเตอร์ M6	=	1.25 x 17	=	21.25 แอมป์
มอเตอร์ M7	=	1.25 x 9.2	=	11.50 แอมป์

จากตารางที่ 6 ของบทที่ 8 พิจารณาขนาดของสายไฟสำหรับมอเตอร์แต่ละตัว เมื่อใช้สายเคเบิลแบบ Three-Conductor-Cable Insulation Type “E” จะได้ขนาดของสายเคเบิลดังนี้

สำหรับมอเตอร์ M1 ใช้สายขนาด AWG No.2 (66400 CM 99 Amps)

สำหรับมอเตอร์ M2,M3,M4 ใช้สายขนาด AWG No.7 (20800 CM 52 Amps)

สำหรับมอเตอร์ M6 ใช้สายขนาด AWG No.12 (6350 CM 26 Amps)

สำหรับมอเตอร์ M5,M7 ใช้สายขนาด AWG No.14 (4110 CM 21 Amps)

<u>หมายเหตุ</u> ขนาดของสายเล็กสุดที่อนุญาตให้ใช้ในวงจรย่อย คือ AWG No. 14

คำนวณหาขนาดของสายป้อนโดยคำนวณหาขนาดกระแสตัวนำสำหรับสายป้อนของวงจรสำหรับมอเตอร์ ตามข้อกำหนดในตารางที่ 1 ซึ่งจะเท่ากับ 125% ของพิกัดกระแสเต็มที่ของมอเตอร์ตัวที่ขนาดกระแสโหลดเต็มที่ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของการใช้งานแล้ว บวกกับผลรวมของพิกัดกระแสเต็มที่ของมอเตอร์ที่เหลือในวงจรและบวกกับ 50% ของพิกัดกระแสของเบรกเกอร์สำรองในวงจร

ขนาดกระแสโหลดของสายป้อน = (1.25 x 79) + 3 (41) + 2(17) + 9.2 +0.5 (100+70+50)

= 374.95 แอมป์

พิจารณาขนาดของสายจากตารางที่ 6 ของบทที่ 8 ใช้สายเคเบิลแบบ Three-Conductor-Cable Insulation Type “E”

จากตารางจะได้สายเคเบิลขนาด 600000 CIRCULAR MILS กระแส 91 แอมป์ เนื่องจากขนาดสายดังกล่าว มีขนาดใหญ่เกินไปสำหรับการติดตั้งในเรือ จึงพิจารณาใช้สายขนาดเล็กลงจำนวนสองเส้นเดินขนานกัน และสามารถรับกระแสได้ตามที่ต้องการจากตารางจะได้สายเคเบิลขนาด AWG 4/0 (212000 CM 206 แอมป์)

ใช้สายป้อน แบบ Three-Conductor-Cable Insulation Type “E”

ขนาด AWG 4/0 จำนวนสองเส้นเดินขนานกัน

ตรวจสอบค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในสาย

ก. แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในวงจรย่อย (สายของมอเตอร์ M3)

$$VD = \frac{173\,IRL}{CMV} = \frac{(173)(51.25)(12)(150)}{(424000)(380)}$$

$$= 2.019\ \%$$

ข. แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในสายป้อน

$$VD = \frac{173\,IRL}{CMV}CF = \frac{(173)(374.95)(12)(400)(1.45)}{(424000)(380)}$$

$$= 2.802\ \%$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในวงจรทั้งหมด = 4.821 % (น้อยกว่า 5 %)

แรงม้า	อินดัคชั่นมอเตอร์ แบบสไครเรลเคจและวาวด์โรเตอร์ (A)		ซิงโครนัสมอเตอร์ เพาเวอร์แฟคเตอร์ 1.0 (A)	
	220 V	380 V	220 V	380 V
0.5	2.1	1.2		
0.75	2.9	1.7		
1	3.8	2.2		
1.5	5.4	3.1		
2	7.1	4.1		
3	10.0	5.8		
5	15.7	9.2		
7 ½	23.0	13.0		
10	29.0	17.0		
15	44.0	25.0		
20	57.0	33.0		
25	71.0	41.0	55.5	32.0
30	84.0	49.0	66.0	38.0
40	109.0	63.0	87.0	50.0
50	136.0	79.0	109.0	63.0
60	161.0	93.0	129.0	75.0
75	201.0	116.0	162.0	94.0
100	259.0	150.0	211.0	122.0
125	326.0	189.0	264.0	153.0
150	376.0	218.0	316.0	189.0
200	520.0	291.0	418.0	242.0

ตารางที่ 5 กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์ที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 0.9 และ 0.8 ให้คูณค่าของกระแสโหลดเต็มที่ในตารางด้วย 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ

ประเภทการใช้งาน	ร้อยละของพิกัดกระแสบนแผ่นป้ายประจำเครื่อง			
	พิกัดกระแสมอเตอร์ใช้งานนาน 5 นาที	พิกัดกระแสมอเตอร์ใช้งานนาน 15 นาที	พิกัดกระแสมอเตอร์ใช้งานนาน 30 และ 60 นาที	พิกัดกระแสมอเตอร์ใช้งานต่อเนื่อง
ใช้งานระยะสั้น	110	120	150	-
ใช้งานเป็นระยะ	85	85	90	140
ใช้งานเป็นคาบ	85	90	95	140
ใช้งานไม่แน่นอน	110	120	150	200

ตารางที่ 6 ขนาดกระแสตัวนำสำหรับมอเตอร์แบบไม่ใช้งานต่อเนื่อง

<u>หมายเหตุ</u> กรณีการใช้งานในระยะเวลาสั้น ๆ คือ การใช้งานที่ช่วงเวลาสั้นมาก ๆ และโหลดมากเกือบคงที่ เช่น มอเตอร์หมุนปิด เปิดวาล์ว

กรณีการใช้งานเป็นระยะ คือ การใช้งานเป็นช่วงสลับกัน เช่น ช่วงมีโหลดและไร้โหลด หรือช่วงมีโหลดและพัก หรือช่วงมีโหลดไร้

กรณีการใช้งานคาบ คือ การทำงานเป็นระยะ ซึ่งสภาระโหลดกลับมีขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เช่น มอเตอร์หมุนลูกกลิ้งบดที่หมุนกลับไปกลับมา

กรณีการใช้งานไม่แน่นอน คือ การทำงานที่ทั้งสภาวะมีโหลดและช่วงเวลาที่มีโหลดเปลี่ยนแปลงได้ไม่แน่นอน

Feeder	Main	Service	Location	Volt		HP KW	PF	Amps		Size & Type CB	CB Element	Length	CIR MIL	Size & Cable Type			
								Full	Working Load						Feeder	Main	Total
G1		Gen. 1 Ship's Service	21' Flat FR. 137S	440		1250	0.80	2000	2500	3000A	2000A	65		8-T-350	0.4		0.37
G2		Gen. 2 Ship's Service	21' Flat FR. 147S	440		1250	0.80	2000	2500	3000A	2000A	120		8-T-350	0.7		0.69
SC1		Shore Connection box	Bridge Dk.FR.153S	440			0.80	1000	1000	1000A	1000A	185		3-T-400	1.1		1.06
ME		Bustie to Emer. SWBD		440			0.80	240	300	1600A	250A	150		T-350	1		0.99
P1		Forced Draft Blower 1	Upper Dk FR.148S	440		150	0.90	191	249	225A	225A	100		T-200	0.9		0.89
P2		Forced Draft Blower 2	Upper Dk FR.148P	440		150	0.90	191	249	225A	225A	180		T-300	0.9		0.89
P3		Lube Oil Service Pump 1	8' Level FR. 148S	440		40	0.85	51	64.4	100A	100A	180		T-33	1		1.01
P4		Fuel Oil Service Pump 1	8' Level FR. 148S	440		20	0.90	25	31.2	100A	100A	110		T-9	1.8		1.80
P5		Fuel Oil Service Pump 2	8' Level FR. 150S	440		20	0.90	25	31.2	100A	100A	110		T-9	1.9		1.90
P6		Panel P6 Mach. Aux	8' Level FR. 132S	440			0.80		208.2	400A	400A	120		T-250	0.3		0.26
	1P6	Eng. RM Bilge Pump 1	8' Level FR. 152S	440		7.5	0.90	9.5	11.9	100A	100A	55		T-4		0.6	0.87
	2P6	Control Air Compressor	8' Level FR. 143S	440		25	0.90	32.5	40.6	100A	100A	165		T-16		0.8	1.07

ตารางที่ 7 TYPICAL LIST OF POWER SYSTEM FEEDERSAND MAINS

7. การวิเคราะห์การลัดวงจร การเลือกและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันวงจร (SHORT-CIRCUIT ANALYSIS, AND SELECTIVITY AND COOPERATION OF CIRCUIT PROTECTIO0N DEVICE)

ในปัจจุบันความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ใช้ภายในเรือเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในเรือจำเป็นต้องมีกำลังผลิตที่สูงขึ้น ในการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าต่อชีวิตและอุปกรณ์ภายในเรืออันเนื่องมาจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้าทั้งชนิดโหลดเกิน (Overload) และการลัดวงจร (Short-Circuit) ตลอดจนรักษาให้ระบบจ่ายไฟสามารถทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีความเชื่อถือได้สูงสุด จำเป็นต้องพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันทั้งการป้องกันโหลดเกิน (Overload Protection) และการป้องกันการลัดวงจร (Short-Circuit Protection) ที่มีขนาดเหมาะสม มีคุณสมบัติในการทำงานเฉพาะตัวเหมาะสมแต่ละวงจร และมีการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ในระบบจ่ายไฟฟ้าทั้งระบบที่เหมาะสม คือ สามารถตัดเฉพาะวงจรที่เกิดการผิดปกติขึ้น โดยไม่ทำให้ความผิดปกตินั้นมีผลกระทบถึงวงจรที่เป็นปกติอื่น ๆ

ในการพิจารณาเพื่อเลือกขนาดและการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์กระแสผิดปกติ (Fault-Current Analysis) ในทุก ๆ ส่วนทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบจ่ายไฟฟ้าทั้งระบบ โดยพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขนาดและลักษณะการเกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของกระแสผิดปกติดังกล่าว เช่น ในกรณีของกระแสตัดวงจรมีองค์ประกอบที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ประจำเรือ เป็นต้น

7.1 ลักษณะของการผิดปกติ เช่น ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส การลัดวงจรอาจเกิดได้หลายลักษณะ แต่กรณีที่ทำให้เกิดกระแสลัดวงจรสูงสุด คือ แบบทรีเฟสฟอลต์ (Three Phase Fault) หรือแบบไลน์ทูกราวฟอลท์ (Line to Ground Fault) ดังนั้นในการพิจารณากระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้า 3 เฟส จึงควรพิจารณาค่ากระแสลัดวงจรจากการผิดปกติแบบดังกล่าว

7.2 แหล่งกำเนิดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้งหมด ในระบบที่อาจต่ออยู่ในขณะเกิดการผิดปกติ เนื่องจากในขณะที่เกิดการลัดวงจร กระแสจากแหล่งกำเนิดทั้งหมดในวงจรจะไหลมายังจุดที่เกิดการลัดวงจรเพียงจุดเดียว โดยในขณะที่เกิดการลัดวงจรในช่วงไซเคิลแรก มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำและซิงโครนัสมอเตอร์ ซึ่งยังหมุนต่อไปโดยแรงเฉื่อย จะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจ่ายกระแสไปยังจุดที่เกิดการลัดวงจรด้วยอุปกรณ์ที่สามารถเป็นแหล่งจ่ายแรงเคลื่อน ในขณะเกิดการลัดวงจรได้ คือ

7.2.1 ระบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

7.2.2 มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ

7.2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งอาจจะเดินขนาน

7.2.4 ซิงโครนัสมอเตอร์

7.2.5 ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์

7.3 ระยะเวลาหลังจากการลัดวงจร เนื่องจากค่าของกระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้า 3 เฟสจะมีค่ามากที่สุดในช่วง ½ ไซเคิลแรกหลังจากเกิดการลัดวงจรและจะลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบบางอย่าง เช่น หลังจาก 2-3 ไซเคิลไปแล้วมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะหยุดหมุน ดังนั้น ถ้าพิจารณาค่าของกระแสลัดวงจรหลังจาก 2-3 ไซเคิลไปแล้วก็ไม่ต้องคำนึงถึงมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำที่ติดตั้งอยู่ในวงจร องค์ประกอบอีกอย่างที่สำคัญ คือ ค่าองค์ประกอบกระแสตรง (Asymmetry Factor) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง Reactance กับ Resistance ทั้งหมดในวงจรจะเป็นค่าที่ทำให้กระแสลัดวงจรมีลักษณะแบบไม่สามารถ (Asymmetric Fault Current) ค่านี้จะลดลงเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับขนาดของ X และ R ในวงจรโดยปกติจะมีผลอยู่ถึงช่วง 2-3 ไซเคิล

ขนาดของกระแสลัดวงจรสามารถคำนวณได้จากสมการ

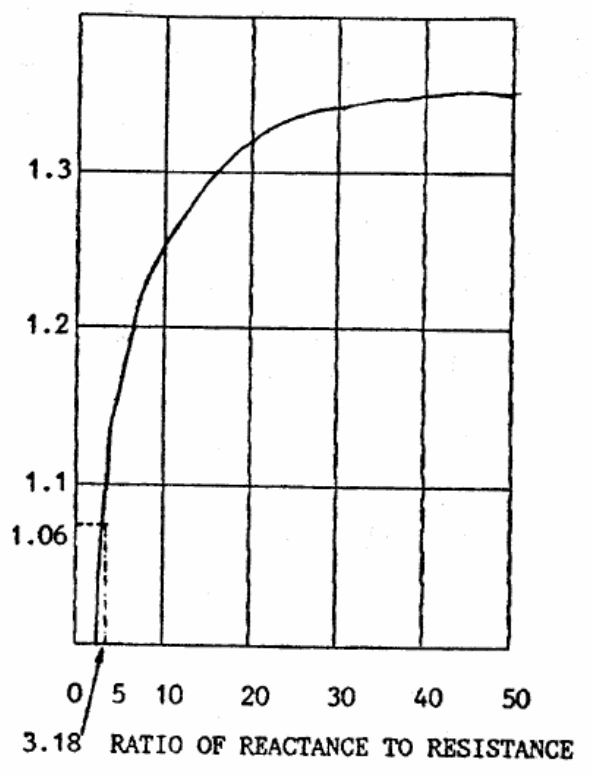
$$Ic = \frac{EgK}{Zeg}$$

Ic = กระแสลัดวงจร

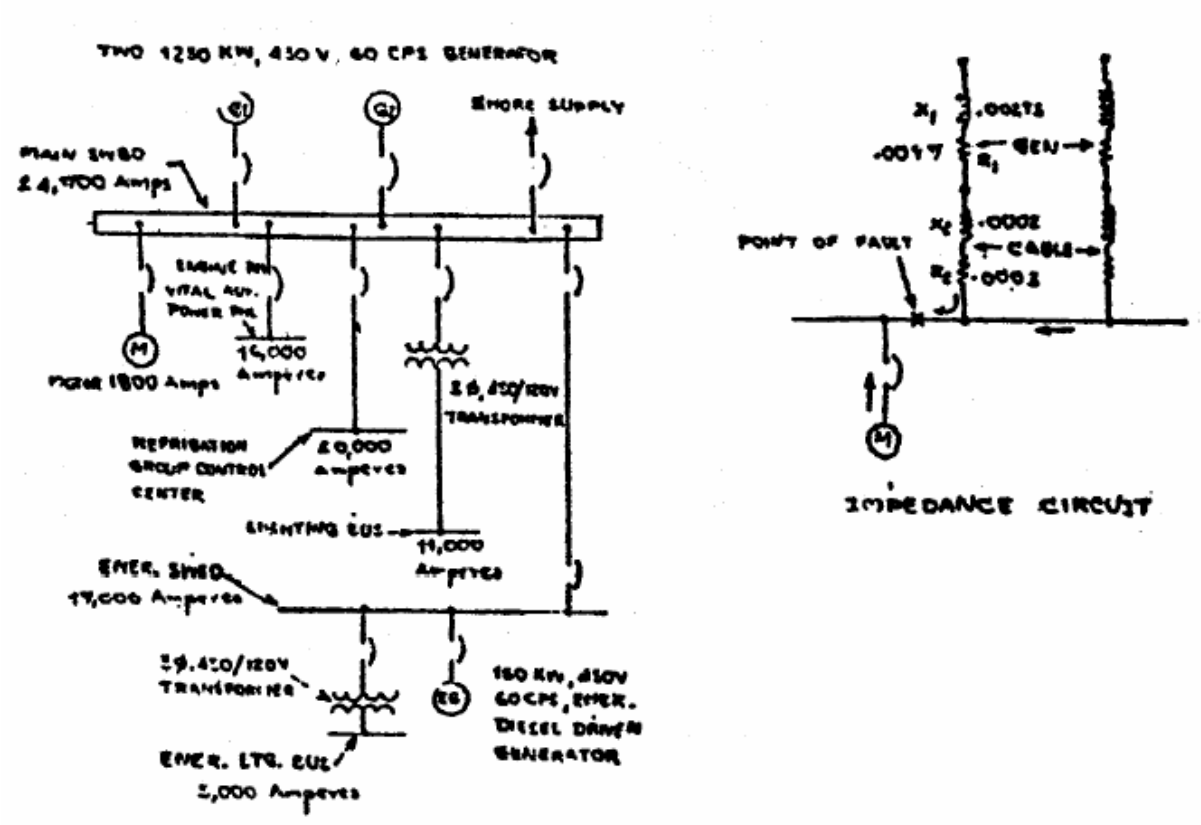
Eg = พิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างสายกับเสทิน (Line to Neutral Voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Eg = E ; Eg = 260 โวลท์ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาด 450 โวลท์ 3 เฟส)

K = ค่าองค์ประกอบกระแสตรง (Asymmetry Factor) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างรีแอคแดนซ์ ทั้งหมดต่อค่าความต้านทาน ทั้งหมดในวงจร รูปที่ 8

Zeg = ค่าอิมพิแดนซ์ของระบบ (Ohms/Phase) ระหว่างจุดที่เกิดการผิดปกติถึงแหล่งกำเนิดกระแส



รูปที่ 8 Ratio of Average rms Current in Three Phases at one Half Cycle to rms Value of Symmetry Current



รูปที่ 9 แสดงค่ากระแสลัดวงจรของจุดต่างๆ นอกเหนือจากตัวอย่างการคำนวณข้างต้น

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณหาขนาดกระแสลัดวงจรของระบบจ่ายไฟฟ้าในรูปที่ 9 เป็นระบบไฟฟ้าในเรือประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักจำนวน 2 เครื่อง ขนาด 1250 KW 450 V, 60 CPS 3 เฟส และอุปกรณ์อื่นในระบบตามในรูปต้องการคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรแบบ Three Phase Fault ที่เกิดขึ้นที่บัสในแผงสวิทช์บอร์ดใหญ่ โดยในขณะที่เกิดการผิดปกติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองเครื่องกำลังทำงานในลักษณะขนานเครื่อง และมีมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำขนาด 1800 ปอนด์อยู่ในวงจรด้วย

ลักษณะของระบบ

GENERATOR SUBTRANSIENT REACTANCE = 0.0285 OHMS

GENERATOR ARMATURE REACTANCE = 0.0087 OHMS

GENERATOR CABLE REACTANCE = 0.0002 OHMS

GENERATOR CABLE RESISTANCE = 0.0003 OHMS

ผลรวมของค่ารีแอ็กแดนท์ทั้งหมดและค่าความต้านทานทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสายเคเบิลจากเครื่องกำเนิดถึงบัสของสวิทช์บอร์ดหลัก

RESISTANCE (R) = 0.0090 OHMS/PHASE

RESISTANCE (X) = 0.0287 OHMS/PHASE

ค่าอิมพิแดนช์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องเดินขนานกันและสายเคเบิล

$$Zeg = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(0.0045)^2 + (0.0143)^2}$$

$$= 0.015 \text{ Ohms}$$

อัตราส่วนระหว่าง X/R $= {0.0287}/{0.009} = 3.18$

จากกราฟในรูปที่ 8 ${X}/{R}$ = 3.18 จะได้ R = 1.06

ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $Ic = \frac{EgK}{Zeg}$

$$= \frac{(260)(1.06)}{(0.015)}$$

$$= 18.373 \text{ แอมป์}$$

ค่ากระแสที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์และจ่ายไปยังจุดที่เปิดการลัดวงจร จะมีค่าประมาณ 3.5 เท่า ของพิกัดกระแสของมอเตอร์ ค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดจากมอเตอร์ = 3.5 (1800) = 6300 แอมป์

ค่ากระแสลัดวงจรที่บัสของแผงสวิทช์บอร์ด = 18373 + 6300 = 24673 แอมป์

<u>หมายเหตุ</u> ค่ากระแสลัดวงจรที่หาได้เป็นค่าพิกัดต่ำสุดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในการที่ขัดจังหวะการไหลของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดลัดวงจรขึ้นแล้ว (Interrupting Rating) สำหรับเบรกเกอร์ที่ติดตั้งที่แผงสวิทช์บอร์ดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในรูป 9 แสดงค่าของกระแสลัดวงจรสูงสุดในจุดต่าง ๆ ของระบบจ่ายไฟฟ้านอกเหนือจากการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดตามที่กล่าวมาแล้ว จำเป็นจะต้องคำนวณหาค่ากระแสผิดปกติต่ำสุดในทุก ๆ จุด เพื่อให้ทราบว่าค่ากระแสดังกล่าวเพียงพอสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละตัวที่จะตัดวงจรก่อนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จะเกิดอันตรายเนื่องจากกระแสผิดปกติ ซึ่งอาจจะสูงกว่าค่าของกระแสใช้งานปกติไม่มากนักจนถึง 6-7 เท่า ซึ่งถ้ามีกระแสจำนวนดังกล่าวในระบบนาน ๆ อาจเกิดอันตรายกับอุปกรณ์ได้ ในการพิจารณาหาค่ากระแสดังกล่าวจะพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สุดที่อาจจะจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบโดยตัดกระแสผิดปกติที่อาจจะเกิดจากมอเตอร์ต่าง ๆ ออกทั้งหมด

ในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์ป้องกันในส่วนต่าง ๆ ของระบบจะพิจารณา โดยใช้ค่ากระแสผิดปกติที่คำนวณได้เป็นหลักในการพิจารณา และตั้งลำดับการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ต่าง ๆ ในวงจรให้เหมาะสมและมีความเชื่อถือได้มากที่สุด ว่าอุปกรณ์ป้องกันจะตัดเฉพาะวงจรที่ผิดปกติออก โดยไม่มีผลกระทบถึงวงจรอื่น ๆ ที่ยังปกติอยู่ และในกรณีที่เกิดการผิดปกติขึ้น อุปกรณ์ป้องกันตัวที่อยู่ใกล้กับจุดผิดปกติทางด้านไฟฟ้าป้อน จะเปิดวงจรแยกวงจรที่ผิดปกติออกต่างหากจากวงจรอื่น ๆ อุปกรณ์ป้องกันตัวอื่น ๆ ทางด้านไฟฟ้าป้อนจะต้องปิดวงจรอยู่ตามปกติ

เซอร์กิตเบรกเกอร์และฟิวส์ทุกตัวในระบบจ่ายไฟฟ้าจะต้องมีค่าพิกัดกระแสต่ำสุด ในการเปิดวงจรเท่ากับหรือมากกว่าค่ากระแสลัดวงจรในจุดซึ่งเบรกเกอร์หรือฟิวส์นั้น ๆ ป้องกันเบรกเกอร์ชนิดที่สามารถเลือกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดวงจรได้ (Selective Trip Device) ควรจะมีพิกัดเวลาตัดสั้น (Shot Time Rating) เท่ากับหรือมากกว่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในจุดที่เบรกเกอร์นั้นป้องกัน

คุณลักษณะในการตัดวงจร เมื่อเกิดกระแสเกินสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานในเรือโดยทั่ว ๆ ไป คือ หน่วงเวลานาน (Long Delay) หน่วงเวลาสั้น (Short Delay) และตัดวงจรทันที (Instantaneous) ชุดตัดวงจรแบบหน่วงเวลานานจะให้การป้องกันโอเวอร์โหลด และทำงานในช่วงระยะเวลาเป็นวินาทีหรือนาทีที่อัตรากระแสต่ำของชุดคอยล์ ในการใช้งานเบรกเกอร์ชนิดนี้ไม่ควรใช้งานในลักษณะที่พิกัดกระแสต่อเนื่องสูงกว่าเกณฑ์ เนื่องจากจะทำให้เกิดความร้อนมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับเบคเกอร์ ชุดตัดวงจรแบบหน่วงเวลาสั้น จะทำงานในช่วงไม่กี่ไซเคิล และใช้ในการป้องกันเนื่องจากกระแสผิดปกติที่มีขนาดสูงในการใช้งานอาจต่อเบรกเกอร์ชนิดนี้ในลักษณะอนุกรม ชุดตัดวงจรทันที่จะทำงานโดยไม่มีการหน่วงเวลา อาจใช้เป็นตัวตัดวงจรเพื่อป้องกันการลัดวงจรของวงจรโหลดต่าง ๆ

ในการพิจารณาเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เหมาะสมจะใช้กราฟ เวลา กระแส (Time Current Curve) ซึ่งแสดงลักษณะการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดต่าง ๆ และกราฟคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Decrement Curve) ในการพิจารณา

โดยปกติในการตั้งการทำงานของการตัดวงจรแบบหน่วงเวลานานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องไม่เกิน 115 % ของกระแสโหลดเต็มที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการตั้งการตัดวงจรแบบหน่วงเวลาสั้นของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะตั้งให้ทำงานค่าต่ำสุดของกระแสและเวลา โดยจะต้องสัมพันธ์กับการตั้งการทำงานเพื่อตัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อนตัวอื่น ๆ ในระบบจ่ายไฟฟ้า ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปจะต้องทำงานร่วมกันในลักษณะขนานเครื่อง เซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะต้องสามารถตัดวงจรในแบบทันทีได้ โดยตั้งการทำงานเพื่อตัดวงจรที่ขนาดกระแสสูงกว่าขนาดกระแสลัดวงจรสูงสุดแบบไม่สามารถ (Asymmetrical Short Circuit Current) ที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกัน ในการพิจารณาการทำงานที่ร่วมกันอย่างเหมาะสมของเบรกเกอร์ทั้งหมดในวงจร จะใช้กราฟของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นหลัก จากนั้นจึงนำกราฟของเบรกเกอร์ตัวอื่น ๆ มาเพิ่มเข้าในแผ่นกราฟเดียวกัน เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีช่วงการทำงานที่ซ้อนกันของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งหมดในระบบจ่ายไฟฟ้า การเลือกการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ควรจะทำระหว่างอุปกรณ์ป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า บัสไท บัสของสายป้อน และสายป้อนสำหรับวงจรของอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยการเลือกลักษณะการตัดวงจรจะต้องเพิ่มไปถึง สายป้อนและวงจรย่อย

บทที่ 10
ระบบสื่อสารภายใน
(INTERNAL COMMUNICATION SYSTEM)

1. กล่าวโดยทั่วไป (GENERAL)

ระบบสื่อสารภายใน หมายถึง ระบบที่ใช้ในการส่งสัญญาณหรือส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดของสัญญาณหรือข้อมูลนั้น ไปยังอีกแห่งหนึ่งหรือหลายๆ ที่พร้อมๆ กัน โดยอาศัยอุปกรณ์แสดง (Indicating Equipment) อุปกรณ์บันทึก (Recording Equipment) อุปกรณ์เสียง (Voice or Audible Equipment) ระบบดังกล่าวประกอบด้วย ระบบเตือนภัย (Alarm System) ระบบโทรศัพท์ (Telephone System) ระบบตรวจจับสัญญาณในการเดินเรือ (Navigational Sensor System) และชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบควบคุมภายในเรือ (Element of Ship's Control System)

อุปกรณ์แต่ละวงจรของระบบสื่อสารภายในเรือควรมีลักษณะดังนี้

1.1 วงจรสื่อสารทั้งหมดควรเป็นวงจรที่ออกแบบมาให้ทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ หรือ 120 โวลต์ อย่างไรก็ตามถ้าวงจรจำเป็นต้องใช้ไฟ ขนาด 12 หรือ 6 โวลต์ ก็สามารถใช้ได้

1.2 ขนาดแรงดันไฟฟ้าตกในวงจรสูงสุดที่ยอมรับได้ของวงจรต่างๆ ไม่ควรเกิน 5 % ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่าย จากจุดจ่ายไฟถึงอุปกรณ์

1.3 ในระบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ระดับของความถี่ในวงจรไม่ควรมีความเปลี่ยนแปลงจากระดับที่กำหนดเกิน $\pm$ 5% ของอุปกรณ์ที่ใช้งาน และอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะต้องสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่ความถี่ของไฟที่จ่ายมาให้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm$ 5 %

1.4 ในวงจรที่มีสายป้อนรวมสำหรับวงจรสื่อสารย่อยๆ หลายวงจร ทั้งสายป้อนและวงจรย่อยแต่ละวงจรจะต้องมีฟิวส์เพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสเกิน และสายป้อนจะต้องมีขนาดเหมาะสมกับภาระที่ต่ออยู่

1.5 อุปกรณ์ในระบบจะต้องสามารถทำงานได้ดี เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $\pm$ 10 %

1.6 สายตัวนำสำหรับวงจรสื่อสารจะต้องมีขนาดเหมาะสม โดยมีพิกัดการนำกระแสเท่ากับพิกัดภาระที่ต่ออยู่ สายเคเบิลแบบหลายตัวนำ (Multiconductor Cable) ที่เลือกใช้จะต้องมีตัวนำมากกว่าความต้องการใช้งานสำรองอยู่ 10 % แต่อย่างน้อยจะต้องไม่น้อยกว่า 1 ตัวนำในขณะที่ออกแบบระบบ

1.7 อุปกรณ์ในระบบควรเป็นแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานในเรือ เช่น โครงสร้างที่แข็งแรงสามารถทนต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายในเรือได้ และทำจากวัสดุที่มีความสามารถป้องกันสนิม

หรือการผุกร่อนเนื่องจากสภาพอากาศในทะเล โดยปกติวงจรสื่อสารภายในเรือจะถูกแยกประเภทออกโดยใช้รหัสอักษรซึ่งกำหนดโดย ทร.สหรัฐ และ IEEE นอกจากนี้ยังสามารถแยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 ประเภท คือ ระบบแสดง (Indicating System) ระบบเตือนภัย (Alarm System) ระบบสื่อสาร (Communication System) และระบบควบคุม (Control System)

2. ระบบแสดงผล (INDICATING SYSTEM)

เป็นระบบที่ส่งผ่านข้อมูลเกี่ยวกับสถานะ (Status) ไปยังพื้นที่ควบคุมต่างๆ บนเรือ อุปกรณ์ที่รับข้อมูลดังกล่าวอาจเป็น หน้าปัด (Dial) หลอดไฟ จอภาพแสดงตัวเลข (Digital Display) หรือเป็นข้อมูลเข้าสำหรับอุปกรณ์ควบคุม นอกจากนี้ความหมายของวงจรยังรวมถึงอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ (Sensors) เช่น เครื่องวัดความเร็ว (Underwater Log) เป็นต้น ระบบแสงผลโดยทั่วไปประกอบด้วย

2.1 Refrigeration Temperature Indicating System (วงจร RT) เป็นระบบที่ติดตั้งในเรือที่มีห้องเย็นเพื่อแสดงระดับอุณหภูมิในห้องเย็น (Temperature Sensor) ไว้ในห้องเย็น อุปกรณ์ดังกล่าวจะต่อกับอุปกรณ์แสดงซึ่งติดตั้งอยู่แผงแสดง (Indicator Panel) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกห้องเย็น และมีการต่อวงจรไปยังอุปกรณ์เตือนภัยเพื่อที่จะแจ้งให้เจ้าหน้าที่ทราบก่อนที่ระดับอุณหภูมิจะถึงขีดที่จะเป็นอันตราย ในวงจรอาจเพิ่มอุปกรณ์บันทึกค่าเพื่อบันทึกอุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆที่ต้องการ

2.2 Shaft Revolution Indicator System (วงจร K) เป็นวงจรที่แสดงทิศทางการหมุน ความเร็วและการหมุนที่เพิ่มขึ้นจากการสะสม (Cumulative Revolutions) ของเพลาใบจักร อุปกรณ์สัญญาณจะติดอยู่ที่เพลาแต่ละเพลา จะส่งข้อมูลมาให้กับเครื่องวัดรอบและเครื่องแสดงทิศทาง (Revolution Counter and RPM and Direction Indicator) ซึ่งติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องจักร ห้องถือท้าย และห้องอื่นๆ เช่น ห้องควบคุมเครื่องจักร เป็นต้น

2.3 Bearing Temperature Monitoring System (วงจร TM) เป็นวงจรแสดงค่าระดับของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องของแบริ่งต่างๆ ที่ต้องการในระบบขับเคลื่อน อุปกรณ์ตรวจจับจะถูกติดตั้งสำหรับแบริ่งแต่ละตัวที่ต้องการทราบอุณหภูมิจากอุปกรณ์ตรวจจับ จะมีวงจรไฟฟ้าต่อไปยังสัญญาณเตือนและอุปกรณ์แสดงที่ติดตั้งอยู่บนแผงสถานะในห้องควบคุม

2.4 Rudder Angle Indicator System (วงจร N) เป็นวงจรซึ่งแสดงตำแหน่งมุมของหางเสือสำหรับสถานีควบคุมที่อยู่ไกลจากห้องหางเสือเช่น ห้องถือท้าย เป็นต้น ในระบบปกติจะประกอบด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่บรรจุอยู่ในโครงสร้างแบบกันน้ำ ติดตั้งในห้องหางเสือ และอุปกรณ์แสดงมุมหางเสือซึ่งบรรจุอยู่ในโครงสร้างแบบกันน้ำ ติดตั้งอยู่ในห้องถือท้ายหรือสถานที่อื่นๆ อุปกรณ์ส่งสัญญาณเป็น Synchro Generator ซึ่งควรจะมีแขนกลติดต่ออยู่กับแกนหางเสือ เพื่อให้สามารถส่งค่ามุมหางเสือจริงๆ ไปยัง Synchro Indicator แต่ละตัว อุปกรณ์แสดงค่ามุมโดยปกติจะเป็นหน้าปัดซึ่งเส้นแนวกลางลำเรือ (Amidship Line) และเข็มชี้ซึ่งจะหมุนไปได้ทั้งทางขวา-ซ้าย ของเส้นกลางลำเรือ

เพื่อแสดงค่ามุนของหางเสือทั้งทางซ้ายและขวา โดยปกติแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจะเป็นไฟกระแสสลับ หนึ่งเฟส 115 โวลต์ 60 เฮิร์ต และโดยทั่วๆ ไปจะจ่ายมาจากแผงสวิตช์บอร์ดฉุกเฉิน

2.5 Pyrometer Indicator System (วงจร PE) เป็นวงจรซึ่งใช้ตรวจวัดอุณหภูมิของท่อนำเปลวเพลิงและอากาศร้อนให้ผ่านน้ำในหม้อน้ำ อุณหภูมิของแก๊สเสียในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลหรือท่อแก๊สเสีย โดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดความร้อน (Thermocouple) ในส่วนของอุปกรณ์ที่ต้องการวัดอุณหภูมิแบบติดตั้งถาวร มีวงจรต่อจากอุปกรณ์วัดความร้อนดังกล่าวมายังแผงควบคุมโดยผ่านสวิตช์เลือก เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิของส่วนที่ต้องการ

2.6 Salinity Indicator System (วงจร SB) เป็นวงจรที่ใช้ในการวัดค่าของเกลือที่อยู่ในน้ำเลี้ยงของหม้อน้ำ หรือน้ำที่กลั่นจากระบบกลั่นน้ำ วงจรประกอบด้วยเซลวัดความเค็ม (Salinity Cell) โดยการติดตั้งเซลวัดความเค็มจะต้องออกแบบให้สามารถทำการถอดออกหรือเปลี่ยนใหม่ได้ โดยไม่รบกวนการทำงานของอุปกรณ์ โดยปกติระบบวัดความเค็มจะถูกติดตั้งให้เตือนเมื่อปริมาณของเกลือมีน้ำหนัก 0.25 แกรนต่อแกลลอน (1 แกรน เท่ากับ 0.0648 กรัม) โดยปกติวงจรสำหรับวัดความเค็มของระบบ Feed และ Condensate จะใช้รหัสวงจร 1SB และวงจรสำหรับระบบ Desalination ใช้รหัสวงจร 2 SB

2.7 Underwater Log System (วงจร Y) เป็นระบบที่ใช้วัดความเร็วและระยะทางที่เรือแล่นไป อุปกรณ์วัดคือ Rodmeter จะหย่อนผ่านลิ้นน้ำทะเลออกไปนอกเปลือกเรือ ประมาณ 30 นิ้ว ด้านใต้ของ Rodmeter ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า (Electrode) ข้างละหนึ่งตัว ขณะที่น้ำไหลผ่านขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเป็นอัตราส่วนกับความเร็วของเรือ สัญญาณหรือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะถูกขยายและส่งต่อไปขับอุปกรณ์แสดงความเร็วแบบตัวเลข (Digital Speed Indicator) ซึ่งติดตั้งอยู่ในสถานที่ต่างๆ ในเรือ

2.8 Doppler Sonar Speed Log (วงจร Y) เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดความเร็วของเรือที่มีความถูกต้องสูง ทั้งความเร็วเดินหน้าและถอยหลัง ซึ่งสัมพันธ์กับพ้นท้องทะเลที่มีความลึกไม่เกิน 500 ฟุต และสัมพันธ์กับความหนาแน่นของน้ำ (Water Mass) เมื่อมีความลึกมากๆ การทำงานของระบบอาศัยหลักการที่ว่าสัญญาณที่ถูกส่งจากวัตถุที่เคลื่อนที่ และถูกสะท้อนกลับจากผิวพื้นที่อยู่กับที่จะทำให้การเบี่ยงเบนปรากฏของความถี่ (Apparent Shift in Frequency) ความถี่เบี่ยงเบนนี้จะเป็นอัตราส่วนกับความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ซึ่งสัมพันธ์กับผิวพื้นที่อยู่กับที่ การใช้งานที่สำคัญของระบบนี้คือการทดลองหาความเร็วเรือ (Speed Trial) และการตรวจวัดความเร็วเรือแบบต่อเนื่องเมื่อเรืออยู่ในบริเวณชายฝั่งหรือท่าเรือ

2.9 Gyro Compass System (วงจร LC) เป็นระบบที่แสดงค่าทิศเหนือจริง (True North) และอาจจะแสดงค่าของการโคลงทางข้างและโคลงตามยาว (Roll and Pitch) ของเรือ ค่าทิศหัวเรือจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์เดินเรือต่างๆ เช่น Steering and Bearing Repeater Comass, Radio Direction Finder, Course Recorder และ Radar Display เป็นต้น ค่า Roll และ Pitch จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์รักษาอาการสมดุลย์ต่างๆ

3. ระบบแจ้งเตือน (ALARM SYSTEM)

ระบบแจ้งเตือนที่มีความแน่นอนและเชื่อถือได้เป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยของอุปกรณ์และบุคคลในเรือ การออกแบบและการทำงานของระบบเป็นสิ่งที่หน่วยงานที่รับผิดชอบของรัฐบาลต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด โดยทั่วๆ ไป อุปกรณ์แจ้งเตือนอาจเป็นแบบแสงหรือแบบเสียง ในกรณีที่มีอุปกรณ์เตือนภัยแบบเสียงตั้งแต่สองอุปกรณ์ขึ้นไปติดตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกัน ในทางปฏิบัติจะต้องติดตั้งอุปกรณ์แบบแสงที่แผงระบบเตือนภัยร่วม เพื่อแสดงแหล่งที่มาของสัญญาณเตือนภัยแบบเสียงดังกล่าว วงจรสัญญาณเตือนภัยลักษณะทั่วๆ ไปของระบบเป็นดังนี้

3.1 Lubricating Oil Low-Pressure Alarm System (วงจร EC) เป็นระบบแจ้งเตือนในกรณีที่กำลังดันของน้ำในท่อทางสำหรับเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยต่อชีวิตในเรือต่ำถึงระดับที่เป็นอันตราย การทำงานของวงจรจะใช้ Sensor เป็นสวิตช์กำลังดัน ซึ่งติดตั้งอยู่ในท่อทางน้ำมันหล่อหน้าสัมผัสสวิตช์จะถูกเปิดอยู่ตลอดเวลาตราบเท่าที่กำลังดันน้ำมันหล่อในท่ออยู่ในระดับที่กำหนดไว้เมื่อกำลังดันน้ำมันหล่อต่ำลงกว่าระดับที่กำหนด หน้าสัมผัสของสวิตช์จะปิดและทำให้ระบบแจ้งเตือนทราบถึงความผิดปกติหลังจากนั้นระบบแจ้งเตือนจะส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ

3.2 Feedwater Low-level Alarm System (วงจร FW) เป็นระบบตรวจวัดระดับน้ำเลี้ยงเข้าหม้อน้ำ อุปกรณ์ในระบบประกอบด้วย สวิตช์ลูกลอย (Float-Actuated Switch) ติดตั้งอยู่ในถังน้ำเลี้ยง กระดิ่งสัญญาณ (Alarm Bell) ไฟแสดง (Indicating Light) และสวิตช์ตัดวงจร การทำงานของระบบคือเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนดจะทำให้หน้าสัมผัสของสวิตช์ปิดและทำให้ระบบแจ้งเตือนทำงาน นอกเหนือจากนี้ ระบบอาจออกแบบให้สามารถตัดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อระดับน้ำเลี้ยง (Feedwater) ต่ำลงถึงระดับที่เป็นอันตราย

3.3 Fire Alarm System (วงจร F) เป็นระบบที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเกิดเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ และส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังสะพานเดินเรือหรือศูนย์ควบคุมความเสียหาย ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์เตือนภัยทั้งแบบเสียงและแสง

ระบบตรวจจับจะถูกแบ่งออกเป็นเขต (Zone) เพื่อจำกัดพื้นที่ครอบคลุมสำหรับสัญญาณแจ้งเตือนให้แคบเท่าที่เหมาะสม ระบบจะต้องถูกออกแบบให้เจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติหน้าที่อยู่สามารถแยกแยะได้ง่ายว่ากำลังเกิดเพลิงไหม้ในบริเวณใด โดยพิจารณาจากแผงสัญญาณเตือนไฟไหม้ (Fire Alarm Switchboard)

ระบบตรวจจับอาจเป็นระบบที่ใช้ไฟฟ้าหรือระบบที่ใช้ลม ระบบที่ใช้ไฟฟ้าใช้อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิแบบปรอทหรือแบบโลหะสองชนิด รวมกับสวิตช์บอร์ดแจ้งเตือน(Alarm Switchboard) โดยทั่วๆ ไประบบแบบนี้จะติดตั้งอุปกรณ์ต่อวงจรโดยการทำงานด้วยมือเพิ่มเติมไปในระบบ โดยจะส่งสัญญาณไปยังสวิตช์บอร์ดแจ้งเตือนได้ เมื่อมีเจ้าหน้าที่ทำให้หน้าสัมผัสของวงจรนั้น

ทำงาน เช่น ตู้แจ้งเพลิงไหม้ที่จะต้องทุบกระจกด้านหน้าเข้าไปเพื่อกดสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ส่วนระบบที่ใช้ลมตรวจสอบอากาศนั้น จะดูดอากาศตัวอย่างในบริเวณนั้นๆเข้า Sensor เพื่อตรวจดูว่ามีควันอยู่ในบริเวณนั้นหรือไม่ ในกรณีที่ตรวจพบควันอุปกรณ์ตรวจจับจะส่งสัญญาณให้ระบบแจ้งเตือนทราบโดยอัตโนมัติ

3.4 General Alarm (วงจร G) เป็นระบบแจ้งเตือนที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อแจ้งเหตุฉุกเฉินให้กับคนในเรือทั้งหมด เป็นระบบที่จะต้องติดตั้งอยู่ในเรือทุกลำที่มีขนาดตั้งแต่ 100 ตันขึ้นไป ระบบฯ ประกอบด้วย กระดิ่งไฟฟ้า เครื่องทำให้กระแสไฟฟ้าเดินแบบหมุนด้วยมือ (Manually Operated Contact Maker) แบบปกติเปิด (Normal Open) และกลับสู่ตำแหน่งที่ติดตั้งจะต้องสอดคล้องกับตามข้อกำหนดของหน่วยงานของรัฐที่รับผิดชอบ สำหรับหน้าสัมผัส (Contact) ที่ติดตั้งอยู่ภายนอกสะพานเดินเรือ ควรจะติดตั้งอยู่ในโครงสร้างที่บุคคลที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าถึงได้ แต่สามารถส่งสัญญาณเตือนภัยได้โดยการทุบกระจกด้านหน้าเพื่อกระตุ้นให้ระบบฯ ทำงาน กระดิ่งสัญญาณควรจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 8 นิ้ว และผลิตเสียงสัญญาณที่มีลักษณะเฉพาะพิเศษแตกต่างไปจากกระดิ่งที่ใช้ในระบบอื่นๆในเรือ กระดิ่งสัญญาณควรติดตั้งอยู่ในบริเวณห้องพักอาศัยทั้งหมด บริเวณทำงาน ห้องเครื่องจักร ในจำนวนและตำแหน่งที่สามารถแน่ใจได้ว่าคนในเรือทั้งหมดสามารถได้ยินเสียงสัญญาณจากกระดิ่งในบริเวณที่มีเสียงรบกวนควรจะติดตั้งไฟสีแดง (Flashing Red Light) ควบคู่กับกระดิ่งสัญญาณ

กระดิ่งสัญญาณในระบบแจ้งเตือนทั้งหมดจะรับไฟจากแผงจ่ายไฟป้อน (Feeder Distribution Panel) ผ่านแผงจ่ายไฟวงจรย่อย (Branch Circuit Distribution Panel) สำหรับแผงจ่ายไฟสายป้อนจะรับไฟจากระบบแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟได้ (Storage Battery System) สำหรับเรือที่ถูกแบ่งออกเป็นเขต (Zone) ผนังป้องกันไฟ (Fire Screen Bulkhead) ในแต่ละเขต จะต้องรับไฟจากสายป้อนหนึ่งสายหรือมากกว่าเท่าที่จำเป็นต้องใช้ในการจ่ายไฟให้กับกระดิ่งในส่วนนั้นๆ สำหรับเรือที่ไม่ได้ถูกแบ่งออกเป็นเขต (Zone) ควรจะแบ่งเรือนั้นออกเป็นเขตทางตั้ง (Vertical Zone) โดยมีระยะยาวสุดในแต่ละเขตไม่เกิน 150 ฟุต ในแต่ละเขตจะต้องมีสายป้อนอย่างน้อยหนึ่งเส้นหรือมากกว่าเท่าที่จำเป็นเพื่อจ่ายไฟให้กับกระดิ่งต่างๆ ภายในเขตนั้นๆ แผงจ่ายไฟสายป้อนและแผงจ่ายไฟวงจรย่อยควรจะติดตั้งในดาดฟ้าที่สูงกว่าดาดฟ้าผนึกน้ำหรือดาดฟ้า Freeboard แล้วแต่ว่าดาดฟ้าไหนจะอยู่สูงกว่าและอยู่ภายนอกเครื่องจักร สายป้อนและสายวงจรย่อยจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในแต่ละเขตอาจมีแผงจ่ายไฟวงจรย่อยตามจำนวนเท่าที่จำเป็น โดยอย่างน้อยจะต้องมีฟิวส์หนึ่งตัวสำหรับวงจรย่อยในแต่ละเขต และในแต่ละวงจรย่อยจะต่อกระดิ่งแจ้งเตือนได้ไม่เกิน 5 ตัว และกระดิ่งทั้งหมดในแต่ละวงจรย่อยจะต้องอยู่ในดาดฟ้าเดียวกัน

แหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรระบบแจ้งเตือน อาจเป็นแบตเตอรี่เพียงลูกเดียว หรือชุดแบตเตอรี่ที่มีระบบสำรอง ติดตั้งอยู่ใน Locker บรรจุแบตเตอรี่ที่มีการระบายอากาศที่ดีหรือห้องแบตเตอรี่ที่อยู่เหนือดาดฟ้าผนึกน้ำ (Bulkhead Deck) หรือดาดฟ้า Freeboard แล้วแต่ว่าดาดฟ้าไหนจะอยู่สูงกว่าและ

อยู่ภายนอกห้องเครื่องจักร สำหรับเรือที่มีแหล่งจ่ายไฟสำหรับระบบฯ เป็นเพียงแบตเตอรี่ลูกเดียว จะต้องมีแผงประจุไฟที่ทำงานโดยอัตโนมัติที่จะรักษาสภาพให้แบตเตอรี่อยู่ในสถานะที่มีไฟเต็มตลอดเวลา สำหรับเรือที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง (Duplicate Storage Battery) แบตเตอรี่ทั้งสองชุดควรจะต่อกับอุปกรณ์ประจุไฟโดยผ่านสวิตช์สองทาง เพื่อต่อแบตเตอรี่ชุดหนึ่งสำหรับวงจรจ่ายไฟ และอีกชุดสำหรับการประจุไฟ สำหรับเรือที่มี Bus จ่ายไฟฉุกเฉินชั่วคราว (Temporary Emergency Bus) บนแผงสวิทช์บอร์ดฉุกเฉิน ระบบแจ้งเตือนอาจจะรับไฟมาจาก Bus ดังกล่าว แทนที่จะรับจากแบตเตอรี่

3.5 Refrigerated Space Alarm System (วงจร RA) เป็นระบบแจ้งเตือนของห้องเย็น ในกรณีที่เจ้าหน้าที่ถูก lock อยู่ภายในห้องโดยอุบัติเหตุภายในห้องเย็นจะติดตั้งสวิตช์แบบกดซึ่งมีโครงสร้างแบบกันน้ำและวงจรไฟฟ้าที่ต่อออกมายังอุปกรณ์สัญญาณแบบเสียงที่อยู่ภายนอกห้อง

4. ระบบสื่อสาร (COMMUNICATION SYSTEM) ภายในเรือ

อาจแบ่งออกตามจุดประสงค์ได้สองแบบใหญ่ๆ คือ แบบที่ติดตั้งเพื่อความปลอดภัยของเรือ และเพื่อความสดวกสบายภายในเรือ ระบบสื่อสารภายในเรือโดยทั่วไปประกอบด้วย

4.1 General Announcing System (วงจร MC) เป็นระบบสำหรับผู้นำเรือในสะพานเดินเรือใช้ในการถ่ายทอดคำสั่งหรือข้อความต่างๆ ให้กับผู้โดยสารและคนประจำเรือทั้งหมดในเรือ ดังนั้นจึงเป็นระบบที่ควรจะติดตั้งตลอดลำ โดยปกติจะสามารถควบคุมได้จากสะพานเดินเรือเพียงแห่งเดียว การกระจายของวงจรของระบบฯ และตำแหน่งติดตั้งลำโพง (Speaker) จะขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะของเรือแต่ละลำ

4.2 Ship Service Telephone System (วงจร J) เป็นระบบโทรศัพท์ติดตั้งใช้งานทั่วๆไป และมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบโทรศัพท์ที่ติดตั้งบนบก ซึ่งอาจจะเป็นระบบหมุนแบบอัตโนมัติ (Automatic Dial) หรือแบบควบคุมจากส่วนกลาง (Central Switchboard Control Type) และมีตู้ต่อซึ่งเชื่อมระบบโทรศัพท์ภายในเรือเข้ากับระบบโทรศัพท์บนบกได้เมื่อเรือเทียบท่า

4.3 Sound Powered Telephone System (วงจร JV) and Voice Tube System (วงจร V) เป็นระบบสื่อสารที่จำเป็นต้องติดตั้งภายในเรือเพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างพื้นที่ทั้งหมดดังต่อไปนี้ คือ ห้องถือท้าย ห้องเครื่องจักร หรือห้องควบคุมเครื่องจักร ห้องหางเสือ และห้องถือท้ายอะไหล่ นอกจากนี้จะต้องมีระบบสื่อสารระหว่างพื้นที่ดังต่อไปนี้ คือ ระหว่างเข็มทิศไยโรหลัก (Master) กับเข็มทิศไยโรลูกข่าย (Repeater) ในห้องถือท้าย ระหว่างห้องถือท้ายกับเรดาร์ที่อยู่ไกล (Remote Radar Position Indicator) ระบบห้องถือท้ายกับห้องเก็บอุปกรณ์ฉุกเฉิน (Remote Emergency Squad Equipment Storage Space) ระหว่างห้องถือท้ายกับตู้อุปกรณ์แสดงการตรวจจับควันที่อยู่ไกล (Remote Smoke Detector Cabinet) ระหว่างห้องถือท้ายกับยามระวังภัยหัวเรือ (Bow or Forward Lookout Station)

ระหว่างห้องถือท้ายกับห้องวิทยุที่อยู่ไกลและห้องวิทยุฉุกเฉิน (Remote Radio and Emergency Radio Room) ระหว่างห้องถือท้ายกับอุปกรณ์วิทยุหาทิศ (Radio Direction Finding Equipment)

โดยปกติเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการที่กล่าวมาแล้ว ระบบนี้จะแบ่งออกเป็นระบบย่อยๆดังนี้คือ Sound-Powered Ship Control System (วงจร 1JV) Sound-Powered Engineering's System (วงจร 2JV) และ Sound-Powered Miscellaneous System (วงจร 3JV) โทรศัพท์กำลังเสียง (Sound Powered Telephone) เป็นโทรศัพท์ระบบที่ไม่ต้องการพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก ระบบที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแบบ Magneto Ringing Type ในบริเวณที่มีเสียงรบกวนมากๆ วงจร Magneto Ringing จะใช้ในการควบคุมแตรไฟฟ้า (Electric Powered Klaxon) ในการเรียก

ท่อพูด (Voice Tube) เป็นระบบสื่อสารที่ใช้ในการติดต่อระหว่างระบบต่างๆ ตามที่กล่าวมาแล้ว เมื่อระยะทางไกลสุดระหว่างสถานีไม่เกิน 125 ฟุต เนื่องจากในปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบโทรศัพท์กำลังเสียงเมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งท่อพูดแล้วมีความคุ้มค่ามากกว่า ดังนั้นระบบโทรศัพท์กำลังเสียงจึงเข้ามาแทนที่ท่อพูดในการใช้งานภายในเรือ อย่างไรก็ตามการติดตั้งท่อพูดในระยะทางสั้นๆ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งท่อพูดก็มีความคุ้มค่ามากว่าการติดตั้งโทรศัพท์กำลังเสียง

4.4 Sound Powered Telephone Call Bell System (วงจร E) เป็นระบบเดียวกับโทรศัพท์กำลังเสียงที่กล่าวมาแล้ว โดยเปลี่ยนจากตัวเรียกเป็นระฆังเรียก (Call Bell) แทน สถานีเรียกจะควบคุมสวิตช์ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณเตือนไปยังสถานีที่ถูกเรียก เช่น ระบบสั่งการหยุดยิงฉุกเฉิน ระหว่างศูนย์ควบคุมการรบกับเรือต่างๆ

4.5 Call Bell System (วงจร A) เป็นระบบที่ใช้สำหรับของความช่วยเหลือสำหรับผู้โดยสารภายในเรือ ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินหรือต้องการความช่วยเหลือ ประกอบด้วยปุ่มกด ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณหัวเตียงแต่ละเตียงในห้องพักผู้โดยสารและออดพร้อมทั้งเครื่องบอกตำแหน่งที่มาของสัญญาณ (Annouucer) ซึ่งติดตั้งอยู่ในสถานที่ซึ่งจะต้องมีคนอยู่ประจำ ระบบใช้ไฟกระแสสลับขนาด 115 โวลต์ หนึ่งเฟส 60 เฮิร์ต จากระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน

4.6 Ship's Entertainment System or Radio Broadcast Receiving and Entertainment System (วงจร SE) เป็นระบบกระจายเสียง รายการวิทยุ รายการโทรทัศน์ จากห้องควบคุมซึ่งรับสัญญาณจากสถานีวิทยุภายนอกเรือเข้ามา หรือจากรายการเทปบันทึกต่างๆ แล้วส่งไปยังบริเวณต่างๆ ภายในเรือที่ติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณไว้

5. ระบบควบคุม (CONTROL SYSTEM)

เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมการทำงานต่างๆ ภายในเรือ จากห้องต่างๆ เช่น จากห้องถือท้าย ห้องควบคุมต่างๆ ไปยังส่วนที่ต้องการควบคุม อาจเป็นการส่งคำสั่งหรือสัญญาณควบคุม เพื่อให้เกิดการทำงานตามที่ต้องการ ระบบควบคุมภายในเรือประกอบด้วยระบบดังต่อไปนี้

5.1 Engine Order Telegraph System (วงจร MB) เป็นระบบที่ส่งคำสั่งเกี่ยวกับเครื่องจักร หรือการสั่งจักรจากสะพานเดินเรือ หรือแต่ละสถานีควบคุม (Ship Control Station) ไปยังห้องเครื่องจักรแต่ละห้องหรือไปยังห้องควบคุมเครื่องจักร ในกรณีที่ห้องควบคุมเครื่องจักรควบคุมการทำงานของเครื่องโดยตรงและส่งสัญญาณตอบรับ (Acknowledgement) คำสั่งในการสั่งจักรจากห้องควบคุมเครื่องจักรกลับไปยังสถานีควบคุมต่างๆ ระบบดังกล่าวอาจเป็นระบบที่ทำงานด้วยอากาศทางกล ทางไฟฟ้าหรืออื่นๆ ที่เหมาะสม ในเรือส่วนใหญ่จะติดตั้งระบบที่ทำงานด้วยอากาศทางไฟฟ้าเนื่องจากความเชื่อถือได้ในการทำงาน ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

วงจร MB ที่กล่าวถึงคือระบบสั่งจักร (Engine Order Telegraph System) ที่ทำงานด้วยไฟฟ้า โดยปกติจะเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ หนึ่งเฟส 115/220 โวลต์ 60/50 เฮิร์ต และรับไฟมาจากแผงสวิตช์บอร์ดฉุกเฉิน อุปกรณ์ในระบบประกอบด้วย

5.1.1 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณระยะไกลและแสดงสถานะของสัญญาณในเครื่องเดียวกัน (Combined Type Transmission Indicator Telegraph) ติดตั้งอยู่ในห้องถือท้าย ห้องเครื่องจักร หรือห้องควบคุมเครื่องจักร และสถานีควบคุมการนำเรือต่างๆ

5.1.2 อุปกรณ์เตือนภัยเมื่อทำงานผิดทิศทาง (Wrong Direction Alarm) ติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องจักร หรือห้องควบคุมเครื่องจักร

5.1.3 กระดิ่งสัญญาณติดตั้งในห้องเครื่องจักรหรือห้องควบคุมเครื่องจักร

5.1.4 แผงเตือนภัยเนื่องจากระบบไฟเลี้ยงขัดข้อง (Power Failure Alarm Panel) ติดตั้งอยู่ในห้องถือท้าย

5.1.5 แผงควบคุมการต่อวงจร (Transfer Relay Panel) ติดตั้งอยู่ในห้องถือท้าย

เครื่องมือส่งสัญญาณทางไกล (Telegraph) แต่ละตัวประกอบด้วย Synchro ส่งสัญญาณ และ Synchro บอกตำแหน่ง ในการสั่งจักรจากเครื่องมือควบคุมในสถานีควบคุมการนำเรือ โดยการบังคับแขนโยกซึ่งควบคุมการส่งสัญญาณทางไกลไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ค่าของตำแหน่งดังกล่าวจะถูกส่งไปยังห้องควบคุมเครื่องจักร ให้เครื่องชี้ตำแหน่งที่ติดตั้งในห้องดังกล่าวเคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการพร้อมกันกับแขนโยกในห้องควบคุม ซึ่งเป็นการแสดงถึงคำสั่งจักรที่ต้องการ การตอบรับการสั่งจักร โดยการบังคับแขนโยกในห้องควบคุมเครื่องจักรไปยังตำแหน่งที่เครื่องชี้อยู่จะเป็นการส่งสัญญาณไปควบคุมเครื่องชี้ตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องสั่งจักรในสถานีควบคุมการนำเรือให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่บังคับไปพร้อมๆกัน ในขณะที่ทำงานจะมีสัญญาณบอกทุกครั้งที่มีการสั่งจักร

ชุดสัญญาณเตือนเมื่อทำงานผิดทิศทางประกอบด้วยสัญญาณแจ้งเตือนแบบเสียง แบบแสง และชุดต่อทางไฟฟ้า (Contact Maker) ซึ่งถูกติดตั้งให้ทำงานเตือนภัย ในกรณีที่ลิ้นบังคับน้ำมันของเครื่องจักร (Throttle Valve) ถูกควบคุมในการทำงานไม่ตรงกับคำสั่งจักรที่ส่งมา เช่น คำสั่งจักรให้เพิ่มความเร็วแต่ลิ้นควบคุมให้ทำการลดน้ำมันที่จะฉีดเข้าห้องเผาไหม้ เป็นต้น

แผงแจ้งเตือน (Alarm Panel) เนื่องจากระบบไฟเลี้ยงขัดข้อง จะต้องออกแบบติดตั้งให้ทำงานโดยอัตโนมัติเพื่อส่งสัญญาณทั้งแบบเสียงและแสง เมื่อระบบไฟที่ป้อนเข้าสู่ระบบขัดข้องและควรมีสวิตช์เพื่อปิดสัญญาณเสียง

ในเรือขนาดใหญ่จำเป็นต้องติดตั้งระบบสั่งจักรสำรอง ซึ่งอาจจะเป็นแบบที่ทำงานด้วยไฟฟ้าหรือกลไกก็ได้

5.2 Whistle Operator System (วงจร W) ระบบควบคุมการทำงานของหวูดเรือ อาจเป็นระบบที่ใช้งานในลักษณะที่จะทำงาน เมื่อต้องการ (At will) หรือแบบอัตโนมัติและทำงานจากสถานีต่างๆ การทำงานในลักษณะ At will นั้น เมื่อบิดสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง “At Will” จะเป็นการต่อไฟให้โซลินอยด์ไปควบคุมการปิดลิ้นหวูดและต่อวงจรคอนแทกเตอร์ เมื่อบิดสวิตช์มาที่ “Automatic” จะต้องวงจรเพื่อควบคุมให้มีการเปิด-ปิดหวูดตามระยะเวลาที่ตั้งไว้ เพื่อให้เกิดสัญญาณหวูด เช่น ช่วงคาบ 1 1.5 หรือ 2 นาที ตามกฎการเดินเรือสากล นอกจากนี้อาจติดตั้งการควบคุมทางกลในสถานีนำเรือเช่น ห้องถือท้าย เพื่อควบคุมหวูดในสภาวะฉุกเฉิน

5.3 Steering Control System (วงจร LP) เป็นระบบที่ใช้ควบคุมเครื่องหางเสือหลักจากห้องถือท้าย หรือจากสถานีควบคุมหางเสืออื่นๆ ในการควบคุมอาจเป็นแบบการควบคุมทางกล ไฮดรอลิกส์ หรือโดยทางไฟฟ้า ในเรือส่วนใหญ่จะติดตั้งระบบควบคุมหางเสือแบบทำงานด้วยไฟฟ้าที่เป็นอิสระจากกันอย่างน้อยสองระบบ ระบบเหล่านี้โดยทั่วไปประกอบด้วย โต๊ะควบคุมร่วม (Common Steering Stand) ติดตั้งอยู่ห้องถือท้ายและชุดควบคุมสองชุด ชุดแรกสำหรับชุดอุปกรณ์หางเสือหลัก ติดตั้งอยู่ในห้องหางเสือ ระบบควบคุมแต่ละระบบจะทำงาน ตัวอย่างการทำงานของระบบหางเรือแบบ Follow up Mode คือ ค่าของมุมหางเสือที่ต้องการจะถูกส่งไปจากโต๊ะควบคุมในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้แกนหางเสือหมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อหางเสือหมุนถึงตำแหน่งที่ต้องการแล้วค่าของกระแสของสัญญาณควบคุมจะถูกส่งย้อนกลับมาลบล้างสัญญาณสั่งหางเสือและหางเสือจะหยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการ

ลักษณะการทำงานของระบบควบคุมหางเสือแบบทำงานด้วยไฟฟ้าโดยทั่วๆ ไปมี 3 ลักษณะ คือ Automatic, Hand Electric Follow up และ Non Follow up โดยการเลือกลักษณะการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง จะทำได้โดยการหมุนสวิตช์เลือกที่โต๊ะควบคุม (Steering Stand)

การทำงานในลักษณะ Automatic หางเสือจะถูกควบคุมโดยเข็มทิศเรือเอก (Master Compass) ซึ่งจะคอยตรวจค่าผิดพลาดของทิศหัวเรือจริงที่ผิดไปจากทิศหัวเรือที่กำหนด และส่งค่าผิดพลาดดังกล่าวไปในระบบควบคุมหางเสือเพื่อควบคุมหางเสือให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่จะนำเรือเข้ามาสู่ทิศหัวเรือที่กำหนด การกำหนดทิศหัวเรือ (Order Course) ทำได้โดยการหมุนพังงาไปยังตำแหน่งทิศหัวเรือที่ต้องการ จะไม่มีการปรับแต่งอย่างอื่นเพิ่มเติมถ้าเรือแล่นอยู่ในเข็มที่กำหนดจนกว่าจะมีการเปลี่ยนเข็มเรือใหม่

การทำงานในลักษณะ Follow up Mode ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนการทำงานใน Non Follow up Mode นั้นหางเสือจะเคลื่อนที่ไปทางขวาหรือซ้าย เมื่อแขนควบคุมถูกบิดไปทางขวาหรือทางซ้ายตามลำดับ ละหางเสือจะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ จนกว่าแขนควบคุมจะถูกปล่อยกลับมาอยู่ในตำแหน่งตรงกลางหางเสือก็จะหยุดเคลื่อนที่

บทที่ 11
อุปกรณ์เดินเรือ และวิทยุสื่อสาร
(ELECTRONIC NAVIGATION AND RADIO COMMUNICATION)

1. กล่าวโดยทั่วไป (GENERAL)

อุปกรณ์เดินเรือและวิทยุสื่อสารโดยทั่วๆ ไป จะเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้า วงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical Device) อุปกรณ์ในวงจรอาจเป็นหลอดสุญญากาศ หรือหลอดบรรจุแก๊ส (Gas Filled Tube) หรืออุปกรณ์ Solid State ระบบส่งคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Transmission System) ที่ใช้ในการสื่อสารและเครื่องช่วยในการเดินเรือจะเป็นระบบที่แพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบรรยากาศ โดยใช้รูปคลื่น (Waveform) และความถี่ต่างๆ ประกอบด้วย วิทยุ เรดาร์ ลอแรน (Loran) โอเมกา (Omega) ดาวเทียม (Satellite) และระบบอื่นที่มีลักษณะคล้ายๆกัน ระบบเสียง (Acoustic System) เช่น โซนาร์ เป็นต้น จะใช้การแพร่ไป (Propagation) ของคลื่นเสียง (Sound Wave) ในอากาศหรือในน้ำ

อุปกรณ์เดินเรือและวิทยุสื่อสารที่ใช้งานในเรือมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อความปลอดภัยของเรือและชีวิตของคนในเรือ การพิจารณาอุปกรณ์ติดตั้งในเรือที่เหมาะสมสำหรับเรือแต่ละลำจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของเรือนั้นๆ เป็นหลัก ตำแหน่งที่ติดตั้งของอุปกรณ์และส่วนประกอบในระบบเช่น เสาอากาศและอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (Transducer) จะมีลักษณะเฉพาะ สำหรับอุปกรณ์แต่ละแบบจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการในการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ อย่างไรก็ตามในการออกแบบและติดตั้ง จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดของหน่วยงานที่รับผิดชอบ เช่น Federal Communication Commission และ International Safety of Life at Sea Convention เป็นต้น

ในการพิจารณาถึงโครงสร้างและการติดตั้งสำหรับอุปกรณ์เดินเรือ และวิทยุสื่อสารในเรือ จำเป็นจะต้องพิจารณาในประเด็นที่แตกต่างไปจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กล่าวมาแล้วในบทก่อนๆ เช่น

1.1 พิจารณาถึงความปลอดภัยขององค์บุคคลในเรือ ซึ่งอาจได้รับอันตรายในระหว่างการติดตั้ง การใช้งาน หรือการเปลี่ยนอุปกรณ์ ชิ้นส่วนอะไหล่ของอุปกรณ์จากไฟฟ้าแรงสูงจึงควรติดป้ายเตือนเกี่ยวกับอันตรายดังกล่าวในบริเวณที่อาจเกิดอันตรายได้เช่น Antenna Lead-in และพื้นที่บริเวณที่ติดกับเสาอากาศของเรดาร์ (Radar Antenna) และในการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีอันตรายต่อบุคคลดังกล่าวจะต้องพิจารณาสถานที่ติดตั้งให้เหมาะสมหรือพิจารณาการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นให้ได้ผลมากที่สุด

1.2 อุปกรณ์ป้องกันภาระเกิน ควรจะมีติดตั้งอยู่ภายในอุปกรณ์ สำหรับวงจรควบคุมปฐมภูมิ (Primary Circuit) และวงจรอื่นๆ ที่จำเป็นเพื่อป้องกันอุปกรณ์จากอันตราย เนื่องจากภาระเกิน ความร้อนสูงกว่าเกณฑ์ ฯลฯ สำหรับฟิวส์ที่ใช้ในวงจรเพื่อการป้องกันอุปกรณ์นั้นจะต้องเป็นแบบ Non Renewable Type และสามารถทำการเปลี่ยนได้ง่าย สายไฟต่างๆ ที่ใช้ในอุปกรณ์หรือระบบควรจะมีรหัสสีที่สามารถแยกแยะได้ง่าย เพื่อความสะดวกในการทดสอบ และหาตำแหน่งที่ขัดข้องที่อาจเกิดขึ้นในวงจรภายใน

1.3 พิจารณาถึงคลื่นวิทยุรบกวน (Radio Interference) ที่อาจเกิดขึ้น หรือมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ โดยต้องพิจารณาตั้งแต่ขั้นการออกแบบในการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ติดตั้งภายในเรือ กำเนิดคลื่นรบกวน เช่น การ Ground สายและอุปกรณ์ที่ใช้ไฟกำลังต่างๆ เป็นต้น และออกแบบเพื่อป้องกันอุปกรณ์จากการรบกวนของคลื่นรบกวนจากภายนอก โดยใช้ Shield ในการห่อหุ้มอุปกรณ์ เช่น การบุผนังห้องวิทยุด้วยแผ่นตะกั่ว เป็นต้น

1.4 การติดตั้งและตำแหน่งการติดตั้ง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดควรติดตั้งอยู่ในบริเวณที่มีการป้องกันสูงแต่สะดวกในการปฏิบัติงาน อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Transmitting Device) จะติดตั้งแยกต่างหากจากอุปกรณ์รับสัญญาณ (Receiving Device) และควรติดตั้งโดยให้ความยาวของสายสัญญาณของส่วนต่างๆ ในระบบมีระยะสั้นที่สุด สำหรับอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย หลอดสุญญากาศหรืออุปกรณ์ที่ไวต่อการสั่นสะเทือน (Vibration Sensitive Devices) จะต้องไม่ติดตั้งอยู่บนผนังที่มีการสั่นสะเทือนรุนแรง สำหรับสาย Coaxial ที่ใช้ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับขนาดความถี่วิทยุต่างๆ ที่ใช้งานและในการเดินสายจะต้องพิจารณาถึง

1.4.1 การดำเนินการที่เหมาะสม (Proper Handling) เช่น การเลือกใช้เครื่องมือ วัสดุ หรือความชำนาญของคนงาน เป็นต้น

1.4.2 รัศมีความโค้งต่ำสุดของสาย ประมาณ 10 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของสาย

1.4.3 ตำแหน่งในการเดินสายโดยพิจารณาเกี่ยวกับความร้อนและการต่อต่างๆ

1.4.4 การยึดสายที่เหมาะสม (Proper Fitting)

2. วิทยุสื่อสาร (RADIO COMMUNICATION)

2.1 วิทยุสื่อสารในเรือประกอบด้วย เครื่องรับวิทยุ (Receiver) เครื่องส่งวิทยุ (Transmitter) เครื่องรับ-ส่งวิทยุ (Transceiver) และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ เช่น Terminal และ สายอากาศ อุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้จะถูกพิจารณาให้เหมาะสมกับความต้องการของเรือแต่ละลำ และจะต้องมีคุณสมบัติหรือจำนวนต่ำสุดสอดคล้องกับข้อกำหนดของ Federal Communication Commission และข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยในการสื่อสารทางวิทยุที่กำหนดโดย SOLAS

2.1.1 ในการสื่อสารโดยทั่วๆ ไป จะใช้วิทยุโทรศัพท์ (Radio Telephone) วิทยุโทรเลข

(Radio Telegraph) หรือในระบบสื่อสารที่ทันสมัยจะใช้วิทยุโทรพิมพ์ (Radio Teletype) และอุปกรณ์ในระบบดิจิตอล วิทยุที่ติดตั้งในเรือทั่วๆ ไปประกอบด้วย

1. เครื่องส่งวิทยุหลัก เครื่องรับวิทยุ เสาอากาศ และชุดจ่ายไฟฟ้า

2. เครื่องส่งวิทยุฉุกเฉิน เครื่องรับวิทยุ เสาอากาศ และชุดจ่ายไฟฟ้า โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องไม่ใช่อุปกรณ์ที่กล่าวถึงในข้อ 1

3. เครื่องส่งวิทยุโทรเลข เครื่องรับวิทยุที่มีกระดิ่งเตือนเมื่อรับสัญญาณในความถี่ที่ตั้งไว้ (Selective Ringer) เสาอากาศและชุดจ่ายไฟฟ้า

4. เครื่องรับวิทยุที่มีสัญญาณเตือนอัตโนมัติสำหรับเฝ้าตรวจติดตาม ใช้ความถี่ 500 kHz ซึ่งเป็นความถี่สากล สำหรับวิทยุโทรเลขที่ใช้ส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ เมื่ออยู่ในระหว่างอันตราย (Distress Frequency)

5. อุปกรณ์ส่งสัญญาณเตือนภัยแบบอัตโนมัติ (Automatic Alarm Keying Device) ซึ่งสามารถส่งรหัสสัญญาณสากลในการขอความช่วยเหลือ โดยสามารถส่งโดยผ่านทั้งเครื่องส่งวิทยุหลักและเครื่องส่งวิทยุฉุกเฉิน

6. เครื่องรับ-ส่งวิทยุแบบเคลื่อนที่และพร้อมใช้งานสำหรับในเรือช่วยชีวิต

ในเรือส่วนใหญ่อุปกรณ์วิทยุโทรเลขที่กล่าวถึงในข้อ 1-5 รวมทั้งส่วนประกอบที่จำเป็นเพื่อการใช้งาน ยกเว้นเสาอากาศ อาจรวมอยู่ในแผงควบคุมการสื่อสาร (Communication Console) ซึ่งออกแบบสำหรับการทำงานที่ต้องการเจ้าหน้าที่เพียงคนเดียว แผงควบคุมดังกล่าวจะติดตั้งอยู่ในห้องวิทยุ โดยมีการจัดให้มีระบบไฟแสงสว่างหลักและฉุกเฉินแยกต่างหากจากไฟแสงสว่างห้องวิทยุ โดยปกติไปแสงสว่างปกติจะจ่ายจากสายป้อนที่จ่ายให้แผงควบคุมและไฟแสงสว่างฉุกเฉินจ่ายมาจากแบตเตอรี่ฉุกเฉินของวิทยุ

แหล่งจ่ายไฟสำหรับแผงควบคุมหลักจะมาจากแผงสวิตช์บอร์ดฉุกเฉิน โดยผ่านอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้า (Power Conversion Equipment) ที่ติดตั้งอยู่ในแผงควบคุมที่แหล่งจ่ายไฟฉุกเฉินที่จ่ายไฟให้กบเครื่องรับวิทยุฉุกเฉิน และเครื่องเคาะสัญญาณอัตโนมัติจะมาจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ในที่เก็บแบตเตอรี่ ซึ่งอยู่ในบริเวณเดียวกับห้องวิทยุ โดยจะต้องออกแบบให้แบตเตอรี่ดังกล่าวได้รับการประจุไฟให้เต็มตลอดเวลา

เครื่องรับวิทยุที่มีสัญญาณเตือนอัตโนมัติสำหรับเฝ้าตรวจความถี่สากล หรือส่งสัญญาณของความช่วยเหลือคือ 500 kHz นั้น เป็นเครื่องที่จัดไว้เพื่อทำงานเฝ้าตรวจแทนเจ้าหน้าที่เมื่อไม่มีพนักงานวิทยุปฏิบัติหน้าที่ในห้องวิทยุ เป็นการติดตั้งเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของ FCC และ SOLAS ที่ว่าเรือทุกลำที่อยู่ในทะเลจะต้องเฝ้าตรวจที่ความถี่ดังกล่าวอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

อุปกรณ์ส่งสัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติ เป็นอุปกรณ์ฉุกเฉินที่สามารถตั้งให้ทำงานโดยอัตโนมัติในการส่งรหัสของความช่วยเหลือผ่านทางเครื่องส่งวิทยุหลักหรือเครื่องส่งวิทยุฉุกเฉิน

เรือบางลำอาจติดตั้งเครื่องบันทึกโทรสำเนา (Facsimile Recording Equipment) รวมทั้งสายอากาศเพื่อบนทึกแผ่นที่อากาศ (Weather Map) และแผนภูมิ (Chart) ที่ถูกส่งมาจากสถานีบก อุปกรณ์นี้โดยปกติจะติดตั้งอยู่ในห้องวิทยุ

เครื่องวิทยุโทรศัพท์ที่ติดตั้งจะใช้สำหรบการสื่อสารทางเสียงระยะปานกลาง (Medium Range Voice Communication) ซึ่งใช้ช่วงความถี่สำหรับใช้งานในทะเล (Marine Service Band) ระหว่าง 2–24 MHz และอาจใช้สำหรับเฝ้าตรวจสัญญาณในความถี่ของความช่วยเหลือสากลคือ 500 kHz ก็ได้ ในการติดตั้งโดยปกติจะประกอบด้วย ชุดเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุพร้อมทั้งเครื่องขยายเสียงแบบมือถือ (Hand Microphone) สวิตช์เลือกช่องความถี่เพื่อเลือกวงจรความถี่ใช้งานที่ถูกต้อง ชุดจ่ายพลังงานไฟฟ้า กระดิ่งเตือนเมื่อรับสัญญาณที่ความถี่ที่ตั้งไว้ (Selective Ringer) และโทรศัพท์มือถือติดต่อจากระยะไกล (Remote Telephone Handset) อุปกรณ์ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้ทำสลับกันระหว่างการส่งและรับโดยหลักการ กดเพื่อพูด (Press-to-talk) ชุดอุปกรณ์รับและส่งวิทยุและชุดจ่ายไฟสำหรับอุปกรณ์อาจจะติดตั้งรวมอยู่ในแผงควบคุมการสื่อสารหรือติดตั้งแยกต่างหาก และอาจติดตั้งในห้องวิทยุหรือห้องแผนที่ กระดิ่งเตือนเมื่อรับสัญญาณที่ความถี่ที่ตั้งไว้ เป็นระบบที่ประกอบด้วยกระดิ่งสัญญาณและจะทำงานเมื่อสถานีอื่นๆ พยายามที่จะติดต่อกับเรือโดยปกติกระดิ่งสัญญาณดังกล่าวจะติดตั้งไว้ในห้องวิทยุหรือสะพานเดินเรือ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มระยะส่งให้ไกลขึ้นไปอีก วิทยุโทรศัพท์ดังกล่าวอาจติดตั้งเครื่องแปลงความถี่จากความถี่การสื่อสารทางทะเล ขนาด 2–24 MHz และส่งออกในช่วง Single Sideband อุปกรณ์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ที่มีความเชื่อถือได้สำหรับการสื่อสารทางวิทยุโทรศัพท์ในระยะทางหลายพันไมล์ในสภาพอากาศปกติ

สำหรับการติดต่อสื่อสารระยะใกล้ (ไม่เกิน 50 ไมล์) อุปกรณ์สื่อสารที่มีความเชื่อถือได้คือเครื่องรับ-ส่งวิทยุความถี่สูง (VHF-Very High Frequency Transceiver) ทำงานในช่วงความถี่การสื่อสารทางทะเลที่ 150 MHz ในการทำงานทั้งรับและส่งสัญญาณจะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงเสียงแบบ Frequency Modulation และอาจจะติดตั้งอุปกรณ์เตือนเมื่อรับความถี่ที่ตั้งไว้ด้วย ในการใช้งานโดยทั่วๆ ไป สำหรับเครื่องรับ-ส่งวิทยุความถี่สูงช่วง 13-65 MHz ใช้ในการติดต่อระหว่างสะพานเดินเรือกับสะพานเดินเรือ ระหว่างเรือในเรื่องเกี่ยวกับการเดินเรือโดยเฉพาะ ความถี่ที่ช่วง 16-156.8 MHz เป็นช่วงความถี่สำหรับติดต่อในกรณีขอความช่วยเหลือในระหว่างที่เรือตกอยู่ในอันตราย ความปลอดภัยและการเรียกขาน

สายอากาศสำหรับวิทยุสื่อสารอาจเป็นแบบตั้งชนิดแส้ (Vertical Standing Whip Type) หรือแบบสาย (Wire Type) ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ และการติดตั้งภายในเรือ การออกแบบและการติดตั้งสายอากาศที่ใช้ภายในเรือจะต้องสอดคล้องกับข้อบังคับของ FCC และหน่วยงานที่รับผิดชอบ

ในเรือแต่ละลำจะต้องมีเครื่องวิทยุแบบเคลื่อนที่ที่มีอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าในตัว สำหรับใช้ในเรือช่วยชีวิตในฉุกเฉิน ชุดอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องเป็นอุปกรณ์แบบสำเร็จรูป (Package Unit) ซึ่ง

สามารถลอยน้ำและมีน้ำหนักเบา โดยปกติจะเก็บไว้ในห้องวิทยุในชั้นวางที่ออกแบบพิเศษให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและรวดเร็ว

3. วิทยุหาทิศ (RADIO DIRECTION FINDING)

ระบบวิทยุหาทิศที่ติดตั้งในเรือ เป็นระบบเพื่อหาตำบลที่ของเรือ โดยอาศัยสถานีส่งคลื่นวิทยุที่ติดตั้งอยู่ในตำบลทีแน่นอนสองแห่งขึ้นไป เป็นระบบที่ใช้ในการเดินเรือและความปลอดภัยของชีวิตในเรือในการค้นหาและกู้ภัยเรือ และเรือช่วยชีวิตที่อยู่ในระหว่างอันตรายระบบทั่วๆ ไป ที่ติดตั้งภายในเรือประกอบด้วย วิทยุรับและแสดงลักษณะของคลื่นวิทยุที่รับ(Radio Receiver-Indicator) ติดตั้งอยู่บนสะพานเดินเรือหรือห้องแผนที่ สายอากาศแบบ Fixed Cross-Loop และเซ็นแอนเทนนา Send Antenna

ในการหาตำแหน่งของเรือ เครื่องรับและแสดงลักษณะของคลื่นที่จะถูกปรับให้รับสัญญาณที่ความถี่เฉพาะซึ่งส่งมาจากสถานีส่งที่เลือกแล้ว โดยความเข้มของสัญญาณที่รับจะถูกปรับให้ลดลงโดยการหมุนคอยล์หมุน (Movable Coil) ซึ่งอยู่ในเครื่องรับและสัมพันธ์กับชุด Fixed Loop Antenna จนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ความเข้มของสัญญาณที่รับได้มีค่าเป็นศูนย์ (Null Position) ซึ่งจะเป็นตำแหน่งแสดงค่าแบริ่ง ซึ่งระบบวิทยุหาทิศอยู่ในแนวเดียวกับสถานีส่งค่าแบริ่งที่หาได้สำหรับสถานีส่งสองแห่งหรือมากกว่าจะถูกนำมาวัดลงบนแผนที่ที่ใช้สำหรับหาตำบลที่เรือจากระบบวิทยุหาทิศ และตำแหน่งตำบลที่ของเรือจะอยู่ที่จุดตัดของเส้นที่หาได้ดังกล่าว

เซ็นแอนเทนนา เป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันความผิดพลาด ในการแสดงค่ามุมซึ่งอาจเป็นค่ามุมกลับกัน 180 องศา เช่น 5 องศา กับ 185 องศา จะอยู่ในแบริ่งเดียวกันแต่ทิศทางตรงกันข้าม

ในขณะที่กำลังใช้งานระบบวิทยุหาทิศ ควรจะหยุดการใช้งานของวิทยุหลัก หรือเรียกว่าการกราวด์สายอากาศส่ง เพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณที่รับจากสถานีส่ง ซึ่งจะทำให้ระบบวิทยุหาทิศทำงานไม่ถูกต้อง และเกิดความผิดพลาดในค่าของแบริ่งที่หาได้ การกราวด์ดังกล่าวโดยปกติจะควบคุมจากแผงควบคุมวิทยุ โดยใช้สวิทช์ซึ่งจะตัดการทำงานของสายอากาศส่งของระบบวิทยุหลักและพร้อมๆกันนั้นจะต่อวงจรจ่ายไฟของระบบวิทยุหาทิศ นอกจากนั้นในการออกแบบและติดตั้งระบบวิทยุหาทิศจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากโครงสร้างบนดาดฟ้า เช่น Guywire, Stays และ Handrails เป็นต้น

ในการทำงานของระบบวิทยุหาทิศนั้น สิ่งที่มีผลกระทบกับความถูกต้องแม่นยำในการทำงานของระบบคือ ความผันแปรของสภาพบรรยากาศชั้น Ionosphere ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปแต่ละเวลาในช่วงหนึ่งวันและช่วงเวลาในช่วงปี นอกจากนั้นผลกระทบจาก Night Effect การบิดเบี้ยวส่วนประกอบของคลื่นในอากาศประจำวัน (Daily Distortions of Sky Wave Component) ของคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากสถานีส่งเป็นสิ่งที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดมาก ในการหาตำแหน่งตำบลที่ของเรือ

โดยปกติระบบวิทยุหาทิศจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ หนึ่งเฟส 115 โวลต์ 60 เฮิร์ต และรับไฟจากแหล่งจ่ายไฟของแผงควบคุมวิทยุ โดยผ่านสวิทช์ซึ่งกล่าวมาแล้ว

4. เรดาร์ (RADAR)

ระบบเรดาร์ภายในเรือ โดยปกติจะเป็นระบบที่ทำงานในขนาดความยาวคลื่น (Wavelength) 3.2 และ 10 เซนติเมตร ประกอบด้วย อุปกรณ์ส่งและแปลงสัญญาณ (Transmitter Modulator) อุปกรณ์รับ (Receiver) สายอากาศแบบหมุนรอบตัว (Rotatable Directional Antenna or Scanner) อุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้า จอแสดงหลัก (Master Indicator) และจอแสดงร่วม (Remote Indicator) การแสดงผลของการทำงานของเรดาร์บนจอเรดาร์มีด้วยกันหลายแบบ แบบหนึ่งที่ใช้มากคือ Plan Position Indicator (PPI) ซึ่งจะแสดงแผนภูมิของบริเวณรอบๆ เรือ 360 องศา รัศมีของแผนภูมิที่แสดงสามารถปรับแต่งได้จากระยะไกลสุด ถึงระยะไกลสุดของความสามารถเฉพาะของเรดาร์นั้นๆ ความสามารถในการตรวจจับไกลสุดของเรดาร์ขึ้นอยู่กับขนาดความถี่และกำลังส่ง แต่โดยปกติจะถูกควบคุมโดยคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟเกี่ยวกับสูงตาและระยะขอบฟ้า (Line of Sight)

เรดาร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยในทะเล จอแสดงภาพของเรดาร์จะแสดงเรือ ทุ่น เกาะ และพื้นที่อันตรายในการเดินเรือ โดยแสดงถึงตำแหน่งและความสัมพันธ์

ระบบเรดาร์ที่รับข้อมูลจากเข็มทิศ จะสามารถแสดงค่าแบริ่งที่วัดได้จากลักษณะสัมพันธ์กับทิศเหนือจริง (True North) ทิศเหนือแม่เหล็ก (Magnetic North) หรือค่าสัมพันธ์ต่าง ๆ นอกจากนั้นอาจจะแสดงความเคลื่อนไหวที่เป็นจริง โดยการสร้างวงจรภายในให้ภาพที่แสดงบนจอภาพเกิดการสะท้อนของคลื่นที่ได้รับจากวัตถุที่อยู่กับที่จะอยู่กับที่ และภาพของวัตถุเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่ โดยปกติภาพที่แสดงจะเคลื่อนที่เนื่องจากเรือแล่นดังนั้น ไม่ว่าวัตถุเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่เมื่อพิจารณาสัมพันธ์กับเรือแล้วจะเคลื่อนที่ ในเรือขนาดใหญ่ส่วนมากจะติดตั้งเรดาร์สองระบบ ระบบหนึ่งจะทำงานที่ความยาวคลื่น 3.2 ซม. และระบบหนึ่งทำงานที่ความยาวคลื่น 10 ซม.

5. อุปกรณ์เดินเรือ (NAVIGATION AIDS)

อุปกรณ์หลักเกี่ยวกับการเดินเรือซึ่งติดตั้งภายในเรือ จะถูกพิจารณาให้เหมาะสมกับภารกิจของเรือเป็นหลัก โดยคำนึงถึงความสามารถในการกำหนดตำแหน่งตำบลที่ของเรือ ซึ่งอาจมีความแน่นอนมาก คือมีความผิดพลาดเป็นฟุต ถึง มีความแน่นอนในช่วง $\pm$ 5 ไมล์ ในเรือบางประเภท เช่น เรือขุดลอก (Dredge) เรือเจาะ (Well Drill Ship) เรือสำรวจ (Survey Ship) และ ลักษณะของงานบางประเภท เช่น การทดลองเรือในทะเลและการทดสอบสมรรถนะของเรือ (Performance) ของเรือขนาดใหญ่ มีความต้องการอุปกรณ์เดินเรือมีความแน่นอนสูงมากๆ และช่วงการทำงานระยะใกล้ๆ (Ultraprecise and Short Ranged System)

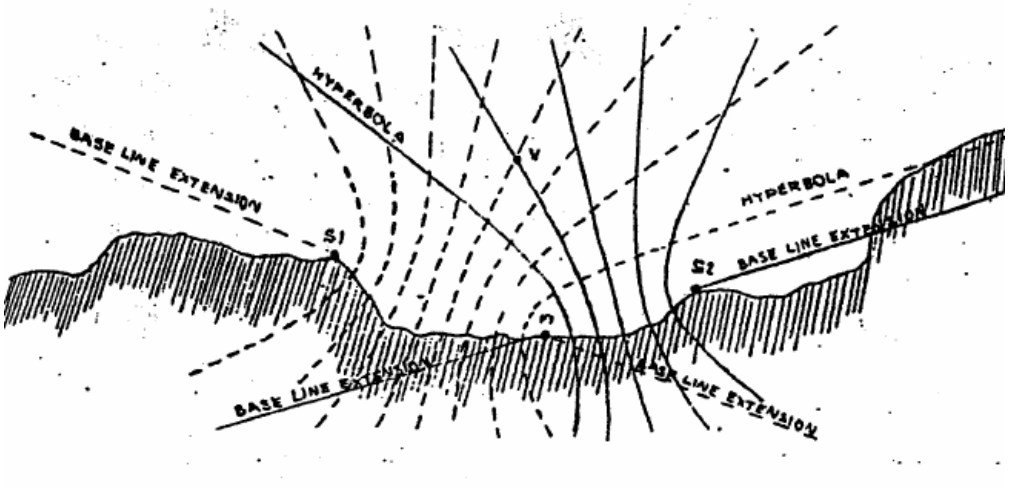
หลักการทั่วๆ ไป ในการหาตำแหน่งตำบลที่เรือนั้น อาจจะใช้การคำนวณหามุมแบริ่งของสถานีเกี่ยวกับการเดินเรือที่ทราบตำแหน่งแน่นอน หรือการคำนวณระยะทางของสถานีเกี่ยวกับการเดินเรือที่ทราบตำแหน่งแน่นอน หรือทั้งสองวิธีรวมกัน เรดาร์ก็เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ช่วยในการเดินเรือในเมื่อจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของเรือที่สัมพันธ์กับเส้นแนวฝั่งรอบๆ ทุ่น หรือเรืออื่นๆ

5.1 Hyperbolic System

เป็นวิธีการที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งตำบลที่เรือ โดยการวัดความแตกต่างของระยะทางระหว่างเรือนั้นๆ กับตำบลที่ซึ่งทราบตำแหน่งแน่นอน ตั้งแต่สองตำบลขึ้นไป เรือที่มีตำแหน่งตำบลที่อยู่ระหว่างสถานีซึ่งทราบตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ สามารถวัดความแตกต่างของเวลาที่เคลื่อนวิทยุที่ส่งจากสองสถานีดังกล่าวมาถึง ถ้าการส่งคลื่นวิทยุจากสถานีส่งทั้งสองออกในลักษณะพร้อมกัน (Synchronized Transmission) เส้นต่อระหว่างจุดทั้งหมดระหว่างสองสถานีส่งซึ่งมีช่วงเวลาหน่วงเท่ากัน (Same Time Difference Or Delay) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่าโดยมีสถานีส่งเป็นจุดศูนย์กลาง (Focal Point) ตำแหน่งตำบลที่ของเรือ จะหาได้จากจุดตัดของเส้นโค้งไฮเปอร์โบล่า

5.1.1 LORAN A เป็นระบบหาตำแหน่งตำบลที่เรือแบบไฮเปอร์บอลิก ทำงานที่ขนาดความยาวคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ 1.5 – 2 MHz สถานีส่งจะทำงานในลักษณะเป็นคู่ คือ สถานีหลัก (Master Station) และสถานีคู่ข่าย (Slave Station) สถานีหลักจะส่งพลังงานวิทยุออกมาในลักษณะเป็นจังหวะ (Pulse of RF Energy) สถานีคู่ข่ายจะส่งสัญญาณออกมาในลักษณะเดียวกับสถานีหลักหลังจากได้รับสัญญาณจากสถานีหลักแล้วและหลังจากเวลาหน่วง (Delay Time) ที่ตั้งไว้ เรือที่ต้องการทราบตำบลที่จะวัดเวลาที่ได้รับสัญญาณจากสถานีคู่ข่าย เวลาแตกต่างที่วัดได้ดังกล่าวจะใช้ในการคำนวณหาเส้นตำบลที่ (Line of Position) บนแผนภูมิ LORAN (LORAN Chart or Hyperbolic Chart) เส้นตำบลที่ที่หาได้จะสัมพันธ์กับสถานีคู่และจะทำการวัดเวลาแตกต่างระหว่างสถานีส่งคู่อื่นๆ เพื่อหาเส้นตำบลที่ที่สัมพันธ์กับสถานีส่งคู่นั้นๆ ตำแหน่งของเรือ คือจุดตัดระหว่างเส้นตำบลที่ที่หาได้ของคู่สถานี ตั้งแต่สองคู่ขึ้นไปบนแผนภูมิ LORAN

โดยปกติในแต่ละคู่ของสถานีส่ง LORAN จะติดตั้งห่างกันหลายร้อยไมล์ สถานีหลัก “M” จะเป็นสถานีส่งคู่ (Common or Double Pulsed Station) สถานีส่งคู่ข่าย “S1” และ “S2” ในรูปที่ 1 จะเป็นสถานีส่งเดี่ยว (Single Pulse Station) สถานีที่ส่งคู่จะเป็นเสมือนสองสถานีส่งที่ติดตั้งอยู่ที่ตำบลที่เดียวและส่งสัญญาณที่มีลักษณะแตกต่างกันสองแบบ แต่ละแบบจะเป็นคู่กับสถานีคู่ข่ายที่อยู่ติดๆ กัน เช่น ระหว่าง “M” กับ “S1” และระหว่าง “M” กับ “S2”



รูปที่ 1 Hyperbolic System

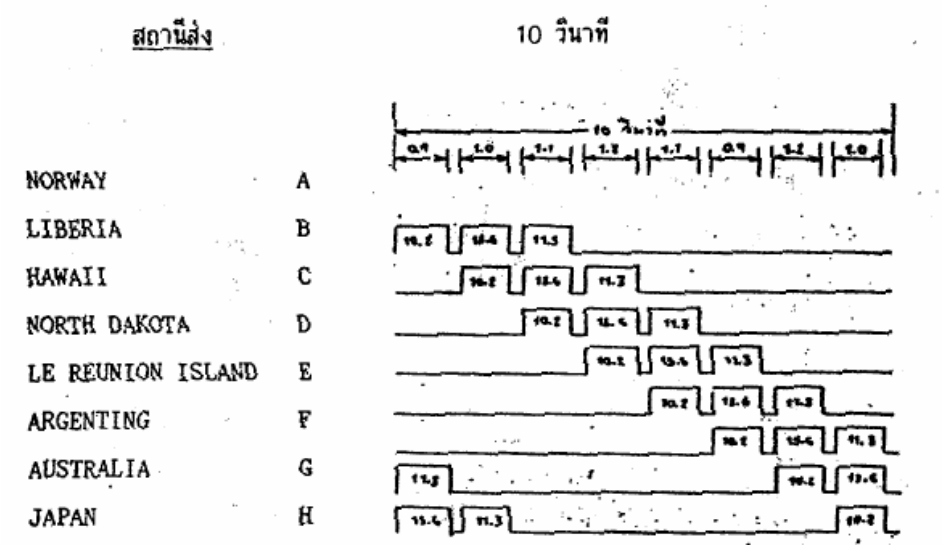
LORAN A ที่ติดตั้งในเรือโดยทั่วๆ ไป จะประกอบด้วยสายอากาศ กับเครื่องรับและแสดงผล (Receiver Indicator) เครื่องรับและแสดงผลจะติดตั้งอยู่ในห้องแผนที่เหนือโต๊ะแผนที่ เพื่อให้ค่า Direct in Line Time Delta ของการหาตำบลที่เรือโดย LORAN A ได้ผลดีในระยะ 700 ไมล์ทะเล ในเวลากลางวัน และระยะ 1400 ไมล์ทะเลในเวลากลางคืน โดยมีอัตราผิดพลาดอยู่ระหว่าง $\pm$ 1 ไมล์ ถึง $\pm$ 5 ไมล์ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเรือบนแผนภูมิ LORAN ของช่วงปีและช่วงวัน

5.1.2 LORAN C เป็นระบบหาตำบลที่เรือที่ใช้หลักการเดียวกับ LORAN A แต่จะแตกต่างกันที่สัญญาณจากสถานีส่งจะใช้ความถี่ 100 MHz ซึ่งทำให้มีความเชื่อถือได้ ในระยะที่ไกลกว่า LORAN A ระยะห่างระหว่างสถานีหลักและสถานีคู่ข่ายประมาณ 800 ไมล์ทะเล แต่ละสถานีหลักจะมีสถานีคู่ข่ายอย่างน้อยสองสถานีหรือมากกว่า ซึ่งทำให้ความถูกต้องแม่นยำของเส้นตำบลที่ที่หาได้สูงกว่า LORAN A

โดยปกติ LORAN C ที่ติดตั้งภายในเรือจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการเฉพาะของเรือแต่ละลำ อาจจะเป็นแบบที่มีอุปกรณ์ต่างๆ เหมือนกับ LORAN A หรือเป็นแบบที่มีอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งสามารถปรับปรุงค่าที่อ่านมาได้ให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลาและแสดงค่าต่างๆ ดังกล่าวอย่างอัตโนมัติ และอาจมีเครื่องรับและแสดงผลที่สามารถหาตำแหน่งที่เรือได้ทั้งจาก LORAN A และ LORAN C

5.1.3 Omega Navigation System เป็นระบบหาตำแหน่งที่เรือแบบไฮเปอร์บอลิกระยะไกล (Long Range Hyperbolic Navigation System) โดยมีสถานีส่งสัญญาณวิทยุที่จะส่งสัญญาณวิทยุความถี่ต่ำมาก (VLF – Very Low Frequency) พร้อมๆ กันจากสถานีส่งสองแห่งหรือมากกว่า โดยเรือจะสามารถทราบตำแหน่งตำบลที่ของตนเองได้จากการรับสัญญาณจากสถานีดังกล่าว ในลักษณะคล้ายๆ กับระบบ LORAN แล้วพล็อตลงไปบนแผนภูมิเส้นตำบลที่แบบไฮเปอร์บอลิกที่คำนวณไว้ก่อนแล้ว

ในปัจจุบันมีสถานีส่ง OMEGA ทั้งหมด 8 สถานีติดตั้งอยู่ที่ นอรเวย์, ลิเบีย, ฮาวาย , นอร์ทดาโกตา, ลารียูเนียน, อาร์เจนตินา, ออสเตรเลีย และญี่ปุ่น โดยสถานีแต่ละแห่งจะส่งสัญญาณวิทยุที่ความถี่ 10.2, 11.3 และ 13.6 kHz ลำดับเวลาในการส่งสัญญาณของแต่ละสถานีภายในช่วงเวลา 10 วินาที จะเป็นไปตามรูปแบบในรูปที่ 2 ซึ่งจะทำให้สามสถานีส่งสัญญาณวิทยุที่มีความถี่ต่างกันตลอดเวลา เช่น ในช่วง 0.9 วินาทีแรกของช่วง 10 วินาที สถานีส่งที่นอรเวย์จะส่งสัญญาณวิทยุที่มีความถี่ 10.2 kHz สถานีออสเตรเลียจะส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 11.2 kHz และสถานีญี่ปุ่นจะส่งความถี่ 13.6 kHz เป็นต้น สัญญาณวิทยุดังกล่าวจะแพร่ออกเป็นวงกลมโดยรอบสถานีส่ง และเรือสามารถคำนวณหาตำแหน่งตำบลที่ของเรือได้จากข้อมูลเกี่ยวกับเฟส (Phase Information) ซึ่งเครื่องรับสัญญาณ OMEGA รับได้จากสถานีส่งทั้งสามแห่งนอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการคำนวณทิศทางและความเร็วของเรือได้อีกด้วย ขึ้นอยู่กับความสามารถเฉพาะของอุปกรณ์ที่ติดตั้ง



รูปที่ 2 รูปแบบการส่งสัญญาณสถานีส่งระบบ Omega

5.2 อุปกรณ์เดินเรือด้วยดาวเทียม (Satellite Navigation System)

อุปกรณ์เดินเรือด้วยดาวเทียม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งที่เรือที่มีความถูกต้องและมีความเชื่อถือได้สูง โดยสถานีรับหรือเรือจะรับสัญญาณจากดาวเทียมที่โคจรอยู่รอบๆ โลกในสัญญาณดังกล่าวจะมีข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมที่ส่งสัญญาณและใช้หลักการเกี่ยวกับ Doupler Effect สถานีรับสามารถคำนวณหาตำแหน่งตำบลที่ของตัวเองได้ในปัจจุบันระบบเดินเรือด้วยดาวเทียมมีดังนี้

5.2.1 Transit Satellite System เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาโดยกองทัพเรือสหรัฐ เพื่อใช้ในการหาที่เรือของเรือรบสหรัฐที่ปฏิบัติการอยู่ในบริเวณต่างๆ ทั่วโลก เริ่มใช้งานในปี ค.ศ.1964 และปี ค.ศ.1967 ได้อนุญาตให้ใช้งานได้ในเชิงพาณิชย์ เป็นระบบเดินเรือที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั่วโลกโดยไม่มีอุปสรรค เนื่องจากผลกระทบต่างๆ จากสภาพของบรรยากาศเหมือนกับระบบวิทยุที่กล่าว

มาแล้ว ระบบฯ ประกอบด้วย ดาวเทียม (Transit Satellite) จำนวน 6 ดวง ในวงโคจรรอบโลกในแนววงโคจรที่โคจรย่านขั่วโลก (Polar Orbits) ในระยะประมาณ 1075 กิโลเมตร หรือ 600 ไมล์ทะเล จากพื้นโลก และโคจรรอบโลกครบ 1 รอบในเวลา 107 นาที วงโคจรของดาวเทียมดังกล่าวจะเป็นในรูปแบบที่ทำให้ทุกๆ ตำบลที่ในโลกจะผ่านใต้ดาวเทียมทั้ง 6 ดวง ประมาณ สองครั้งต่อวัน และเมื่อดาวเทียมผ่านในแนวตรงในแนวดิ่ง สามารถที่จะหาตำบลที่เรือแน่นอน (Position Fix) ได้ ดาวเทียมแต่ละดวงจะส่งข้อมูลสำหรับใช้ในการหาตำบลที่เรือด้วยความถี่ 150 MHz และ 400 MHz จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อพิจารณาสัมพันธ์กับสถานีรับ หรือเรือแล้ว จะถือได้ว่ามีการเคลื่อนที่สม่ำเสมอ ดังนั้น ค่า Doupler Shift ของสัญญาณความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ที่วัดได้จะทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของสถานีรับได้ นอกจากนั้นสัญญาณที่ดาวเทียมส่งมา คือ ความถี่ 150 MHz และ 400 MHz ยังสามารถใช้ในการแก้อัตราผิดที่เกิดจากการบิดเบือน (Distortions) ที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่น โดยการเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้ทั้งสองความถี่ เมื่อสถานีรับสัญญาณนั้นได้

5.2.2 GPS (Global Positioning System) Satellite System เป็นระบบที่พัฒนาโดยรัฐบาลสหรัฐ โดยมีจุดประสงค์ให้เป็นระบบที่สามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ ให้ข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง ใช้งานได้ทั้งโลกในทุกๆ สภาพอากาศ และใช้ได้ทั้งสามมิติคือ ทางบก น้ำ และอากาศ ระบบที่สมบูรณ์เริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1989 ประกอบด้วยดาวเทียม 18 ดวง อยู่ในวงโคจรที่สูงจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร หรือ 10,900 ไมล์ทะเล โดยวงโคจรของดาวเทียมทั้ง 18 ดวง ได้ถูกเลือกโดยจะโคจรครบวงภายใน 12 ชม. ทำให้แต่ละสถานีรับสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้อย่างน้อย 4 ดวง หรือมากกว่าตลอดเวลา และโดยการวัดเวลาที่รับสัญญาณ (Time-of-Arrival) ของสัญญาณจากดาวเทียมต่างๆ สถานีรับจะสามารถคำนวณค่าตัวประกอบที่สำคัญได้อย่างต่อเนื่อง 4 ค่า คือ Latitude, Longitude, Altitude และ Time สัญญาณที่ส่งจากดาวเทียม GPS จะประกอบด้วยสัญญาณสองความถี่เพื่อใช้ในการวัดและแก้อัตราผิดที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่นในชั้นบรรยากาศ (Ionospheric Refraction Error) สัญญาณทั้งสองคือ L1 จะประกอบด้วยรหัสสองอย่าง คือรหัส C/A (Course Acquisition Code) และรหัสเฉพาะ (Precise or Protected Code) รหัสทั้งสองจะบรรจุข้อมูลที่ส่งโดยขนาดอัตราส่งข้อมูล (Data Rate) ที่ 50 bps (Bit per Second) สัญญาณ L2 จะประกอบด้วยรหัสเฉพาะเพียงอย่างเดียว สำหรับการหาตำบลที่ของเรือนั้นใช้สัญญาณ L1 เพียงอย่างเดียวก็เพียงพอ โดยสามารถหาตำบลที่ที่มีอัตราผิดไม่เกิน 17 เมตรหรือ 19 หลา

5.3 อุปกรณ์เดินเรือชนิดเคลื่อนที่ (Portable System)

เรือบางชนิดเช่น เรือขุดลอก เรือขุดเจาะ เรือวางสายเคเบิลใต้น้ำ เป็นต้น ต้องการระบบหาตำบลที่เรือที่สามารถให้ค่าความถูกต้องสูงมากๆ แต่ไม่จำเป็นจะต้องมีสถานีบกถาวร เรือดังกล่าวอาจใช้ระบบหาที่เรือแบบระยะปานกลางถึงระยะสั้น (Medium-to-Short-Range Navigation System) ที่ทั้งอุปกรณ์บนเรือและอุปกรณ์บนฝั่งเป็นแบบเคลื่อนที่เช่น ระบบ Raydist

Raydist DR-S (Dual Range, Single Sideband) เป็นระบบหาตำบลที่เรือแบบเคลื่อนที่ ประกอบด้วย สถานีบกแบบเคลื่อนที่ขนาดเล็ก ซึ่งมีสายอากาศติดตัวอยู่โดยขนาดของสายอากาศจะเลือกให้เหมาะสมกับระยะห่างในระหว่างการใช้งาน และสถานีส่งบนเรือประกอบด้วย เครื่องส่ง CW และเครื่องบันทึก (Strip Chart Recorder) สถานีส่งบนบกอาจติดตั้งไว้ในตำบลที่ไหนๆ ก็ได้ ภายใต้ระยะส่งของเครื่องส่งเนื่องจากไม่มีการส่งสัญญาณระหว่างสถานีส่ง โดยปกติใช้สถานีบกจำนวนสองสถานีเป็นอย่างน้อย การหาตำแหน่งตำบลที่เรือจะทำโดยวัดระยะจากสถานีส่งถึงสถานีรับแต่ละแห่งจากการวัดเฟส (Phase Measurement) การใช้ CW เพื่อให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพที่ดี โดยทั่วไปแล้วการติดตั้งระบบโดยมีระยะห่างของสถานีรับและส่งไม่เกิน 250 ไมล์ อัตราผิดของตำบลที่เรือที่หาได้ประมาณ 1 ถึง 3 หลา โดยปกติจะใช้งานอย่างกว้างขวางในการบันทึกค่าความเร็วเรือระหว่างการทดสอบคุณลักษณะของเรือ (Standardization and Maneuvering Tests)

6. โซนาร์วัดความลึก (ECHO DEPTH SOUDING SONAR)

เป็นระบบที่วัดความลึกโดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับการสะท้อนของเสียง โดยการวัดระยะเวลาเดินทางของเสียงที่ถูกส่งออกไปจากท้องเรือถึงพื้นท้องทะเลแล้วสะท้อนกลับ โดยทั่วไปอุปกรณ์ในระบบประกอบด้วย Transducer ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์แสดงความลึก (Indicator) อุปกรณ์บันทึกค่าความลึก (Recording Unit)

Transducer จะถูกติดตั้งอยู่อย่างถาวรกับตัวเรือภายนอกโดยมีระดับเสมอกับเปลือกเรือในบริเวณแนวเส้นกลางลำเรือ ที่ระยะจากหัวเรือถึง 1/4 เท่าของความยาวเรือ Transducer เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนคลื่นไฟฟ้า (Electrical Oscillations) ที่ส่งมาจากชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นพลังงานเสียง ระหว่างช่วงการส่งสัญญาณและเปลี่ยนพลังงานเสียงที่สะท้อนกลับมาให้เป็นคลื่นไฟฟ้าในช่วงจังหวะการรับสัญญาณ ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้า ผลิตสัญญาณลักษณะต่างๆ ที่มีความจำเป็นในการทำงานของระบบ โดยปกติจะติดตั้งในห้องแผนที่ อุปกรณ์แสดงความลึก จะแสดงค่าความลึกของน้ำที่วัดได้ ปกติติดตั้งอยู่ในห้องถือท้าย เครื่องบันทึกจะบันทึกค่าความลึกแบบต่อเนื่องลงบนแผนภูมิความลึก โดยปกติจะติดตั้งอยู่ในห้องแผนที่ เรือบางลำอาจติดตั้งอุปกรณ์เตือนภัยซึ่งอาจติดตั้งอุปกรณ์เตือนภัยซึ่งจะส่งสัญญาณเตือนเมื่อความลึกของน้ำต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้ ติดตั้งอยู่ในห้องแผนที่

บทที่ 12
ระบบขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า
(ELECTRIC PROPULSION SYSTEM)

1. ขอบเขต

การนำ Power Electronic Technology ไปใช้งานกับระบบ Large Motor Drives ทำให้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าสามารถใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าหลักของเรือได้ ดังนั้นการรวมกันระหว่าง Electric Power System ต้องใช้ความระมัดระวังในการพิจารณาทั้งทางด้านตำแหน่งของอุปกรณ์ การป้องกันสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ในการควบคุม รวมไปถึงการจัดการทางด้าน Power Distribution และการจัดการเพื่อป้องกันการขัดข้องของการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบที่มีความสำคัญ (Vital System)

2. ความต้องการโดยทั่วไป

ในขณะที่เรือเดินทางด้วยความเร็วเต็มที่ Torque ของ Propulsion Motor จะต้องเพียงพอในการที่จะหยุดเรือ หรือถอยหลังในเวลาที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของ Torque-Speed ของใบจักร และคุณลักษณะอื่นที่จำเป็น ตามที่ได้ในจากการทดลองตัวเรือจำลอง ถ้าใช้ AC Propulsion System ควรจะต้องมี Torque Margin สำหรับเรือในสภาวะคลื่นลมแรง เนื่องจากอาจจะเกิดการหลุดจาก Synchronousism ของมอเตอร์ โดยจะต้องมี Torque มากกว่า Overload ไม่น้อยกว่า 5% เป็นเวลา 30 นาที และควรจะต้องทนกระแส 125% และแรงดัน 200% ของภาวะ Overload ได้ 10 นาที

ในการหลีกเลี่ยง Torsional Stress และ ความสั่นสะเทือน (Vibration) ของระบบ ควรจะให้ความสำคัญเป็นพิเศษในการออกแบบในเรื่องของ ค่าคงที่ของมวล (Mass Constant) ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (Elasticity Constant) และคุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electricity Characteristics) ของระบบ รวมทั้งระบบ คือ เครื่องยนต์ขับ (Prime Movers) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generators) เครื่องแปลงไฟฟ้า (Converters) ชุดกระตุ้น (Exciters) มอเตอร์ (Motors) Slip-Coupling เกียร์ (Gearing) เพลา (Shafting) และใบจักร (Propellers)

สำหรับระบบที่ต่อมอเตอร์ขับเคลื่อน (Propulsion Motors) เข้ากับชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดในการจ่ายพลังงานได้อย่างต่อเนื่องสูงกว่าพิกัดฯ ของมอเตอร์นั้น ควรจะมีวิธีการเพื่อจำกัดไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงบิดเกินกำลัง (Torque Overload) ซึ่งคำนวณบน

พื้นฐานของแรงบิดเต็มที่ต่อเนื่อง (Full Load Torque) ของมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบนั้นๆ สำหรับเรือที่อาจจะเกิดความเร็วของเพลาสูงเกินพิกัด (Overspeeding of the Propulsion Motors) ควรจะมีระบบป้องกันความเร็วของเพลาสูงเกินพิกัดที่เหมาะสมไว้ด้วย ซึ่งควรจะพิจารณาในการป้องกันในเรื่องของการเกินภาระอย่างรุนแรง (Severe Overload) กระแสไฟฟ้า (Current) และการทำงานผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Electrical Fault) อันจะเป็นต้นเหตุของการชำรุดของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันควรเป็นชนิดที่สามารถปรับแต่งได้ถ้าหากมีความต้องการเพื่อไม่อุปกรณ์ฯ ทำงานในสภาวะที่เรือเดินทางในทะเลที่มีคลื่น-ลมแรงมากหรือในขณะที่ต้องการควบคุมเรือทางยุทธการ

วงจรไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนควรจะมีอุปกรณ์แจ้งเตือนเมื่อความต้านทานของฉนวนลดลงต่ำกว่า 100,000 โอห์ม วงจรกระตุ้น (Excitation Circuit) ควรจะมีหลอดไฟ มิเตอร์ หรือวิธีการอื่นที่มีความเหมาะสมที่สามารถแสดงความต้านทานของฉนวนของวงจรฯ ได้อย่างต่อเนื่องในขณะทำงาน

อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 500 Vdc ขึ้นไป และอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิดควรจะมีสัญญาณเตือนของการลัดวงจรสู่พื้นเรือทั้งที่เป็นสัญญาณเสียงและแสง อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องส่งสัญญาณเตือนทันทีที่มีกระแสรั่วไหลลงพื้นเรือโดยอัตโนมัติและจะต้องไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์ที่จะไปตัดไฟฟ้ากำลังที่ใช้งานภายในเรือ อุปกรณ์ควรจะสามารถปิดเสียงสัญญาณเตือนได้เมื่อเจ้าหน้าที่รับทราบข้อขัดข้องแล้วแต่สัญญาณเตือนที่เป็นแสงนั้นจะสามารถปิดได้หลังจากที่ข้อขัดข้องได้รับการแก้ไขแล้วเท่านั้น ในตำบลที่ๆ ใช้ต่ออุปกรณ์ตรวจจับการลัดวงจรสู่พื้นเรือที่มีการต่อสายดินกับพื้นเรือไว้จะต้องได้รับการตัดวงจรโดยอัตโนมัติเพื่อยุติกระแสที่รั่วลงพื้นเรือ

เมื่อเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงหลายเครื่องทำงานร่วมกันควรจะต้องมีการป้องกันกระแสย้อนกลับถ้าหากเครื่องขับเครื่องกำเนิดขัดข้อง (เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลายเป็นมอเตอร์)

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำใน Static Power Converter ควรจะมีการป้องกันการลัดวงจรไว้ด้วย สัญญาณเตือนที่เป็นแบบเสียงควรจะมีสำหรับเครื่องกลไฟฟ้าแบบหมุนและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีระบบระบายอากาศและควรจะกำเนิดสัญญาณเตือนเมื่ออุณหภูมิของอากาศในอุปกรณ์สูงเกินที่กำหนด

3. เครื่องขับ (PRIME MOVERS)

เครื่องขับ (Prime Movers) ทุกเครื่องควรจะมีเครื่องควบคุม (Governor) ที่สามารถควบคุมเครื่องให้รักษาความเร็วของเครื่องไม่ให้เกิน 5 % จากพิกัดภาระสูงสุด (Full Load Rated) เป็นเดินเครื่องตัวเปล่า (No Load) ถ้าหากการปรับเปลี่ยนความเร็วของเพลาใบจักรต้องอาศัยการปรับเปลี่ยนความเร็วของเครื่องขับ ควรจะมีเครื่องควบคุม (Governor) ที่สามารถใช้งานได้ทั้งที่ตัวเครื่อง (Local Manual Control) และที่

ห้องควบคุม (Remote Control) ในการเดินขนานกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบควบคุมจะต้องสามารถแบ่งภาระ (Proportional Load Sharing) ได้ตลอดช่วงความเร็วของเครื่องขับ

พิกัดกำลังงาน (Rated Power) ของเครื่องขับ (Prime Mover) จะต้องรับภาระขนาดใหญ่ที่เปลี่ยนอย่างรวดเร็วในการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า อันเนื่องมาจากการควบคุมเรือทางยุทธวิธี สภาพท้องทะเล และสภาพอากาศ ชนิดของเครื่องขับที่ต้องให้ความสนใจเป็นคือเครื่องขับที่เป็นเครื่องยนต์ดีเซลแบบใช้แก๊สเสียขับ Turbochargers ว่าจะสามารถรับภาระขนาดใหญ่ได้อย่างกะทันหันโดยความเร็วของเครื่องขับจะไม่ลดลงเกิน 5 %

ระบบควบคุมเครื่องจักรควรจะถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันการรับภาระเกินพิกัด (Overloading) ของเครื่องขับ (Prime Mover) วงจรจำกัดภาระ (Load Limiting Circuit) ควรจะต้องควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่มีความจำเป็น (Vital Load) ของเรือให้มีความสำคัญมากกว่าระบบขับเคลื่อนในทุกสภาวะการทำงาน จะต้องมีแสงและเสียงสัญญาณเตือนเมื่อวงจรจำกัดภาระ (Load Limiting Circuitry) ได้จำกัดการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบขับเคลื่อนเนื่องจากต้องรักษาระดับพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบที่มีความจำเป็น (Vital Load)

4. เครื่องกำเนิด (GENERATORS)

เครื่องกำเนิดควรเป็นชนิดหลาย Phase และมีแรงดันไฟฟ้าระหว่าง Phase ไม่ควรเกิน 13,000 โวลต์ เครื่องกำเนิดควรมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะรับภาระที่เกิดจากมอเตอร์ขับเพลาใบจักรทำงานภายใต้สภาวะทะเลมีคลื่นสูงและระหว่างการควบคุมเรือทางยุทธวิธี ฉนวนของขดลวดควรจะเป็น Class F หรือ H และขดลวดควรจะมี Temperature Rise อยู่ใน Class B ถ้าฉนวนไม่เป็นวัสดุที่ดับไฟเอง (Self-extinguishing Material) ควรจะจัดให้มีชุดดับเพลิงให้กับเครื่องกำเนิด

เครื่องกำเนิดควรจะมีการระบายอากาศแบบใช้พัดลม โดยที่นิยมจะเป็นพัดลมติดตั้งติดกับเพลาเครื่องกำเนิดในกรณีที่ความเร็วรอบของเพลาสูงเพียงพอหรือมีมอเตอร์ขับพัดลมแยกต่างหาก อากาศร้อนจะถูกขับออกทางช่องทางออกของ Enclosure ของเครื่องกำเนิด และการออกแบบช่องทางออกควรจะป้องกันอากาศร้อนกลับมาเข้าเครื่องกำเนิดใหม่ หรือการระบายอากาศอาจจะสามารถทำเป็นระบบปิดหรือกึ่งปิดได้ โดยใช้ Water Cooler แต่มีข้อควรระวังไม่ให้น้ำใน Cooler รั่วไหลเข้าเครื่องกำเนิด ถ้าหาก Water Cooler สามารถปรับอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องกำเนิดได้ที่ 40 องศาเซลเซียส ได้อย่างเพียงพอและที่เครื่องรับภาระสูงสุด การกำเนิด Temperature Rise ควรจะกำหนดที่อุณหภูมิ 40 องศาฯ นี้

เมื่อเครื่องกำเนิดไม่ได้ถูกใช้งานเป็นเวลานาน ควรจะมีการป้องกันความชื้นและการควบแน่นของน้ำในเครื่องกำเนิดเช่น Electric Heater เป็นต้น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับควรจะมีการวัดค่าอุณหภูมิของขดลวดที่อยู่กับที่ (Stationary Windings) โดยมีอย่างน้อย Phase ละ 1 จุดตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่ง Sensor นั้นควรจะถูกฝังอยู่ในขดลวดของแต่ละ Phase ค่าที่วัดได้ควรจะมีการนำไปแสดงในที่ๆ สามารถอ่านได้ง่ายเช่นที่ห้องควบคุมเครื่องจักร เป็นต้น

เครื่องกำเนิดจะต้องทนความเร็วเกินพิกัด 25 % ได้โดยไม่เกิดความเสียหายกับเครื่องกำเนิด

5. มอเตอร์ขับเพลาใบจักรชนิดใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC PROPULSION MOTOR)

มอเตอร์ขับเพลาใบจักรอาจจะเป็นชนิด Induction แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage) ที่มีขดลวด (Windings) สำหรับเริ่มเดิน หรือแบบ Form-wound-rotor ที่มีการต่อความต้านทานภายนอกสำหรับการเริ่มเดินมอเตอร์ หรือเป็นชนิด Synchronous โดยมีระบบจ่ายไฟฟ้าที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้อง มอเตอร์จะต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงและคงทน ฉนวนของขดลวดควรจะเป็น Class F หรือ H และขดลวดควรจะมี Temperature Rise อยู่ใน Class B ถ้าฉนวนไม่เป็นวัสดุที่ดับไฟเอง (Self-extinguishing Material) ควรจะจัดให้มีชุดดับเพลิงให้กับมอเตอร์

มอเตอร์ควรจะมีการระบายอากาศแบบใช้พัดลม โดยที่นิยมจะเป็นพัดลมติดตั้งติดกับเพลาเครื่องกำเนิดในกรณีที่ความเร็วรอบของเพลาสูงเพียงพอหรือมีมอเตอร์ขับพัดลมแยกต่างหาก อากาศร้อนจะถูกขับออกทางช่องทางออกของ Enclosure ของมอเตอร์ และการออกแบบช่องทางออกควรจะป้องกันอากาศร้อนกลับมาเข้ามอเตอร์ใหม่ หรือการระบายอากาศอาจจะสามารถทำเป็นระบบปิดหรือกึ่งปิดได้ โดยใช้ Water Cooler แต่มีข้อควรระวังไม่ให้น้ำใน Cooler รั่วไหลเข้ามอเตอร์ ถ้าหาก Water Cooler สามารถปรับอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องกำเนิดได้ที่ 40 องศาเซลเซียส ได้อย่างเพียงพอและที่เครื่องรับภาระสูงสุด การกำเนิด Temperature Rise ควรจะกำหนดที่อุณหภูมิ 40 องศาฯ นี้ สำหรับระบบระบายอากาศที่เป็นแบบเปิดหรือกึ่งปิด จะต้องมี Filter สำหรับกรองไอน้ำมันหรือเศษวัสดุอันตรายที่จะเข้าไปในมอเตอร์

ช่องระบายอากาศของมอเตอร์ควรจะมี Thermometer วัดอุณหภูมิ มีสัญญาณเตือนอุณหภูมิสูงเกินไป มี Dampers และมีช่องทางสำหรับเข้าไปตรวจสอบด้วย สำหรับระบบปิดแล้วจะมีมีการใช้ Dampers เมื่อมอเตอร์ไม่ได้ถูกใช้งานเป็นเวลานาน ควรจะมีการป้องกันความชื้นและการควบแน่นของน้ำในมอเตอร์ เช่น Electric Heater เป็นต้น

มอเตอร์ควรเป็นชนิดหลาย Phase และมีแรงดันไฟฟ้าระหว่าง Phase ไม่ควรเกิน 13,000 โวลต์ ควรจะมีเครื่องวัดอุณหภูมิสำหรับมอเตอร์ขับเพลาใบจักรทุกขนาด

6. มอเตอร์ขับเพลาใบจักรชนิดใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC PROPULSION MOTOR)

แรงดันไฟฟ้าระหว่าง Armature ของมอเตอร์จะต้องไม่เกิน 1000 โวลต์ มอเตอร์จะต้องแข็งแรงและทนทานในการใช้งาน ฉนวนของขดลวดควรจะเป็น Class F หรือ H และขดลวดควรจะมี Temperature Rise อยู่ใน Class B ถ้าฉนวนไม่เป็นวัสดุที่ดับไฟเอง (Self-extinguishing Material) ควรจะจัดให้มีชุดดับเพลิงให้กับมอเตอร์

มอเตอร์ควรจะมีการระบายอากาศแบบใช้พัดลม โดยมีมอเตอร์พัดลมแยกต่างหาก อากาศร้อนจะถูกขับออกทางช่องทางออกของ Enclosure ของมอเตอร์ และการออกแบบช่องทางออกควรจะป้องกันไม่ให้อากาศร้อนกลับมาเข้ามอเตอร์ใหม่ หรือการระบายอากาศอาจจะสามารถทำเป็นระบบปิดหรือกึ่งปิดได้ โดยใช้ Water Cooler แต่มีข้อควรระวังไม่ให้น้ำใน Cooler รั่วไหลเข้ามอเตอร์ ถ้าหาก Water Cooler สามารถปรับอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องกำเนิดได้ที่ 40 องศาเซลเซียส ได้อย่างเพียงพอและที่เครื่องรับภาระสูงสุด การกำเนิด Temperature Rise ควรจะกำหนดที่อุณหภูมิ 40 องศาฯ นี้ สำหรับระบบระบายอากาศที่เป็นแบบเปิดหรือกึ่งปิด จะต้องมี Filter สำหรับกรองไอน้ำมันหรือเศษวัสดุอันตรายที่จะเข้าไปในมอเตอร์

ช่องระบายอากาศของมอเตอร์ควรจะมี Thermometer วัดอุณหภูมิ มีสัญญาณเตือนอุณหภูมิสูงเกินไป มี Dampers และมีช่องทางสำหรับเข้าไปตรวจสอบด้วย สำหรับระบบปิดแล้วจะมีมีการใช้ Dampers เมื่อมอเตอร์ไม่ได้ถูกใช้งานเป็นเวลานาน ควรจะมีการป้องกันความชื้นและการควบแน่นของน้ำในมอเตอร์ เช่น Electric Heater เป็นต้น

การหล่อลื่นแบริ่ง (Bearing) และเพลา (Shafting) ควรจะมีประสิทธิผลตลอดเวลาตั้งแต่ความเร็วของมอเตอร์อยู่ในระดับต่ำมากถึงความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ ทั้งในการเดินหน้าและถอยหลัง ทั้งเพลา (Shaft) และแบริ่ง (Bearing) ควรเป็นชนิดหล่อลื่นได้ด้วยตัวเอง (Self-Lubricated)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงควรจะมีพิกัดเกินกำลังของแรงบิด (Torque Overload Rating) ที่ 5 % เป็นเวลา 30 นาที และควรจะทนกระแสได้ 125 % และ ทนแรงดันสนามไฟฟ้าได้ 200 % เป็นเวลา 10 นาที

7. ชุดขับมอเตอร์ขับเพลาใบจักร (PROPULSION MOTOR DRIVES)

Static Power Converter สำหรับขับมอเตอร์ขับเพลาใบจักรควรเป็นชนิดที่จำกัด Harmonic ไม่ให้กระทบทางด้านไฟฟ้าเข้า ลดการสูญเสียของ Damper Winding ลดแรงบิดกระเพื่อม (Torque Ripple) ให้เหลือน้อยที่สุด ตัวตู้ของชุดขับที่จะต้องอยู่ในพื้นที่ๆ เกิดการผุกร่อนสูง ควรจะทำจากวัดสุที่ทนทานต่อการผุกร่อน สำหรับอุณหภูมิแวดล้อมที่กำหนดควรเป็น 45 องศาเซลเซียส ถ้าหากเป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศ และถ้าหากเป็นการระบายความร้อนด้วยน้ำให้ประมาณอุณหภูมิน้ำเข้าหล่อเย็นอย่างต่ำ 30

องศาเซลเซียส Temperature Rise ของทุกสถานการณ์ควรจะจำกัดให้ Converter สามารถรองรับการทำงานของมอเตอร์ได้ทุกสภาวะ ถ้าหากชุดขับมีการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศหรือใช้น้ำระบายความร้อน ควรจะมีระบบเฝ้าดูระบบระบายความร้อนด้วย ในกรณีที่ระบบระบายความร้อนชำรุด ชุดขับจะต้องลดกระแสขับมอเตอร์โดยอัตโนมัติและให้สัญญาณเตือนทั้งในรูปแบบของเสียงและแสง

ในแผ่นป้ายของชุดขับควรจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Marine propulsion drive power converter
- Manufacturer's name and address
- Manufacturer's serial number
- Type (silicon, transistor, copper oxide, etc.)
- Rated input volts
- Rated input amperes
- Number of phases
- Number of pulses
- Frequency input/output
- Rated output volts
- Rated output amperes
- Ambient temperature range
- Cooling medium

Enclosure ของชุดขับควรป้องกันน้ำหยดใส่ แต่ถ้ามีโอกาสที่จะโดนฝอยน้ำควรจะใช้ Enclosure ชนิดผนึกน้ำ อุปกรณ์ที่เป็นชนิดผนึกน้ำจะต้องได้รับการทดสอบดังนี้ ใช้หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว ฉีดน้ำที่มีแรงดัน Head ของน้ำ 11 เมตร ไปยัง Enclosure ไม่น้อยกว่า 15 นาที จากระยะ 3 ฟุต ถ้าหากไม่มีน้ำสามารถเข้าไปข้างในได้แสดงว่าเป็น Enclosure แบบผนึกน้ำ

8. อุปกรณ์ควบคุมระบบขับเคลื่อน (PROPULSION CONTROL EQUIPMENT)

ตู้ควบคุม (Control Console) ควรจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงและคงทน และควรจะรวมอุปกรณ์ทุกชนิดหน้าจอแสดงผล และอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในการทำงานและควบคุมระบบขับเคลื่อน ตำแหน่งของการควบคุมอาจจะอยู่ที่ห้องควบคุมเครื่องจักรอย่างเดียวก็ได้ หรือที่สะพานเดินเรือและห้องควบคุมเครื่องจักรก็ได้ ถ้าหากมีการควบคุมจากสะพานเดินเรือควรจะมีอุปกรณ์ที่จะสามารถควบคุมเครื่องจักรได้ที่ห้องควบคุมเครื่องจักรด้วยเสมอ และถ้าหากมีสถานีควบคุมระบบขับเคลื่อนมากกว่า 2 สถานีขึ้นไป ควร

จะมีสวิทช์เลือก (Selector Switch) สำหรับเลือกว่าจะควบคุมระบบขับเคลื่อนจากสถานีใดสถานีหนึ่งเท่านั้น ไม่ว่าด้วยกรณีใดๆ ทั้งสิ้นไม่ควรให้มีการควบคุมระบบขับเคลื่อนได้พร้อมกันมากกว่า 1 สถานี

การเปลี่ยนสถานีควบคุมนั้นควรจะสามารถทำได้ต่อเมื่อคันบังคับของระบบขับเคลื่อนของสถานีที่จะเข้ามาทำหน้าที่แทนนั้นตรงกับคันบังคับของสถานีที่ทำหน้าที่อยู่เดิมเท่านั้น ยกเว้นระบบที่ออกแบบให้คันบังคับของทุกสถานีเลื่อนไปตามสถานีที่ใช้งานอยู่

ทุกๆ วิธีที่จะสามารถสั่งการระบบขับเคลื่อนได้ ควรจะมี Interlock เพื่อป้องกันการทำงานที่ผิดปกติ

สำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับระบบขับเคลื่อน ชุดขับมอเตอร์ หรือ มอเตอร์มากกว่า 2 อุปกรณ์ของเพลา 1 เพลา การซ่อมทำหรือถอดอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งชิ้นใดออกจากระบบไม่ควรกระทบต่อการทำงานของอีกอุปกรณ์ที่เหลืออยู่

ระบบควบคุมพร้อม Feedback Control ชุดวงจรและองค์ประกอบต่างๆ เป็นสองชุดจะเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ การล้มเหลว (Failure) ของระบบใดระบบหนึ่งไม่ควรเป็นสาเหตุของการเพิ่มความเร็วของเพลาใบจักร ชุดส่งค่าอ้างอิงระหว่างสถานีควบคุมและอุปกรณ์ควรจะได้รับการออกแบบในลักษณะที่ถ้าเกิดสิ่งผิดปกติในสายไฟฟ้าระหว่าง สถานีควบคุมและอุปกรณ์จะไม่ทำให้ความเร็วของเพลาใบจักรสูงขึ้น

สิทธิในการควบคุมระบบขับเคลื่อนจะสามารถมีได้ก็ต่อเมื่อคันบังคับของระบบควบคุมอยู่ในตำแหน่ง “ศูนย์” หรือ “หยุด” และมีพลังงานพร้อมที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์ขับเพลาใบจักร ในแต่ละสถานีควบคุมควรจะมีอุปกรณ์หยุดเครื่องฉุกเฉิน ถ้ามีสถานีควบคุมมากกว่า 2 สถานีขึ้นไป ควรจะมีสิ่งบอกว่าสถานีใดที่ถูกใช้ในการควบคุมระบบขับเคลื่อนอยู่

ตู้ควบคุม (Control Console) ในห้องควบคุมเครื่องจักร ควรจะมีอุปกรณ์ มิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย

8.1 ระบบขับเคลื่อนแบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC propulsion systems)

8.1.1) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชุดเครื่อง:

- Ammeter
- Voltmeter
- Wattmeter
- Frequency meter
- Power factor meter (ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินขนานกัน)
- Temperature indicator สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิโดยตรงของ Stator Windings

8.1.2) สำหรับมอเตอร์ขับเพลาใบจักรแต่ละตัว:

- Temperature indicator สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิโดยตรงของ Motor Windings
- Wattmeter สำหรับแต่ละ motor
- Ammeter for the field current of each synchronous motor

8.1.3) สำหรับแต่ละเพลาใบจักร:

- Speed indicator

8.1.4) For each semiconductor static power drive:

- Ammeter for each bridge connection of semiconductors

8.2) ระบบขับเคลื่อนแบบไฟฟ้ากระแสสลับ (DC propulsion systems)

8.2.1) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชุดเครื่อง:

- Ammeter
- Field ammeter

8.2.2) สำหรับมอเตอร์ขับเพลาใบจักรแต่ละตัว:

- Field ammeter
- Ammeter for the armature current of each motor

8.2.3) สำหรับมอเตอร์ขับเพลาใบจักรแต่ละตัวที่รับไฟฟ้าจาก Semiconductor Static Power Drive:

- Ammeter สำหรับ armature current ในมอเตอร์แต่ละตัว
- Voltmeter สำหรับ armature voltage ในมอเตอร์แต่ละตัว
- Ammeter in the input of each parallel bridge circuit of the convertor
- สัญญาณเตือนสำหรับอุณหภูมิสูงเกินของ Interpole Windings

8.2.4) สำหรับแต่ละเพลาใบจักร:

- Speed indicator