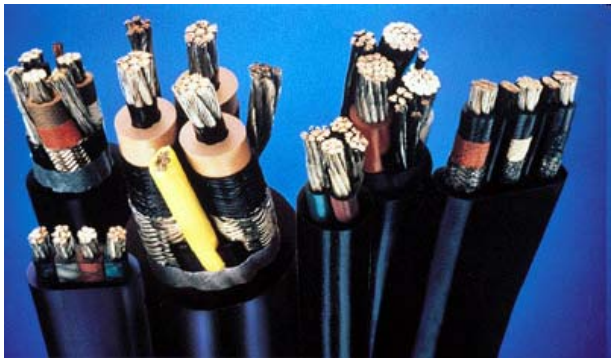
บทที่ 3
สายไฟฟ้า



3.1 บทนำ

- สายไฟฟ้ามีหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไปยังบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่าง ๆ
- การเลือกใช้สายไฟฟ้ามีความสำคัญมาก
- ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม การนำกระแสแรงดันตก การทนต่อความร้อนขณะใช้งานปกติ และขณะเกิดการลัดวงจร

3.2 ส่วนประกอบ

สายไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน

- ตัวนำ
- ฉนวน

ตัวนำ

- ทำจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง
- ตัวนำเดียว (Solid) ตัวนำตีเกลียว (Strand)
- โลหะที่นิยมใช้ ทองแดง อะลูมิเนียม

ทองแดง

- มีความนำไฟฟ้าสูง
- แข็งแรง, เหนียว
- ทนการกัดกร่อนได้ดี
- ข้อเสีย คือ น้ำหนักมาก ราคาแพง

อะลูมิเนียม

- ความนำไฟฟ้ารองจากทองแดง
- น้ำหนักเบาราคาถูก
- เหมาะสำหรับเดินนอกอาคาร และแรงสูง

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงและอะลูมิเนียม

คุณสมบัติ	ทองแดง	อะลูมิเนียม
ความนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ทองแดง = 100)	100	61
สภาพความต้านทานไฟฟ้าที่ 20°C (Ωm x 10^{-8})	1.724	2.803
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (per °C x 10^{-6})	17	23
จุดหลอมเหลว (°C)	1083	659
ความนำความร้อน (W/cm°C)	3.8	2.4
ความหนาแน่นที่ 20°C (g/cm^3)	8.89	2.7

ฉนวน

- ทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ
- ป้องกันการสัมผัส
- ป้องกันตัวนำจากผลกระทบ ทางกล และเคมี
- ระหว่างนำกระแสจะมีกำลังสูญเสีย
- ความร้อนจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน
- การทนต่อความร้อนของฉนวน จะเป็นตัวกำหนดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้า
- ฉนวนที่นิยมใช้
  - Polyvinyl Chloride (PVC)
  - Cross linked Polyethylene (XLPE)

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของฉนวน PVC และ XLPE

คุณสมบัติ	PVC	XLPE
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะใช้ (°C)	70	90
พิกัดอุณหภูมิสูงสุดขณะลัดวงจร (°C)	120	250
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	6	2.4
ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.4	0.92
ความนำความร้อน (cal/cm.sec °C)	3.5	8
ความทนทานต่อแรงดึง (kg/mm^2)	2.5	3

3.3 สายไฟฟ้าแรงดันสูง

แบ่งออก 2 ประเภท

- สายเปลือย (Bare Wires)
- สายหุ้มฉนวน (Insulated Wires)

สายเปลือย (Bare Wires

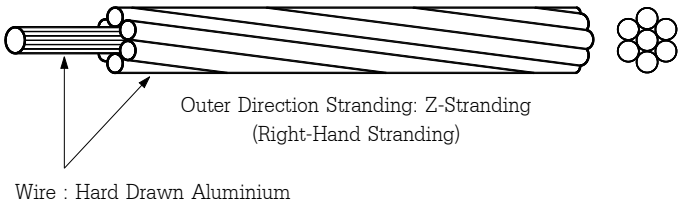
- ทำด้วย อะลูมิเนียม
- น้ำหนักเบา ราคาถูก

สายที่นิยมใช้

- สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC)
- สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมผสม (AAAC)
- สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)

1) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC-All Aluminium Conductor)

- เป็นตัวนำอะลูมิเนียมพันตีเกลียวเป็นชั้น ๆ
- รับแรงดึงได้ต่ำ
- ขึงสายให้มีระยะห่างช่วงเสา (Span) มาก ๆ ได้ ไม่เกิน 50 m
- สายที่มีขนาด 95 mm^2 ขึ้นไปนั้น สามารถที่จะมีระยะห่างช่วงเสาได้ไม่เกิน 100 m
- มอก. 85-2522



รูปที่ 3.1 สาย AAC

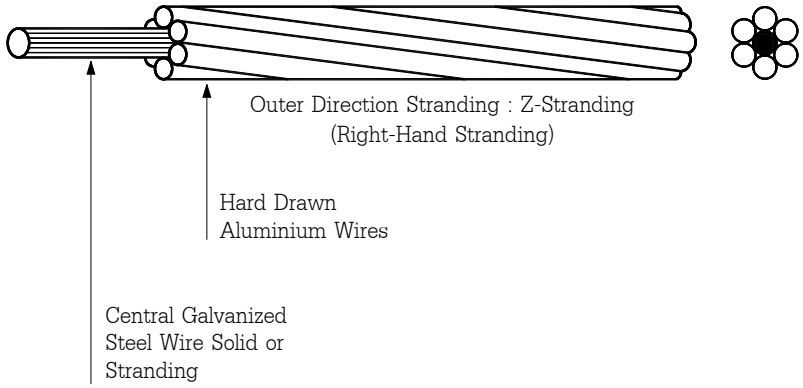
2) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมผสม

(AAAC-All Aluminium Alloy Conductor)

- มีส่วนผสมของอะลูมิเนียม แมกนีเซียม และซิลิกอน
- มีความเหนียวและรับแรงดึงได้สูงกว่าสาย AAC
- นิยมใช้เดินสายบริเวณชายทะเล
- ทนต่อการกัดกร่อนของไอเกลือได้ดี

3) สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR-Aluminium Conductor Steel Reinforced)

- สาย ไฟฟ้าอะลูมิเนียมตีเกลียว และมีสายเหล็กอยู่ตรงกลาง
- รับแรงดึงได้สูงขึ้นขึ้น ทำให้สามารถขยายระยะห่างช่วงเสา
- ไม่ใช้สายชนิดนี้ในบริเวณชายทะเล
- มอก. 86-2522



รูปที่ 3.2 สาย ACSR

สายหุ้มฉนวน (Insulated Wires)

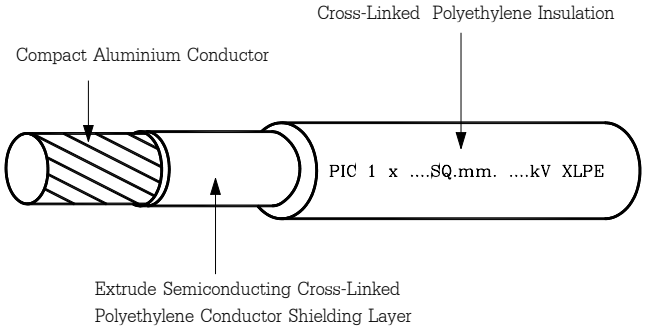
- สายไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีฉนวนหุ้ม เพื่อความปลอดภัยจากการลัดวงจรจากสัตว์หรือ กิ่งไม้ เพิ่มความเชื่อถือได้

สายไฟฟ้าแรงดันสูงหุ้มฉนวนที่นิยมใช้

- สาย Partial Insulated Cable (PIC)
- สาย Space Aerial Cable (SAC)
- สาย Preassembly Aerial Cable
- สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)

1) สาย Partial Insulated Cable (PIC)

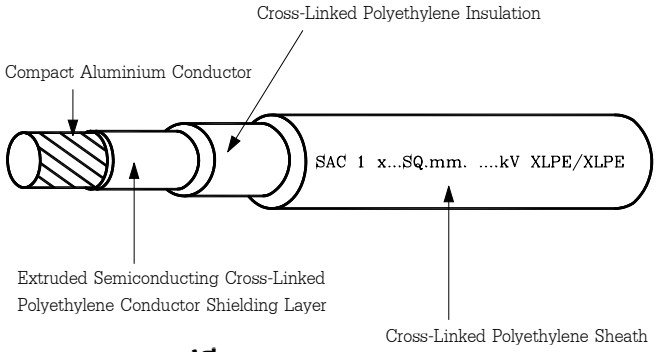
- มีฉนวน XLPE หุ้มบาง ๆ
- ไม่สามารถแตะต้องโดยตรง
- ใช้งานโดยเดินในอากาศผ่านลูกถ้วยบนเสาไฟฟ้าแทน สายเปลือย



รูปที่ 3.3 สาย PIC

2) สาย Space Aerial Cable (SAC)

- มีฉนวน XLPE หุ้ม
- มีเปลือก (Sheath) ทำด้วย (XLPE) อีกชั้น
- ทนทานมากกว่าสาย PIC
- ไม่ควรสัมผัสโดยตรง
- การเดินสายต้องใช้ Spacer และมี Messenger Wires ช่วยดึงสาย



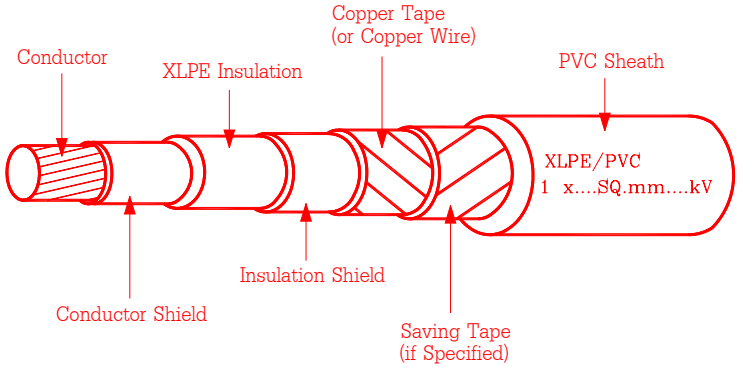
รูปที่ 3.4 สาย SAC

3) สาย Preassembly Aerial Cable

- เป็นสาย Fully Insulated
- สามารถวางใกล้กันได้
- สามารถวางพาดกับมุมตึกได้

4) สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)

- สาย XLPE จัดเป็นสาย Fully Insulated โดยมีโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 3.5 สาย XLPE

- ตัวนำ (Conductor)
- ชีลด์ของตัวนำ (Conductor Shield)
- ฉนวน (Insulation)
- ชีลด์ของฉนวน (Insulation Shield)
- เปลือกนอก (Jacket)

3.4 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

- ใช้แรงดันไม่เกิน 750 V
- สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน
- ตัวนำ
  - ทองแดง
  - อะลูมิเนียม
- ฉนวน
  - PVC
  - XLPE

สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC

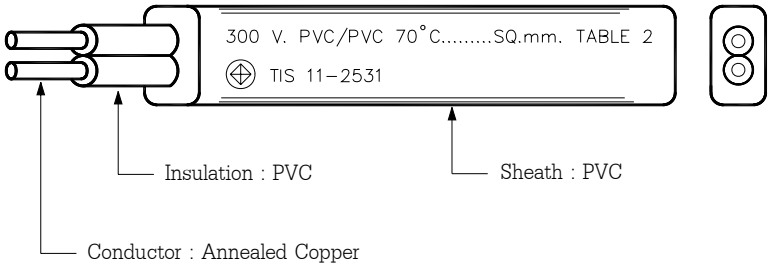
- มอก. 293-2526
- ใช้งานในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ
- ของ กฟน และกฟภ

สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน PVC

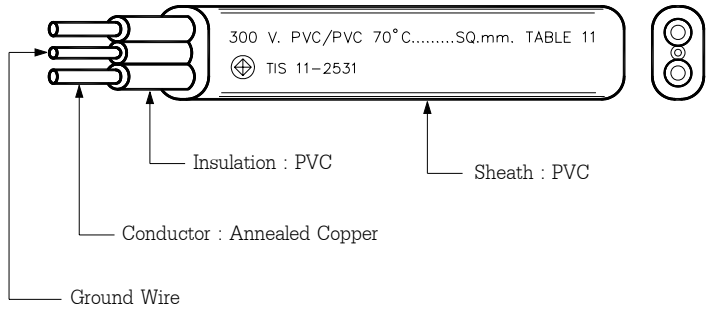
- มีมากมายหลายชนิด
- ใช้งานได้กว้างขวางตั้งแต่วงจรเล็ก ๆ จนถึงสายประธาน หรือสายป้อน
- มอก. 11-2531
- อุณหภูมิ 70 ^{0}C
- สายไฟฟ้าที่ใช้งานในการเดินสายถาวร
  - สายไฟฟ้าตารางที่ 2 และ 11
  - สายไฟฟ้าตารางที่ 4
  - สายไฟฟ้าตารางที่ 6 , 7 , 8 และ 14

1) สายไฟฟ้าตารางที่ 2 และ 11

- เดิมเรียกว่า สาย VAF



รูปที่ 3.6 สายไฟฟ้าตารางที่ 2

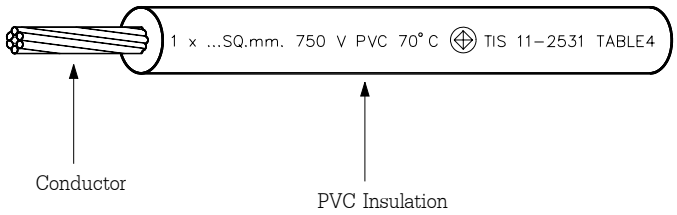


รูปที่ 3.7 สายไฟฟ้าตารางที่ 11

แรงดันใช้งาน	300 V
อุณหภูมิใช้งาน	70°C
สถานที่ใช้งาน	สถานที่แห้งและสถานที่เปียก
ลักษณะการติดตั้ง	- เดินเกาะผนัง
	- เดินซ่อน (Conceal) ในผนัง
	- ห้ามเดินในช่องสาย
ยกเว้น	*รางเดินสาย*
	- ห้ามร้อยท่อฝังดินหรือฝังดิน โดยตรง

2) สายไฟฟ้าตารางที่ 4

- เดิม มอก. 11-2518 แบ่งสายไฟชนิดนี้เป็น 2 แบบ
  - 60 ^{0}C เรียกว่า TW
  - 75 ^{0}C เรียกว่า THW
- มอก. 11-2531
  - อุณหภูมิใช้งาน 70 ^{0}C
- ตลาดเรียกสายนี้ว่า สาย THW

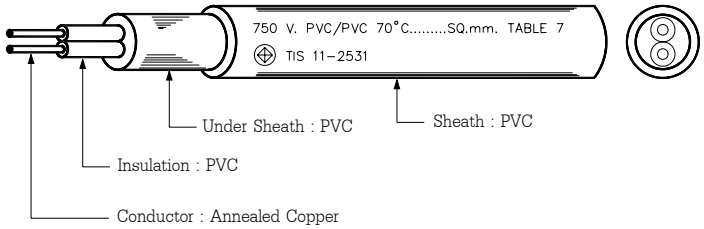


รูปที่ 3.8 สายไฟฟ้าตารางที่ 4

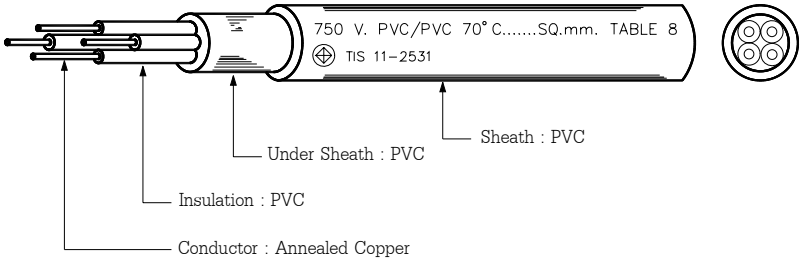
แรงดันใช้งาน	750 V
อุณหภูมิใช้งาน	70°C
สถานที่ใช้งาน	สถานที่แห้ง และสถานที่เปียก
ลักษณะการติดตั้ง	- เดินลอย ต้องยึดด้วยวัสดุฉนวน
	- เดินในช่องเดินสาย ในสถานที่แห้ง
	- เดินในท่อร้อยสาย ฝังดินแต่ต้องป้องกันไม่ให้น้ำเข้าในท่อและป้องกันไม่ให้สายมีโอกาสแช่น้ำ
	- ห้ามฝังดินโดยตรง

3) สายไฟฟ้าตารางที่ 6, 7, 8 และ 14

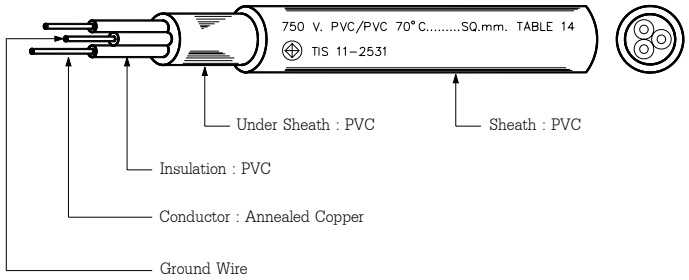
- ชื่อเดิม เรียกว่า NYY
- สายมีฉนวน และเปลือก
- สามารถทนความชื้นได้สูง
- สามารถใช้ฝังดินได้โดยตรง



รูปที่ 3.9 สายไฟฟ้าตารางที่ 7



รูปที่ 3.10 สายไฟฟ้าตารางที่ 8

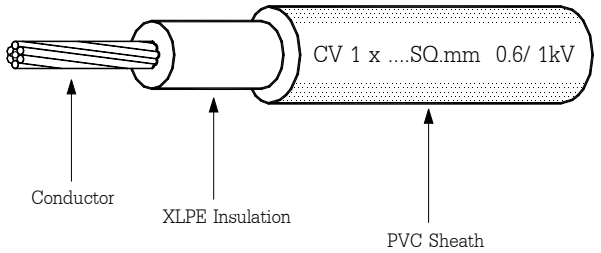


รูปที่ 3.11 สายไฟฟ้าตารางที่ 14

แรงดันใช้งาน	**750 V**
อุณหภูมิใช้งาน	**70°C**
สถานที่ใช้งาน	**สถานที่แห้งและสถานที่เปียก**
ลักษณะการติดตั้ง	**- ใช้งานได้ทั่วไป**
	- ฝังดินโดยตรง
	- เดินร้อยท่อฝังดิน

สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยฉนวน XLPE

- **ฉนวน XLPE ทนความร้อนได้สูง แข็งแรง ทนการกัดกร่อนได้ดี**
- **มีชื่อเรียกว่า สาย CV หรือ CVV**
- **IEC 60502**



รูปที่ 3.12 สาย CV

แรงดันใช้งาน	**0.6/1 kV**
อุณหภูมิใช้งาน	**90°C**
สถานที่ใช้งาน	**สถานที่แห้งและสถานที่เปียก**
ลักษณะการติดตั้ง	**- ใช้งานได้ทั่วไป**
	- ฝังดินโดยตรง

สายไฟฟ้าทนไฟ (Fire Resistant Cable)

- สายทนไฟมีลักษณะที่สำคัญคือ

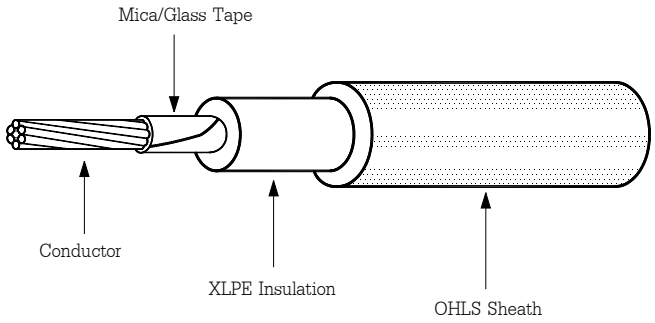
1. Flame Retardancy
2. Flame Propagation
3. Acid and Corrosive Gas Emission
4. Smoke Emission
5. Fire Resistance (Circuit Integrity)

สายไฟฟ้าทนไฟ (Fire Resistant Cable)

- ต้องได้ตามมาตรฐาน

1. Flame Retardancy IEC 332 หรือ BS 4066
2. Flame Propagation IEC 332 หรือ BS 4066
3. Acid and Corrosive Gas Emission IEC 754 หรือ BS 6425
4. Smoke Emission IEC 1034 หรือ BS 7622
5. Fire Resistance (Circuit Integrity) IEC 331 หรือ BS 6387

ส่วนประกอบของสายทนไฟ (FRC)



รูปที่ 3.13 สายทนไฟ (FRC)

สายไฟฟ้าทนไฟ ควรใช้กับระบบ และวงจรที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัย

1. ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย (Fire Alarm System)
2. ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (Building Automation System)
3. ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency Lighting System)
4. ระบบเสียงประกาศ (Public Address System)
5. ระบบไฟฟ้าสำรอง (Standby Power System)
6. ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network System)
7. ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Closed Circuit TV System)
8. ระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Lifts and Escalators System)
9. ระบบปั๊มน้ำดับเพลิงและปั๊มอัดอากาศในช่องบันไดหนีไฟ (Fire Pumps and Pressurized Stairs)
10. ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งต้องการให้ระบบสามารถปฏิบัติงานได้ในขณะที่เกิดไฟไหม้

สายเคเบิลชนิดเอ็มไอ (Mineral Insulated Cable)

- เป็นสายเคเบิลเปลือกนอก
- ตัวนำหุ้มด้วยฉนวนแร่

1) สาย MI

- เป็นสายที่ใช้ในบริเวณที่ต้องการความปลอดภัยสูง เหมือนสายไฟฟ้าทนไฟ (FRC)

2) คุณสมบัติของสาย MI

- มีคุณสมบัติตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. และได้ตามมาตรฐานดังต่อไปนี้
  - BS 6207 : Specification for Mineral-insulated Copper Sheathed Cables with Copper Conductors
  - IEC 60702 : Mineral Insulated Cables with a Rated Voltage not Exceeding 750 V
  - AS 3187 : Mineral Insulated Metal Sheathed Cables

3.5 การเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสม

- ข้อกำหนดที่จะต้องพิจารณาในการเลือกสายไฟฟ้า
  - พิกัดแรงดัน (Voltage Rating)
  - พิกัดกระแส (Current Rating)
  - สายควบ (Multiple Conductors)
  - แรงดันตก (Voltage Drop)

พิกัดแรงดัน (Voltage Rating)

- มอก. 11-2531มี 2 ระดับ คือ
  - 300 V
  - 750 V
- ระบบไฟฟ้า 3 เฟส, 380 V, 400 V ต้องเลือก 750 V

พิกัดกระแส (Current Rating)

- ความสามารถของสายไฟฟ้า
- การใช้อย่างต่อเนื่อง
- อุณหภูมิสุดท้ายต้องไม่เกินที่กำหนดให้
- PVC 70 ^{0}C
- XLPE 90 ^{0}C

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน

ขึ้นอยู่กับปัจจัย

- ขนาดของสาย
- ชนิดของฉนวน
- อุณหภูมิโดยรอบ
- ลักษณะการติดตั้ง

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าหนิดต่าง ๆ

สำหรับการติดตั้งตาม

“ มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย”
ของ ว.ส.ท.

ตารางที่ 3.3 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก. 11-2531 อุณหภูมิตัวนำ 70 °C ขนาดแรงดัน 300 V และ 750 V อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (สำหรับวิธีการเดินสาย ก-ค) และ 30 °C (สำหรับวิธีการเดินสาย ง และ จ)

ขนาดสาย (mm^2)	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 อุณหภูมิโดยรอบต่างจาก 40 °C (สำหรับวิธีการเดินสาย ก-ค) หรือ 30 °C (สำหรับวิธีการเดินสาย ง และ จ) ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณลดดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	ตัวคูณ	
	วิธีเดินสาย ก-ค	วิธีเดินสาย ง และ จ
21-25	-	1.06
26-30	-	1
31-35	1.08	0.94
36-40	1	0.87
41-45	0.91	0.79
46-50	0.82	0.71
51-55	0.71	-
56-60	0.58	-

ตารางที่ 3.4 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก. 11-2531 อุณหภูมิตัวนำ 70 °Cขนาดแรงดัน 300 V และ 750 V อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C วางบนรางเคเบิล

ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดกระแส (A) วิธีการเดินสาย					
	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ
1	-	-	-	-	11	10
1.5	-	-	-	-	14	13
2.5	-	-	-	-	18	17
4	-	-	-	-	24	23
6	-	-	-	-	31	29
10	-	-	-	-	43	41
16	-	-	-	-	56	53
25	-	-	-	-	77	73
35	-	-	-	-	95	90
50	169	110	143	101	119	113
70	217	141	183	130	148	140
95	271	176	230	163	187	178
120	316	205	267	190	214	203
150	364	237	308	218	251	238
185	424	276	360	254	287	273
240	509	331	432	305	344	327
300	592	444	504	414	400	393
400	696	522	593	487	-	-
500	818	613	699	572	-	-

หมายเหตุ อุณหภูมิโดยรอบต่างจาก 40 °C ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณลด ดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	ตัวคูณ
31-35	1.08
36-40	1
41-45	0.91
46-50	0.82
51-55	0.71
56-60	0.58

ตารางที่ 3.5 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิ้งค์โพลีเอททีลีน อุณหภูมิตัวนำ 90 °C ขนาดแรงดัน 600 V อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (สำหรับเดินสายในอากาศ) และ 30 °C (สำหรับการเดินสายใต้ดิน)

ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดกระแส (A) ลักษณะการใช้งาน				
	ก	ข	ค		ง
	สายเดี่ยว เดินในอากาศ	สายเดี่ยว 3 เส้น เดินในท่อโลหะ ในอากาศ	สายเดี่ยว 3 เส้น เดินในท่อฝังดิน		สายเดี่ยวไม่เกิน 3 เส้น หรือสายหลายแกนไม่เกิน 3 แกน ฝังดินโดยตรง
			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

หมายเหตุ อุณหภูมิโดยรอบต่างจาก 40 °C (สำหรับการเดินสายในอากาศ) หรือ 30 ^{Oc} (สำหรับการเดินสายใต้ดิน) ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณลด ดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	ตัวคูณ	
	การเดินสายในอากาศ	การเดินสายใต้ดิน
21-25	-	1.04
26-30	-	1
31-35	1.05	0.96
36-40	1	0.91
41-45	0.95	0.87
46-50	0.89	0.82
51-55	0.84	-
56-60	0.78	-

ตารางที่ 3.6 ขนาดกระแสของสายทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิ้งค์โพลีเอททีลีน อุณหภูมิตัวนำ 90 °C ขนาดแรงดัน 600 V อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (สำหรับการเดินสายในอากาศ)

ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดกระแส (A)	
	ลักษณะการใช้งาน	
	สายเดี่ยวเดินในอากาศ	เดินในรางเคเบิล
2.5	36	23
4	47	31
6	60	39
10	82	53
16	110	72
25	148	96
35	184	120
50	224	146
70	286	186
95	356	231
120	417	271
150	481	313
185	559	363
240	672	437
300	782	587
400	921	691
500	1080	810

ตารางที่ 3.7 ขนาดกระแสของสายทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิ้งค์โพลีเอททีลีน มีชีลด์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C ขนาดแรงดัน 12 kV หรือ 24 kV อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (สำหรับการเดินสายในอากาศ) และ 30 °C (สำหรับการเดินสายใต้ดิน)

ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดกระแส (A)			
	ลักษณะการใช้งาน			
	สายเดี่ยว 3 เส้น เดินในท่อโลหะในอากาศ	สายเดี่ยว 3 เส้น เดินในท่อฝังดิน		สายเดี่ยว 1 วงจร ฝังดินโดยตรง
		ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
35	148	176	149	209
50	175	209	178	247
70	215	258	218	302
95	265	315	265	361
120	303	361	303	410
150	348	413	341	460
185	396	469	386	519
240	478	563	454	601
300	551	650	521	679
400	636	751	607	772
500	730	869	706	878

หมายเหตุ อุณหภูมิโดยรอบต่างจาก 40 °C (สำหรับการเดินสายในอากาศ) หรือ 30 °C (สำหรับการเดินสายใต้ดิน) ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณลด ดังนี้

อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	ตัวคูณ	
	การเดินสายในอากาศ	การเดินสายใต้ดิน
21-25	-	1.04
26-30	-	1
31-35	1.05	0.96
36-40	1	0.91
41-45	0.95	0.87
46-50	0.89	0.82
51-55	0.84	-
56-60	0.78	-

ตารางที่ 3.8 ขนาดกระแสของสายทองแดงหุ้มฉนวนครอสลิ้งค์โพลีเอททีลีน มีชีลด์ อุณหภูมิตัวนำ 90 °C แรงดัน12 kV หรือ 24 kV อุณหภูมิโดยรอบ 30 °C เดินใน Duct Bank ไม่เกิน 8 ท่อ

ขนาดสาย (mm^2)	ขนาดกระแสต่อ 1 วงจร จำนวนวงจรทั้งหมด							
	1	2	3	4	5	6	7	8
35	175	160	147	137	130	122	116	110
50	210	191	175	162	153	144	136	130
70	251	228	208	193	182	171	161	154
95	313	282	256	236	222	208	196	187
120	357	322	292	270	254	238	224	213
150	405	362	327	300	282	263	248	235
185	461	410	369	339	318	296	278	264
240	535	475	427	392	367	342	321	305
300	611	539	481	440	411	382	358	339
400	694	619	553	507	473	440	412	391
500	797	695	616	560	522	483	451	427

หมายเหตุ **อุณหภูมิโดยรอบต่างจาก 30 °C ให้คูณค่าขนาดกระแสด้วยตัวคูณลด ดังนี้**

อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	ตัวคูณ
21-25	1.04
26-30	1
31-35	0.96
36-40	0.91
41-45	0.87
46-50	0.82
51-55	-
56-60	-

กรณีสายไฟฟ้า เดินในท่อร้อยสาย ค่าพิกัดกระแสที่แสดงไว้ในตาราง ใช้กับกรณีที่จำนวนสายในท่อร้อยสายมีไม่เกิน 3 เส้นเท่านั้น แต่ถ้ามีมากกว่า 3 เส้น จะต้องใช้ตัวคูณลดค่าพิกัดกระแส (Derating Factor) ในตารางที่ 3.9 ในการนับจำนวนสายไฟในท่อร้อยสายมีหลักเกณฑ์ดังนี้

การนับจำนวนสายไฟในท่อร้อยสาย

- **ถือว่าจำนวนแกนคือจำนวนเส้น**
- **ไม่ต้องนับสายนิวทรัล ในระบบ 3 เฟส ที่ออกแบบไว้เป็นโหลดสมดุล (บางขณะอาจมีกระแสไหลผ่าน)**
- **จะต้องนับสายนิวทรัล ในกรณีที่โหลดส่วนใหญ่ (มากกว่า 50%) เป็นหลอดชนิด Electric Discharge เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ , อุปกรณ์เกี่ยวกับ Data Processing และอุปกรณ์อื่นที่ทำให้เกิดกระแส Harmonic ในสายนิวทรัล**
- **ไม่ต้องนับตัวนำสำหรับต่อลงดิน**

ตารางที่ 3.9 ตัวคูณลดค่าพิกัดกระแส (Derating Factor)

จำนวนสาย	ตัวคูณ
4-6	0.82
7-9	0.72
10-20	0.56
21-30	0.48
31-40	0.44
เกิน 40	0.38

ตารางที่ 3.10 ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทำด้วยทองแดง กรณีมีพีวีซีหุ้ม (Covered) และเปลือยต่อการสัมผัสถึงได้ อุณหภูมิของเปลือกโลหะ 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิโดยรอบ 40 องศาเซลเซียส

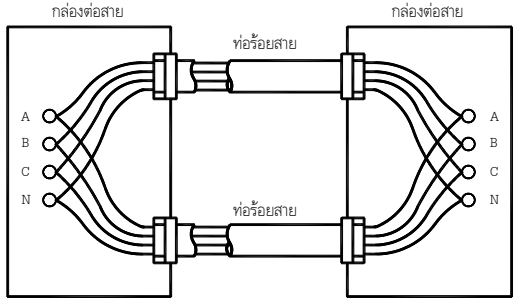
ขนาดแรงดัน (V)	ขนาดระบุของตัวนำ (mm^2)	ขนาดกระแส (A)		
		จำนวนและรูปแบบการจัดวางของตัวนำ		
		2 ตัวนำ	3 ตัวนำ	
		สายเคเบิลแกนเดียว หรือสองแกน	สายเคเบิลหลายแกน หรือแกนเดียววางแบบ Trefoil	สายเคเบิลแกนเดียววางแบบ Flat
500	1.5	20	16	18
	2.5	27	22	25

ตารางที่ 3.11 ขนาดกระแสของสายเคเบิลชนิดเอ็มไอ ตัวนำและเปลือก (Sheath) ทำด้วยทองแดง กรณีไม่มีพีวีซี หุ้ม (Covered) อุณหภูมิของเปลือกโลหะ 105 C^o อุณหภูมิโดยรอบ 40 C^o

ขนาดแรงดัน (V)	ขนาดระบุของตัวนำ (mm^2)	ขนาดกระแส (A)		
		จำนวนและรูปแบบการจัดวางของตัวนำ		
		2 ตัวนำ	3 ตัวนำ	
		สายเคเบิลแกนเดียว หรือสองแกน	สายเคเบิลหลายแกน หรือแกนเดียววางแบบ Trefoil	สายเคเบิลแกนเดียววางแบบ Flat
500	1.5	26	22	25
	2.5	35	30	33
	2.5	47	40	43

สายควบ

- สายหลายเส้นต่อขนานกัน



รูปที่ 3.14 สายควบ

ข้อกำหนดสำหรับการใช้สายควบ

- ใช้กับตัวนำที่มีขนาดตั้งแต่ 50 mm^2 ขึ้นไป
- สายไฟฟ้าที่จะเดินควบกันได้นั้นจะต้องเป็นสาย ไฟฟ้าชนิดเดียวกัน
- สายไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีความยาวเท่ากัน
- ลักษณะการเดินสายไฟฟ้าเหมือนกัน

ตัวอย่างที่ 3.1 เครื่องทำน้ำร้อน (Water Heater) ขนาด 6000 W , 220 V จงหาขนาดสายไฟฟ้าดังต่อไปนี้

โดยพิจารณาเป็นโหลดต่อเนื่อง

1. สาย T-11 (VAF)
2. สาย T-4 ในท่อโลหะร้อยสายในอากาศ

วิธีทำ

กระแสโหลด $I_L = \frac{6000}{220} = 27.3\ A$

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า $I_C \geq 1.25 \times 27.3 = 34\ A$

(เนื่องจากเป็นโหลดต่อเนื่องจึงอาจมีการเผื่อขนาดสายไว้ 25%)

1. จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ข.

ใช้สาย T-11 ขนาด $2 \times 6\ mm^2$ (พิกัดกระแส 35 A)

2. จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สาย T-4 ขนาด $2 \times 10\ mm^2$ (พิกัดกระแส 43 A)

ตัวอย่างที่ 3.2 เครื่อง Microwave ขนาด 2200 VA , 220 V ใช้สายไฟฟ้าตารางที่ 4 (T-4) เดินในท่อโลหะร้อยสายในอากาศ จงหาขนาดของสายวงจรย่อยที่ใช้ โดยพิจารณาเป็นโหลดไม่ต่อเนื่อง

วิธีทำ

กระแสโหลด $I_L = \frac{2200}{220} = 10\ A$

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า $I_C \geq 10\ A$

จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ค. และจากข้อกำหนดของการไฟฟ้า ที่กำหนดให้ใช้สายขนาดเล็กที่สุดสำหรับวงจรย่อยคือ $2.5\ mm^2$

จึงเลือกใช้สายขนาด $2 \times 2.5\ mm^2$ (พิกัดกระแส 18 A)

ตัวอย่างที่ 3.3 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA LV 400/230 V ถ้าใช้สาย T-6 (NYY , 1/C) เดินในท่อโลหะฝังใต้ดินเป็นสายประธานจากหม้อแปลงลูกนี้ จงหาขนาดสายไฟฟ้าดังกล่าว

วิธีทำ

$$I_n = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 721.7\ A$$

$$I_C \geq 1.25 \times I_n$$

$$= 1.25 \times 721.7$$

$$= 902\ A$$

ใช้สายควบ 3 เส้น $= \frac{902}{3} = 301\ A$

$\therefore$ ใช้สายไฟฟ้าขนาด $3 \begin{pmatrix} 3 \times 150\,mm^2 \\ 1 \times 95\,mm^2 \end{pmatrix}$ สายเฟส $= 3 \times 322 = 966A$ สายศูนย์ $= 3 \times 242 = 726A$

หมายเหตุ : โหลดของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นมีหลายประเภท ทั้งแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง

โดยส่วนมากจะประกอบด้วยโหลดหลายชนิด คือ

- โหลด 3 เฟสสมดุล เช่น มอเตอร์ 3 เฟส
- โหลดเฟสเดียวที่มี Harmonic เช่น หลอด HID
- โหลดเฟสเดียวที่ไม่มี Harmonic

ในการกำหนดขนาดสายของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเป็นการเผื่อไว้ ให้ถือว่าเป็นโหลดแบบต่อเนื่องทั้งหมด ส่วนในการคำนวณหาขนาดสายนิวทรัลนั้น โหลด 3 เฟส สมดุลไม่ต้องนำมาคิด จะคิดเฉพาะโหลดเฟสเดียว ทั้งที่มีและไม่มี Harmonic เท่านั้น โดยโหลดที่ไม่มี Harmonic สามารถใช้ Demand Factor = 0.7 กับส่วนที่เกิน 200 A ได้

นอกจากนี้ ถ้าโหลด 3 เฟสสมดุล มีขนาดมากกว่า 40% ของโหลดทั้งหมด อาจใช้ขนาดสายนิวทรัลเท่ากับประมาณ 50% ของสายเฟสได้ (Half Neutral) เนื่องจากสายไฟฟ้าขนาดประมาณ 50% โดยทั่วไปสามารถ นำกระแสได้ถึงประมาณ 60%

ตัวอย่างที่ 3.4 โหลดขดลวดทำความร้อน (Heater) ขนาด 40 kW , 380 V 3 เฟส 3 สาย

จงหาขนาดของสายไฟฟ้าตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะร้อยสายในอากาศ โดยพิจารณาเป็นโหลดต่อเนื่อง

ผ่านบริเวณดังนี้

1. บริเวณที่มีอุณหภูมิ 40 ^{o}C
2. บริเวณที่มีอุณหภูมิ 50 ^{o}C

วิธีทำ

กระแสโหลด $I_L = \frac{40\times10^3}{\sqrt{3}\times380} = 60.8$ A

$I_C \geq 1.25 \times 60.8 = 76$ A

ตัวอย่างที่ 3.4 (ต่อ)

1. 40 ^{o}C

เนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ = 40 ^{o}C

ไม่ต้องใช้ตัวคูณลด

$I_C \geq 76$ A

จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สายขนาด 3 x 25 mm^2 (77 A)

2. 50 ^{o}C

เนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบ = 50 ^{o}C

จากตาราง ใช้ตัวคูณลด = 0.82

$I_C \geq \frac{76}{0.82} = 93$ A

จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สายขนาด 3 x 35 mm^2 (95 A)

ตัวอย่างที่ 3.5 โหลดสายป้อนเฟสเดียวทั้งหมดขนาด 60 kVA 3 เฟส 4 สาย 380/220 V ใช้สายไฟฟ้าตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะร้อยสายในอากาศ จงหาขนาดสาย เมื่อ

1. โหลดมากกว่า 50% เป็นหลอด HID
2. โหลดมากกว่า 50% เป็น Resistive Load

โดยการใช้งานเป็นโหลดต่อเนื่องทั้งหมด

วิธีทำ

กระแสโหลด $I_L = \frac{60\times10^3}{\sqrt{3}\times380} = 91.2$ A

$I_C \geq 1.25 \times 91.2$

$= 114$ A

ตัวอย่างที่ 3.5(ต่อ)

1. โหลดมากกว่า 50 % เป็นหลอด HID ซึ่งเป็นหลอดชนิด Electric Discharge ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอ-นิกในสายนิวทรัล จึงต้องนับสายนิวทรัลด้วยในการนับจำนวนสายในท่อร้อยสาย

จากตารางตัวคูณลด ในกรณีสาย 4-6 เส้นในท่อร้อยสายให้ใช้ตัวคูณลด 0.82

$$I_C \geq \frac{144}{0.82} = 139\ A$$

จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สาย T-4 ขนาด 4 x 70 mm^2 (148 A)

ตัวอย่างที่ 3.5 (ต่อ)

2. โหลดมากกว่า 50 % เป็น Resistive Load จึงไม่ต้องนับสายนิวทรัลในการนับจำนวนสายในท่อร้อยสาย ทำให้สายไฟฟ้าในท่อสายมีไม่เกิน 3 เส้น จึงไม่ต้องใช้ตัวคูณลด

$$I_C \geq 1.25 \times 91.2 = 114\ A$$

จากตารางที่ 3.3 ตามวิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สาย T-4 ขนาด 4 x 50 mm^2 (119 A)

หมายเหตุ : เนื่องจากกระแสโหลดน้อยกว่า 200 A และเป็นโหลดเฟสเดียวทั้งหมด จึงใช้ขนาดสายนิวทรัลเท่ากับขนาดสายเฟส

ตัวอย่างที่ 3.6 มอเตอร์ขนาด 37 kW , 380 V , I_n = 72 A จงหาขนาดสายไฟฟ้าตารางที่ 4 ในท่ออโลหะร้อยสายในอากาศ จากสตาร์ทเตอร์ไปยังมอเตอร์ โดยเริ่มเดินเครื่องดังนี้

1. DOL (Direct On Line Starting)
2. สตาร์-เดลตา (Star-Delta Starting)

วิธีทำ

1. มอเตอร์มีการเริ่มเดินเครื่องแบบ DOL

พิกัดกระแสมอเตอร์ I_n = 72 A

โดยทั่วไปโหลดมอเตอร์ถือว่าเป็นโหลดต่อเนื่อง

$I_c \geq 1.25 \times I_n = 1.25 \times 72 = 90\ A$

จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สาย T-4 , 3 x 35 mm^2 (91 A)

ตัวอย่างที่ 3.6(ต่อ)

2. การเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลตานั้น จะต้องเดินสายจากสตาร์ทเตอร์ไปยังมอเตอร์จำนวน 6 เส้น ด้วยกันและกระแสของสายแต่ละเส้นจะเท่ากับ 58% หรือ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ของกระแสพิกัด เนื่องจากต่อกันแบบเดลตา ดังนั้น

$I_C \geq 1.25 \times I_n \times 0.58$

$= 1.25 \times 72 \times 0.58 = 52\ A$

แต่เนื่องจากมีจำนวนสายทั้งหมด 6 เส้นในท่อสายเดียวกัน จึงต้องใช้ตัวคูณลด = 0.82

$$I_C \geq \frac{52}{0.82} = 63\ A$$

จากตารางที่ 3.3 ตามวิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สาย T-4 , 6 x 25 mm^2 (74 A)

ตัวอย่างที่ 3.7 มอเตอร์ขนาด 132 kW , 380 V I_n = 245 A

สตาร์ทเตอร์เป็นแบบสตาร์-เดลตา ใช้สาย T-7 (NYY , 3/C) มีการเดินสายดังนี้

1. ในท่อโลหะร้อยสายฝังดิน
2. ใน Cable Tray

วิธีทำ

เนื่องจากสตาร์ทเตอร์เป็นแบบสตาร์-เดลตา ดังนั้น

$I_C \geq 1.25 \times I_n \times 0.58$

$= 1.25 \times 245 \times 0.58$

$= 178$ A

ตัวอย่างที่ 3.7(ต่อ)

1. ในท่อโลหะร้อยสายฝังดิน

จากตารางตัวคูณลดในกรณีสาย 4 - 6 เส้นในท่อร้อยสายให้ใช้ตัวคูณลด 0.82

ใช้สาย T-7 , 2(3/C , 95 mm^2) (242 A)

2. ใน Cable Tray

จากตารางที่ 3.4 วิธีการเดินสายแบบ จ.

ใช้สาย T-7 , 2(3/C , 95 mm^2) (187 A)

ตัวอย่างที่ 3.8 จงหาขนาดสายป้อนที่จ่ายให้โหลดขนาด 200 kVA, 380 V 3 เฟส 4 สาย โดยโหลดส่วนใหญ่เป็นแบบ 3 เฟส กำหนดให้ใช้สาย T-4 เดินในท่อโลหะร้อยสายในอากาศ

วิธีทำ

$I_L = \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 303.9$ A

$I_C \geq 1.25 \times 303.9 = 380$ A

และเนื่องจากโหลดส่วนใหญ่เป็นโหลดแบบ 3 เฟส โดยทั่วไปนิยมใช้สายนิวทรัลมีขนาดประมาณ 50% ของสายเฟส

จากตารางที่ 3.3 วิธีการเดินสายแบบ ค.

ใช้สาย T-4 , $\begin{pmatrix} 3\times300 & mm^2 \\ 1\times150 & mm^2 \end{pmatrix}$ (400 A)

ตัวอย่างที่ 3.8(ต่อ)

ถ้าทำเป็นสายควบ 2 ชุด จะได้พิกัดกระแสแต่ละชุดเท่ากับ

$I_C \geq \frac{380}{2} = 190$ A

ใช้สาย T-4 , 2 $\begin{pmatrix} 3\times120 & mm^2 \\ 1\times70 & mm^2 \end{pmatrix}$

พิกัดสายเฟส = 2 x 214 = 428 A

ถ้าทำเป็นสายควบ 3 ชุด จะได้พิกัดกระแสแต่ละชุดเท่ากับ

$I_C \geq \frac{380}{3} = 127$ A

ใช้สาย T-4 , 3 $\begin{pmatrix} 3\times70 & mm^2 \\ 1\times35 & mm^2 \end{pmatrix}$

พิกัดสายเฟส = 3 x 148 = 444 A

ตัวอย่างที่ 3.9 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1000 kVA , 24 kV/416-240 V จ่ายไฟให้โหลด ซึ่งมีโหลดสามเฟสสมดุล 400 kVA ที่เหลือเป็นโหลดเฟสเดียว ให้คำนวณหาขนาดสายไฟฟ้าดังต่อไปนี้

1. สาย XLPE เดินสายในท่อโลหะฝังใต้ดิน ด้าน HV
2. สาย CV (90^{O}C) เดินในรางเคเบิลและเดินในท่อโลหะฝังดินด้าน LV

วิธีทำ

$$I_n \text{ (HV)} = \frac{1000}{\sqrt{3}\times 24} = 24.1 \text{ A}$$

$$I_n \text{ (LV)} = \frac{1000}{\sqrt{3}\times 0.146} = 1388 \text{ A}$$

1. ด้าน HV

$$I_C \geq 1.25 \text{ x } 24.1 = 30 \text{ A}$$

สาย XLPE ขนาดเล็กที่สุดที่ใช้คือ 35 mm^2 (176 A)

ตัวอย่างที่ 3.9(ต่อ)

2. ด้าน LV

$$I_C \geq 1.25 \text{ x } 1388 = 1735 \text{ A}$$

- ใช้สาย CV เดินในรางเคเบิล

ใช้สายควบ 3 ชุด $\frac{1735}{3} = 578$ A

ใช้สาย CV , $3\begin{pmatrix} 3\times 300 & \text{mm}^2 \\ 1\times 150 & \text{mm}^2 \end{pmatrix}$

พิกัดสายเฟส = 3 x 587 = 1761 A

ตัวอย่างที่ 3.9(ต่อ)

ใช้สายควบ 4 ชุด $= \frac{1735}{4}$

$= 434$ A

ใช้สาย CV , $4\begin{pmatrix} 3\times 240 & \text{mm}^2 \\ 1\times 120 & \text{mm}^2 \end{pmatrix}$

พิกัดสายเฟส = 4 x 437 = 1748 A

ตัวอย่างที่ 3.9(ต่อ)

- ใช้สาย CV เดินในท่อโลหะฝังดิน

ใช้สายควบ 3 ชุด $= \frac{1735}{3} = 578$ A

ใช้สาย CV , $3\begin{pmatrix} 3\times 300 & \text{mm}^2 \\ 1\times 150 & \text{mm}^2 \end{pmatrix}$

พิกัดสายเฟส = 3 x 615 = 1845 A

ใช้สายควบ 4 ชุด $= \frac{1735}{4} = 434$ A

ใช้สาย CV , $4\begin{pmatrix} 3\times 185 & \text{mm}^2 \\ 1\times 95 & \text{mm}^2 \end{pmatrix}$

พิกัดสายเฟส = 4 x 436 = 1744 A

3.6 แรงดันตก (Voltage Drop)

- คือความแตกต่างระหว่างขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จุดแหล่งจ่ายต้นทาง และจุดรับไฟ
- เกิดเนื่องจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟฟ้าที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance)

ผลของแรงดันตก

- ผลต่อความสว่างของหลอดไฟฟ้า
- ทำให้สตาร์ทยาก
- บัลลาสต์ร้อน

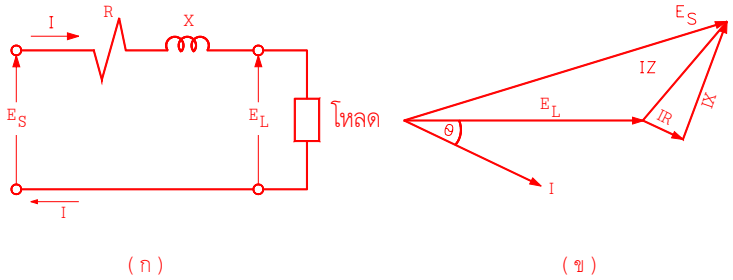
ตามมาตรฐาน NEC

ได้กำหนดให้

- *แรงดันตกจากสายประธาน (Service) ไปยังโหลด (Load) มีค่าไม่เกิน 5%*
- *แรงดันตกในสายป้อน (Feeder) มีค่าไม่เกิน 2%*
- *แรงดันตกในวงจรย่อย (Branch Circuit) มีค่าไม่เกิน 3%*

การคำนวณแรงดันตก

ไงจรสมมูล 1 เฟส



รูปที่ 3.15 ก) วงจรสมมูล ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

ได้สูตร

ได้สูตรการคำนวณค่าแรงดันตกในระบบไฟฟ้า ดังนี้

1 เฟส 2 สาย VD $\approx$ $2I(R\cos\theta + X\sin\theta)$ ..... (3.1)

3 เฟส 4 สาย VD $\approx$ $\sqrt{3}\,I(R\cos\theta + X\sin\theta)$ ..... (3.2)

โดย VD = แรงดันตก (V)

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร (A)

R = ค่าความต้านทานทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)

X = ค่ารีแอกแตนซ์ทางเดียวของสายไฟฟ้า (Ω)

$\cos\theta$ = ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (P.F.)

ค่า R และ X ของสายไฟฟ้า

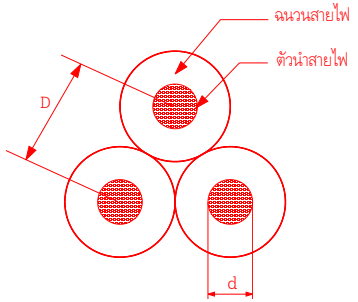
- ค่าความต้านทาน (R) หาได้จากมาตรฐานสายไฟฟ้าให้ค่าที่อุณหภูมิ 20 ^{o}C ปรับค่าที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C
- ค่ารีแอกแตนซ์ (X) ขึ้นอยู่กับ

1) เส้นผ่านศูนย์กลางของสายตัวนำ

2) ระยะห่างระหว่างตัวนำ

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ที่สายไฟฟ้าวางที่มุมสามเหลียมด้านเท่า (Trefoil)

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ที่สายไฟฟ้าวางที่มุมสามเหลียมด้านเท่า (Trefoil) ดังรูป



รูปที่ 3.16 การวางสายไฟฟ้าแบบ Trefoil

ค่าความเหนี่ยวนำ (L) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$L = 0.05 + 0.46 \log \frac{2D}{d} \quad mH/m \quad \text{..... (3.3)}$$

สำหรับความถี่ f = 50 Hz. จะคำนวณค่า X ได้ดังนี้

$$X = 2\pi f L$$

$$= 0.0157 + 0.144 \log \frac{2D}{d} \ \Omega/km \quad \text{..... (3.4)}$$

- ถ้าสายไฟฟ้าวางเรียงต่างจากนี้ และเดินในท่อโลหะ ค่า X จะสูงขึ้น

ค่า X จะคำนวณค่าในอากาศ

ค่า X ในท่อโลหะ = 1.25 ค่า X ในอากาศ

ตารางที่ 3.12 ค่า R และ X ที่คำนวณได้ของสายไฟฟ้าตารางที่ 4

ขนาดสาย (mm^2)	R ที่ 70 ^{o}C Ω/km	X (Ω/km) ในท่ออโลหะ	X (Ω/km) ในท่อโลหะ	X (Ω/km) เดินบน Rack (เดินลอย)
2.5	8.8658	0.1228	0.1535	0.3559
4	5.5157	0.1146	0.1433	0.3412
6	3.6851	0.1116	0.1395	0.3251
10	2.1895	0.1059	0.1324	0.3087
16	1.3759	0.1035	0.1294	0.2943
25	0.8698	0.0981	0.1226	0.2798
35	0.6269	0.0983	0.1229	0.2661
50	0.4723	0.0933	0.1166	0.2566
70	0.3207	0.0904	0.1130	0.2450
95	0.2309	0.0902	0.1128	0.2347
120	0.1840	0.0879	0.1099	0.2263
150	0.1493	0.0870	0.1088	0.2198
185	0.1196	0.0873	0.1091	0.2127
240	0.0918	0.0865	0.1081	0.2037
300	0.0737	0.0862	0.1078	0.1966
400	0.0587	0.0841	0.1052	0.1889
500	0.0467	0.0850	0.1063	0.1816

ตัวอย่างที่ 3.10 ระบบไฟฟ้า 380 V , 3 เฟส จ่ายไฟให้โหลดสามเฟสสมดุล 100A ซึ่งอยู่ห่างไป 100 m ด้วยสาย ไฟฟ้าตารางที่ 4 3 x 50 mm^2 เดินในท่อร้อยสายโลหะ จงคำนวณหาแรงดันตก

วิธีทำ

เนื่องจากไม่ทราบค่า P.F. ของโหลด

สมมุติให้ P.F. มีค่า 1.00 , 0.95 , 0.90 , 0.85 และ 0.80 Lagging แล้วคำนวณหาค่าแรงดันตกในแต่ละกรณี

จากตารางหาค่า

R = = 0.04723

X = $0.4723 \times \frac{100}{1000}$ = 0.01166 Ω

$0.1166 \times \frac{100}{1000}$ Ω

ตัวอย่างที่ 3.10(ต่อ)

1) P.F. = 100% $\cos\theta$ = 1.00 , $\sin\theta$ = 0

VD = $\sqrt{3}$ I (R $\cos\theta$ + X $\sin\theta$)

= $\sqrt{3}$ x100 (0.04723 x 1 + 0)

= 8.18 V

= 0.82 mV/A/m

2) P.F. = 0.95 Lagging $\cos\theta$ = 0.95 , $\sin\theta$ = 0.31

VD = $\sqrt{3}$ I (R $\cos\theta$ + X $\sin\theta$)

= $\sqrt{3}$ x100 (0.04723 x 0.95 + 0.01166 x 0.31)

= 8.40 V

= 0.84 mV/A/m

ตัวอย่างที่ 3.10(ต่อ)

3) P.F. = 0.90 Lagging $\cos\theta$ = 0.9 , $\sin\theta$ = 0.44

VD = $\sqrt{3}$I (R $\cos\theta$ + X $\sin\theta$)

= $\sqrt{3}$100 (0.04723 0.9 + 0.01166 0.44)

= 8.25 V

= 0.83 mV/A/m

4) P.F. = 0.85 Lagging $\cos\theta$ = 0.85 , $\sin\theta$ = 0.53

VD = $\sqrt{3}$ I (R $\cos\theta$ + X $\sin\theta$)

= $\sqrt{3}$ 100 (0.04723 x 0.85 + 0.01166 x 0.54)

= 8.04 V

= 0.80 mV/A/m

ตัวอย่างที่ 3.10(ต่อ)

5) P.F. = 0.80 Lagging $\cos\theta$ = 0.80 , $\sin\theta$ = 0.60

VD = $\sqrt{3}$I (R $\cos\theta$ + X $\sin\theta$)

= $\sqrt{3}$100 (0.04723 x 0.80 + 0.01166 x 0.60)

= 7.76 V

= 0.78 mV/A/m

จากตารางค่า R และ X ได้ทำตาราง ค่า V.D เป็น mV/A/m

คิด P.F. 80% Lagging – 1.00

หาค่า V.D สูงสุด

ตารางที่ 3.13 ค่าแรงดันตกสูงสุดในสายไฟฟ้าตารางที่ 4

ขนาดสาย (mm^2)	2 ตัวนำ DC (mV/A/m)	2 ตัวนำ AC 1 เฟส		3,4 ตัวนำ AC 3 เฟส	
		เดินในท่อโลหะ (mV/A/m)	เดินลอย (mV/A/m)	เดินในท่อโลหะ (mV/A/m)	เดินลอย (mV/A/m)
2.5	17.73	17.73	17.73	15.40	15.40
4	11.03	11.03	11.03	9.60	9.60
6	7.37	7.37	7.37	6.40	6.40
10	4.38	4.38	4.38	3.80	3.80
16	2.75	2.75	2.75	2.40	2.40
25	1.74	1.74	1.83	1.50	1.58
35	1.25	1.27	1.36	1.09	1.18
50	0.95	0.97	1.08	0.84	0.94
70	0.64	0.68	0.81	0.59	0.70
95	0.46	0.52	0.65	0.45	0.56
120	0.37	0.43	0.57	0.37	0.49
150	0.30	0.37	0.50	0.32	0.43
185	0.24	0.32	0.45	0.28	0.39
240	0.18	0.28	0.39	0.24	0.34
300	0.15	0.25	0.35	0.21	0.30
400	0.12	0.22	0.32	0.19	0.28
500	0.09	0.20	0.29	0.18	0.25

ตัวอย่างที่ 3.11 ระบบไฟฟ้า 380 V , 3 เฟส 4 สาย ใช้สายไฟฟ้าตารางที่ 4 ขนาด 120 mm^2 เดินในท่อสายเป็นระยะทาง 110 m จ่ายโหลด 150 A จงหาค่าแรงดันตกที่เกิดขึ้น

วิธีทำ

จากตารางค่าแรงดันตกสูงสุด พบว่า

สาย 120 mm^2 เดินในท่อสายชนิดต่าง ๆ มีแรงดันตก

$= 0.37$ mV/A/m

$\therefore$ แรงดันตก $= \frac{0.37}{1000} \times 150 \times 110$

$= 6.1$ V

ตัวอย่างที่ 3.12 ระบบไฟฟ้า 380/220 V ใช้สายไฟฟ้าตารางที่ 4 เดินในท่อสายในอากาศเป็นระยะทาง 100 m จ่ายโหลด 200 A จะต้องใช้สายไฟฟ้าขนาดเท่าใด โดยจำกัดให้แรงดันตกมีค่าไม่เกิน 2%

วิธีทำ

แรงดันตกที่ได้จะต้องไม่เกิน $= \frac{2}{100} \times 380$ V

$= 7.6$ V

$= \frac{7.6 \times 1000}{200 \times 100} = 0.38$ mV/A/m

จากตาราง เลือกใช้สายขนาด 120 mm^2 (เดินในท่อสายชนิดต่าง ๆ)

ซึ่งมีค่าแรงดันตกสูงสุดเท่ากับ 0.37 mV/A/m หรือ

$= \frac{0.37}{1000} \times 200 \times 100$

$= 7.4$ V

แรงดันตกในสายป้อน

- *ทำตามตาราง V.D ไม่เกิน 2%*

ตารางที่ 3.14 ระยะทางโหลดสูงสุด (m) ของสายไฟฟ้าตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะสำหรับค่าแรงดันตกไม่เกิน 2% (4.4 V)

โหลดกระแสสลับ 220 V , 1 เฟส 2 สาย , 50 Hz ที่ P.F. = 0.8 Lagging - 1.00									
Ampere	ขนาดสาย (mm^2) 70	50	35	25	16	10	6	4	2.5
10	647	454	346	253	160	100	60	40	25
15	431	303	231	169	107	67	40	27	17
20	324	227	173	126	80	50	30	20	
30	216	151	115	84	53	33	20		
40	162	113	87	63	40	25			
50	129	91	69	51	32				
60	108	76	58	42					
70	92	65	49	36					
80	81	57	43						
90	72	50	38						
100	65	45							
110	59	41							
120	54								
130	50								
140	46								

ตัวอย่างที่ 3.13

1) สาย T-4 เดินในท่อโลหะในอากาศ ,

กระแสโหลด = 50 A 1 เฟส , VD = 2%

ระยะทาง = 30 m ขนาดสาย = ?

จากตาราง ที่กระแสโหลด 50 A ได้สายขนาด 16 mm^2 (32 m)

2) ถ้าต้องการ VD = 1% โดยกระแส = 10 A และ ระยะทาง = 40 m

จะใช้ขนาดสาย = ?

ที่กระแสโหลด 10 A ; สาย 10 mm^2 VD = 1% จะได้ระยะทาง

= 100 x 1/2 = 50 m

ดังนั้น ใช้สายขนาด 10 mm^2

ตารางที่ 3.15 ระยะทางโหลดสูงสุด (m) ของสายไฟฟ้าตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะ สำหรับค่าแรงดันตกไม่เกิน 2% (7.6 V)

โหลดกระแสสลับ 380 V , 3 เฟส , 50 Hz ที่ P.F. = 0.8 Lagging - 1.00									
	ขนาดสาย (mm^2)								
Ampere	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5
10	1288	905	697	507	317	200	119	79	49
15	859	603	465	338	211	133	79	53	33
20	644	452	349	253	158	100	59	40	
30	429	302	232	169	106	67	40		
40	322	226	174	127	79	50			
50	258	181	139	101	63				
60	215	151	116	84					
70	184	129	100	72					
80	161	113	87						
90	143	101	77						
100	129	90							
110	117	82							
120	107								
130	99								
140	92								

ตัวอย่างที่ 3.14 สาย T-4 กระแสโหลด = 60 A 3 เฟส ,

ระยะทาง = 150 m , VD = 3% ขนาดสาย = ?

วิธีทำ

สาย 25 mm^2 VD = 2% ได้ระยะทาง = 84 m

สาย 25 mm^2 VD = 3% จะได้ระยะทาง = $84 \times \frac{3}{2}$ = 126 m

ทำนองเดียวกัน สาย 35 mm^2 VD = 3%

จะได้ระยะทาง = 116 $\times \frac{3}{2}$ = 174 m

ดังนั้น เลือกใช้สายขนาด 35 mm^2

ตารางที่ 3.16 ระยะทางโหลดสูงสุด (m) ของสายไฟฟ้าตารางที่ 4 เดินในท่อโลหะ สำหรับค่าแรงดันตกไม่เกิน 2% (7.6 V)

โหลดกระแสสลับ 380 V , 3 เฟส , 50 Hz ที่ P.F. = 0.8 Lagging - 1.00									
	ขนาดสาย (mm^2)								
Ampere	500	400	300	240	185	150	120	95	70
100	422	400	362	317	271	238	205	169	129
120	352	333	302	264	226	198	171	141	107
140	302	286	258	226	194	170	147	121	92
160	264	250	226	198	170	148	128	106	
180	235	222	201	176	151	132	114	94	
200	211	200	181	158	136	119	103		
250	169	160	145	127	109	95			
300	141	133	121	106					
350	121	114	103						
400	106	100	90						
450	94	89							
500	84								

ตัวอย่างที่ 3.15 สาย T-4 กระแสโหลด = 150 A 3เฟส ,

ระยะทาง = 300 m , VD = 5%

ขนาดสาย = ?

วิธีทำ

สาย 120 mm^2 ที่กระแส 150 A จะได้ระยะทาง

$$= 147 \times \frac{140}{150}$$

$$= 137 \text{ m ที่ VD 2\%}$$

ถ้า VD 5% จะได้ระยะทาง $= 137 \times \frac{5}{2}$

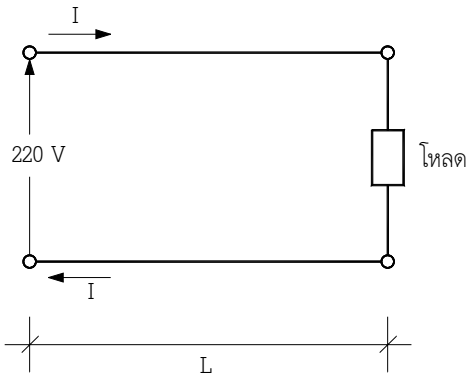
$$= 343 \text{ m}$$

ดังนั้น เลือกใช้สายขนาด 120 mm^2

แรงดันตกในวงจรย่อย (Branch Circuit)

- Concentrated Load คือ วงจรย่อยที่โหลดมีเพียงชุดเดียว และอยู่ที่ปลายสายแรงดันตกของการจ่ายโหลด ลักษณะนี้จะมีค่าสูงสุด
- Distributed Load คือ วงจรย่อยที่มีโหลดหลายชุดกระจายไปตามความยาวสายแรงดันตกของการจ่ายโหลดลักษณะนี้จะมีค่าน้อยกว่าแบบแรก

Concentrated Load



รูปที่ 3.17 Concentrated Load

- ให้ I = 10 A , ใช้สาย T-4 ขนาด 2.5 mm^2 , P.F. = 1.00 และต้องการแรงดันตกในระยะ L ไม่เกิน 2%

แรงดันตก 2% ของ 220 V = 0.02 x 220 = 4.4 V

จาก VD = 2 x I x R x L

4.4 = 2 x10 x 8.87 (Ω /km) x L

$$= 2 \times 10 \times \frac{8.87}{1000} \times L$$

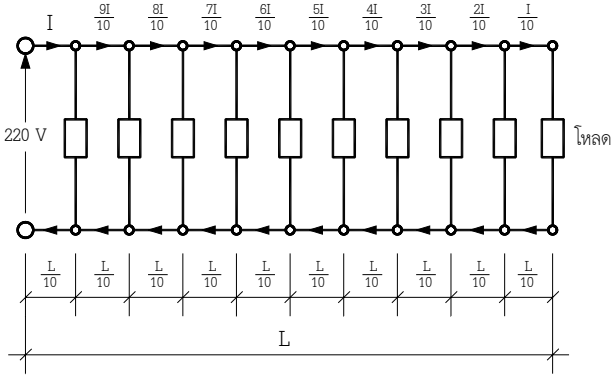
$$\therefore \quad L = \frac{4.4 \times 1000}{2 \times 10 \times 8.87}$$

$$= 24.8 \text{ m}$$

Distributed Load

- *Distributed Load*

จำนวน 10 ชุด ห่างเท่า ๆกัน



รูปที่ 3.18 Distributed Load

- ให้วงจรย่อยมีกระแสโหลด = 10 A ใช้สาย T-4 ขนาด 2.5 mm^2 มี P.F. = 1.00 และต้องการแรงดันตกไม่เกิน 2% (4.4 V) ที่โหลดตัวสุดท้าย

จาก VD = $2 \times I \times R \times L$

ได้ VD = $2 \times R \times \left[\left(I \times \frac{L}{10}\right) + \left(\frac{9I}{10} \times \frac{L}{10}\right) + \left(\frac{8I}{10} \times \frac{L}{10}\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \left(\frac{2I}{10} \times \frac{L}{10}\right) + \left(\frac{I}{10} \times \frac{L}{10}\right)\right]$

$= 2 \times R \times \frac{L}{10}$ (10+9+8+.....+2+1)

$= 11RL$

สำหรับ VD = 4.4 V

จะได้ระยะทาง L = $\frac{4.4 \times 1000}{11 \times 8.87}$

$= 45.1$ m

สำหรับ Concentrated Load

VD = $2 \times I \times R \times L$

$= 20RL$

$\therefore$ Distributed Load

VD = $\frac{11RL}{20RL} \times 100$

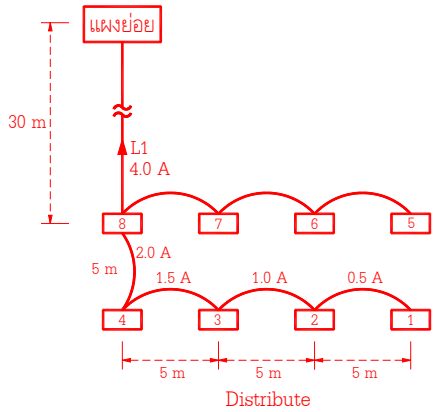
= 55% ของ Concentrated Load

ในทำนองเดียวกัน สำหรับ Distributed Load จำนวน 5 ชุด , 8 ชุด และ 12 ชุดสามารถคำนวณได้ดัง ตารางที่ 3.17

ตารางที่ 3.17 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันตกและระยะทางระหว่าง Concentrated Load และ Distributed Load

ประเภทของโหลด	Concentrated Load	Distributed Load			
จำนวนชุดของโหลด	1 ชุด	5 ชุด	8 ชุด	10 ชุด	12 ชุด
ระยะเท่ากัน , ΔV =	VD	0.60 VD	0.56 VD	0.55 VD	0.54 VD
ΔV เท่ากัน , ระยะทาง =	L	1.67 L	1.78 L	1.82 L	1.85 L

ตัวอย่างที่ 3.16 จงคำนวณแรงดันตกของวงจรย่อยที่มี Distributed Load ดังรูป ขนาดสาย 2.5 mm^2 และกระแสของโหลดแต่ละชุดเท่ากับ 0.5 A



วิธีทำ

จากตารางค่าแรงดันตกสูงสุดพบว่า

สาย 2.5 mm^2 เดินในท่อสายชนิดต่าง ๆ มีแรงดันตก = 17.73 mV/A/m

แรงดันตกของโหลดชุดที่ 1 = $17.73 \times 0.5 \times 5 \times 10^{-3}$ = 0.044 V

แรงดันตกของโหลดชุดที่ 2 = 0.088 V

แรงดันตกของโหลดชุดที่ 3 = 0.133 V

แรงดันตกของโหลดชุดที่ 4 = 0.177 V

$\therefore$ แรงดันตกของ Distributed Load = 0.442 V

ระยะจากโหลด 8 ชุด ไปแหล่งจ่ายไฟ เท่ากับ 30 m

แรงดันตก = $\frac{17.73 \times 4 \times 0.5 \times 30}{1000}$

= 1.064 V

$\therefore$ แรงดันตกที่โหลดไกลสุด (ชุดที่ 1) = 0.442 + 1.064 = 1.506 V

THE END