การออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับศูนย์ข้อมูล

ELECTRICAL AND SUPPORTING SYSTEM DESIGN FOR DATA CENTER

นางสาวขนิษฐา ถามูลเรศ

นายชาญณรงค์ การะเกตุ

นายณัฐพงศ์ รัตนพงศ์

นายทีปกร ตันสุขี

โครงงานวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2557

การออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับศูนย์ข้อมูล

ELECTRICAL AND SUPPORTING SYSTEM DESIGN FOR DATA CENTER

นางสาวขนิษฐา ถามูลเรศ

นายชาญณรงค์ การะเกตุ

นายณัฐพงศ์ รัตนพงศ์

นายทีปกร ตันสุขี

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2557

หัวข้อโครงงานวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

เรื่อง การออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับศูนย์ข้อมูล

โดย	นางสาวขนิษฐา	ถามูลเรศ
	นายชาญณรงค์	การะเกตุ
	นายณัฐพงศ์	รัตนพงศ์
	นายทีปกร	ตันสุขี
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒอนุมัติให้นับโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เวคิน ปิยรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอิ่ม)

การออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับศูนย์ข้อมูล
ปีการศึกษา 2557

โดย

นางสาว ขนิษฐา ถามูลเรศ
นาย ชาญณรงค์ การะเกตุ
นาย ณัฐพงศ์ รัตนพงศ์
นาย ทีปกร ตันสุขี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับศูนย์ข้อมูล โดยการเลือกใช้บริภัณฑ์และอุปกรณ์ระบบอำนวยความสะดวกให้เหมาะสมกับระบบการทำงานของศูนย์ข้อมูล และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการออกแบบขนาดห้องในพิกัดที่เสมือนจริงมากที่สุดในพื้นที่ใช้งาน โครงงานประกอบด้วย การจัดวางตำแหน่งโหลด การคำนวณโหลดวงจรย่อย สายป้อน ขนาดเซอร์กิตเบรคเกอร์ ท่อร้อยสาย และออกแบบระบบไฟฟ้าสำรอง ซึ่งได้มีการนำเสนอไว้ในรูปแบบของตารางโหลด ตารางรายละเอียดการออกแบบระบบไฟฟ้า โดยเน้นการเพิ่มเสถียรภาพของพื้นที่ทำงานเป็นสำคัญ

คำสำคัญ : การออกแบบระบบไฟฟ้า/การจัดทำตารางโหลด/ศูนย์ข้อมูล/ศูนย์สารสนเทศ/ระบบไฟฟ้าสำรอง

Electrical and Supportive System Design for Data center

Academic Year 2014

By

Ms. Khanistha Thamoonred

Mr. Channarong Karaket

Mr. Nattaphong Rattanaphong

Mr. Teepakorn Tunsukee

Advisor

Asst. Prof. Dr. Pathomthat Chiradeja

ABSTRACT

The purpose of this project is to design electrical utility and supporting power system for Data center. The computer programming is used to calculate and design the electrical system in real dimension scale. The project includes the calculate and designing of branch circuit, feeder circuit and main feeder circuit. The sign of circuit branches, conduit and stand-by generators are also presented in main project.

Key word: Electrical system design/Load schedule/Data center/Telecommunication/ Supportive system

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาและมีความละเอียดในเนื้อหาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน รวมทั้งท่านอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด จนโครงงานเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณอย่างสูง คุณวศินชัย กาญจนพันธ์ หัวหน้าฝ่ายงานระบบ กองบริหารงานก่อสร้างที่ให้คำปรึกษาในส่วนงานที่นอกเหนือจากความรู้ในห้องเรียน และที่ให้ความอนุเคราะห์งานด้านสถาปัตยกรรม ให้พร้อมข้อมูลด้านการเขียนแบบโปรแกรม AUTO CAD และให้คำปรึกษาในการทำโครงงานนี้จนโครงงานเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความหมายของศูนย์ข้อมูล	3
2.2 ข้อกำหนดในการสร้างศูนย์ข้อมูลตามมาตรฐาน TIA-942	4
2.3 ข้อกำหนดตามมาตรฐานดาตาเซนเตอร์สำหรับประเทศไทย	4
2.3.1 องค์ประกอบหลักพื้นฐาน	4
2.3.2 งานสถาปัตยกรรมโครงสร้างที่สำคัญ	5
2.3.3 ข้อกำหนดระบบไฟฟ้าและคำนวณโหลด	6
2.3.4 ความน่าเชื่อถือของระบบโดยรวม	6
2.3.5 การจัดระดับขั้นดาตาเซนเตอร์	15
2.4 งานระบบไฟฟ้าหลักในศูนย์ข้อมูล	18
2.4.1 หน่วยจำหน่ายกำลังไฟฟ้า	19
2.4.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	22
2.4.3 หม้อแปลงไฟฟ้า	22
2.4.4 สายไฟฟ้า	26

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

2.4.5 วงจรย่อย 33

2.4.6 ท่อร้อยสาย 37

2.4.7 บริภัณฑ์ไฟฟ้า 48

2.4.8 สายป้อน 54

2.4.9 การต่อลงดิน 55

2.4.10 บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน 57

2.5 งานระบบไฟฟ้าสำรองในศูนย์ข้อมูล 58

2.5.1 เครื่องสำรองไฟฟ้า 58

2.5.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 62

2.5.3 อุปกรณ์สลับไฟฟ้าอัตโนมัติ 63

2.6 งานระบบอำนวยความสะดวกในศูนย์ข้อมูล 64

2.6.1 ระบบปรับอากาศ 64

2.6.2 ระบบตรวจจับน้ำรั่วซึม 68

2.6.3 ระบบป้องกันอัคคีภัย 68

บทที่ 3 หลักการออกแบบ 71

3.1 แผนการดำเนินงาน 71

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ 72

3.3 แผนผังระยะเวลาการทำโครงงาน 73

บทที่ 4 ผลการทดลอง 74

4.1 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ 74

4.2 ตัวอย่างการคำนวณโหลดวงจรย่อยพอสังเขป 75

4.3 ตัวอย่างแสดงการจัดทำตารางโหลด 81

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 91

5.1 สรุปผลการดำเนินการ 91

5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน 91

5.3 ข้อเสนอแนะ 91

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	94
ประวัติย่อนิสิตผู้จัดทำ	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราส่วนประสิทธิภาพในการออกแบบ	15
2.2 Power Plug สำหรับโหลดสำคัญ	21
2.3 ค่าตัวคูณสำหรับส่วนย่อยต่างๆ ของระบบการกระจายไฟฟ้า	23
2.4 ขนาดตัวนำและเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย	34
2.5 คุณสมบัติของท่อทั้ง 3 ชนิด	47
2.6 แนะนำจำนวนท่อสำรอง	48
3.1 แผนผังระยะเวลาการดำเนินการ	73
4.1 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ UL 1A	81
4.2 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ PDU 1A	82
4.3 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ CDB-Source A	83
4.4 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ MUP-1A	84
4.5 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ EMDB	85
4.6 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ ELT-SERVER	86
4.7 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ DB-ESSENTIAL	87
4.8 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ ALC-A	88
4.9 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ MUP-3A	89
4.10 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ MDB	90

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Tier I: Basic Capacity	8
2.2 Tier II: Redundant Components	9
2.3 Tier III: Concurrently Maintainable	11
2.4 Tier VI: Concurrently Maintainable	12
2.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	14
2.6 ตู้จำหน่าย ชนิด Main Lugs	19
2.7 ตู้จำหน่าย ชนิด Main Circuit breaker	20
2.8 การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กของหม้อแปลง	24
2.9 แกนเหล็กแบบคอร์	25
2.10 แกนเหล็กแบบเซลล์	25
2.11 แกนเหล็กแบบตัว H	26
2.12 สายอะลูมิเนียมผสม (AAAC - All Aluminum Alloy Conductor)	28
2.13 สายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR - Aluminum Conductor Steel Reinforced)	28
2.14 สาย Space Aerial Cable (SAC)	29
2.15 สาย Preassembly Aerial Cable	30
2.16 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)	30
2.17 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบวีเอเอฟ (VAF)	31
2.18 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบทีเอชดับเบิลยู (THW)	31
2.19 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบเอ็นวายวาย (NYY)	31
2.20 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบวีซีที (VCT)	32
2.21 แผงย่อยขนาด 12 วงจร	35
2.22 ท่อโลหะบาง	39
2.23 ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit; IMC)	40
2.24 ท่อโลหะหนา (Rigid Steel Conduit; RSC)	40
2.25 ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit)	41
2.26 ท่อโลหะอ่อนกันน้ำ	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 ท่อ PVC (Poly Vinyl Chloride)	42
2.28 HDPE แบบผิวเรียบ	42
2.29 HDPE แบบลูกฟูก	43
2.30 รางเดินสาย	43
2.31 รางเคเบิลแบบบันได	44
2.32 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ	45
2.33 รางเคเบิลแบบแบบด้านล่างทึบ	45
2.34 การต่อท่อ HDPE มีทั้งแบบใช้ข้อต่อสวม และแบบเชื่อมด้วยความร้อน	46
2.35 ท่อ RTRC	46
2.36 โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของแผงย่อยแบบ Main Lugs	51
2.37 ลักษณะภายนอกของแผงสวิตช์	53
2.38 การเชื่อมสายดินแบบกริด	55
2.39 การเชื่อมต่อสายดินกับ TGB (Telecommunication Ground Bonding)	56
2.40 การต่อระบบสายดินที่ถูกต้อง	56
2.41 Manhole and Handhold	58
2.42 Offline UPS หรือ Standby UPS	60
2.43 Online Protection UPS หรือ Line Interactive UPS with Stabilizer	61
2.44 True Online UPS	62
2.45 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์	63
2.46 ชนิดและส่วนประกอบของระบบปรับอากาศต่างๆ	65
2.47 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ	66
2.48 ระบบปรับอากาศแบบ Down floor	66
2.49 การเคลื่อนที่ของอากาศเย็น (สีน้ำเงิน) และอากาศร้อน (สีแดง)	68
2.50 แผงควบคุมอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วซึมของน้ำใต้พื้นยกชนิดระบุระยะได้	69
2.51 ถังบรรจุแก๊ส (Gas Cylinder)	70
2.52 หัวฉีดแก๊ส (Discharge Nozzle)	71
3.1 แผนการดำเนินงาน	72
3.2 ขั้นตอนการออกแบบ	73

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ศูนย์ข้อมูล (Data Center) ถือเป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อสื่อสารทั้งภายในประเทศและติดต่อกับภายนอกประเทศ ลักษณะการปฏิบัติงานของศูนย์ข้อมูล คือ จัดเก็บ ส่งต่อ และประมวลผลตามลักษณะของธุรกิจนั้นๆ ถือได้ว่ามีความสำคัญมากในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นการหยุดทำงานหรือเกิดข้อผิดพลาด อาจทำให้ธุรกิจเสียหายได้ เช่น ข้อมูลธุรกรรมทางการเงิน จึงต้องมีการจัดการระบบเพื่อให้รักษาเสถียรภาพของระบบให้มากที่สุด ดังนั้นจึงได้จัดทำโครงงานออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับศูนย์ข้อมูล โดยผู้จัดทำคำนึงถึงระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีที่ทันสมัย และความปลอดภัยในการใช้งานเป็นสำคัญ ภายใต้มาตรฐาน TIA-942 และ Uptime Institution (TIER classification)

1.2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน (Literature review)

การจัดทำศูนย์ข้อมูลที่ดี คงต้องใช้เงินลงทุนมหาศาล เพื่อรองรับการใช้งานและการขยายงานในอนาคต ทั้งระบบไฟฟ้าที่ต้องมีระบบสำรอง รองรับการใช้งาน 24 ชั่วโมง ระบบปรับอากาศ ระบบควบคุมความชื้น ที่สามารถรองรับเซิร์ฟเวอร์จำนวนมาก ระบบบริหารจัดการน้ำหนักของอุปกรณ์ต่างๆที่วางในตู้แร็คได้อย่างเพียงพอ และส่วนสำคัญก็คือ ระบบเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตต้องสามารถรับโหลด และการใช้งานที่เกิดขึ้นที่ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งบุคลากรที่ดูแลระบบต้องสามารถปฏิบัติงานที่ตลอด 24 ชั่วโมง เหล่านี้คือตัวแปรที่สำคัญของศูนย์คอมพิวเตอร์

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับศูนย์ข้อมูลตามมาตรฐาน TIA-942 และ EIT

1.3.2 ออกแบบระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับศูนย์ข้อมูลตามข้อกำหนดของ Uptime Institution

1.3.3 เพื่อศึกษาทฤษฎี และคำนวณหาความต้องการของโหลดสำคัญ

1.3.4 เพื่อศึกษาการทำงานของโปรแกรม AutoCAD ในงานออกแบบ

1.3.5 เพื่อศึกษามาตรฐานและทฤษฎีการออกแบบระบบไฟฟ้า

1.3.6 สามารถสร้างตารางโหลดได้

1.4 ขอบเขตโครงงานวิศวกรรม

1.4.1 การออกแบบระบบไฟฟ้าหลักสำหรับศูนย์ข้อมูล ความหนาแน่นของเซิร์ฟเวอร์จำนวน 21 x 9 Rack + Spare ในขนาดห้อง 40 x 22 ตารางเมตร

1.4.2 การออกแบบระบบโครงสร้างไฟฟ้าสำรองสำหรับศูนย์ข้อมูล ที่ระดับ TIER 4

1.4.3 แสดงการคำนวณความต้องการโหลดสำคัญ ขนาดสายไฟฟ้า ขนาดท่อร้อยสาย ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาดหม้อแปลง ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดเครื่องสำรองไฟ

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.5.1 สามารถนำผลงานการออกแบบนี้ไปใช้ในการก่อสร้างได้จริง

1.5.2 นำความรู้ด้านเทคโนโลยีของศูนย์ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดต่างๆ ไปประยุกต์ใช้

1.5.3 ทำให้เกิดความรู้และความเข้าใจในเรื่องการออกแบบ รวมถึงโปรแกรม AutoCAD

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของศูนย์ข้อมูล

ศูนย์ข้อมูล (อังกฤษ: Data Center) เป็นพื้นที่ที่ใช้จัดวางระบบประมวลผลกลางและระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กร โดยมากผู้ใช้งานหรือลูกค้าจะเชื่อมต่อมาใช้บริการผ่านระบบเครือข่ายที่มาจากภายนอก Data Center จึงเปรียบได้กับสมองขององค์กรนั่นเอง

การออกแบบ Data Center นั้น โดยมากจะมีหลักการออกแบบโดยคำนึงถึงปัจจัยสำคัญต่างๆ ดังนี้ อาทิเช่น ความมีเสถียรภาพ ความพร้อมใช้งาน การบำรุงรักษา ความเหมาะสมในการลงทุน ความปลอดภัย

การรองรับการขยายในอนาคต โดยเนื่องจากศูนย์ข้อมูลส่วนใหญ่ต้องให้บริการตลอดเวลาไม่มีวันหยุด เสถียรภาพของศูนย์ข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่ต้องออกแบบและก่อสร้างให้ได้อย่างถูกต้อง ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจก่อนว่าสิ่งที่อยู่ในศูนย์ข้อมูลคือ เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server), เครื่องประมวลผลขนาดใหญ่ (Main- frame) , เครื่องบันทึกข้อมูล (Storage) , อุปกรณ์เครือข่าย (Network switch) , ข่ายสายสัญญาณ (Data cabling system) และอุปกรณ์สื่อสารต่างๆเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้สามารถทำงานได้ มีอยู่ 4 ประการดังนี้

1. พื้นที่ (Spacing)
2. ระบบไฟฟ้า (Power system)
3. ระบบปรับอากาศ (Cooling system)
4. ระบบเครือข่าย (Network system)

ห้อง Data Center นั้นต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิรวมถึงระบบไฟฟ้าต่างๆที่พร้อมทำงานทันที หรือระบบอื่นๆที่ต้องพร้อมทำงานทันทีเมื่อมีสิ่งใดทำงานผิดพลาดเพราะมันเป็นศูนย์รวมของ Server ขนาดเล็กไปจนถึง Server ที่อาจจะมีความสำคัญถึงขั้น ความเป็นความตาย ของคนเลยก็ว่าได้ให้ลองยกตัวอย่างดูว่า: สมมุติว่าเรานั่งเครื่องบินอยู่บนฟ้าโดยเครื่องบินเหล่านี้กว่าจะไปอยู่บนฟ้าได้ ต้องมี ศูนย์สั่งการ รวมถึงข้อมูลโปรแกรมที่ Run จาก Server ที่อยู่ใน Data-Center, หากห้อง Data Center มีปัญหาก็ทำให้ Server ต่างๆทำงานผิดปกติไป

2.2 ข้อกำหนดในการสร้างศูนย์ข้อมูลตามมาตรฐาน TIA-942

มาตรฐาน TIA-942 (The Telecommunications Industry Association's) หรือสมาคมมาตรฐานอุตสาหกรรมการสื่อสารซึ่ง 942 เป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาที่สร้างสำหรับการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของศูนย์ข้อมูล (DATA CENTER) เสนอข้อกำหนดที่จำเป็นหรืออย่างน้อยต้องมีในการสร้างศูนย์ข้อมูลและห้องคอมพิวเตอร์สำหรับผู้ทำธุรกิจส่วนตัวหรือการทำเป็นบริษัทในงานเครือข่ายข้อมูล (Internet hosting data centers)

2.3 ข้อกำหนดตามมาตรฐานดาตาเซนเตอร์สำหรับประเทศไทย

เพื่อเป็นมาตรฐานสำหรับวิศวกร สถาปนิกและผู้เกี่ยวข้อง ในการจัดทำดูบำรุงรักษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งดาตาเซนเตอร์ขนาดเล็กและขนาดกลางได้ศึกษาและทำความเข้าใจต่อข้อกำหนดขั้นต่ำและแนวทางสำหรับการออกแบบและการติดตั้งดาต้าเซนเตอร์ รวมทั้งการวางแผนสิ่งอำนวยความสะดวก, การออกแบบเคเบิลและโครงข่าย ตั้งแต่ขั้นตอนการพัฒนาอาคาร การวางแผนที่ถูกต้องเพียงพอในระหว่างการก่อสร้างหรือการซ่อมปรับปรุงต่างๆ ลดค่าใช้จ่ายที่จะต้องปรับปรุงหลังจากที่เปิดใช้งานแล้วรองรับการขยายตัวต่อไป สามารถสรุปได้ดังนี้

- เพื่อให้ดาตาเซนเตอร์ในประเทสไทยมีคุณภาพ ความมั่งคงปลอดภัย เป็นที่ยอมรับเชื่อถือได้และสอดคล้องกับสากล
- เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องกับดาตาเซนเตอร์ในประเทศไทย ใช้เป็นหลักในการดำเนินการและอ้างอิง
- เพื่อพัฒนาและยกระดับดาตาเซนเตอร์ขนาดเล็กและขนาดกลางให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งาน
- เพื่อให้ดาตาเซนเตอร์มีลักษณะ ประเภท ที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งานและความเสี่ยง
- เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างคุ้มค่า ประหยัด และเหมาะสม

2.3.1 องค์ประกอบหลักพื้นฐาน

องค์ประกอบหลักจากการอ้างอิงโดยรัฐและเอกชนซึ่งมีข้อกำหนดในการใช้งานและขั้นตอนดังนี้

2.3.1.1 Network architecture (งานออกแบบระบบสื่อสาร)

2.3.1.2 Electrical design (งานออกแบบระบบไฟฟ้า)

2.3.1.3 File storage, backup and archiving (พื้นที่จัดเก็บข้อมูล, กู้คืนข้อมูล)

2.3.1.4 System redundancy (งานความซับซ้อนของระบบ)

2.3.1.5 Network access control and security (ความปลอดภัยในเครือข่าย)

2.3.1.6 Database management (งานจัดการฐานข้อมูล)

2.3.1.7 Web hosting (งานติดต่อผู้ใช้)

2.3.1.8 Application hosting (ลูกเล่นในการใช้งาน)

2.3.1.9 Content distribution (การกระจายเนื้อหา)

2.3.1.10 Environmental control (การควบคุมสิ่งแวดล้อม)

2.3.1.11 Protection against physical hazards (การป้องกันภัยคุกคามทางกายภาพ)

2.3.1.12 Power management (การจัดการพลังงาน)

2.3.2 งานสถาปัตยกรรมโครงสร้างที่สำคัญ

2.3.2.1 การเลือกสถานที่ตั้ง

- สถานที่มีโอกาสในการขยายตัวคือ เลือกสถานที่ที่สามารถขยายงานเพิ่มได้ในระยะ 5 – 10 ปี

- หลีกเลี่ยงในสถานที่มีการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อลดต้นทุนในการออกแบบระบบป้องกันการรบกวนที่จะเกิดขึ้นได้

- มีสาธารณูปโภคสนับสนุนที่ดี เพื่อความมั่นคงในระบบการทำงานของศูนย์ข้อมูล

2.3.2.2 งานด้านสถาปัตยกรรมโครงสร้าง

- โครงสร้างเหล็กและคอนกรีตตามมาตรฐาน IBC Type IV และ NFPA-75

- ผนังอาคารเป็นวัสดุไม่ลามไฟและทนไฟไหม้ ได้นานไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง

- ผนังห้องคอมพิวเตอร์โดยรอบคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนด้านการถ่ายเทอุณหภูมิ เพื่อความเสถียรของอุณหภูมิภายในห้องไม่ต่ำกว่า R-19 ft 25

2.3.2.3 ข้อกำหนดสภาพแวดล้อมที่สำคัญในห้องคอมพิวเตอร์

- อุณหภูมิภายในห้อง 20 - 25 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 40 – 50 %

- ต้องอยู่ในที่มีสภาพมั่นคงแข็งแรง

2.3.3 ข้อกำหนดระบบไฟฟ้า

- ยึดตามมาตรฐานติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย
- เน้นระยะห่างปลอดภัย
- บริภัณฑ์หลักของระบบไฟฟ้า เช่น สวิตซ์ประธาน สวิตซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า UPS , Battery จำเป็นต้องติดตั้งแยกออกจากห้องคอมพิวเตอร์
- ระบบไฟฟ้าของงานศูนย์ข้อมูลต้องแยกออกจากระบบไฟฟ้าทั่วไป

2.3.4 ความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability)

ศูนย์ข้อมูลเป็นโครงสร้างพื้นฐานให้ระบบ IT ต่างๆ ทำงานอยู่ภายในนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งการที่ระบบ IT ไม่สามารถใช้งานได้ในเวลาที่ธุรกิจต้องการ จะก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก ส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือตลอดจนส่งผลต่อรายได้ของธุรกิจนั้นๆดังนั้นผู้บริหารศูนย์ข้อมูลทุกคนจึงมีความต้องการให้ศูนย์ข้อมูลของตนมีระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีความเชื่อถือได้สูงและต้องการให้มีเวลาที่ใช้การได้ (Availability) มากที่สุดเท่าที่ จะทำได้ ซึ่งในการบรรลุเป้าหมายให้ Data Center มี Availability สูง (Downtime ต่ำ) จึงต้องอาศัยการออกแบบที่ได้มาตรฐานมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ ซึ่งมาตรฐานสากล ที่นิยมใช้สำหรับเป็นแนวทางในการสร้าง Data Center นั้น มีอยู่ 2 มาตรฐาน คือ

- มาตรฐานของ UPTIME INSTITUTE ประเทศสหรัฐอเมริกา
- มาตรฐาน TIA-942, Telecommunications Infrastructure Standard for DATA Centers, Telecommunications Industry Association (TIA) ประเทศสหรัฐอเมริกา

ทั้งมาตรฐานของ UPTIME INSTITUTE และ TIA-942 ได้แบ่งระดับ Tier ออกเป็น 4 ระดับเช่นกัน แต่มีรายละเอียดต่างกัน โดยมาตรฐานของ UPTIME INSTITUTE มุ่งเน้นงานระบบวิศวกรรมที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างพื้นฐาน (Site Infrastructure) ของโครงการ

ส่วนมาตรฐาน TIA-942 นั้น มีรายละเอียดครอบคลุมในภาพรวมทั้งทางด้านงานสถาปัตยกรรม ระบบไฟฟ้า เครื่องกล และสื่อสาร โดยมาตรฐานทั้งสองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้เป็นอย่างดี

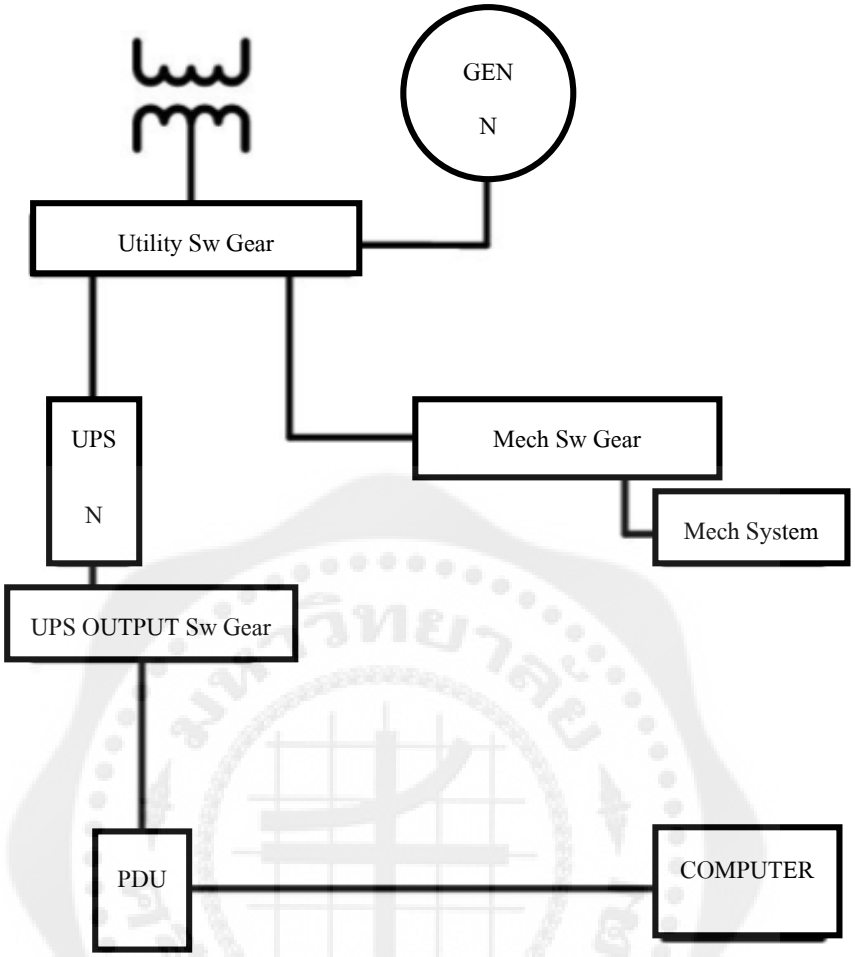
มาตรฐาน TIA-942 นั้น มีข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากและสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและติดตั้ง Data Center ได้เป็นอย่างดี ครอบคลุมงานสถาปัตยกรรม, โครงสร้าง และงานระบบวิศวกรรมประกอบอาคาร โดยจัดระดับ Data Center เป็น Tier 1, Tier 2, Tier 3, Tier 4 ระดับ Tier ที่มีค่ามากขึ้น หมายถึงมีค่า Availability และ Security ที่สูงขึ้น รายละเอียดที่ถูกกำหนดใน TIA-942 ในงานสถาปัตยกรรม เช่น การเลือกสถานที่ตั้ง (Site Selection), อัตราการทนไฟของพื้น/

ผนัง/หลังคาของอาคาร, การจัดพื้นที่สนับสนุนอื่นๆ อาทิ ห้อง Security เป็นต้น ในงานระบบไฟฟ้า เช่น ระบบ UPS, PDU, Central Power Monitoring, Testing เป็นต้น ในงานระบบเครื่องกล เช่น ระบบ Chilled Water Piping, ระบบ Fire Suppression เป็นต้น จนกระทั่งรวมไปถึงงานระบบ Telecommunications การที่จะได้เป็น Tier ใดในแต่ละหัวข้อนั้น ต้องพิจารณาในรายละเอียด เช่น ระบบ UPS เป็นแบบ 2N ได้ Tier 4,ถ้าเป็น N+1 ได้ Tier 3 เป็นต้น

Telecommunication Industry Association (TIA) ทำมาตรฐาน TIA-942 ขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการออกแบบ Data Center เท่านั้น โดยไม่มีการรับรอง หรือออก Certification ใดๆ จากทาง TIA มาตรฐานของ UPTIME INSTITUTE UPTIME INSTITUTE มีมาตรฐานการจัดระดับของงานระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Site Infrastructure) ที่รองรับ Data Center ออกเป็น 4 ระดับ คือ Tier I, Tier II, Tier III, Tier IV ดังนี้

2.3.4.1 Tier I: Basic Capacity (Data Center ที่มีองค์ประกอบของงานระบบในระดับพื้นฐาน)

- มี Capacity ระบบไฟฟ้า, ระบบปรับอากาศ เพียงพอที่จะรองรับ Data Center
- ด้านจำนวนอุปกรณ์ งานระบบไม่มีชุดสำรอง (Redundant) หรือมีอุปกรณ์เพียง N เดียว เช่น Data Center ต้องการใช้ไฟฟ้า 100 kW ก็จะมี UPS ขนาด 100 kW เพียง 1 ชุด เท่านั้น ไม่มีชุดสำรอง
- ด้านการส่งจ่าย ระบบส่งไฟฟ้าหรือระบบส่งน้ำเย็นฯ (Distribution Path) มีเพียงชุดเดียว

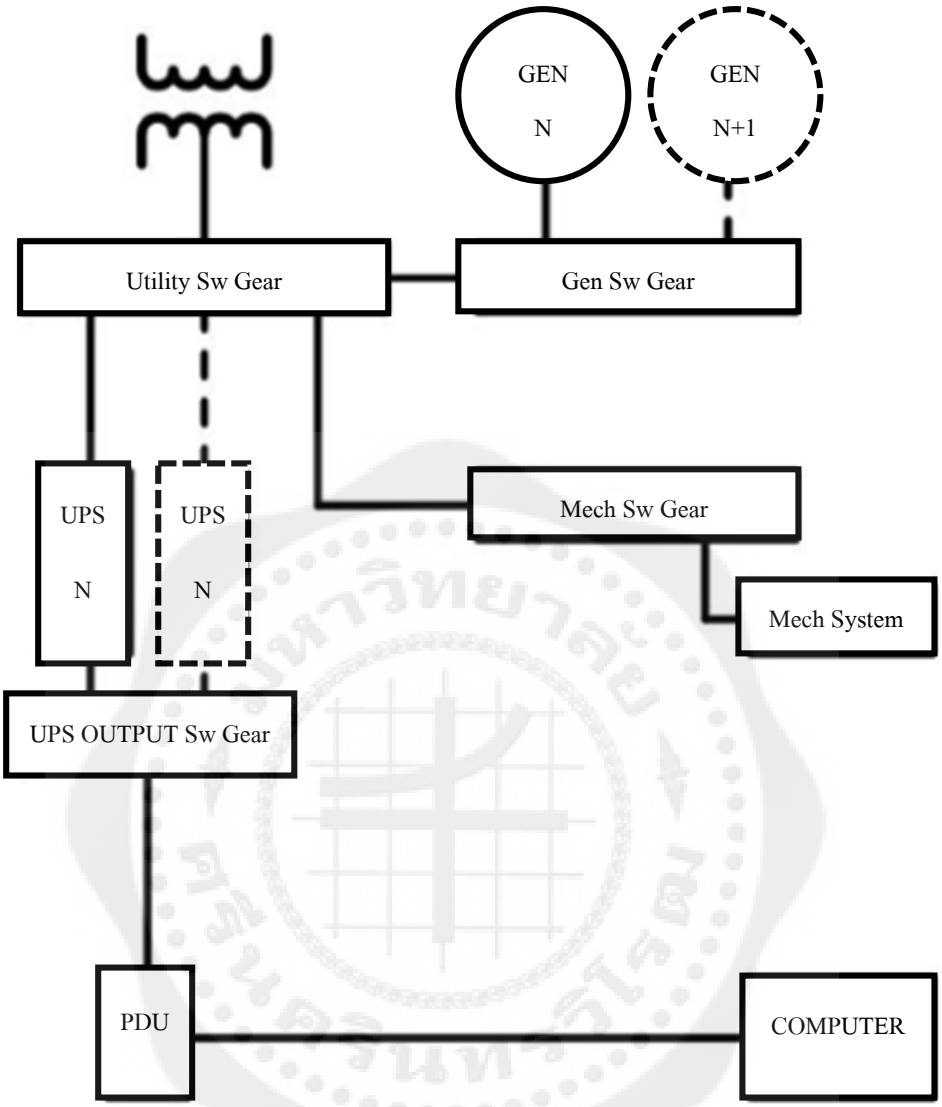


รูปที่ 2.1 Tier I: Basic Capacity

ที่มา : รัตนชัย รัศมีเวสารัช (2556)

2.3.4.2 Tier II: Redundant Components (Data Center ที่มีอุปกรณ์ชุดสำรองในระบบที่สำคัญ)

- ด้านจำนวนอุปกรณ์ ระบบที่มีชุดสำรอง (N+R) ได้แก่ Generator, UPS, IT cooling, UPS cooling R คือ Redundant เช่น N+1 แสดงว่า Redundant = 1 กรณี Data Center ต้องการ UPS 100kW ก็ สามารถเลือกใช้ได้เป็น 100kW+100kW หรือ 50kW+50kW+ 50kW ก็ได้อยู่ รายละเอียด การออกแบบ- ด้านการส่งจ่าย ยังคงมีเพียงชุดเดียวเหมือน Tier I



รูปที่ 2.2 Tier II: Redundant Components

ที่มา : รัตนชัย รัศมีเวสารัช (2556)

2.3.4.3 Tier III**:** Concurrently Maintainable (Data Center ที่ยังคงสามารถทำงานอยู่ได้ในขณะที่มีการจัดการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนทดแทนในส่วนที่ต้องการ) ดังรูปที่ 2.3

- ด้านจำนวนอุปกรณ์ ระบบที่มีชุดสำรอง (N+R) ได้แก่ Generator, UPS, IT cooling, UPS Cooling

- ด้านการส่งจ่าย ระบบส่งจ่ายมีเส้นทางสำรองที่ไม่ขึ้นต่อกัน (Independent - Distribution Paths) ซึ่งอาจสำรองในสถานะ Inactive ก็ได้

- Engine generator ต้องเป็นแบบ Continuous Rating

- สามารถวางแผนเพื่อทำการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ต่างๆและระบบส่งจ่ายทุกส่วนได้ โดยไม่ต้องหยุด Data Center

- ยังคงมีจุดอ่อนที่ยังสามารถทำให้ Data Center หยุดการทำงานได้ ที่เรียกว่า Single Point-of-Failur

2.3.4.4 Tier IV**:** Fault Tolerant (Data Center ที่ยังคงสามารถทำงานอยู่ได้เมื่อมีปัญหาจากความผิดพลาดเกิดขึ้น) ดังรูปที่ 2.4

- ด้านจำนวนอุปกรณ์ ระบบที่มีชุดสำรอง (N+R)

- ด้านการส่งจ่าย ระบบส่งจ่ายมีเส้นทางสำรองที่ไม่ขึ้นต่อกัน (Independent istribution Paths) ซึ่งต้องทำงานในสถานะ Active

- การกั้นแยก (Compartmentalization) ของอุปกรณ์ และระบบส่งจ่ายเพื่อป้องกัน Single Point-of-Failure (SPOF)

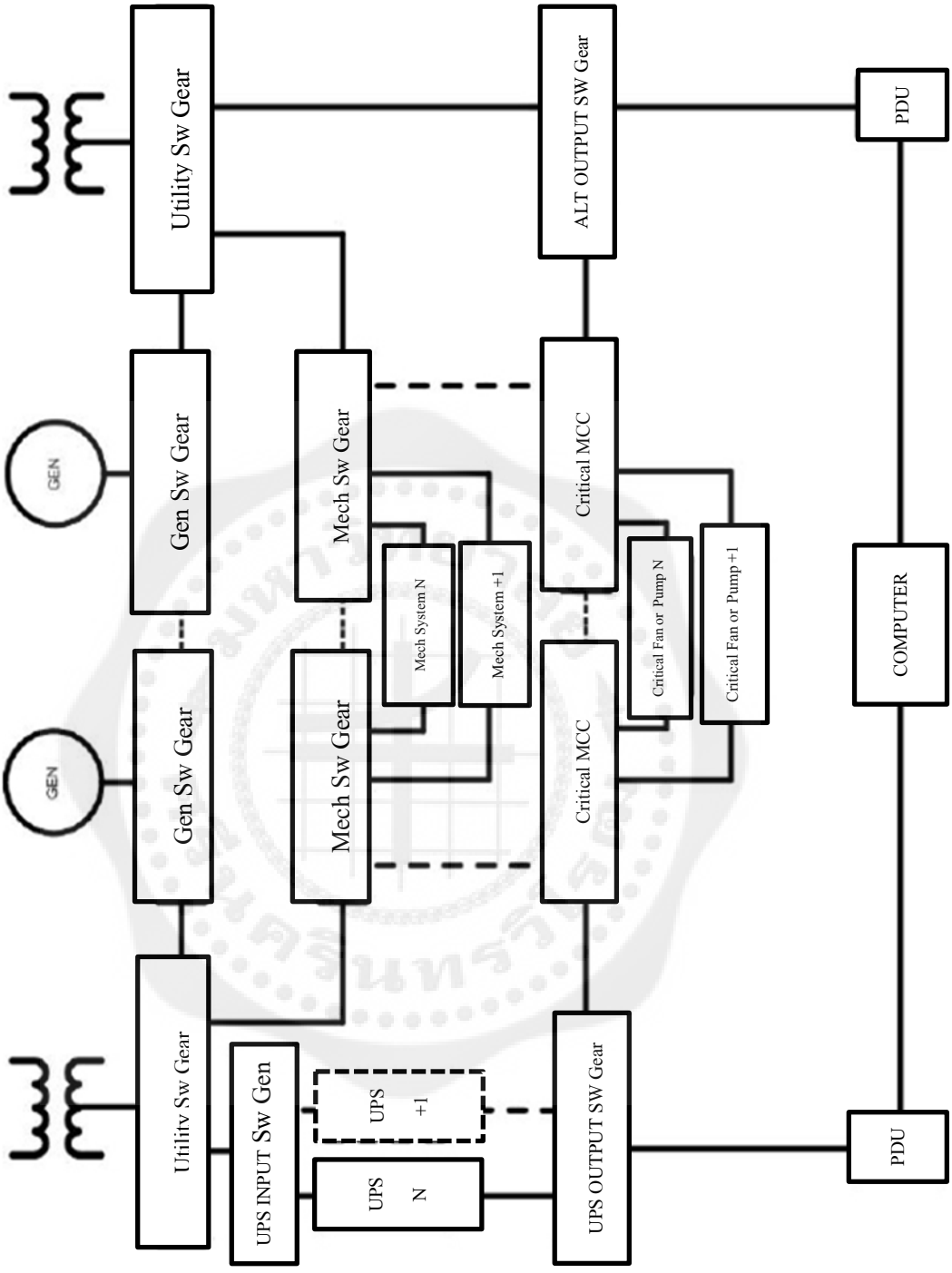
- การจ่ายความเย็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Cooling) สำหรับ IT cooling, UPS cooling

- การทำงานแบบอัตโนมัติ โดยต้องให้มี Capacity N เพื่อรองรับ Data Center ภายหลังที่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น (N after any failure)

- Engine generator ต้องเป็นแบบ Continuous Rating

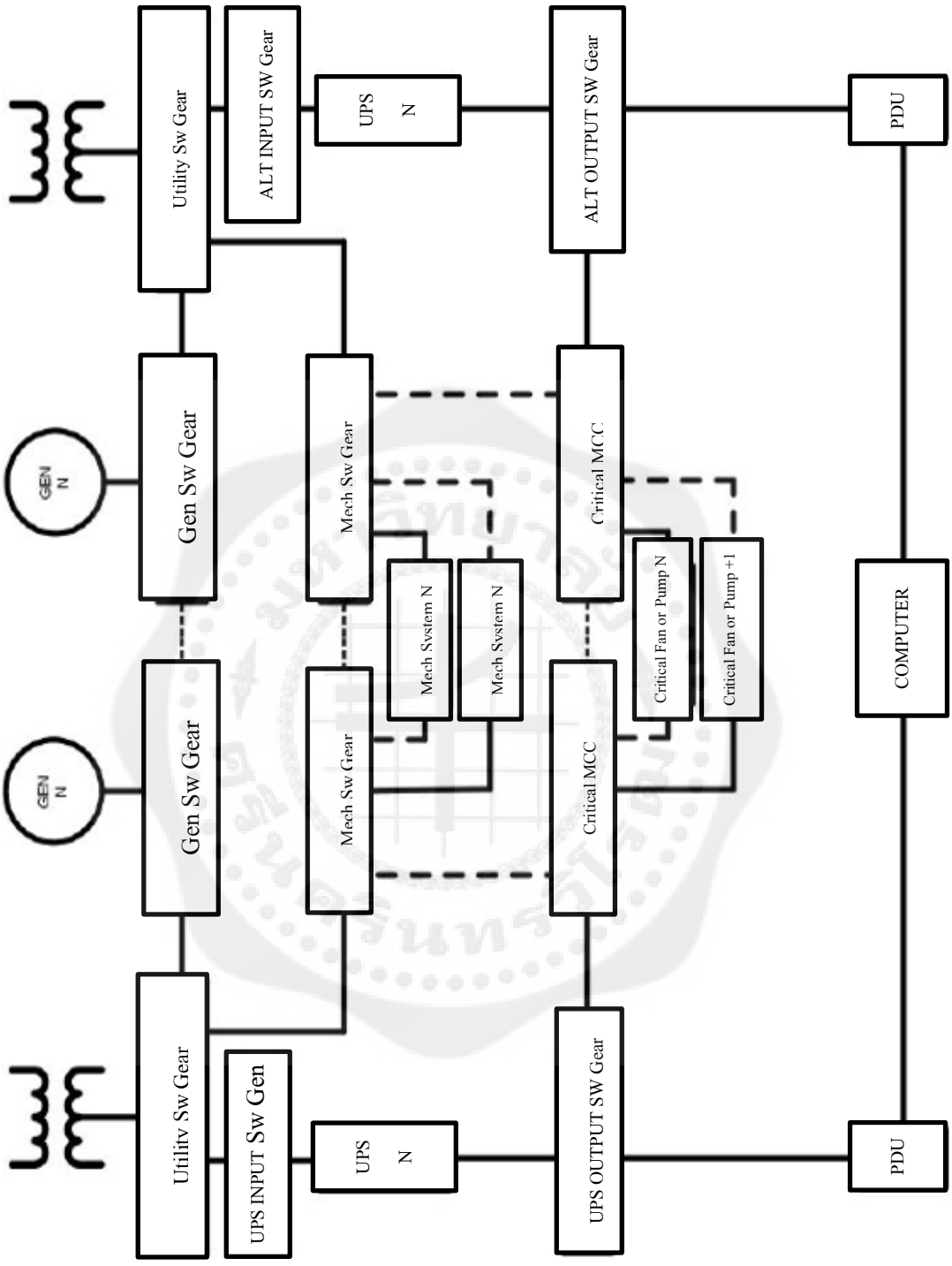
- อุปกรณ์แต่ละชุด ทุกๆ ส่วนในระบบและเส้นทางส่งจ่าย ถึงแม้ว่าจะเกิดความบกพร่อง ความผิดพลาด ต่างๆ จากเหตุการณ์ที่วางแผนไว้หรือไม่ก็ตามระบบก็ยังคงสามารถทำงานได้โดยไม่กระทบต่อ Data Center หรือที่ เรียกว่า Fault Tolerant

- ไม่มี Single Point-of-Failure



รูปที่ 2.3 Tier III: Concurrently Maintainable

ที่มา : รัตนชัย รัศมีเวสารัช (2556)



รูปที่ 2.4 Tier VI: Concurrently Maintainable

ที่มา : คุณรัตนชัย รัศมีเวสารัช (2556)

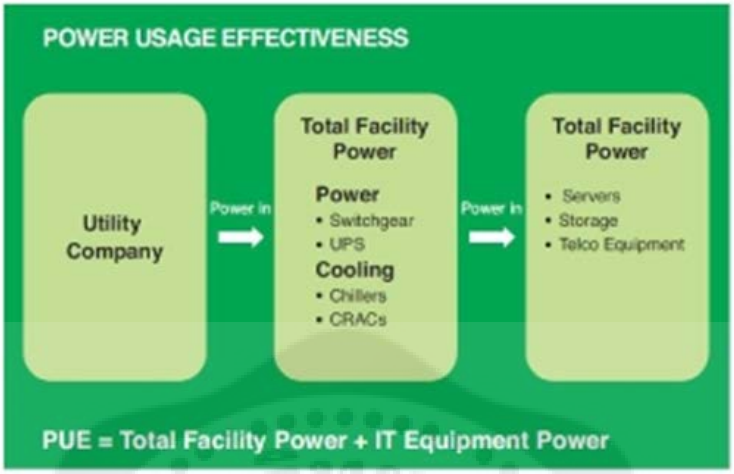
จะเห็นว่ามาตรฐานของ UPTIME INSTITUTE ไม่ได้กำหนดวิธีการออกแบบรายละเอียด แต่ให้เกณฑ์ที่จะใช้ในการพิจารณาว่า Data Center จะเป็น Tier ในระดับใด โดยเปิดกว้างให้ผู้ออกแบบเป็นผู้พิจารณาหัวข้อต่างๆเอง

ดังนั้น Data Center แต่ละแห่งที่ได้รับ Tier ในระดับเดียวกันอาจมีการออกแบบงานระบบในรูปแบบที่ต่างกันก็ได้ เกณฑ์ของ UPTIME INSTITUTE จะเน้นเรื่องการออกแบบงานระบบวิศวกรรมภายใน โดยไม่มีเรื่องตำแหน่งที่ตั้งโครงการ (Site Location), ระบบรักษาความปลอดภัย (Security) หรือการต้องมีสายไฟฟ้าจากภายนอกเข้าสู่โครงการจากหลายแหล่ง (Multiple utility -feeds)

นอกจาก Tier Standard: Topology ซึ่งใช้เพื่อการออกแบบแล้ว UPTIME INSTITUTE ยังมี Tier Standard: Operational Sustainability ซึ่งแบ่งเป็น Gold, Silver, Bronze สำหรับการดำเนินงาน Data Center อีกด้วย ซึ่งการขอ Certification จะต้องส่งข้อมูลรายละเอียด Data Center ทั้งหมดไปให้ UPTIME INSTITUTE และมีค่าใช้จ่ายสูงพอสมควร

เนื่องจาก Data Center ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมาก เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ระบบ IT ที่ติดตั้งอยู่ภายใน รวมถึงระบบสนับสนุนอื่นๆ เช่น ระบบไฟฟ้าแสงสว่างระบบปรับอากาศ เป็นต้น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งและต้องถูกพิจารณาตั้งแต่ช่วงการออกแบบวางแผน เช่น การเลือกขนาดของอุปกรณ์ที่ถูกต้องกับภาระการทำงาน การเลือกอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้วัสดุที่ป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นต้น ในช่วงเวลาที่ Data Center เปิดใช้งานแล้ว ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนควรต้องถูกตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาซึ่งอาจมาจากฤดูกาลหรือการปรับปรุงเพิ่มเติมอุปกรณ์ต่างๆ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ดียิ่งขึ้นได้เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ Data Center ที่นิยมใช้นั้น ถูกพัฒนาโดย The Green Grid Association ของประเทศสหรัฐอเมริกา เรียกว่า Power Usage Effectiveness (PUE) โดยเป็นตัวชี้วัดว่าในภาพรวมแล้ว Data Center หนึ่งๆ เมื่อรับพลังงานทั้งหมดเข้ามาแล้วจะส่งไปยังอุปกรณ์ IT ซึ่งเป็นหัวใจหลักได้ดีเพียงใด ค่าที่ได้นี้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับ Data Center อื่นๆ หรือเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงาน ของ Data Center นั้นๆ ในช่วงเวลาอื่นๆ ก็ได้

$$PUE = \frac{Total\ Facility\ Energy\ or\ Power}{IT\ Equipment\ Energy\ or\ Power}$$



PUE	Level of Efficiency
3.0	Very Inefficient
2.5	Inefficient
2.0	Average
1.5	Efficient
1.2	Very Efficient

รูปที่ 2.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ที่มา : ANSI / BICSI 002-2011 : Data Center Design-2001

จะเห็นว่า ค่า PUE ตามสมการนี้เป็นค่าที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้

- การวัดข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ต้องมีการเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องในช่วงเวลาต่างๆ การเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมออาจเป็นได้ทั้ง รายเดือน รายสัปดาห์ รายวันรายชั่วโมง (ต่อเนื่อง) ตามความต้องการ ในการบริหารจัดการ

- ระบบต้องมีเครื่องวัดไฟฟ้า (Meter) ที่ตำแหน่งที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ Transformer, Generator, Main Distribution Board, Lighting, UPS, CRAC, PDU, Utility Panel Board เป็นต้น

- ต้องพิจารณาพื้นที่อื่นๆ ที่ใช้ระบบร่วมกัน เช่น สำนักงานที่ไม่เกี่ยวข้อง Data Center แต่ใช้ Transformer, Chiller ร่วมกัน เป็นต้น

เนื่องจากการวัดค่าการใช้พลังงานเพื่อคำนวณค่า PUE ในแต่ละ Data Center มีความแตกต่างกัน ทาง The Green Grid Association จึงได้มีเกณฑ์ตำแหน่งตรวจวัดเพื่อสามารถจัดกลุ่มของข้อมูล PUE ที่ได้จาก Data Center ต่างๆ ไว้ดังตาราง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่า PUE ที่สามารถใช้เปรียบเทียบ (Benchmark) ระหว่าง Data Center ด้วยกันได้ค่า PUE ที่มีค่าต่ำหมายถึง Data Center นั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดี

ค่า PUE ในระดับเฉลี่ย (PUE = 2.0) หมายถึง พลังงานที่จ่ายเข้าศูนย์ Data Center ทั้งหมด จะมีเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นที่จ่ายเข้าสู่ระบบ IT (Server rack) ส่วนที่เหลือจะเป็นพลังงานที่ถูกใช้ไปกับระบบสนับสนุนต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการปรับอากาศ ที่เหลือถูกใช้ในระบบแสงสว่าง และอื่นๆ รวมถึงค่าสูญเสียของอุปกรณ์ (Loss) ต่างๆ เช่น ในอุปกรณ์ Transformer, UPS, PDU เป็นต้น UPTIME INSTITUTE ได้ทำการสำรวจ Data Center มากกว่า 500 แห่ง ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ามีค่า PUE โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.8 สำหรับ Data Center ของ Google มีค่า PUE เฉลี่ยเท่ากับ 1.22 ซึ่งใกล้เคียงกับ Data Center ของ Microsoft ซึ่งจัดว่ามีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีมาก ส่วนประเทศที่มีภูมิอากาศใกล้เคียงกับประเทศไทย เช่น สิงคโปร์ ทาง National Environmental Agency, Singapore ได้ทำการสำรวจ Data Center จำนวน 23 แห่ง พบว่ามีค่า PUE โดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.07 เป็นต้น

2.3.5 การจัดระดับขั้นดาต้าเซนเตอร์

2.3.5.1.ขนาดกำลังและความต้องการ

ดาตาเซนเตอร์ที่มีระบบจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่องและระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเสริต้องมีความการไฟฟ้าดังนี้

- มีระบบเคร่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเสริมเท่ากกำลังไฟฟ้า (kW) ของโหลดอุปกรณ์ ICT และโหลดสำคัญรวมทั้งโหลดสาธารณูปโภคและทางกลทั้งหมดที่ต้องการเพื่อให้ดาตาเซนเตอร์ทำงานได้ปกติ
- มีระบบจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่องของทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับกำลังไฟฟ้า (kW) ของโหลดอุปกรณ์ ICT และโหลดสำคัญ
- มีสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและมีการต่อลงดินที่เหมาะสม-และเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.3.5.2. การทำงานแทนกันได้

การทำงานทดแทนกันได้ (Redundancy) มีรูปแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- รูปแบบ N หมายถึง ระบบที่สามารถจ่ายโหลดขั้นต่ำตามความต้องการพื้นฐานโดยไม่มีการทำงานทดแทนกัน

- รูปแบบ N+1 หมายถึง ระบบที่มีการทำงานทดแทนกัน โดยเพิ่มอุปกรณ์หรือเพิ่มเส้นทางหรือเพิ่มระบบอีกชุดหนึ่งเข้าไปเพื่อทดแทน อุปกรณ์ชุดใดชุดหนึ่งของระบบที่จ่ายโหลดขั้นต่ำตามความต้องการพื้นฐาน เกิดหยุดจ่ายพลังงานไม่ว่าสาเหตุใดก็ตาม (เช่น อุปกรณ์ชำรุดเสียหรือหรือในระหว่างการบำรุงรักษา)

- รูปแบบ N+2 หมายถึง ระบบที่มีการทำงานทดแทนกันโดยเพิ่มอุปกรณ์หรือเพิ่มเส้นทางหรือเพิ่มระบบไปอีกสองชุดเข้าไป เพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่อาจไม่ทำงาน จ่ายโหลดขั้นต่ำตามความต้องการพื้นฐาน เกิดหยุดจ่ายพลังงานไม่ว่าสาเหตุใดก็ตามถึงสองชุดได้

- รูปแบบ 2N หมายถึง ระบบละเส้นทางที่มีการทำงานทดแทนกันได้ โดยมีระบบสมบรูณ์รวมถึงเส้นทางเพิ่มอีกหนึ่งชุด ซึ่งแต่ละระบบและเส้นทางต้องสามารถจ่ายโหลดขั้นต่ำตามความต้องการพื้นฐานได้ เพื่อทดแทนในกรณีที่ระบบ หรือเส้นทางด้านใดด้านหนึ่งไม่สามารถจ่ายโหลดได้

- รูปแบบ 2(N+1) หมายถึง ระบบที่มีการทดแทนกันได้ในลักษณะ (N+1) ตามข้อ 2 จำนวน 2 ชุด โดยแต่ละชุดมีเส้นทางการจ่ายโหลดแยะต่างหากกัน เพื่อทดแทนในกรณีที่ระบบหรือเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งไม่สามารถจ่ายโหลดได้

- รูปแบบ xN หมายถึงระบบที่มีรูปแบบตามข้อ 4 แต่มีจำนวน x ที่มากกว่า 2 ขึ้นไป

2.3.5.3. ขนาดกำลังและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์

ขนาดกำลัง (Capacity) หมายถึง kW ที่ต้องการเพื่อจ่ายให้โหลดรวมกันกับส่วนที่เผื่อในการออกแบบ (Design margin) และตัวประกอบการขยายตัว (Growth factor)

- อัตราส่วนการใช้ประโยชน์ในการออกแบบ (Design utilization ratio) หมายถึงจำนวนรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้ารวมถึงที่ใช้ในการทำงานทดแทนกันได้หารด้วยจำนวนที่ต้องการต่ำที่สุดเพื่อจ่ายโหลด

- อัตรส่วนประสิทธิภาพในการออกแบบ (Design efficiency ratio) หมายถึง kW ที่ต้องการ หารด้วย kW ที่ติดตั้ง แสดงในตาราง ที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนประสิทธิภาพในการออกแบบ

รูปแบบ	การใช้ประโยชน์ในการออกแบบ (จำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้าหหรือยูพีเอสรวท/จำนวนที่ต้องการ)	ประสิทธิภาพในการออกแบบ (kW ที่ต้องการ / kW ที่ติดตั้ง)
N	1:1	100 %
N+1	2:1	50 %
N+1	3:2	60 %
N+1	4:3	75 %
N+1	5:4	80 %
2N	2:1	50 %
(N+2)	6:2	33 %
N+2	3 : 1	33 %
N+2	4 : 2	50 %
N+2	5 : 3	60 %
N+2	6 : 4	66 %

2.3.5.4. การวัดประสิทธิภาพของดาตาเซนเตอร์

ในมาตรฐานนี้ให้ใช้ “ประสิทธิผลการใช้ไฟฟ้า” (Power usage - effectiveness - PUE) ซึ่งการวัดประสิทธิผลการใช้ไฟฟ้าโดยตรงของดาตาเซนเตอร์ โดยคิดเป็นกำลังไฟฟ้าทั้งหมดหารด้วยกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยอุปกรณ์ ICT

$$PUE = \frac{Total\ facility\ power}{ITE\ power}$$

ทั้งนี้โดยปกติแล้ว PUE จะมีค่ามากกว่า 1.0 ซึ่งดาตาเซนเตอร์ส่วนใหญ่มีค่า PUE ใกล้กับ 2.0 หมายเหตุ ในปัจจุบันมีดาตาเซนเตอร์บองแห่งที่ใช้การวัดเป็น “ประสิทธิภาพโครงสร้างพื้นฐานของดาตาเซนเตอร์” (Data center infrastructure efficacy – DCiE) ซึ่งเป็นส่วนกลับของ PUE ตามสูตร

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{ITE\ power}{Total\ facility\ power} \times 100\%$$

นั่นคือ DCiE จะมีค่าน้อยกว่า 100 % อย่างไรก็ตามในวงการดาตา - เซนเตอร์นิยมใช้ PUE มากกว่า

2.4 งานระบบไฟฟ้าหลักสำหรับศูนย์ข้อมูล

การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับศูนย์สารสนเทศในประเทศไทย ส่วนมากจะต้องเชื่อมต่อหรือปรับปรุงเพื่อเข้ากับระบบไฟฟ้าเดิม มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบในประเทศได้แก่ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 ส่วนมาตรฐานในต่างประเทศ ได้แก่ National Electric Code (NEC) มาตรฐานที่กล่าวถึงงานออกแบบไฟฟ้าทั่วไป

นอกจากต้องออกแบบให้ถูกต้องตามมาตรฐานแล้ว ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความสะดวกในการบำรุงรักษาหรือเรื่องความคล่องตัวขณะใช้งานและความสามารถในการต่อขยายได้ในอนาคต ดังนั้นการออกแบบตามมาตรฐานข้างต้นนั้นจึงเป็น เกณฑ์ขั้นต่ำที่สุดที่ใช้ในการออกแบบเท่านั้น เพราะการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับศูนย์สารสนเทศจะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของระบบ,การบำรุงรักษา, ความปลอดภัย, ความคล่องตัวและความสามารถในการต่อขยายได้ และคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าสูงสุด อุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องคอมพิวเตอร์จะแบ่ง Load ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- โหลดไฟฟ้าปกติ (Normal Load) ได้แก่ แสงสว่างทั่วไปในศูนย์คอมพิวเตอร์, เต้ารับไฟฟ้าบางส่วน เป็นต้น
- โหลดไฟฟ้าฉุกเฉิน (Emergency Load) ได้แก่ ระบบปรับอากาศควบคุมความชื้น, ระบบยูพีเอส,ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ, ระบบแจ้งเพลิงความไวสูง, ระบบ Access control, ระบบตรวจจับน้ำรั่วซึมใต้พื้น, ระบบ Tele alarm เป็นต้น
- โหลดไฟฟ้าของ UPS (UPS Load) ได้แก่ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครือข่ายต่างๆ เป็นต้น

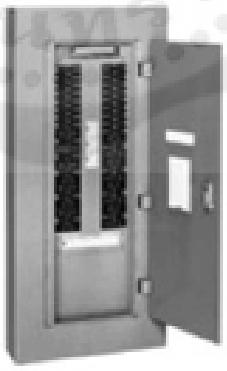
2.4.1 หน่วยจำหน่ายกำลังไฟฟ้า

2.4.1.1 โหลดเซ็นเตอร์ทั่วไป

โหลดเซ็นเตอร์ (Load Center) ส่วนใหญ่เป็นกล่องเหล็ก ลักษณะการทำงานคล้ายกับ Consumer Unit แตกต่างกันที่มีหลายแถว และใช้กับพื้นที่มากกว่า 1 พื้นที่ขึ้นไป เหมาะสำหรับควบคุมระบบไฟฟ้าในอาคารขนาดกลางและใหญ่ หรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ไฟ 3 เฟส 4 สาย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- Main Lugs

จะมี LUG ต่อสายซึ่งใช้ต่อกับสายเมนทั้ง 3 เฟส และ Terminal สำหรับต่อสายนิวทรัลโดยไม่มีตัวควบคุมหลักหรือเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์(Main Circuit Breaker) การจ่ายกระแสของโหลดเซ็นเตอร์ ชนิดนี้ จะจ่ายผ่าน บัสบาร์ (Busbar) ไปยังเซอร์กิตเบรกเกอร์วงจรย่อย (Branch Circuit Breaker) ซึ่งมีทั้งแบบ 1 ขั้ว และแบบ 3 ขั้ว ซึ่งจะมีจำนวนวงจรย่อย มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนกระแสของบัสบาร์เช่น 100A , 225A เป็นต้น การเลือกใช้งานให้พิจารณาจากจำนวนวงจรย่อย ที่ต้องการ ได้แก่ 12,18,24,30,36 และ 42 วงจรย่อย (1 วงจรย่อย สามารถ ใส่เบรกเกอร์ย่อยชนิด 1 ขั้ว ได้ 1 ตัว) โดยกระแสใช้งาน ทั้งหมดไม่ควรเกิน 80% ของพิกัด โหลดเซ็นเตอร์ เช่น เลือกพิกัดบัสบาร์ 100 A กระแสใช้งานโดยรวมไม่ควรเกิน 80 A แต่เนื่องจากโหลดเซ็นเตอร์ ชนิดนี้ไม่มีตัวควบคุมหลัก การใช้งานจึงมักใช้ควบคู่กับ Safety- switch หรือใช้ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุม หลักอย่างใดอย่างหนึ่งเสมอ



รูปที่ 2.6 ตู้จำหน่าย ชนิด Main Lugs

ที่มา : Schneider Electric - North American Operating Division

- Main Circuit breaker

คล้ายกับแบบ Main lugs แต่จะมีเซอร์กิตเบรกเกอร์เมน (Main Circuit Breaker) แบบ 3 ขั้ว ชนิด MCCB (Molded Case Circuit Breaker) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลักในการจ่ายกระแสผ่านบัสบาร์ ไปยัง MCB (miniature circuit breaker) โดยพิกัดการทนกระแสสูงสุด ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เมน ต้องไม่เกินพิกัดการทนกระแสของ Busbar เช่น รุ่นที่มีพิกัด Busbar 100A สามารถเลือกเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ (ได้ตั้งแต่ 15, 20, 30,40,50,60,70,80,90 และ 100A เป็นต้น การเลือกใช้งานนอกจากจะพิจารณาจำนวนวงจรย่อย ซึ่งเหมือนกับ แบบ Main lugs แล้ว ต้องเลือกขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์เมนให้เหมาะสมด้วย

รูปที่ 2.7 ตู้จำหน่าย ชนิด Main Circuit breaker

ที่มา : Schneider Electric - North American Operating Division

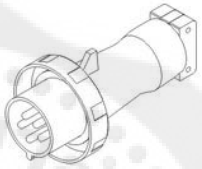
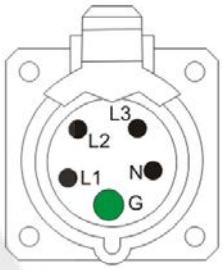
- PDU (Power Distribution Unit)

ต้องใช้ ที่ติดตั้งในแนวนอนสำหรับระบบ 9119-MHE และ 9119-MME PDUs ที่ติดตั้งในแนวตั้งจะใช้และจำกัดการเข้าถึงพื้นที่การเดินสายเคเบิลที่ด้านข้าง ของชั้นวางและไม่สามารถใช้ได้

- เต้ารับไฟฟ้า

เต้ารับไฟฟ้าควรออกแบบให้ 1 เต้ารับ ต่อโดยตรงกับ Circuit Breaker 1 ตัว เต้ารับไฟฟ้าในศูนย์สารสนเทศต้องเป็นแบบมีขา Ground เสมอ อาจเลือกแบบที่สามารถ Lock เต้ารับตัวผู้กับตัวเมียได้ เพื่อป้องกันสายหลุดโดยอุบัติเหตุ กรณีที่เป็นเครื่อง Server หรืออุปกรณ์ขนาดใหญ่อาจจะต้องใช้ปลั๊กไฟฟ้าชนิดพิเศษ หรือที่เรียกกันว่า Power Plug เข้า มาใช้งานรวมด้วย ซึ่งเต้ารับไฟฟ้าจำพวกนี้จะรองรับกระแสสูงได้ การกำหนดสีของเต้ารับเป็นสิ่งที่แนะนำใช้ในศูนย์สารสนเทศ เพราะผู้ใช้งานจะทราบว่าเต้ารับที่ต่อใช้งานเป็นเต้ารับธรรมดาหรือเต้ารับที่ผ่านระบบยูพีเอส โดยมากจะกำหนดให้สีแดงเป็นเต้ารับผ่านยูพีเอส ส่วนสีครีมหรือสีขาวจะเป็นเต้ารับธรรมดา

ตารางที่ 2.2 Power Plug สำหรับโหลดสำคัญ

คำอธิบาย	ปลั๊กที่ IBM จัดเตรียมให้	ตัวเชื่อมต่อตัวเมียที่ตรงกัน (บนสาย)	เต้าเสียบตัวเมียบนผนังที่ตรงกัน (บนผนัง)
สายไฟ, PDU ไปยังผนัง, 35.5ซม. (14 นิ้ว), 3 PH, 32 A, UTG 0247, IEC 309 3P+N+G	ปลั๊กชนิด 532P6W	ตัวเชื่อมต่อชนิด 532C6W 	เต้าเสียบชนิด 532R6W 

- ระบบจ่ายไฟฟ้า

ระบบจ่ายไฟฟ้าต้องมีความยืดหยุ่นพอเพียงที่จะขยายรองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ไฟฟ้าได้โดยสะดวกทั้งเพิ่มและลดการใช้ไฟฟ้าใน rack ตู้ หรือต็บริภัณฑ์ IT ใด ๆ ในขอบเขตที่ได้ออกแบบไว้โดบเมื่อกำหนดให้ N คือเกณฑ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสำหรับบริภัณฑ์ IT ที่คำนวนออกแบบไว้ โดยเผื่อตัวคูณตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวคูณสำหรับส่วนย่อยต่างๆ ของระบบการกระจายไฟฟ้า

ส่วนย่อยต่างๆของระบบกระจายไฟฟ้า	ตัวคูณ (N = เกณฑ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสำหรับบริภัณฑ์ IT ที่คำนวณออกแบบไว้)
ยูพีเอส	N x 1.25
แผงกระจายไฟฟ้า (PDU)	N x (1.5 ถึง 2.0)
แผงวงจรย่อย (RPP)	N x (2.0 ถึง 3.0)
แถวเต้ารับ (POU)	Nc x 1.25 (Nc = โหลด IT สูงสุดต่อตู้หรือ Rack)

- การกระจายไฟฟ้า

- แผงวงจรย่อย (Remote Power Panel – RPP) ตำแหน่งติดตั้งแผงวงจรย่อยจะต้องสอดคล้องสัมพันธ์กับบริเวณที่ติดตั้งบริภัณฑ์ IT โดยติดตั้งที่บริเวณปลายแถวด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านของตู้บริภัณฑ์ IT

- แผงกระจายไฟฟ้า (PDU) ตำแหน่งติดตั้งแผงกระจายไฟฟ้า ควรอยู่นอกห้องคอมพิวเตอร์และอยู่ในพื้นที่ที่สามารถเข้าไปปฏิบัติการดูแลซ่อมบำรุงดีโดยสะดวก อีกทั้งควรอยู่ใกล้ชิดติดกับห้องคอมพิวเตอร์มากที่สุดเท่าที่จะสามารถจ่ายไฟฟ้าไปยังแผงวงจรย่อย ได้โดยสะดวกด้วย

2.4.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ในห้องทำงานที่มีจอคอมพิวเตอร์นั้น การออกแบบระบบแสงสว่างโดยพิจารณาระดับความสว่างอย่างเดียวจะไม่เพียงพอ เพราะหากออกแบบแสงสว่างไม่ดีอาจเกิดแสงบาดตา (Glare) ซึ่งจะมีผลไปลดสมรรถภาพในการทำงาน ทำให้กล้ามเนื้อตาล้าได้ง่าย อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานป้อนข้อมูลผิดพลาด การออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างต้องมีการจัดวางตำแหน่งโคมให้ดี ซึ่งมีประกอบในการพิจารณาหลักๆ ดังนี้

- แสงบาดตา(Glare) ทั้ง Direct glare และ Indirect glare
- มุมวิกฤต(Critical Angle)
- ตำแหน่งจอคอมพิวเตอร์
- ตำแหน่งโคมไฟและชนิดของโคมไฟ

ความส่องสว่างทั่วไปในศูนย์คอมพิวเตอร์หรือห้องควบคุมตามมาตรฐานของการกำหนดกำลังส่องสว่าง ภายในห้อง มาตรฐานของ IES กำหนดให้กำลังส่องสว่างไม่น้อยกว่า 500 Lux (lumen / m2) โดยวัดที่บริเวณพื้นที่ใช้งานจริงในทุกๆจุด โดยการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง

2.4.3 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้า จากขดลวดชุดหนึ่งไปยังขดลวดอีกชุดหนึ่ง โดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน โดยจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่งการจ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงจึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่สำคัญชนิดหนึ่ง การเกิดเหตุขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายของหม้อแปลง มักมีผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้า หรือ กระบวนการผลิตอย่างมาก เป็นเวลานาน ดังนั้นหม้อแปลงนอกจากจะต้องออกแบบผลิต ติดตั้งอย่างถูกต้องและ

มีคุณภาพแล้วการใช้งานและการดูแลรักษาก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะหลีกเลี่ยงการขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายดังกล่าวได้

2.4.3.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ แกนเหล็ก ขดลวดตัวนำ และฉนวน อาจจะมีส่วนประกอบย่อยอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดของหม้อแปลง เช่น หม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีถังบรรจุหม้อแปลง น้ำมันหม้อแปลง ครีบระบายความร้อน ขั้วแรงดันด้านสูง ขั้วแรงดันด้านต่ำ และอื่นๆเป็นต้น

- แกนหลัก (Core) มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กบางๆ เคลือบด้วยฉนวนนำมาอัดซ้อนกันเป็นรูปแกนของหม้อแปลง ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก แกนเหล็กที่ดีต้องเป็นเหล็กอ่อนมีส่วนผสมของสารซิลิกอน มีความซึมซับได้ (Permeability) สูง การสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอริซีส (Hyteresisloss) ต่ำมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ใช้ในการเหนี่ยวนำสูงถึง 1.35 – 1.55 เวเบอร์ต่อตารางเมตร เป็นเหล็กประเภทเกรนโอเรียนเตด (Gain oriented steel) ฉนวนที่นำมาฉาบแผ่นเหล็กทั้งสองด้านมีค่าความเป็นฉนวนตามผิวสูง เพื่อป้องกันการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวน (Eddy Current) ซึ่งจะเป็นสารจำพวกวานิช (Vanish)

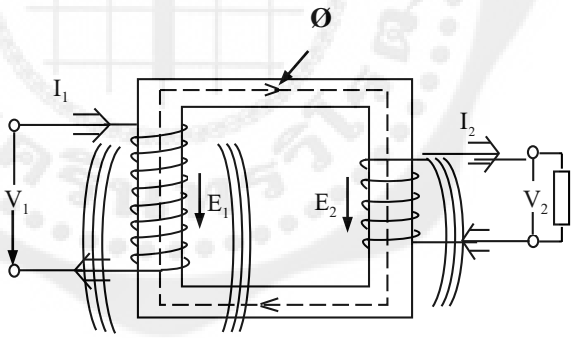
- ขดลวด (Winding) ขดลวดที่ใช้พันหม้อแปลงมีลักษณะเป็นขดลวดทองแดง หรือขดลวดอลูมิเนียมที่หุ้มหรือเคลือบด้วยฉนวน อาจจะเป็นได้ทั้งลวดแบนที่มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือลวดกลมก็ได้ หม้อแปลงไฟฟ้ามีขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) โดยขดลวดปฐมภูมิจะเป็นชุดที่รับไฟเข้า ส่วนขดลวดทุติยภูมิเป็นชุดที่จ่ายไฟออกไปใช้งาน

- ฉนวน (Insulation) ฉนวนมีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดสัมผัสกับส่วนที่เป็นแกนเหล็ก และป้องกันไม่ให้ขดลวดแต่ละชั้นสัมผัสกันได้ (Short turn) สำหรับลวดตัวนำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.2 – 1.3 มิลลิเมตร หากต้องการให้ฉนวนมีคุณภาพดีและทนความร้อนได้มากจะต้องเคลือบด้วยไวนิเฟลกซ์ (Viniflex) หรือพันทับด้วยไหมแคปรอน (Caprone) เทเรไลน์ (Teleline)หรือฝ้าย และถ้าลวดตัวนำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1.3 – 4.1 มิลลิเมตร จะพันด้วยกระดาษเคเบิล (Cable paper) หลายชั้น ส่วนตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม จะพันทับด้วยฉนวนไฟเบอร์กลาส (Fiberglass)

2.4.3.2 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดปฐมภูมิ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่ขดปฐมภูมิ มีลักษณะของการพองตัวและยุบตัวของสนามแม่เหล็กตามการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นไซน์ทั้งซีกบวกและซีกลบเป็นเช่นนี้ตลอดไป และสนามแม่เหล็กที่พองตัวและยุบตัวนี้ จะตัดกับขดลวดปฐมภูมิทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดปฐมภูมิซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมินั้น และเรียกแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ว่า แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back -E.M.F) ส่วนกระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิขณะไม่มีโหลดเรียกว่า กระแสกระตุ้น (Excited current) เนื่องจากขดลวดทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเหล็กเดียวกันกับขดลวดปฐมภูมิ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดปฐมภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจะตัดกับขดลวดทุติยภูมิ ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดทุติยภูมิ ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิกับขดลวดปฐมภูมิ และเมื่อต่อโหลดเข้ากับทางด้านทุติยภูมิจะทำให้มีกระแสไหล เพราะว่าหม้อแปลงเป็นอินดักทีฟ

กระแสไฟฟ้าที่ขดทุติยภูมิจะล้าหลังแรงดันไฟฟ้าของขดทุติยภูมิ 90 องศา เมื่อแรงดันที่ขดทุติยภูมิล้าหลังกระแสที่ขดปฐมภูมิอยู่ 90 องศา กระแสที่ขดทุติยภูมิจะต่างเฟสกับกระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิ 180 องศา



รูปที่ 2.8 การเกิดเส้นแรงแม่เหล็กของหม้อแปลง

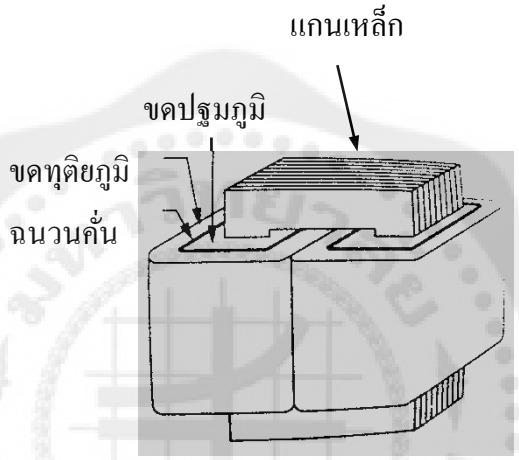
ที่มา : Nakarin Hoonthong (2554)

กระแสของขดทุติยภูมิจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าต้านกลับขึ้นในขดลวดทุติยภูมิ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับนี้จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าต้านกลับของขดปฐมภูมิ และทำให้แรงดันไฟฟ้าต้านกลับของขดทุติยภูมิอ่อนกำลังลง และทำให้กระแสที่ไหลในขดปฐมภูมิมากกว่ากระแสขณะไม่มีโหลด ในขณะที่กระแสขดทุติยภูมิเพิ่มขึ้นกระแสในขดปฐมภูมิก็จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนกัน

2.4.3.3 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ชนิดของหม้อแปลงสามารถจำแนกตามลักษณะของแกนเหล็กดังนี้

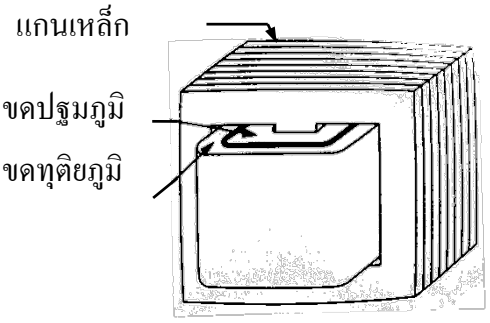
- แกนเหล็กแบบคอร์ (Core Type) เป็นแกนเหล็กแผ่นบางๆ มีลักษณะเป็นรูปตัว L สองตัวประกบเข้าหากัน หรือเป็นรูปตัว U กับตัว I นำมาประกอบเข้าด้วยกัน มีวงจรแม่เหล็กเป็นแบบวงจรเดี่ยวหรือวงจรอนุกรม ซึ่งมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเหล็กทั้งสองด้านแยกกันอยู่คนละข้าง



รูปที่ 2.9 แกนเหล็กแบบคอร์

ที่มา : Nakarin Hoonthong (2554)

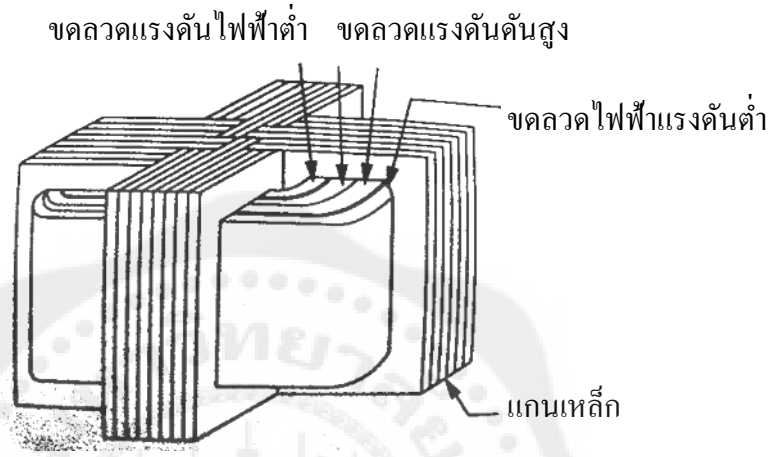
- แกนเหล็กแบบเชลล์ (Shell Type) แกนเหล็กแบบนี้มีลักษณะเป็นรูปตัว E กับ I เมื่อประกอบเข้าด้วยกันจะมีวงจรแม่เหล็ก 2 วง หรือ วงจรแม่เหล็กแบบขนาน ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิจะพันอยู่ที่ขากลางของแกนเหล็ก



รูปที่ 2.10 แกนเหล็กแบบเชลล์

ที่มา : Nakarin Hoonthong (2554)

- แกนเหล็กแบบตัว H หรือแบบกระจาย เป็นการรวมกันระหว่างแกนเหล็กแบบคอร์กับแบบเซลล์หรือรวมตัว L เข้ากับตัว EI มีวงจรแม่เหล็กล้อมรอบขดลวดหม้อแปลง ขดลวดแรงดันสูงจะพันไว้ระหว่างขดลวดแรงดันต่ำทั้งสองชุด และระหว่างขดลวดแต่ละชุดจะกั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า การพันขดลวดหม้อแปลงแบบนี้จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลน้อยที่สุด



รูปที่ 2.11 แกนเหล็กแบบตัว H
ที่มา : Nakarin Hoonthong (2554)

นอกจากนี้หม้อแปลงยังสามารถจำแนกชนิดตามจำนวนรอบของขดลวดได้ดังนี้

- หม้อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่ม (Step-Up) ขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบมากกว่าขดลวดปฐมภูมิ

- หม้อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าลง (Step-Down) ขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบน้อยกว่าปฐมภูมิ

- หม้อแปลงที่มีแทปแยก (Tap) ทำให้มีขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้หลายระดับ

- หม้อแปลงที่ใช้สำหรับแยกวงจรไฟฟ้าออกจากกัน (Isolating) ขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบเท่ากันกับขดลวดปฐมภูมิหรือมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากันทั้งสองด้าน

2.4.4 สายไฟ (Cable Power)

2.4.4.1 สายไฟฟ้าในศูนย์สารสนเทศ

การเลือกใช้สายไฟฟ้าที่เหมาะสม มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพเสถียรภาพและความปลอดภัยในการใช้งานปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสายไฟฟ้า ได้แก่ ประเภทการใช้งาน, พิกัดแรงดันและกระแส, แรงดันตกคร่อม, ลักษณะการติดตั้ง รวมถึงสภาวะแวดล้อมของการติดตั้ง โดยเฉพาะกรณีของแรงดันตกคร่อมมักจะต้องมาคิดคำนวณแรงดันตกคร่อมกรณีต้องเดิน

สายไฟฟ้าที่มีระยะทางไกล หรือเป็นสายไฟฟ้าสำหรับแรงดันกระแสตรง -48V ที่จะมีกระแสใช้งานสูง อาจจะต้องเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัด หรือเพิ่มจำนวนสายเพื่อลดค่าความต้านทานสายไฟฟ้า สำหรับเมนไฟฟ้าอาจจะใช้เป็นสายชนิด CV เพื่อลดขนาดพื้นที่หน้าตัดแทนที่จะใช้สายแบบ THW หรือ NYY (เป็นสายที่มีฉนวน 2 ชั้น) สายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยภายในศูนย์สารสนเทศแนะนำให้ใช้สายแบบ VCT เนื่องจากสายของวงจรย่อยของแต่ละวงจรจะรวมกันอยู่ภายในสายไฟฟ้าเส้นเดียวกัน ทำให้ติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย นอกจากนี้ยังป้องกันการบาดหรือการถลอกได้ดีกว่าสาย THW

2.4.4.2. ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวนำและฉนวน

- ตัวนำ ตัวนำของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนาไฟฟ้าสูง อาจเป็นตัวนำเดี่ยวหรือตัวนำตีเกลียวได้แก่ ทองแดง และอะลูมิเนียม ซึ่งมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

- ทองแดง ข้อดี มีความนำไฟฟ้าสูงมาก แข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ข้อเสียน้ำหนักมาก ราคาแพง จึงไม่เหมาะกับงานแรงดันสูง

- อะลูมิเนียม ข้อดี อะลูมิเนียมจะเบาและราคาถูก จึงเหมาะกับงานภายนอกอาคารและงานแรงดันสูง ข้อเสีย อะลูมิเนียมถ้าทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์เป็นฉนวนทำให้เชื่อมต่อได้ยาก

- ฉนวน ทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างตัวนำหรือตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน ในระหว่างที่ตัวนำ นำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสียในรูปความร้อน ซึ่งจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อนของฉนวน จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทนความร้อนของสายไฟฟ้านั่นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวน จะขึ้นกับอุณหภูมิใช้งาน แรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนมากที่สุดในขณะนี้คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross Linked -Polyethylene (XLPE)

2.4.4.3 ประเภทของสายไฟฟ้า

2.4.4.3.1 สายไฟฟ้าแรงดันสูง เป็นตัวนำตีเกลียวมีขนาดใหญ่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- สายเปลือย สายชนิดนี้นิยมใช้กับแรงดันสูงและมักทำจากสายอะลูมิเนียมเพราะน้ำหนักเบา และราคาถูก แต่สายอะลูมิเนียมล้วนสามารถรับแรงดึงได้ต่ำ จึงได้พัฒนาให้สามารถรับแรงดึงให้สูงขึ้น โดยเสริมแกนเหล็กหรือวัสดุอื่น สายเปลือยที่นิยมใช้ปัจจุบันได้แก่

- สายอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC - All Aluminum Conductor) เป็นตัวนำอะลูมิเนียมล้วนตีเกลียวเป็นชั้นๆ รับแรงดึงได้ต่ำ จึงไม่สามารถขึงสายให้มีระยะห่างมาก ๆได้ ปกติความยาวช่วงเสาต้องไม่เกิน 50 เมตร ยกเว้นสายที่มีขนาด 95 mm^2 ขึ้นไปสามารถมีระยะช่วงเสามากถึง 100 เมตร

- สายอะลูมิเนียมผสม (AAAC - All Aluminum Alloy Conductor) สายชนิดนี้มีส่วนผสมของอลูมิเนียม แมกนีเซียมและซิลิกอน ซึ่งมีความเหนียวและรับแรงดึงได้สูงกว่าสายอะลูมิเนียมล้วน จึงสามารถขึงสายได้ห่างมากขึ้น นิยมใช้บริเวณชายทะเลเพราะสามารถทนการกัดกร่อนของไอเกลือได้ดี

รูปที่ 2.12 สายอะลูมิเนียมผสม (AAAC - All Aluminum Alloy Conductor)
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- สายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR - Aluminum Conductor Steel - Reinforced) เป็นสายอะลูมิเนียมตีเกลียวและมีสายเหล็กอยู่ตรงกลางเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้นทาให้ขยายระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น แต่จะไม่ใช้สายชนิดนี้บริเวณชายทะเล เพราะจะเกิดการกัดกร่อนจากไอเกลือ

รูปที่ 2.13 สายอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR - Aluminum Conductor Steel Reinforced
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- สายหุ้มฉนวน ในการเดินสายไฟฟ้าแรงดันสูงผ่านบริเวณที่มีผู้คนอาศัย เพื่อความปลอดภัยจะต้องใช้สายไฟฟ้าแรงดันสูงที่หุ้มฉนวนและที่สำคัญเป็นการช่วยลดการลัดวงจรจากสัตว์และจากกิ่งไม้ที่จะสัมผัสกับสายไฟฟ้าอีกด้วย ทำให้ระบบไฟฟ้ามีความเชื่อถือสูงขึ้น สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มสามารถแบ่งได้ดังนี้

- สาย Partial Insulated Cable (PIC) โครงสร้างประกอบด้วยตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวอัดแน่น หุ้มด้วยฉนวน XLPE (Cross-linked Polyethylene) หรือ PE (Polyethylene) แล้วแต่ความเหมาะสม 1 ชั้น ปัจจุบันนิยมใช้ฉนวน XLPE ถึงแม้มีฉนวนหุ้ม ก็ไม่สามารถแตะต้องสายได้ เพราะฉนวนบางมาก ซึ่งจะช่วยลดการเกิดลัดวงจร ของสายเปลือยเท่านั้น ใช้เดินในอากาศผ่านลูกถ้วยแทนสายเปลือย

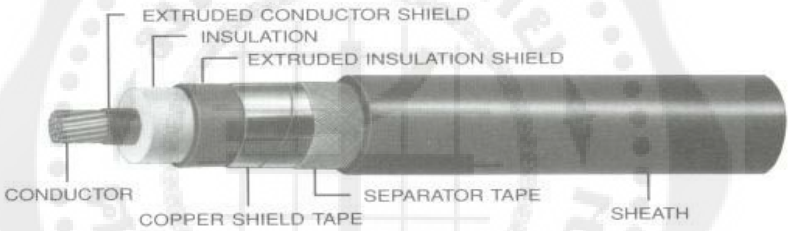
- สาย Space Aerial Cable (SAC) โครงสร้างประกอบด้วยตัวนำอะลูมิเนียมตีเกลียวหุ้มด้วยฉนวน XLPE เช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือก (Sheath) ที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง แต่ไม่มี ชีลด์ จึงไม่สามารถกั้นสนามไฟฟ้าที่ออกจากตัวนำได้ และถึงแม้จะมีเปลือกหุ้ม ก็ไม่ควรสัมผัสสายโดยตรง เพราะมีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงในการใช้งานจำเป็นต้องติดตั้งบนฉนวนไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง และต้องใช้ฉนวนที่เรียกว่า Spacer ที่เหมาะสมกับแรงดันเป็นตัวรองรับ และเพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างสาย แม้ว่าจะสามารถวางไว้ใกล้กันได้มากกว่าสาย PIC แต่ต้องไม่เกินค่าจำกัดค่าหนึ่งและต้องใช้ Messenger Wire เป็นตัวรับน้ำหนักและช่วยดึงสายไว้ Messenger Wire จะต่อลงดินทำหน้าที่เป็นสาย Overhead Ground Wire ด้วยนิยมใช้ในงานระบบไฟฟ้าแรงสูง เป็นสายที่ต่อจาก การไฟฟ้าเพื่อนำเข้าระบบไฟฟ้าไปจ่ายในโรงงานหรือ อาคาร

รูปที่ 2.14 สาย Space Aerial Cable (SAC)
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- สาย Preassembly Aerial Cable สายชนิดนี้จัดเป็นสาย fully insulated มีโครงสร้างคล้ายสาย XLPE และสามารถวางใกล้กันได้ จึงใช้สายชนิดนี้ในบริเวณที่มี ระยะห่างจากตัวอาคารจำกัดหรือผ่านบริเวณที่มีคนอาศัยอยู่

รูปที่ 2.15 สาย Preassembly Aerial Cable
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE) สายชนิดนี้จัดเป็นสาย fully insulated มักใช้งานเดินลอย เนื่องจากทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ สายชนิดนี้สามารถเดินลอย ในอากาศหรือฝังดินก็ได้ แต่นิยมฝังใต้ดิน เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทานสามารถทนต่อความชื้นได้ดี นิยมใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูง เป็นสายที่ต่อออกจาก ดร๊อปฟิวส์เพื่อที่จะนำไฟฟ้าแรงสูงไปเข้าที่สวิทซ์เกียร์ หรือ ที่หัวหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

2.4.4.3.2 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันไม่เกิน 750 V เป็นสายหุ้มฉนวน ทำด้วยทองแดงหรืออะลูมิเนียม โดยทั่วไปเป็นสายทองแดงสายขนาดเล็กจะเป็นตัวนำเดี่ยว แต่สายขนาดใหญ่เป็นตัวนำตีเกลียว วัสดุฉนวนที่ใช้กับสายแรงดันต่ำคือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross-linked Polyethylene (XLPE) สามารถแบ่งได้ดังนี้

- วีเอเอฟ (VAF) สามารถทนแรงดันได้ 300 V มีทั้งชนิดที่เป็นสายเดี่ยว สายคู่ และที่มีสายดินอยู่ด้วย ถ้าเป็นสายเดี่ยว จะเป็นสายกลม และถ้าเป็นชนิด 2 แกน หรือ 3 แกน จะเป็นสายแบน ตัวนำนอกจาก จะมีฉนวนหุ้ม แล้วยังมีเปลือกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง สายคู่จะนิยมรัดด้วยเข็มขัดรัดสาย (Clip) ใช้ในบ้านอยู่อาศัยทั่วไป สายชนิดนี้ห้ามใช้ในวงจร 3 เฟส ที่มีแรงดัน 380 V

รูปที่ 2.17 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบวีเอเอฟ (VAF)

ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- ทีเอชดับเบิลยู (THW) สายไฟฟ้าชนิดนี้ทนแรงดัน 750 V เป็นสายเดี่ยว นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้ในวงจรไฟฟ้า 3 เฟส ได้ ปกติจะเดินร้อยในท่อร้อยสาย

- การใช้งาน

- เดินลอย ต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน (insulator)
- เดินในช่องเดินสาย ในสถานที่แห้ง
- ห้ามเดินฝังดินโดยตรง

รูปที่ 2.18 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบทีเอชดับเบิลยู (THW)

ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- เอ็นวายวาย (NYY) มีทั้งชนิดแกนเดียว และหลายแกน สายหลายแกน ก็จะเป็นสายชนิดกลมสายชนิดนี้ทนแรงดันที่ 750 V นิยมใช้อย่างกว้างขวางเช่นกัน เนื่องจากว่ามี ความทนต่อสภาพแวดล้อม เพราะมีเปลือกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง บางทีเรียกว่าเป็นสายฉนวน 3 ชั้น ความ จริงแล้ว สายชนิดนี้มีฉนวนชั้นเดียว อีกสองชั้นที่เหลือเป็นเปลือก เปลือกชั้นในทาหน้าที่เป็นแบบ (Form) ให้สายแต่ละแกนที่ตีเกลียวเข้าด้วยกัน มีลักษณะกลม แล้วจึงมีเปลือกนอกหุ้ม อีกชั้นหนึ่ง ป้องกันความเสียหายทางกายภาพ

รูปที่ 2.19 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบเอ็นวายวาย (NYY)

ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- การใช้งาน ใช้งานทั่วไป เดินร้อยท่อฝังดิน หรือเดินฝังโดยตรงชนิดของสาย NYY แบ่งตามลักษณะของสายโดยแบ่งออกได้ดังนี้

- NYY ชนิดสายเดี่ยว สายชนิดนี้เป็นสายที่มีเปลือกเพียงชั้นเดียว ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายทางกายภาพ ไม่ต้องมีเปลือกชั้นใน

- NYY ชนิด 2 แกน 3 แกน และ 4 แกน ซึ่งแล้วแต่ความต้องการของการใช้งาน สายชนิดนี้จะมีเปลือกสองชั้นดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

- NYY ชนิด 4 แกน มี สายนิวทรัล รวมอยู่ด้วย เรียกว่าเป็นสาย NYY N คือมีสายไฟอยู่ 3 เส้น และมี สายนิวทรัล อีกหนึ่งเส้น มีขนาดพื้นที่หน้าตัดประมาณครึ่งหนึ่งของสายไฟ จึงเหมาะที่จะใช้ในวงจร 3 phase 4 สาย

- NYY ชนิด NYY - GRD คือเป็นสายชนิด 2 แกน 3 แกน และ 4 แกน ที่มีสายดิน (Ground) รวมอยู่ด้วยอีกเสนหนึ่งเส้น จึงเหมาะที่จะใช้ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

- วีซีที (VCT) เป็นสายกลมมี ทั้งชนิดหนึ่งแกน 2 แกน 3 แกนและ 4 แกนทนแรงดัน 750 V มีฉนวนและเปลือกเช่นกัน มีข้อพิเศษกว่าก็คือ ตัวนำจะประกอบไปด้วยทองแดงฝอยเส้นเล็ก ๆ ทาให้มีข้อดีคือ อ่อนตัวและ ทนต่อสภาพการสั่นสะเทือนได้ดี เหมาะที่จะใช้เป็น สายเดินเข้าเครื่องจักร ที่มีการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน สายชนิดนี้ ใช้งานได้ทั่วไปเหมือนสายชนิด NYY สาย VCT มีหลายแบบตามรูปทรงโดยแบ่งได้ทั้งแบบ VCT - GRD ซึ่งมี 2 แกน 3 แกน และ 4 แกน และมีสายดินเดินร่วมไปด้วยอีกเส้นหนึ่ง เพื่อให้เหมาะสาหรับใช้เครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องต่อลงดิน

รูปที่ 2.20 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบบวีซีที (VCT)
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

2.4.4.3.3 สายควบ สายควบคือการใช้สายตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไปเพื่อร่วมกันจ่ายโหลดในวงจรเดียวกัน โดยเฉพาะในวงจรที่มี การใช้ไฟฟ้าปริมาณมากๆ ซึ่งพิกัดกระแสของสายเส้นเดียวอาจไม่พอที่จะรองรับกระแสทั้งหมดในวงจรได้ จึง ต้องใช้สายหลายเส้นต่อขนานกัน โดยปลายทั้ง 2 ด้าน ของเฟสเดียวกันต้องต่อเข้าด้วยกัน

- ข้อกำหนดในการใช้สายควบมีดังนี้คือ
  - ใช้กับตัวนาที่มีขนาดตั้งแต่ 50 mm ขึ้นไป
  - ต้องเป็นสายชนิดเดียวกันเช่น THW เหมือนกันทุกเส้น
  - ต้องมีความยาวเท่ากัน
  - ต้องมีลักษณะการเดินสายเหมือนกัน

สายควบมักใช้ในกรณีที่เป็นสายเมนเช่น เดินจากหม้อแปลงไฟฟ้ามายังตู้สวิทซ์บอร์ด สำหรับ ระบบไฟฟ้าแรงสูงการใช้สายควบมักจะมีอุปกรณ์คั่นสาย (bundle spacer) ติดตั้งเป็นระยะเพื่อป้องกันสายพันกัน จำนวนสายควบอาจใช้ 2, 3 หรือ 4 เส้น ก็ได้

2.4.5 วงจรย่อย

วงจรย่อย คือ ส่วนของวงจรไฟฟ้า ที่ต่อมาจากบริภัณฑ์ป้องกันตัวสุดท้ายกับจุดต่อโหลด โดยที่บริภัณฑ์ป้องกันนี้มีหน้าที่ป้องกันสายวงจรเท่านั้น วงจรย่อยอาจแบ่งตามลักษณะการจ่ายโหลดได้คือ

- วงจรย่อยแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Lighting or Appliance Branch Circuit)
- วงจรย่อยมอเตอร์(Motor Branch Circuit)

สำหรับในนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะวงจรย่อยแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้าเท่านั้น วงจรย่อยแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Lighting or Appliance Branch Circuit) แบ่งได้ 4 แบบ

- วงจรย่อยแสงสว่าง (Lighting Branch Circuit)
- วงจรเต้ารับ (Receptacle Branch Circuit)
- วงจรย่อยแสงสว่างและเต้ารับ (Lighting and Receptacle Branch Circuit)
- วงจรย่อยเฉพาะ (Individual Branch Circuit)

2.4.5.1 การคำนวณโหลดวงจรย่อย

วงจรย่อยต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าผลรวมของโหลดที่มีอยู่ทั้งหมด ดังนั้น

$$L_{BC} = \Sigma L$$

โดยที่ L_{BC} = โหลดวงจรย่อย (A, VA)

ΣL = ผลรวมโหลด (A, VA)

- ขนาดตัวนำวงจรย่อย ตัวนำของวงจรย่อยต้องมีขนาดกระแสไม่น้อยกว่าโหลดสูงสุดที่คำนวณได้ และต้องไม่น้อยกว่าพิกัดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ขนาดไม่เล็กกว่า 2.5 mm^2 สำหรับวงจรย่อยเต้ารับควรเพิ่มขนาดตัวนำขึ้นไปอีกหนึ่งค่า จากขนาดตัวนำปกติที่เราคำนวณได้เพื่อเป็นการรองรับโหลดที่ไม่ทราบแน่นอน

- การป้องกันกระแสเกิน วงจรย่อยต้องมีการป้องกันกระแสเกิน และขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกินต้องสอดคล้องกับโหลดสูงสุดที่คำนวณได้

- เครื่องป้องกันกระแสเกินที่นิยมใช้ คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์(CB) ซึ่งต้องใช้ตามมาตรฐาน IEC 60898 เหมาะสำหรับใช้กับบ้านอยู่อาศัย และ IEC 60947-2 เหมาะสำหรับใช้ในอาคารพาณิชย์หรือโรงงานอุตสาหกรรม ขนาดพิกัดของ CB ที่นิยมใช้คือ 15 (16) A, 20A, 25A, 30(32) A, 40A, 50A, และ 63A

- ในการออกแบบวงจรย่อยที่ดีนั้นจะต้องไม่ใช้เต็มพิกัดวงจรย่อย โดยจะต้องเผื่อสำหรับโหลดที่ใช้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในการขยายโหลดในอนาคต โดยทั่วไปจะใช้เพียง 60 - 80% ของพิกัดวงจรย่อย

ตารางที่ 2.4 ขนาดตัวนำและเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย

เครื่องป้องกันกระแสเกิน (A)	ขนาดสายตัวนำเดินในท่อโลหะ (mm^2)
15	2.5 (18 A)
20	4 (24 A)
25	6 (31 A)
30	6 (31 A)
40	10 (43 A)
50	16 (56 A)

- การออกแบบวงจรย่อยแสงสว่าง เนื่องจากโหลดไฟฟ้าแบบแสงสว่างถือว่าเป็นโหลดไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง ดังนั้นต้องใช้งานไม่เกิน 80% ของวงจรย่อย (BC) สำหรับการออกแบบที่ดีควรใช้ประมาณ 50 - 70% ของวงจรย่อย ซึ่งเป็นการเผื่อโหลดไว้ประมาณ 10 - 30%

- การออกแบบวงจรย่อยเต้ารับ โหลดเต้ารับทั่วไปที่ไม่ทราบแน่นอนคิดเป็น 180 VA ทั้งแบบ Single, Duplex, และ Triplex แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณอาจใช้ 200 VA ได้

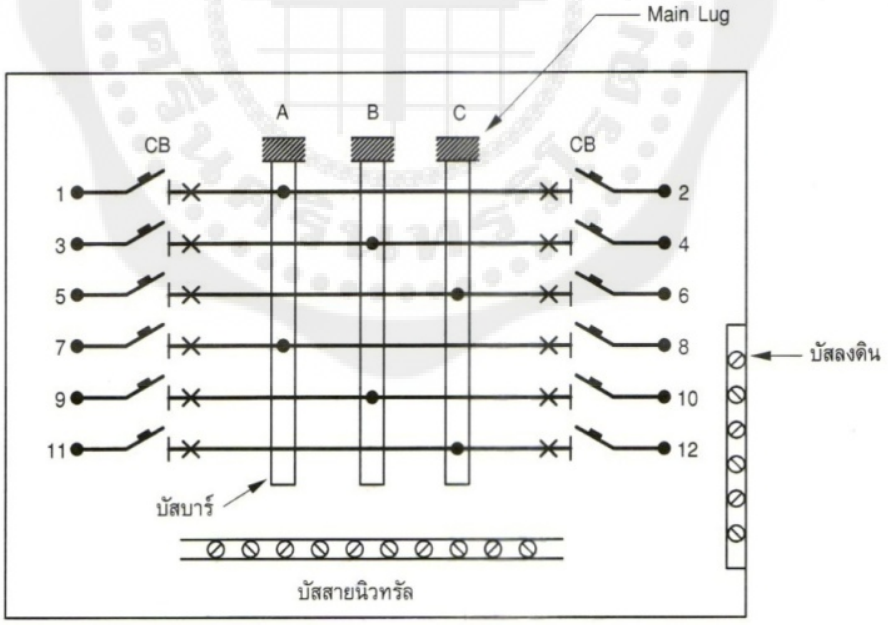
- เต้ารับที่ใช้จะต้องเป็นแบบที่มีขั้วสายดิน และต้องต่อลงดิน

- แผงย่อยกับวงจรย่อย แผงย่อย (Panelboard) เป็นจุดเริ่มต้นของวงจรย่อย โดยจะมีบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกินติดตั้งอยู่ภายในบริภัณฑ์ป้องกันกระแสเกินที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในแผงย่อย คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB)

- ในการเลือกใช้แผงย่อยนั้นเริ่มพิจารณาจากจำนวนวงจรย่อยที่ต้องการใช้ โดยในกรณีไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย จะมีจำนวนวงจรย่อยเป็นมาตรฐานคือ 12, 18, 24, 30, 36, และ 42 วงจร จากนั้นจึงเลือกบัสบาร์ โดยจะต้องเลือกขนาดของบัสบาร์ให้มีขนาดเพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าของวงจรย่อยทุกวงจรรวมกันและให้พิกัดของบัสบาร์ที่ติดตั้งอยู่ภายในแผงย่อยต้องมีค่าไม่น้อยกว่าขนาดพิกัดสายป้อน ที่จะจ่ายไฟมายังแผงย่อยนั้นโดยทั่วไปบัสบาร์จะมีขนาดพิกัด 100 A และ 200 A

- แผงย่อยจะต้องมีการป้องกันกระแสเกินเป็นการเฉพาะทางด้านไฟเข้าโดยใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือฟิวส์ไม่เกิน 2 ชุด และพิกัดรวมต้องไม่เกินพิกัดของแผงย่อยนั้น

- การให้ชื่อของวงจรย่อยในแผงย่อยนั้น จะเรียงตามลำดับเฟส และเลขลำดับวงจรย่อยจากซ้ายไปขวา และจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูป 2.36 จะสังเกตเห็นว่าทางด้านซ้ายมือจะเป็นเลขคี่ ส่วนทางขวามือจะเป็นเลขคู่



รูปที่ 2.21 แผงย่อยขนาด 12 วงจร

ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2545)

หลักการทั่วไปในการเลือกใช้ และการออกแบบแผงย่อยมีดังนี้

- แผงย่อยหนึ่งๆ จะมีวงจรย่อยได้ไม่เกิน 42 วงจรย่อย
- ระยะทางของวงจรย่อยจากแผงย่อย ไปจนถึงจุดจ่ายไฟจุดสุดท้าย ควรยาวไม่เกิน 50 m
- แผงย่อยจะต้องติดตั้งในบริเวณที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย โดยติดตั้งสูงไม่เกิน 1.8 m และไม่มีอะไรมาขวาง สามารถเข้าไปทำงานได้ง่าย
- แผงย่อย ควรจะติดตั้งในบริเวณศูนย์กลางของการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้ายังจุดต่างๆ โดยมีแรงดันตกน้อยที่สุด
- แผงย่อย ควรจะติดตั้งให้อยู่ในแนวของสายป้อน เพื่อให้สายป้อนมีระยะสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และให้มีการโค้งงอน้อยที่สุด
- ค่าพิกัดของแผงย่อยอจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าพิกัดของสายป้อน
- ในแต่ละชั้นของอาคารควรจะมีแผงย่อย อย่างน้อย 1 แผง
- แผงย่อย จะต้องมีบริภัณฑ์ป้องกันหลัก (Main Protection)

จำนวนวงจรย่อยที่มีในแผงย่อยขึ้นอยู่กับขนาดของแผงย่อยสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย 400/230 V หรือ 380/220 V วงจรย่อยที่ใช้ในแผงย่อย แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

- วงจรย่อยใช้งาน (Active Branch Circuit) คือ วงจรย่อยที่จ่ายโหลดจริงๆ จึงมีทั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์และสายวงจรย่อย
- วงจรย่อยสำรอง (Spare Branch Circuit) คือ วงจรย่อยที่คาดว่าจะใช้ในอนาคต จะมีเฉพาะเซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่ไม่มีสายวงจรย่อย
- วงจรย่อยว่าง (Space Branch Circuit) คือ ช่องว่างที่จะใส่เซอร์กิตเบรกเกอร์ในอนาคต

ในการออกแบบนั้นควรใช้วงจรย่อยปริมาณหนึ่งเป็นวงจรใช้งาน ส่วนที่เหลือนั้นใช้งานเป็นวงจรย่อยสำรอง และวงจรย่อยว่าง เพื่อเผื่อโหลดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยทั่วไปจะใช้วงจรย่อยดังต่อไปนี้

Active Branch Circuit	60 – 80%	ของวงจรย่อยในแผงย่อย
Spare Branch Circuit	10 – 20%	ของวงจรย่อยในแผงย่อย
Space Branch Circuit	10 – 20%	ของวงจรย่อยในแผงย่อย

ข้อแนะนำในการออกแบบวงจรย่อย

- การจัดวงจรย่อย เพื่อจ่ายโหลดชนิดต่างๆ นั้น ควรให้วงจรย่อยจ่ายโหลดประเภทต่างๆ แยกกัน เช่นวงจรย่อยจ่ายโหลดแสงสว่าง วงจรย่อยบริภัณฑ์ไฟฟ้าอยู่กับที่ และวงจรย่อยเต้ารับ โดยวงจรย่อยบริภัณฑ์ไฟฟ้าอยู่กับที่ควรจัดเป็นวงจรย่อยเฉพาะ

- การออกแบบที่ดีนั้น ควรจะมีการเผื่อโหลดในอนาคต ดังนั้นสำหรับวงจรย่อยแสงสว่าง และวงจรย่อยเต้ารับทั่วไป เพื่อเป็นการเผื่อโหลด ควรจะใช้โหลดวงจรย่อยไม่เกิน 60% ในกรณีโหลดต่อเนื่อง ซึ่งจะมีการเผื่อโหลดไว้ 20% แต่สำหรับวงจรย่อยเฉพาะอาจมีการเผื่อไว้น้อยกว่านี้ เนื่องจากการต่อโหลดเพิ่มสำหรับวงจรประเภทนี้มีน้อย

- การพิจารณาโหลดต่อเนื่อง หรือไม่ต่อเนื่อง บางครั้งไม่สามารถทราบได้ ดังนั้นเมื่อไม่มีข้อมูลเพียงพอ การออกแบบที่ดีควรถือว่าเป็นโหลดต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นการเผื่อโหลดในอนาคตด้วย

- การไฟฟ้าฯกำหนดให้สายไฟ 2.5 mm^2 เป็นขนาดที่เล็กที่สุด ซึ่งมีพิกัดกระแส 18 A ซึ่งจะใช้ได้กับวงจรย่อยขนาด 5 A, 10 A, 15 A, แต่เพื่อเป็นการจ่ายโหลดให้ได้มากที่สุดและคุ้มค่าควรใช้วงจรย่อยขนาด 15 A

- โหลดเต้ารับทั่วไปคิดเป็น 180 VA เพื่อง่ายต่อการคำนวณ และเป็นการเผื่อโหลดอาจใช้เป็น 200 VA

- ในวงจรย่อยหนึ่งๆ ควรมีจุดต่อไฟที่เหมาะสม เนื่องจากถ้าน้อยเกินไปจะเป็นการไม่ประหยัด แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้ความเชื่อถือได้ลดลง วงจรย่อยหนึ่งควรมีจุดต่อไฟประมาณ 10 จุด

- การจ่ายไฟให้โหลดควรคำนึงถึงขนาดของแรงดันตกที่โหลดด้วย ดังนั้นระยะห่างจากแผงย่อยถึงจุดสุดท้าย ไม่ควรเกิน 50 m เพื่อแรงดันตกไม่เกิน 2% สำหรับระยะไกลกว่านี้ ควรพิจารณาเพิ่มขนาดสายไฟให้ใหญ่ขึ้น

2.4.6 ท่อร้อยสาย

การใช้ท่อในงานไฟฟ้ามีจุดประสงค์เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดกับสายไฟ และให้เหมาะสมกับการเดินสายในแต่ละพื้นที่ ท่อสายอาจจะทำมาจากวัสดุที่เป็นโลหะ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม หรือวัสดุที่เป็นอโลหะเช่น พลาสติก หรือ แอสเบสโตส

2.4.6.1 ชนิดของท่อร้อยสาย ท่อสายที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีดังนี้

- ท่อโลหะบาง (Electrical Metallic Tubing; EMT)
- ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit; IMC)
- ท่อโลหะหนา (Rigid Steel Conduit; RSC)

- ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit)

- ท่อ PVC (Poly Vinyl Chloride)

- ท่อ HDPE (High Density Polyethylene)

- ท่อโลหะบาง (Electrical Metallic Tubing; EMT) ทำด้วยแผ่นเหล็กกล้าชนิดรีดร้อนหรือรีดเย็น หรือแผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี ผิวภายในเคลือบด้วย อีนาเมล ทาให้ผิวท่อเรียบทั้งภายใน และภายนอกท่อ และมีความมันวาว ปลายท่อเรียบทั้ง 2 ด้านไม่สามารถทาเกลียวได้ มาตรฐานกำหนด ให้ใช้ตัวอักษรสีเขียวระบุชนิด และขนาดของท่อ เรียกกันทั่วไปว่าท่อ EMT ปัจจุบันมีขนาดตั้งแต่ 1/2" - 2" และยาวท่อนละ10 ฟุตหรือประมาณ 3 เมตร

รูปที่ 2.22 ท่อโลหะบาง

ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

ท่อ EMT ใช้เดินลอยในอากาศ หรือฝังในผนังคอนกรีตได้ แต่ห้ามฝังดินหรือฝังในพื้นคอนกรีต ในสถานที่อันตราย ระบบแรงสูง หรือบริเวณ ที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ ขนาดท่อที่มีขายในท้องตลาดคือ 1/2" 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2" การดัดท่อชนิดนี้ใช้ Bender ที่มีขนาดเท่ากับขนาดท่อ

- ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit; IMC) ทำด้วยแผ่นเหล็กกล้าชนิดรีดร้อนหรือรีดเย็น หรือแผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี ผิวภายในเคลือบด้วยอีนาเมล ทาให้ผิวท่อเรียบทั้งภายใน และภายนอกท่อ และมีความมันวาว มีความหนากว่าท่อ EMT ปลายท่อทาเกลียวไว้ทั้ง 2 ด้าน มาตรฐานกำหนดให้ใช้ตัวอักษรสีส้ม (บางครั้งอาจเห็นเป็นสีแดง) ระบุชนิดและขนาดของท่อ เรียกกันทั่วไปว่าท่อ IMC มีขนาดตั้งแต่ 1/2" - 4" และยาวท่อนละ 10 ฟุต หรือประมาณ 3 เมตร

รูปที่ 2.23 ท่อโลหะหนาปานกลาง (Intermediate Metal Conduit; IMC)
ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

ท่อ IMC ใช้เดินนอกอาคาร หรือฝังในผนัง-พื้นคอนกรีตได้ ขนาดท่อที่มีขายในท้องตลาดคือ 1/2" , 3/4" 1" , 1 1/4" , 1 1/2" , 2" , 2 1/2" , 3" , 3 1/2" และ 4" การดัดท่อชนิดนี้ใช้ hickey ที่มีขนาดเท่ากัน

- ท่อโลหะหนา (Rigid Steel Conduit; RSC) ทาด้วยแผ่นเหล็กกล้าชนิดรีดร้อนหรือรีดเย็น หรือแผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีทั้งผิวภายนอกและภายใน ทาให้ผิวท่อเรียบทั้งภายในและภายนอกท่อ แต่ผิวจะด้านกว่าและหนากว่าท่อ EMT และ IMC ปลายท่อทาเกลียวไว้ทั้ง 2 ด้าน มาตรฐานกำหนดให้ใช้ตัวอักษรสีดา ระบุชนิดและขนาดของท่อ เรียกกันทั่วไปว่าท่อ RSC มีขนาดตั้งแต่ 1/2" - 6" และยาวท่อนละ 10 ฟุตหรือประมาณ 3 เมตร ดังรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 ท่อโลหะหนา (Rigid Steel Conduit; RSC)
ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

ท่อ RSC ใช้เดินนอกอาคาร หรือฝังในผนัง-พื้นคอนกรีตได้ ขนาดท่อที่มีขายในท้องตลาดคือ 1/2" , 3/4" 1" , 1 1/4" , 1 1/2" , 2" , 2 1/2" , 3" , 3 1/2", 4" ,5" และ 6" การดัดท่อชนิดนี้ใช้ Hickey หรือเครื่องดัดท่อไฮดรอลิกที่มีขนาดเท่ากัน สาหรับท่อที่มีขนาดใหญ่ อาจใช้ข้อโค้งสำเร็จรูปคล้ายกับข้อโค้งสำเร็จรูปของท่อ IMC ที่วางขายทั่วไปได้เช่น ข้อโค้ง 90 องศา

- ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit) ทำด้วยแผ่นเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีทั้งผิวภายนอกและภายใน เป็นท่อที่มีความอ่อนตัว โค้งงอไปมาได้ เหมาะสาหรับต่อเข้ากับดวงโคมมอเตอร์หรือเครื่องจักรกลที่มีการสั่นสะเทือน มีขนาดตั้งแต่ 1/2" - 4"

รูปที่ 2.25 ท่อโลหะอ่อน (Flexible Metal Conduit)
ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

ท่อโลหะอ่อนใช้เดินในสถานที่แห้งและเข้าถึงได้ ห้ามใช้เดินในสถานที่เปียก, ในช่องขึ้นลง,ในห้องเก็บแบตเตอรี่ , ในสถานที่อันตราย , ฝังดินหรือฝังในคอนกรีต ขนาดท่อที่มีขายในท้องตลาดคือ 1/2" , 3/4" , 1" , 1 1/4" , 1 1/2" , 2" , 2 1/2" ,3" และ 4" ท่อโลหะอ่อนที่ใช้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 1/2" ยกเว้นท่อโลหะอ่อนที่ประกอบมากับขั้วหลอดไฟฟ้า และมีความยาวไม่เกิน 180 เซนติเมตร การจับยึดท่อชนิดนี้ต้องมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ไม่เกิน 1.50 เมตร และห่างจากกล่องต่อสาย ไม่เกิน 30 เซนติเมตร และห้ามใช้ท่อโลหะอ่อนเป็นตัวนา แทนสายดิน

รูปที่ 2.26 ท่อโลหะอ่อนกันน้ำ
ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

ท่อโลหะอ่อนกันน้ำ เป็นท่อโลหะอ่อนที่มีเปลือก PVC หุ้มด้านนอกเพื่อกันความชื้น ไม่ให้เข้าไปภายในท่อได้ ใช้งานในบริเวณที่ต้องการความอ่อนตัวของท่อเพื่อป้องกันสายไฟฟ้า ชำรุด จากไอของเหลวหรือของแข็งหรือในที่อันตราย ห้ามใช้ในบริเวณที่อุณหภูมิใช้งานของ สายไฟฟ้าสูงมากจนทาให้ท่อเสียหายมีขนาดตั้งแต่ 1/2" - 4"

-ท่อ PVC (Poly Vinyl Chloride) ทาด้วยพลาสติกพีวีซี ที่มีคุณสมบัติต้านเปลวไฟ แต่ข้อเสียคือขณะที่ถูกไฟไหม้จะมีก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อคนเราออกมาด้วย และไม่ทนต่อแสงอัลตร้าไวโอเล็ดทาให้ท่อกรอบเมื่อโดนแดดเป็นเวลานาน ที่ใช้ในงานไฟฟ้ามีสีเหลือง มีขนาดตั้งแต่ 1/2" - 4" และยาวท่อนละ 4 เมตร ท่อ PVC ใช้เดินลอยในอากาศ หรือฝังในผนังคอนกรีตได้ แต่ห้ามใช้ใน บริเวณที่อาจเกิดความเสียหายทางกายภาพ ขนาดท่อที่มีขายในท้องตลาด คือ 3/8" , 1/2" , 3/4" , 1" , 1 1/4" , 1 1/2" , 2" , 2 1/2" , 3" และ 4" สาหรับท่อขนาด3"และ4" มีความยาว 2 ขนาดคือ 4 และ 6 เมตรขึ้นอยู่ผู้ผลิต

รูปที่ 2.27 ท่อ PVC (Poly Vinyl Chloride)
ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

- ท่อ HDPE (High Density PolyEthylene) ทำด้วยพลาสติก Polyethylene ชนิด High densityที่มีคุณสมบัติต้านเปลวไฟ มีความแข็งแรงสูง ยืดหยุ่นตัวได้ดี มีทั้งแบบผิวเรียบ และแบบลูกฟูกใช้เดินสายบนผิวในที่โล่ง, บนฝ้าในอาคาร, เดินสายใต้ดินทั้งแรงดันต่ำและ แรงดันสูง ปานกลาง ทนต่อแรงกดอัดได้ดี ข้อได้เปรียบของท่อชนิดนี้ คือความอ่อนตัวจึงไม่ต้องดัดท่อทาให้เดินท่อได้สะดวกรวดเร็ว

รูปที่ 2.28 HDPE แบบผิวเรียบ
ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

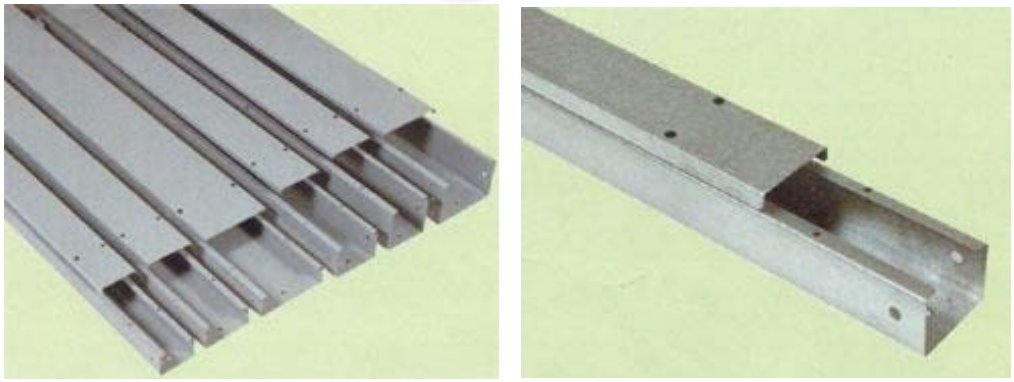
รูปที่ 2.29 HDPE แบบลูกฟูก
ที่มา : กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์ (2555)

ข้อดีของท่อ HDPE

- ง่ายต่อการโค้งงอ
- แข็งแกร่งและน้ำหนักเบา
- ต้านทานต่อการผุกร่อนและทนทุกสภาพดินฟ้าอากาศ
- ยืดหยุ่นและทนต่อแรงกดทับได้ดี
- มีแรงเสียดทานภายในท่อต่ำ จึงร้อยสายในท่อได้ง่ายขึ้น

- รางเดินสาย (Wire ways)

รางเดินสายต้องใช้งานในที่เปิดโล่งเท่านั้น ต้องสามารถเข้าถึงได้หลังจากติดตั้งแล้ว ถ้าเป็นชนิดใช้ภายนอกอาคารต้องกันฝนได้ และไม่ใช้ในที่ที่มีอันตรายทางกายภาพ การติดตั้งรางเดินสายต้องมีการจับยึดที่มั่นคงแข็งแรงทุกระยะห่างกันไม่เกิน 1.50 เมตร และไม่อนุญาตให้ต่อรางเดินสาย ณ จุดที่ผ่านผนังหรือพื้นและไม่อนุญาตให้ใช้รางเดินสายเป็นตัวนาสาหรับต่อลงดิน



รูปที่ 2.30 รางเดินสาย
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2545)

- รางเคเบิล (Cable Trays) Cable Tray และ Wire way นิยมใช้ในการเดินสายไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม มีข้อดีคือการติดตั้งง่าย สะดวกรวดเร็ว และสามารถวางสายได้เป็นจานวนมาก ระบายอากาศได้ดี ใช้ได้ทั้งระบบไฟฟ้าแรงดันสูงปานกลางและแรงดันต่ำ ทำด้วยเหล็กแผ่นบาง เคลือบผิวได้หลายแบบให้เหมาะสมกับ cable tray แต่ละชนิดได้แก่ Aluzinc, Electrogalvanized, Hot dip galvanized, Epoxy powder paint และ Galvanized sheet ป้องกันการเกิดสนิมได้ดี ที่ใช้งานทั่วไปแบ่งออกได้ดังนี้

- รางเคเบิลแบบบันได (Ladder type)
- รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ (Perforated Type)
- รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type)

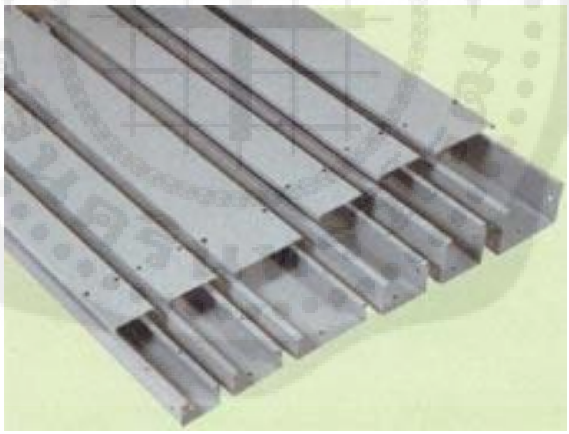
- หลักการการติดตั้ง (Wire way)
- จำนวนสายไฟสูงสุดต้องไม่เกิน 20% ของพื้นที่หน้าตัด (wire way)
- ถ้าสายตัวนำกระแสไม่เกิน 30 เส้นยอมให้คิดที่พิกัดกระแสไม่เกิน 3 เส้นได้
- รางเคเบิลแบบบันได (Ladder type) ทำด้วยเหล็กแผ่นบางเคลือบผิวแบบสังกะสีจุ่มร้อน (Hot dip galvanized) และพ่นด้วยสีฝุ่น Epoxy (Epoxy powder paint) เหมาะสำหรับวางสายเมนขนาดใหญ่และงานนอกอาคารทุกสภาวะแวดล้อม

รูปที่ 2.31 รางเคเบิลแบบบันได
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ (Perforated Type) ทาด้วยเหล็กแผ่นบางเคลือบผิวแบบสังกะสีจุ่มร้อน (Hot dip galvanized) และพ่นด้วยสีฝุ่น Epoxy (Epoxy powder paint) วางสายได้ทั้งสายเมนขนาดใหญ่และสายสัญญาณขนาดเล็ก ปกติใช้ติดตั้งภายในอาคาร

รูปที่ 2.32 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid Bottom Type) รางเคเบิลชนิดนี้เป็นชิ้นส่วนเดียวกันโดยตลอด ด้านล่างจะเป็นแผ่นโลหะทึบมักจะใช้กับสายไฟฟ้าทั่วไปที่มีขนาดเล็ก แต่รางเคเบิลชนิดนี้สามารถเคลื่อนย้าย เพิ่มเติม เปลี่ยนแปลง จานวนของสายไฟฟ้าได้สะดวก



รูปที่ 2.33 รางเคเบิลแบบแบบด้านล่างทึบ
ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

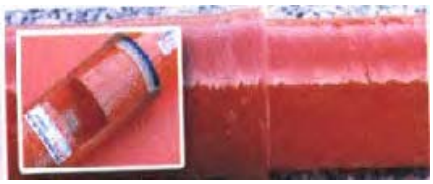
- ท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน (Conduit) ท่อร้อยสายเคเบิลที่ใช้ในงานก่อสร้างเคเบิลใต้ดินมีด้วยกันหลายชนิดเช่น ท่อ HDPE ,ท่อ Corrugate และ ท่อ Fiberglass หรือท่อ RTRC ท่อแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่ดีแตกต่างกันไปดังนี้

ข้อต่อแบบสวม (Coupling) **การต่อแบบเชื่อมด้วยความร้อน (Welding)**

รูปที่ 2.34 การต่อท่อ HDPE มีทั้งแบบใช้ข้อต่อสวม และแบบเชื่อมด้วยความร้อน

ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

- ท่อ RTRC (Reinforced Thermosetting Resin Conduit) ท่อชนิดนี้ทำจาก Fiberglass ที่ผ่านการอาบส่วนผสมแล้ว (Resin, Epoxy) พันทับแกนเหล็กร้อนถักพันเป็นชั้นๆ (winding) บางบริษัทจะผลิตท่อเป็นสองประเภทคือ ท่อสีแดง และท่อสีดำ ถ้าเป็นท่อสีแดงจะพัน Fiberglass ทั้งหมด 4 ชั้น ใช้ในงานฝังดินโดยตรง ถ้าเป็นท่อสีดำจะพัน Fiberglass ทั้งหมด 6 ชั้น และใส่สาร Carbon Black เพื่อป้องกันรังสี UV ใช้ในการวางท่อบนพื้นดิน ขนาดของท่อกำหนดตามขนาดของ Inside Diameter การต่อท่อชนิดนี้จะมีอยู่ 2 วิธี คือวิธีสวมอัด(Gasket-type joint) และแบบเกลียว (Screw) โดยวิธีสวมอัด ท่อด้านหนึ่งจะเป็นท่อบานใส่ซีลยางไว้สองชั้นเมื่อต่อท่อตรงเข้าไปจนสุดจะติดแน่นมาก และซีลยางจะป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดี ส่วนวิธีแบบเกลียวจะเหมือนกับการต่อท่อทั่วๆไป



รูปที่ 2.35 ท่อ RTRC

ที่มา : National Electric Code Handbook 1999

ตามมาตรฐาน National Electric Code Handbook 1999 (NEC) ในหัวข้อ Article 347- Nonmetallic Conduit ได้เรียกชื่อท่อ Reinforced Thermosetting Resin Conduit ไว้หลายชื่อคือ Rigid Nonmetallic Fiberglass Conduit หรือ Fiberglass Reinforced Epoxy Conduit โดยได้แบ่งประเภทของท่อ RTRC ไว้ 2 ชนิดคือ

- RTRC Type BG ใช้สำหรับงานฝังดินโดยตรงจะมีคอนกรีตห่อหุ้มตัวท่อหรือไม่มีก็ได้ (BG = Below Ground)

- RTRC Type AG ใช้สำหรับงานวางเหนือดินหรือฝังดิน ถ้าฝังดินจะมีคอนกรีตห่อหุ้มตัว ท่อหรือไม่มีก็ได้ ใช้ในสถานที่ที่มิดชิดหรือเปิดโล่งก็ได้ (แต่ต้องไม่มีแรงใดมากระทำให้ท่อเสียหาย) (AG = Above Ground)

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของท่อทั้ง 3 ชนิด

Property	HDPE	CORRUGATE	RTRC
Material	High Density Polyethylene	High Density Polyethylene	Fiberglass
Weighr (ท่อ 6 นิ้ว)	~ 3.77 kg/m	~ 2.0 kg/m	~ 1.52 kg/m
Coefficient of Friction	~ 0.5 **	~ 0.3	~ 0.385
Inner Surface of Pipe	Smooth	Corrugate	Smooth
Corrosion Resistance	Good	Good	Good
Flame Resisitance	No	No	Yes
Cable Fusion	Yes	Yes	No
Maxximum Working Temp	~ 80 ℃	~ 80 ℃	110 ℃
Connecting Method	Welding,	Screwing	Gasker and Screwing
การรับแรงกด	-	-	~ 1,900 lbs/ft *

- สายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable)

สายเคเบิลใต้ดินที่ใช้งานในการไฟฟ้าต่างๆ มีหลายชนิดส่วนใหญ่นิยมใช้สายเคเบิลชนิดฉนวน XLPE เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทานสามารถทนต่อความชื้นได้ดี

ข้อดีของฉนวน XLPE

- ทนอุณหภูมิได้สูงคือ 90^0 C และอุณหภูมิลัดวงจรที่ 250
- มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีคือ มี Dielectric Loss ต่ำ
- และมี Dielectric Strength สูง
- มีคุณสมบัติทางกลที่ดีทนต่อแรงกระทำภายนอก
- ทนต่อสารเคมีดีกว่า PE/PVC
- ไม่เป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม

2.4.6.2 การเลือกขนาดของท่อร้อยสาย

- ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของสายไฟต้องไม่เกิน 60% ของพื้นที่หน้าของตัดท่อ
- ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำต้องไม่เกิน 40% ของพื้นที่หน้าตัดท่อ

2.4.6.3 ท่อสำรอง (Spare Duct)

ในการออกแบบระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบใต้ดินนั้น ผู้ออกแบบควรที่จะออกแบบเผื่อในอนาคตกรณีที่ความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือ เพื่อการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงควรที่จะมีท่อสำรองไว้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 แนะนำจำนวนท่อสำรอง

จำนวนท่อที่ใช้งาน	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
จำนวนท่อที่สำรอง	1	1	2	1	2	2	2	3	2	4	3	2	4	3
จำนวนท่อที่ก่อสร้าง	3	4	6	6	8	9	10	12	12	15	15	15	18	18

2.4.7 บริภัณฑ์ไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบไฟฟ้านั้น วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของบริภัณฑ์ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถเลือกบริภัณฑ์เหล่านั้นได้ถูกต้องและเหมาะสมต่อการใช้งาน การศึกษาข้อมูลต่างๆจาก แคตตาล็อกที่มีอยู่มากมายของบริษัทผู้ผลิตจะช่วยให้เข้าใจถึงคุณสมบัติและการใช้งานของบริภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างดี

บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการนำ การจ่าย และการป้องกันในระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการต่างๆมีอยู่มากมายหลายชนิด อาจแบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้า ได้เป็น

- บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันสูง (HV Equipment) แรงดันสูงกว่า 36 kV
- บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (MV Equipment) แรงดัน 1 kV ถึง 36 kV
- บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ (LV Equipment) แรงดันน้อยกว่า 1 kV

สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึง บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำที่สำคัญ ดังนี้

2.4.7.1 เซอกิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ (Low Voltage Circuit Breakers)

- เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker : CB) เป็นบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับเปิดปิดวงจรไฟฟ้าแรงดันต่ำในภาวะปกติและจะเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้นอันเนื่องมาจากการใช้กำลังเกิน(Overload) หรือการลัดวงจร (Short Circuit) หลังจากทำการแก้ไขสิ่งผิดปกติบกพร่องเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถสับไฟฟ้าเข้าให้ใช้งานงานต่ออีกได้ มาตรฐานของ CB ที่สำคัญคือ

- IEC 60947-2 “Part 2 Circuit Breaker”
- IEC 60898 “Circuit Breakers for Overcurrent Protection for Household and Similar Installations”

2.4.7.2 พิกัดที่สำคัญ ตามมาตรฐาน IEC 60947-2 มีดังต่อไปนี้

- พิกัดกระแสต่อเนื่อง คือ ค่ากระแส RMS ที่ CB สามารถทนได้ที่อุณหภูมิไม่เพิ่มเกินค่าที่กำหนดให้ของอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) ค่าหนึ่ง บริษัทผู้ผลิตส่วนมากจะทำ CB ที่มีขนาดโครงเป็นช่วงกว้างๆ แล้วปรับตั้งกระแสพิกัดในระหว่างช่วงให้ละเอียดขึ้น ดังนั้นจึงเกิดมีคำว่า Ampere Frame (AF) และ Ampere Trip (AT) ขึ้น

- Ampere Frame (AF) คือ ขนาดพิกัดกระแสสูงสุดที่สามารถใช้ได้กับขนาด CB
- Ampere Trip (AT) คือ ขนาดพิกัดกระแสที่ปรับตั้งให้ CB ใช้งาน
- พิกัดการตัดกระแสลัดวงจร (Interrupting Capacity = IC, Breaking Capacity) คือ กระแสลัดวงจรสูงสุดที่ CB สามารถตัดได้โดยที่ตัว CB ไม่ได้รับความเสียหาย

- ค่า IC ของ CB ได้จากการทดสอบ และขึ้นกับตัวแปรหลายตัว เช่น แรงดัน ตัวประกอบกำลัง เป็นต้น ดังนั้น CB ที่สามารถใช้ได้กับหลายแรงดัน จะต้องมีค่า IC ที่แต่ละแรงดันด้วย

- ค่า IC ของ CB เป็นพิกัดที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง ในการเลือก CB เพื่อใช้สำหรับงานหนึ่งงานใดนั้นจะต้องให้มี IC เท่ากับหรือมากกว่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่จุดติดตั้ง

- ตาม IEC 60947-2 ได้ให้นิยามพิกัดการตัดกระแสลัดวงจรได้ดังนี้

Icu = Rated Ultimate Short-Circuit Breaking Capacity
(Switching Sequence O-t-CO)

Ics = Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity
(Switching Sequence O-t-CO-t-CO)

Icw = Rated Short-time Current Withstand

นอกจากนี้ตาม IEC 60947-2 ยังแบ่ง CB ตามลักษณะการใช้งาน (Utilization Category) คือ

Utilization Category A - ไม่เหมาะที่จะทำ Coordination เนื่องจากไม่มี Icw

Utilization Category B - CB เหมาะที่จะทำ Coordination และ มี Icw

ค่า AF ขนาดมาตรฐานและ AT

- มาตรฐาน IEC ได้กำหนด AF ไว้ดังนี้คือ 63, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000, 6300 บริษัทบางแห่งอาจจะไม่ผลิตค่า AF บางค่าได้ ค่า AT ที่บริษัทต่างๆ จะผลิตออกมานั้นมีหลายค่า แล้วแต่ความต้องการของบริษัทนั้นๆ เช่น บริษัทผลิต CB

- ที่ AF = 250 A อาจตั้ง AT ไว้ ดังนี้คือ 100, 125, 150, 175, 200, 225 และ 250 A

- ที่ AF = 1600 A มี AT ค่าต่างๆ คือ 8000, 1000, 1250, 1600 A

2.4.7.3 ประเภทของ CB

CB แบ่งตามลักษณะภายนอก และ การใช้งานได้เป็น 2 ชนิด คือ

- MCCB บริภัณฑ์ตรวจจับและบริภัณฑ์ตัดต่ออยู่ภายในวัสดุฉนวน ซึ่งทำด้วยสารประเภทพลาสติกแข็ง มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ใช้สำหรับป้องกันระบบไฟฟ้า ตั้งแต่วงจรย่อย สายป้อนถึงสายประธาน และบริภัณฑ์ไฟฟ้าด้วย โครงกรอบของ MCCB ส่วนมากทำด้วยโพลีเอสเตอร์พลาสติก (Polyester Plastic) วัสดุชนิดนี้จะทำหน้าที่ในการป้องกันอาร์ค ความร้อนและแก๊สได้เป็นฉนวนและเป็นที่กั้นภายในระหว่างขั้วไฟฟ้ามีความแข็งแรงทางกล

MCCB อาจแบ่งตามการใช้งานได้เป็น

- MCCB ขนาดเล็ก (Miniature Circuit Breaker: MCB)
- MCCBขนาดมาตรฐาน (Standard CB)
- MCCB แบบ IC สูง (High Interrupting Capacity Circuit Breaker)
- MCCB แบบจำกัดกระแสลัดวงจร (Current Limiting Circuit Breaker)

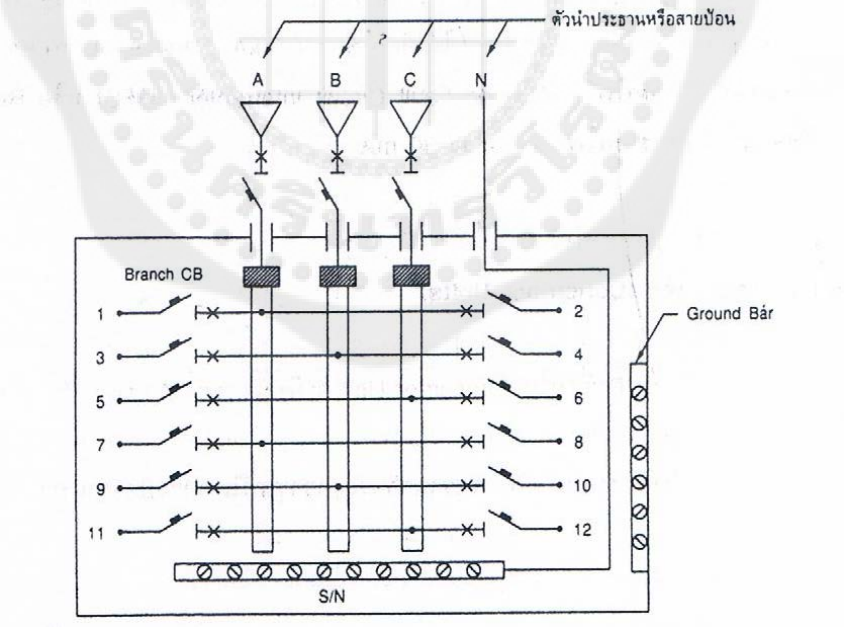
- ACB เป็น CB แรงดันต่ำชนิดหนึ่ง ที่ใช้อากาศเป็นตัวดับอาร์ค ACB เป็น CB ขนาดใหญ่ มีกระแสต่อเนื่องสูง คืออาจมีตั้งแต่ 600A ถึง 6300A ACB สามารถแบ่งตามชนิดการติดตั้งได้ 2 ชนิด คือ

- แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Type)
- แบบดึงออกได้ (Drawout Type)

2.4.7.4 แผงย่อย (Panelboards)

แผงย่อย คือ บริภัณฑ์ไฟฟ้าที่รับไฟจากสายป้อนหรือสายประธาน แล้วจัดการแยกไฟฟ้าที่ได้รับออกเป็นวงจรย่อยหลายวงจรย่อยเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้โหลดต่อไป

- ส่วนประกอบ ลักษณะโครงสร้างของแผงย่อย มีส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญดังรูป



รูปที่ 2.36 โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของแผงย่อยแบบ Main Lugs

ที่มา : ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2556)

จากโครงสร้างภายในแผงย่อยตามรูป สามารถอธิบายส่วนประกอบต่างๆ ได้ดังนี้

- เครื่องห่อหุ้ม (Enclosures) เป็นกล่องที่ใช้เป็นเครื่องป้องกันการกระทบกระเทือนจากภายนอก ส่วนใหญ่ทำจากวัสดุโลหะหรือพลาสติกแข็ง

- บัสบาร์ (Busbar) มีลักษณะเป็นแท่งตัวนำทองแดงยาวอาจเคลือบด้วยสารดีบุก ใช้กับไฟ 1 เฟส 2 สาย หรือ 3 เฟส 4 สาย บัสบาร์จะถูกติดตั้งอยู่ในกล่องห่อหุ้มวัสดุ บัสบาร์สามารถแยกไฟที่ได้รับออกไปจ่ายโหลดตามวงจรย่อยต่างๆได้โดยผ่าน Branch CB ของวงจรย่อยแต่ละวงจร โดยปกติจะกำหนดให้ วงจรย่อยทางซ้ายมือของบัสบาร์เป็นเลขคี่ ส่วนทางขวามือจะเป็นเลขคู่

- เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breakers) จะเป็นแบบ Plug-in CB ซึ่งเป็น CB ที่สามารถเสียบลงใช้งานได้เลย เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปมี Ampere Frameที่ใช้งาน คือ 50 AF และ 63AF ส่วน AT จะมีค่าๆได้แก่ 10, 16, 20, 32, 40 ,45, 50, 63 สำหรับพิกัด IC ของ Branch CB นั้นจะมีค่าต่างๆให้เลือกใช้ เช่น 5kA, 6kA, 9kA, 10kA เป็นต้น

แผงย่อยจะแบ่งตามประเภทการใช้งานดังนี้

- แผงย่อยสำหรับที่อยู่อาศัย (Consumer Units) ส่วนใหญ่ใช้กับไฟ 1 เฟส 2 สาย มีวงจรย่อยหลายขนาด ได้แก่ ขนาด 4, 6, 8, 12, 16 วงจรย่อย ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือ Main CB ที่อยู่ใน Consumer Unit จะมีขนาดของ AT ให้เลือกดังนี้ คือ 16, 20, 32, 45, 63, 70, 80 และ 100 A มีขนาดของ AF คือ 100 A Main CB

- แผงย่อยที่ใช้สำหรับงานทั่วๆไป (Panel board) นิยมเรียกว่า Load Centers เนื่องจากว่าเป็นศูนย์กลางของโหลดต่างๆ Load Centers ที่ใช้กับไฟ 1 เฟส 2 สาย จะมีลักษณะคล้าย Consumer Unit แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว Load Centers จะใช้กับไฟ 3 เฟส 4 สาย มากกว่า มีจำนวนวงจรย่อยให้เลือกหลายขนาด 12, 18, 24, 30, 36, 42 วงจร Load Centers ที่ใช้งานทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- Load Centers แบบ Main Lugs เป็นแผงย่อยที่มีแต่เฉพาะขั้วต่อสายไม่มีเซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ด้วยภายในเครื่องห่อหุ้ม ดังนั้นเวลาใช้งานจะต้องต่อ Main CB ไว้ภายนอกเครื่องห่อหุ้ม แล้วทำการเดินสายประธานผ่าน Main CB เข้าไปในแผงจ่ายไฟ

- Load Center แบบ Main Circuit Breaker แผงย่อยแบบนี้จะมี Main CB อยู่ภายในเครื่องห่อหุ้ม การเลือกแผงย่อยชนิดนี้จะต้องดูพิกัดของ Main CB คือ AT และ AF สำหรับ AT มีค่าต่างๆคือ 15A, 20A, 30A, 40A, 50A, 60A, 70A, 90A, 100A, 125A, 150A, 175A, 200A, 225A และมี AF ที่ใช้งานทั่วไปคือ 100A และ 225A ค่า IC ของ Main CB มีให้เลือกใช้หลายค่า เช่น 18kA, 25kA, 35kA และ 65 kA จำนวนวงจรย่อยของ Load Center จะมีให้เลือกใช้ตั้งแต่ 12, 18, 24, 30, 36 จนถึง 42 วงจร

2.4.7.5 แผงสวิตซ์ (Switchboards) หมายถึงแผงจ่ายไฟขนาดใหญ่ที่รับไฟฟ้าหรือจากด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงเพื่อไปจ่ายโหลดต่างๆเช่น แผงย่อย (Panel board) MCC เป็นต้น บางครั้งเรียกว่า Main Distribution Board (MDB) หรือ Main Distribution Panel (MDP)

รูปที่ 2.37 ลักษณะภายนอกของแผงสวิตช์
ที่มา : จอมทัพ,รุ่งนภา,ศุภโชค (2555)

แผงสวิตช์มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้คือ

- โครงห่อหุ้ม (Enclosure) โครงห่อหุ้มมักจะทำมาจากแผ่นโลหะ (Steel Sheet) ซึ่งมักจะต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆมาเรียบร้อยแล้ว

- คุณสมบัติของโครงห่อหุ้มที่สำคัญคือ

- คุณสมบัติทางกล จะต้องสามารถรับแรงจากภายนอกได้เพียงพอต่อสภาพการใช้งานจริงตลอดจนทนต่อสภาพการใช้งานในภาวะไม่ปกติได้

- คุณสมบัติทางความร้อน จะต้องทนกับความร้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งที่เกิดจากสภาพแวดล้อม ตลอดจนความร้อนจากอาร์คที่เกิดจากการลัดวงจร

- คุณสมบัติต่อการกัดกร่อน เช่น การกัดกร่อนทางเคมีหรือความชื้น เป็นต้น

- บัสบาร์และฉนวน

บัสบาร์คือส่วนที่จะทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างสายประธานและสายป้อน บัสบาร์ส่วนมากทำจากทองแดงที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก เนื่องจากต้องนำกระแสปริมาณมากๆเสมอ และเพื่อความปลอดภัยต้องหุ้มฉนวนที่ขั้วต่อทางไฟฟ้าด้วยเสมอ การยึดบัสบาร์ก็มีความสำคัญมากเช่นกัน ต้องมีความแข็งแรงพอโดยผ่าน Insulator

- เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่อยู่ในแผงสวิตช์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

- เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับสายป้อน (Feeder circuit Breaker) คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีหน้าที่ป้องกันสายป้อนต่างๆ

- เซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับวงจรประธาน (Mail Circuit Breaker) คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันสายประธาน CB ทั้งหมดจะต้องมีพิกัดการตัดกระแสลัดวงจร (Interrupting Capacity) เพียงพอสำหรับกระแสลัดวงจรที่แผงสวิตช์

2.4.8 สายป้อน

สายป้อน หมายถึง วงจรไฟฟ้าที่รับไฟจากสายประธานไปจนถึงบริภัณฑ์ป้องกันวงจรย่อย แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

- สายป้อนแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า
- สายป้อนมอเตอร์
- สายป้อนผสม

สำหรับในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะสายป้อนแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้าเท่านั้น สายป้อนแสงสว่างหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้า คือสายป้อนที่จ่ายโหลดให้วงจรย่อยแสงสว่าง เต้ารับและบริภัณฑ์ไฟฟ้า

- การคำนวณโหลดสายป้อน

สายป้อนต้องมีขนาดเพียงพอสำหรับจ่ายโหลด และต้องไม่น้อยกว่าผลรวมของโหลดในวงจรย่อยเมื่อใช้ดีมานด์แฟกเตอร์

$$LF = (\Sigma LBC) \times D.F.)$$

โดยที่ LF = โหลดของสายป้อน (A, VA, kVA)

ΣLBC = ผลรวมของโหลดวงจรย่อย (A, VA, kVA)

D.F. = ดีมานด์แฟกเตอร์ (%)

ขนาดตัวนำสายป้อน ตัวนำสายป้อนต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าโหลดสูงสุดและไม่น้อยกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของสายป้อน ขนาดตัวนำสายป้อนต้องไม่เล็กกว่า 4 mm^2

สายนิวทรัล(Neutral) ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย ซึ่งจะจ่ายให้กับโหลดชนิด 1 เฟส ขนาดของสายนิวทรัลจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะนำกระแสโหลดไม่สมดุลสูงสุดได้ และต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

2.4.9 การต่อลงดิน

- การต่อลงดินและการต่อฝากสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

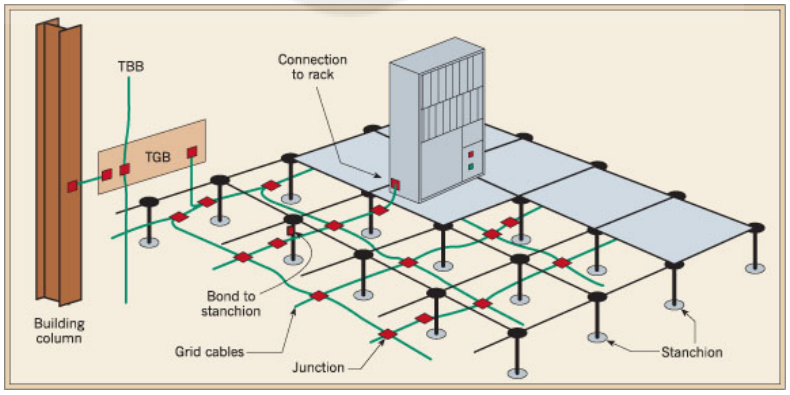
การต่อลงดินของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (sensitive electronic equipment) หรือเครื่องคอมพิวเตอร์มีความสำคัญ เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวไวต่อสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นการต่อลงดินนี้นอกจากจะคำนึงถึงความปลอดภัยแล้ว ต้องคำนึงถึงการลดสัญญาณรบกวนอีกด้วย เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว การต่อลงดินของเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องทำการต่อลงดิน 2 แบบ คือ การต่อลงดินของระบบจ่ายไฟ และการต่อลงดินเพื่อลดสัญญาณความถี่สูง

- การต่อลงดินของระบบจ่ายไฟ

ส่วนโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องต่อลงดินด้วยสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า ทำให้ส่วนโลหะที่เป็นเครื่องห่อหุ้มมีศักดาเท่ากับดิน ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยจากไฟฟ้ารั่ว และให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานได้รวดเร็วขึ้นเมื่อเกิดการลัดวงจร

- การต่อลงดินเพื่อลดสัญญาณความถี่สูง

สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ใช้ต่อเข้ากับเครื่องห่อหุ้มโลหะของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความต้านทานต่ำที่ความถี่ไฟฟ้ากำลัง 50 เฮิรตซ์ ส่วนสัญญาณที่มีความถี่สูง (สัญญาณรบกวนส่วนมากมีความถี่สูง) จะทำให้อิมพีแดนซ์มีค่าสูงขึ้นและเพื่อลดสัญญาณรบกวนจำเป็นต้องมีการต่อลงดินสำหรับสัญญาณความถี่สูงเสริมเข้ากับการต่อลงดินแบบ 50 เฮิรตซ์ การต่อกริดอ้างอิงสัญญาณ (signal reference grid) เป็นวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นตาข่ายสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 0.6 x 0.6 เมตร ทำด้วยตัวนำหรือแผ่นทองแดงเชื่อมต่อกันที่จุดตัด นำไปวางไว้ใต้เครื่องอุปกรณ์ต่างๆ ส่วนมากจะอยู่ใต้พื้นยก (raised floor) และต่ออุปกรณ์ต่างๆ ของระบบคอมพิวเตอร์เข้ากับกริดอ้างอิงสัญญาณด้วยสายที่สั้นที่สุดเท่าที่ทำได้



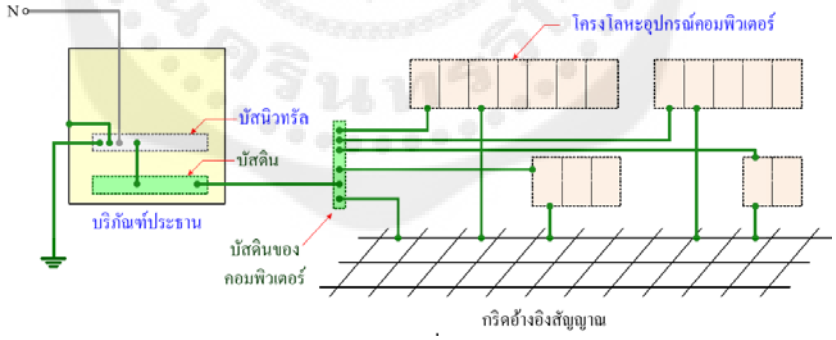
รูปที่ 2.38 การเชื่อมสายดินแบบกริด

ที่มา : TIA-607-B Grounding Standard

- วิธีการต่อลงดินที่ถูกต้องของเครื่องคอมพิวเตอร์

- การต่อลงดินประกอบด้วย การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า และการต่อลงดินของระบบคอมพิวเตอร์ การต่อลงดินของส่วนโลหะที่เป็นเครื่องห่อหุ้มต้องระวังเรื่องสัญญาณรบกวน การต่อลงดินแบบหลายจุด (multiple grounding) เป็นการต่อที่ผิดเนื่องจากทำให้เกิดวงดิน (ground loop) และกระแสไหลวน ซึ่งคือสัญญาณรบกวนวิธีที่ถูกต้องคือสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องต่อแบบเรเดียนเข้าหาจุดกลาง (central radial grounding) กล่าวคืออุปกรณ์ทุกชิ้นจะมีสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่อไปยังบัสดินของคอมพิวเตอร์จุดนี้จะเป็นการต่อลงดินเพียงจุดเดียว ซึ่งจะไม่เกิดวงดิน นอกจากนี้ส่วนที่เป็นโลหะของอุปกรณ์จะต้องต่อด้วยสายที่สั้นที่สุดไปยัง กริดอ้างอิงสัญญาณ

รูปที่ 2.39 การเชื่อมต่อสายดินกับ TGB (Telecommunication Ground Bonding)
ที่มา :: TIA 942 – Grounding Telecommunicated Equipment



รูปที่ 2.40 การต่อระบบสายดินที่ถูกต้อง
ที่มา : วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์ (2550)

- การติดลงดินของอาคาร

- อาคารใดๆที่ต้องมีกานติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือมีการจ่ายไฟฟ้าเข้ามาหลายจุด อาคารนั้นจะต้องฝังวงแหวนการต่อลงดินสำหรับการเชื่อมต่อหลักดินไว้กับอาคาร โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- การเชื่อมต่อตัวนำในระบบสายดินใดๆ จะต้องเชื่อมต่อด้วยวิธีเชื่อมด้วยความร้อน (Exothermic welding) หรือบีบอัดด้วยแรงดันสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมต่อใดๆอยู่ระดับใต้ผิวดินให้ใช้วิธีเชื่อมต่อด้วยวิธีดชื่อมด้วยความร้อน (Exothermic welding) เท่านั้น

- ให้ต่อฝากวงแหวนการต่อลงดินกับลวดเหล็กของเสาอาคารทุกเสาหรือมากเสาที่สุดเท่าที่จะทำได้

- สำหรับอาคารใหม่หรือต่อเติมใหม่ ที่ต้องการความมั่นใจในการต่อลงดิน อาจใช้หลักดินเสริมชนิดตัวนำลักดินหล่มหุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete encased electrodes หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Lifer electrodes) ตามข้อกำหนดดังนี้

- ตัวนำหลักดินต้องหล่อหุ้มด้วยคอนกรีตหนาไม่ต่ำกว่า 51 มม. ฝังดินโดยตรงอยู่ใกล้หรือใต้ฐานรากของอาคาร

- ตัวนำหลักดินที่หล่อหุ้มด้วยคอนกรีตดังกล่าวไม่ว่าจะประกอบด้วยหนึ่งหรือหลายเส้นแต่ละเส้นจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 6.0 เมตร แต่ละเส้นเป็นทองแดงเปลือยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เล็กกว่า 25 ตร.มม. หรือหากใช้เป็นเหล็กเส้นเสริมแรงจะต้องเป็นชนิดชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้า (zinc galvanized) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 12.7 มม.

- ตัวนำหลักดินที่หล่อหุ้มด้วยคอนกรีตดังกล่าวจะต้องต่อฝากอย่างมั่นคงกับระบบหลักดินหลักของอาคาร

- อาคารสร้างใหม่สำหรับดาตาเซนเตอร์โดยเฉพาะ ตัวนำของวงแหวนการต่อลงดินต้องเป็นสายทองแดงเปลือยตีเกลียวมีขนาดไม่ต่ำกว่า 120 ตร.มม. ฝังดินลึกไม่น้อยกว่า 0.8 ม. และห่างจากผนังอาคารไม่น้อยกว่า 1 ม. และให้ต่อเชื่อมเข้ากับหลักดินชนิดเหล็กหุ้มเคลือบด้วยทองแดง (Copper clad steel) ขนาดไม่ต่ำกว่า 19 มม. ยาว 3 ม. ที่ต้องติดตั้งเพิ่มไปตากแนวของวงแหวนโดยรอบทุกระยะ 6-12 ม. พร้อมติดตั้งบ่อทดสอบ 4 มุม ค่าความต้านทานของดินเมื่อวัดด้วยวิธี Fall of potential ตามมาตรฐาน ANSI/IEEE std.81

2.4.10 บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhole)

บ่อพักสายเคเบิลใต้ดิน (Manhole and Handhold) นี้หล่อขึ้นด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งส่วนใหญ่จะก่อสร้างอยู่ใต้ผิวถนนที่มีการจราจรของยานพาหนะต่างๆ และจะต้องรับน้ำหนักสูงสุดได้ 18 ตัน (Ton) ผนังด้านนอกของบ่อพักส่วนบนจะต้องอยู่ใต้ระดับผิวถนนไม่น้อยกว่า 40 ซม.บ่อพักจะมีฝาปิด (Manhole Frame and Cover) ทำด้วยเหล็ก ที่ก้นของบ่อพักจะต้องทำเป็นอ่างน้ำ (Sump) ไว้สำหรับสูบน้ำออกเมื่อเวลาจะทำงานในบ่อพัก ลักษณะของการจัดหน้าต่างของบ่อพักขึ้นอยู่กับการวางท่อที่จะออกจากบ่อพักนั้นๆ บ่อพักที่มีขนาดเล็ก ๆ เราสามารถจะหล่อสำเร็จรูป

และยกลงมาวางในที่ที่จะติดตั้ง แต่ถ้าเป็นบ่อพักขนาดใหญ่จำเป็นต้องก่อสร้างในที่ที่จะใช้งาน เพราะน้ำหนักมาก

- หน้าที่ของบ่อพักสายไฟฟ้าใต้ดิน

- ใช้วางและจัดทำหัวต่อสาย (Cable Splice) เนื่องจากไม่สามารถลากสายที่มีระยะทางยาวๆได้

- ใช้ในการทำระบบ Grounding สำหรับระบบจำหน่าย 22 & 33 kV และทำ Cross – Bonding สำหรับระบบสายส่ง 115 kV

- ใช้ในการเปลี่ยนหรือแยกทิศทางของ Duct Bank (เช่น กรณีแยกขึ้น Riser หรือแยกเข้าซอยหรือถนนสายอื่น)

- เพื่อช่วยในการลากสายเคเบิลให้สะดวกมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 2.41 Manhole and Handhold
ที่มา : กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า (ธันวาคม 2548)

2.5 ระบบไฟฟ้าสำรองในศูนย์ข้อมูล

โดยปกติ ศูนย์ข้อมูลที่สำคัญจำเป็นจะต้องทำงานตลอด เข้าใจอย่างง่าย คือ ห้ามดับ ห้ามหยุด แม้กรณีที่ระบบไฟฟ้าหลักมีปัญหา พื้นที่การทำงานจะต้องทำงานตลอด ไฟฟ้าสำรองหรือไฟฟ้าฉุกเฉินจึงถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าหลัก เป็นการประกันความเสี่ยงในข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นตามมาตรฐาน UPTIME โดยจะมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าสำรองที่สำคัญ ดังนี้

2.5.1 เครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS)

UPS เป็นคำย่อมาจากคำว่า Uninterruptible Power Supply หรือ เครื่องสำรองไฟฟ้าและปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ อาจกล่าวได้ว่า UPS เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ได้อย่างต่อเนื่องแม้ในเวลาที่เกิดไฟดับหรือเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้า

ผันผวนผิดปกติ UPS มีหน้าที่หลัก คือ ป้องกันความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ (โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อ) อันมีสาเหตุจากความผิดปกติของพลังงานไฟฟ้า เช่น ไฟตก, ไฟดับ, ไฟกระชากและไฟเกิน เป็นต้น รวมถึงมีหน้าที่ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์เมื่อเกิดปัญหาทางไฟฟ้า

2.5.1.1 หลักการทำงานทั่วไปของ UPS

โดยทั่วไปแล้ว เมื่อ UPS รับพลังงานไฟฟ้าเข้ามา ไม่ว่าคุณภาพไฟฟ้าจะเป็นอย่างไรก็จะสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เป็นปกติ รวมถึงทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งหลักการของ UPS ก็คือ ใช้วิธีการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วเก็บสำรองไว้ในแบตเตอรี่ส่วนหนึ่ง และในกรณีที่เกิดปัญหาทางไฟฟ้า (เช่น ไฟดับ หรือคุณภาพไฟฟ้าผิดปกติ เป็นต้น) อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่รับมาได้ UPS ก็จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แล้วจึงจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าตามปกติ

2.5.1.2 ส่วนประกอบสำคัญของ UPS

- เครื่องประจุแบตเตอรี่ (Charger) หรือ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า AC เป็น DC (Rectifier) ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้า AC จากระบบจ่ายไฟ แปลงเป็นกระแสไฟฟ้า DC จากนั้นประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่

- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้า DC จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า AC เป็น DC หรือแบตเตอรี่ และแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า AC สำหรับใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์

- แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองไว้ใช้ในกรณีเกิดปัญหาทางไฟฟ้า โดยจะจ่ายกระแสไฟฟ้า DC ให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในกรณีที่ไม่สามารถรับกระแสไฟฟ้า AC จากระบบจ่ายไฟได้

- ระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Stabilizer) ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่และสม่ำเสมออยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

2.5.1.3 ประโยชน์ของ UPS

ในเชิงอุตสาหกรรมทางคอมพิวเตอร์ UPS จะทำหน้าที่ป้องกัน ดังนี้

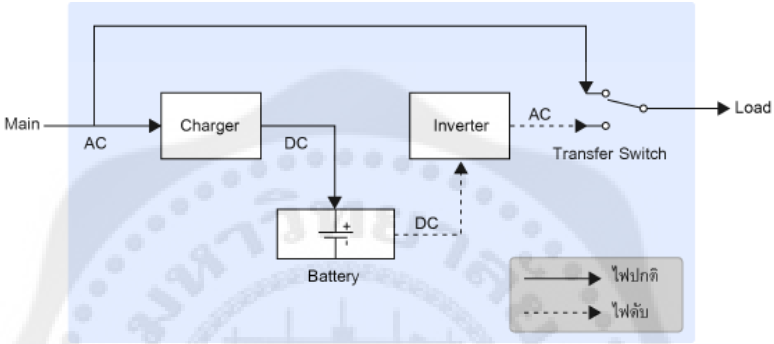
- จ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ เมื่อเกิดไฟดับหรือไฟตก เพื่อให้มีเวลาสำหรับการ Save ข้อมูล และไม่ทำให้ floppy disk และ hard disk เสีย

- ปรับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์เมื่อเกิดปัญหาทางไฟฟ้า เช่น ไฟตก, ไฟดับ, ไฟกระชาก และไฟเกิน ป้องกันสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าที่สามารถสร้างความเสียหายต่อข้อมูลและอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ เป็นต้น

2.5.1.4 ชนิดของ UPS

UPS แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

- Offline UPS หรือ Standby UPS

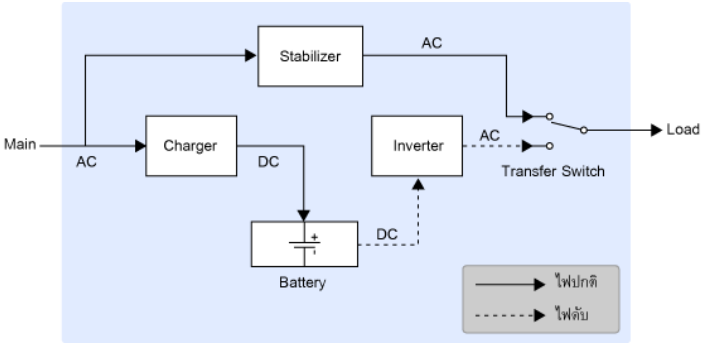


รูปที่ 2.42 Offline UPS หรือ Standby UPS

ที่มา : LEONICS CO., LTD.

สภาวะไฟฟ้าปกติ อุปกรณ์ไฟฟ้า (Load) จะได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Main) จากการไฟฟ้าโดยตรง ในขณะเดียวกัน เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า (Charger) จะทำการประจุกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ไปด้วย แต่เวลาที่ไฟฟ้าดับ แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าและจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้ตัวสับเปลี่ยน (Transfer Switch) สำหรับเลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าหรือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า กรณีที่สภาวะไฟฟ้าปกติหรือกระแสไฟฟ้าผิดปกติเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมากจนตัวสับเปลี่ยน (Transfer Switch) สลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่ทัน พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมาจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ดังนั้น ถ้าคุณภาพไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่ดี (เช่น ไฟตก, ไฟดับ, ไฟกระชาก หรือมีสัญญาณรบกวน ฯลฯ) อุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะได้รับพลังงานไฟฟ้าคุณภาพไม่ดีเช่นเดียวกัน เนื่องจาก UPS ชนิดนี้ถูกออกแบบให้ป้องกันกรณีเกิดไฟดับเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่สามารถป้องกันปัญหาแรงดันไฟฟ้าที่ผันผวนและสัญญาณรบกวนได้ จึงทำให้มีราคาถูกกว่า UPS ชนิดอื่นๆ และไม่เหมาะกับการใช้งานในบางพื้นที่ เช่น สถานที่ใกล้แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า อาทิ เขื่อน, สถานีไฟฟ้า และสถานีไฟฟ้าย่อย เป็นต้น รวมถึงไม่เหมาะกับการใช้งานในประเทศไทยด้วย เนื่องจากเกิดไฟตกบ่อยครั้ง

- Online Protection UPS หรือ Line Interactive UPS with Stabilizer

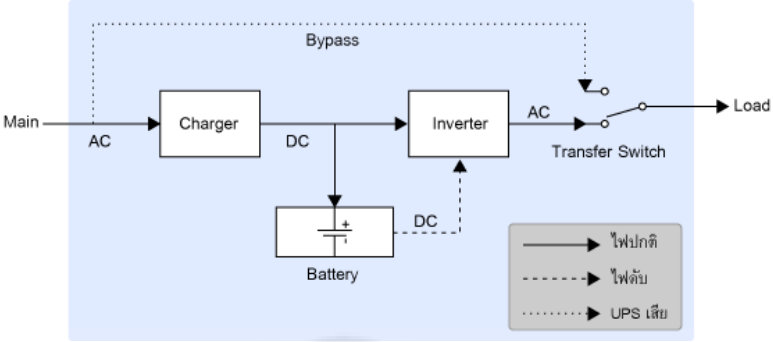


รูปที่ 2.43 Online Protection UPS หรือ Line Interactive UPS with Stabilizer

ที่มา : LEONICS CO., LTD

จากผังแสดงการทำงาน จะพบว่า มีความคล้ายคลึงกับ Offline UPS มาก แต่จะมีส่วนที่เพิ่มขึ้นมา คือ ระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Stabilizer) ในขณะที่สภาวะไฟฟ้าปกติ อุปกรณ์ไฟฟ้า (Load) จะได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Main) จากการไฟฟ้าโดยผ่านระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัตินี้ ซึ่งจะมีหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ป้องกันปัญหาไฟตก, ไฟเกิน และไฟกระชาก เป็นต้น พร้อมกันนี้ เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า (Charger) ก็จะทำการประจุกระแสไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เมื่อไฟฟ้าดับจะจ่ายพลังงานให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำการแปลงกระแสไฟฟ้า และจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้ตัวสับเปลี่ยน (Transfer Switch) สำหรับเลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติหรือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า UPS ชนิดนี้ถูกพัฒนามาจาก Offline UPS โดยเพิ่มระบบป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำอัตโนมัติ (Stabilizer) เพื่อป้องกันปัญหาทางไฟฟ้า ช่วยให้ UPS ไม่จำเป็นต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ทุกครั้งที่ไฟตกหรือไฟเกินไม่มากนัก Online Protection UPS หรือ Line Interactive UPS with Stabilizer จัดได้ว่าเป็น UPS ที่นิยมมากที่สุดใน

- True Online UPS



รูปที่ 2.44 True Online UPS

ที่มา : LEONICS CO., LTD

จากผังแสดงการทำงาน จะพบว่า True Online UPS เป็น UPS ที่มีศักยภาพสูงสุด กล่าวคือ เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า (Charger) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) จะทำงานตลอดเวลา ไม่ว่าคุณภาพไฟฟ้าจะเป็นอย่างไร ก็สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Load) ได้ตามปกติ ยกเว้นกรณีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเสีย จึงจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Main) จากการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า True Online UPS เป็น UPS ที่มีศักยภาพสูงที่สุดในจำนวน UPS ที่มีใช้งานอยู่ สามารถป้องกันปัญหาทางไฟฟ้าได้ทุกกรณี ไม่ว่าจะเป็น ไฟดับ, ไฟตก, ไฟเกิน หรือสัญญาณรบกวนใดๆ และให้คุณภาพไฟฟ้าที่ดี ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ UPS ชนิดนี้มีราคาสูงกว่า UPS ชนิดอื่นๆ

2.5.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยไม่ต้องใช้คอมมิวเตเตอร์, ไดนาโมกลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสซิงเกิลฟีด alternators ผลิตกระแสสลับด้วยความถี่หนึ่งที่จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของโรเตอร์และจำนวนขั้วแม่เหล็ก alternators ทั่วไปใช้ขดลวดสนาม - โรเตอร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแสตรง และขดลวดอยู่กับที่ (สเตเตอร์)เพื่อผลิตกระแสสลับ เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ต้องการเป็นเพียงส่วนเล็กๆของพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นโดยเครื่อง, แปรงถ่านสำหรับต่อกับสนามจะสามารถมีขนาดค่อนข้างเล็กได้ ในกรณีที่ตัวกระตุ้นไม่ได้ใช้แปรงถ่าน แกนโรเตอร์จะมีตัวเรียงกระแสเกาะอยู่เพื่อกระตุ้นขดลวดสนามหลัก

2.5.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์คือการรวมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องยนต์(ตัวหมุนหลัก) ที่ติดตั้งอยู่ด้วยกันเพื่อให้เป็นชิ้นเดียวกันของอุปกรณ์ที่ทำงานได้ด้วยตนเอง เครื่องยนต์ที่ใช้มักจะเป็นเครื่องยนต์ลูกสูบ แต่กังหันก๊าซยังสามารถนำมาใช้ได้ และมีแม้เครื่องไฮบริดดีเซล-ก๊าซ ที่เรียกว่าเครื่องสองเชื้อเพลิง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์มีหลายรุ่นที่แตกต่างกัน ตั้งแต่แบบพกพาขนาดเล็กมากใช้น้ำมันไปจนกระทั่งเครื่องกังหันขนาดใหญ่ ข้อได้เปรียบหลักของมันคือความสามารถในการจัดหาไฟฟ้าอย่างอิสระ ช่วยให้ตัวมันให้บริการเป็นพลังงาน สำรอง

รูปที่ 2.45 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์
ที่มา : Caterpillar CO., LTD

2.5.3 อุปกรณ์สลับไฟฟ้าอัตโนมัติ

ATS (Automatic Transfer Switch) คืออุปกรณ์ที่ใช้สับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟฟ้าระหว่าง ระบบไฟฟ้าหลัก กับ ระบบไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (Generator, UPS)

- เป็น สวิทซ์ตัดต่อ / สลับแหล่งจ่ายไฟ จาก การไฟฟ้า และเครื่องปั่นไฟฟ้า เหมาะกับการนำไปใช้ในการสลับ แหล่งจ่ายไฟ

- สามารถนำไปใช้งานแทน แมกเนติคคอนแทคเตอร์คู่ ที่เป็น mechanical interlock (Contactor with mechanical interlock) สำหรับ กลับ ทิศมอเตอร์เดินหน้า – ถอยหลัง เช่น เดินหน้า/ถอยหลัง โม่หิน/ลูกกลิ้ง (Roller) ขนาดใหญ่ หรือเอาไปใช้แทน Latching relay ในการสลับการทำงานขนาดใหญ่ โดยไม่จำเป็น ต้องเพิ่ม แมกเนติกส์

- มีทั้งแบบ ON-OFF-ON (ไฟหลวง-หยุด-ไฟปั่น) และ ON-ON (ไฟหลวง - ไฟปั่น)

- มีการป้องกันแหล่ง จ่ายไฟ 2 แหล่ง ชนกันโดยระบบ Mechanical interlock ทำให้มั่นใจได้ถึงความปลอดภัย

- สามารถกำหนดเลือกแหล่ง จ่ายไฟหลักได้เอง ในกรณี ที่แหล่งจ่ายไฟ 2 แหล่งมีไฟมาพร้อมกันระบบจะเลือกไฟจากแหล่ง จ่ายตามที่เรากำหนด

- การต่อวงจรใช้งาน ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รุ่น ON-ON เพราะ ที่แผงคอนโทรลจะมีแค่เทอร์มินัลแค่ 4 ตัว โดย 2 ตัวแรกสำหรับ ต่อไฟการไฟฟ้า (L-N) อีก สองตัวสำหรับต่อไฟปั่นส่วนแผงเพาว์เวอร์จะมีอยู่ 9 เทอร์มินัลโดย 3 ตัวแรก ต่อไฟการไฟฟ้า 3 เฟส, 3 ตัว ต่อไปต่อไฟปั่น 3 เฟส และ 3 ตัวสุดท้ายต่อไปจ่ายโหลด (LOAD)

- มีด้ามโยก (handle) สำหรับ ลูกค้าที่จะเอาไปใช้สับจ่ายไฟด้วยมือ (Manual Transfer)

- การสับจ่ายไฟแบบ Manual นั้น ถ้า ไม่จำเป็นจริง ๆ แล้วไม่ควรใช้ด้ามโยก (handle) ในการสับจ่าย เพราะจะไม่ปลอดภัยแต่ควรทำโดยการต่อสวิทซ์ปุ่มบัตตอน 2 ตัว เข้ากับ แผงคอนโทรลที่มี เทอร์มินัลแค่ 4 ตัว เพื่อทำการสับจ่ายไป ด้วยการกดปุ่ม

- ในตัวแผงแสดงผลและควบคุม ATS จะมี

- คอนแทคไปแจ้งสตาร์ทเครื่องปั่นไฟ ในกรณีที่ไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับ

- อันเดอร์โวล์เทจ (UNDERVOL TAGE) สำหรับ ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟ พร้อมสวิทซ์หน่วงเวลา (TIMER)

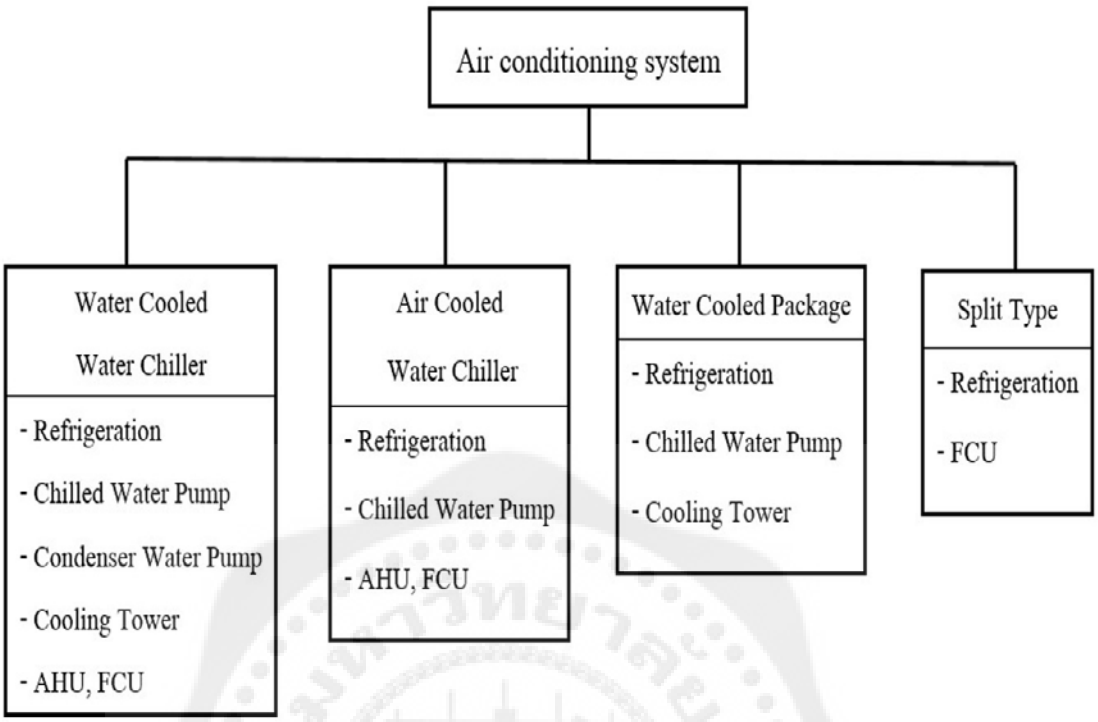
2.6 ระบบอำนวยความสะดวกในศูนย์ข้อมูล

2.6.1 ระบบปรับอากาศ (Air conditioning system)

เป็นส่วนหนึ่งของระบบ HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) หรือระบบควบคุมความเย็นและระบายความร้อนของตัวอาคารซึ่งระบบปรับอากาศเป็นระบบที่จะรักษาสภาวะของอากาศโดยการควบคุม ความชื้น การกระจายลม ความสะอาด และอุณหภูมิของอากาศเพื่อสร้างความสะดวกสบายแก่บุคคลต่างๆที่อาศัยอยู่ในสำนักงาน หรือสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

2.6.1.1 ชนิดและส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ โดยทั่วไประบบปรับอากาศแบ่งได้เป็น 4 ชนิดคือ

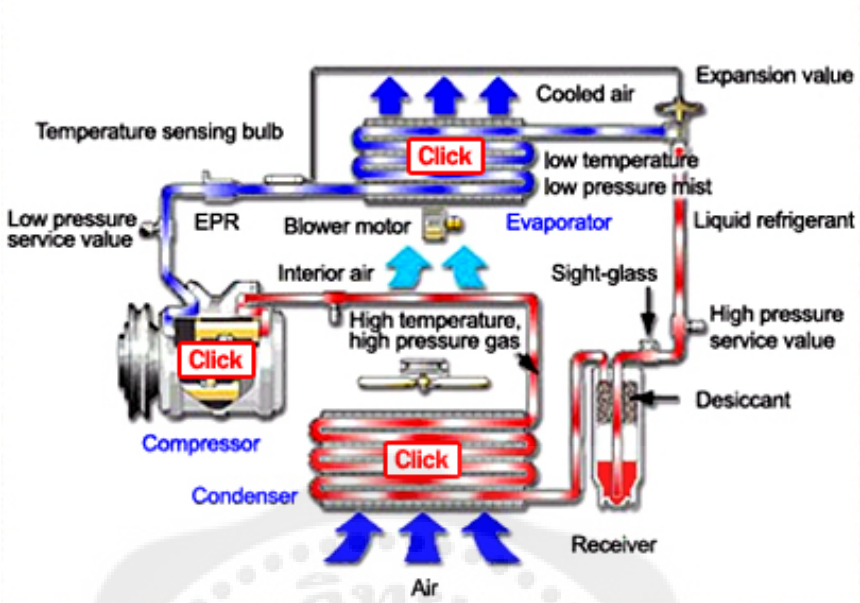
- ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ
- ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วย
- ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ
- ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 2.46 ชนิดและส่วนประกอบของระบบปรับอากาศต่างๆ

2.6.1.2 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water - Chiller)

แบ่งการทำงานออกเป็น 2 รูปแบบคือ วงจรน้ำเย็น และ วงจรระบายน้ำความร้อน โดยวงจรน้ำเย็นเริ่มจากการปั๊มน้ำเย็นแล้วส่งไปรับสารทำความเย็นที่ Evaporator เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการก็ส่งน้ำเย็นไปยังอุปกรณ์จ่ายลมเย็นหลังจากน้ำรับความร้อนจากอากาศที่แลกเปลี่ยนแล้วจะกลับไปรับความเย็นจาก Evaporator อีกครั้งโดยการดูดของปั๊มน้ำเย็น ส่วนวงจรน้ำระบายความร้อนจะเริ่มจากปั๊มน้ำระบายความร้อนและส่งน้ำเข้าไปรับความร้อนจากสารทำความเย็นที่ Condenser ซึ่งน้ำร้อนที่ได้จะถูกส่งไประบายความร้อนที่หอหล่อเย็น (Cooling Tower) ซึ่งที่หอหล่อเย็นนั้นจะถูกระบายความร้อนด้วยอากาศหลังจากอุณหภูมิน้ำลดลงตามต้องการจะถูกส่งไปเข้า Condenser อีกครั้งโดยการดูดของปั๊มน้ำระบายความร้อน



รูปที่ 2.47 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

2.6.1.3 ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Package)

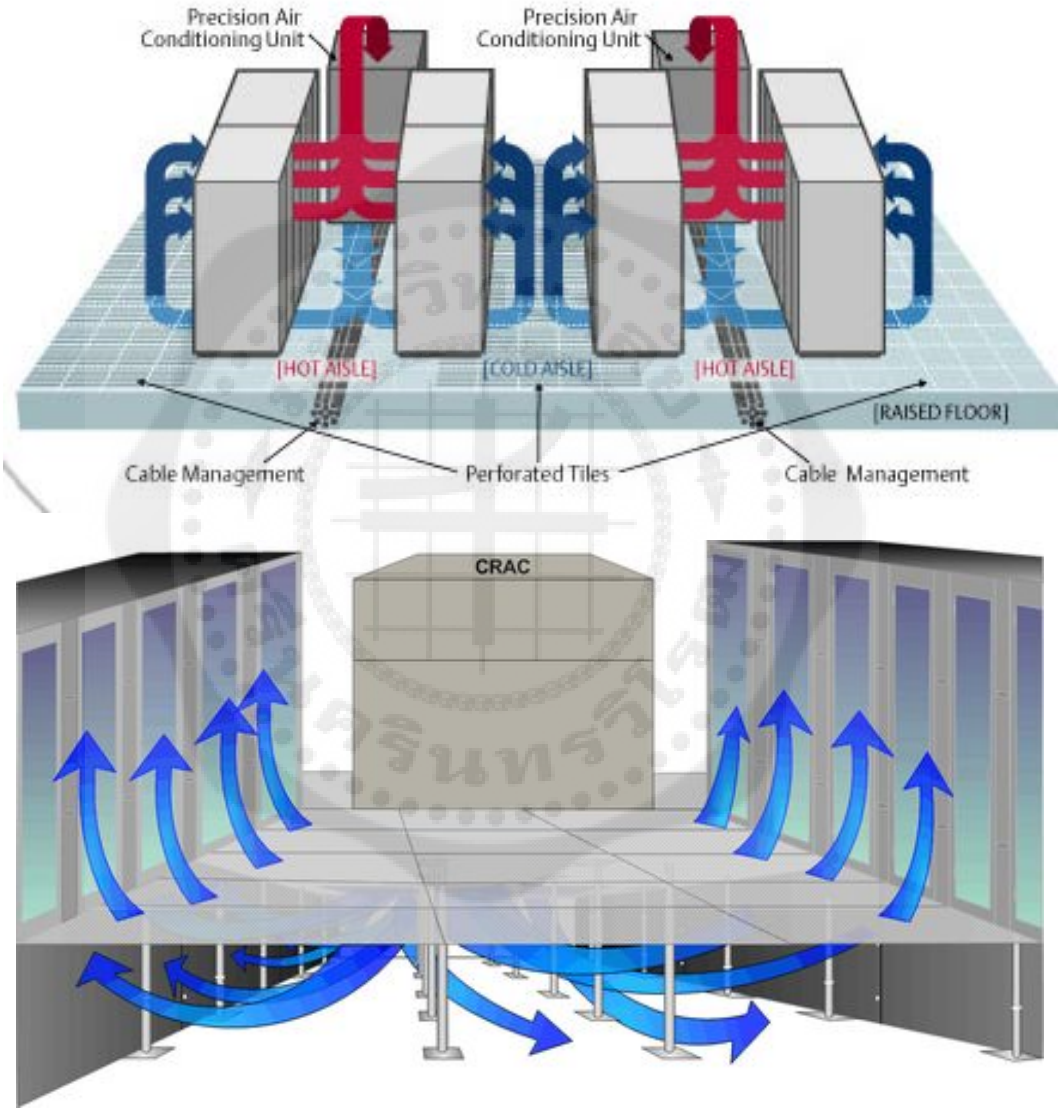
ระบบแบบนี้เป็นระบบขนาดเล็ก โดยระบบทั้งชุดอยู่ภายในบริเวณที่ต้องการใช้งานซึ่งจะมีคอมเพรสเซอรอยู่ภายในด้วยแต่จะมีขดท่อระบายความร้อนด้วยน้ำแยกกันแต่ละชุด ดังนั้นปัญหาของระบบนี้คือการบำรุงรักษาหรือการทำความสะอาดเครื่องควบแน่นซึ่งมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ส่วนระบบปั๊มน้ำระบายความร้อนและหอหล่อเย็นจะเหมือนกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแบบ (Water Cooled Water Chiller) หรือก็คือระบบปรับอากาศแบบ Chiller ที่มีการย่อขนาดลงมานั้นเอง

รูปที่ 2.48 ระบบปรับอากาศแบบ Down floor

ที่มา : Schneider Electric Thailand

2.6.1.4 ระบบปรับอากาศในห้องเซิร์ฟเวอร์และโหลดสำคัญ

การเคลื่อนตัวของอากาศเย็นในห้องเซิร์ฟเวอร์และโหลดสำคัญแบบใต้ทางเดิน โดยอากาศเย็นผ่านทางเดินตามช่องระบายอากาศ เพื่อรับความร้อนจากโหลด แล้วส่งอากาศร้อนกลับเข้าไปยังเครื่องทำความเย็นอีกรอบ



รูปที่ 2.49 การเคลื่อนที่ของอากาศเย็น (สีน้ำเงิน) และอากาศร้อน (สีแดง)
ที่มา : เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ (2554)

2.6.2 ระบบตรวจจับน้ำรั่วซึม

การออกแบบควรออกแบบระบบตรวจจับน้ำรั่วซึม สำหรับภายในศูนย์ สารสนเทศ เพื่อสามารถตรวจจับ และแจ้งเตือนให้ทราบปัญหาการรั่วซึมของน้ำเข้ามายังภายในศูนย์สารสนเทศได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งโครงสร้างของ Sensing cableควรมีความแข็งแรง ทนทานต่อการขูดขีดและไม่นำสัญญาณ แม้ว่าขณะสัมผัสกับโลหะ โดยไม่มีการรั่วซึมของน้ำ การออกแบบติดตั้งควรออกแบบให้มีการวางสายเคเบิลตรวจจับใต้แนวท่อน้ำและใต้เครื่องปรับอากาศควบคุมความชื้น

รูปที่ 2.50 แผงควบคุมอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วซึมของน้ำใต้พื้นยกชนิดระบุระยะได้

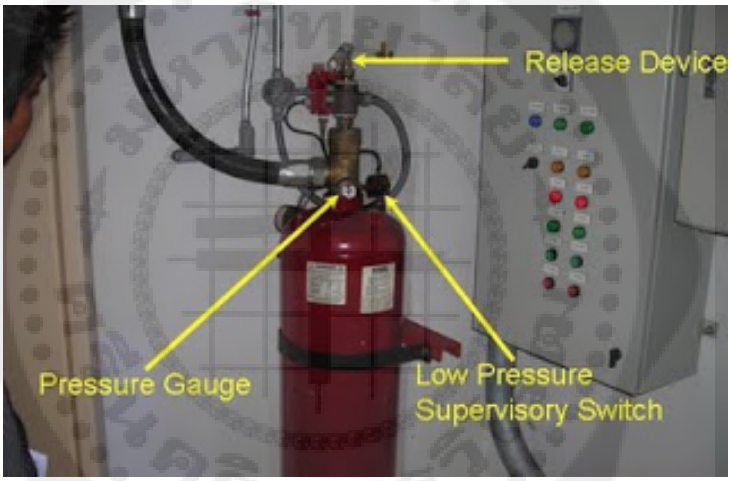
2.6.3 ระบบป้องกันอัคคีภัย

ถือเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการรักษาความน่าเชื่อถือด้านความปลอดภัยทางกายภาพของศูนย์ข้อมูล โดยข้อกำหนดของห้องคอมพิวเตอร์ หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเลคโทรนิคที่มีมูลค่าสูง จำเป็นต้องมีการจัดการกับอัคคีภัยที่เกิดขึ้นได้ทันเวลา เพื่อให้มีค่าความเสียหายกับอุปกรณ์น้อยที่สุดจึงเลือกใช้การดับเพลิงที่หลีกเลี่ยง น้ำในการดับไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเลคโทรนิคที่มีมูลค่าสูง เพื่อรักษาสภาพการทำงานได้อยู่

2.6.3.1 ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ FM-200

ระบบสารสะอาดดับเพลิงที่นิยมใช้กันในปัจจุบันนั้นมีด้วยกันหลายชนิดแต่ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นคงจะเป็นสารที่ชื่อว่า "FM-200" หรือมีชื่อทางเคมีว่า Heptafluoropropane ซึ่งถือว่าเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงสูงตัวหนึ่งและชื่อก็บ่งบอกแล้วว่าเป็นสารสะอาดดังนั้นจะพบว่าเรามักจะใช้ FM-200 สำหรับดับเพลิงที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเลคโทรนิคที่มีมูลค่าสูง และบริเวณพื้นที่ห้องที่มีความสำคัญๆ ได้แก่ ห้องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ ห้องควบคุมระบบโทรคมนาคม หรือห้องที่เก็บสินค้าหรือทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูงสำหรับส่วนประกอบของระบบที่สำคัญๆนั้นได้แก่

- ถังบรรจุแก๊ส (Gas Cylinder)



รูปที่ 2.51 ถังบรรจุแก๊ส (Gas Cylinder)

ตัวถังผลิตจาก Carbon Steel Alloy สีแดง ที่หัวถังจะต้องมีมาตรวัดแรงดัน (Pressure Gauge) พร้อมอุปกรณ์เช็คแรงดันในถัง (Low Pressure Supervisory Switch) นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์ปล่อยแก๊ส (Release Device) เป็นแบบ Gas Valve Assembly ซึ่งถูกออกแบบให้ทำงานเพื่อฉีดแก๊ส FM-200 โดยผ่าน Solenoid Valve เท่านั้น โดยถังบรรจุจะต้องวางอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกต่อการตรวจสอบ ทดสอบและการบำรุงรักษา นอกจากนี้ควรอยู่ใกล้กับพื้นที่ป้องกันนั้นๆ ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการทดสอบ และการตอบสนองในสภาวะฉุกเฉิน

- ท่อและอุปกรณ์ประกอบ (Pipe and accessories)

โดยท่อข้อต่อและวาล์วต้องทำจากวัสดุที่แข็งแรงทนทานและจะต้องทนความดันใช้งานได้ไม่น้อย กว่าความดันภายในที่เกิดขึ้นภายในถังบรรจุที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 55 องศาเซลเซียส

- หัวฉีดแก๊ส (Discharge Nozzle)

รูปที่ 2.52 หัวฉีดแก๊ส (Discharge Nozzle)

หัวฉีดถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถปล่อยสารดับเพลิงภายในเวลาไม่เกิน 10 วินาที หัวสารดับเพลิงจะทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อน เช่น อลูมิเนียม,เหล็กกล้าไร้สนิม และทองเหลือง สามารถฉีดได้รอบตัว 360 องศา หรือ 180 องศา

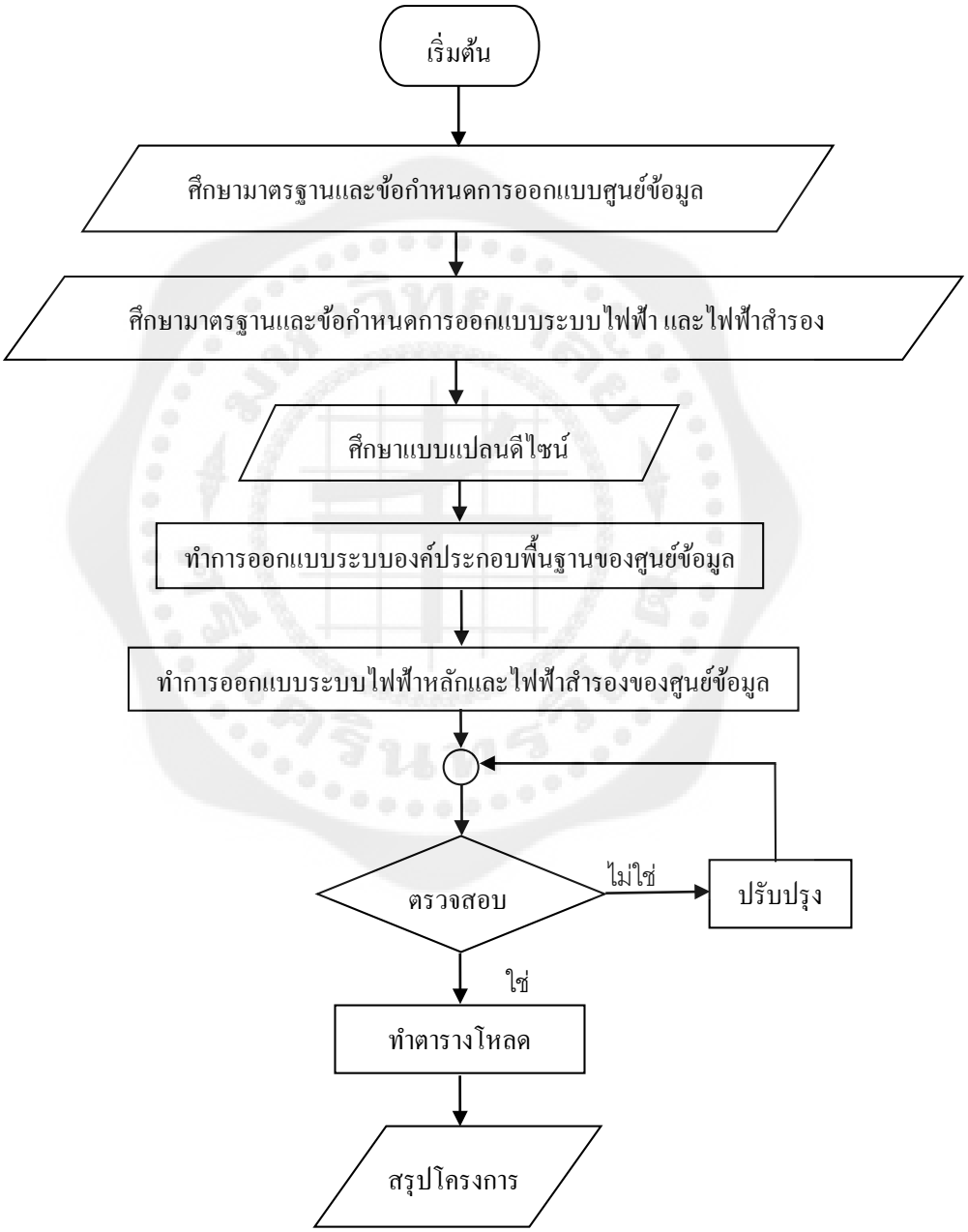
- ระบบตรวจจับ สั่งการและควบคุม

การควบคุมการทำงานของระบบใช้ระบบตรวจจับแบบอัตโนมัติ ซึ่งนิยมใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับควันซึ่งการสั่งการให้สามารถทำได้ทั้งระบบ อัตโนมัติและด้วยมือ นอกจากนี้แล้วจะต้องมีระบบเตือนทั้งเสียงและแสง ก่อนที่แก๊สจะถูกฉีดออกมาจากถังบรรจุ โดยตู้ควบคุมจะควบคุมการทำงานของระบบด้วย Microprocessor ซึ่งจะควบคุมการทำงานของ Detector แบบ Cross Zone เสียงสัญญาณแจ้งเตือน,Manual Station, Pressure Switch และชุดสั่งการฉีดแก๊สสำหรับ การทดสอบระบบนั้น

บทที่ 3

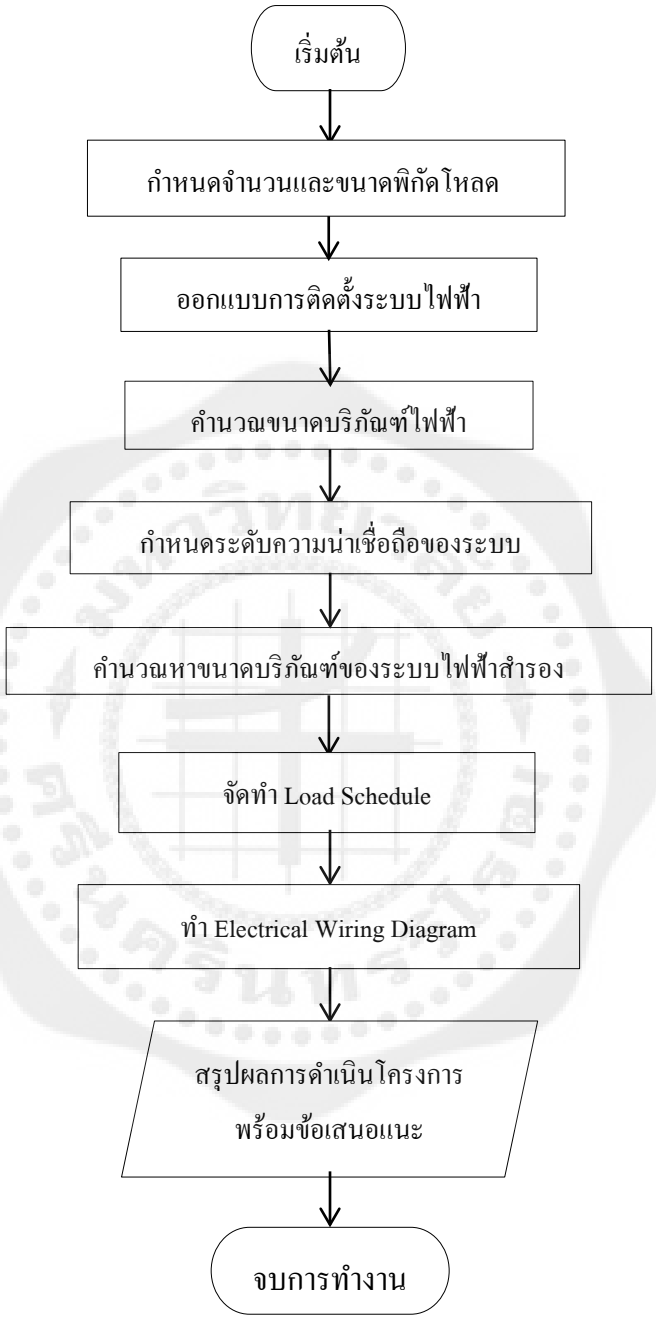
หลักการออกแบบ

3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

3.3 แผนผังระยะเวลาการทำโครงงาน

ตารางที่ 3.1 แผนผังระยะเวลาการดำเนินการ

ขั้นตอน	**ระยะเวลา (เดือน)**									
	ส.ค. 2557	ก.ย. 2557	ต.ค. 2557	พ.ย. 2557	ธ.ค. 2557	ม.ค. 2558	ก.พ. 2558	มี.ค. 2558	เม.ย. 2558	พ.ค. 2558
ศึกษาข้อมูล										
ทำความเข้าใจในแปลน										
ออกแบบระบบพื้นฐาน										
ออกแบบระบบไฟฟ้าหลัก										
ออกแบบระบบไฟฟ้าสำรอง										
ตรวจสอบการออกแบบ										
ทำตารางโหลด										
สรุปผลการออกแบบ										

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหากระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 1 เฟส

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

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหากระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

$$I=\frac{S}{\sqrt{3}\times V}$$

สูตรที่ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

$$S=\frac{BTU}{EER\times PF.}$$

สูตรประสิทธิภาพการใช้พลังงาน -Power Usage Effectiveness (PUE)

$$\text{PUE} = \frac{\text{ผลรวมพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ}}{\text{ผลรวมพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ } IT}$$

4.2 ตัวอย่างการคำนวณโหลดวงจรย่อยพอสังเขป

4.2.1 การคำนวณหาโหลดวงจรย่อยแสงสว่าง

วงจรย่อยแสงสว่าง LT 1

ปริมาณที่ใช้ทั้งหมด $S = 6 \times 111.11$

$= 666.66$ VA

กระแสที่ใช้ทั้งหมด $I = \frac{S}{V}$

$= \frac{666.66}{400\sqrt{3}}$

$= 0.96$ A

เผื่อกระแส 25% $I = 0.96 \times 1.25$

$= 1.2$ A

เลือกใช้

- Circuit Breaker ขนาด 15AT/30AF Y
- ตัวนำสายไฟฟ้า T-4 (THW) ขนาด $3 \times 2.5 mm^2$
- ขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟ $4 \times 14.5 = 17.2 mm^2$
- ท่อชนิด HDPE ขนาด 25 mm

4.2.2 การคำนวณหาโหลดวงจรย่อย ตู้อุปกรณ์ IT

วงจรย่อย Rack 1.1

ปริมาณที่ใช้ทั้งหมด $S = 2,000$ VA

กระแสที่ใช้ทั้งหมด $I = \frac{S}{V}$

$= \frac{2,000}{230}$

$= 8.7$ A

เผื่อกระแส 25% $I = 8.7 \times 1.25$

$= 10.87$ A

เลือกใช้

- Circuit Breaker ขนาด 15AT/50AF
- ตัวนำสายไฟฟ้า NYY ขนาด $2\times4\text{mm}^2$
- ท่อชนิด IMC ขนาด 25 mm

4.2.3 การคำนวณหาโหลดวงจรย่อย UNIT LOAD IT

วงจรย่อย UL-1A

ปริมาณที่ใช้ทั้งหมด $S = 9\times2,000$

$= 1,800$ VA

กระแสที่ใช้ทั้งหมด $I = \frac{S}{V}$

$= \frac{18,000}{400\sqrt{3}}$

$= 25.98$ A

เผื่อกระแส 25% $I = 25.98\times1.25$

$= 32.5$ A

เลือกใช้

- Circuit Breaker ขนาด 40AT/50AF
- ตัวนำสายไฟฟ้า NYY ขนาด $4\times10\text{mm}^2$
- ท่อชนิด IMC ขนาด 32 mm

4.2.4 การคำนวณหาโหลดวงจรย่อย Power Distribution Unit

วงจรย่อย PDU-1A

ปริมาณที่ใช้ทั้งหมด $S = 3\times18,000$

$= 54,000$ VA

กระแสที่ใช้ทั้งหมด $I = \frac{S}{V}$

$= \frac{54,000}{400\sqrt{3}}$

$= 77.94$ A

เผื่อกระแส 25% $I = 77.94 \times 1.25$

$= 97.43$ A

เลือกใช้

- Circuit Breaker ขนาด 100AT/250AF
- ตัวนำสายไฟฟ้า NYY ขนาด $4 \times 10 mm^2$
- ท่อชนิด IMC ขนาด 32 mm

4.2.5 การคำนวณหาโหลดวงจรย่อย Computer Room Distribution Board

วงจรย่อย CRDB-1A

ปริมาณที่ใช้ทั้งหมด $S = 6 \times 54,000$

$= 324,000$ VA

กระแสที่ใช้ทั้งหมด $I = \frac{S}{V}$

$= \frac{324,000}{400\sqrt{3}}$

$= 467.65$ A

เผื่อกระแส 25% $I = 467.65 \times 1.25$

$= 584.56$ A

เลือกใช้

- Circuit Breaker ขนาด 630AT/800AF
- ตัวนำสายไฟฟ้า NYY ขนาด $4 \times 10 mm^{2\,2}$
- รางเดินสายขนาด 100×100mm

4.2.6 การคำนวณหาภาระความเย็นของห้องเซิฟเวอร์ (BTU)

จากสมการ BTU = กว้าง x ยาว x สูง x ค่า Q (ภาคผนวก ฉ)

จากห้องขนาด = $22 \times 40 \times 4$mm.

4.2.7 การคำนวณหาค่า Q (Cooling Load)

4.2.7.1 การคำนวณภาระจากผนัง Q1

จากสมการ Q1 = $(A) \times (U) \times (\Delta T)$

ผนัง ยิปซั่ม มีค่าการนำพาความร้อน (U) = 0.19

ปริมาตรของห้อง = 22 x 40 mm^2

= 880 mm^2

ช่วงของอุณหภูมิΔT = (25-22)^oc

= 3^oc

จะได้ Q1 = 880 x 0.19 x 3

= 441,408 W หรือ 441.4 kW

4.2.7.2 คำนวณภาระจากอากาศภายนอก Q2

จากสมการ Q2 = (อัตราที่อากาศเข้ามาL/S) x (เอนทาลปีที่เปลี่ยนแปลง kJ/L)

จากห้องขนาด = 22 x 40 x 4

= 3,520 mm^3

ดังนั้น

อัตราที่อากาศเข้ามา L/s = 27.1

เอนทาลปีของอากาศ = 0.0451 kJ/L

จะได้ Q2 = 27.1 x 0.0451

= 1.223 kW

4.2.7.3 คำนวณภาระจากตัวสินค้า Q3

จากสมการ Product Cooling Load = $(m) \times (C_p) \times (\Delta T)$

เนื่องจากห้อง Data Center เป็นโหลดที่ห้ามดับดังนั้นอุณหภูมิของตัวอุปกรณ์จึงไม่เปลี่ยนแปลง

4.2.7.4 คำนวณหา Q 4 ความร้อนจากอุปกรณ์ และจากมนุษย์

4.2.7.4.1 ความร้อนจากอุปกรณ์ **Q (Watts) = (Watts) x (hours) / (24 hours)**

= 90 x 2,000x 24/24

= 180,000 W หรือ 180 kW

4.2.7.4.2 ความร้อนจากตัวคนในห้องหาได้จาก

Q (kW) = (No. of People) x (Heat Equivalent kW/People) x (Hours - Occupied) / (24 Hours)

Heat Equivalent **People**	=	**145 W หรือ 0.145 kW**
No. of People	=	**2**
Hours Occupied	=	**4**
	=	**145 x 2 x 4**
	=	**1,160 W หรือ 1.16 kW**

ดังนั้น

Total Cooling Load $(\sum Q)$	=	**441.4 + 1.223 + 180 + 1.16**
	=	**623.78 kW**

4.2.7.5.คำนวณภาระความเย็น BTU

จากสมการ	BTU	=	กว้าง x ยาว x สูง x ค่า Q (ภาคผนวก ฉ)
		=	**10 x 30 x 4 x 623.78**
		=	**750,000 BTU**

ใช้แอร์ขนาด 100,000 BTU จำนวน 8 ตัว

=	**100,000 x 8**	
=	**800,000 BTU**	

4.2.8 การคำนวณหาโหลดวงจรย่อย เครื่องปรับอากาศ ALC

วงจรย่อย CRAC

จำนวนโหลดทั้งหมด	**ใช้แอร์ขนาด**		**100,000**	**BTU**
ปริมาณที่ใช้ทั้งหมด	S	=	16.5	kVA
กระแสที่ใช้ทั้งหมด	I	=	S x 1.443 x 10^{-3}	
		=	16,500 x 1.443 x 10^{-3}	
	I	=	23.80	A
เผื่อกระแส 25%	I_{CB}	=	23.80 x 1.25	
	I_{CB}	=	29.75	A

เลือกใช้

- Circuit Breaker ขนาด 30AT/50AF
- เลือกใช้สายไฟฟ้าขนาด 10 mm.

4.2.9 การคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงาน PUE

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในระบบประมาณ	596,000	VA
พลังงานไฟฟ้าของโหลด IT ประมาณ	360,000	VA

$$\text{PUE} = \frac{\text{ผลรวมพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ}}{\text{ผลรวมพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ } IT}$$

$$\text{PUE} = \frac{596,000}{360,000} = 1.655$$

PUE	Level of Efficiency
3.0	Very Inefficient
2.5	Inefficient
2.0	Average
1.5	Efficient
1.2	Very Efficient

จากตารางข้างต้น อ้างอิงจาก รูปที่ 2.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานหน้าที่ 14 จะเห็นค่าที่ได้จากการคำนวณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือ PUE = 1.655 Result AVERAGE

4.3 ตัวอย่างแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าพอสังเขป

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ UL 1A

LOAD SCHEDULE											
Project : Data Center											
Panel No. : UL 1A			Location: Server Room				System: 3P 4W SN 400/230V				
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		Conduit	
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	Dia.	Type
1	Rack 1.1	2000			20/50	1	10	4	NYY	25	IMC
3	Rack 1.2		2000		20/50			4	NYY	25	IMC
5	Rack 1.3			2000	20/50			4	NYY	25	IMC
2	Rack 1.4	2000			20/50			4	NYY	25	IMC
4	Rack 1.5		2000		20/50			4	NYY	25	IMC
6	Rack 1.6			2000	20/50			4	NYY	25	IMC
7	Rack 1.7	2000			20/50			4	NYY	25	IMC
9	Rack 1.8		2000		20/50			4	NYY	25	IMC
11	Rack 1.9			2000	20/50			4	NYY	25	IMC
8	Spare	-			20/50			4	NYY	25	IMC
10	Space		-					-	-	-	-
12	Space			-				-	-	-	-
13											
15											
17											
14											
16											
18											
19											
21											
23											
20											
22											
24											
	At Demand Factor 100%	6,000	6,000	6,000	Main MCCB 3P 40 AT / 50 AF						
	Total Demand Load 100%	18,000									

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ PDU 1A

LOAD SCHEDULE												
Project : Data Center												
Panel No. : PDU 1A				Location: Server Room				System: 3P 4W SN 400/230V				
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		Conduit		
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	Dia.	Type	
1	UL 1	6000			40/50	3	10	10	NYY	32	IMC	
3			6000					10	NYY	32	IMC	
5				6000				10	NYY	32	IMC	
2	UL 2	6000			40/50	3	10	10	NYY	32	IMC	
4			6000					10	NYY	32	IMC	
6				6000				10	NYY	32	IMC	
7	UL 3	6000			40/50	3	10	10	NYY	32	IMC	
9			6000					10	NYY	32	IMC	
11				6000				10	NYY	32	IMC	
8	Spare	-						10	NYY	32	IMC	
10			-					10	NYY	32	IMC	
12				-				10	NYY	32	IMC	
13												
15												
17												
14												
16												
18												
19												
21												
23												
20												
22												
24												
	At Demand Factor 100%	18,000	18,000	18,000	Main MCCB 3P							
	Total Demand Load 100%	54,000			70 AT / 200 AF							

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ CDB-Source A

LOAD SCHEDULE										
Project : Data Center										
Panel No. : CDB-Source A			Location: Server Room					System: 3P 4W SN 400/230V		
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		wire way
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	SIZE (mm.)
1	PDU A1	18000			100/250	3	10	25	NYY	100x100
3			18000					25	NYY	
5				18000				25	NYY	
2	PDU A2	18000			100/250	3	10	25	NYY	
4			18000					25	NYY	
6				18000				25	NYY	
7	PDU A3	18000			100/250	3	10	25	NYY	
9			18000					25	NYY	
11				18000				25	NYY	
8	PDU A4	18000			100/250	3	10	25	NYY	200x100
10			18000					25	NYY	
12				18000				25	NYY	
13	PDU A5	18000			100/250	3	10	25	NYY	
15			18000					25	NYY	
17				18000				25	NYY	
14	PDU A6	18000			100/250	3	10	25	NYY	
16			18000					25	NYY	
18				18000				25	NYY	
19	PDU A7 (spare)	18000			100/250	3	10	25	NYY	
21			18000					25	NYY	
23				18000				25	NYY	
20										
22										
24										
	At Demand Factor 100%	108000	108000	108000	Main MCCB 3P 500 AT / 630 AF					
	Total Demand Load 100%	324000								

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ MUP-1A

LOAD SCHEDULE										
Project : Data Center										
Panel No. : MUP-1A			Location: UPS Room				System: 3P 4W SN 400/230V			
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		wire way
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	SIZE (mm.)
1	UPS-1	75,000			500/630	3	20	2x70	NYY	100 x 100
3			75,000					2x70	NYY	
5				75,000				2x70	NYY	
2	UPS-2	75,000			500/630	3	20	2x70	NYY	100 x 100
4			75,000					2x70	NYY	
6				75,000				2x70	NYY	
7	UPS-3	-			500/630	3	20	2x70	NYY	100 x 100
9			-					2x70	NYY	
11				-				2x70	NYY	
8	Spare	-			500/630	3	20	-	-	-
10			-					-	-	
12				-				-	-	
13	Spare	-			500/630	3	20	-	-	-
15			-					-	-	
17				-				-	-	
14										
16										
18										
19										
21										
23										
20										
22										
24										
	At Demand Factor 100%	150,000	150,000	150,000	Main MCCB 3P					
	Total Demand Load 100%	450,000			900 AT / 1,500 AF					

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ EMDB

LOAD SCHEDULE										
Project : Data Center										
Panel No. : EMDB			Location: MDB Room				System: 3P 4W SN 400/230V			
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		wire way
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	SIZE (mm.)
1	MUP-1A	150000			900/ 1200	3	20	3x300	NYY	3x125
3			150000					3x300	NYY	3x125
5				150000				3x300	NYY	3x125
2	MUP-2A	-			900/ 1200	3		3x300	NYY	3x125
4			-					3x300	NYY	3x125
6				-				3x300	NYY	3x125
7	spare	-			-	-		-	-	-
9			-					-	-	-
11				-				-	-	-
8	spare	-			-	-		-	-	-
10			-					-	-	-
12				-				-	-	-
13										
15										
17										
14										
16										
18										
19										
21										
23										
20										
22										
24										
	At Demand Factor 100%	150,000	150,000	150,000	**Main MCCB 3P 1000 AT / 1200 AF**					
	Total Demand Load 100%	450,000								

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ ELT-SERVER

LOAD SCHEDULE											
Project : Data Center											
Panel No. : ELT-SERVER			Location: Control Room					System: 3P 4W SN 400/230V			
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		Conduit	
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	Dia.	Type
1	PLUG 1	5,000			30/50	1		10	VAF	-	-
3	PLUG 2		5,000		30/50	1		10	VAF	-	-
5	HOT PLUG			5,000	30/50	1		10	VAF	-	-
2	Lighting 1	666.66			15/30	1		2.5	VAF	-	-
4	Lighting 2		666.66		15/30	1		2.5	VAF	-	-
6	Lighting3			666.66	15/30	1		2.5	VAF	-	-
7	Lighting 4	666.66			15/30	1		2.5	VAF	-	-
9	Lighting 5		666.66		15/30	1		2.5	VAF	-	-
11	Lighting 6			666.66	15/30	1	10	2.5	VAF	-	-
8	Lighting 7	666.66			15/30	1		2.5	VAF	-	-
10	Lighting 8		666.66		15/30	1		2.5	VAF	-	-
12	Lighting 9			666.66	15/30	1		2.5	VAF	-	-
13	Lighting 10	666.66			15/30	1		2.5	VAF	-	-
15	Lighting 11		666.66		15/30	1		2.5	VAF	-	-
17	Lighting 12			666.66	15/30	1		2.5	VAF	-	-
14	Spare	-			-	-		2.5	VAF	-	-
16	Spare		-		-	-		2.5	VAF	-	-
18	Spare			-	-	-		2.5	VAF	-	-
19											
21											
23											
20											
22											
24											
	At Demand Factor 100%	7,666.64	7,666.64	7,666.64	Main MCCB 3P						
	Total Demand Load 100%	22,999.92			50 AT / 63 AF						

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ DB-ESSENTIAL

LOAD SCHEDULE											
Project : Data Center											
Panel No. : DB-ESSENTIAL			Location: Control Room					System: 3P 4W SN 400/230V			
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		wire way	
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	SIZE (mm.)	
1	ELT-Server	7,666.64			50/63	3		16	NYY	50 x 50	
3			7,666.64					16	NYY		
5				7,666.64				16	NYY		
2	ADMIN-ROOM	10,100			50/63	3		16	NYY	50 x 50	
4			10,100					16	NYY		
6				10,100				16	NYY		
7	SECURITY-ROOM	960			10/15	3	10	4	NYY	50 x 50	
9			960					4	NYY		
11				960				4	NYY		
8	Office LC	3400			50/63	3		16	NYY	50 x 50	
10			3400					16	NYY		
12				3400				16	NYY		
13	Spare	-			15/30	1		-	-	-	
15	Spare		-		15/30	1		-	-	-	
17	Spare			-	15/30	1		-	-	-	
14											
16											
18											
19											
21											
23											
20											
22											
24											
	At Demand Factor 100%	22,126	22,126	22,126	Main MCCB 3P 130 AT / 150 AF						
	Total Demand Load 100%	67,000									

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ ALC-A

LOAD SCHEDULE											
Project : Data Center											
Panel No. : ALC-A			Location: Control Room					System: 3P 4W SN 400/230V			
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		wire way	
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	Zone	SIZE (mm.)
1	CRAC 1	5,500			30/63	3	10	10	NYY	A	100 X 100
3			5,500					10	NYY		
5				5,500				10	NYY		
2	CRAC 2	5,500			30/63	3	10	10	NYY	A	
4			5,500					10	NYY		
6				5,500				10	NYY		
7	CRAC 3	5,500			30/63	3	10	10	NYY	B	100 X 100
9			5,500					10	NYY		
11				5,500				10	NYY		
8	CRAC 4	5,500			30/63	3	10	10	NYY	B	
10			5,500					10	NYY		
12				5,500				10	NYY		
13	CRAC 5	5,500			30/63	3	10	10	NYY	C	100 X 100
15			5,500					10	NYY		
17				5,500				10	NYY		
14	CRAC 6	5,500			30/63	3	10	10	NYY	C	
16			5,500					10	NYY		
18				5,500				10	NYY		
19	CRAC 7	5,500			30/63	3	10	10	NYY	D	100 X 100
21			5,500					10	NYY		
23				5,500				10	NYY		
20	CRAC 8	5,500			30/63	3	10	10	NYY	D	
22			5,500					10	NYY		
24				5,500				10	NYY		
	At Demand Factor 100%	44,000	44,000	44,000	Main MCCB 3P 250 AT / 400 AF						
	Total Demand Load 100%	132,000									

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ MUP-3A

LOAD SCHEDULE										
Project : Data Center										
Panel No. : MUP-3A			Location: UPS Room (A/C)				System: 3P 4W SN 400/230V			
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		wire way
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	SIZE (mm.)
1	UPS-1	35,000			200/630	3	20	2x70	NYY	100 x 100
3			35,000					2x70	NYY	
5				35,000				2x70	NYY	
2	UPS-2	35,000			200/630	3	20	2x70	NYY	100 x 100
4			35,000					2x70	NYY	
6				35,000				2x70	NYY	
7	UPS-3	-			200/630	3	20	2x70	NYY	100 x 100
9			-					2x70	NYY	
11				-				2x70	NYY	
8	Spare	-			200/630	3	20	-	-	-
10			-					-	-	
12				-				-	-	
13	Spare	-			200/630	3	20	-	-	-
15			-					-	-	
17				-				-	-	
14										
16										
18										
19										
21										
23										
20										
22										
24										
	At Demand Factor 100%	70,000	70,000	70,000	Main MCCB 3P 400 AT / 630 AF					
	Total Demand Load 100%	210,000								

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงการจัดทำตารางโหลดไฟฟ้าตู้ MDB

LOAD SCHEDULE										
Project : Data Center										
Panel No. : MDB			Location: MDB Room				System: 3P 4W SN 400/230V			
CKT No.	Description	Connected Load in (VA)			Branch CB			Conductors		wire way
		Phase A	Phase B	Phase C	AT/AF (A)	Pole	IC (kA)	SIZE (mm.)	Type	SIZE (mm.)
1	DB-SERVICE	19300			120/ 150	3	18	25	NYY	150
3			19300					25	NYY	
5				19300				25	NYY	
2	DB-ESSENTIAL	23000			130/ 150	3	18	95	NYY	150
4			23000					95	NYY	
6				23000				95	NYY	
7	MUP-3A	70000			400/ 630	3	20	3x120	NYY	3x150
9			70000					3x120	NYY	3x150
11				70000				3x120	NYY	3x150
8	EMDB	150000			1000/1200	3	50	BUS BAR IN CASE		
10			150000							
12				150000						
13										
15										
17										
14										
16										
18										
19										
21										
23										
20										
22										
24										
	At Demand Factor 100%	262,300	262,300	262,300	Main MCCB 3P 1500 AT / 1600 AF Ic <= 65 kA					
	Total Demand Load 100%	786,900								

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับดาต้าเซนเตอร์หรือโหลดวิกฤต โดยใช้โปรแกรม AutoCAD ช่วยในการเขียนแบบระบบไฟฟ้า โดยการออกแบบระบบไฟฟ้าหลักอยู่ภายใต้มาตรฐานสากล TIA-942 , IEEE-1100 และมาตรฐานของประเทศไทย (EIT) ในร่างมาตรฐานดาต้าเซนเตอร์และทำการออกแบบสายไฟฟ้า ขนาดท่อร้อย-สาย เซอกิตเบรกเกอร์ และขนาดของหม้อแปลงที่เหมาะสมกับโหลด รวมทั้งออกแบบระบบป้องกันไฟฟ้าขาดช่วงหรือระบบไฟฟ้าสำรอง

จากการออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับดาต้าเซนเตอร์ สามารถนำแบบงานทางด้านไฟฟ้าใช้ดัดแปลงในงานเพื่อความเหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับจ่ายโหลดที่สำคัญหรือโหลดวิกฤติ ซึ่งในโครงงานนี้ได้ทำการออกแบบโดยคำนึงถึงความมีเสถียรภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบให้มากที่สุด

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน

- มาตรฐานสำหรับดาต้าเซนเตอร์ จะประกอบจากหนังสือมาตรฐานจากหลายแหล่งข้อมูล ทำให้เกิดความสับสนในการเชื่อมข้อมูลในแต่ละมาตรฐานให้เข้ากัน
- งานจำลองออกแบบงานโครงสร้างพื้นฐานองค์รวม (Infrastructure System) ประกอบกันหลากหลายสาขาวิศวกรรม เช่น ระบบเครื่องกล ระบบโครงสร้างอาคาร ระบบการจัดการ จึงทำให้ต้องศึกษาในส่วนงานของระบบอื่นนอกเหนือจาก ความรู้ทางด้านไฟฟ้า

5.3 ข้อเสนอแนะ

โครงงานออกแบบระบบดาต้าเซนเตอร์นี้ แสดงให้เห็นถึงการออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและไฟฟ้าสำรองเพียงพื้นฐานตามทฤษฎีเท่านั้น หากนำไปใช้ในงานจริง ควรคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทางด้านความคุ้มค่าจากผลตอบแทน และปัจจัยอื่นประกอบด้วย

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ วีระโพธิ์ประสิทธิ์. (2555). มาตรฐานท่อร้อยสายไฟและการเดินสายไฟ. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศ-ไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า. (2548). ระบบเคเบิ้ลใต้ดิน. กรุงเทพฯ : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.

เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ ; และคณะ. (2554). พื้นฐานการทำงานของเครื่องปรับอากาศ. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

จอมทัพ จอมคำ ; และคณะ. (2555). การออกแบบระบบไฟฟ้าและแสงสว่างสำหรับบ้านพักตากอากาศ.ปริญญานิพนธ์ วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ถาวร อมตกิตต์ ; และคณะ. (2554). การควบคุมคุณภาพไฟฟ้าและระบบสนับสนุนสำหรับระบบคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

นครินทร์ หุ่นทอง. (2554) .บทเรียนออนไลน์ เรื่อง หลักการพื้นฐานและชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า. กรุงเทพฯ :โรงเรียนเซนต์จอห์นโปลีเทคนิค.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2545). การออกแบบระบบไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จี.บี.พี. เซนเตอร์.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2556). การออกแบบระบบไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: จี.บี.พี. เซนเตอร์.

รัตนชัย รัศมีเวสารัช. (2556). เสถียรภาพระบบศูนย์สารสนเทศฃ. กรุงเทพฯ : เอ็ม.ไอ.ที.อา. คอนเซาท์

วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์ ; และคณะ. (2556). มาตรฐานการต่อลงดินของระบบอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์ ; และคณะ. (2553). มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาคที่ 4 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่ง-ปลูกสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

สำเริง ฮินท่าไม้. (2554). พื้นฐานการต่อลงดิน. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

อภิรัตน์ บางศิริ. (2552). เขียนแบบทางวิศวกรรมไฟฟ้า และสถาปัตยกรรมด้วย AutoCAD 2010. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ซัคเซส มีเดีย.

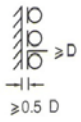
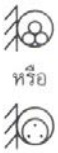
James W. Grice, Lathrop & Gage. (2012). Green grid and Power Usage Effectiveness.

TIA Engineering Subcommittee. (Releases 2014). ANSI/TIA-942 Telecommunications Infrastructure Standards for Data Centers. USA : Advancing global communications.

TIA Engineering Subcommittee. (Releases 2013). TIA-607 Telecommunication Bonding and grounding. USA : Advancing global communications.

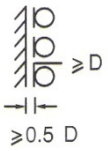
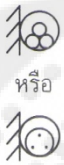
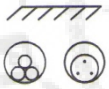
ภาคผนวก

ตารางที่ ก ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก. 11-2531 อุณหภูมิตัวนำ 70ºC ขนาดแรงดัน 300V และ 750V อุณหภูมิโดยรอบ 40ºC (สำหรับวิธีเดินสาย ก-ค) และ 30ºC (สำหรับ วิธีการเดินสาย ง และ จ)

ขนาดสาย (mm²)	ขนาดกระแส (A)						
	วิธีการเดินสาย						
							
	ก	ข	ค		ง		จ
			ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
0.5	9	8	8	7	10	9	-
1	14	11	11	10	15	13	21
1.5	17	15	14	13	18	16	26
2.5	23	20	18	17	24	21	34
4	31	27	24	23	32	28	45
6	42	35	31	30	42	36	56
10	60	50	43	42	58	50	75
16	81	66	56	54	77	65	97
25	111	89	77	74	103	87	125
35	137	110	95	91	126	105	150
50	169	-	119	114	156	129	177
70	217	-	148	141	195	160	216
95	271	-	187	180	242	200	259
120	316	-	214	205	279	228	294
150	364	-	251	236	322	259	330
185	424	-	287	269	370	296	372
240	509	-	344	329	440	352	431
300	592	-	400	373	508	400	487
400	696	-	474	416	599	455	552
500	818	-	541	469	684	516	623

หมายเหตุ

1. D = เส้นผ่านศูนย์กลางของสายไฟฟ้า
2. ชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้ง เป็นไปดังนี้

วิธีการเดินสาย	รูปแบบการติดตั้ง	ชนิดของตัวนำและรูปแบบการติดตั้ง
ก		สายแกนเดียวหุ้มฉนวนเดินในอากาศ
ข		สายแบนหุ้มฉนวนมีเปลือกเดินเกาะผนัง
ค		สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้นหรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน เดินในท่อในอากาศ ในท่อฝังในผนังปูนฉาบ หรือในท่อในฝ้าเพดาน
ง		สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน เดินในท่อฝังดิน
จ		สายแกนเดียวหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 เส้นหรือสายหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 แกน ฝังดินโดยตรง

ตารางที่ ข ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนคลอสลิ้งค์โพลีเอททีลีน อุณหภูมิตัวนำ 90°C ขนาดแรงดัน 600 V อุณหภูมิโดยรอบ 40°C (สำหรับเดินสายในอากาศ) และ 30°C (สำหรับการเดินสายใต้ดิน)

ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดกระแส(A)				
	ลักษณะการใช้งาน				
	ก	ข	ค		ง
	สายเดี่ยวเดินในอากาศ	สายเดี่ยว 3 เส้นเดินในท่อโลหะในอากาศ	สายเดี่ยว 3 เส้นเดินในท่อฝังดิน		สายเดี่ยวไม่เกิน 3 เส้น
			ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
2.5	36	25	31	28	44
4	47	33	41	36	57
6	60	42	52	46	71
10	82	56	70	61	94
16	110	76	93	81	122
25	148	100	123	107	156
35	184	123	151	130	187
50	224	153	184	156	221
70	286	191	230	197	270
95	356	239	285	241	325
120	417	275	329	277	368
150	481	322	380	318	413
185	559	368	436	363	466
240	672	440	518	430	539
300	782	510	615	501	607
400	921	604	734	586	687
500	1080	686	855	685	773

ตารางที่ ค ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง mm (นิ้ว)	พ.ท.หน้าตัด 100% (mm^2)	1 ตัวนำ 53% (mm^2)	2 ตัวนำ 31% (mm^2)	3 ตัวนำขึ้นไป 40% (mm^2)
15 (1/2)	177	94	55	71
20 (3/4)	314	167	97	126
25 (1)	491	260	152	196
32 (1 1/4)	804	426	249	322
40 (1 ½)	1257	666	390	503
50 (2)	1964	1041	609	785
65 (2 ½)	3318	1759	1029	1327
80 (3)	5027	2664	1558	2011
90 (3 ½)	6362	3372	1972	2545
100 (4)	7854	4163	2435	3142
125 (5)	12272	6504	3804	4909
150 (6)	17672	9366	5478	7069

หมายเหตุ

พื้นที่หน้าตัดท่อร้อยสาย คิดจากสูตร

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

โดยที่

A = พื้นที่หน้าตัด (mm^2)

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

ตารางที่ ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า

ขนาดสาย (mm²)	สายตารางที่ 4 (THW)		สายตารางที่ 6 (NYY, 1/C)		สายตารางที่ 7 (NYY, 3/C)		สายตารางที่ 8 (NYY, 3P 4N)		สาย XLPE แรงต่ำ (CV)	
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm²)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm²)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm²)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm²)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm²)
0.5	3.0	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3.5	9.6	8.8	60.8	13.0	132.7	-	-	-	-
1.5	3.8	11.3	9.2	66.5	13.5	143.1	-	-	-	-
2.5	4.3	14.5	9.8	75.4	15.0	176.7	-	-	6.8	36.3
4	5.2	21.2	10.5	86.6	16.5	213.8	-	-	7.4	43.0
6	5.8	26.4	11.0	95.0	18.0	254.5	19.0	283.5	8.1	51.5
10	7.2	40.7	12.0	113.1	20.5	330.1	23.0	415.5	8.7	59.5
16	8.4	55.4	13.0	132.7	24.5	471.4	26.5	551.5	9.8	75.4
25	10.5	86.6	14.5	165.1	28.5	638.0	31.0	754.8	11.6	105.7
35	11.5	103.9	16.0	201.1	31.5	779.3	35.0	962.1	12.7	126.7
50	13.5	143.1	17.0	227.0	36.0	1017.9	39.5	1225	14.4	162.9
70	15.5	188.7	19.0	283.5	40.5	1288.2	44.5	1555.3	16.2	206.1
95	18.0	254.5	21.5	363.1	46.0	1662.0	51.5	2083.1	18.3	263.0
120	19.5	298.7	23.0	415.5	50.5	2003.0	56.0	2463.0	20.2	320.5
150	21.5	363.1	26.0	531.0	56.0	2463.0	62.0	3019.1	22.5	397.6
185	24.0	452.4	28.0	615.8	61.5	2970.6	68.0	3631.7	24.8	483.1
240	27.0	572.6	31.5	779.3	69.0	3739.3	76.5	4596.3	28.0	615.8
300	30.0	706.9	35.0	962.1	76.0	4536.5	84.5	5608.0	30.0	706.9
400	33.5	881.4	38.5	1164.2	-	-	-	-	34.5	934.8
500	38.0	1134.1	43.0	1452.2	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใช้ค่าใน มอก. 11-2531
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสาย XLPE ใช้ค่าตามบริษัท Bangkok Cable

ตารางที่ จ ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ไม่เกิน (A)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (mm^2)
16	1.5 *
20	2.5 *
40	4 *
70	6 *
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1,000	70
1,250	95
2,000	120
2,500	185
4,000	240
6,000	400

หมายเหตุ *

1.ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าใช้สำหรับที่อยู่อาศัย หรืออาคารของผู้ใช้ไฟที่อยู่ใกล้หม้อแปลงระบบจำหน่ายภายในระยะ 100 m

2.กรณีที่ผู้ใช้ไฟอยู่ห่างจากหม้อแปลงระบบจำหน่ายเกิน 100 m ให้ดูภาคผนวก ฌ ของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ ว.ส.ท.

ฉ. ค่าตัวแปรในการคำนวณภาระความเย็น

700-800 สำหรับห้องนอน หรือห้องที่มีความร้อนน้อย (ห้องที่ไม่โดนแดดหรือโดนเล็กน้อย ฝ้าต่ำ หรือห้องที่ใช้แอร์ช่วงกลางคืน)

800-900 สำหรับห้องรับแขก หรือห้องที่มีความร้อนปานกลาง - มาก (ห้องที่โดนแดด อยู่ทิศตะวันตก หรือใช้แอร์ช่วงกลางวัน)

900-1000 สำหรับห้องทำงาน ห้องออกกำลังกาย หรือห้องที่มีความร้อนมาก หรือฝ้าสูง (ห้องที่โดนแดด อยู่ทิศตะวันตก อยู่ชั้นบนสุด หรือใช้แอร์ช่วงกลางวัน)

1000-1200 สำหรับร้านค้า ร้านอาหารที่เปิดปิดประตูบ่อย ร้านทำผม หรือสำนักงานที่มีคนอยู่จำนวนมาก

หากฝ้าเพดานสูงกว่า 2.5 เมตร มีจำนวนคนในห้องมาก หรือมีคอมพิวเตอร์ ควรบวกค่า BTU เพิ่มขึ้นอีก 5% จากค่าปกติ

ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน

ชื่อ–สกุล นางสาวขนิษฐา ถามูลเรศ

วัน เดือน ปีเกิด 25 มิถุนายน 2536

สถานที่เกิด โรงพยาบาลภูมิพล กรุงเทพฯ

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 48/161 KC รามอินทรา 2 ถนนหทัยราษฎร์
แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา
กรุงเทพ 10510

E–mail address khanisthathattt@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนค่ายประจักษ์ศิลปาคม

พ.ศ. 2551 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอุดรพัฒนาการ

พ.ศ. 2557 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน

ชื่อ–สกุล นายชาญณรงค์ การะเกตุ

วัน เดือน ปีเกิด 12 มกราคม 2536

สถานที่เกิด โรงพยาบาลพระมงกุฎ

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 213/1 ซ.รามคำแหง 39 แขวงวังทองหลาง เขตพลับพลา กรุงเทพฯ 10310

E–mail address pong3195168@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเทพลีลา

พ.ศ. 2551 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทพลีลา

พ.ศ. 2557 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน

ชื่อ–สกุล นายณัฐพงศ์ รัตนพงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 16 สิงหาคม 2535

สถานที่เกิด โรงพยาบาลเซนต์แมรี่ จังหวัดนครราชสีมา

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 1542 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง
จ.นครราชสีมา 30000

E–mail address -

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย

พ.ศ. 2551 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย

พ.ศ. 2557 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อนิสิตผู้ทำโครงงาน

ชื่อ–สกุล นายทีปกร ตันสุขี

วัน เดือน ปีเกิด 30 สิงหาคม 2536

สถานที่เกิด จังหวัดสุพรรณบุรี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 286 หมู่ 5 ต.ตลาดเขต อ.พนมทวน
จ.กาญจนบุรี 71170

E–mail address teepakorn_35@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอู่ทอง

พ.ศ. 2551 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอู่ทอง

พ.ศ. 2557 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ